

## 目 录

序言 .....	1
目录 .....	1
<b>第一章 质量管理论</b> .....	1
1.1 重要术语 .....	1
1.2 质量管理简史 .....	4
1.2.1 质量检验阶段 .....	4
1.2.2 统计质量控制(SQC)阶段 .....	5
1.2.3 全面质量管理(TQM)阶段 .....	5
1.2.4 21 世纪的质量管理 .....	6
1.2.5 我国质量管理发展的回顾 .....	7
1.3 质量管理的基本理论 .....	8
1.3.1 质量检验理论 .....	8
1.3.2 质量控制理论 .....	8
1.3.3 质量监督理论 .....	9
1.3.4 质量保证理论 .....	10
1.3.5 质量经济学 .....	11
1.4 方针目标管理 .....	11
1.4.1 方针目标管理的理论与方法 .....	11
1.4.2 方针目标的制定 .....	12
1.4.3 方针目标的展开 .....	14
1.4.4 方针目标的实施 .....	14
1.4.5 方针目标管理的考核与评价 .....	15
1.4.6 方针目标管理的诊断 .....	15
1.5 标准化 .....	15
1.5.1 世界贸易组织与贸易技术壁垒协定(WTO/TBT) .....	16
1.5.2 《卫生与植物卫生措施协议》简介 .....	18
1.5.3 标准和标准化 .....	19
1.5.4 标准的分类 .....	20
1.5.5 标准体系 .....	23
1.5.6 标准的制定与实施 .....	27
1.5.7 采用国际标准与国外先进标准 .....	33
1.6 资源管理 .....	34

1.6.1 资源提供 .....	34
1.6.2 人力资源 .....	34
1.6.3 基础设施 .....	38
1.6.4 工作环境 .....	41
1.6.5 信息 .....	42
1.6.6 供方及合作关系 .....	46
1.6.7 自然资源 .....	46
1.6.8 财务资源 .....	47
1.7 产品质量法规 .....	48
1.7.1 产品质量法规的概况 .....	48
1.7.2 《中华人民共和国产品质量法》 .....	49
1.7.3 产品质量法和其它法律的关系 .....	60
1.7.4 《中华人民共和国标准化法》 .....	61
1.7.5 《中华人民共和国和计量法》 .....	61
1.7.6 《中华人民共和国药品管理法》 .....	62
1.7.7 《中华人民共和国食品卫生法》 .....	63
1.8 质量经济分析 .....	64
1.8.1 质、本、利分析 .....	65
1.8.2 质量成本 .....	66
1.8.3 质量成本管理 .....	74
1.8.4 质量成本现状发展 .....	74
1.9 合格评定 .....	75
1.9.1 概述 .....	75
1.9.2 质量认证制度 .....	78
1.9.3 产品质量认证 .....	82
1.9.4 质量体系认证 .....	86
1.9.5 实验室认可 .....	87
1.9.6 我国质量认证的简况 .....	89
1.10 质量文化 .....	91
1.10.1 质量文化的含义和构成要素 .....	91
1.10.2 质量文化的层次结构和相互关系 .....	92
1.10.3 质量文化的特征 .....	92
1.10.4 确立现代质量观念是企业质量文化的基础 .....	93
1.10.5 质量文化形成的影响因素 .....	94
1.10.6 质量文化的类型 .....	94
1.10.7 质量文化的功能 .....	95
1.10.8 组织质量文化的培育 .....	96

1.11 本章参考文献 .....	96
本章思考题 .....	97
思考题题解 .....	97
<b>第二章 ISO 9000 族标准和质量管理体系</b> .....	98
2.1 ISO 9000 族标准的发展及其特点 .....	98
2.1.1 ISO 9000 族标准的发展 .....	98
2.1.2 2000 版 ISO9000 族标准的主要特点及意义 .....	99
2.1.3 一对相互协调的标准 .....	101
2.2 2000 版 GB/T 19000 族标准的基础和术语 .....	102
2.2.1 质量管理八原则 .....	102
2.2.2 质量管理体系基础 .....	104
2.3 2000 版 ISO 9000 族标准的质量管理体系要求 .....	107
2.4 质量管理体系的建立 .....	111
2.4.1 质量管理体系的发展 .....	111
2.4.2 质量管理体系的有关概念 .....	111
2.4.3 体系的主要特征 .....	113
2.4.4 关于质量管理体系的几点认识 .....	114
2.4.5 质量管理体系方法 .....	115
2.5 质量管理体系的审核 .....	118
2.5.1 概述 .....	118
2.5.2 审核的策划和准备 .....	120
2.5.3 实施审核 .....	124
2.5.4 纠正措施的验证和证后监督 .....	129
2.6 本章参考文献 .....	131
本章思考题 .....	131
思考题题解 .....	131
<b>第三章 质量检验</b> .....	132
3.1 什么是质量检验 .....	132
3.2 质量检验机构及其职责 .....	132
3.2.1 质量检验机构 .....	132
3.2.2 质量检验部门的职责 .....	133
3.3 生产操作的质量检验 .....	136
3.4 采购器材(和外购件)及其保管的质量检验 .....	137
3.4.1 外购器材的质量检验 .....	137
3.4.2 外购器材的保管的质量检验 .....	138

3.5 工序质量检验 .....	141
3.6 产品质量检验 .....	143
3.7 包装的质量检验 .....	143
3.8 产品检验的标志及合格证明 .....	144
3.9 批生产的质量检验 .....	145
3.10 不合格品管理 .....	147
3.11 产品交付及验收的质量检验 .....	149
3.12 检验人员的质量检验 .....	150
3.13 检验印章管理 .....	152
3.14 质量检验计划 .....	152
3.15 本章参考文献 .....	154
本章思考题 .....	154
思考题题解 .....	154
<b>第四章 概率统计基础知识 .....</b>	<b>155</b>
4.1 概率基本概念 .....	155
4.2 随机变量与分布 .....	159
4.3 数学期望 .....	162
4.4 质量工程的常见分布 .....	164
4.5 统计分析 .....	172
4.6 假设检验 .....	176
4.7 本章参考文献 .....	177
本章思考题 .....	178
思考题题解 .....	178
<b>第五章 正交试验设计与田口方法 .....</b>	<b>179</b>
5.1 概述 .....	179
5.2 正交试验设计的基本方法 .....	180
5.2.1 正交表 .....	180
5.2.2 正交表的应用 .....	181
5.2.3 几个问题的补充说明 .....	184
5.3 因素之间的交互作用 .....	185
5.3.1 交互作用的概念 .....	185
5.3.2 应用实例 .....	186
5.3.3 几个问题的进一步说明 .....	189
5.4 正交表的灵活运用 .....	190
5.4.1 正交表的并列 .....	190



5.4.2 拟水平设计 .....	192
5.4.3 活动水平与组合因子 .....	193
5.4.4 其他方法简介 .....	195
5.5 田口方法 .....	196
5.5.1 基本概念 .....	196
5.5.2 三次设计 .....	198
5.5.3 参数设计的实验例 .....	200
5.6 响应曲面法 .....	203
5.7 本章参考文献 .....	203
本章思考题 .....	204
思考题题解 .....	204
<b>第六章 方差分析法</b> .....	205
6.1 概述 .....	205
6.2 单因子试验的方差分析 .....	205
6.3 多因子试验的方差分析 .....	210
6.4 本章参考文献 .....	219
本章思考题 .....	219
思考题题解 .....	219
<b>第七章 回归分析</b> .....	220
7.1 概述 .....	220
7.2 一元线性回归 .....	221
7.2.1 散点图和回归直线 .....	221
7.2.2 确定回归直线的原则 .....	222
7.2.3 具体计算格式 .....	224
7.2.4 回归问题的方差分析 .....	225
7.2.5 相关系数 .....	228
7.2.6 利用回归方程进行预测和控制 .....	229
7.3 一元正交多项式回归 .....	230
7.4 本章参考文献 .....	236
本章思考题 .....	236
思考题题解 .....	236
<b>第八章 抽样检验</b> .....	237
8.1 概述 .....	237
8.1.1 基本概念 .....	237

8.1.2 随机抽样	237
8.1.3 抽样检验	239
8.1.4 特性曲线(OC)曲线	242
8.2 计数型抽样方案	246
8.2.1 不合格品率的计数标准型一次抽检方案	246
8.2.2 不合格品率的计数标准型一次抽样方案 GB/T13262-91	248
8.2.3 IEC 一次抽样方案	251
8.2.4 LTPD 方案	251
8.2.5 计数挑选型抽样检验	252
8.2.6 百分比抽样方案的不科学性	254
8.2.7 逐批检验计数抽样方案(适用于连续批的检验)MIL-STD-105E	255
8.2.8 MIL-STD-105E 用于单批抽样	272
8.2.9 IEC 的计数型序贯抽样主案	275
8.3 计量标准型抽样方案	277
8.3.1 计量标准型抽样方案的基础知识	277
8.3.2 不合格品率的计量型抽样方案(连续批)MIL-STD-414(修订本)	278
8.3.3 MIL-STD-414 用于单批抽样	287
8.4 本章小结	298
8.5 本章参考文献	298
本章思考题	299
思考题题解	299
<b>第九章 统计过程控制与诊断</b>	<b>300</b>
9.1 SPC 与 SPD 工程概论	300
9.1.1 什么是 SPC 与 SPD 工程?	300
9.1.2 为什么要学习 SPC 与 SPD 工程?	301
9.1.3 SPC 与 SPD 工程的进行步骤	304
9.1.4 本节参考文献	305
本节思考题	305
思考题题解	306
9.2 控制图原理	306
9.2.1 什么是控制图	306
9.2.2 控制图的重要性	307
9.2.3 产品质量的统计观点	307
9.2.4 控制图的原理的讨论	309
9.2.5 控制图是如何贯彻预防原则的	314
9.2.6 统计控制状态	315

9.2.7 两种错误	316
9.2.8 $3\sigma$ 方式	317
9.2.9 常用休图	317
9.2.10 本节参考文献	318
本节思考题	319
思考题题解	319
9.3 控制图的判断准则	319
9.3.1 分析用控制图与控制用控制图	319
9.3.2 休图的设计思想	322
9.3.3 判稳准则	322
9.3.4 判异准则	323
9.3.5 局部问题对策与系统改进	328
9.3.6 本节参考文献	329
本节思考题	329
思考题题解	329
9.4 $\bar{X}-R$ 、 $\bar{X}-s$ 、 $\bar{X}-R_s$ 控制图与 $p$ 控制图	331
9.4.1 休哈特控制图的种类及其用途	331
9.4.2 应用控制图需要考虑的一些问题	333
9.4.3 $\bar{X}-R$ 控制图	334
9.4.4 $\bar{X}-s$ 控制图	343
9.4.5 $\bar{X}-R_s$ 控制图	344
9.4.6 控制界限与公差界限之间的关系	346
9.4.7 $p$ 控制图	347
9.4.8 计量控制图与计数控制图的比较	350
9.4.9 本节参考文献	351
本节思考题	351
思考题题解	351
9.5 通用控制图与小批量控制图	352
9.5.1 计数型控制图的缺点	352
9.5.2 通用控制图的标准变换	353
9.5.3 $3\sigma$ 方式的标准变换	353
9.5.4 在通用图上 $p$ 图与 $np$ 图恒等、 $u$ 图与 $c$ 图恒等	354
9.5.5 通用图的直接打点法	354
9.5.6 多品种、小批量生产的控制	358
9.5.7 本节参考文献	364
本节思考题	365
思考题题解	365

<b>9.6 两种质量诊断理论</b>	365
9.6.1 两种质量的概念是两种质量诊断理论的基础	365
9.6.2 两种质量的度量	367
9.6.3 两种质量诊断理论的思路	367
9.6.4 两种控制图的诊断理论	368
9.6.5 两种控制图诊断的典型情况	374
9.6.6 过程能力与过程能力指数	380
9.6.7 两种过程能力指数与两种过程能力指数的诊断	384
9.6.8 两种过程能力指数的诊断	385
9.6.9 多元统计过程诊断理论	387
9.6.10 在六西格玛下的两种质量诊断理论	397
9.6.11 本节小结	397
9.6.12 本节参考文献	398
本节思考题	398
思考题题解	398
<b>第十章 接近零不合格过程的质量控制</b>	399
10.1 接近零不合格过程	399
10.2 计数控制图的改进	399
10.3 接近零不合格过程的质量控制	400
10.4 案例分析	403
10.5 本章参考文献	405
本章思考题	405
思考题题解	405
<b>第十一章 质量改进常用方法</b>	406
11.1 因果图	406
11.2 排列图	407
11.3 直方图	409
11.4 检查表	412
11.5 分层法	413
11.6 头脑风暴法	414
11.7 树图	415
11.8 过程决策程序图(PDPC)	417
11.9 网络图	418
11.10 矩阵图	420
11.11 亲和图	422

11.12 流程图 .....	423
11.13 本章参考文献 .....	424
本章思考题 .....	425
思考题题解 .....	425
<b>第十二章 质量机能展开(QFD)</b> .....	426
12.1 质量机能展开的历史与现状 .....	426
12.1.1 质量机能展开的产生与发展 .....	426
12.1.2 质量机能展开在其他国家和地区的应用 .....	426
12.1.3 质量机能展开对当前我国企业的现实意义 .....	427
12.2 质量机能展开简介 .....	428
12.2.1 什么是质量机能展开 .....	428
12.2.2 综合质量展开与狭义的质量机能展开 .....	429
12.2.3 质量机能展开的作用 .....	429
12.2.4 质量机能展开的应用步骤 .....	430
12.3 质量展开 .....	432
12.3.1 质量展开概要 .....	432
12.3.2 质量展开的步骤与方法 .....	433
12.3.3 各种质量展开 .....	436
12.4 质量展开表的制作 .....	437
12.4.1 要求质量展开表的制作 .....	437
12.4.2 制作质量要素展开表 .....	442
12.4.3 质量表的绘制 .....	445
12.4.4 确定策划质量 .....	447
12.4.5 设计质量的确定 .....	449
12.5 本章参考文献 .....	450
本章思考题 .....	450
思考题题解 .....	450
<b>第十三章 质量评估方法</b> .....	452
13.1 概述 .....	452
13.2 优序法 .....	452
13.3 AHP 方法 .....	457
13.4 模糊综合评价法 .....	464
13.4.1 模糊数学的有关概念 .....	464
13.4.2 隶属函数的确定 .....	464
13.4.3 模糊综合评价 .....	466

13.4.4 应用实例 .....	468
13.5 选控评估法 .....	471
13.6 本章参考文献 .....	474
本章思考题 .....	474
思考题题解 .....	475
<b>第十四章 顾客满意导向与顾客满意度</b> .....	476
14.1 顾客满意导向 .....	476
14.2 顾客满意度与美国顾客满意度 ASCI .....	477
14.3 顾客满意度的度量 .....	485
14.3.1 理论研究 .....	485
14.3.2 实施 .....	486
14.4 本章参考文献 .....	489
本章思考题 .....	490
思考题题解 .....	490
<b>第十五章 可靠性、维修性及产品安全性</b> .....	491
15.1 概述 .....	491
15.1.1 可靠性、维修性的基本概念 .....	491
15.1.2 产品策划 .....	496
15.1.3 产品寿命周期各阶段的可靠性工作 .....	499
15.2 可靠性管理及设计 .....	500
15.2.1 可靠性大纲及可靠性计划 .....	500
15.2.2 可靠性目标 .....	501
15.2.3 可靠性设计与可靠性分配 .....	501
15.2.4 可靠性预计 .....	504
15.2.5 可靠性设计—冗余技术 .....	506
15.2.6 可靠性设计—降额设计 .....	507
15.2.7 可靠性设计—热设计 .....	508
15.2.8 可靠性设计—FMEA .....	509
15.2.9 元器件大纲 .....	513
15.2.10 可信性试验 .....	514
15.2.11 可靠性设计规范 .....	518
15.3 维修性管理及设计 .....	518
15.3.1 维修性设计 .....	518
15.3.2 测试性 .....	520
15.3.3 维修性分配及预计 .....	521

15.3.4 维修性验证 .....	523
15.4 安全性管理及设计 .....	524
15.4.1 安全性大纲及安全性计划 .....	524
15.4.2 故障树分析 .....	525
15.5 软件可靠性 .....	528
15.6 产品质量与可信性信息管理及故障报告、分析和纠正措施系统 .....	532
15.7 本章参考文献 .....	533
本章思考题 .....	533
思考题题解 .....	533
<b>第十六章 计量</b> .....	534
16.1 基本概念 .....	534
16.2 计量单位 .....	535
16.3 标准和检定 .....	542
16.4 测量不确定度评定 .....	546
16.5 信息时代的仪器、标准与计量体系的发展和展望 .....	555
16.6 计量测试工作的重要作用 .....	557
16.7 测量器具及其特性 .....	558
16.8 基本物理常数 .....	561
16.9 本章参考文献 .....	562
本章思考题 .....	563
思考题题解 .....	563
<b>第十七章 测量系统分析(MSA)</b> .....	564
17.1 概论 .....	564
17.1.1 测量数据的质量 .....	564
17.1.2 测量过程 .....	564
17.1.3 术语 .....	564
17.1.4 测量系统的统计特性 .....	565
17.1.5 测量系统分析的时机 .....	565
17.2 计量测量系统的分析 .....	565
17.2.1 测量系统变差的描述 .....	565
17.2.2 术语 .....	565
17.2.3 评定方法和程序 .....	568
17.3 计数测量系统的分析 .....	577
17.3.1 短期研究——小样法 .....	577
17.3.2 长期研究——大样法 .....	577

17.4 本章参考文献 .....	582
本章思考题 .....	582
思考题题解 .....	582
<b>第十八章 业务流程重组</b> .....	<b>583</b>
18.1 概述 .....	583
18.1.1 业务流程重组的起源 .....	583
18.1.2 业务流程建设的三个层次 .....	584
18.2 业务流程设计 .....	584
18.2.1 流程的概念 .....	584
18.2.2 流程框架模型建立 .....	584
18.2.3 流程描述的方法 .....	585
18.3 业务流程重组的实施 .....	586
18.3.1 业务流程重组实施步骤 .....	586
18.3.2 流程重设计的常用技巧 .....	588
18.4 业务流程重组的案例 .....	588
18.4.1 某公司办公用品采购流程重组 .....	588
18.5 本章参考文献 .....	589
本章思考题 .....	590
思考题题解 .....	590
<b>第十九章 网络时代的质量管理</b> .....	<b>591</b>
19.1 网络时代的管理 .....	591
19.2 质量管理的发展 .....	592
19.3 网络时代质量管理的挑战与机遇 .....	594
19.4 本章小结 .....	595
19.5 本章参考文献 .....	596
本章思考题 .....	596
思考题题解 .....	596
<b>第二十章 六西格玛工程简介</b> .....	<b>598</b>
20.1 六西格玛的缘起 .....	598
20.2 六西格玛工程 .....	599
20.3 企业引入六西格玛工程应具备的条件 .....	600
20.4 推行六西格玛工程的步骤 .....	600
20.5 百万次机会不合格数(DPMO) .....	602
20.6 三西格玛与六西格玛对于过程能力指数的要求 .....	604



20.7 结束语 .....	605
20.8 本章参考文献 .....	606
本章思考题 .....	606
思考题题解 .....	606
<b>附录 I:常用数表</b> .....	607
表 I-1 标准正态分布表 .....	607
表 I-2 t 分布表 .....	609
表 I-3 F 分布表 .....	610
表 I-4 $\chi^2$ 分布表 .....	614
表 I-5 泊松分布表 .....	616
表 I-6 相关系数检验表 .....	619
<b>附录 II:常用正交表与正交多项式表</b> .....	620
附录 II-1:常用正交表 .....	620
附录 II-2:正交多项式表 .....	627
<b>附录 III:与质量相关的法律法规文件目录</b> .....	629

# 第一章 质量管理概论

## 1.1 重要术语

2000 版 ISO 9000 族标准对质量管理中的重要术语给出了标准定义如下。

### 1. 质量

一组固有特性满足要求的程度

注 1: 术语“质量”可使用形容词如差、好或优秀来修饰。

注 2: “固有的”(其反义是“赋予的”)就是指在某事或某物中本来就有的, 尤其是那种永久的特性。

质量是对满足程度的一种描述, 满足要求的程度的高低反映为质量的好坏。在比较质量的优劣时应注意在同一“等级”上进行比较。

### 2. 产品

过程的结果

注 1: 有下述四种通用的产品类别:

- 服务(如运输);
- 软件(如计算机程序、字典);
- 硬件(如发动机机械零件);
- 流程性材料(如润滑油)。

许多产品由不同类别的产品构成, 服务、软件、硬件或流程性材料的区分取决于其主导成分。例如: 外供产品“汽车”是由硬件(如轮胎)、流程性材料(如: 燃料、冷却液)、软件(如: 发动机控制软件、驾驶员手册)和服务(如销售人员所做的操作说明)所组成。

注 2: 服务通常是无形的, 并且是在供方和顾客接触面上至少需要完成一项活动的结果。服务的提供可涉及, 例如:

- 在顾客提供的有形产品(如维修的汽车)上所完成的活动;
- 在顾客提供的无形产品(如为准备税款申报书所需的收益表)上所完成的活动;
- 无形产品的交付(如知识传授方面的信息提供);
- 为顾客创造氛围(如在宾馆和饭店);

软件由信息组成, 通常是无形产品并可以方法、论文或程序的形式存在。

硬件通常是有形产品, 其量具有计数的特性。流程性材料通常是有形产品, 其

量具有连续的特性。硬件和流程性材料经常被称之为货物。

注 3: 质量保证主要关注预期的产品。

通常组织提供给顾客的产品是上述四种类别的部分或全部组合。

### 3. 过程

一组将输入转化为输出的相互关联或相互作用的活动

注 1: 一个过程的输入通常是其他过程的输出。

注 2: 组织为了增值通常对过程进行策划并使其在受控条件下完成。

注 3: 对形成的产品是否合格、不易或不能经济的进行验证的过程, 通常称之为“特殊过程”。

过程是质量活动的基本单元。过程由三个基本要素组成: 输入、输出和活动。

### 4. 不合格(不符合)

未满足要求。

合格与否的判定依据是“要求”——“明示的、通常隐含的或必须履行的需求或期望”, 这反映了质量的概念从原来的符合性提升为适用性。此外, 不合格的定义通用性很强, 不仅适用于硬件产品, 也适用于服务业, 还适用于过程质量或体系质量的评定。当产品的特性未满足顾客的要求时, 构成不合格品。当过程或体系未满足要求时, 构成不合格项。

### 5. 缺陷

未满足与预期或规定用途有关的要求

注 1: 区分术语缺陷和不合格是重要的, 这是因为其中有法律的内涵, 特别是与产品责任问题有关。因此, 术语“缺陷”应慎用。

注 2: 顾客希望的预期用途可能受供方信息的内容影响, 如所提供的操作或维护说明。

缺陷与不合格既有联系, 又有区别。两者都与未满足要求有关。但是不合格定义中所提“要求”是指“明示的、通常隐含的或必须履行的需求或期望”, 包含多方面内容, 当然也包括“与预期或规定用途有关的要求”。而缺陷仅是指未满足其中特定的(与预期或规定用途有关的)要求, 如与人身财产安全有关的要求。可见, “缺陷”是一种特定范围内的“不合格”。缺陷的判定往往需要具体情况具体分析, 有时需要第三方的介入。产品究竟是否存在缺陷还与社会整体的科技水平有关, 例如, 直到 2000 年才发现某种感冒药中含有对人体不利的 PPA 物质。

### 6. 质量管理

在质量方面指挥和控制组织的协调活动

注:在质量方面指挥和控制活动,通常包括制定质量方针和质量目标以及质量策划、质量控制、质量保证和质量改进。

质量管理是组织管理的重要组成部分,是组织围绕着质量而开展的各种计划、组织、指挥、控制和协调等所有管理活动的总和。质量管理必须与组织其他方面的管理如生产管理、财务管理、人力资源管理等紧密结合才能在实现组织经营目标的同时实现质量目标。

质量管理通常包括制定质量方针和质量目标以及质量策划、质量控制、质量保证和质量改进等活动。组织可以通过建立和健全质量管理体系来实施质量管理。

## 7. 质量策划

质量管理的一部分,致力于制定质量目标并规定必要的运行过程和相关资源以实现质量目标

注:编制质量计划可以是质量策划的一部分。

质量策划的目的在于制定并实现组织的质量目标。组织可以把八项质量管理原则作为质量方针制定的基础,然后依据质量方针所确定的框架,在不同的层次进一步细化制定出质量目标,同时确定为实现质量目标所需的措施(必要的运行过程)和必要条件(相关资源)。为实现组织的质量目标,策划应从建立质量管理体系入手,策划的结果会形成管理方面的文件,如质量手册和程序文件。为实现产品的质量目标,策划应从产品的实现过程入手,策划的结果可能会形成质量计划。应该认识到,质量策划强调的是一系列活动,而质量计划只是质量策划的结果之一,通常是一种书面的文件。

## 8. 质量控制

质量管理的一部分,致力于满足质量要求

质量控制的目的在于确保产品的质量能满足顾客、法律法规等方面所提出的质量要求(如适用性、可靠性、安全性等)。质量控制是以预防为主,同时结合检验把关,达到满意的效果。

## 9. 质量改进

质量管理的一部分,致力于增强满足质量要求的能力

注:要求可以是有关任何方面的,如有效性、效率或可追溯性。

质量改进的目的在于增强组织满足质量要求的能力。

## 10. 质量管理体系

在质量方面指挥和控制组织的管理体系

质量管理体系是一个把与质量有关的组织结构、过程和资源等组合起来的有

机整体,强调系统性和协调性。

## 11. 设计与开发

将要求转换为产品、过程或体系的规定的特性或规范的一组过程

注1:术语“设计”和“开发”有时是同义的,有时用于规定整个设计和开发过程的不同阶段。

2:设计和开发的性质可使用修饰词表示(如产品设计与开发或过程设计与开发)。

对硬件类产品而言,它是将顾客要求(包括法规等)确定的“质量要求”转换为规定的产品“特性”,体现在产品图纸和技术要求中。

质量管理体系的设计,是将对体系的要求转换为质量手册、程序文件、作业指导书等体系的规范。

## 12. 质量计划

对特定的项目、产品、过程或合同,规定由谁及何时应使用程序和相关资源的文件

注1:这些程序通常包括所涉及的那些质量管理过程和产品实现过程。

注2:通常,质量计划引用质量手册的部分内容或程序文件。

注3:质量计划通常是质量策划的结果之一。

质量计划是将某产品、项目或合同的特定要求与现行的通用程序相联结,通常引用质量手册或通用程序的适用内容。

# 1.2 质量管理简史

从国外工业发达国家的情况来看,质量管理的发展大体经历了质量检验、统计质量控制和全面质量管理三个阶段,现分别介绍如下。

## 1.2.1 质量检验阶段

质量检验的思想源远流长,但是作为一种科学的管理方式,则形成于20世纪初至20世纪30年代。20世纪初科学管理的创始人美国工程师泰勒(F.W. Taylor)提出了“科学管理理论”,创立了“泰勒制度”。泰勒主张计划与执行必须分开,因而需要有“专职检验”这一环节。与此同时,随着生产规模的扩大,对零件的互换性、标准化的要求也越来越高。因此,大多数企业都设置了专职部门和检验人员,负责产品(零部件)质量的检验和管理。那时,人们对质量管理的理解还只限于质量的检验,即依靠检验手段挑出不合格品,并对不合格品进行统计而已,管理的作用很薄弱。

这种“检验的质量管理”是以半成品、成品的事后检验为主的质量管理方式,对于防止不合格品出厂,保护用户利益和出厂产品质量是完全必要的,今后也必须做好。但它还存在如下缺点:(1) 解决质量问题缺乏系统的观念;(2) 只注重事后的结果,缺乏预防;(3) 它要求对成品进行 100% 的检验,在大批量生产情况下往往难以实现。

### 1.2.2 统计质量控制(SQC)阶段

统计质量控制(Statistical Quality Control)形成于 20 世纪 30 年代。1924 年,美国贝尔电话实验室的休哈特(W. A. Shewhart)应用数理统计提出了 SPC(Statistical Process Control, 统计过程控制)理论,其目的是预防生产过程中不合格品的产生,从理论上实现了质量管理从事后把关向事前预防的转变。1931 年,休哈特出版了《加工产品质量的经济控制》专著。1929 年,同一实验室的道奇(H. F. Dodge)和罗米格(H. G. Romig)提出了统计抽样检验原理和抽检表。他们是最早把数理统计引入质量管理领域的三位学者。但由于当时美国经济处于萧条时期,上述成果未得到广泛应用。

在二次大战期间,美国为了保证军火生产的质量,强制要求军工企业推行统计质量控制,保证并改善了军工产品的质量,效果显著。战后遂扩展到民用部门。20 世纪 50 年代初期,由于美国当时国际竞争压力很小,上述方法在美国逐渐消失。直到 20 世纪 80 年代,日本经济的迅猛发展,特别是日本质量管理所起的巨大作用,又一次引起世人对统计质量控制的重视。以美国为首的工业发达国家掀起了大力推行 SPC 的热潮。由于这一阶段应用数理统计来预防不合格品的发生,因此质量职能由专职检验人员转移给专业质量控制工程技术人员承担。这标志着事后检验的观念转变为预防质量事故的预防观念。

### 1.2.3 全面质量管理(TQM)阶段

全面质量管理的理论于 20 世纪 60 年代提出,至今仍在不断的发展和完善之中。20 世纪 50 年代以来,随着社会的发展,人们对产品质量的要求越来越高,不仅注重其性能,而且增加了耐用性、可靠性、安全性、经济性等要求;在生产和企业中广泛应用系统分析的概念,把质量问题作为一个系统工程加以综合分析研究;20 世纪 60 年代在管理理论中出现了“行为科学理论”,突出“重视人的因素”,“参与管理”,强调人在管理中的作用;“保护消费者利益”运动的兴起;随着市场竞争,尤其是国际市场竞争的加剧,各国都很重视“产品责任”和“质量保证”问题。由于上述情况的出现,仅仅依赖质量检验和运用统计方法是很难解决问题的。故从 20 世纪 60 年代起,许多企业开始推行全面质量管理。最早提出全面质量管理概念的是美国菲根堡姆(A. V. Feigenbaum)。1961 年,他发表了《全面质量管理》一书。该书强调质量职能应由公司全体人员来承担,质量管理应贯穿于产品产生、形成的全过程。

20 世纪 60 年代以后,全面质量管理的观点在全球范围内得到了广泛的传播,各国都结合自己的实践进行了创新。日本结合国情,提出全公司质量管理(company-wide quality control,简称为 CWQC)。全面质量管理的概念已逐步被世界各国所接受。

#### 1.2.4 21 世纪的质量管理

1994 年美国质量专家朱兰在美国质量大会上提出,21 世纪是质量的世纪。因此,进入 21 世纪,质量管理呈现出下列许多新的特点和趋势:

(1) 随着国际贸易的迅速扩大、产品和资本的流动日趋国际化和全球经济一体化,企业的竞争范围逐渐扩大,随之而来的是国际产品质量保证和产品责任问题。制定质量管理国际标准以促进国际技术经济合作、消除技术贸易壁垒成为世界各国共同的需要。国际标准化组织(ISO)提出的 ISO 9000 族标准已为许多国家所采用,它标志着现代质量管理向着规范化、系列化、科学化和国际化的新高度在不断地深入和发展。

(2) 自从 20 世纪 80 年代以来,全面质量管理的重点已经由制造向设计和售后服务两侧延伸。售后服务的质量和产品质量同等重要。必须以顾客为导向,不断加以改进使顾客满意(customer satisfaction)。甚至进一步提出促使顾客忠诚(customer loyalty)。

此外,服务贸易以远高于货物贸易的增长速度持续增长。朱兰说,他确信质量运动在未来的发展中的重点将从制造业转移到教育、医疗保健和政府管理等领域。

(3) 美国质量专家克劳斯比(Philip. B. Crosby)提出,质量就是一次成功,零的缺陷(Zero Defect, ZD)。零缺陷活动也称为 ZD 活动,是以消除工作缺陷为目的的。为此,企业逐渐发展出六西格玛管理。在此基础上,进一步的质量提高是由整条供应链(Supplier chain)来共同保证的,要求企业必须在充分挖掘内部资源的基础上,整合、利用外部资源,与顾客、供应商、分销商、合作者建立稳定的合作关系,坚持互利的原则。

(4) 人们对环境问题的重视以及可持续发展观的形成迫使人们重新审视全面质量管理。人们应当建立一种全新的生态质量观。

(5) 以微电子技术为中心的新技术革命,使社会进入信息化时代。计算机软件在社会经济生活中占据了日益重要的地位。为保证并提高软件质量,有一些软件企业通过贯彻 ISO 9000 族标准或进行 CMM(能力成熟度模型)认证,强调实施软件工程,采取在软件产品设计和开发阶段实行标准化,加强软件配置管理和技术状态管理等手段取得很好的效果。

(6) 在 21 世纪,各组织更加强调满足顾客的个性需求,通常采取“大规模定制”生产方式,形成以互联网、自动控制等技术为支撑的生产网络。同时,21 世纪是一个“以知识为基础,以互联网为沟通,形成全球化的发展”的时代。质量管理观念逐渐转化为组织的质量文化,质量管理的方针也从持续改进转化为持续创新。

总之,在 21 世纪,质量已成为全球共同关注的问题。

### 1.2.5 我国质量管理发展的回顾

我国自新中国成立至 1977 年所实行的质量管理基本上处于单纯的质量检验阶段。1978 年,以北京内燃机总厂为试点的机械工业系统开始推行全面质量管理,取得了初步成效,并于 1978 年开始了第一次“质量月”活动,刘源张研究员在北内建立了我国第一个质量管理小组,为推广全面质量管理作出了突出的贡献。1979 年成立了全国性质量管理群众团体——中国质量管理协会。在原国家经委的统一领导下,全国各地区、各部门有组织地开展了全面质量管理活动。1985 年,原国家经委颁布了《工业企业全面质量管理办法》,全面质量管理得到了普遍推广。

在我国推行全面质量管理的过程中,QC 小组发挥了重要作用。自 1979 年开始,每年都召开一次全国 QC 小组代表会议,推动了质量管理小组的发展。1987 年《质量管理小组活动管理办法》的颁布,标志着我国质量管理小组活动已经走上了制度化的轨道。

改革开放以来,我国质量总体水平稳中有升。但是还存在着许多问题,如(1)低档次、低附加值产品多,高新技术产品少;(2)生产过程中损失严重,浪费惊人;(3)假冒伪劣屡禁不止的状况尚未得到根本扭转;(4)消费者对产品质量问题的投诉长期居高不下;(5)产品质量抽查合格率不高等。为此,我国先后采取了许多质量保证和质量监督措施。1979 年,我国发布《优质产品奖励条例》,这是一项开展提高产品质量持久活动的重要措施。1985 年又开始了对产品质量的监督检查活动。1987 年,原国家经委发出了《关于在工业企业中推行“质量否决权”的通知》。1992 年开展了“中国质量万里行”活动。1996 年国务院颁布实施《质量振兴纲要》。1999 年召开了全国质量工作会议,会后发布了《国务院关于加强产品质量工作若干问题的决定》。2000 年,新修订的《产品质量法》颁布实施,这将从根本上提高我国产业的整体素质和企业的质量管理水平。

为了参与国际竞争,促进国内外贸易的发展,我国于 1989 年 8 月推出了 GB/T10300 系列国家标准系等效采用 ISO 9000 系列国际标准。为了与国际惯例接轨,原国家技术监督局于 1992 年 10 月决定等同采用质量管理和质量保证国际标准,颁布了 GB/T19000—ISO 9000 系列标准。1994 年 12 月 24 日,原国家技术监督局颁布了 GB/T19000—ISO 9000 族标准。2000 年 12 月 28 日,原国家技术监督局颁布了 GB/T19000 族等同采用 2000 版 ISO 9000 族标准,与时代的发展同步前进。

此外,我国还制订了一系列质量法律和法规,如《产品质量法》、《消费者权益保护法》、《反不正当竞争法》、《计量法》、《标准化法》等,使我国产品质量走上法制的轨道;推行并逐步完善我国的质量认证认可制度,建立了一个完整的质量认证认可体系。2001 年,中质协重新启动全国质量管理奖评审工作。2001 年 4 月,为适应社会主义市场经济的发展,国务院决定,将原国家质量技术监督局和原国家出入境检验检疫局合并,组建国家质量监督检验检疫总局,主管全国质量、计量、出入境商



品检验、出入境卫生检疫、出入境动植物检疫和认证认可、标准化等工作。同时成立中国国家认证认可监督管理委员会和国家标准化委员会,分别统一管理全国认证认可和标准化工作。所有这些工作,都极大地推动了我国质量管理工作的开展,提高了我国产品质量水平,增强了我国产品的市场竞争能力。

## 1.3 质量管理的基本理论

现代质量管理科学,吸收和借鉴了现代科学技术、管理科学等相关学科的内容,逐步形成本学科独特的理论,如质量检验理论、质量控制理论、质量监督理论、质量保证理论、质量经济学、质量文化等。现分别简介如下。

### 1.3.1 质量检验理论

质量检验的目的是确定过程质量是否符合规范或标准的要求。随着科学技术的飞速发展,质量检验也发生了很大的变化,如下所述:

(1) 智能计算机的应用,感官检验的进一步科学化、数量化理论的深入发展,使质量检验已不再局限在定量质量特性的范围内,非量化的感官性质量特性和检验逐步从经验判断向科学的计量方向发展。

(2) 检验已不再局限于生产过程的狭窄范围内,也不仅是对实物的检验,对工业产权、专有技术的评估已成为投资决策的重要问题。检验的经济性评价与技术性评价同样受到重视。

(3) 传统的检验方式主要是全检和抽检。在保证质量和节约检验费用的前提下,许多发达国家在生产过程中的无检验方式得到推广。

### 1.3.2 质量控制理论

本节内容请参阅本书第九章第9.2节。

质量检验对产品质量的保证着眼于事后把关,而质量控制则立足于事前的预防。从二十世纪二三十年代直到现在,质量控制理论已经发展得比较成熟。

1. 质量控制理论的基本出发点是产品质量的统计观点。

产品质量的波动是客观存在的。其原因是由于过程的质量因素(5M1E)本身存在着波动。可避免的异常因素(assignable cause)造成产品质量的异常波动,不可避免的偶然因素(random cause)造成产品质量的偶然波动。

统计理论表明,产品质量的偶然波动可用统计分布来描述,因此,通过研究和分析产品质量波动的统计规律,即分布的变化,可以区分出过程中存在的两类不同性质的质量因素,消除过程中的异常因素(或称系统因素),可以达到控制产品质量的目的。

2. 对产品质量的控制是通过控制过程质量来实现的。对过程质量的评价主

要有下列两方面:(1)过程是否稳定?所谓稳定就是过程中不存在异常因素;(2)过程能力是否充分,即过程所加工产品的质量特性值的波动是否被限定在规范或标准之内。

3. 过程质量控制的实施主要是借助于控制图以及过程的标准化活动来实现的。参见本书第九章。

4. 质量控制理论面临着新的挑战,同时也存在着新的机遇。

(1) 市场需求多样化,生产过程多品种小批量的现实,对于传统统计控制理论的应用提出了新的课题。对于 ppm 甚至 ppb 质量水平上的送检批,目前抽样验收的各种标准是难以实施的。但是,由于电子计算机等新型计算工具的出现,又给统计控制方法带来了新的应用领域。以往多元统计控制问题,其复杂的运算一般只停留在演示的水平上,而今已进入了实用阶段,对于更大规模的控制、预测及决策开拓了广阔的前景,参见本书第九章 9.6 节多元诊断理论。

(2) 控制手段和方法更为广泛。实时控制、反馈控制、前馈控制等从理论到实践都取得丰硕的成果。控制思想也不不断深化,由质量控制(SPC, Statistical Process Control)理论发展到质量诊断(SPD, Statistical Process Diagnosis)理论,这是个飞跃。在这方面,我国张公绪教授及其学生郑慧英博士、陈志强博士、卜祥民博士、刘艳永博士、孙静博士等作出了突出的贡献,参见本书第九章、第十章和本章参考文献[14]、[15]、[16]。

### 1.3.3 质量监督理论

#### 1. 质量监督的背景和对象

企业作为独立的商品生产者,其质量行为一直受到追求最大利润的影响。如何实现最大利润?是通过提高产品或服务的质量取得,还是通过制造低质量甚至是假冒伪劣产品来“获得”?因此,为了制止企业不正当的竞争行为,减少质量事故的发生,进行质量监督是十分必要的。

产品质量存在缺陷,可使消费者的人身和财产受到损害或对社会、环境造成危害,生产者和销售者应对此负责。这已是基本的国际惯例,也为各国法规所认同。对生产者和销售者来说,遵循质量监督法规,不仅是减少质量事故发生的重要条件,也是维护自身的需要。

在现代社会中,面对低劣商品的危害和虚假广告的误导,寻求保护是消费者的迫切需要。

综上所述,对生产者和销售者的监督和对消费者的保护是同一问题的两个不同方面。也是质量监督理论研究的对象。

#### 2. 质量监督体系

质量监督包括宏观和微观两个方面,即政府、社会监督和企业自我监督(约束),内容如下:

##### (1) 政府监督

- 质量的法制监督,
- 规范化:各种标准实施的监督,
- 职能部门的行政监督;

(2) 社会监督

- 产品质量评价社会化、公正化,
- 定牌、认证、许可证等评优治劣方法,
- 舆论监督;

(3) 买方市场机制的监督和制约

- “优胜劣汰”的竞争机制是对生产者和销售者的质量行为的最有力的监督,也是形成企业自我监督(约束)的前提;

(4) 消费者以及消费者协会(组织)的监督

总体上讲就是要建立下列四个层次的质量监督体系:

- 质量监督人格化,即任何与产品生产营销相关的人都要有质量责任;
- 质量监督职能化,即各类质量监督的政府与社会部门应有质量监督的责任;
- 质量监督社会化,即各类中介组织、销售者和消费者都有权监督产品质量;
- 质量监督法人化,即任何产品生产企业都要对质量负责。

### 1.3.4 质量保证理论

#### 1. 质量保证思想的形成和发展

质量保证的思想是随着市场性质的变化而产生和发展的。朱兰博士指出:“质量保证就是对产品的质量实行担保和保证。”在卖方市场条件下,不可能存在真正意义上的质量保证。在买方市场形成初期,质量保证也只停留在恢复产品质量的“三包(包退、包修、包换)”的水平上。顾客得到的补偿是有限的。在成熟的买方市场条件下,质量保证的内容和范围都发生了质的变化。质量保证已从传统的只限于流通领域的范围扩展到生产经营全过程,组织向顾客提供的不仅是产品和服务本身的信誉,而且是能够保证长期、稳定生产满足顾客全面质量要求的质量管理体系。质量保证实际上包括了“硬件”和“软件”两方面,已形成比较完整的质量保证理论、思想和方法。

#### 2. 质量保证理论的基本点;

(1) 质量保证的主体是组织,组织应根据顾客的需求变化,不断地提供质量保证;

(2) 组织提供的质量保证方式逐步从事后转变为事前,从把关剔出不合格到预防不合格品的产生;

(3) 质量保证从只着眼于目标(结果)的保证,逐步深化或扩大到过程的保证;

(4) 质量保证已不只限于产品本身的实物质量(固有特性),进一步扩展为产品

质量附加值、服务质量、价格、交货期等广义的质量赋予特性；

(5) 质量管理体系的建立和完善是实施质量保证的主要形式,对组织的质量管理体系要不断进行评审,认证,得到顾客或第三方的确认；

(6) 组织所提供的质量保证不仅仅是质量、价格,更重要的是赢得顾客信赖的组织形象和信誉；

(7) 质量改进是质量管理体系运行的驱动力,是组织实施质量保证的有力手段。应系统地、不断地寻找质量持续改进的潜力；

(8) 组织的质量保证,有赖于国家、社会质量保证体系的完备,也需要消费意识和心理逐渐成熟的消费者的促进；

(9) 质量保证是世界性的,以 ISO 9000 族标准为依据所建立的质量管理体系在全世界的推广就是其具体的表现。

### 1.3.5 质量经济学

质量经济学又称产品质量经济学,主要是研究产品质量与经济效益的相互关系及其规律的科学。

从经济学的角度看,质量问题主要包括两方面:一是在质量形成过程中,对所采用的各种生产、技术、管理等手段的经济分析和评价问题,即为了获得质量所投入资源的经济效益如何;二是如果质量未达到规定要求所造成的经济损失问题。

质量经济学的研究经过许多学者的努力,正在不断深入和扩展。

美国质量管理专家朱兰、菲根堡姆很早就提出运用财务管理的思想和工具进行质量管理学科的研究,并从经济角度透视质量问题,提出质量成本的概念及核算方法。

美国工程师麦尔斯(L. D. Miles)早在本世纪 40 年代就提出了价值工程、价值分析理论,深入地论述了产品功能与寿命周期成本之间的关系,在产品质量水平的设计、工艺改进等许多领域都取得了巨大的经济效益。

日本质量管理专家田口玄一独辟蹊径从质量损失角度来研究产品质量波动的问题,形成了全新的质量经济观念。

质量经济学的研究虽然已取得了相当多的成果,但还不够成熟,尚有待于完善和开拓。

## 1.4 方针目标管理

### 1.4.1 方针目标管理的理论与方法

#### 1. 方针目标的基本概念

2000 版 ISO 9000 族标准中,质量方针是指“由组织的最高管理者正式发布的该组织总的质量宗旨和方向”;质量目标是指“在质量方面所追求的目的”。

方针目标管理,是组织运用“激励理论”和系统工程原理充分调动和依靠全体员工的积极性和智慧,对确定并实现方针目标的策划(P)、实施(D)、检查(C)和处置(A)全部活动的系统管理。方针和目标结合在一起,组成了既有定性的导向性的方针,又有激励性的目标,为组织提供了明确的生产经营方向和具体的奋斗目标。

## 2. 方针目标管理的主要理论

### (1) 德鲁克(Peter Drucker)的目标管理理论

1956年,德鲁克在《管理实践》(The Practice of Management)中指出“企业的目的和任务必须转化为目标,每个企业管理人员或工人的分目标就是企业总目标对它的要求,同时也是这个企业管理人员或工人对企业总目标的贡献。”“企业管理人员对下级进行考核和奖惩也是依据这些分目标。”

### (2) 激励理论

早期的激励理论有:需要层次理论,X、Y理论等。需要层次理论是马斯洛(A. H. Maslow)在《激励与个人》(Motivation and Personality)中提出的,他指出人的需要具有层次性,即生理需要—安全需要—社会需要—尊重需要—自我实现需要。因此,组织的领导层应该以满足员工高层的“成就欲”和“自我实现”的需要为依据来制定组织的经营目标。

X、Y理论是麦克格雷戈(Douglas McGregor)在《企业的人事方面》(The Human Side of Enterprise)中提出的有关人性的两种相反的观点。X理论假设较低层次的需要支配着个人的行为;Y理论假设较高层次的需要支配着个人的行为,而且麦克格雷戈认为Y理论的假设比X理论的有效。因此,经营管理的课题必须是“使个人面向组织目标而努力,也就是准备好为完成本人目标所需的条件与工作环境。”

### (3) 系统理论

最早从系统的角度来看待管理的是美国新泽西州贝尔电话公司的总经理巴纳德(C. I. Barnard)。按照系统理论,人造系统具有目的性,系统的结构具有层次性。组织的经营管理系统就是一个具有多项目的人造系统,它在有限的资源和职能机构的配合下,实现规定的质量、品种、成本、利润等指标。当组织规划这个复杂的大系统时,就要依据其结构的层次性来将目标逐层分解。经统一规划和协调后,得以实现系统整体最优。

## 1.4.2 方针目标的制定

### 1. 制定原则

2000版ISO 9000族标准指出,最高管理者可以运用质量管理的八项原则来制定并保持组织的质量方针和质量目标。标准还提示最高管理者,在制定质量方针时应考虑以下几个方面:

- (1) 为使组织成功,将来所需进行的改进的程度和类型;
- (2) 预期或期望的顾客满意程度;

- (3) 组织成员的发展;
- (4) 其他相关方的需求和期望;
- (5) 超出 ISO 9001 要求所需的资源;
- (6) 供方和合作者的潜在贡献。

## 2. 制定的依据

制定方针目标时,最高管理者应综合考虑内、外部的因素,具体包括:

### (1) 外部因素:

- ① 有关的法律、法规;
- ② 社会经济发展动向和有关部门的宏观管理要求;
- ③ 国内、外同行业的发展水平;
- ④ 供方和合作者的潜在贡献;
- ⑤ 其他相关方的需求、期望和满意程度;
- ⑥ 预期或期望的顾客满意程度。

### (2) 内部因素:

- ① 组织的中长期发展规划和经营目标;
- ② 上一年度的目标完成状况;
- ③ 组织内现有人员的发展;
- ④ 组织现有的产品性能和过程业绩;
- ⑤ 组织资金结构、贮备及流通状况;
- ⑥ 组织现有的基础设施;
- ⑦ 组织的前期遗留问题、现有的管理水平及自我评定的结果。

## 3. 制定的要求

制定质量方针应当能满足以下要求:

- (1) 与最高管理者对组织未来的设想和战略相一致;
- (2) 使质量目标在整个组织内部得到理解和贯彻落实;
- (3) 表明最高管理者对质量能提供足够资源保障的承诺。
- (4) 在最高管理者的领导下,有助于促进整个组织对质量的承诺;
- (5) 包括与顾客和其他相关方需求和期望满意程度相关的持续改进;
- (6) 以有效的方式表述,以高效的方式沟通。
- (7) 质量方针的表述不应片面追求用语的简练和优美,而应以能在整个组织内得到理解为制定的原则。

最高管理者应确保在组织的相关职能和层次上建立质量目标,质量目标包括满足产品要求所需的内容。这些目标应当是可度量的,以便管理者进行有效和高效率地评审。在建立这些目标时,管理者还应当考虑:

- (1) 组织以及有关市场当前和未来的需求;
- (2) 管理评审的相关结果;
- (3) 现有的产品性能和过程业绩;

- (4) 相关方的满意程度;
- (5) 自我评定结果;
- (6) 水平对比,竞争对手的分析,改进的机会;
- (7) 达到目标所需的资源。

需要指出,组织在制定方针目标时,一定要同时制定措施,以保证方针目标的实现。即需要从实际出发,全面分析和考虑可能影响目标实现的种种不利因素,然后制定相应对策和具体的保证措施。这里,上一级的目标和保证措施又是下一级的目标。通过这种层层保障来完成预定的总目标。

#### 4. 制定的程序

组织的总目标是在市场调研和收集组织过去、现在的大量信息资料的基础上,经过反复协商、层层审议而最终确定的。

### 1.4.3 方针目标的展开

#### 1. 展开的概念

方针目标的展开,就是各职能部门、生产单位以至职工个人,根据组织的方针目标,明确自己的地位和责任,提出本单位、本部门以至个人的目标,并制定保证其实施的具体措施。

#### 2. 展开的方法

方针是组织行动的方向和采取的原则,是组织全体人员都要贯彻实施的,一般不必再展开。因此,这里只介绍目标的展开。目标的展开可以分为纵向展开、横向展开和斜向展开三种,现分别介绍如下:

(1) 纵向展开:即决策层将所确立的总目标逐级向下级各部门进行展开。

内容主要是回答“5W1H”的问题,单位或个人应完成的目标项目与目标值、负责人、完成时间以及应采取的措施等。

(2) 横向展开:是把决策层的目标值向本层级各职能部门或人员展开,且主要是对本层级对策措施的展开。

(3) 斜向展开:是对那些在纵向展开中本部门不能解决的问题点的展开。这种展开是以纵向展开的主要问题点作为目标项目,由关联的业务科室制定措施,落实负责人,规定完成时间。

### 1.4.4 方针目标的实施

实施(PDCA的D阶段)是方针目标管理的关键,主要涉及到以下几方面内容:

#### 1. 方针目标的实施计划

组织应将年度目标细化分解、展开落实,编制月度实施计划,明确每项措施的责任者和完成时间,然后由综合部门协调各部门的月计划,并编制整个组织的月份目标实施计划,报经最高管理者审批同意后,下发实施。

#### 2. 方针目标的动态管理

方针目标的动态管理就是在实施过程中对方针目标的实时控制和调整,其过程分为:检测、分析、决策、实施的循环过程。

#### 1.4.5 方针目标管理的考核与评价

##### 1. 目标管理的考核

组织的目标必须是可考核的。考核是动态管理和检查阶段的一部分,它侧重于对员工的前期成果和贡献进行核定,施以奖惩,并调整组织下一时期的目标。

考核可以按月或按季进行。对不同层次部门的考核,分别由其相应的上级部门进行考核。主要有三个层次:对个人的考核,对基层单位的考核,对职能部门的考核。

##### 2. 目标管理的评价

评价属于总结阶段的内容,它侧重于对计划期完成成果的审查评定,以此来评价各责任部门和个人实现方针目标的绩效和过失,并给以相应的奖惩。

在评价过程中,要综合考虑目标的实现程度和完成目标的困难复杂程度及负责人的主观努力程度。可以采用打分法或 ABC 等级法。在有些目标的实施过程中,会遇到许多困难,有些员工尽管很努力,但仍不能顺利实现目标。这就要求在综合评价中增加“目标的困难复杂程度”和“过程执行中的努力程度”,还要加一个修正值。即

综合评价结果 = 目标的达到程度 + 目标的困难复杂程度 + 过程执行中的努力程度 + 修正值

#### 1.4.6 方针目标管理的诊断

##### 1. 方针目标管理诊断概念

方针目标管理诊断,是企业诊断的原理和方法在方针目标管理中的具体应用,其含义是:“对企业目标的制定、实施、检查、处理几个循环阶段的效果,进行考核,提出改进建议,优化方针目标管理”。

##### 2. 方针目标管理诊断的基本内容

包括:方针目标计划(制定、展开)诊断、方针目标实施诊断、方针目标考核与评价诊断、方针目标管理总结诊断。

### 1.5 标 准 化

无规矩不成方圆。对于一个企业、一种产品,规矩就是标准。标准是规范企业产品生产和服务的量规,也是促进企业科学管理、提高竞争力的重要手段。特别是我国入世以后,标准和标准化的作用显得越来越重要,我们必须迅速提高我国标准化的水平,以推动产品质量的提高,增强产业的竞争力。



### 1.5.1 世界贸易组织与贸易技术壁垒协定(WTO/TBT)

#### 1. WTO/TBT 简介

##### (1) WTO/TBT 的由来

为了促进贸易自由化和便利化,世界贸易组织(WTO)的前身关税及贸易总协定(GATT),从1949年以来开展了八轮多边贸易谈判。谈判的中心内容是大幅度削减关税,取消国际贸易中的歧视待遇,消除各种非关税壁垒。八个回合的谈判成效显著,1998年,发达国家工业制成品加权关税降低3.8%,中等发达国家为6.0%,发展中国家为12%。然而随着时代的进步、经济全球化和高科技迅速发展的要求,非关税壁垒成为贸易保护主义的主要手段。《贸易技术壁垒协定》(简称TBT)就是为消除影响贸易的技术壁垒而制订的一套各国应遵守的基本要求。《贸易技术壁垒协定》草案于1979年4月12日在日内瓦签订,是东京回合的重大成果之一。《贸易技术壁垒协定》的最终案于1994年3月15日形成并出版。

##### (2) WTO/TBT 的内容

WTO/TBT主要由1个序言、15个条款和3个附件组成,包括“技术法规和标准”,“合格评定”,“信息和协助”,“对发展中国家的特殊和有差别的待遇”,“机构、磋商和解决争端”,“最后条款”六方面的内容。

#### 2. 技术法规

(1) 含义:是指强制执行的产品特性规定或相应加工和生产方法,包括可适用的行政管理规定。

(2) 内容:技术法规所包含的内容主要涉及安全、防止欺骗、保证人身健康和生命、保护动植物的生命和健康、保护环境等。

##### (3) 形式

① 卫生标准:是对大气、水、操作空间中有害物质和物理因素的限量。对食品、生活用品、土壤中的有害物质和菌类的限量规定,是强制执行的标准。

② 安全标准:一般由政府用法律或法令的形式将其公布为强制性标准,或直接由政府来制定安全标准或法规,由政府授权标准化机构或其他权威机构进行检查。

③ 劳保标准:实际上是安全标准的一部分。国际劳工组织十分重视劳动保护工作,制定了一系列劳动保护法规。

④ 环保标准:是环境保护法规的重要组成部分,是指为保护人体健康、社会物质财富和维持生态平衡,对大气、水、土壤等环境保护方面的需要所制定的标准。

⑤ 无线电干扰技术标准:是指用法律、标准和规章加以控制危及人身安全和 社会其他事业的无线电干扰。

⑥ 交通运输规则:各种国际性机构对公路标志、海洋运输、铁路运输和航空运输等方式都制定了一系列统一的规范和标准。

#### 3. 标准

(1) 含义:是为了通用或反复使用的目的,由公认机构批准的非强制性文件。

标准规定了产品或专门生产方法的规则,指南或特性。标准也可以包括或是指专门用于产品、加工或生产方法的术语、符号、包装标志或标签要求。

(2) 内容:工业发达国家对于许多产品规定了极为严格的技术标准,其中,既有生产标准,也有试验、检验方法标准和安全卫生标准;既有工业品标准,也有农产品标准。随着竞争的加剧,发达国家有意识地利用标准作为竞争的手段,往往把标准中的技术差异作为贸易保护主义的措施。有些标准的规定甚至是经过精心策划并专门用于针对某个国家的出口产品。TBT 协议中主要就标准的制定、批准和实施,作了较为详细的说明。

#### 4. 合格评定程序

(1) 含义:是指直接或间接来确定是否达到技术法规或标准的相关要求的任何程序(注:ISO/IEC 中规定合格评定程序包括,取样、测试和检查程序;评估、验证和合格保证程序;注册、认可和批准以及它们的综合的程序。)。合格评定既能促进国际贸易的发展,也能成为国际贸易发展的障碍。只有能被各国所接受的合格评定才能促进国际贸易的发展。

#### (2) 要素

合格评定程序的要素包括:制造商就其产品或所用质量保证体系的合格声明;有关产品或所用质量保证体系信息的说明或有效性;产品或所用质量体系合格标志的应用;测试实验室、检验机构或认证机构的认可;产品的定型核准、批量核准或整体核准,或所用质量保证体系的核准;最佳制造规范;最佳实验室规范;最佳现场诊断规范。

#### 5. 标志、标签制度

标志、标签是商品上必要的文字、图形和符号,包括:商品名称、商标或识别标志、型号、型式或标记等。许多国家为了保护消费者的利益,要求尽量向消费者提供产品质量和使用方法的信息,因而,对进口商品特别是消费品标签做了严格的规定。

条码也是一种可供电子设备识别的符号标签系统。使用这一系统,能使物品符合市场自动扫描结算的要求,为实现快速、有效的自动识别、采集、处理和交换信息提供了保障,为商品进入超级市场提供了先决条件。

6. 法制计量单位的规定:许多国家的商品能否顺利的进行双边或多边贸易,在很大程度上取决于是否遵循国际法制计量规定,因此要求各国必须遵守国际法制计量规定。

#### 7. WTO/TBT 与标准化的关系

世界贸易组织为了减少和消除利用标准手段设立贸易壁垒的问题,经过多年谈判,签署了 TBT 协议,所有 WTO 成员都必须承认和遵守这个协议。其原则如下:

(1) 协调原则。为了在尽可能广泛的基础上对技术法规进行协调,各成员在他们资源允许条件下,应尽可能通过适当的国际标准化团体,充分参与他们已采用的、或准备采用的技术法规覆盖的产品国际标准的制定工作;为使合格评定程序在

尽可能广泛的基础上协调一致,各成员在其资源允许的条件下尽可能参加相关国际标准化机构制定合格评定指南和建议工作。

(2) 透明度原则。透明度原则是指各成员国对贸易有影响的技术法规、标准和合格评定程序应该公开公布,其他成员应及时获得充分信息。制定或修订此类技术法规应早期通知,简要说明目的,对于其他成员国的意见应进行讨论和予以考虑。为此,各缔约方均应按贸易技术壁垒的要求建立通报和咨询程序,并建立“WTO/TBT 咨询点”。

(3) 采用国际标准和国际准则的原则。WTO/TBT 协定充分肯定了国际标准和国际合格评定体系在提高生产效率和便利国际贸易进行方面所做的重要贡献。因此,规定凡有国际标准和国际准则时,各缔约方在制定技术法规和合格评定程序时,必须遵守或履行这些国际标准和国际准则,以此为基础。除非由于本国的地理、气候因素或技术基础原因,才允许与国际标准、准则有差异或不采用。

(4) 咨询制度。为了回答其他成员方的合理询问和提供有关文件资料,每一成员方的“WTO/TBT 咨询点”要严格执行世界贸易组织所规定的咨询制度。

(5) 等效相互承认原则。只要其他成员的技术法规能够实现与本国法规相同的目标即使这些法规与本国的不同,成员也必须积极考虑这些法规为等效技术法规。

### 1.5.2 《卫生与植物卫生措施协议》简介

#### 1. 《卫生与植物卫生措施协议》的背景

《卫生与植物卫生措施协议》通常简称《SPS 协议》。它既是为改善人类和动物健康以及保护生态环境所制订的国际贸易规范,又是对贸易商品中的动植物及其产品使用卫生和植物检疫措施的国际贸易准则,其目标是最大限度减少对贸易的不利影响和促进贸易商品使用卫生和植物检疫措施的标准化和国际化。乌拉圭回合农业问题的谈判是《SPS 协议》产生的直接原因。在农产品非关税措施关税化后,人们担心一些国家可能会更多地和不合理地使用卫生和植物卫生检疫措施形成新的非关税壁垒,《SPS 协议》就是为了消除这种威胁而制定的。当前,SPS 正成为国际贸易的热点。这是因为在经济发展和社会进步的同时,人类和动植物却面临着更多的安全挑战,如疯牛病、禽流感、口蹄疫、果蝇和艾滋病等等。有些病虫如松树线虫,一旦由出口产品带入进口国,很容易在进口国领土上“定居”繁衍,造成危害。于是目的明确、用意良好的 SPS 措施产生并在国际贸易中得到了应用。

#### 2. 《卫生与植物卫生措施协议》的基本内容

《SPS 协议》共有 14 个条款和 3 个附件,主要包括:制定协议的目的;成员方的权利和义务;卫生和植物卫生保护水平的确定、协调和风险评估;透明度;控制、检验和批准程序;技术援助;特殊差别待遇、协商和纠纷处理等。

#### 3. 成员方的权利和义务

世贸组织成员实施 SPS 措施时要遵守非歧视原则,即不能在情形相同或相似

的成员,包括本国与其他 WTO 成员之间造成任意或不合理的歧视,尤其是在有关控制、检验和批准程序方面,要给予外国产品国民待遇。凡符合协议相关规定的措施应以科学原理为依据,没有充分科学依据的 SPS 措施就不再实施或停止实施。

#### 4. 标准确定

各成员应根据现行的国际标准制定本国的 SPS 措施。国际标准通常以其他相关国际组织,特别是食品法典委员会(CAC)、世界动物卫生组织(OIE)和《国际植物保护公约》(IPCC)秘书处来制定相应的食品安全、动物卫生和植物卫生方面的标准为准。如果出口成员对出口产品所采取的 SPS 措施,客观上达到了进口成员适当的 SPS 保护水平,那么,进口成员就应当接受这种 SPS 措施。

#### 5. 风险评估

协议规定各成员在制定 SPS 措施时应以有害生物风险分析为基础,同时考虑有关国际组织制定的有害生物风险分析技术。在做有害生物风险分析时要考虑:可获得的科学依据;有关加工工序和生产方法;有关检验、抽样和检测方法;检疫性病虫害的流行;病虫害非疫区的存在;有关生态和环境条件;检疫或其他检疫处理方法;以及有害生物的传入途径、定居、传播、控制和根除有关有害生物的经济成本等。

#### 6. 法规的透明度

各成员应确保及时公布所有有关 SPS 措施的法律和法规。除紧急情况外,各成员应允许在 SPS 措施法规的公布和生效之间留出一段合理的时间间隔,以便让出口成员,尤其是发展中国家成员的生产商有足够的时间调整其产品和生产方法,以适应进口成员的要求。

#### 7. 技术援助

各成员同意以双边的形式或适当的国际组织向发展中国家提供技术援助,包括:加工技术、科研和基础设施领域、建立国家机构、咨询、信贷、捐赠、设备和培训等。当发展中国家的出口成员为满足进口成员的 SPS 要求而需要大量投资时,后者应提供技术援助。各成员应鼓励和便利发展中国家成员积极参与有关国际组织。

#### 8. 发展中国家享有的特殊和差别待遇

在制定和实施 SPS 措施时,各成员应考虑发展中国家的特殊需要,如果分阶段采用新的 SPS 措施时,应给予发展中国家成员有利害关系的出口产品更长的时间去符合进口成员的 SPS 措施要求,从而维持其出口机会。发展中国家可推迟实施《SPS 协议》。

#### 9. 协商和纠纷处理

为监督 WTO 成员执行《SPS 协议》的各项规定,并为其提供一个经常性的磋商场所或论坛,推动实现各成员采取协调一致的 SPS 措施这一目标,WTO 设立了 SPS 措施委员会。WTO 成员间有关 SPS 问题的争端,应通过 WTO 的争端解决机制解决,如涉及科学或技术问题,则可咨询技术专家或有关的国际组织。

### 1.5.3 标准和标准化

### 1. 标准和标准化的概念

GB/T3935.1—1996《标准化和有关领域的通用术语第一部分:基本术语》对标准和标准化作了如下定义:

(1) 标准:为在一定的范围内获得最佳秩序,对活动或其结果规定共同的和重复使用的规则、导则或特性的文件。

(2) 标准化:为在一定的范围内获得最佳秩序,对实际的或潜在的问题制定共同的和重复使用的规则的活动。

### 2. 我国标准化工作的进展、成就及存在问题

#### (1) 进展

① 1949年,成立了中央技术管理局,下设标准规格处。

② 1957年,成立了中国国家科学技术委员会标准局,负责全国标准化工作;并在这一年加入国际电工委员会。

③ 1962年,国务院颁布《工业产品和工程建设技术标准管理办法》。1963年,中国国家科学技术委员会颁布国家标准、部标准、企业标准的统一标准代号、编号等规定;中国第一次全国标准计量工作会议召开,并通过了中国第一个标准化十年发展规划。

④ 1972年,成立了国家标准计量局,并撤销了国家科委标准局。

⑤ 1982年,将国家标准总局改名为国家标准局,并召开了第一次全国采用国际标准工作会议。

⑥ 1988年,颁布《中华人民共和国标准化法》,并成立了国家技术监督局。1990年,颁布《中华人民共和国标准化法实施条例》;国家技术监督局发布国家标准、行业标准、地方标准、企业标准管理办法。1993年,国家技术监督局发布《采用国际标准和国外先进标准管理办法》,颁布《采用国际标准产品标志管理办法》实行采标产品标志制度。

⑦ 1998年,成立了国家技术监督局,并于2000年与国家进出口商品检验局合并成立了国家质量监督检验检疫总局。

2001年,国务院组建了中国国家标准化管理委员会。

#### (2) 成就

目前,我国已建立了一套由国家标准、行业标准、地方标准和企业标准组成的标准体系,基本上满足了国民经济和社会发展的需要。截止2000年底国家标准数量已达19278项。

#### (3) 存在问题

标准制定周期太长;标准水平偏低,标龄太长;采用国际标准和国外先进标准的比例低,标准研究工作弱,特别是高新技术标准研究几乎是空白。

### 1.5.4 标准的分类

根据不同的要求,可以将标准分成不同的类别。《标准化法》和《标准化法实施

条例》规定标准的分类如图 1.5-1 所示：

1. 按性质分类

(1) 技术标准：指对技术活动中需要统一协调的事物制定的标准。

技术标准是企业进行生产技术活动的基本依据，是企业标准化体系的核心。

技术标准标准化的对象主要是物质的（如产品、材料、设备），也包括非物质的。（如技术规程、方法、图形、符号）。通常可细分为：基础标准、产品标准、方法标准和安全、环保与工业卫生标准。

(2) 管理标准：是对标准化领域中需要协调统一的管理事项所制定的标准。

管理标准是企业管理现代化、科学化的基础；是确保产品或服务提高的必不可少的条件，也是企业整体素质的重要体现。

管理标准的对象是事。通常可分为技术管理、生产管理、质量管理、营销管理、财务审计管理等方面的标准。

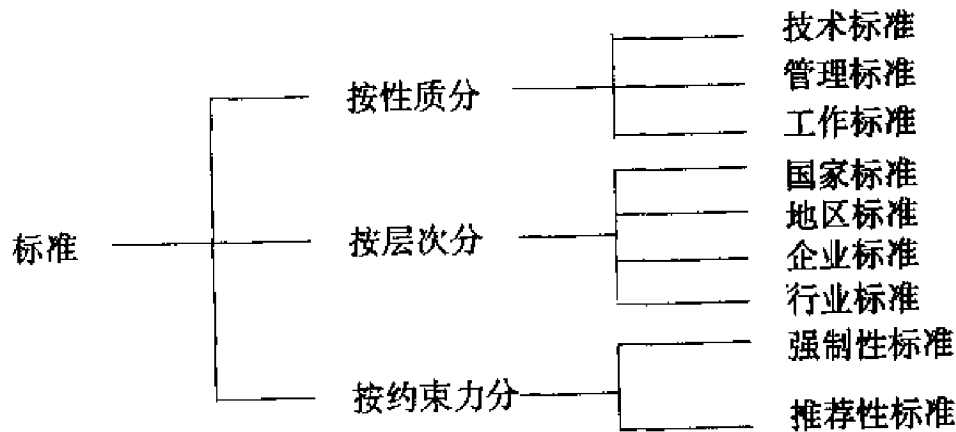


图 1.5-1 标准分类图

(3) 工作标准：对标准化领域中需要协调统一的各类人员的工作事项所制定的标准。

工作标准是使企业职工职责分明，提高劳动效率和工作（操作）水平的基础，是保证技术标准和管理标准贯彻实施的必要条件。

工作标准的对象是人，企业工作标准可分为：各类人员的岗位工作标准和工作程序标准。

2. 按层次分类

(1) 国家标准：是指由国家的官方标准化机构或国家政府授权的有关机构批准、发布，在全国范围内统一和适用的标准。

我国的国家标准是指对全国经济技术发展有重大意义，必须在全国范围内统一，并由国务院标准化行政主管部门编制计划、组织草拟、统一审批、编号和发布。

我国的强制性国家标准代号为“GB”，推荐性国家标准代号为“GB/T”，其编号

由国家标准的代号、国家标准发布的顺序号和国家标准发布的年号三部分组成。

(2) 行业标准:我国的行业标准是指在全国性的各行业范围内统一的标准。由国务院有关行政主管部门编制计划、组织草拟、统一审批、编号发布,并报国务院标准化主管部门备案。行业标准是对国家标准的补充,在相应国家标准实施后,自行废止。

行业标准代号由国务院标准化行政主管部门规定。目前,国务院标准化行政主管部门已批准发布了 58 个行业标准代号。如:JB、HB 等。

(3) 地方标准:我国的地方标准是指,在某个省、自治区、直辖市范围内需要统一的标准。

对没有国家标准和行业标准而又需要在省、自治区、直辖市范围内需要统一的工业产品的安全和卫生要求,可以制定地方标准。制定地方标准的项目,由省、自治区、直辖市人民政府标准化行政主管部门确定。地方标准由省、自治区、直辖市人民政府标准化行政主管部门编制计划、组织草拟、统一审批、编号发布,并报国务院标准化行政主管部门和国务院有关行政主管部门备案。地方标准不得与国家标准、行业标准抵触,在相应的国家标准或行业标准实施后,地方标准自行废止。

地方标准的代号,“DB”加上省、自治区、直辖市行政区划代码前两位数、再加斜线、顺序号和年号四部分组成。

(4) 企业标准:是指企业所制定的产品标准和在企业内需要协调、统一的技术要求和管理工作要求所制定的标准。

企业生产的产品在没有相应的国家标准、行业标准和地方标准时,应当制定企业标准,作为组织生产的依据。或者在有相应的国家标准、行业标准和地方标准时,国家鼓励企业在不违反相应强制性标准的前提下,制定充分反映市场、用户和消费者要求的,严于国家标准、行业标准和地方标准的企业标准,在企业内部适用。

企业标准由企业制定,由企业法人代表或法人代表授权的主管领导批准、发布,由企业法人代表授权的部门统一管理。

### 3. 按约束力分类

(1) 强制性标准:是技术法规的一部分,它是指具有法律属性在一定范围内通过法律、行政法规等强制手段加以实施的标准。

按照《中华人民共和国标准化法实施条例》规定,强制性标准的范围包括:药品标准、食品卫生标准、兽药标准;产品及产品生产、储运和使用中的安全、卫生标准,劳动安全、卫生标准,运输安全标准;工程建设的质量、安全、卫生标准及国家需要控制的其他工程建设标准;环境保护的污染排放标准和环境质量标准;重要通用的技术术语、符号、代号和制图方法;通用的试验、检验方法标准;互换配合标准;国家需要控制的重要产品质量标准。

强制性标准可分为全文强制和条文强制两种形式:标准的全部内容需要强制时,为全文强制形式;部分技术内容需要强制时,为条文强制形式。

(2) 推荐性标准:是指生产、交换、使用等方面,通过经济手段调节而自愿采用

的一类标准,也叫做自愿性标准。

这类标准未经采用,对单位不具有约束力。但是一经接受,或运用于商品、合同中,便具有法律上的约束力,必须严格遵照执行。

### 1.5.5 标准体系

1. 根据 GB/T 13016-95《标准体系表编制原则和要求》,标准体系是指一定范围内的标准按其内在联系形成的科学有机整体。这里,“一定范围”可以是一个企业,也可以是一个专业,或一个地区、国家;“内在联系”是在某企业或专业范围的所有标准之间根据客观需要而形成的彼此互相联系、互相适应、互相补充那样的相互关系;“科学有机整体”是指该范围内所有标准能相互衔接、配套、不重复、不矛盾,能最合理最大限度地满足技术发展和科学管理的需要。

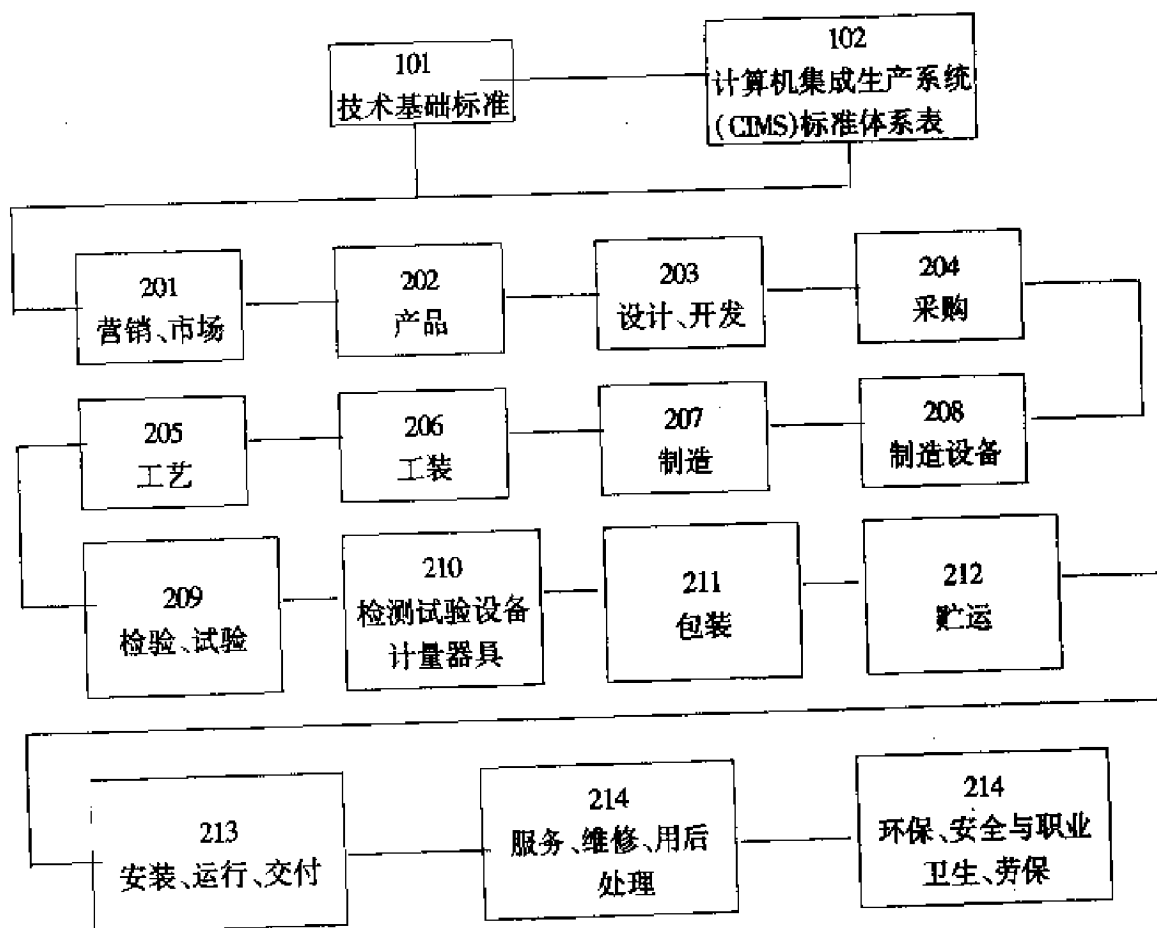


图 1.5-2 技术标准体系基本组成图

### 2. 标准体系结构图

这里主要讲述企业标准体系结构图。企业标准体系,是企业所需的各类标准所形成的统一整体,它包括企业生产技术环节、各职能部门、各生产阶段,都要建立



所需的技术标准、管理标准、工作标准,来满足企业技术进步、加强管理、提高质量、降低消耗的需要。技术标准体系图、管理标准体系图和工作标准体系图示如图 1.5-2,图 1.5-3,图 1.5-4。参见 GB/T 13017—1995。

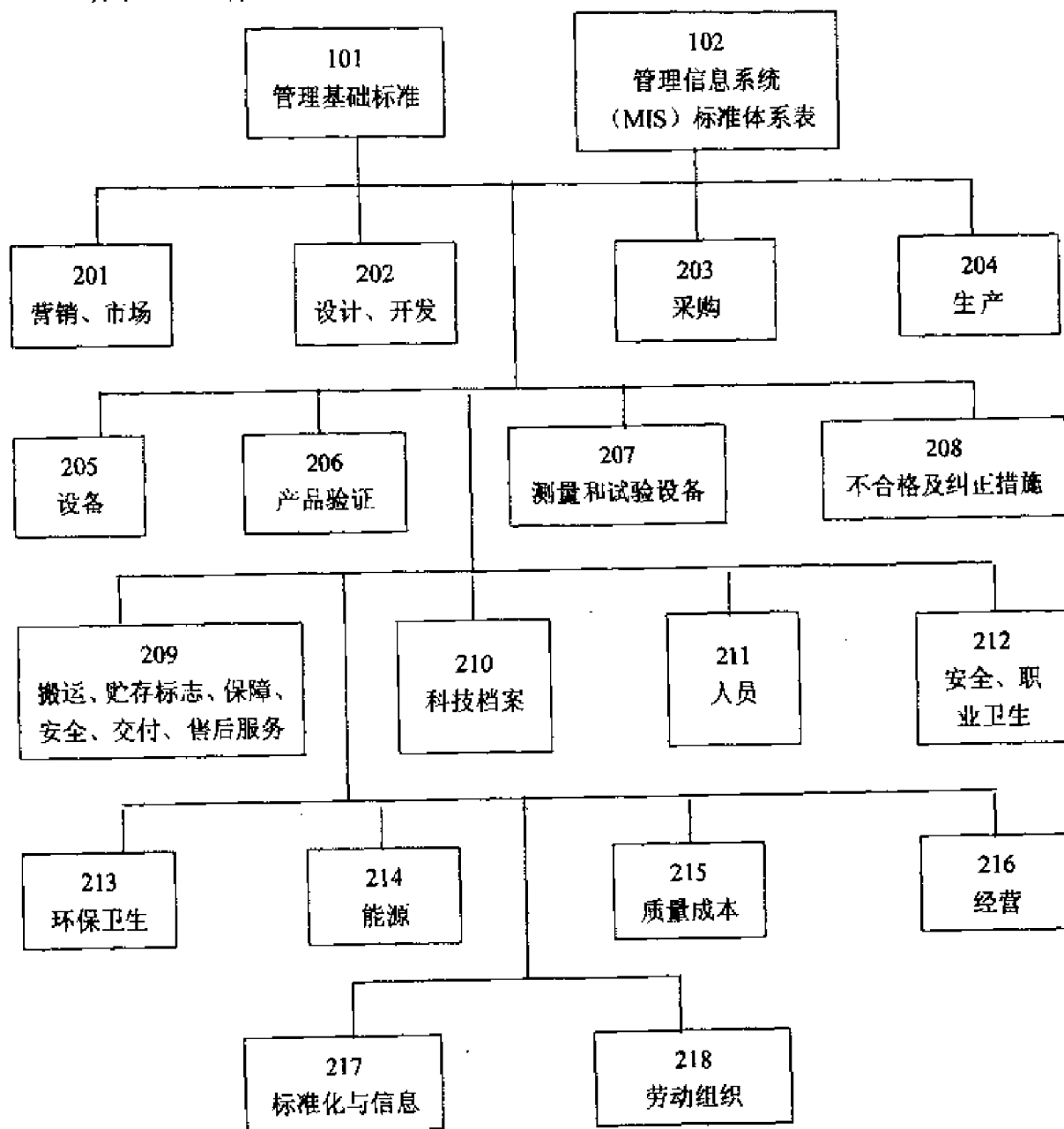


图 1.5-3 管理标准基本组成图

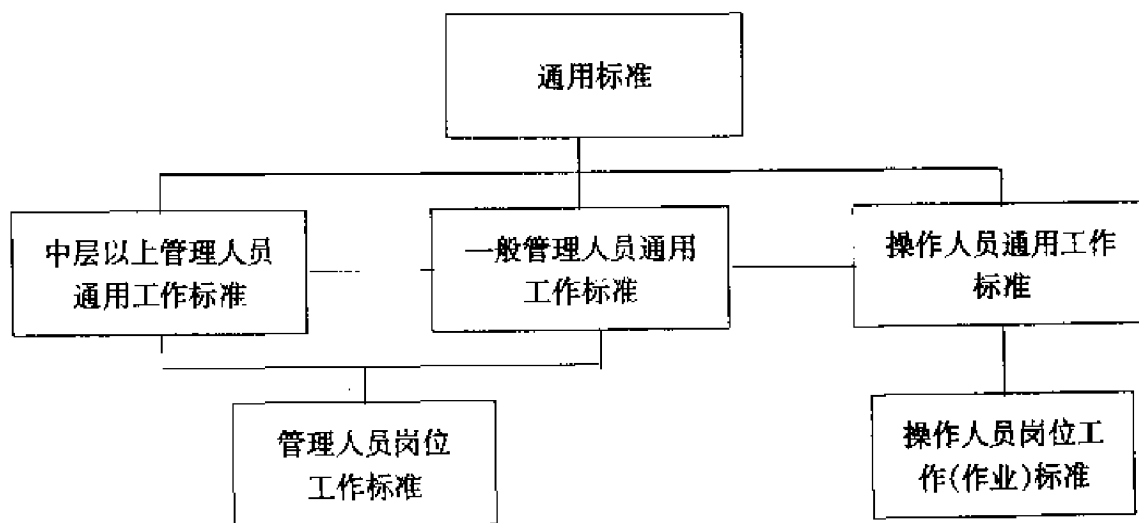


图 1.5-4 工作标准体系基本组成图

### 3. 企业标准体系表

企业标准体系表以技术标准为主体,包括管理标准和工作标准。图 1.5-5 为全国标准体系表总结构图。企业应采用和贯彻表中所列的有关标准编制本企业的体系表。

#### (1) 编制企业标准体系表的原则

要编制成功一份企业标准体系表,除了应遵循 GB/T 13016—1995《标准体系表编制原则和要求》中提出的全面、成套、层次恰当和划分明确三个原则外,还应遵循下列三个原则:

##### ① 科学先进原则

即要求企业标准体系表上表述的标准不仅能正确归类,而且能正确反映各类标准之间的内在联系。同时,这些标准都应是现行有效,且符合企业生产经营发展的客观需要。

##### ② 简便易懂原则;

##### ③ 制定标准应当做到相关协调配套;

##### ④ 制定标准应当有利于促进对外开放和国际经济技术合作;

##### ⑤ 积极采用国际标准和国外先进标准;

⑥ 标准实施后,制定标准的部门应当根据科学技术的发展和经济建设的需要适时进行复审,以确定现行标准继续有效或者予以修订、废止。

##### ⑦ 实用有效原则

就是要求企业标准体系表符合企业实际情况,可以迅速组织实施,并在实施后产生较明显的经济效益。

国家标准体系表第一层标准  
全国通用综合性基础标准体系

分类号	内容名称	分类号	内容名称
A00	标准化法规和通用管理标准体系表	A42/43	通用理化分析标准体系表
A00	质量管理(非数学方法)标准体系表	A51	量和单位标准体系表
A02	动作和时间分析标准	A80/89	包装标准体系表
A12	保护消费者利益标准体系表	C50/64	卫生标准体系表
A20	优先数与优先数系标准	C65/79	职业安全和工业卫生标准体系表
A21	环境条件与试验方法标准体系表	F00/09	能源基础和管理(含水资源)标准体系表
A22	术语(术语学)标准体系表	J04	机械制图与工程制图标准
A22	图形符号标准体系表	J05	互换性和结构要素标准体系表
A25	人类工效标准体系表	P41	统计方法标准体系表
A40	系统工程(含信息技术)标准体系表	Z00/70	环保标准体系表
A40	价值工程标准体系表		

国家标准体系表第二至第五层  
各行各业标准体系表

分类号	行业标准体系表	分类号	行业标准体系号	分类号	行业标准体系号
A10	商业	D20/29	煤炭	N00/99	仪器、仪表
A14	文献	E00/99	石油		
A42	声学	P55/59	水利、水电	P00/99	工程建设
B00/09	农业	F20/29	电力	Q00/99	建材
B20/99	粮食	F40/99	核工业	R00/99	交通
B40/49	畜牧	G00/99	化工	S00/99	铁路
B50/59	水产、渔业	H00/99	冶金	T00/99	车辆
B60/79	林业	J00/99	机械	U00/99	船舶
C10/29	医药	K00/99	电工	V00/99	航空、航天
C30/49	医疗器械、医疗 仪器与设备	L00/99	电子	W00/99	纺织
D00/99 D80/99	矿业、地质	M00/99	通讯、邮政、 广播、电视	X00/99	食品
				Y00/99	轻工

图 1.5-5 国家标准体系表总结构图

## (2) 企业标准体系表的构成

企业标准体系表一般由企业标准体系结构图、企业标准明细表、汇总表及其编制说明所组成:

### ① 企业标准体系结构图

见图 1.5-2、图 1.5-3、图 1.5-4。

### ② 标准明细表

这是指依据总表或结构图上的标准类别,依次列出单项标准的各类标准信息而形成的表。如表 1.5-1 所示。

表 1.5-1 ××标准明细表格式

序号	代码	标准代号和编号		标准名称	采用或对应的国际国外标准号	实施日期	被代替或作废标准号	备注
		国标、行标、地标	企标					

标准明细表一般按技术、管理、工作和基础四类标准分别加以编制。

③ 为了满足标准化管理的需要,应根据不同的要求对企业标准明细表中所填写的标准进行统计,列成汇总表。如表 1.5-2 所示。

表 1.5-2 ××企业标准汇总表

标准类别	计划采标数	现有标准数				完成情况	××年规划数
		国际	国家	地方	行业		

### ④ 编制说明

一套完整的企业标准体系表还应附有编制说明,说明编制依据及要达到的目的;与本企业有关的国内外标准及行业现行标准概况;结合企业标准体系汇总表分析企业现行标准的水平,明确今后的主攻方向;体系中子体系的交叉情况、处理意见及其它应说明的事项,如参考资料目录、重要内容的解释等。

## 1.5.6 标准的制定与实施

### 1. 标准的制定

#### (1) 制定原则

① 制定标准应当有利于保障安全和人民的身体健康,保护消费者的利益,保护环境;

② 制定标准应当有利于合理利用国家资源,推广科学技术成果,提高经济效益,并符合使用要求,有利于产品的通用互换,做到技术上先进,经济上合理;

③ 制定标准应当做到统一协调配套;

④ 制定标准应当有利于对外开放和国际经济技术合作;

⑤ 积极采用国际标准和国外先进标准;

⑥ 标准实施后,制定标准的部门应当根据科学技术的发展和经济建设的需要适时进行复审,以确定现行标准继续有效或者予以修订、废止。

## (2) 制定对象

制定标准对象主要是实践中大量出现的,重复性事物。在我国,各级标准制定的对象有明确的规定。

① 国家标准:《中华人民共和国标准化法实施条例》规定,对需要在全国范围内统一的下列技术要求,应当制定国家标准(含标准样品的制作):

互换配合、通用技术语言要求;保障人体健康和人身、财产安全的技术要求;基本原材料、燃料、材料的技术要求;通用基础件的技术要求;通用的试验、检验方法;通用的管理技术要求;工程建设的重要技术要求;国家需要控制的其他重要产品的技术要求。

② 行业标准:《行业标准管理办法》规定,需要在行业范围内统一下列七个方面的技术要求,可以制定为行业标准(含标准样品的制作):

技术术语、符号、代号(含代码)、文件格式、制图方法等通用技术语言;工、农业产品的品种、规格、性能参数、质量指标、试验方法以及安全、卫生要求;工、农业产品的设计、生产、检验、包装、储存、运输、使用、维修方法以及生产、储存、运输过程中的安全、卫生要求;通用零部件的技术要求;产品结构要素和互换配合要求;工程建设的勘察、规划、设计、施工以及验收的技术要求和方法;信息、能源资源交通运输的技术要求及其管理方法等要求。

③ 地方标准:《中华人民共和国标准化法实施条例》规定,对没有国家标准和行业标准而又需要在省、自治区、直辖市范围内统一的工业产品的安全、卫生要求,可以制定地方标准。制定地方标准的项目,由省、自治区、直辖市人民政府标准化主管部门确定。

一般说来下列需要在省、自治区、直辖市等地方范围内统一的技术要求,应当制定地方标准:工业产品的安全、卫生要求以及生产、经营活动中的生产技术、管理技术要求;能源、资源、信息开发利用的技术要求以及交通运输的安全、卫生要求;环境质量要求和污染物排放要求;建设工程的质量、安全、卫生要求;农业(包括林业、牧业、渔业,下同)产品(包括种子、种苗、种畜、种禽)的品种、规格质量要求以及生产技术管理技术要求;地方需要控制的与人身财产安全密切相关的重要工业品的技术、维修要求。

④ 企业标准:企业在没有相应国家标准、行业标准和地方标准情况下,可以制定企业标准;对国家标准、行业标准的选择或补充的技术要求,可以制定企业标准;对工艺、工装、半成品和方法等技术要求,以及生产经营活动中的各种管理要求和工作要求可以制定企业标准。

### (3) 制定程序

GB/T16733—1997《国家标准制定程序的阶段划分及代码》将国家标准的制定程序划分为下列九个阶段:

① 预测阶段:该阶段主要是在充分研究和论证的基础上,提出新工作项目建议。

② 立项阶段:该阶段的主要任务是在对新工作项目建议的必要性和可行性进行充分论证、审查和协调的基础上,提出新工作项目。

③ 起草阶段:按编写标准的基本规定(GB1.1—2000)编制标准草案征求意见稿、编制说明和有关附件。

④ 征求意见阶段:向有关单位发送标准草案征求意见稿,被征求意见的专家对征求意见稿进行审查,并将意见反馈给标准起草工作组。标准起草工作组根据收集到的反馈意见,对标准草案进行彻底修改,形成标准草案送审稿,并将回函意见进行分类汇总,注明取舍情况,制表作为附件内容之一。

⑤ 审查阶段:该阶段的主要工作包括:对标准草案送审稿进行审查。标准审查组织单位应当将审查的意见及时反馈给标准起草组。标准起草组根据收集到的意见对标准草案送审稿进行修改,形成标准草案报批稿。

⑥ 批准阶段:该阶段主要就是对标准草案进行审查、批准和编号,并提供标准出版稿。

⑦ 出版阶段:该阶段主要是提供标准出版物。

⑧ 复审阶段:该阶段主要是按照规定,定期对标准进行复审。

⑨ 废止阶段:该阶段主要是根据复审结果,通过一定形式宣布某项标准废止。其它等级标准的制定程序,可参照此程序制定。

### (4) 编写标准的基本要求

① 协调性要求:编写标准应贯彻国家法令并与有关标准相协调;

② 准确性要求:文字表达应准确、简明;

③ 正确性要求:技术内容应正确无误;

④ 统一性要求:术语、符号、代号应统一;

⑤ 规范性要求:编排格式应符合规定。

### (5) 复审与修订

标准一经发布,应当在一定时期内保持相对稳定,以便通过重复利用获得效益。同时,新的标准被应用于生产实践后,原有的旧标准就应当适时废止,否则就会束缚生产力的发展。适时废除已经过时或即将过时的标准,及时制定新标准或修订原有标准的内容,将先进的科学技术成果和生产实践经验纳入标准之中,这一

过程就称之为标准的复审与修订。

### ① 标准复审和修订的管理

国家标准的复审和修订由该国家标准的主管部门组织有关单位适时进行复审,复审周期一般不超过五年。

① 国家标准的复审可采取会议审查或函审两种形式,一般要有参加过该国家标准审查工作的单位或人员参加。

② 行业标准的复审和修订由行业标准归口部门组织全国专业标准化技术委员会或专业标准化技术归口单位进行。其审查形式与国家标准相同。

③ 地方标准的复审和修订同行业标准。

④ 企业标准的复审和修订在标准发布实施以后定期进行,其周期一般不超过三年,当有国家标准、行业标准和地方标准发布实施以后,应及时复审,确定其是否继续有效、修订或废止。

企业标准的复审和修订,由企业法人或其授权的技术负责人(或主管部门)组织本企业有关部门(或人员)或邀请其他单位的有关人员参加。

### ② 标准复审结果的处理

无论是哪一级标准,其复审的结果都有如下四种情况:

① 重新确认:标准内容不作修改,或只作编辑性修改仍能适应当前生产、使用需要,符合当前科学技术水平,被重新确认的标准,不改变标准编号和年份号。当标准重版时,在标准封面和首页标准编号的下面居中位置写明(××××年确认)字样。

② 修改、补充:未完善和充实标准内容或未使标准更切合实际和当前科学技术水平,对标准条文、图、表仅作少量修改、补充时,按《关于国家标准修改、补充的暂行办法》办理。

③ 修订:标准主要技术规定需要作较大的修改才能适应当前生产、使用的需要和科学技术水平的应作为修订项目。修订的标准编号不变,仅把年份改为修正后批准的年份。

④ 标准内容已不适当当前或已被新的标准所代替,以及无存在必要的标准应废止。

## (6) 备案制度

### ① 标准备案的含义

所谓标准的备案,是指一项标准发布以后,由申请备案的单位在规定期限内,按照备案的要求和程序,将标准文本报送到备案受理机构,进行登记和存档,以备查阅。

该含义具有两层意思:

① 负责制定标准的部门、单位,在规定的时间内按规定的要求,向规定的部门备案;

② 受理备案的部门有权对与相关法律、法规、上级标准相抵触的备案标准提

出修改建议,责令备案单位限期改进或停止执行标准。制定标准的单位,应对标准实施的后果承担责任。

### ② 标准备案的意义

① 便于主管部门及时掌握企业制定的标准并了解依据标准进行生产的情况,以便督促和指导企业标准化的开展;

② 便于主管部门掌握企业制定的产品标准的先进性、科学性和合理性,及时了解企业产品的质量水平,以便指导企业用先进的标准去提高产品质量;

③ 便于主管部门掌握企业产品生产技术的公正性,防止企业在产品的生产和销售中随意变更和选用标准,有效制约假冒伪劣。

### ③ 标准备案的要求

原国家质量技术监督局 1990 年 8 月发布的《企业标准化管理办法》的规定如下:企业产品标准,应在发布后 30 日内办理备案。一般按企业的隶属关系报当地政府标准化行政主管部门备案。国务院有关行政主管部门所属企业的企业产品标准,报国务院有关行政主管部门和企业所在省、自治区、直辖市标准化行政主管部门备案。国务院有关行政主管部门和省、自治区、直辖市双重领导的企业,企业产品标准还要报省、自治区、直辖市有关部门。

企业产品标准复审后,应及时向受理备案部门报告复审结果。修订的企业产品标准,应重新备案。

## 2. 标准的实施

### (1) 意义与作用

标准的实施,是一种有组织、有计划地贯彻执行标准的活动;是将标准的内容贯彻到生产、流通、使用等领域中的过程;是制定标准的目的。

实施标准具有如下作用:

① 保证企业产品质量符合标准要求;

② 有利于企业吸收先进技术;

③ 有利于改善企业经营管理;

④ 只有通过标准实施才能衡量、评价标准的质量和水平,为制定、修订标准提供依据。

### (2) 形式与要求

#### ① 形式

① 直接采用上级标准:就是按照国家标准、行业标准的内容,在企业的设计文件和工艺文件上直接引用这些标准,或者直接按照这些标准组织生产、检验和交货。

② 压缩选用上级标准:就是企业根据自身需要,对国家标准、行业标准中规定的产品品种规格、参数等级等进行压缩,或是对有关“原材料”、“零部件”、“结构要素”、“通用工具”等国家标准进行压缩。但是,缩编标准不得任意改变原标准中的内容。



③ 对上级标准内容作补充后实施:上级标准中的有些内容规定的不具体,在实施时需要作出补充规定,或者上级标准中规定的产品参数指标偏低,企业提出严于上级标准的补充规定。

## ② 要求

① 制定实施计划和工作方案:包括,分析实施该项标准所涉及的范围及预测工作量;确定实施方式,明确参加单位和人员;确定工作先后次序、所需条件和进度。

② 作好准备工作:包括,进行标准宣讲和人员培训;进行物质技术条件准备;组织落实。

③ 检查和加强信息反馈:包括,检查标准执行情况;将标准实施过程中的信息及时向标准制定、修订单位报告。

④ 总结实施效果,为标准修订提供依据:包括,确认标准贯彻实施的程度;提出今后的工作目标和要求;反馈标准执行中的问题;作好文件、资料整理和归档工作。

## ③ 方法

① 实施上级标准要有一定的原则性和灵活性;

② 要把标准的内容转化为设计、工艺文件,或其它便于执行的文件;

③ 配套标准要同时实施;

④ 完善实施效果的测试方法和检测手段。

## (3) 监督

对标准实施情况进行监督,是保证标准贯彻执行的一项重要措施,它有四种形式:

① 企业自我监督:是指企业对标准贯彻执行的内部监督与检查,这种监督与检查从产品设计开始,贯穿于企业生产的全过程。主要包括对产品图样和设计文件的标准化审查,以及生产过程中对实施标准进行的综合检查两个方面。

② 行业监督:又叫行政主管部门监督,是指根据标准化法的规定,各行业主管部门对本部门、本行业内标准实施情况有进行监督检查的责任,这种监督是行政管理需要的监督。行业监督的主要职责是在标准实施宏观控制方面,运用经济杠杆、法律手段和进行必要的行政干预。

③ 社会监督:是指社会组织、人民团体、产品经销者、消费者乃至社会新闻媒介对标准实施情况进行的监督。这是一种社会性群众监督,是对于不符合标准的伪劣产品和直接影响人民生活及社会公共利益的各种活动所进行的监督。

④ 国家监督:是指由国家法定机构依据标准化法,对标准实施情况的监督、检查和处理,是国家为保证标准贯彻执行的一项重要措施。国家对标准实施进行监督的依据是国家发布的强制性标准,监督的主要对象是企业,其目的是督促企业严格执行标准,及时发现并纠正企业违反标准化法的行为,以保证国家和人民的利益。

根据标准化法规定,实施的国家监督,由县级以上政府标准化行政主管部门负责,这些部门可以根据需要设置专门的检验机构或授权其他单位的检验机构,对产品质量是否符合标准进行监督检验。这类检验机构作出的检验结果,具有法律效力。

### 1.5.7 采用国际标准与国外先进标准

#### 1. 国际标准与国外先进标准简介

(1) 国际标准:GB3935.1—1996 规定了国际标准的定义:“由国际标准化团体通过的标准”。1991 年 ISO/IEC 公布的国际标准定义是:由国际性标准化组织制定并在世界范围内统一使用的标准。目前主要是指国际标准化组织确认并公布的其他国际组织制定的标准,或由下列组织制定并公布的标准:

国际标准化组织(ISO)、国际电工委员会(IEC)、国际电信联盟(ITU)、国际法制计量组织(OIML)、国际实验室认可组织 ILAC)、国际审核员和培训咨询机构(LAT-CA)等。

(2) 国外先进标准:是指未经国际标准化组织确认并公布的发达国家的国家标准、区域性组织的标准、国际上权威团体和企业(公司)的标准等。

世界主要经济发达国家的国家标准主要有美国国家标准(ANSI)、美国军用标准(MIL)、德国国家标准(DIN)、英国国家标准(BS)、日本工业标准(JIS)、法国国家标准(NF)、意大利国家标准(UNI)等。

有影响的区域性组织主要有:欧洲标准化委员会(CEN)标准、欧洲电工标准化委员会(CENELEC)标准、欧洲电信标准学会(ETSL)标准、欧洲广播联盟(EBU)标准、太平洋地区标准会议(PASC)标准、亚洲大洋洲开放系统互连研讨会(AOW)标准、亚洲电子数据交换理事会(ASEB)标准等。

国际上有权威的团体主要有:美国材料与试验协会(ASTM)标准、美国食品与药物管理局(FDA)标准、美国石油学会(API)标准、英国石油学会(IP)标准、美国保险商实验室(UL)标准、美国电器制造商协会(NEMA)标准、美国机械工程师协会(ASME)标准、德国电器工程师协会(VDE)标准、英国劳氏船级社《船舶入级规范和条例》(LR)等。

#### 2. 采用国际标准与国外先进标准的原因

采用国际标准和国外先进标准是我国的一项重大经济政策,是技术引进的重要组成部分,也是 WTO/TBT 的一项重要原则。实践证明,只有通过采用国际标准和国外先进标准来提高标准水平,才能提高产品质量、改善社会效益、扩大对外贸易、增强企业素质,提高企业国际竞争力。这主要有以下两点原因:

- ① 国际标准与国外先进标准代表了当今国际标准的最高水平;
- ② 标准是国际贸易的一个推动器,对国际贸易具有协调、保护作用。

#### 3. 采用国际标准与国外先进标准的原则

- (1) 要充分调查和研究,确保被采用的标准先进、合理、安全和可靠;

(2) 必须结合国情,符合我国有关法律、法规和方针政策;

(3) 突出重点,有利于建立健全我国的标准体系。优先采用基础标准、方法标准、原材料和通用零部件标准、高新技术标准和安全、卫生、环保等方面的标准;

(4) 与企业技术改造、新产品开发和技术引进相结合,以赶超国际先进水平为目标。

(5) 要考虑开展综合标准化的要求。重要产品采用国际标准,应包括相应原材料、零部件、元器件、配套产品和检测仪器等标准的采用,相关单位应相互配合。

#### 4. 采用国际标准与国外先进标准的概念

采用国际标准和国外先进标准是指把国际标准和国外先进标准的内容,通过分析研究,不同程度地纳入我国标准,并贯彻执行。ISO/IEC 在其出版的导则中规定了国家标准采用国际标准的六种方法是:认可法、封面法、完全重印法、翻译法、重新起草法和包括(引用)法。

#### 5. 采用国际标准与国外先进标准的程度

我国标准采用国际标准或国外先进标准的程度分为两种:

(1) 等同采用:通常用“idt(IDT)”或符号“≡”表示,是指技术内容相同,没有或仅有编辑性修改,编写方法完全相对应。此种方法相当于翻译法。

(2) 修改采用:通常用“mod(MOD)”或符号“≠”表示,是指国家标准在采用国际标准时,在技术内容上有差异,并把这些差异按规定标示。

## 1.6 资源管理

### 1.6.1 资源提供

资源是保证组织生产顺利进行的必备条件。在 2000 版 ISO 9000 族标准中,对资源提供作了要求和界定,即资源提供应满足质量管理体系运作和顾客的要求,具体包括人员、基础设施、工作环境、信息、供方和合作者、自然资源及财务资源。

### 1.6.2 人力资源

人力资源是与自然资源相对应的,以人的生命机体为载体的社会资源。人力资源管理就是对人力资源进行有效开发、合理配置、充分利用和科学管理的制度、法令、程序和方法的总和。它贯穿于人力资源的整个运动过程。在产品质量形成的过程中,人、机、料、法、环、测(5M1E)共同对产品质量起作用。但在对这六要素的管理过程中,最根本的管理还是对“人”的管理。因此,要注重从人力资源的特征出发,加强对人员的开发和利用。

#### 1. 人力资源特征

##### (1) 自然性和社会性

人力资源是存在于活的人体中的劳动能力,是自然界的一部分,具有自然属

性。而人类更重要的是他的社会属性,主要表现在:人力资源只有在一定的社会环境和社会实践中才能形成、发展和产生作用;人力资源的开发、配置、使用和管理是人类的有意识的自觉活动。

### (2) 受动性和能动性

受动性是指人的存在和发展受到它周围环境的制约和影响。能动性则主要表现在人的自我激励和强化功能、人的趋利避害和人的开发创新能力等方面。由于人的能动性的发挥,使得人力资源具有很大的潜能。

### (3) 差异性和同一性

差异性,是指组织的员工之间在世界观、认识论、知识才能、心理特征、性格爱好等各个方面存在着差异,因此,组织要在实行统一标准的前提下,实行差异化管理,为每一个员工进行职业生涯规划,并对员工安排内容、方式不同的培训,以发挥员工的积极性。同一性是指组织所有员工的奋斗目标是一致的,即不论员工个人做什么,都是为实现组织质量方针、质量目标而努力的一个过程,这种同一性使得员工之间能互相协调,充分发挥团队精神来保证目标的实现。

## 2. 人员的参与

质量管理体系需要所有员工都来参与其活动,以保持活力。而管理者也应当通过员工参与和支持来提高质量管理体系的有效性,2000版ISO 9004标准规定了组织鼓励员工参与和发展的12方面的要求,足以表明对人员参与的高度重视。

### (1) 提供继续培训,并进行个人发展的策划。

组织应为在岗人员提供继续培训,让员工不断更新知识,尽可能掌握专业领域的新方法、新技术;并且,要针对每个人的不同情况,为员工进行职业生涯规划,既让员工明确其长远发展目标,又为组织人力资源管理提供参考依据。

### (2) 明确各自的职责和权限

对所有从事与质量有关的管理、执行和验证工作的人员,特别是需要行使权力开展质量工作的人员,要明确其职责、权限和相互关系。同时还要注意明确部门之间或生产过程的交叉处或边界处的职责和权限

### (3) 确定个人和团队的目标,对其业绩进行管理并对结果进行评价。

最高管理者要引导团队和个人确立目标,将组织的战略性目标、战术性目标通过质量方针和目标、质量计划等宣贯到员工之中,使得团队和个人有确立目标的依据。并且通过评价业绩来对团队和个人实行奖惩,同时,将目标完成情况反馈到调控中心,作为制订下一期目标的依据。

### (4) 促进人员参与目标的确立和决策

员工不仅有按上级方针、目标确定自己的目标和任务的义务,还有参与组织确立总体质量方针和目标的权力。而且员工的积极参与是组织制定正确的方针目标的必要条件。因此,组织应建立员工参与的决策制度,保证员工权利的实现。

### (5) 对员工的工作成绩给予承认和奖励

组织应对员工的工作进行考核,并建立完善的奖励制度,对取得工作成绩的员

工及时予以奖励。

#### (6) 促进开放式的双向信息交流

员工是组织的主要相关方(受益者)之一,对其需求的持续评审有助于组织在满足员工需求的情形下开展质量管理活动。通过与员工进行有效的沟通,可使组织与员工建立起友好的工作氛围。

#### (7) 对其人员的需求进行连续评审

员工的需求是从低层次向高层次,从简单满足到全面满足而发展的,因此,组织要持续地评价员工的这些需求。只有把握了员工的需求和期望,才能有效地开展质量管理体系的活动。此外,组织应与员工进行双向沟通,以尽可能适当地满足组织与员工双方面的需求。

#### (8) 创造条件以鼓励创新

质量管理体系一方面要创造开放条件以鼓励员工进行产品创新和技术创新;另一方面,要进行自身的体制创新、组织创新。组织应对员工积极提出的创新改进方案予以重视,并且在经上级审批并使用后,对提出者予以重奖。

#### (9) 确保团队合作有效

有效的团队合作能实现组织的整体最优,完成单靠几个员工独立工作无法实现的目标。这种合作既可以使员工心理上感到舒适,还可以提高团队的工作效率。

#### (10) 就建议和意见进行沟通

组织的高层管理者要重视基层员工的建议,设置有效的下传上达渠道。特别是对员工的质量改进方案或对质量工作的其他建议,应由质量管理部门的管理人员主动向员工征集,进行调查分析。

#### (11) 对人员的满意程度进行测量

关注员工的满意程度是组织质量管理体系的重要内容之一。质量管理体系应当对员工满意程度进行定期测量或不定期的抽查,可以设计问卷,也可派专人口头调查。测量的内容包括两方面

① 所有部门都通用的内容;如员工对职业是否满意,对工作环境是否满意,对组织为其设计的职业生涯规划是否满意等;

② 针对本部门或本职工作的具体内容;如员工对其直接从属的上级是否满意、对自己的工作是否需要改进等。

最后,组织要对测量结果进行分析,可以是纵向分析,即比较不同时期对同一部门员工的满意度;也可以是横向分析,即比较同一时期不同部门员工的满意度。通过分析比较,找到需要继续保持或亟需改进之处。

#### (12) 了解员工加入和离开组织的原因

组织应全面、客观地调查员工加入和离开组织的原因,以及时解决其人力资源管理中存在的问题;并且改进组织的目标、业绩和管理方式,以吸引优秀的员工长期留在组织内。

### 3. 能力、意识与培训

### (1) 能力

按 2000 版 ISO 9004 标准的规定,组织应确定从事影响产品质量工作的人员所必要的的能力,并保持员工受教育、培训、技能和经验的适当记录。对能力很难定量评价,大多通过其外在表现,如受教育程度、所学技能和经历、资格等来评判。在 2000 版 ISO 9004 标准中,对管理者有如下要求:

#### ① 确保组织具备有效和高效运行的能力

组织的质量管理体系及其它各职能部门都应处于充分利用现有资源,以达到高效运转的状态。管理者首先要安排人员确保组织具备这种能力,其次还要注意维持这种高效运转状态。

#### ② 需求与能力的识别与比较分析

管理者还应当考虑对组织当前的能力需求与现有的能力进行比较。还要将组织未来的发展对人员能力的需求与现有能力进行比较分析。可以从以下五个方面对人员能力的需求进行分析:

① 与战略和运行计划以及目标有关的未来需求;即组织总体经营目标对人员能力的要求,组织质量管理体系有效和高效运行,完成质量目标所需要的人员能力情况。

② 预期的管理者和劳动力的后继需求;指对管理者和其他人员将来应当具备能力的分析。

③ 组织的过程、工具和设备的变化;指新设备、新工艺、新方法对能力的新的需求。

④ 对执行规定活动的人员的个人能力的评价;指现有人员的能力评价,用以与需求分析进行对比。

⑤ 对组织及其相关方有影响的法律法规要求和标准。

### (2) 意识和培训

2000 版 ISO 9000 标准指出组织要“确保员工认识到所从事活动的相关性和重要性,以及如何为实现组织的质量目标作出贡献”。2000 版 ISO 9004 标准指出,组织进行教育和培训的最终目的是使其人员具备组织所需要的能力,但其直接作用是使人员获得有关的知识和技能。这些知识与技能结合实际经验将成为人员的实际能力。此外,教育和培训应当强调满足顾客和其他相关方的需求和期望的重要性。并让员工意识到自己所从事的工作对质量管理体系的重要性。

为有效和高效地达到预期的目的,必须对教育和培训进行策划,策划的考虑因素归纳为如下几个方面:

- ① 人员的经验;
- ② 隐含的和明示的知识;
- ③ 领导作用和管理艺术;
- ④ 策划和改进的工具;
- ⑤ 团队的建设;

- ⑥ 问题的解决能力;
- ⑦ 沟通的技巧;
- ⑧ 文化和社会习俗;
- ⑨ 市场方面的知识以及顾客和其它相关方的需求和期望;
- ⑩ 创造和革新。

2000 版 ISO 9004 标准规定:为促使人员积极参与,教育和培训应当包括以下内容:

- ① 组织的未来设想;
- ② 组织的方针和目标;
- ③ 组织的变化和发展;
- ④ 改进过程的提出和实施;
- ⑤ 从创造和革新中获益;
- ⑥ 组织对社会的影响;
- ⑦ 对新人员的人门培训方案;
- ⑧ 对已受过培训的人员的定期再培训方案。

按照上述策划活动做出的培训计划应当包括:

- ① 培训目标;分为长期、中期、短期目标,具体内容包括培训所要传授的知识,所要掌握的程度,涉及的范围,所适应的岗位等;
- ② 培训方案和方法;如培训大纲、课时安排、参加人员、培训方式、时间、地点等;
- ③ 培训所需的资源;授课教师、教材、场所、经费等;
- ④ 培训所必需的支持;参加培训人员的日常工作、假期的安排等;
- ⑤ 针对人员能力的提高来评价培训;通过考试或其他考核办法来评估员工接受培训的效果。

⑥ 测量培训的有效性和对组织的影响。

通过定期评估培训的业绩,来进行调整和改进培训计划。若培训业绩不佳,组织应从两方面分析原因:

- ① 组织的原因,如培训的针对性不强、培训内容陈旧、方式不妥等;
- ② 员工的原因,如员工学历低、参与意识差、综合素质低等。针对这些原因进行诊断,并提出改进措施,纳入到下期计划中。

最后,保持适当的记录。标准规定记录的范围应包括四个方面:受教育程度、培训、技能和经验。组织应建立员工人事档案,对其过去的教育水平、培训内容、技能经验等予以记录,对本期培训取得的成绩也应记录在案,这些记录有助于组织对人力资源的管理。

### 1.6.3 基础设施

#### 1. 基础设施的范围

基础设施是生产赖以存在的物质基础。依据 2000 版 ISO 9000 族标准,组织应确定提供并维护为达到产品符合要求所需的基础设施。包括:

- (1) 建筑物、工作场所和相关的设施,如厂房、车间、办公室等配套设施等。
- (2) 过程设备(硬件和软件),如机器设备、生产线、电脑硬件和软件配置。
- (3) 支持性的服务设施,如运输设备、公路、港口、供电、供水设施等。对基础设施的管理重点在于依据质量管理体系的需求,更换或增添必要的基础设施;并对已有的基础设施进行维护保养,以延长其使用寿命。

## 2. 基础设施的提供

组织在投产期应建设或购置保证生产运作的基础设施。并且在确定提供的基础设施时,先要进行成本-效益分析,进行可行性研究,保证基础设施的安全性、可信性。

## 3. 基础设施的维护

在使用过程中,基础设施会磨损和消耗,从而导致产品生产能力下降。在质量管理体系中,对基础设施要进行规范化管理,明确各项工作的责任者,维护保养周期和监督考核部门,以保证产品生产能力合理上升。

## 4. 基础设施的评价

组织的相关方对组织的基础设施的需求和期望是不同的。所有者和(或)投资者对基础设施的需求是低投入,高产出;组织内员工的期望是工作环境舒适,设备操作简单、安全等;顾客和最终使用者的需求是基础设施能够满足产品高质量的需要;供方和合作者的需求是基础设施对其供货不产生影响;社会的期望是基础设施符合环保要求,消耗资源和能源较少。组织应当定期对照相关方的需求和期望对基础设施进行评价,在找到差距后,设计出改进方案并实施。

## 5. 基础设施引起的环境问题

在建设和投入使用基础设施时,组织要考虑环境问题,如机器设备产生的噪声、生产过程产生的“三废”——废物、废气、废水等。另外,组织还要考虑基础设施对周围的自然环境的影响,即要维护环境,如对厂区进行绿化、注意保护水源等;在基础设施的运行中,也要尽量减少对环境的污染,要使用节能降耗、无污染的能源;此外,还要注意考虑资源的重复使用(再循环)问题。

## 6. 基础设施的影响因素

地震、洪水、台风等具有不可控制的自然现象会使基础设施受到损坏。其次,还有其他相关的风险,如线路故障、环境污染等因素,使基础设施失去作用。组织在进行基础设施管理时,应充分考虑到这些影响因素和相关风险,并进行防备。如坚固设施,增加备用的设备等。

## 7. 设备管理

### (1) 设备及设备管理

设备是企业基础设施的主要组成部分,是指人们在生产或生活上所需的机械、装置和设施等可供长期使用,并在使用中基本保持原有实物形态的物质资料。设



备管理是指以设备为研究对象,追求设备综合效率与寿命周期费用的经济性,通过技术、经济、组织措施,对设备的物质运动和价值运动进行全过程(从规划、设计、制造、选型、购置、安装、使用、维修、改造、报废直至更新)的科学管理。设备管理是保证产品质量的硬件之一,因此是企业基础设施管理的重点。

## (2) 设备的选型

通过技术经济的可行性研究分析,在设备选型时,要考虑设备的功能必需满足生产产品的质量和产量的要求,且要考虑设备本身的可靠性、经济性和维修性等。

## (3) 设备的使用

要合理的使用设备,企业应做好以下几方面的工作:

① 对操作者的培训,包括技术教育、安全教育和管理教育三方面的内容。操作工人经教育、培训后要经过理论和实践的考核,合格后方能独立操作使用设备。特殊工种工人必须取得相应的上岗证书。

### ② 使用过程中的管理

要注重对关键的、大型的、稀有的设备进行管理。依据生产工艺特点和要求合理配置设备;并为设备提供良好的工作环境,如安装必要的防腐蚀、防潮、防尘、防震装置,配备必要的测量、保险用仪器装置,良好的照明和通风等;建立健全必要的规章制度,可采取的措施有制定设备使用程序、制定设备操作维护规程、建立设备使用责任制、建立设备维护制度等。

## (4) 设备的维护

设备维护是操作工人保持设备正常的技术状态,延长使用寿命必须进行的日常工作。需要按以下方法来做:要达到“四项要求”:整齐、清洁、润滑、安全;注重设备的日常维护,主要包括两种:每班维护和周末维护。并且要定期检查维护效果,检查以设备管理、计划检修、合理使用、正确润滑、认真维护等为主要内容。

## (5) 设备的维修

设备的维修方式有:事后维修、预防维修。事后维修是指设备在使用中发生了故障才进行修理。当停产损失较小,只需调整或更换易损件,即可排除故障时采用此种维修方式比较经济。预防维修,是从预防的观点出发,在故障出现之前进行预防性的维护与修理。预防维修包括日常维护、设备检查和预防性修理三个方面的工作。

## (6) 设备的更新和改造

设备更新是指采用新设备替代技术性能落后、经济效益差的原有设备。设备的技术改造也叫做设备的现代化改装,是指应用现代科学技术成就和先进经验,改变现有设备的结构,安装或更换新部件、新装置、新附件,补偿设备的无形磨损和有形磨损。

组织在进行以上各项设备管理工作时,都要有规定的程序、管理职责、内容、要求,并作好各项工作的记录。

#### 1.6.4 工作环境

依据 2000 版 ISO 9004 标准,工作环境指“工作时所处的一组条件”。其中条件包括物理的、社会的、心理的和环境的因素(如温度、承认方式、人体工效和大气成分)。管理者应当营造适宜的工作氛围,以确保工作环境对人员的能动性、满意程度和组织业绩产生积极的影响。影响工作环境的因素主要包括两类:人的因素和物的因素。

##### 1. 人的因素

人的因素包括社会和心理两方面:

##### (1) 创造性的工作方法和更多的参与机会;

组织应鼓励员工进行各种创造活动,如开发新产品、改进管理方式、进行技术创新等。并建立鼓励创新和员工参与的企业文化和激励制度,以发挥组织内人员的潜能。

##### (2) 安全规则和指南;

组织应制定详细的安全规则,以确保员工能在所从事的工作中自觉地遵守操作规程,并且在进行特殊作业时,使用专用的防护设备。

##### (3) 人体工效;

人体工效指人通过其体能所发挥的工作效率。组织可以应用人体工效学原理对人员在作业时的各种活动对身体和心理影响的研究,来安排作业程序和作业方法,以提高员工工作时的安全和效率。

##### (4) 与社会的相互影响;

组织的人文环境氛围会受到诸如历史文化、政治取向和经济的发展水平等社会因素的影响,如在社会制度不同的国家,组织内员工的思想意识、价值观、道德准则等,具有较大的差异。

##### (5) 便于组织内人员开展工作;

组织要通过建立畅通的沟通渠道,协调高层管理者与基层员工之间的关系,形成团结、协作、友好、互助的工作氛围。

##### 2. 物的因素

按照标准,组织应考虑下列物理因素:

##### (1) 工作场所的位置;

##### (2) 热度、温度、光线、空气流动;

##### (3) 卫生、清洁度、噪声、振动和污染。

这些因素通过影响人员能力的发挥,直接或间接地影响组织产品的质量。因此组织要提供适宜的温度、光线等物理环境,并保持工作环境的卫生,降低噪声污染、电磁污染、光污染、热污染、水体污染,保证员工的身体健康。

##### 3. 工作环境的管理

组织对工作环境进行管理,主要有以下两项内容:

##### (1) 确定所需要的工作环境条件;在确定时不仅要考虑各相关方对工作环境

的要求,还要兼顾组织所处的人文环境条件和自然环境条件。并且要根据行业的性质,严格按照国家相关法律、法规、行业相关标准来确定环境要求。

#### (2) 保持所建立的工作环境;

① 维持已建好的环境;组织要配备相关的工作人员和设施来保证所建环境设施的清洁及有序。对工作现场进行“5S”管理,具体内容:

整理:将工作场所的物品区分为要用的与不用的;

整顿:将要用的物品定出摆放位置,且保持在立即可取用之状态;

清扫:不要的物品消除打扫干净;

清洁:工厂时时保持美观的状态;

守则:每位员工养成良好习惯,遵守规定、规则,做到以厂为家。

② 改进工作环境;根据所处的外界环境条件的变化,对组织内部环境的欠缺及不适之处予以改进。

### 1.6.5 信息

#### 1. 概述

##### (1) 信息

依据 2000 版 ISO 9000 族标准,信息是“有意义的数椐”。它来自组织的内部和外部,如内部的质量检验报告、质量审核报告等,外部的市场动态、顾客需求、供方质量状况等。

##### (2) 信息资源

信息资源是经过人类开发与组织的信息的集合,具有智能性、有限性、不均衡性、整体性的特征。它的生产是以脑力劳动为主导的过程,是从人对外界信息的感知开始的。

##### (3) 信息资源管理

信息资源管理是对信息内容及其支持工具的管理,也是对信息资源识别、获取、转换、利用和评价的过程。对信息资源进行管理,是组织质量管理体系的基本要求,也为第二方或第三方对组织进行质量管理体系认证提供依据。

#### 2. 信息的识别

组织内按层次可分为操作人员、专业技术人员和各级管理人员。他们对信息需求如下:

(1) 操作人员:信息需求种类相对单一,需求量较少,为信息系统提供信息或进行处理分析的工作,自己则很少利用输出结果。

(2) 专业技术人员:通常需要原始的、未经加工处理的数据。而且它们的信息需求还取决于工作性质,如股票经纪人与律师、研究人员所需的信息就大相径庭。

(3) 各级管理人员:组织有高、中、基层管理人员,他们对信息的需求是分阶段的,即在计划、管理控制、决策分析等阶段的信息需求不同,如计划阶段的信息需求表现为:组织目前的生产状况调查,影响组织发展的外部环境信息等。

### 3. 信息的获取

要获得信息,必须先识别内、外部信息来源,组织外部信息及其来源有以下六类:

- (1) 国家法律、法规——政府有关部门;
- (2) 行业相关组织——协会等组织;
- (3) 顾客的需求——消费者协会及市场调研部门;
- (4) 市场动态——各销售网点;
- (5) 供方的情况——供方相关部门;
- (6) 咨询服务——咨询顾问公司;

组织内部信息及其来源为:

- (1) 运作过程的信息——生产、质量管理部门;
- (2) 员工的构成、受培训情况——人力资源部门;
- (3) 质量改进、审核所需信息——质量管理部门;
- (4) 资金运转状况——财务部门;
- (5) 管理评审所需信息——综合部门;

需要说明,信息的获取要及时,且要积极主动地去获取信息,如定期走访、调查上述各信息部门,定期或不定期地检查、审核某部门等。

### 4. 信息的转换

信息使用的过程实质上是一个“输入——输出的过程”,如图 1.6-1 所示。

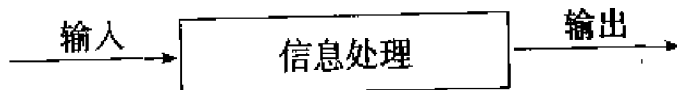


图 1.6-1 信息转换的过程

在决策过程中,一般输入的是动态信息,输出的是指令信息。指令信息可以使质量管理体系按预期的要求进行。而在运作过程中则恰恰相反,即输入的是指令信息,输出的是动态信息。动态信息反映的是质量管理体系运行的状况。利用信息的闭环管理能实现这种转换,即信息经过传递、处理后,又回到其输入的信息源或信息点上。如图 1.6-2 示。

组织要将收集的外部信息转换为需要的信息,通过加工、处理分析,提炼出组织的生产、指挥、管理信息。

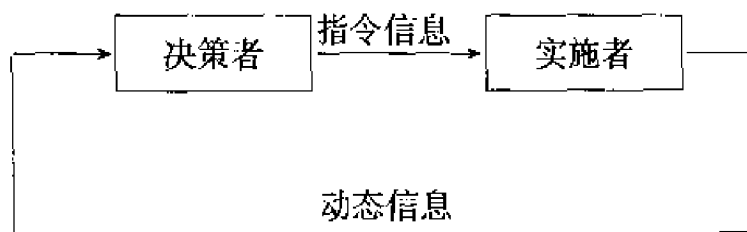


图 1.6-2 信息的闭环管理

### 5. 信息的利用

组织在制定、实施方针、目标的过程中,都要利用来自相关方的信息。因此,组织应注重内部各部门的信息管理,并结合外部的各种信息来进行决策。

### 6. 信息的安全

组织在获取和充分利用信息时,要注意防止竞争对手夺取其机密信息。应对以下信息采取重点保护措施:

- (1) 本组织的重要经营计划;
- (2) 销售方案和客户关系;
- (3) 生产运作技术;
- (4) 相对于行业竞争对手的劣势;
- (5) 对不利于组织维护顾客的信息;
- (6) 组织的网络信息。

### 7. 信息的有效性评价

2000 版 ISO 9004 标准指出,组织应“评估因使用信息所获得的收益,以便对信息和知识的管理进行改进。”为此,组织应建设质量信息管理系统,将上述的信息资源管理各个过程纳入到体系之中,以便于信息的收集、分析、转换、利用、保密、反馈、考核、评价和贮存等。

### 8. 质量信息管理系统

质量信息管理系统是参照系统工程和控制论的原理建立的一整套专门从事质量信息管理事务的系统,它是组织质量管理体系的一个重要组成部分,同时也是组织建立的管理信息总系统的一个分系统。

#### (1) 质量信息管理系统的构成

##### ① 信息源

它是信息的来源和根据,组织的信息一般来源于两个方面,一是发生地的信息,二是发出地的信息。在管理中,使用较多的是发出地的信息。

##### ② 信息流

“信息流”是从指令发出到得到执行结果的过程,它随时反映着组织物流和资金流的动态,以便为管理者提供决策信息。信息流是无形的,它必须依附于某种载体或工具,才会流动起来。

### ③ 信息中心

它是主管信息工作的机构,由质量管理部门和信息管理专职人员来共同负责。通过信息中心,管理者可对整个信息系统的业务管理进行组织、协调和考核。

### ④ 决策机构

它是组织中做出指令的各级机构或负责人,是领导下属开展具体工作的部门。

### ⑤ 执行机构

它是接受输出信息和具体执行指令的部门。信息流转只有通过具体执行后才会解决实际问题。

在整个组织的质量信息管理系统中往往下设若干个子系统。一般的,组织内设有计量、检测、技术、零部件车间、总装车间、试验室等子系统;组织外设有原材料、外购外协件及销售服务子系统。各子系统由各有关部门归口领导,并在信息管理中受信息中心的统一领导。同时,每个子系统中均设有一个信息中心,子中心受同级决策机构的直接领导外,还应受上级信息中心的业务领导。

## (2) 质量信息管理系统的建立

质量信息管理系统的建立是一项细致复杂的工作,应由最高管理者派专人组织筹建。所建系统必须和组织的管理体系及质量管理部门的职能相适应,坚持从企业的实际出发,通过实践中的反馈,来逐步完善系统。一般地,可遵循以下步骤:

### ① 确定系统的功能

系统的功能应根据组织要求系统达到什么目的而定,系统功能的大小必须和质量管理机构的功能相适应。

### ② 设立信息中心

建立信息中心是筹建信息系统的最重要的环节。应组织管理人员和技术人员来专门负责筹建工作。

### ③ 列出信息源

根据系统功能范围,通过调查排列出所需信息的信息源,并对各种信息可能发生的地点、可能发生并发出信息的部门、信息的用途、重要程度等列成一览表,以便了解信息全貌并从中找出重点。

### ④ 确定信息流程

组织可以通过绘制质量信息流程图,把信息从输入到输出形成闭路循环的基本模式确定下来,成为本组织信息流转的规则和建立信息系统的基础。

### ⑤ 确定信息系统的模式

在确定信息流程后,组织还必须确定整个系统的管理级别、子系统的数目及其子中心、信息源的分布情况、各类信息形成闭路循环的流转渠道以及决策机构、执行机构、信息中心、子中心的相互关系等。

### ⑥ 确定信息传递、反馈、贮存及显示方法

统一各种传递信息的标准格式,如质量信息分析月报表,顾客信息分析月报表,质量信息卡,质量信息台帐,质量信息资料汇编等。并规定信息分类归档及显

示办法。

#### ⑦ 落实职责、程序和考核办法

按规定职责收集信息并以规定的程序传递信息,同时对实施情况进行监督和考核,使质量信息管理系统正常运转。

### 1.6.6 供方及合作关系

组织通过与供方建立起标准所要求的合作关系,可以保证及时得到供货,促进质量管理体系的有效运行。此外,组织与其供方所建立的合作关系应当是以制定共同的战略、共享知识和利润以及共同承担损失为基础的。并且,通过处理好与供方和合作者的关系,组织可以获得如下的增值机会:

1. 优化供方和合作者的数量,通过与供方的长期合作,组织可了解各供方的供货能力和信誉等,从而选择最能满足组织未来需求的供方,并与其建立起长期合作伙伴关系。

2. 在双方组织的合适层次上双向沟通,从而促进问题的迅速解决,避免因延误或争议造成费用的损失。

3. 在确认供方的过程能力方面与其合作;便于组织更好地掌握供方的过程能力,以使组织能够有针对性地提供帮助。

4. 对供方交付合格产品的能力进行监视,以便取消重复验证。组织通过诸如产品质量审核、质量体系审核、过程能力测定等审核方式,以确信供方具有持续提供符合组织要求的合格产品的能力,从而减少或取消进货检验。

5. 鼓励供方实施业绩的持续改进方案并参与其他联合改进的启动。

6. 让供方参与组织的设计和开发活动,共享知识,并有效和高效地改进合格产品的实现和交付过程。

7. 让合作者参与采购需求的识别及合作战略的开发;组织通过邀请合作者一同识别其采购需求,以便合作者了解组织对产品的关键特性及其他方面的要求,从而提供满足组织过程要求的产品。而确定共同的战略则使双方能够共同满足相关方的要求,达到长期发展的目标。

8. 对供方和合作者做出的努力和成就进行评价并给与承认和奖励。

通过评估,确认并奖赏有优良业绩的供方,既可以使组织巩固与这些供方的关系,保证供货,还可以使组织的其他供方看到自身的不足,以进一步实施改进方案。

### 1.6.7 自然资源

#### 1. 自然资源的可获性

管理者应当考虑影响组织业绩的自然资源的可获得性,并要识别和确保生产运作和管理所需要的自然环境。通常影响组织的自然资源包括:

- (1) 原、辅材料;即生产过程中消耗的矿产资源、林业资源、土地资源、水资源、能源等;

(2) 物理环境:组织所处的自然环境,包括气候、地理状况、交通、卫生等;

(3) 不可抗力:如地震、洪水、台风等。

## 2. 自然资源的影响因素

组织应调查影响其所处环境的因素,包括正面与负面的双重影响,要分析其起因和危害之处,并制定预防计划。预防计划是确保组织在遭受意外的不可抗力侵犯时能够将组织的损失降至最低的应急计划。一般应包括如下内容:适用范围、适用目的、计划条件、指挥系统、预防措施、人员疏散、设施保护、求救信号、善后处置等。

## 1.6.8 财务资源

### 1. 财务资源的策划

#### (1) 确定财务资源的需求

质量管理体系自身的建立、运行和改进,都需要相应的财务资源的投入。在建立阶段的费用包括:质量管理体系文件的编制所需的开支,包括内审员的培训费、聘请外部专家的相关费用、编制质量手册的费用等;质量管理部门及人员费用、质量认证费用;在运行阶段的费用,包括质量控制费用、质量分析费用、质量测量费用等;在改进阶段的费用,包括质量改进费用等。

不仅如此,质量管理体系还涉及组织的整个生产运作过程,对各个职能部门几乎都有相应要求,要实现这些要求,首先需要的就是财务资金的支持,如人力、设施、管理等资源的投入每时每刻都需要组织支付成本。

#### (2) 确定财务资源的来源

管理者应当根据组织的方针、目标和自身能力,制定出质量管理体系实施、保持以及完成组织目标的财务资源计划,并对落实资源来源、实施资源提供以及更改财务资源计划,规定相应的职责和权限。

### 2. 财务资源的控制

质量管理体系应当对有限的财务资金的运用严加控制,以降低成本,并保证有限的资金发挥出最大的效益。组织要保证质量管理体系正常运转的资金投入,尤其要在预防成本和鉴定成本上作适当有效的投入,以确保质量损失(包括内、外故障成本)能大大下降。

2000 版 ISO 9004 标准规定:“组织还应考虑开发具有创新性的财务方法,以支持和鼓励组织的业绩改进”。这里的财务方法主要是质量成本的有关方法,如“预防、鉴定和故障成本分析法”、“合格成本 and 不合格成本分析法”、“内、外部故障成本分析法”、“寿命周期成本分析法”。通过这些方法的有效使用,使得质量管理体系的财务资源得到有效的控制,确保资源的投入及合理有效的利用。

同时,标准指出,有效的质量管理体系还能对组织的财务结果产生积极影响,表现在:

(1) 在组织内部,减少过程和产品故障,或减少材料和时间的浪费;



(2) 在组织外部,减少产品故障,降低因担保而引起的赔偿费用,以及减小因失去顾客和市场所付出的代价。

### 3. 财务报告的提出

2000 版 ISO 9004 标准规定:“与质量管理体系业绩和与产品符合性有关的活动财务报告应当用于管理评审”。即通过所提供的财务报告,可以找出组织运用资金的薄弱环节,确定效果差或效率低的活动,并进一步提出质量改进措施,以用于管理评审。同时在管理评审中要对资源的适宜性进行分析,并且应策划组织未来所需的资源。

## 1.7 产品质量法规

### 1.7.1 产品质量法规的概况

#### 1. 国内产品质量立法的概况

产品质量法律和法规,为国家有关管理部门、执法部门、企业和消费者在产品质量方面提供了基本的行为准则。在我国,产品质量方面的法律和法规可分为以下三类:

##### (1) 有关产品质量的基本法律和法规

主要是《中华人民共和国产品质量法》。

##### (2) 有关产品质量的专门性法律和法规

包括《中华人民共和国标准化法》、《中华人民共和国计量法》、《中华人民共和国食品卫生法》、《中华人民共和国药品管理法》、《中华人民共和国进出口商品检验法》、《中华人民共和国产品质量认证管理条例》等一系列专门的法律法规。

##### (3) 有关产品质量的综合性法律和法规

包括《中华人民共和国合同法》、《中华人民共和国消费者权益保护法》、《中华人民共和国广告法》、《中华人民共和国商标法》、《中华人民共和国反不正当竞争法》等。

#### 2. 国外产品质量立法的概况

国外关于产品质量方面的法律规范,概括起来可以分为两类:

(1) 既规范国家对产品质量的行政管理措施、职能,又规范产品质量义务和责任综合性法律,如前苏联、罗马尼亚、南斯拉夫、波兰、前民主德国等,制定了《质量法》。

(2) 仅就因产品存在缺陷,造成他人人身伤害、财产损失的产品侵权损害赔偿问题进行系统规范,法律不涉及生产、销售过程中的监督管理以及生产者、销售者的产品质量义务等问题。如美国、德国、英国、法国、加拿大等西欧和北美国家均制定《产品责任法》,据以调整民事侵权损害赔偿问题。

### 1.7.2 《中华人民共和国产品质量法》

《中华人民共和国产品质量法》(简称《质量法》),于1993年2月22日经七届人大常委会第30次会议通过,当日以中华人民共和国主席令发布,并于1993年9月1日实施;《质量法(修订案)》于2000年7月8日经九届全国人大第十六次会议审议通过,当日以中华人民共和国主席令发布,并于2000年9月1日开始实施。

#### 1. 产品质量立法的目的、特点和意义

##### (1) 产品质量立法的目的

《质量法》第一条规定:“为了加强对产品质量的监督管理,提高产品质量水平,明确产品质量责任,保护消费者的合法权益,维护社会经济秩序,制定本法。”

该条规定了产品质量立法的目的有以下四条:

##### ① 对产品质量的监督管理,提高产品质量水平

加强对产品质量的监督管理,是指国家对产品质量采取必要的宏观管理和激励引导的措施,促使企业保证产品质量,建立市场公平竞争、优胜劣汰,维护社会经济秩序。

提高产品质量水平,是第一次被作为制定《质量法》宗旨,从而上升为全民族的意志,载入我国法律的史册。提高产品质量,主要靠市场竞争,优胜劣汰,但是政府也要进行一定的宏观调控,对产品质量进行监督管理。一方面是为了保证和提高产品质量,满足社会和消费者的需要;另一方面是运用监督管理手段,发挥市场对企业的引导作用,促使企业不断增强提高产品质量的内在动力,自觉地采用先进技术、标准改进工艺和装备,提高市场竞争能力。

##### ② 产品质量责任

产品质量责任是指产品的生产者、销售者不履行法律规定的产品质量义务,应当承担的法律后果。从广义上讲包括:违反产品质量义务的行政责任、民事责任和刑事责任;从狭义上讲仅是指违反产品质量义务的民事责任。

##### ③ 保护消费者的合法权益

总的来说,改革开放以来产品质量水平不断提高。但是也存在着许多问题,不合格产品的泛滥已严重损害了广大消费者的利益,干扰了正常的生产秩序。因此为了维护消费者的合法权益,在产品质量方面立法已迫在眉睫。

##### ④ 维护社会经济秩序

社会经济秩序,包括社会管理秩序和社会主义经济秩序。生产、销售伪劣产品,是既破坏社会管理秩序的行为,又破坏社会主义经济秩序的行为。制定《质量法》,加强产品质量的市场监管,打击生产销售伪劣产品的违法行为,正是为了维护社会经济秩序。

#### (2) 产品质量立法的特点

产品质量立法具有如下特点:

##### ① 产品质量立法的法律规范具有多样性

因为产品质量法既调整产品质量监督管理关系,也调整产品质量关系,所以产

产品质量法中既有行政法律规范,又有经济民事法律规范,还有刑事法律规范。它的法律规范具有多样性的特征。

### ② 技术法律规范在产品质量法律规范中占有重要地位

产品质量问题集经济性、社会性和技术性于一体,其中,技术性是产品质量问题(产品质量关系)的基础。技术法律规范在产品质量法中的重要地位,首先体现在产品质量法中有许多技术性法律规范;其次体现在产品质量法中的社会性法律规范的贯彻实施,要以技术法律规范为基础。

### ③ 行政规章在产品质量法的贯彻实施中具有重要意义

大量的产品质量法律规范要由行政规章进一步加以明确,要靠行政规章协助实施。这主要体现在有关产品质量监督管理的法律规范上。

### (3) 产品质量立法的意义

《质量法》的颁布实施是我国经济生活中的一件大事,它标志着我国质量工作进一步走上了依法治国的管理轨道,并为惩处生产、销售假冒伪劣产品的违法行为,切实地保护广大用户和消费者合法权益的需要。

贯彻实施《质量法》必将使政府有关管理部门依据法律赋予的职权,作到依法治质;必将使企业切实了解到法律规定企业应当履行的产品质量义务和应当承担的产品质量责任,做到合法经营;必将使广大消费者了解到法律赋予消费者在解决产品质量纠纷时享有哪些权利,做到依法维护自身的合法权益,提高公民的质量法治意识。

## 2. 产品质量立法的指导思想、基本原则及修订

### (1) 产品质量立法的指导思想

产品质量立法是一项复杂的系统工程。因此,制定产品质量法要从我国的实际出发,实行国家宏观调控与市场引导相结合的方针,体现我国社会主义市场经济的发展方向。为企业创造良好的外部环境,激励企业提高产品质量的内在动力。借鉴国外的先进经验,采用先进的管理方法,充分保障消费者的合法权益。

### (2) 产品质量立法的基本原则

产品质量立法具有以下四条原则:

① 有限范围原则:《质量法》主要调整实物产品在生产、销售活动中以及对其实施监督管理过程中所发生的权利、义务、责任关系。重点解决产品质量责任问题,完善我国产品责任的民事赔偿制度。

② 统一立法、区别管理的原则:法律要系统规范企业的行为,要求产品不得存在危及人体健康,人身、财产安全的不合理的危险。同时,要加强对市场领域产品质量的监督检查,建立起运用市场规律抵制假冒伪劣产品的机制。

③ 实行按照区域统一管理、组织协调的属地化原则:即对产品质量的监督管理按照地域进行管辖。

④ 实行奖优罚劣的原则:采取鼓励措施,对质量水平高的企业和产品给予奖励;同时对生产和销售假冒伪劣产品等行为给予严惩。

### (3) 产品质量法的修订

#### ① 《质量法》修订的必要性

《质量法》是我国质量领域的第一部法律,实施近7年来,推动着我国产品质量总体水平的提高,企业的质量管理工作也取得了新的进展。但是面对我国入世和经济全球化的迅速发展以及国内外市场的激烈竞争环境,我国产品质量状况与国际先进水平相比仍有很大差距,产品质量形势依然严峻。主要表现在:一是有些地方领导的产品质量意识淡薄,地方保护主义严重;二是许多企业内部质量管理滑坡,产品质量得不到保证;三是伪劣产品的生产和销售屡禁不止,有的地方已成蔓延趋势;四是由于法律规定的处罚力度小,缺乏有力的法律制裁。因此,有必要对现行的法律进行修订。

#### ② 《质量法》修订的内容

新的《质量法》由原来的51条增加到74条,其中在原法的基础上新增了25条,删除两条,修改20多条,原法三分之二的內容有所改动。

从总体上说,本次修改的《质量法》,主要是进一步明确了各级人民政府在产品工作中的责任,建立、完善了企业产品质量约束机制,加强了行政执法机关对产品质量违法行为,特别是生产销售伪劣产品的行为,加大了处罚力度。

具体而言,新法突出了以下6个方面的内容:

① 明确了各级人民政府在产品工作中的责任,必须组织、督促生产经营者提高产品质量,对假冒伪劣不得进行任何形式的地方保护。

② 建立企业产品质量的约束机制,防止伪劣产品的生产和销售。企业必须实施岗位质量规范、质量责任,抽查不合格的,需承担行政法律责任。新法通过改变“处罚基数”等手段,对假冒伪劣生产经营者加大了法律制裁的力度。

③ 赋予质量技术监督部门必要的行政强制措施。产品质量监督部门可以对违法经营的场所进行现场检查、调查取证、查封或扣押涉嫌伪劣的产品及制作工具等。

④ 加大对产品质量违法行为的法律制裁力度。

⑤ 加强了对产品质量监督部门以及产品质量检验机构、认证机构的约束。

⑥ 建立了产品质量的社会监督机制。

#### 3. 产品质量立法的调整范围

《质量法》第二条规定:“在中华人民共和国境内从事产品的生产、销售活动,必须遵守本法。本法所称产品是指经过加工、制作,用于销售的产品,建设工程不适用本法规定;但是建设工程使用的建筑材料、建筑构配件和设备,属于前款规定的产品范围的,适用本法规定。”这条规定表明了《质量法》的调整范围包括:对产品的范围、对事的范围、对人(主体)的范围、对地域的范围四个方面。

##### (1) 对产品的范围

① 《质量法》所称的产品是指经过加工、制作用于销售的产品。未经过加工过程的天然形成的物品,如原矿、原煤、原油、天然气等,以及初级农产品如农、林、牧、

渔等,不适用《质量法》;同时必须是用于销售的产品,包括以营销为目的有偿或无偿赠送,或作为员工福利而交付给消费者或使用者的产品,非以销售为目的而加工制作的物品不适用《质量法》。

②《质量法》所规定的产品不包括建设工程。建设工程包括:各种房屋、各种管道、采矿业建设工程;交通、水利、防空设施的建设工程,各种建筑物,为施工而进行建筑场地布置等。

③经过加工、制作,用于销售的建筑材料、建筑构配件和设备适用《质量法》。在未形成整体的建设工程之前,建筑材料、建筑构配件和设备在生产和销售中与其它工业品的属性是相同的,因此,经过加工、制作,用于销售的建筑材料、建筑构配件和设备适用《质量法》。

④在中华人民共和国境内销售的属于《质量法》所称范围的进口产品,适用《质量法》的有关规定。对于进口产品的质量要求,往往都订有合同,应该首先适用合同调整质量,但是不得与《质量法》等法律规定相抵触。出口转内销的产品也适用《质量法》规定。

#### (2) 对事的范围

是指《质量法》只调整生产和销售两个环节中的质量问题,仓储、运输过程中的质量问题不包括在内。由于仓储、运输过程中发生的质量问题消费者直接向生产者、销售者要求赔偿,然后生产者、销售者再向承运人或仓储保管人追偿。仓储、运输依法订有合同的,首先适用《合同法》的规定,《合同法》没有规定的,适用《质量法》的规定。

#### (3) 对人(主体)的范围

根据原国家质量技术监督局关于《中华人民共和国质量法条文解释》的规定:“本法适用的主体为在中华人民共和国境内的公民,企业、事业单位,国家机关,社会组织以及个体工商业经营者等。企业包括国有企业、集体所有制企业、私营企业以及中外合资经营企业、中外合作企业和外资企业。个体工商业经营者包括个体工商户、个人合伙等。”

#### (4) 对地域的范围

《质量法》明确规定凡在中华人民共和国境内从事产品生产、销售活动的,都适用《质量法》。

### 4. 产品质量法的监督管理体系和制度

#### (1) 产品质量监督管理体系

各级人民政府在产品质量工作中的职责是把提高产品质量纳入国民经济和社会发展规划,加强对产品质量工作的统筹规划和组织领导,引导、督促生产者、销售者加强产品质量管理,提高产品质量,组织各有关部门依法采取措施,保障《质量法》的施行。

国务院产品质量监督部门负责全国产品质量监督工作。国务院有关部门,如国务院卫生行政部门、中华人民共和国船舶检验局等,在各自的职责范围内负责产

品质量监督管理工作。

县级以上地方人民政府管理产品监督工作的部门负责本行政区域内的产品质量管理工作,县级以上地方人民政府有关部门,如技术监督部门、标准计量部门、卫生部门、进出口商检局等,在各自的职责范围内负责产品质量监督管理工作。

### (2) 质量监督部门的主要责任

- ① 监督检查产品方针、原则、法规和技术标准以及重大措施的贯彻执行;
- ② 计划、组织、协调有关单位开展生产、流通领域的质量监督活动,对监督中发现问题依法处理;
- ③ 规划、促进、管理产品质量监督检验和检查机构,负责对这些机构的审查认可;
- ④ 培训、考核和管理质量监督员;
- ⑤ 参与优质产品的评定和复查工作;
- ⑥ 管理质量认证工作;
- ⑦ 仲裁质量争议,接待、处理投诉;
- ⑧ 对质量监督情况进行统计、分析,向政府及有关部门传递质量信息和建议。

### (3) 产品质量监督管理制度

《质量法》规定了五项国家对于产品质量所采取的激励引导和宏观管理制度。主要包括:企业质量体系认证制度、产品质量认证制度、产品质量监督检查制度、产品质量社会监督检查制度和产品质量奖惩制度。下面主要介绍后面三项:

#### ① 产品质量监督检查制度

《质量法》的第十五至十八条对产品质量监督检查制度作出了具体、明确的规定。其要点包括:

① 产品质量监督检查是县级以上人民政府技术监督行政部门以及法律规定的其它部门,依据国家法律、行政法规的规定。代表政府履行职责,执行公务,对生产领域、流通领域的产品质量实施监督的一种具体行政行为。

② 产品质量监督检查的方式主要是抽查,其方式有监督抽查、统一监督检验和定期监督检验三种。抽查所需样品应当在市场上或者企业成品仓库内的待销产品中随机抽取;抽样数量应当按照检验的合理需要确定;样品由被检查者无偿提供;抽查程序不得重复。

③ 质量监督抽查的产品范围包括三个方面:可能危及人体健康、人身、财产安全的产品;影响国计民生的重要工业品;消费者和有关组织反应有质量问题的产品。

④ 生产者、销售者对抽查结果有异议的可以向有关的产品质量监督部门申请复检。复检合格的,不再收取检验费;复检不合格的,应当交纳检验费。

⑤ 生产者、销售者有接受依法进行的产品质量监督检查的义务。

⑥ 监督检查中发现产品一般质量问题的责令其生产者、销售者限期改正、公告;或则令停业、限期整顿、吊销营业执照;严重质量问题依照《质量法》第五章的有

关规定处罚。

应当区分一般质量问题和严重质量问题。一般质量责任问题是指除以下几种情况以外的质量问题:一是产品质量不符合保障人体健康、人身财产安全的国家标准、行业标准的;二是在产品中掺杂、掺假,以假充真,以次充好,以不合格产品冒充合格产品的;三是属于国家明令淘汰产品的;四是失效、变质的;五是伪造产品产地的,伪造或者冒用他人厂名厂址的;伪造或者冒用生产日期、安全使用期或者失效日期的;伪造或者冒用认证标志的。

⑦ 明确了产品质量监督管理的行政执法手段和行政强制措施。执行行政强制措施时,应具备以下条件:一是要有违法嫌疑的证据或者举报;二是实施行政强制措施的程序必须合法。

## ② 产品质量社会监督制度

《质量法》第十条、第二十二条至第二十五条规定了产品质量的社会监督制度,其中第十条和后面两条是新增加的内容。

① 明确了任何单位和个人对违反《质量法》规定行为的检举权:

《质量法》第十条规定,各省、自治区、直辖市质量技术监督部门应当及时配合当地政府制定有关举报奖励制度,建立健全举报处理程序。各级质量技术监督部门应按上述规定向社会公布举报电话,登记并及时处理举报,不得无故拖延。

② 明确了消费者享有查询权和申诉权;

③ 明确了消费者组织参与产品质量社会监督,享有建议处理权和支持消费者起诉的权利;

④ 明确了监督检查的产品的质量状况的公告制度;

⑤ 明确了禁止国家机关、产品质量检验机构向社会推荐产品或参与产品经营活动的规定。

## ③ 产品质量奖惩制度

① 《质量法》第六条主要说明了国家对产品质量采取有关鼓励政策的规定;

② 《质量法》第九条主要规定了禁止国家机关及其工作人员、包庇放纵产品生产、销售中违反《质量法》规定的行为,及其对此种包庇放纵行为依法追究法律责任,该条是新增内容;

《质量法》第十一条规定了对地区封锁行为的禁止,该条也是新增内容。

## 5. 产品质量义务

产品质量义务,是产品质量法律关系的主体在产品质量方面应为一定行为或不应为一定行为的必要性。承担产品质量义务的,主要是参与产品生产、流通、交换等过程中的生产经营者(包括产品的生产者和销售者)。生产经营者的义务总的来说就是保证产品质量符合要求。生产经营者产品质量义务的具体内容,除了由当事人在合同中自主约定外,国家的法律法规也有明确规定和要求。

### (1) 生产者的产品质量义务

主要包括:生产者保证产品内在质量的义务、提供产品标识的义务和对特殊产

品包装方面的义务三个方面。

### ① 生产者保证产品内在质量的义务

《质量法》第二十六条规定了生产者保证产品内在质量的义务,具体体现在以下几个方面:

① 生产者提供的产品首先应保证产品的内在质量,即保证产品不存在缺陷,这是生产者的首要义务。所谓缺陷,《质量法》第四十六条作了明确规定:“本法所称缺陷,是指产品存在危及人身、他人财产安全的不合理的危险;产品有保障人体健康和人身、财产安全的国家标准、行业标准的,是指不符合该标准。”

产品存在缺陷,不仅妨碍、影响产品的正常使用,而且极易造成人身、财产损害。

② 生产者提供的产品保证具备应当具备的使用性能。也就是说,生产者提供的产品应当适合于该产品的一切用途,只有产品具备应当具备的使用性能,消费者的经济利益才能有保证。

③ 生产者提供的产品质量应当符合在产品或者其包装上注明采用的产品标准,符合以产品说明、实物样品等方式表明的质量状况。生产者在产品上注明其生产该产品所执行的产品标准,对产品质量作出具体说明,用实物样品展示其产品,在法律上构成了对该产品质量的担保。

### ② 生产者提供产品标识的义务

生产者的主要义务可归纳为以下两条:

#### ① 生产者应当提供必要的产品标识

产品标识是向有关各方传递产品信息的重要手段之一,也是政府部门进行监督管理的一个重要依据。所谓必要的产品标识主要指那些用于分辨产品的生产者以及说明产品特性、特征的产品标识。《质量法》第二十七条明确规定,产品(包括进口产品)或者其包装上的标识必须真实,并符合下列要求:

- 1) 有产品质量检验合格证明;
- 2) 有中文表明的产品名称、生产厂厂名和厂址;
- 3) 根据产品的特点和使用要求,需要表明产品规格、等级、所含主要成分的名称和含量的,用中文相应予以标明;需要事先让消费者知晓的,应当在外包装上标明,或者预先向消费者提供有关资料。
- 4) 限期使用的产品,应当在显著位置清晰地标明生产日期和安全使用期或者失效日期;
- 5) 使用不当,容易造成产品本身损坏或者可能危及人身、财产安全的产品,应当有警示标志或者中文警示说明。

裸装的食品和其它根据产品的特点难以附加标识的裸装产品,可以不加产品标识。

#### ② 生产者提供的产品标识应当真实、明确

产品标识的基本功能是向市场上有关主体传递产品的有关信息。保证信息传



递无误的重要的条件是:产品标识应当真实、明确。不真实的、欺骗性的以及使人误解的产品标识,会对市场的透明度造成损害。因此,生产者在提供必要的产品标识的同时,必须保证产品标识真实、明确。

质量技术监督部门要严格区分标识不规范和利用标识进行质量欺诈两种不同性质的行为,防止对标识标注不规范问题的处罚随意性。

### ③ 生产者对特殊产品包装方面的义务

生产者的包装义务,主要由生产者与其它当事人签订的合同加以规定,法律原则上不作过多干涉,但对特殊产品,国家法律规定了产品生产者在包装方面的义务。对于这种义务,《质量法》第二十八条作了如下原则性的规定:“易碎、易燃、易爆、有毒、有腐蚀性、有放射性等危险物品以及储运中不能倒置和其它有特殊要求的产品,其包装质量必须符合相应要求,依照国家有关规定作出警示标志或者中文警示标识。”

除了上述三条生产者的产品质量义务外,《质量法》还规定:生产者不得生产国家明令淘汰的产品;生产者不得伪造产地,伪造或冒用他人厂名、厂址;伪造或冒用认证标志;不得掺杂、掺假,不得以次充好等方面的义务。

### (2) 销售者的产品质量义务

产品销售者是产品流通过程中的重要主体,也是重要的产品质量义务主体。《质量法》第三章第二节系统规定了销售者的产品质量义务。主要包括四个方面:

#### ① 销售者必须严格执行进货检查验收制度

《质量法》第三十三条规定:“销售者应当建立并执行进货检查验收制度,验明产品合格和其它标识。”产品进货检查验收包括产品标识检查、产品感官检查和必要的内在质量检验。

#### ② 销售者保管产品的义务

《质量法》第三十四条规定:“销售者应当采取措施,保持销售产品的质量。”这是关于销售者保持产品原有质量的义务的规定。

#### ③ 销售者销售产品的标识必须符合法律规定的要求

《质量法》第三十六条规定:“销售者销售的产品的标识应当符合本法第二十七条的规定。”这是关于销售者与生产者在产品标识方面的责任转移。若销售者未履行进货检查制度,销售的产品标识不符合要求,则销售者要首先承担责任,对消费者负责。若因销售匿名产品造成了侵权损害,销售者要承担侵权赔偿责任。

#### ④ 销售者严禁销售“假冒伪劣”产品

《质量法》第三十七条至第三十九条对销售者销售假冒伪劣产品作出了七项禁止性行为规范。

以下行为应当认定为假冒伪劣行为:一是生产国家明令淘汰产品,销售国家明令淘汰并停止销售的产品和销售失效、变质产品的行为;二是伪造产品产地的行为;三是伪造或者冒用他人厂名、厂址的行为;四是伪造或者冒用认证标志的行为;五是在产品中掺杂、掺假,以假充真,以次充好,以不合格产品冒充合格产品的行为。

## 6. 产品质量的行政责任

### (1) 承担产品质量行政责任的方式

生产者、销售者、有关的国家机关、社会团体和中介机构违反《质量法》的规定,将依法承担法律后果,包括行政制裁。

所谓“行政制裁”是指国家行政机关对违反行政法律规范的违法行为追究行政责任所实施的强制手段。行政制裁包括行政处罚和行政处分。

《质量法》对违法者采取的行政处罚方式共有以下 10 种:

① 责令停止生产:主要适用于生产不符合保障人体健康,人身、财产安全的国家标准、行业标准的产品的;在产品中掺杂、掺假、以假充真、以次充好、以不合格产品冒充合格产品的;生产国家明令淘汰产品的;产品标识不符合规定要求等情况。

② 责令停止销售:主要适用于销售不符合保障人体健康,人身、财产安全的国家标准、行业标准的产品的;在产品中掺杂、掺假、以假充真、以次充好以不合格产品冒充合格产品的;销售失效、变质产品的;以及产品标识不符合规定要求等情况。

③ 责令停止使用:主要适用于服务行业的经营者将禁止销售的产品用于经营性服务的情况,该种方式是新增加的内容。

④ 吊销营业执照:主要适用于生产、销售不符合安全、卫生的国家标准、行业标准的产品的;在产品中掺杂、掺假、以次充好、以不合格产品冒充合格产品的;生产国家明令淘汰的产品的;销售失效、变质产品的;伪造产地,伪造或者冒用他人厂名、厂址或认证标志等的;拒绝接受产品质量监督检查的等情况。

⑤ 撤消资格:主要适用于产品质量检验机构、认证机构出具的检验结果或证明不实,造成重大损失的;产品质量认证机构对因产品不符合认证标准给消费者造成重大损失的;产品质量监督部门或者其它国家违反规定,以向社会推荐产品等方式参与经营活动,情节严重的等情况,该种方式是新增加的内容。

⑥ 退还:主要适用于产品质量监督部门在产品质量监督抽查中超过规定的数量索取样品或者向被检查人收取检验费用的情况,该种方式是新增加的内容。

⑦ 没收产品或原材料等:主要适用于生产、销售不符合国家或行业安全、卫生标准的产品的;生产国家明令淘汰产品;销售变质产品的违法行为;以假充真的产品的原材料、包装物或工具。

⑧ 没收违法所得或收入:主要适用于生产、销售不符合国家或行业安全、卫生标准的产品的;在产品中掺杂、掺假、以假充真、以次充好、以不合格冒充合格产品的;生产国家明令淘汰产品的;销售失效、变质的产品的;伪造、冒用产品标识和质量标志的;产品质量检验机构、认证机构伪造检验结果或者出具虚假证明的;违反法律规定从事运输、仓储、保管,提供制假技术,向社会推荐产品以及进行产品的监制、监销等违法活动;隐匿、转移、变卖、损毁被产品质量监督部门或者工商行政管理部门查封、扣押的物品的;产品质量监督部门或者其它国家违反规定,以向社会推荐产品等方式参与经营活动等情况。

⑨ 罚款:主要适用于生产不符合保障人体健康,人身、财产安全的国家标准

行业标准的产品的;在产品中掺杂、掺假、以假充真、以次充好、以不合格产品冒充合格产品的;生产国家明令淘汰产品的;伪造产地,伪造或者冒用他人厂名、厂址或认证标志等的;产品标识不符合规定要求的;产品质量检验机构、认证机构伪造检验结果或者出具虚假证明的;违反法律规定从事运输、仓储、保管,提供制假技术,向社会推荐产品以及进行产品的监制、监销等违法活动;隐匿、转移、变卖、损毁被产品质量监督部门或者工商行政管理部门查封、扣押的物品的等情况。

⑩ 警告、责令改正、更正、公开更正、消除影响:主要适用于拒绝接受产品质量监督检查的;伪造产地,伪造或者冒用他人厂名、厂址或认证标志等的;以及产品标识不符合规定要求;产品质量监督部门或者其它违反国家规定,以向社会推荐产品等方式参与经营活动等情况。

此外,《质量法》规定的行政处分,依照国家的有关规定可以给予相关国家机关工作人员从警告到开除的处罚。

## (2) 产品质量行政处罚的执法机关

《质量法》第七十条明确规定:“本法规定的吊销营业执照的行政处罚由工商行政管理部门决定,本法第四十九条至第五十七条、第六十条至第六十三条规定的行政处罚由产品质量监督部门或者工商行政管理部门按照国务院规定的职权范围决定。法律、行政法规对行使行政处罚权的机关另有规定的,依照有关法律、行政法规的规定执行。”该条明确规定了技术监督部门和工商行政管理部门是执行《质量法》规定的行政处罚的主要机关。

## 7. 产品质量的民事责任

产品质量的民事责任,是指产品生产经营者在平等主体间的产品质量法律关系中,违反产品质量义务所应承担的具有经济民事性质的法律后果。

《质量法》规定了两种产品质量民事责任:一种是产品质量瑕疵担保责任;另一种是产品质量损害赔偿赔偿责任。

### (1) 产品质量瑕疵担保责任

产品质量瑕疵担保责任,是指商品交易关系中的卖方违反其对产品质量所作的承诺、保证,提供的产品质量存在瑕疵,因而对买方应承担的降价、修理、更换、退货、赔偿经济损失的责任。

《质量法》第四十条对产品质量瑕疵担保责任作出了明确的规定。

#### ① 承担产品质量瑕疵担保责任的条件

主要包括以下三点:

- ① 产品不具备应当具备的使用性能而事先未作说明的;
- ② 产品质量不符合在产品或者包装上注明采用的产品标准的;
- ③ 产品质量不符合产品说明书、实物样品等对产品质量状况作出说明或表明的。

#### ② 承担瑕疵担保责任的方式和范围

- ① 方式:销售者应当负责修理、更换、退货;给消费者造成损失的,销售者应当赔偿损失;

## ② 范围:销售者售出的产品。

销售者承担瑕疵担保责任后有权向对产品瑕疵负有责任的生产者、供货者追偿损失。销售者不能指明缺陷产品的生产者或供货者的,销售者应当承担赔偿责任。

## (2) 产品质量损害赔偿责任的

产品质量损害赔偿责任的,即产品责任。它是指产品存在缺陷,给他人人身或财产造成损害时,产品经营者应当承担的赔偿损失的责任。

《质量法》第四十一条至四十八条就产品质量损害赔偿责任的作了集中说明。

### ① 承担产品质量损害赔偿责任的条件的

承担产品损害赔偿责任的条件的有:

- ① 产品存在缺陷;
- ② 缺陷产品造成了损害;
- ③ 损害和产品中存在的缺陷有因果关系。

对于生产者而言,只要具备了以上 3 个条件,产品质量损害赔偿责任的即告成立,应负责赔偿受害人的损失。对于销售者而言,除了上述 3 个条件外还要求销售者主观上存在过错,否则,销售者不承担损害赔偿责任的。

另外,在下列情况下,虽然产品存在缺陷并造成损害,但生产者也不承担产品质量损害赔偿责任的。

- ① 未将产品投入流通的;
- ② 产品投入流通时,引起损害的缺陷尚不存在;
- ③ 产品投入流通时,科学技术尚不能发现缺陷存在的。

上述情况是否存在,生产者要提供证明。

### ② 产品损害赔偿的范围

《质量法》第四十四条具体规定了损害赔偿的范围,是指造成人身伤害的,侵害人应当赔偿医疗费、治疗期间的护理费、因误工减少的收入等费用;造成受害人死亡的,应当支付丧葬费、抚恤费、死者生前抚养的人必要的生活费等费用;造成受害人财产损失的,侵害人应当恢复原状或者按照现行价格对遭受损害的财产折算成货币进行赔偿;受害人因此遭受其它重大损失的,侵害人亦应当赔偿。

### ③ 承担产品质量损害赔偿责任的期间的

《质量法》第四十五条规定:

产品质量损害赔偿责任的诉讼时效期间为二年,自受害人知道或者应当知道缺陷产品造成损害之日起计算。超过二年诉讼时效期间,受害人便丧失了胜诉权。

产品质量损害要求赔偿的请求权为十年,自该造成损害的缺陷产品交给最初的消费者算起,超过了十年便丧失了请求赔偿的权利,但尚未超过明示的保质期的除外。

## 8. 产品质量的刑事责任

产品质量立法的一个重要特点,就是充分体现了严厉制裁原则。主要表现为对违法行为不但要追究行政责任还要追究民事责任,对构成犯罪的,还要追究刑事

责任。

#### ① 依据现行《刑法》追究刑事责任

《质量法》第五章罚则中,对构成犯罪的违法行为,明确规定要依法追究刑事责任。主要包括五种:贿赂罪、伪造证件罪、玩忽职守罪、徇私舞弊罪、介绍贿赂罪。

#### ② 依据《全国人大常委会关于惩治生产、销售伪劣商品犯罪的决定》追究刑事责任

该《决定》对产品质量犯罪行为及其刑事责任作了专门的、具体的规定。是对《质量法》的补充和完善。

#### 9. 关于从轻或减轻处罚的规定

《质量法》第五十五条规定,销售者销售法律第四十九条至第五十三条禁止销售的产品,有充分证据证明其不知道该产品为禁止销售的产品并如实说明其进货来源的可以从轻或减轻处罚。销售者销售上述产品不能提供充分证据证明其不知道该产品为法律禁止销售的产品,不能说明或者不如实说明其进货来源的,应当严格依法予以处罚。

#### 10. 关于“货值金额”和“违法所得”、“违法收入”的计算的规定

《质量法》第七十二条规定的货值金额是指当事人违法生产、销售产品的数量(包括已售出的和未售出的产品)与其单件产品标价的乘积。对生产的单件产品标价应当以销售明示的单价计算;对销售的单件产品应当以销售者货签上标明的单价计算。生产者、销售者没有标价的,按照该产品被查处时该地区市场零售价的平均单价计算。《质量法》所称违法所得是指获取的利润。

《质量法》第六十一条、第六十七条规定的违法收入,是指违反法律规定从事运输、仓储、保管,提供制假技术,向社会推荐产品以及进行产品的监制、监销等违法活动所获取的全部收入。

#### 11. 关于办案证据的规定

《质量法》规定质量技术监督部门在行政执法过程中,需对涉嫌假冒的产品进行鉴定,鉴定结论可以作为办理技术监督行政案件的重要证据之一。质量技术监督行政执法部门经过查证,可以将被假冒生产企业出具的鉴定结论和提供的其它证明材料,作为认定该产品真伪的依据。质量技术监督部门若通过检验对产品的内在质量进行判断,应当以法定检验机构出具的检验报告为准。

### 1.7.3 产品质量法和其它法律的关系

《中华人民共和国产品质量法》是我国关于产品质量方面的基本质量法律规范。因此在《质量法》与其它法律的关系上要注意三条基本原则:

#### 1. 特殊法优先适用于普通法的原则

所谓特殊法就是指调整某些特殊产品的专门法律。例如《中华人民共和国食品卫生法》、《中华人民共和国药品管理法》等。《中华人民共和国产品质量法》的普遍性是相对而言的,对于《民法通则》来说它又是特殊法。

所谓特殊法优先适用于普通法的原则,是指对同一问题有规定的,应当首先适用特殊法的规定;特殊法没有规定的适用普通法的规定。

## 2. 后法优先适用于前法的原则

所谓后法优先适用于前法的原则,是指对同一种行为,前法作了规定,后来颁布的法律对此亦作出了新的规定,并且前法和后法的规定可能不一致。因此在适用法律时,一般要适用后法的规定。

## 3. 法的效力等级原则

《工业产品质量责任条例》、《产品质量监督试行办法》目前仍是有效的行政法规,在适用时应当遵循法的效力等级原则。对同一问题上述行政法规与法律均有规定但相互抵触的应当以《质量法》的规定为准;《质量法》没有规定,而上述行政法规有规定的,可以依照行政法规的规定执行。

### 1.7.4 《中华人民共和国标准化法》

《中华人民共和国标准化法》(简称《标准化法》),于1988年12月29日有七届全国人大常委会第五次会议审议通过,自1989年4月1日起施行。共五章二十六条,包括总则,标准的制定、标准的实施、法律责任和附则。

标准化是组织现代化生产不可缺少的技术依据,是进行科学管理的重要技术基础,也是进行国际经济、技术交流的共同语言。制定《标准化法》的目的在于促进技术进步,改进产品质量,提高社会经济效益,维护国家和人民的利益,使标准化工作适应现代化建设和发展对外经济关系的需要。《标准化法》颁布实施标志着标准化工作进入了法制管理的新阶段。

详细请参见《中华人民共和国标准化法》。

### 1.7.5 《中华人民共和国计量法》

《中华人民共和国计量法》(简称《计量法》),于1985年9月6日由六届全国人大常委会第十二次会议审议通过,自1986年7月1日起施行。共六章三十五条,包括总则、计量基准器具、计量标准器具和计量检定、计量器具管理、计量监督、法律责任和附则。

《计量法》是国家管理计量工作,实施计量法制监督的基本法律规范和最高准则。制定和实施《计量法》是为了加强计量监督管理,保障国家计量单位制的统一和量值的准确可靠,有利于生产、贸易和科学技术的发展,适应社会主义现代化建设的需要,维护国家和人民的利益。

《计量法》的颁布实施,使我国计量工作的监督管理有了法律依据,合理地调整了各种计量法律关系,并以法律的形式统一了国家计量单位制,实现全国量值的统一和准确可靠,健全完善了计量法制,为国民经济提供了有效的计量保证。

详细请参见《中华人民共和国标准化计量法》。

### 1.7.6 《中华人民共和国药品管理法》

《中华人民共和国药品管理法》(简称《药品管理法》),于1984年9月20日由全国人大常委会第七次会议审议通过,并于1985年7月1日起施行。该法共计十一章六十条,主要包括:总则、药品生产企业的管理、药品经营企业的管理、医疗单位的药剂管理、药品的管理、药品监督、法律责任和附则。

#### 1. 药品管理法立法目的

《药品管理法》第一条规定制定该法的目的是:为了加强药品的监督管理,保证药品质量,增进药品疗效,保障人民用药安全,维护人民身体健康。药品是关系到人体健康、人身安全的特殊产品。因此,必须加强对药品的管理。

#### 2. 药品管理法的调整范围

《药品管理法》主要调整药品生产、经营、使用环节中的法律关系,具体规定了药品生产企业、药品经营企业、医疗单位等的管理制度。

#### 3. 药品生产、经营企业的管理

国家对药品生产、经营实行许可证制度。开办药品生产、经营企业要具备相应的条件才能开业。

##### (1) 药品生产企业的管理

开办药品生产企业必须经有关药品经营主管部门审查同意,有关行政主管部门审核批准,并发给《药品生产企业许可证》。无《药品生产企业许可证》,工商管理部门不得发给《营业执照》。生产药品所需的原料、及其它辅料,必须符合药用要求;药品出厂前必须经过检验并符合标准。

##### (2) 药品经营企业的管理

开办药品经营企业必须由所在地药品生产经营主管部门审查同意,经县级以上卫生行政部门审核批准,并发给《药品经营许可证》,无《药品经营许可证》,工商管理部门不发给《营业执照》。收购药品要进行验收;销售药品要准确无误,调配处方必须经过核对;销售地道中药材,必须标明产地。

#### 4. 医疗单位的药剂管理

医疗单位必须配备与其医疗任务相适应的药学技术人员,非药学技术人员,不得直接从事药剂技术工作;医疗单位配制制剂要有《制剂许可证》,配制制剂要有相应的设施、检验仪器和卫生条件;医疗单位配制制剂、购进药品必须进行质量检查或验收,所配制剂不得在市场销售。

#### 5. 药品、药品包装及药品商标和广告管理

《药品管理法》规定,国家鼓励研究、创制新药,并按照国家规定,由国务院卫生行政部门统一管理。

进口药品必须符合国家规定。不得进口疗效不确、不良反应大或者其它原因危害人民健康的药品;不得进口未经检查的或者不合格的药品。首次进口的药品,必须提供有关说明书、质量标准、检验方法及样品和有关生产证明文件,并经国务院卫生行政部门批准。特殊药品,如麻醉药品等按照国家特殊规定执行。

禁止出口国内供应不足的中药材、中成药;禁止销售假药、劣药;

药品包装必须符合药品质量的要求,方便储存、运输和医疗使用,规定有效期的,必须在包装上注明有效期。药品包装必须按照规定贴有标签注明并附有说明书;特殊药品须印有规定的标志;药品经营企业分装药品须具备相应的设施、条件和技术人员。

药品商标实行全面注册的原则。除中药材、中药饮片外,必须使用注册商标。

药品广告必须经省、自治区、直辖市卫生行政部门审查批准。

#### 6. 违反药品管理法的法律责任

《药品管理法》对以下违法行为定应当承担的相应法律责任:

- (1) 生产销售假药、劣药;
- (2) 未取得《药品生产企业许可证》、《药品经营企业许可证》、《制剂许可证》;
- (3) 违反本法关于药品生产、药品经营管理的其它规定。

除了有关广告管理规定的行政处罚,由工商行政管理部门决定外,其它行政处罚由县级以上卫生行政部门决定。

### 1.7.7 《中华人民共和国食品卫生法》

《中华人民共和国食品卫生法》(简称《食品卫生法》),于1982年11月19日经第五届全国人大常委会第二十五次会议审议通过,并于1983年7月1日起试行。该法共九章四十五条,包括:总则,食品的卫生,食品添加剂的卫生,食品容器、包装材料和食品用工具、设备的卫生,食品卫生标准和管理办法的制定,食品卫生管理,食品卫生监督,法律责任,附则。

#### 1. 食品卫生法立法目的

《食品卫生法》第一条明确规定了其立法目的是:为了保证食品卫生,防止食品污染和有害因素对人体的危害,保障人民身体健康,增强人民体质。

#### 2. 食品卫生法的调整范围

《食品卫生法》第四条明确规定了其调整范围为:凡在中华人民共和国领域内从事食品生产经营的,都必须遵守本法。

本法适用于一切食品,食品添加剂、食品容器,包装材料和食品用工具、设备。

#### 3. 食品卫生的要求

《食品卫生法》对以下几个方面的卫生要求作了比较详细的规定:

- (1) 专供婴幼儿的主、辅食品;
- (2) 食品生产经营过程;
- (3) 禁止生产经营的食品;
- (4) 食品添加剂的卫生;
- (5) 食品容器、包装材料和食品用工具、设备的卫生。

#### 4. 食品卫生的管理

《食品卫生法》规定食品生产经营企业的新建、扩建、改建工程的选址和设计,



必须符合卫生要求。

国家对食品生产经营企业和食品商贩实行卫生许可证制度。取得《卫生许可证后》方可向工商行政管理部门申请开业登记或变更登记。

食品生产经营企业采购食品,必须索取检验合格证或者化验单。

食品生产经营人员每年必须进行健康检查;凡是患有传染性疾病及其它有碍食品卫生疾病的人员,不得参加接触直接入口的食品的工作。

进口食品须经检验,并提供有关资料和检验报告。海关负责国境食品卫生监督工作。

### 5. 食品卫生的监督

卫生行政部门设置食品卫生监督机构,负责辖区范围内的食品卫生监督工作。

食品卫生监督机构设立食品卫生监督员,执行食品卫生监督机构交付的任务,可以进行监督检查、采样等。

### 6. 违反食品卫生法的法律责任

《食品卫生法》对以下违法行为规定应当承担相应的法律责任:

- (1) 生产经营不符合卫生标准的食品,造成食物中毒事故或者其它食源性疾病的;
- (2) 未取得卫生许可证或者伪造卫生许可证从事食品生产经营活动的;
- (3) 食品生产经营过程不符合卫生要求的;
- (4) 生产经营或使用不符合卫生标准和卫生管理办法规定的食品添加剂、食品容器、包装材料和食品用工具、设备以及洗涤剂、消毒剂的;
- (5) 定型包装食品和食品添加剂的包装标识或者产品说明书上不标明生产日期、保质期等等的;
- (6) 食品生产经营人员未取得健康证明而从事食品生产经营的;
- (7) 卫生行政部门、食品卫生监督管理人员以及其他有关人员违反法律规定的。

## 1.8 质量经济分析

质量与经济密不可分。质量管理学科的先驱美国休哈特从一开始就把他的专著取名为《加工产品质量的经济控制》,将质量与经济联系在一起。20世纪50年代美国菲根堡姆在他的《全面质量管理》一书中特别提出要重视质量的经济性,并对质量成本作了详细的阐述;著名质量专家朱兰也强调要用财务管理理论来加强质量管理,把质量管理学科推上了一个新的高度。与此同时,随着质量概念的不断演变,从符合性发展到追求顾客满意,质量经济性也越来越重要,逐渐成为质量管理中的一个重要内容。

所谓质量经济分析,又称质量经济管理,就是通过产品质量与投入(成本)、与产出(收益)之间的关系的分析,探求最适宜的质量水平,使企业的、社会的经济效益达到最佳值。质量经济分析贯彻于质量的产生、形成到实现的全过程。

### 1.8.1 质、本、利分析

产品质量水平受到许多因素的影响。一定水平的质量总是建立在相应费用的基础上,单纯片面地追求产品的“高质量”,势必造成高消耗、高成本,并不一定给企业带来好的效果,有时甚至恰恰相反。因此,确定产品质量水平时,必须综合考虑质量水平与产品成本、产品销售额之间的关系。只有将产品质量和技术先进性与经济合理性结合起来加以考虑,制定出合理的质量特性,才能有利于企业经营目标的实现。

从经济效益的要求出发,确定质量水平的原则是:在保证满足用户要求和产品使用价值的前提下使企业获得最大利润。质量水平与成本和收益的关系如图 1.8-1 所示。

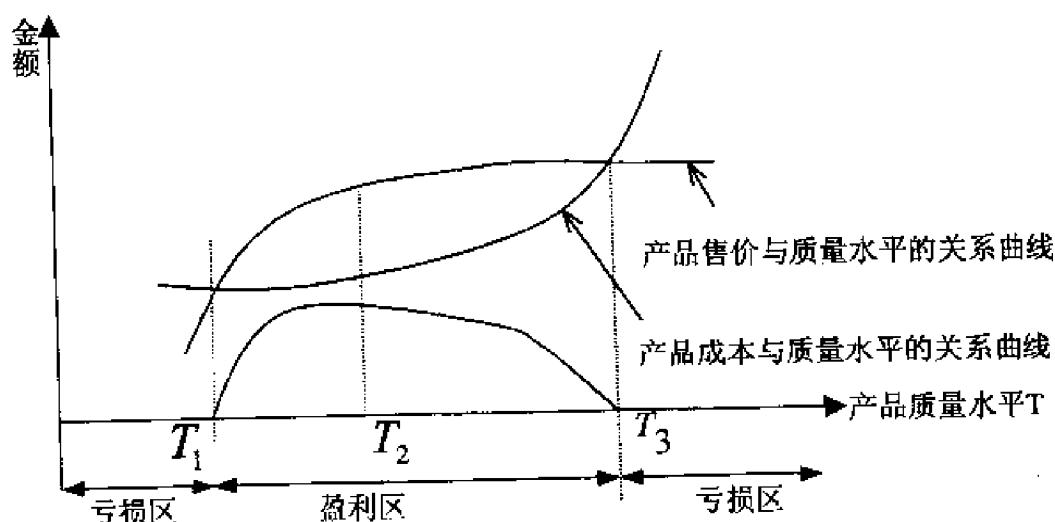


图 1.8-1 产品质量水平与成本和收益的关系

图 1.8-1 表明,产品成本随质量水平的提高而逐渐递增,而且递增速度随着质量水平提高而加快。当质量很低时,成本也比较低,在这种情况下,稍加改进,质量就会显著提高,而增加的费用并不多。当质量达到相当高的水平时,再要提高质量,成本的增加就会显著递增了。这是因为,为了提高产品质量,需要投入更先进的技术和更好的工艺装备,花费必然增加。当质量水平临界时,由于某种加工方法的技术水平已全部发挥,用这种方法提高产品质量已成为不可能,所以此时用来改善产品质量的投资将使产品成本急剧上升而质量却得不到更多的改善。

另一方面,随着产品质量的上升,产品的使用价值提高,因而市场售价也将提高。但是,售价提高的变化率将随着质量水平的提高而下降,到一定程度后再提高质量也不会带来售价的提高。这是因为,用户对产品使用价值的支付意愿有限,因而当产品质量达到一定程度后再提高价格,对用户的吸引力也会越来越小。此时,由于成本很高,价格很贵而致使销售量减少,效益下降。同样,当质量下降到一定程度以后,销售额也将下降。

综上所述,对一个组织来讲,要获得利润,必须使销售收入大于产品总成本。它说明只有把质量水平确定在  $T_1$  和  $T_3$  的范围之内组织才能盈利。同时,在  $T_1$  和  $T_3$  之间必然存在一个最佳质量水平  $T_2$ 。设价格与质量水平的函数为  $P(T)$ ,成本与质量水平的函数为  $C(T)$ ,则利润函数  $P_i$  可以表示为:

$$P_i = P(T) - C(T) \quad (1.8-1)$$

利润函数对质量水平求一阶导数,得:

$$P'_i = P'(T) - C'(T) \quad (1.8-2)$$

令其为零,得:

$$P'(T) = C'(T) \quad (1.8-3)$$

结果表明,当价格对质量水平的变化率与成本对质量水平的变化率相等时,能获得最大利润,此时产品质量水平最佳,经济上最合算。

## 1.8.2 质量成本

### 1. 质量成本的定义

质量成本是指将产品质量保持在规定的质量水平上所需的费用。它是企业生产总成本的一个组成部分。质量成本是为了确保满意的质量而发生的费用以及没有达到满意的质量所造成的损失费用之和。

### 2. 质量成本的分类

#### (1) 按质量成本存在的形式分为质量成本和隐含质量成本

国家标准 GB/T 13339-91《质量成本管理导则》中规定:显见质量成本,是指根据国家现行成本核算制度规定列入成本开支范围的质量费用。这类成本可以通过会计成本系统,根据原始记录、报表、数据进行核算。

隐含质量成本,是指未列入国家现行成本核算制度规定的成本开支范围,也未列入专用基金,通常不是实际支出的费用,而是反映实际收益的减少,如产品降级、降价、停工损失等。隐含质量成本属管理会计范畴。

#### (2) 按质量成本的作用分为控制成本和控制失效成本

控制成本,是指与质量变动有关的成本,是对产品质量进行控制、管理和鉴定所支付的费用,这部分费用常随质量的变化而变化。

控制失效成本,是指由于控制不力而造成的内部损失和外部损失,是一种损耗性成本。

#### (3) 按质量成本的性质分为运行质量成本和外部活动成本

运行质量成本,是组织为达到和保证所规定的质量水平所支付的费用,包括预防成本、鉴定成本、内外部损失成本。

外部活动成本,是指组织的外部质量保证费用。

#### (4) 按质量成本的发生环节分为直接质量成本和间接质量成本

直接质量成本,包括作业、设备质量成本,其中作业成本是指可控制质量成本

和控制失效成本。

间接质量成本,主要是指发生在消费环节中的费用,包括用户承担的质量成本、用户不满的质量成本和声誉损失成本等。

### 3. 质量成本的构成

国家标准 GB/T13339-91《质量成本管理导则》规定质量成本包括 5 个部分:预防成本、鉴定成本、内部损失成本、外部损失成本,特殊情况下,还包括外部质量保证成本,并分别给出了定义。

预防成本,是指用于预防不合格品与故障等所支付的费用。

鉴定成本,是指评定产品是否满足规定的质量要求所支付的费用。

内部损失成本,也称内部故障成本,是指产品交货前因不满足规定的质量要求所损失的费用。

外部损失成本,又称外部故障成本,是指产品交货后因不满足规定的质量要求,导致索赔、修理、更换或信誉损失等所损失的费用。

外部质量保证成本,是指为提供用户要求的客观证据所支付的费用。它包括特殊的和附加的质量保证措施、程序、数据、证实试验和评定的费用(如由认可的独立试验机构对特殊的安全性能进行试验的费用)。

### 4. 质量成本的科目设置与核算

质量成本一般包括三个级别的科目。其中,1 级科目为质量成本。2 级科目为预防成本、鉴定成本、内部损失成本、外部损失成本,如有特殊要求还可增设外部质量保证成本。3 级科目为质量成本细目。GB/T13339-91《质量成本管理导则》中推荐了 21 个 3 级科目。组织可以根据实际情况进行增删,如图 1.8-2 所示。

质量成本核算应根据质量成本科目的具体内容、质量成本的开支范围和费用发生的区域,将其归口到有关部门,建立核算网点,明确传递程序,进行责任归口管理。组织的财务部门应建立完善的费用归集、分配体系及相应的费用数据报表。各质量成本归口管理部门应建立相应的质量成本科目账户,明确质量成本数据的收集范围和渠道,及有关的原始凭证,按期将报表逐级上报财务部门,以便进行核算。

质量成本的科目设置、归集内容、费用开支范围以及费用来源参见 GB/T13339-91《质量成本管理导则》。

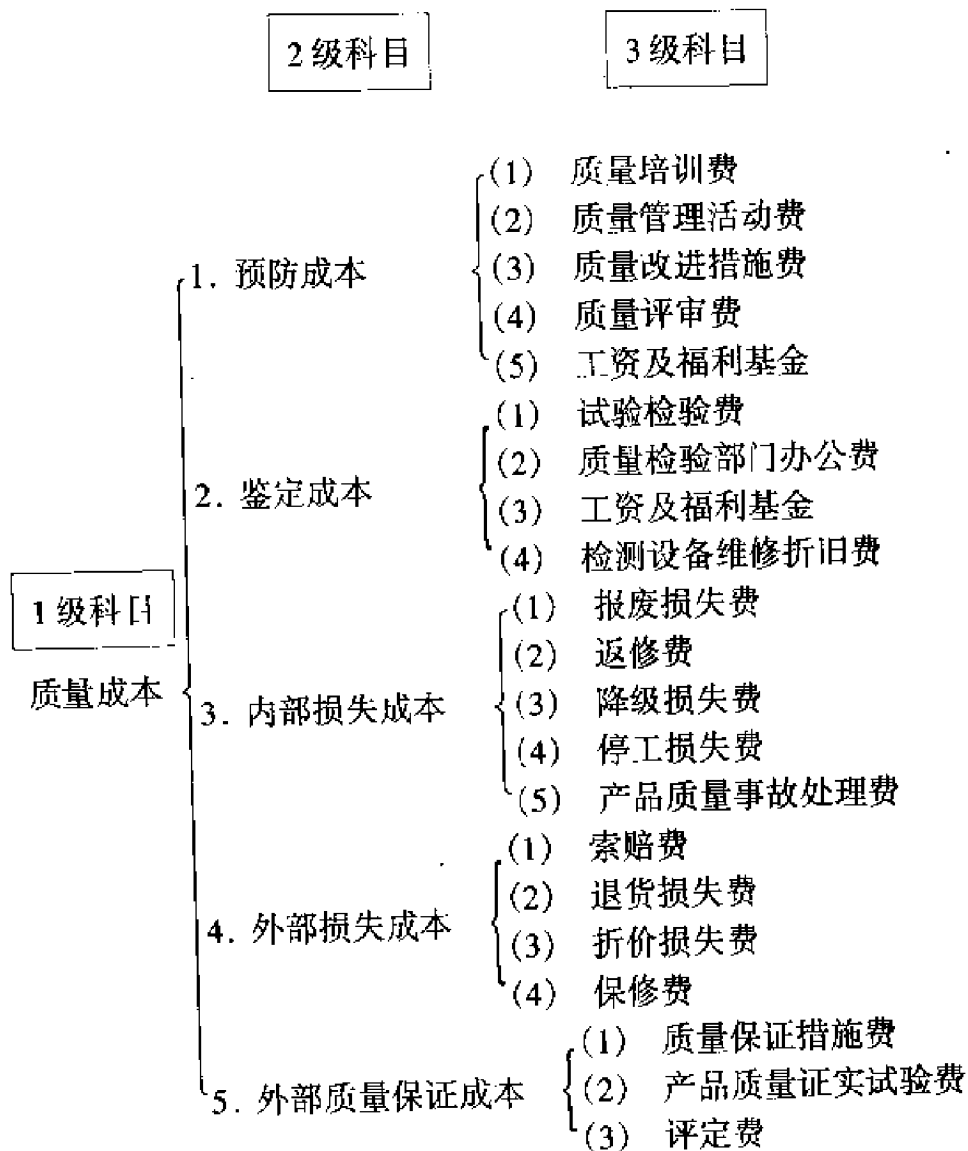


图 1.8-2 质量成本科目

### 5. 质量成本评价指标

在进行质量成本分析时经常会用到质量成本评价指标。利用质量成本评价指标进行定量分析可以加强质量成本管理的科学性。质量成本评价指标大致可以划分为三大类:质量成本结构指标、质量成本相关指标和质量成本目标值。

#### (1) 质量成本结构指标

① 预防成本率=
 
$$\frac{\text{预防成本}}{\text{质量成本}} \times 100\%$$
(1.8-4)

$$\textcircled{2} \text{ 鉴定成本率}(\%) = \frac{\text{鉴定成本}}{\text{质量成本}} \times 100\% \quad (1.8-5)$$

$$\textcircled{3} \text{ 内部损失成本率}(\%) = \frac{\text{内部损失成本}}{\text{质量成本}} \times 100\% \quad (1.8-6)$$

$$\textcircled{4} \text{ 外部损失成本率}(\%) = \frac{\text{外部损失成本}}{\text{质量成本}} \times 100\% \quad (1.8-7)$$

$$\textcircled{5} \text{ 外部质量保证成本率}(\%) = \frac{\text{外部质量保证成本}}{\text{质量成本}} \times 100\% \quad (1.8-8)$$

## (2) 质量成本相关指标

$$\textcircled{1} \text{ 产值质量成本率}(\%) = \frac{\text{质量成本}}{\text{总产值}} \times 100\% \quad (1.8-9)$$

$$\textcircled{2} \text{ 总成本质量成本率}(\%) = \frac{\text{质量成本}}{\text{总成本}} \times 100\% \quad (1.8-10)$$

$$\textcircled{3} \text{ 销售收入质量成本率}(\%) = \frac{\text{质量成本}}{\text{销售收入}} \times 100\% \quad (1.8-11)$$

$$\textcircled{4} \text{ 利润质量成本率}(\%) = \frac{\text{质量成本}}{\text{销售利润}} \times 100\% \quad (1.8-12)$$

$$\textcircled{5} \text{ 小时内部损失} = \frac{\text{内部损失}}{\text{工时}} \quad (1.8-13)$$

$$\textcircled{6} \text{ 销售收入外部损失率}(\%) = \frac{\text{外部损失}}{\text{销售收入}} \times 100\% \quad (1.8-14)$$

## (3) 质量成本目标值

$$\text{质量成本目标值} = \text{基期(计划期)质量成本(指标)值} - \text{报告期质量(成本)指标值} \quad (1.8-15)$$

## 6. 质量成本的特点

质量成本与会计成本是有区别的。理解质量成本应该认识到:

(1) 质量成本是针对产品制造过程的符合性质量而言的,其前提是设计质量标准或规范已经确定。质量成本不应包括重新设计和改进设计、用于提高质量等级和质量水平而支付的费用。

(2) 质量成本指的是在制造过程中同出现不合格品有密切联系的相关费用。例如,预防成本就是为预防出现不合格品的费用;鉴定成本是为了评定是否出现不合格品的费用;内、外损失成本则是因产品不合格从而在厂内或厂外阶段支付的费用。

(3) 质量成本不包括制造过程中与质量有关的全部费用,而只是其中的一部分,是同不合格品的产生最直接、最密切的费用。

(4) 计算质量成本不仅仅是为了得到结果,最终是为了分析质量成本,从而寻找改进质量、控制质量成本的途径和评定质量体系的有效性,达到成本最低和用最

经济的手段实现规定的质量目标的目的。

质量成本具有如下特点:

(1) 质量成本是一种变动成本。它随着质量水平的变化而变化,我们可以从分析其变化趋势中探求最佳质量水平。

(2) 质量成本是一种机会成本(或可能的成本)。它不局限于已经发生的经济活动,而是着重于分析和预测可能或应当发生的经济活动,以便进行决策。

(3) 质量成本是一种估计成本。它不能象生产、销售等职能成本那样精确计算,因为它带有某种假定性。它可对某种特定的问题提出各种决策方案,以供领导选择。

#### 7. 质量成本最佳构成比例的确定

质量成本内部各部分之间存在着一定的比例关系。预防成本、鉴定成本、内部损失成本和外部损失成本在质量成本中各应占多大比例才能使质量成本结构最佳是一个多因素的复杂问题。各质量成本项目之间存在着互相联系、互相制约和互相影响的关系,其中每一构成项目的变化都会对其他项目产生影响,进而引起质量成本构成比例的变化。同时,在不同的行业、不同的企业,甚至同一企业的不同时期,质量成本内部各部分的比例关系也会有所不同或发生变化。

从质量成本构成项目的分析看,增加预防成本可以提高产品质量,降低不良品率,从而减少内部损失成本和外部损失成本,同时也会在一定程度上减少鉴定成本。反之,若减少预防成本,将会使产品质量下降,不良品率上升,势必会增加鉴定成本、内部损失成本和外部损失成本,并使质量成本急剧增加。因此预防成本应在质量成本中占有一个“适当的比例”。20世纪60年代初期,美国的菲根堡姆曾做了一个估计,一般企业内、外部损失约占质量总成本的70%,鉴定成本占质量总成本的25%,预防成本至多不超过5%,这样的企业质量管理模式必然造成经济效果低下。他还进一步指出,如果实行预防为主全面质量管理,降低不合格品的产生,实行合理的抽样检查,不但可以降低鉴定成本和外部损失成本,而且内部损失成本也会显著下降。这样,预防成本如果增加3~5%,质量总成本可能下降30%。但是,预防成本并非越高越好,而是要在质量总成本最佳的前提下,确定一个合适的比例。一般来说,当产品质量达到一定程度时,如要再进一步提高产品质量或降低损失成本,企业将支付高昂的预防成本,质量总成本反而会增加。也就是说,增加预防成本不能进一步降低损失成本从而降低质量总成本时,预防成本在其相应的质量成本水平下达到了最佳值。

增加鉴定成本,加强检验把关,可以降低内部损失成本和外部损失成本的发生。鉴定成本的增减主要应看产品的质量状态。与预防成本一样,鉴定成本也应在质量总成本中占一个“适当的比例”。内部损失成本和外部损失成本总会在一定程度上影响产品质量,对降低质量总成本起负作用,它们是得不到补偿的纯损失。因此,在有限的人力、财力、物力的条件下,应尽量降低内部损失成本和外部损失成本。但是内部损失成本和外部损失成本都是不可避免的成本。在预防成本和鉴定

成本一定的情况下,可以把质量总成本为最佳时存在的内部和外部损失成本看作是合理的。

著名质量管理学家,如朱兰、哈灵顿、桑德霍姆都对质量成本最佳构成比例作了大量的调查分析,其结论如表 1.8-1 所示。

表 1.8-1 质量成本构成比例

质量成本 (二级科目)	占质量成本总额的百分比		
	朱兰	哈灵顿	桑德霍姆
预防成本	1~5	10	0.5~10
鉴定成本	10~50	25	10~50
内部损失成本	25~40	57	25~40
外部损失成本	25~40	8	20~40

#### 8. 适宜质量成本水平的确定

运行质量成本的构成项目(预防成本、鉴定成本、内部损失成本、外部损失成本)之间,以及质量成本与相关技术经济指标之间的相互关系中,存在着一定的客观规律性。质量成本可以绘制成如图 1.8-3 所示的质量成本特性曲线。

假设用产品合格品率(或不合格品率)代表产品质量水平。图中曲线 2 表示质量投入,即各种鉴定成本和预防成本之和。当质量投入为零时,生产出来的产品 100% 为次品(如图 1.8-3 左侧临界线)。要提高质量水平,质量投入就要增加,当产品合格率为 100% 时,质量投入趋向于无穷大。也就是说,如果生产控制过程过严,要投入大量的预防、鉴定费用,合格品率虽然升高,但质量成本也会随之大幅度增加。

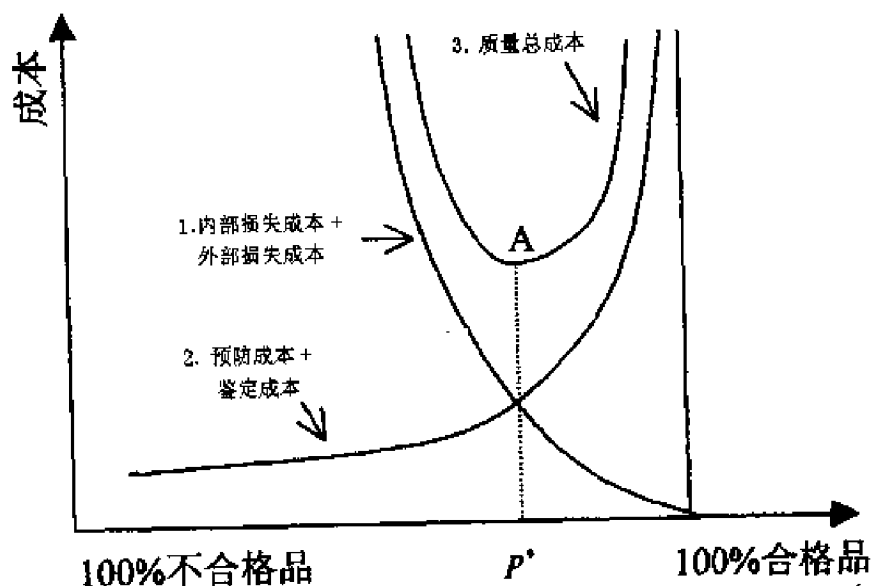


图 1.8-3 质量成本特性曲线



曲线 1 表示直接质量损失,即内部损失成本和外部损失成本之和。当产品合格率为 100% 时,直接质量损失为零(如图 1.8-3 右侧临界线),当产品合格质量水平降低时,直接质量损失就要增加,当产品 100% 不合格即产品合格率为零时,直接质量损失趋向于无穷大。也就是说,如果生产过程控制过松,合格品率降低,则内、外部损失过多,质量成本也会大幅度增加。

曲线 3 是质量成本总额曲线,即质量投入和质量损失的合成曲线。该曲线表明因控制不当(生产过程过严或过松)都会使质量成本增加。因此该曲线存在一最低点 A,它所对应的合格率  $P^*$  就是企业生产时应当控制的合格质量水平(称为“适宜的质量水平”),它所对应的质量成本就是“适宜的质量成本水平”。

如果在图 1.8-3 中的质量成本特性曲线中再加上基本生产成本(即基本生产工资及材料费等,它是与质量变动无关的成本),则如图 1.8-4 所示。

图 1.8-4 的横直线 2 表示基本生产成本,尽管质量水平由于种种原因会发生变化,但是基本生产成本在一定条件下大致是一个定值,可以近似地用一根直线表示。这样,原来的质量总成本加上基本生产成本后往上移动一个相应的定值,变成生产总成本曲线 5。由图 1.8-4 可以看出,质量总成本曲线的最低点相应地变为生产总成本曲线的 B 点,对应的适宜质量水平基本保持不变。

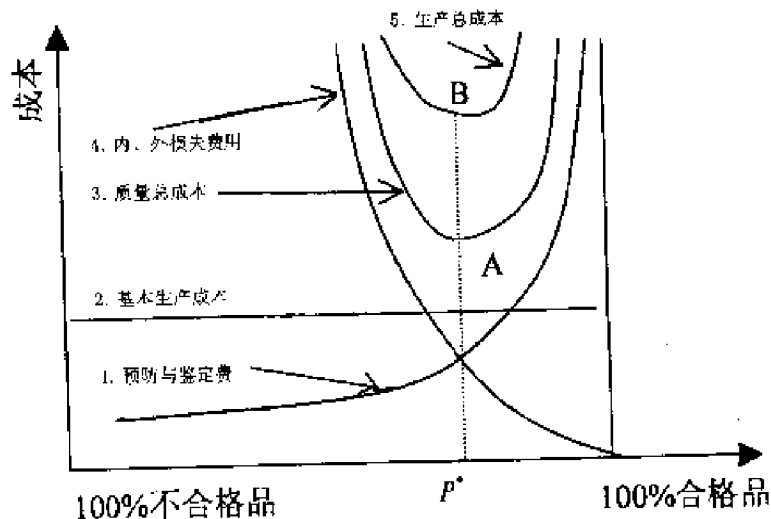


图 1.8-4 各项费用与合格品率的关系

为了分析质量总成本的变化规律,我们不妨把质量总成本曲线最低点附近的一段曲线取出来放大,如图 1.8-5 所示。

从该图可以看出:

(1) I 区是损失成本最大的区域,质量管理工作的重点在于加强预防措施,加强质量检验,提高质量水平。

- (2) II区表示在一定组织技术条件下,质量管理工作的重点在于维持或控制现有的质量水平,保持质量总成本处于最佳点附近的区域。
- (3) III区是鉴定成本最大的区域,质量管理工作的重点在于分析与鉴定费用有关的因素,采取必要的改进措施,在保证规定质量水平的基础上将鉴定费用降下来。这个区域又称为质量过剩区域。

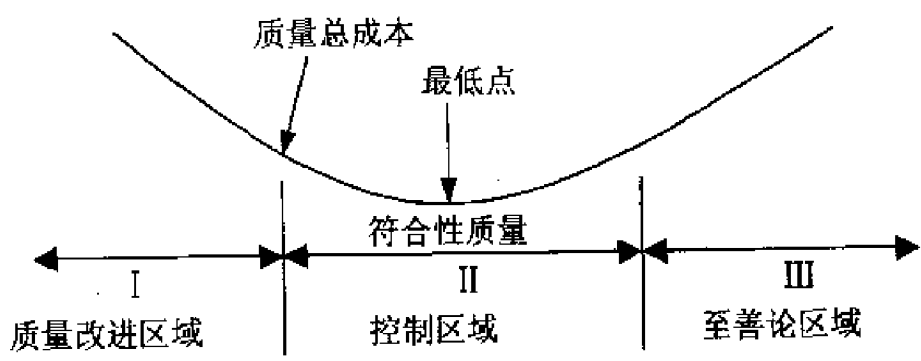


图 1.8-5 质量成本区域图

对质量成本区域的分析具体可参考表 1.8-2。应当指出,质量成本特性曲线只是一种理论曲线,它没有考虑因质量不良所造成的企业信誉损失等其他经济因素影响。如果从组织生产经营的角度出发,将质量经济性与质量成本结合起来考虑,可以知道:质量成本的最低点不一定是组织利润的最高点。同时,虽然从变化规律来看,各个企业质量成本变化的模式基本相同,但由于各企业生产类型、产品结构、工艺特点、管理水平等不尽相同,所以质量总成本最低点的位置及其相应的质量水平也各不相同。因此,质量成本最佳值的确定是一个系统工程,它必须从生产经营的角度出发,考虑多种经济因素的影响。组织在确定适宜质量成本水平时可以参考同行业的质量成本资料并依据组织的历史资料,通过累计、统计和分析后获得。

表 1.8-2 质量成本区域分析

区域	质量改进区域	控制区域	至善论区域
质量成本构成比例	预防成本 < 10% 损失成本 > 70%	预防成本 ≈ 10% 损失成本 ≈ 50%	鉴定成本 > 50% 损失成本 < 40%
质量管理工作情况	工序缺乏控制 产品缺乏检验	预防措施得力 工序控制严格	检验程序过繁 检验工作效率低 存在“过剩质量”
质量状态	由 100% 的不良品向好的方向转化	合适的质量	合格品最高可达 100%

续表

区域	质量改进区域	控制区域	至善论区域
经济效益情况	企业亏损,失掉用户信誉	经济效益显著,产品畅销	经济效益低
质量管理工作对策	加强质量体系建设,加强工序控制和检验把关,降低不良品损失	完善控制,开发新产品,提高质量水平	降低成本,简化检验,降低鉴定成本,采用先进技术

### 1.8.3 质量成本管理

#### 1. 质量成本管理的概念

质量成本管理就是组织对质量成本进行的预测、计划、核算、分析、控制和考核等一系列有组织的活动,以寻求适宜的质量成本为手段,提高产品质量水平、质量管理水平和质量保证能力。

质量成本核算是质量成本管理的基础,分析与控制是质量成本管理的重点,考核实施是质量成本管理的关键。质量成本管理不是一项简单而孤立的管理活动,而是组织整个管理工作的有机组成部分。

#### 2. 质量成本管理的实施程序

各组织的特点决定了质量成本管理的特殊性,GB/T13339-91《质量成本管理导则》中明确提出了质量成本管理的推荐实施程序。

(1) 应对职工进行质量成本管理知识教育;对质量成本管理有关人员,如财务人员、质量管理人员进行质量成本管理业务培训。

(2) 建立质量成本管理体系,明确职责,为实施质量成本管理提供组织保证。

(3) 结合本部门、本企业的实际情况制定质量成本管理办法,使质量成本管理有章可循。

(4) 根据质量成本目标制定质量成本计划。

(5) 定期对质量成本的各项费用进行核算和分析。

(6) 定期对质量成本进行考核。

(7) 根据质量成本分析编写质量成本报告,为质量改进提供依据。

(8) 根据质量成本报告,结合具体情况,确定质量改进目标及相应的改进措施,并组织落实。调整本部门、本企业的质量管理工作重点,增强质量管理体系的有效性。

### 1.8.4 质量成本现状及发展

自从菲根堡姆提出质量成本概念,首次把质量成本和企业经济效益联系起来;以及朱兰提出著名的“矿中黄金”的比喻,把企业消除或减少不合格品损失比作挖

掘一座尚待开发的金矿以来,美国在质量成本管理的理论研究和实际应用方面都一直处于领先地位。美国于 1963 年发布的军用规范 MIL - Q - 9858A《质量大纲要求》中明文规定:“承包商应把保持和使用质量费用资料作为质量大纲管理的一部分”。目前,美国的许多公司,如国际商用机器公司(IBM)、通用电气公司(GE)已经运用计算机建立了比较完善的质量成本数据收集、存储、分析和反馈系统。有些公司还对供应商的质量成本进行深入的调查研究,甚至分析质量问题所造成的公司信誉损失和用户损失。质量成本管理在美国的广泛实践和迅速发展,使越来越多的企业认识到:开展质量成本管理既可以使企业获得重大效益,又能使消费者得到物美价廉的满意产品。

其他如西欧的企业也相当重视质量成本管理,瑞典的桑德霍姆就是国际上著名的质量成本管理专家。日本企业对质量成本的理论研究又有突破,实际应用确实收到了良好的效果。它们在质量成本分析上运用了价值工程理论,不仅仅停留在日常管理上,不片面追求最低质量成本,而是认真考虑改进质量增加的产品价值,从而促使产品功能不断提高,增加产品的竞争能力,进而为企业获得巨额利润。

我国从 1984 年开始研究并推行质量成本。中国质量管理协会曾多次召开质量成本研讨会,组织翻译、编辑出版了大量的著作和论文,并发布了《工业企业质量成本核算推荐办法》(草案)和《质量成本要素实施指导意见》(征求意见稿),为推动我国质量成本研究和应用起到积极作用。1988 年我国发布了 GB/T10300《质量管理和质量保证》系列标准,其中对质量成本的概念和内容作了明确的规定。我国的军工企业还参照国际标准制订并发布了 GJB/Z4 - 88《质量成本管理指南》。质量成本分析在我国推广和应用的速度是相当快的,并且在改进质量、降低成本等方面取得了一定的成效。但是,还存在许多问题,主要有:企业领导和管理人员对开展质量成本管理的重要性认识不够;管理人员不能正确理解质量成本的概念和开展质量成本工作的目的;企业管理基础工作不健全,造成数据采集困难,影响到质量数据的完全性和准确性,进而影响质量成本分析的有效性;质量成本的科目设置和我国的现行会计制度并不完全适应,从而使广大企业对质量成本的定义、科目的设置、核算内容、分析方法等关键内容的理解和作法很不统一等。这都影响了质量成本工作的深入发展。随着《质量成本管理导则》的制订和我国等同采用 ISO 9000 族国际标准,我国的质量成本管理已经走进了一个新的阶段,我国的质量成本工作将更科学化、合理化。

## 1.9 合格评定

### 1.9.1 概述

质量认证是合格评定的主要活动之一,是国家进行宏观管理的重要手段。有效的合格评定可以为企业创造良好的质量环境,提供公平竞争的机会,激发企业的内在动力,从而向社会提供优质的产品。

## 1. 基本概念

### (1) 合格评定

合格评定程序(WTO/TBT 采用)是直接或间接用来确定是否满足技术法规或标准相应规定的程序。

合格评定程序特别是指:抽样、测试和检查;评估、验证和合格保证;注册、认可和批准及它们的综合。

合格评定可以是第一方、第二方和第三方进行的活动。

ISO/IEC 所述的第三方所进行的合格评定的主要活动如图 1.9-1 所示。

### (2) 认证

ISO/IEC 指南 2 中将认证定义为:“第三方依据程序对某项产品、过程或服务符合规定要求给予书面保证(合格证书)”。认证(亦称质量认证)可以分为产品质量认证和质量体系认证两类。产品质量认证又可分为合格认证和安全认证。

### (3) 认可

ISO/IEC 指南 2 中将认可定义为:“一个权威团体依据程序对某一团体或个人具有从事特定任务的能力给予正式承认”。

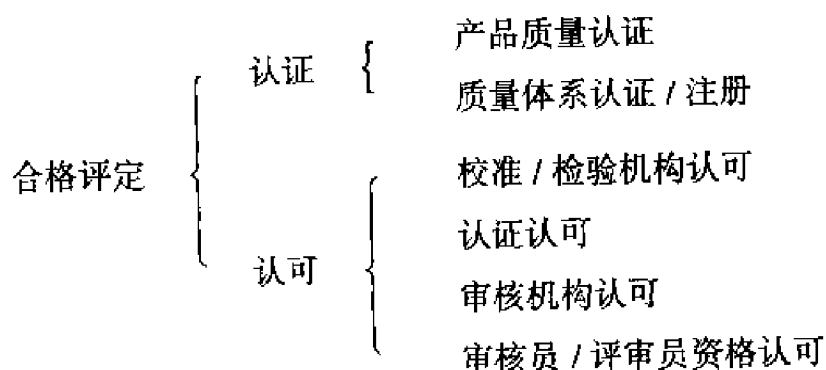


图 1.9-1 合格评定的主要活动

表 1.9-1 认证与认可的区别

类别	认证	认可
执行机构	由第三方机构进行,以确保认证结果的公正性	由政府部门授权的权威团体(或称官方团体)进行,以确保认可的权威性
证明方式	由认证机构颁发认证证书、认证标志,以向有关方面提供书面保证,使其确信认证的产品/质量体系符合规定要求	由认可机构批准,发给认可证书/注册资格证书准予从事认证/检验/培训/审核/评审活动,其活动结果得到国家承认

续表

类别	认证	认可
证明对象	经认证的的产品由第三方证明其质量符合制订的产品标准的规定;经认证的质量体系符合所选定的质量体系标准的要求	经过认可的认证/审核/检验/培训机构由权威机构承认其具有从事特定任务的能力;经认可注册的审核员/评审员/培训教员由权威机构承认其具有从事特定任务的能力

#### (4) 认证与认可的区别

由认证和认可的定义可以知道:认证是由第三方进行的,认可是由权威团体进行的;认证的结果是给予书面保证,认可是给予正式承认;认证是证明符合性(符合标准或体系文件),认可是证明具备某种资格和能力。两者的主要区别如表 1.9-1 所示。

#### 2. 质量认证的产生和发展

认证活动起源于商品经济发展的初期。随着商品经济的发展,供方(第一方)通常采取“合格声明”的自我评价方式,表明其产品能符合买方的要求。同时,顾客还根据自己的知识和经验进行第二方(产品接受方)的验收评价。随着产品结构和性能日趋复杂,产生了由第三方证实产品质量的质量认证制度。同时随着人们对质量认证的进一步认识,认证的对象也从单纯注重产品质量本身转移到供方的质量保证能力和质量体系的有效运行上。质量体系认证应运而生。

世界上最早开展第三方认证制度的国家是英国。1903 年,英国首先以国家标准为依据,对英国铁轨进行合格认证并授予“BS”标志,如图 1.9-2 所示。1922 年,该标志按英国商标法注册,成为受保护的认证标志,至今在国际上仍享有较高的声誉。1920 年起,德国、奥地利、捷克等国仿效英国建立起以本国标准为依据的认证制度。二战以后,英国、法国、日本、美国、加拿大、比利时等国家相继颁布并实行质量认证制度。20 世纪 50 年代所有工业发达国家已基本普及质量认证。20 世纪 60 年代起,前苏联及东欧国家也陆续实施。在发展中国家,如印度等极少数国家已较早推行,其他国家从 70 年代起也相继实施了认证制度。

质量认证工作的发展,历经近一个世纪,大致分为三个阶段:

(1) 二战之前,一些工业化国家建立起以本国法规标准为依据的国家认证制度。

(2) 二战之后至 20 世纪 70 年代,各国认证制度对外开放,开展了国与国之间的双边、多边认可,进而发展为以区域标准为依据的区域认证制度。

(3) 20 世纪 80 年代之后,在几类产品上试行以国际标准为依据的国际认证制度。近些年来,采用和实施 ISO 9000 族标准已成为企业增强市场竞争能力的一个

重要手段。ISO 还从 1995 年开始推行 ISO14000 系列环境管理体系标准,掀起了新一轮环境管理体系认证的新高潮。此外,还有各种专门针对某行业的认证,如 TL9000、OHSAS18000、GMP、CMM 和 HACCP 等也迅速开展起来。

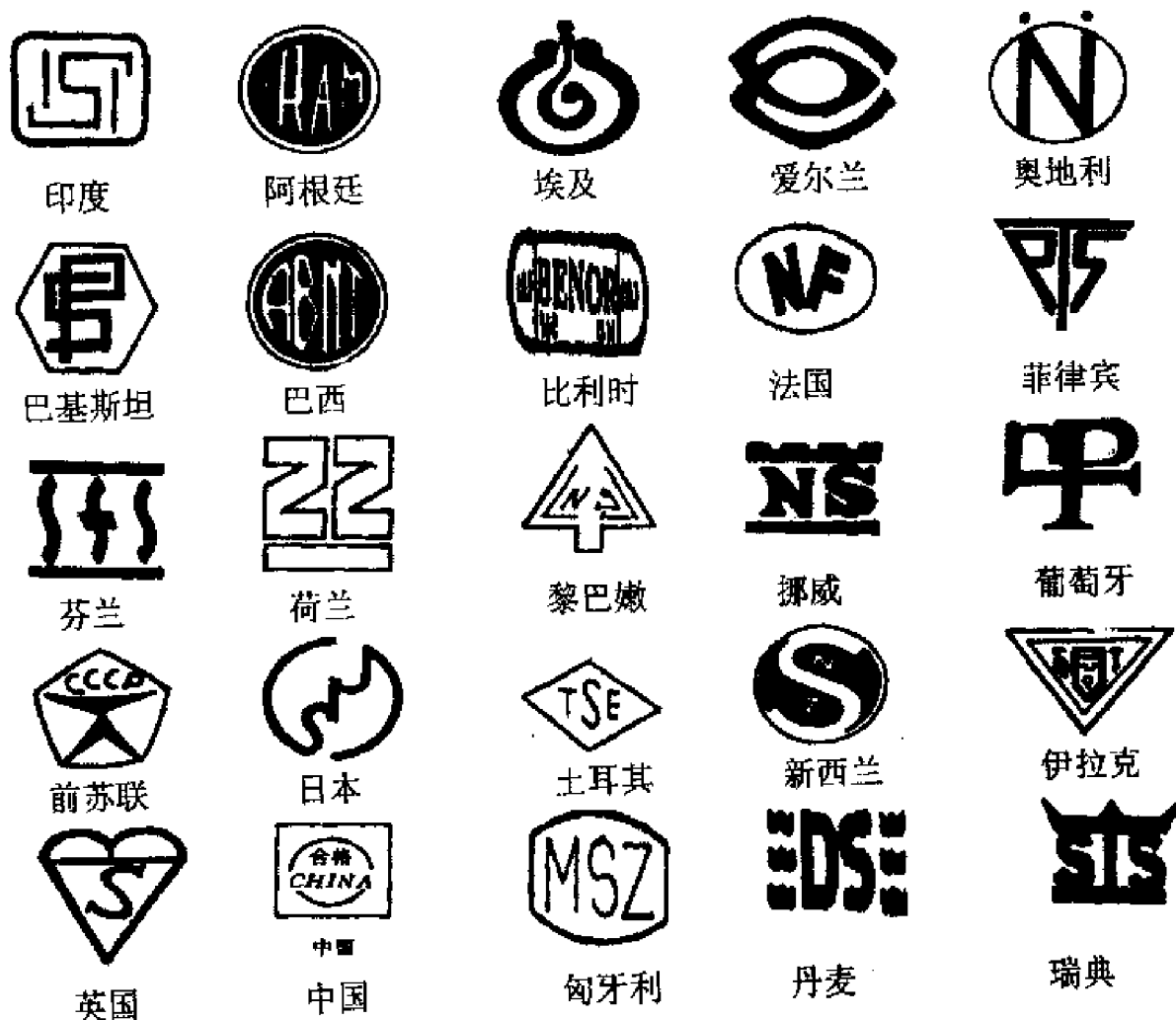


图 1.9-2 部分国家产品质量认证标志

### 3. 质量认证的作用和意义

质量认证制度之所以得到世界各国的普遍重视,关键在于它是由一个公正的第三方机构对产品质量或质量体系做出正确、可靠的评价,从而使人们对产品质量建立信心。它的作用和意义主要表现在:有利于提高供方的信誉,增强其市场竞争力;有利于企业完善质量体系,提高管理水平;有利于企业减少社会重复评定费用,提高经济效益;有利于企业和国际贸易接轨,打破贸易壁垒;有利于指导消费,保护消费者的利益;国家把推行认证制度作为提高产品质量的重要手段。

## 1.9.2 质量认证制度

### 1. 质量认证制度的类型

ISO 出版的《认证的原则与实践》一书将目前世界范围内国际上通用的认证类型归纳为以下 8 种:

(1) 型式试验。按照规定的试验方法对产品样品进行试验,以证明样品符合标准或技术规范的全部要求。

(2) 型式试验加认证后监督——市场抽样检验。这是一种带有监督措施的型式试验。监督的办法是从市场上购买样品或从批发商、零售商的仓库中随机抽样进行检验,以证明认证产品的质量持续符合标准或技术规范的要求。

(3) 型式试验加认证后监督——供方抽样检验。这种质量认证制度和第二种类似,区别在于,以工厂样品随机检验或成品库抽样检验代替市场样品的核查试验。

(4) 型式试验加认证后监督——市场和供方抽样检验。这种认证制度是第二种和第三种认证制度的综合。由于样品来自市场和工厂两个方面,因而要求更加严格。

(5) 型式试验加供方质量体系评定加认证后监督——质量体系复查加供方和市场抽样检验。这种认证制度的显著特点是,在批准认证的资格条件中增加了对产品供方质量体系的检查和评定。在批准认证后的认证监督措施中增加了对供方质量体系的复查。

(6) 供方质量体系评定。这种认证制度是对供方按既定规范要求提供产品的质量保证能力进行评定。

(7) 批检。这种认证制度是根据规定的抽样方案,对一批产品进行抽样检验,并据此做出该批产品是否符合标准或技术规范的判断。

(8) 百分之百检验。这种认证制度就是对每一件产品在出厂前都要依据标准经认可的独立检验机构进行检验。

以上八种认证制度所认证的对象和实施认证的方式存在一定的差异,所能提供的信任程度也有一定差异。具体对比分析见表 1.9-2。



表 1.9-2 八种认证制度的对比分析

认证类型	认证对象	认证的方式					特 点
		认证资格条件		认证后监督			
		型式试验	质量体系评定	市场抽样	工厂抽样	质量体系复查	
1	产品	√					证实产品设计符合规范的要求,不证明以后生产的同样产品符合标准,仅颁发合格证书,不使用认证标志,提供的产品质量信任程度较低。
2	产品	√		√			证实生产的产品持续符合标准,使用产品认证标志,提供的信任程度较高。
3	产品	√			√		
4	产品	√		√	√		
5	产品	√	√	√	√	√	证实生产的产品持续符合标准,使用产品认证标志,提供的产品质量信任程度高。
6	质量体系		√			√	证实生产厂具有按既定规范要求提供产品的质量保证能力,注册公布,颁发合格证书,体系认证标志不能直接用于产品。
7	产品	√					仅证实某特定一批产品符合标准,提供产品质量信任程度很高。
8	产品	√			√		证实每一件产品均符合标准,认证费用很高,提供的产品质量信任程度很高。

由表 1.9-2 分析可见,就实用性和提供产品质量信任程度综合考虑,第五种认证制度是一种最完善的产品质量认证制度。第六种类型的认证制度是质量体系认证制度。第五、六种类型的认证制度也是国际标准化组织向各国推荐的两种认证制度。ISO 和 IEC 联合发布的所有有关认证工作的国际指南,都是以这两种认证制度为基础的。我国于 1991 年 5 月 7 日以中华人民共和国国务院第 83 号令发布的《中华人民共和国产品质量认证管理条例》所规定的产品质量认证制度就是属于第五种类型的第三方产品认证制度。

但是,上述八种类型的质量认证制度所提供的信任程度都是相对的,即使是比较完善的质量认证制度也会受到客观条件的限制。例如,很难做到对全部出厂的产品由认证机构逐个地检验其是否符合标准。然而,一个比较完善而又普遍可行的认证制度可以保证产品是在最佳条件下生产出来的,使顾客买到不合格品的风险减少到最低限度。

## 2. 典型的产品质量认证制度的基本要素

典型的产品质量认证制度包括 4 个基本要素:

### (1) 型式试验

通过对质量体系的现场审核,证明质量活动及其结果是否符合文件规定,以评价质量体系运行的符合性和有效性。为进一步确认质量体系运行的有效性,审核组在经现场审核确认质量体系运行有效后,还要对申请认证的产品进行抽样,送经认可的检验机构做型式试验,以证明产品是否符合标准规定的全部要求(包括可靠性指标)。

型式试验除用于产品质量认证外,还用于新产品鉴定试验、成批生产的产品周期检查试验(又称例行试验)。

### (2) 质量体系审核评定

产品质量是通过生产形成的。要获得持续满意的质量,必须对影响质量的所有要素进行经常性监控;要执行监控并确保其有效性,就必须建立、保持并不断改进质量体系,使其不断完善。只有建立起有效运行的质量体系,产品质量才有保障,即使出了质量问题也有能力予以纠正。

第三方质量认证的目的,是要使顾客确信获得认证的产品其质量是可靠的。因此,认证机构对申请认证企业的质量体系要素进行现场审核,评价其具有持续稳定地生产符合标准要求的产品的能力。

### (3) 监督检查

监督检查是对认证产品的生产企业的质量保证能力进行定期检查,使企业坚持实施已经建立起来的质量体系,从而保证产品质量的稳定性,这是又一项监督措施。监督检查的内容可以比首次的质量体系检查简单一些,重点是查看首次检查发现的不符合项是否已经有效改正,质量体系的修改是否能确保达到质量要求,并通过查阅有关的质量纪录来证实质量体系的运行情况。

### (4) 监督检验

确保带有认证标志的产品质量可靠、符合标准,是产品质量认证制度得以存在和发展的基础,是认证机构和企业提高信誉的保证。因此,当产品通过认证以后,如何保持产品质量的稳定性,保证出厂的产品持续符合标准的要求,是认证机构十分关心的问题。解决这个问题的措施之一,就是定期对认证产品进行监督检查。

监督检查就是从生产企业的最终产品中或者从市场抽取样品,由认可的独立检验机构进行检验。如果检验结果证明继续符合标准的要求,则允许继续使用认证标志。否则,要根据具体情况采取必要的措施,防止在不符合标准的产品上使用认证标志。监督检查的周期视不同的产品而异。进行监督检查的项目不必象首次型式试验一样进行全面性能试验,重点应放在那些容易波动的项目,特别是顾客意见较多的项目。

### 1.9.3 产品质量认证

ISO/IEC 指南 2 中将产品质量认证定义为:“第三方依据程序对某项产品、过程或服务符合规定要求给予书面保证(合格证书)”。《中华人民共和国产品质量认证管理条例》中第二条定义为:“产品质量认证是依据产品标准和相应的技术要求,经认证机构确认并通过颁发认证证书和认证标志来证明某一产品符合相应标准和相应技术要求的活动”。

#### 1. 产品质量认证机构

质量认证要由具有法定地位的第三方认证机构进行。所谓第三方认证机构,是指与供需双方既无行政隶属关系,又无经济利益关系,具有公正性和权威性,可以充分信任的质量认证机构。质量认证机构具体应履行下列职责:

(1) 制订质量认证的管理办法、实施细则等管理文件,并在认证的实施及管理中贯彻实施。

(2) 对注册审核员进行培训与考核,确保审核员的素质满足认证工作的需要。

(3) 对认证审核机构和评定小组人员进行监督,确保检查评价的真实性和公正性。

(4) 接受组织的质量认证申请,安排质量体系的检查、评定。

(5) 审定审核小组提出的现场检查评定报告,批准质量认证,给予注册,颁发认证证书。

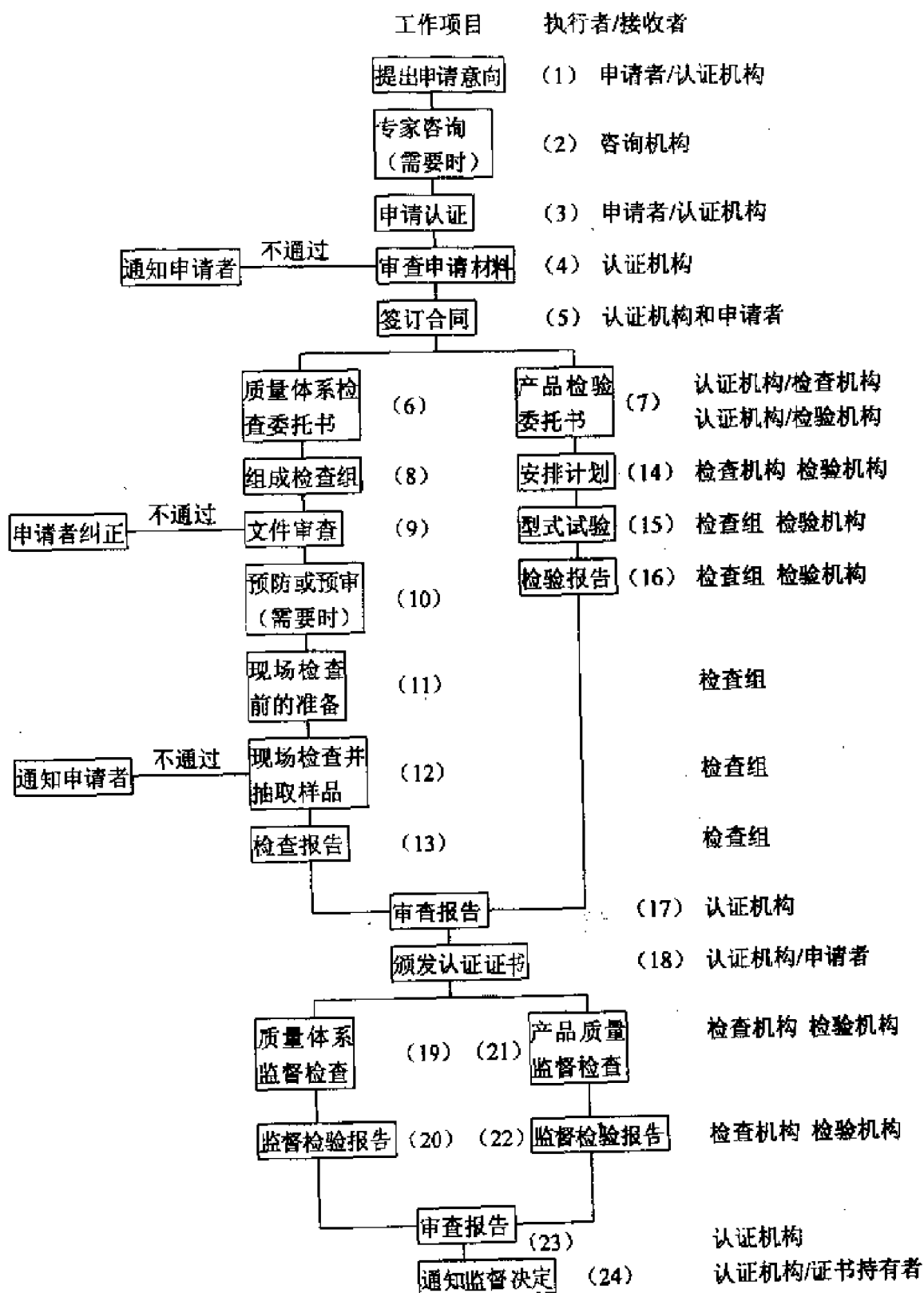


图 1.9-3 产品质量认证工作流程图

(6) 以适宜的方式公布认证合格企业的名单,并向有关方面传递信息。

(7) 协调、处理有关争端或投诉。

(8) 严格履行对认证企业经营和技术保密的义务。

(9) 实施对认证合格企业质量保证能力的监督。

要建立一个可以充分信任的产品质量认证机构,应具备下列条件:

(1) 认证机构应是一个具有明确法律地位的实体。

(2) 认证机构的组织结构应能确保实施公正的认证。

(3) 认证机构自身应建立一个完善的质量体系,为认证的实施提供信任。

(4) 认证机构应具备必要的资源,如审核人员、硬件设备等。

(5) 认证机构确定的用于产品认证的标准和相应的产品检验机构标准以及检验机构都应符合有关要求。

## 2. 产品质量认证的检验机构

产品质量认证检验机构的任务是受认证机构的委托,根据规定的标准,对申请认证的产品样品进行检测,证明被认证的产品样品能够符合标准的要求,并向认证机构提交产品检验报告。检验机构能否胜任质量认证的产品检测,一般取决于它的技术能力。通常要求检验机构要有健全的组织结构、要有一支高水平的队伍、要有相应的测试设备、要建立测试设备的校核检测制度、要有科学的检验方法和程序、要有良好的环境条件、要有严格的试样管理制度、要使检验报告的内容和格式规范化、要建立认证检验档案管理制度、要建立自身的质量体系等。国家产品质量监督检验中心,行业(部门)产品质量监督检验中心,地方产品质量监督检验机构,凡经省级以上技术监督行政部门计量认证和审查认可,并具有对有关产品进行评价或者检验工作实践的,均可以向有关认证委员会申请承担认证检验任务。

## 3. 产品质量认证工作流程

产品质量认证工作流程如图 1.9-3 所示。

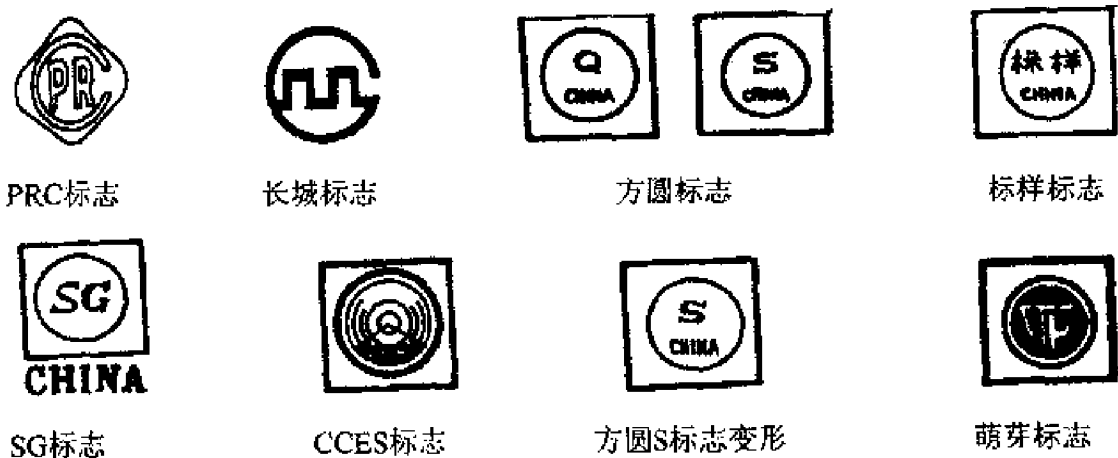


图 1.9-4 我国产品质量认证标志图样

#### 4. 产品质量认证证书和认证标志(1)产品质量认证证书

产品质量认证证书是证明产品质量符合认证要求和许可产品使用认证标志的法定证明文件。认证证书由国务院标准化行政主管部门组织印制并统一规定编号。企业在使用认证证书时必须保证所宣传的产品与认证证书所证明的产品完全一致。未经认证机构许可,认证证书持有者不得复制或私自转让。认证证书持有者在原认证证书中要求增加同种产品的型号、规格的,应当重新申请取证。认证证书持有者每年必须定期接受认证委员会对其认证证书有效性的确认。

在认证证书的有效期限内,出现下列情况之一的,应当按照有关规定重新换证:

- ① 认证产品标准变更的;
- ② 使用新的商标名称的;
- ③ 认证证书持有者变更的;
- ④ 部分产品型号、规格受到撤销处理的。

#### (2) 产品质量认证标志

产品质量认证标志是由认证机构设计并发布的一种专用质量标志。我国于1992年2月发布的《产品质量认证证书和认证标志管理办法》规定,国务院标准化行政主管部门统一管理、审批、发布认证标志的样式。我国的产品质量认证表分为方圆标志、长城标志和PRC标志。方圆标志分为合格认证标志和安全认证标志。认证机构采用以方圆标志为基础而变形的其他认证标志时,须报国务院标准化行政主管部门审批后方可使用。

我国部分产品质量认证标志样式如图1.9-4所示。

《产品质量认证证书和认证标志管理办法》要求产品质量认证合格的企业在使用认证标志时应当遵守如下规定:

- ① 所使用的认证标志应与认证证书内容相一致;
- ② 认证证书持有者可以将认证标志标示在产品、产品铭牌、包装物、产品使用说明、出厂合格证上。使用认证标志时须在图案下方标出认证委员会代码、证书编号、认证依据的标准编号;
- ③ 使用认证标志时其图案必须准确,严格根据国务院标准化行政主管部门公布的认证标志样式,按比例放大或缩小;
- ④ 对认证标志的标示形式和位置有特殊要求的产品,企业必须在首次使用认证标志之前报认证委员会审定。未经许可不得擅自使用;
- ⑤ 必须建立认证标志使用制度,定期向认证委员会报告认证标志的使用情况。

同时,《产品质量认证证书和认证标志管理办法》对企业暂停和停止使用认证标志的情况也做了详细的规定。

自2002年5月1日起,国家质检总局和国家认证认可监督管理委员会对强制产品认证的依据、范围、标准及监督管理实施统一规定,即“四统一”。

国家对强制性产品认证统一使用的标志是：“中国强制认证”，英文缩写为“CC C”(China Compulsory Certification)该标志实施以后，将首先逐步取代原来实行的“长城”标志和 CCIB 标志。

#### 1.9.4 质量体系认证

质量体系认证是指依据国际标准化组织颁布的质量管理系列国际标准，经过认证机构对企业的质量体系进行审核，通过颁发认证证书的形式，证明企业的质量体系和质量保证能力符合相应要求，授予合格证书并予以注册的全部活动。企业质量体系认证又称为企业认证，质量体系注册，质量体系评审，质量体系审核等。

##### 1. 质量体系认证机构

根据我国的法律、法规，中国国家认证认可监督管理委员会统一管理全国的质量体系认证工作，负责质量体系认证机构国家资格认可的批准和认可批准后的管理。

认证机构应满足下述基本规定：

(1) 认证机构工作遵循的原则和方针以及其行政管理应具有公正性，并以公正的方式实施行政管理。

(2) 认证机构的服务应向所有的申请人开放，不应附加过分的财务或其他条件。

(3) 对申请人的质量体系评定遵循的准则应是质量体系标准或是与其职能有关的引用文件所给出的要求。

(4) 认证机构应仅在拟认证的范围内规定其认证要求。

##### 2. 质量体系认证标准的选择

详见本书第二章

##### 3. 质量体系认证工作流程

详见本书第二章

##### 4. 质量体系认证证书和认证标志

认证机构向获准认证通过的企业颁发质量体系认证证书。一个体系认证机构可以同时向一个企业颁发一张以上的体系证书。体系认证证书中不宜使用商标名称来描述产品范围，特殊情况除外。质量体系认证证书的基本内容应包括：证书名称，获准认证企业名称、地址和邮政编码，依据的质量体系标准和/或其他引用文件的标号与版次，适当时相应产品所依据的法规、产品标准或其他引用文件，认证的生效期和有效期，注册号，认证机构名称与标志，认证机构签章或其代表签字，中国认证机构国家认可标志。

认证机构向获准认证通过的企业颁发带有认证机构专有标志的体系认证标志。企业可以利用其做广告宣传，但体系认证机构的专用质量体系认证标志不得直接用在产品上，也不得以其他可能误解为已获准产品认证的方式使用。

##### 5. 产品质量认证和质量体系认证的关系和区别

根据我国有关质量认证的法律法规规定，产品质量认证和质量体系认证的主

要区别如表 1.9-3 所示。

表 1.9-3 产品质量认证和质量体系认证的主要区别

类别	产品质量认证	质量体系认证
对象	特定产品	企业的质量体系
获准认证的条件	1. 产品质量符合指定标准的要求 2. 质量体系满足指定的质量保证模式要求及特定产品的补充要求	质量体系满足申请的质量体系标准的要求和必要的补充要求
证明方式	产品质量认证证书、认证标志	质量体系认证证书、认证标志
证明的使用	证书不能用于产品包装和表面, 标志可用于获准认证的产品、产品铭牌、包装物、产品使用说明书、出厂合格证上	证书和认证机构的标志都不能在产品的包装及表面上使用
性质	自愿性/强制性	自愿性
两者关系	获得产品质量认证资格的企业, 一般无需再申请质量体系认证	获得质量体系认证资格的企业可以再申请特定产品的认证, 此时可免除对质量体系通用要求检查

### 1.9.5 实验室认可

#### 1. 实验室认可的概念

实验室是从事检测、试验、化验、测试的机构。如各种产品质量检测机构, 计量测试机构, 试验室和化验室等。实验室认可是指对某个实验室能够胜任某种专业检验或特定型式检验能力的一种正式承认, 也就是对实验室技术能力和公正性的承认。由政府部门或“权威机构”, 根据统一标准, 对不同行业、不同类型的实验室进行考核, 对设备仪器、试验人员的技术水平、工作环境和管理水平等各方面的条件, 进行全面的审查评定, 对符合标准的实验室授予“认可合格证书”, 这个证书就是该实验室在特定专业范围内所具有的检验能力的标志。

#### 2. 实验室认可的目的、原则和对象

实施实验室认可的目的主要是:

- (1) 为社会各界推荐由第三方权威机构认可的具有进行校准和/或检测能力的实验室, 减少第二方(实验室的用户)对实验室的重复评审。
- (2) 促进实验室提高内部管理水平、技术能力和竞争能力, 使其能公正、科学和准确地为社会提供高信誉的服务。
- (3) 参加国际间相互承认协议, 促进消除贸易技术壁垒。

实施实验室认可的原则是实验室自愿申请认可, 认可机构组织专家进行评审, 满足要求的实验室应将获得国家认可。

实验室认可的对象是任何愿意获得认可的从事校准和/或检测工作的实验室,



包括诸如第一方,第二方和第三方实验室,以及将检测和/或校准作为检查 ISO/IEC17020《各类检查机构运作通用要求》和产品认证工作一部分的实验室。

### 3. 我国的实验室认可机构

#### (1) 认可委员会的职责和工作目标

中国实验室国家认可委员会(CNACL)是由国家质检总局授权,统一负责中国校准实验室、检测实验室技术能力认可及承担对获准认可实验室的日常监督工作的第三方国家认可机构。其主要职责和任务有:

① 依据我国有关法律、法规,提出实验室认可工作的方针、政策;根据国际实验室认可准则制定我国实验室认可的程序与要求。

② 受理实验室的认可申请,并组织对其评审工作。

③ 安排国家注册的实验室评审员的评审任务,并对其评审工作实施监督。

④ 评议评审员提交的实验室评审结果,并决定对实验室的资格认可。

⑤ 提出颁发实验室认可证书的建议。

⑥ 对获准认可的实验室实施监督,并进行定期复审,以决定对认可证书的维持、暂停和撤销。

⑦ 受理实验室认可工作中的申诉。

⑧ 参与国际与区域实验室认可活动等。

中国实验室国家认可委员会的工作目标是:按国际实验室认可通行做法和准则的要求,建立适应社会主义市场经济需要的完善的中国实验室认可体系;通过认可委员会的有效活动,提高中国实验室的管理水平和技术能力,建立良好信誉并不断提高在国际、国内检测市场上的竞争能力;参与国际间的实验室认可的交流与合作活动,逐步实现实验室认可机构国际间双边和多边的相互承认。

#### (2) 认可委员会的组织机构

中国实验室国家认可委员会的组织机构如图 1.9-5 所示。

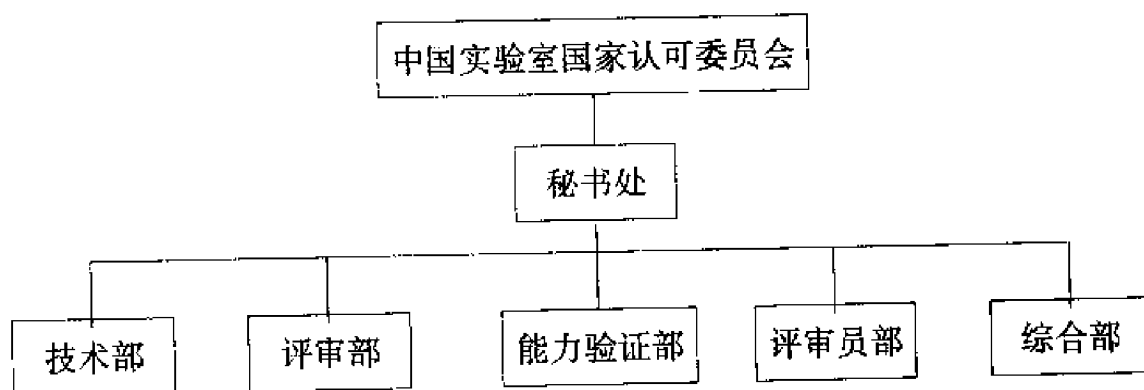


图 1.9-5 CNACL 组织机构图

#### (3) 认可委员会认可流程

认可委员会认可流程主要分为六个阶段:申请、答复受理、现场评审、整改完毕、评定和上报批准。

#### (4) 我国实验室认可体系的性质

我国实验室认可体系是参照国际上较为普遍的做法建立的。它具有如下性质:

- ① 实验室认可活动是在政府支持下开展的,形成一个独立的实验室认可体系。
- ② 政府只在国家一级建立一个实验室认可体系,不搞多个体系竞争。
- ③ 实验室认可活动是一种非盈利活动,不是商业性行为。

#### (5) 我国实验室认可活动遵循的原则

##### ① 自愿申请

实验室认可是一种自愿性的活动,不论实验室的规模、等级、所有制与隶属关系如何,都可提出认可申请,而认可机构也将一视同仁,保持公正,以激励其公平竞争。

##### ② 专家评审

对申请认可的实验室进行评审的工作均由认可机构派遣的国际注册实验室评审员承担。这些实验室评审员均经认可机构的培训和考核,熟知有关法规、标准、认可程序与要求,获得了注册资格,他们按照规定的程序与要求,对申请认可的实验室进行科学的评审。

##### ③ 国家认可

按国际惯例,实验室认可只在国家一级进行。当国家认可机构审定实验室的质量体系和技术能力已满足规定的要求时,就颁发认可证书,各地各部门不建立实验室认可机构。

CNACL自成立以来,根据ISO/IEC导则58《校准和检测实验室认可体系——运作和认可的一般要求》和APLAC-MRA001《实验室认可机构间建立和维持相互承认协议的程序》在内部建立和运作了质量体系;制订和实施了《实验室评审员准则》、《实验室内审员注册准则》等文件以规范评审员的管理;制订了《实验室认可准则》、《实验室认可细则》等公开性文件;加强了技术活动和有关国际标准的转化工作;同时还积极地参与国际活动。截止到2000年12月31日,CNACL共认可374个实验室,注册级别评审员859名,注册内审员638名;组织300多个实验室参加了国内和亚太地区的能力验证活动。2000年11月2日,CNACL与其他国家和地区的35个实验室签署多边互认协议。目前,CNACL正在积极开展工作以确保等同依据ISO/IEC导则17025-1999《检测和校准实验室能力的通用要求》重新制定的《实验室认可准则》顺利实施。

### 1.9.6 我国质量认证的简况

#### 1. 我国质量认证的发展

1978年9月我国正式加入ISO开始研究国际上通行的产品质量认证制度。1981年4月我国建立了第一个认证机构——中国电子元器件质量认证委员会,依

据国际电工委员会(IEC)有关技术规范对电子元器件进行合格认证。1988年12月我国颁布了《标准化法》,从法律上明确了我国的质量认证工作由国务院标准化行政主管部门统一管理。1986~1990年期间还分别成立了中国卫星地面站接收设备质量保证能力认证委员会、中国水泥产品质量认证委员会、中国汽车用安全玻璃认证委员会、中国橡胶避孕套质量认证委员会等。1991年5月国务院发布第83号令,公布了《产品质量认证管理条例》,该条例规定了我国产品质量认证的方针、政策、组织形式和国务院标准化行政主管部门统一管理认证工作的职责及认证的条件和程序。1993年2月我国颁布《质量法》,规定国家根据国际通用的质量管理标准,推行企业质量体系认证制度,参照国际先进的产品标准和技术要求,推行产品质量认证制度。2000年7月,我国又通过了《产品质量法(修订案)》,对我国的质量认证制度作了进一步的调整与完善。

与此同时,我国还按照国际通行准则和我国国情规范我国的质量认证活动,积极参加认证的各种国际活动并加入了相应的组织,如国际标准化组织合格评定委员会(ISO/CASCO)、ISO 9000论坛、国际实验室认可大会(ILAC)、亚太地区实验室认可大会(APLAC)、国际认可论坛(IAF)和太平洋认可合作组织(PAC)、国际审核员与培训认证/注册协会(IATCA)。1983年,中国电子元器件认证委员会代表中国正式作为国际电子元器件认证组织(IECQ)管理委员会成员,1987年5月被接纳为全权成员国。1989年6月中国电工产品认证委员会成为认证机构委员会(CCB)成员,与4个国外著名认证机构和区域性认证组织建立了合作关系。1990年6月该认证委员会9个实验室被批准为IECEE的CB实验室。到目前为止,该委员会CB实验室的型式试验报告已被所有IECEE成员国承认。此外,原国家检验检疫局与9个国外著名认证机构建立了双边合作关系,参加了5个国际或区域性多边认可组织。这必将有利于进一步实现质量认证证书取得广泛国际承认的目标,从而对消除贸易技术壁垒、促进国际贸易产生积极的作用。

至今,我国基本构成一个与国际接轨的质量认证体系,并且取得了很大的成绩。截至2000年11月31日,经CNACR认可的36家质量体系认证机构共发出带有国家认可标志和国际认可论坛(IAF)国际互认标志的质量体系认证证书23426张;经CRBA注册的各级别审核员共9361名。截至2000年9月30日,共有13194家企业获得60580张产品质量认证证书。

## 2. 我国认可/认证工作的管理体系

1993年,原国家技术监督局依据我国法律、法规,参照国际通行做法,制订了我国“认证制度总体方案”,确定分4个层次(政府主管部门、认可机构、认证机构和企业)实施我国的认证制度。并且分别于1994年4月成立了中国质量体系认证机构国家认可委员会(CNACR)。1994年10月成立了中国实验室国家认可委员会(CNACL)。1994年12月成立了中国认证人员国家注册委员会(CRBA)。1995年5月成立了中国产品质量认证机构国家认可委员会(CNACP)。

2001年4月,国务院决定,将原国家质量技术监督局和原国家出入境检验检疫

疫局合并,组建国家质量监督检验检疫总局,主管全国质量、计量、出入境商品检验、出入境卫生检疫、出入境动植物检疫和认证认可、标准化等工作。同时成立中国国家认证认可监督管理委员会和国家标准化管理委员会,分别统一管理全国认证认可和标准化工作。我国认可/认证工作的管理体系如图 1.9-6 所示。

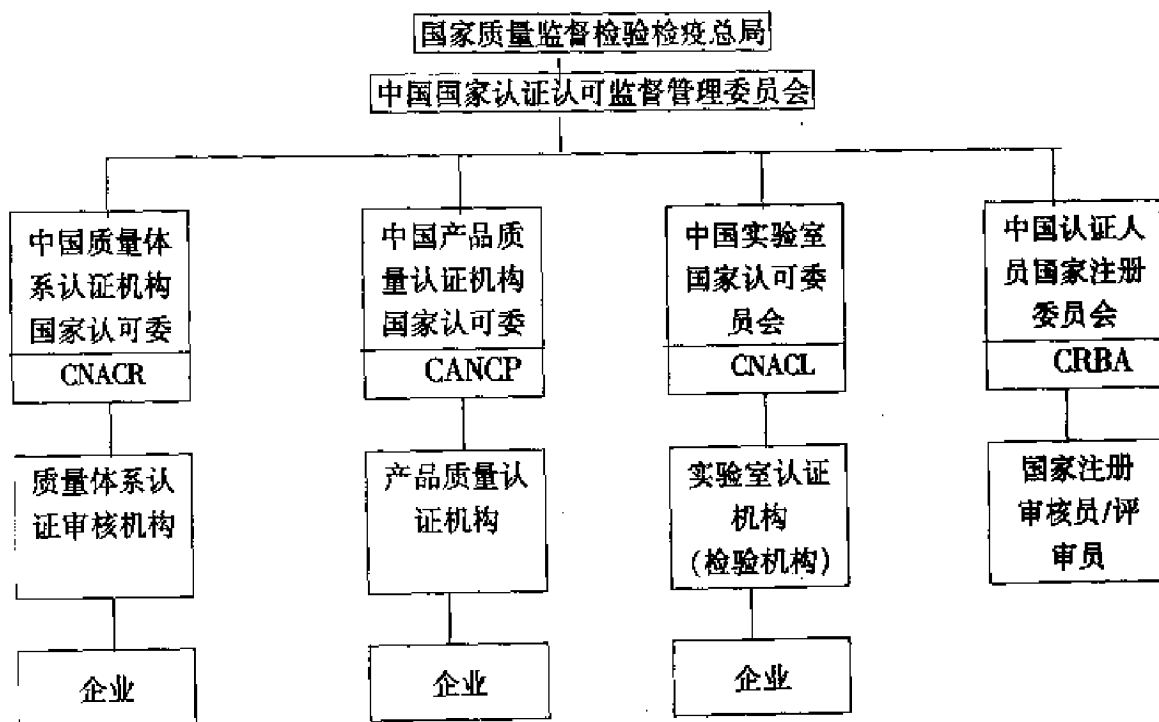


图 1.9-6 我国认可/认证管理体系

## 1.10 质量文化

### 1.10.1 质量文化的含义和构成要素

#### 1. 质量文化的含义

质量文化是指企业在长期的质量管理过程当中形成的,围绕质量问题所产生的一切活动方式的总和,这种活动方式体现了企业独特的质量价值观念。其中质量的含义是广泛的,包括产品质量、服务质量、过程质量、环境质量等很多方面。

#### 2. 质量文化的构成要素

质量文化的构成要素应该包括组织的质量价值观、质量伦理、质量心理、质量经营哲学以及质量制度等内容。具体如下:

(1) 质量价值观。组织的质量价值观是组织质量文化的核心内容,它属于质量文化结构层次中的深层范畴,是起决定作用的要素。组织的质量价值观引导着整个组织的质量活动,也造成了不同组织之间质量文化的本质区别。质量价值观,

能够对组织的全体员工产生内在感召力,引导员工将个人的质量意识和质量目标融入集体的质量目标和质量观念中。

(2) 质量伦理。组织的质量伦理道德是规范组织和组织员工的精神道德标准。与质量制度不同,它不是硬性的质量管理方式,是通过长期培养和倡导而形成的群体的质量精神规范。质量伦理强调组织的社会责任和环境责任,也是社会进步的明显标志。

(3) 质量心理。质量心理研究的是在产品质量形成全过程中,个体、群体、组织与领导以及社会文化的心理现象及其规律。质量文化要求组织领导者认真研究组织中各阶层员工的心理活动,利用并且鼓励其中的积极成分,对不利于树立正确质量价值观念的部分,予以正确引导和纠正,使其归属到组织的质量文化当中。

(4) 质量经营哲学是指组织作为独立的经济实体和竞争实体,在其从事生产经营过程中所持有的世界观和经营理念。

(5) 质量制度。质量制度是质量文化中的“物化部分”,是组织员工必须遵守的准则,也是组织质量价值观的外在体现和执行手段之一,是组织实现具体质量目标的必要保证。

### 1.10.2 质量文化的层次结构和相互关系

质量文化具有下列层次结构:

1. 表层,也称外层。是指质量文化的物化部分,包括组织的生产环境、质量标志和文化设施等,它是质量文化的外在体现。

2. 幔层,又称中层,也是质量文化的物化部分。这一层是指组织质量管理方面的各种规章制度、质量标准和质量法规等,制度层具有可操作性和系统性的特点。

3. 深层,也称内层。这一层包括组织的质量意识、质量信念和质量哲学等,是质量文化的精髓部分,是质量文化各层当中最为稳定,最具决定性的一层。

质量文化三个结构层次之间的关系:深层决定了表层和幔层,它是质量文化中相对稳定的层次,一旦形成就处于比较稳定的状态;表层和幔层是深层的外在体现,深层直接影响幔层,并且通过幔层来影响表层,表层和幔层是深层得以实现的途径和手段,三者互不可分,共同构成组织完整的质量文化体系。

### 1.10.3 质量文化的特征

质量文化具有下列特征:

1. 一致性。质量文化是一种以质量道德、质量意识为基础,以激发人的自主性和自觉性为手段,以提高产品质量、服务质量和质量效益为最终目的的文化管理方式。质量文化理论基础的一致性表现在:质量文化都是以人为本的质量管理思想,强调建立员工的质量意识,从而发挥其自主性。

2. 自觉性。质量文化是高度理性的文化,它是组织领导者结合自身的质量管

理经验,有意识地提出而形成的。质量文化具有强大的凝聚力和向心力,能够调整全体员工的质量行为和质量意识,组织将其视为企业文化的核心部分,因此在质量文化的确立和培养过程中都加入了组织最高管理者的自觉意识。

3. 实践性。质量文化存在的根本目的是指导组织的质量管理和经营,这种特定的使命使它不同于普通的文化,质量文化带有强烈的实践性。任何组织的质量文化在形成过程中都应该结合组织自身的质量管理经验,质量文化的内容也应该是组织质量管理经验的结晶,那些脱离本组织质量管理实践而提出的质量文化是不切实际的,也很难真正发挥质量文化的作用。

#### 1.10.4 确立现代质量观念是企业质量文化建设的基础

科技进步使人们观念不断地改变,消费者观念的改变在推动着社会经济的进步,不断要求企业建立新的,符合以顾客为中心和导向的现代质量观念。为了真正做到建立现代质量观念,企业必须正视现代社会关于质量的新认识。

##### 1. 质量定义的改变

传统意义上的质量单纯涉及到产品本身;在组织中与产品质量有关的部门也就仅指生产制造部门,与其他部门而无关;企业只需要对购买产品的顾客负责,不需要考虑其他人的利益。

现代社会对质量的认识改变为:产品质量是指实物和各种服务的总和,包括价格、品牌、售后服务等很多方面的内容,只要是顾客认为需要的都可以纳入产品质量的范围;产品质量是组织中所有部门合作完成的结果,它包括原材料的采购,产品设计和售后服务等很多部门的协调及合作,因此,组织的所有部门都应该参与到质量管理体系当中;另外,现代质量观念认为组织必须对直接顾客以外的相关方负责,也就是说组织应该承担社会责任。现代质量观念认为组织应该对社会负责,必须注重生态环境和社会效益,强调可持续发展,ISO 14000 标准就反映了现代社会对组织造成的环境问题的关注。

##### 2. 质量保证能力的要求

现代质量观念认为,企业在准确定义产品和服务质量水平的基础上,必须追求良好的质量保证能力,良好的质量保证能力是企业在产品和服务质量方面给予顾客的预先承诺。

##### 3. 产品质量责任的追究

传统的质量观念认为,产品在售出之后的质量问题应该由顾客自己承担责任,新的质量观念认为产品的质量应该存在于产品的整个生命周期,因此在产品售出以后所产生的质量问题以及因此造成的费用,应该由企业承担,对于因产品质量给顾客造成的不便应该予以解决和补偿。

##### 4. 追求更高的使用价值

传统质量观念把产品的技术标准作为评价产品质量的唯一依据,但这些技术标准在确立的时候往往没有经过认真的调查研究。这种判断标准,使产品的质量

认定带有很大的主观性,企业一厢情愿地代替消费者进行了判断。

现代质量观念认为,质量应该由顾客自己评价,在充分市场调研的基础上,找出那些顾客真正需要的使用价值,以使所确定的技术标准能满足顾客的需求和期望,如美学需求以及人体工学的需求等,从而达到真正意义上的提高产品质量。

### 1.10.5 质量文化形成的影响因素

#### 1. 组织最高管理者的质量观念

最高管理者的质量意识和质量观念对组织质量文化的形成有着至关重要的作用。质量文化是组织有意识地培养起来的一种文化形式,不是民间的自发文化,组织最高管理者在其形成的过程中起着引导和鼓励的主导地位,同时组织质量文化的内容也是在结合组织质量管理实践经验的基础上,科学地总结出来的,组织最高管理者的质量管理经验和质量观念在其中发挥了很大的作用。正是由于质量文化本身的自觉性和实践性的特征,决定了组织最高管理者在其形成和培养过程中不可取代的主导地位。

#### 2. 群体的质量意识和质量心理

组织员工的群体质量观念和质量意识是形成整个组织质量文化的基础,群体质量意识是由个体质量意识综合起来的结果,但它一旦形成就会反作用于员工的个体质量意识,就是所谓“大家都这样,你也只能这样”的一种心理暗示。良好的群体质量意识和质量心理对组织质量文化的建立有很大的帮助,此时组织员工会以一种积极、自觉的态度来遵守和维护组织的质量文化,群体质量意识就会逐渐成为组织质量文化的一部分。最高管理者必须首先克服和纠正不良的群体质量意识,彻底改变不良的质量心理,才能进入质量文化的形成阶段。

#### 3. 社会环境和社会风气

质量文化是组织文化的核心部分,而组织文化要受到社会文化的影响,因此质量文化也同样要受到社会环境和社会风气的影响。良好的社会环境建立了正常的经济环境,只有在正常健康的经济环境里,产品质量才成为组织越来越重视的竞争因素,此时社会的质量观念就会很大程度上影响组织的质量价值观,从而影响组织的质量文化。随着社会的发展,人们越来越关注人类的生存环境,顾客宁愿花更多的钱购买绿色食品,这使得组织意识到质量环境的重要性,积极要求 ISO 14000 的认证,纷纷强调可持续发展战略。在缺乏诚信的社会环境里就很难孕育出“严、细、精”的质量文化,这就是社会风气对质量文化的影响。

### 1.10.6 质量文化的类型

#### 1. 防守型的质量文化

防守型质量文化的典型特征是:组织虽然自认为有自己的质量文化,但平时不注重培育和营造组织的质量文化氛围,只有在质量出现问题或有领导来检查时,才临时想起自己的质量文化,像补作业一样在场区内张贴出口号,但在日常生产经营

的过程中从来不予以贯彻。防守型的质量文化从长远的角度来看,根本无法对组织的质量管理工作进行指导,是一种消极、被动的质量文化类型,也很难真正取得员工的认可和接受,甚至可以说是一种虚假的质量文化。

## 2. 进攻型的质量文化

拥有进攻型质量文化的组织,对自己已经确立的质量文化非常重视,会有意识、有计划地将质量文化在组织中培养和发扬,领导会将质量文化的精髓贯彻到组织的每个角落,主动利用质量文化的作用指导和调节组织在生产和经营过程中的质量管理,使质量文化成为切实有效的质量软管理方法。

## 3. 创新型的质量文化

创新型的质量文化是在进攻型质量文化的基础上,更加强调创新精神。他们认为顾客的需求很可能以潜在的形式被埋没了,需要组织主动挖掘,例如,节约、效益和舒适等需求,都属于组织应该考虑的质量范畴。组织应该通过不断创新来满足顾客的这些潜在需求,这些创新包括:产品设计的创新、生产方法和技术的创新、使用新材料和新能源的创新等。创新型的质量文化,给组织提出了更高的要求,同时也使组织更具活力,更加积极进取,可以带动员工不断对自己提出新的挑战。

### 1.10.7 质量文化的功能

#### 1. 凝聚功能

质量文化可以在组织内建立共同的质量价值观和质量目标,使组织员工在主观观念和客观目标上有了准绳和方向,群体的质量意识有了正确的引导,从而在心理上给员工以归属感,个体的离心力变为向心力,组织的凝聚力自然增强了。组织凝聚力是组织的宝贵资源,是其他任何物质力量都无法取代的精神力量,组织的凝聚力一旦产生,其巨大的能动作用是无法想象的。

#### 2. 引导功能

现代化社会的组织已经不再是完全封闭的管理模式,取而代之的是一种更开放的网络型管理模式,管理模式的变化使得组织更加重视文化型的软管理方法,利用质量文化引导下属,在庞大的机构中努力培育共同的质量经营观念,引导整个组织在质量追求上能够齐心协力、步调一致。

#### 3. 激励功能

激励功能体现在组织质量文化一旦被全体员工接受并理解时,内在的质量精神就可以在很大程度上增强员工对质量的认同感和依存感,成为巨大的精神力量,激励员工在整个生产经营的过程中表现出更大的主动性和创造性,朝更高的质量目标努力。

#### 4. 规范功能

质量文化体现了组织员工的共同质量信念,也会被员工认为是共同的质量利益,一切违背这种质量价值观的行为都会被认为是背叛,而遭到集体的反对和批判。因此,组织的质量精神对组织的每一个员工都有约束和规范的作用,使那些不



符合组织质量文化的个体行为无法存在下去。

### 5. 反馈功能

质量文化受到社会文化和社会风气的影响,但也可以反作用于社会风气。经济的发展,使那些成功组织在社会生活中逐渐占有举足轻重的地位,这些组织的行为准则也能在一定程度上影响整个社会风气和社会文化,因此优秀的质量文化,不仅对组织本身有说不尽的好处,而且对整个社会都是有益的。

## 1.10.8 组织质量文化的培育

组织质量文化的培育应做好如下工作:

1. 组织领导层首先应该树立正确的质量观念和质量意识,对质量文化的建立给予高度重视。
2. 积极吸引员工参与质量管理工作,增强员工的主人翁精神。
3. 为员工创造良好的工作环境和和谐的人际氛围,使员工有归属感。
4. 在组织内建立质量管理体系,积极参加质量认证工作,确立切实可行的质量目标。
5. 奖励质量创新行为,大力提倡正确健康的质量意识。
6. 重视员工的质量心理,建立沟通渠道和沟通机制,关注员工的质量心理活动。
7. 满足员工自我实现的需要,为员工提供发展机会。
8. 鼓励员工与拥有良好质量文化的组织进行交流,从组织外部汲取好的质量经验。

## 1.11 本章参考文献

- [1-1] 张公绪主编,《质量专业工程师手册》,企业管理出版社,1994。
- [1-2] 王以铭主编,《最新中外质量认证工作全书》,中国计量出版社,1997。
- [1-3] 石岩主编,《中国质量认证制度》,中国计量出版社,1998。
- [1-4] 戴良铁,伍爱编,《人力资源管理学》,暨南大学出版社,1999。
- [1-5] 廖永平主编,《工业企业质量管理》,北京工业大学出版社,1999。
- [1-6] J.M.朱兰著,《朱兰论质量策划》,清华大学出版社,1999。
- [1-7] 马国柱主编,《现代质量管理理论与实务》,机械工业出版社 立信会计出版社,1999。
- [1-8] 周朝琦,侯龙文,郝和国著,《质量经营学》,经济管理出版社,2000。
- [1-9] 谢发友,李萍主编,《产品质量法新释与例解》,同心出版社,2000。
- [1-10] 国家标准 GB/T 13339-91《质量成本管理导则》,中国标准出版社,1991。
- [1-11] (美)福斯特·莱因哈特 理查德·维尔特著,李丽等译,《企业管理与自然 环境》,东北财经大学出版社,2000.12

- [1-12] 中国质量体系认证机构国家认可委员会秘书处编著,《2000 版质量管理体系国家标准理解与实施》,中国标准出版社,2001。
- [1-13] 中国认证人员国家注册委员会编,《质量管理体系国家注册审核员预备知识培训教程》,天津社会科学院出版社,2001。
- [1-14] 张富山主编,丁其东主审,《资源管理》,中国计划出版社,2001。
- [1-15] 张公绪,专著《选控图理论与实践》,人民邮电出版社,1984。
- [1-16] 张公绪,专著《两种质量诊断理论及其应用》,科学出版社,2001。
- [1-17] 孙静,专著《接近零不合格过程的质量控制》,清华大学出版社,2001。

## 本章思考题

- [1-1] 如何理解缺陷和不合格?
- [1-2] 如何理解质量成本的概念?

## 思考题题解

- [1-1] 不合格是未满足要求:“明示的、通常隐含的或必须履行的需求或期望”;缺陷是未满足与期望或规定用途有关的要求。缺陷与不合格既有联系,又有区别。两者都与未满足要求有关。但是不合格定义中所提“要求”包含多方面内容,当然也包括“与预期或规定用途有关的要求”。而缺陷仅是指未满足其中特定的(与预期或规定用途有关的要求),如与人身财产安全有关的要求。可见,“缺陷”是一种特定范围内的“不合格”。
- [1-2] 质量成本是为了确保满意的质量而发生的费用以及没有达到满意的质量所造成的损失,是指将产品质量保持在规定的质量水平上所需的费用。它是企业生产总成本的一个组成部分,与产品成本不同。质量成本是一种变动成本、机会成本(或可能的成本)、估计成本。理解质量成本必须认识到:
  - ① 质量成本是针对产品制造过程的符合性质量而言的,其前提是设计质量标准或规范已经确定。质量成本不应包括重新设计和改进设计、用于提高质量等级和质量水平而支付的费用。
  - ② 质量成本指的是:在制造过程中同出现不合格品有密切联系的相关费用,不包括制造过程中与质量有关的全部费用,而只是其中的一部分。
  - ③ 计算质量成本不仅仅是为了得到结果,最终是为了分析质量成本,从而寻找改进质量、控制质量成本的途径和评定质量体系的有效性,达到成本最低、用最经济的手段达到规定的质量目标。

## 第二章 ISO 9000 族标准和质量管理体系

### 2.1 ISO 9000 族标准的发展及其特点

#### 2.1.1 ISO 9000 族标准的发展

20 世纪中叶,随着军事工业的迅速发展,武器装备日趋先进,生产过程日益复杂,许多产品质量问题往往在使用过程中才逐渐暴露,促使人们逐渐认识到:如果组织的管理体系不完善,产品规范本身就不可能始终提供和支持满足顾客需要的产品,从而导致采购方不但对产品特性提出要求,还对供方质量管理体系提出要求,并以此作为产品规范中有关产品要求的一种补充。质量管理体系标准由此产生。1959 年,美国国防部发布了 MIL-Q-9858A《质量大纲要求》,成为世界上最早的有关质量保证方面的标准。美国军品生产方面的质保活动的成功经验,在世界范围内产生了很大的影响,一些工业发达国家,如英国、法国、加拿大等,在七十年代末先后制订和发布了用于民品生产的质量管理和质量保证标准。随着各国经济的相互合作和交流,对供方质量管理体系的评价已逐渐成为国际贸易和国际合作的前提。由于各国标准的不一致,给国际贸易带来障碍,质量管理和质量保证标准的国际化成为当时世界各国的迫切需要。

国际标准化组织(英文简称 ISO)于 1979 年成立了质量保证技术委员会(TC 176),后改名为质量管理和质量保证技术委员会,并分别于 1986 年发布 ISO 8402《质量—术语》和 1987 年发布 ISO 9000《质量管理和质量保证标准—选择和使用指南》、ISO 9001《质量体系—设计开发、生产、安装和服务的质量保证模式》、ISO 9002《质量体系—生产和安装的质量保证模式》、ISO 9003《质量体系—最终检验和试验的质量保证模式》、ISO 9004《质量管理和质量体系要素—指南》等 6 项国际标准,通称为 ISO 9000 系列标准,或称为 1987 版 ISO 9000 系列国际标准。

1994 年 ISO/TC 176 完成了对标准的第一阶段的修订工作,并由 ISO 发布了 1994 版 ISO 8402、ISO 9000-1、ISO 9001、ISO 9002、ISO 9003 和 ISO 9004-1 等 6 项国际标准,分别取代 1987 版的 6 项标准。通称为 1994 版 ISO 9000 族标准。

1994 年发布 ISO 9000 族国际标准修订本时,ISO/TC 176 提出了“ISO 9000 族”的概念,“ISO 9000 族”是指由 ISO/TC 176 制定的所有国际标准。ISO/TC 176 在完成对标准的第一阶段的修订(称之为“有限修改”)工作后,随即启动标准修订战略的第二阶段工作,称之为“彻底修改”。1997 年底 ISO/TC 176 提出了对标准第二阶段修订的最初成果—工作组草案第一稿(WD1),2000 年 12 月 15 日 ISO 正式发布 ISO 9000:2000《质量管理体系—基础和术语》、ISO 9001:2000《质量管理体系—要求》和 ISO 9004:2000《质量管理体系—业绩改进指南》,分别取代 1994 版 ISO 8402,

1994 版 ISO 9001、ISO 9002、ISO 9003 和 1994 版 ISO 9004 - 1, 通称 2000 版 ISO 9000 族标准。

ISO 9000 族标准自 1986 年第一项标准 ISO 8402《质量—术语》面世迄今, ISO 已正式发布了 22 项 ISO 9000 族标准和 2 项技术报告(TR)。22 项国际标准和 2 项技术报告都已分别等同转化为我国相应的国家标准和国家标准化指导性技术文件。

为了满足广大标准使用者的需要, 未来的 ISO 9000 族标准在其结构上将发生重大调整, 标准的数量在合并、调整的基础上也将大幅度减少。标准的要求/指南更通用, 使用更方便、灵活, 适用面更宽。根据 ISO/TC 176 的计划, ISO 9000 族文件将由以下四部分组成:

#### 第一部分: 核心标准

ISO 9000:2000 质量管理体系—基础和术语

ISO 9001:2000 质量管理体系—要求

ISO 9004:2000 质量管理体系—业绩改进指南

ISO 19011:2002 质量和(或)环境管理体系审核指南

上述四项标准构成了一组密切相关的质量管理体系标准, 亦称 ISO 9000 族核心标准。

#### 第二部分: 其他标准(目前只有一项)

ISO 10012:2002 测量控制系统

#### 第三部分: 技术报告或技术规范

正在制定或已经发布的技术报告或技术规范有:

ISO/TS 10006 项目管理质量指南

ISO/TS 10007 技术状态管理指南

ISO/TR 10014:1998 质量经济性管理指南

ISO/TR 10013:2001 质量管理体系文件

ISO/TR 10017:2002 ISO 9001:2000 中的统计技术指南

ISO/TR 10018:2002 顾客投诉

ISO/TS 21095:2002 质量管理体系咨询师选择和使用指南

根据 ISO/TC 176 的计划, 技术报告或技术规范将是发布最多的一类文件。

#### 第四部分: 小册子

ISO/TC 176 将根据实施 ISO 9000 族标准的实际需要, 编写一些宣传小册子形式的出版物作为指导性文件, 包括《质量管理原则》、《选择和使用指南》、《小型组织实施指南》。

### 2.1.2 2000 版 ISO 9000 族标准的主要特点及意义

#### 1. 主要特点

从 2000 版 ISO 9000 族标准的结构和内容来看, 有以下特点:

(1) 标准的结构与内容更好地适用于所有产品类别, 不同规模和各种类型的

组织。

(2) 强调质量管理体系的有效性与效率,引导组织关注顾客和其他相关方、产品与过程,而不仅是程序文件与记录。

(3) 对标准要求的适用性进行了更加科学与明确的规定,在满足标准要求的途径与方法方面,提倡组织在确保有效性的前提下,可以根据自身经营管理的特点作出不同的选择,给予组织更多的灵活度。

(4) 质量管理八项原则在标准中得到充分的体现,便于从理念和思路理解标准的要求。

(5) 采用“过程方法”的结构,体现了组织管理的一般原理,有助于组织结合自身的生产和经营活动采用标准来建立质量管理体系,并重视有效性的改进与效率的提高。

(6) 更加强调最高管理者的作用,包括对建立和持续改进质量管理体系的承诺,确保顾客的需求和期望得到满足,制定质量方针和质量目标并确保其得到落实,确保所需的资源,指定管理者代表和主持管理评审等。

(7) 将顾客和其他相关方满意或不满意信息的监视作为评价质量管理体系业绩的一种重要手段。

(8) 突出了“持续改进”是提高质量管理体系有效性和效率的重要手段。

(9) 概念明确,语言通俗,易于理解、翻译和使用,术语用概念图形式表达术语间的逻辑关系。

(10) 对文件的要求更加灵活,强调文件应能够为过程带来增值,记录只是证据的一种形式。

(11) 强调了 ISO 9001 作为要求性的标准和 ISO 9004 作为指南性的标准的协调一致性,有利于组织的业绩的持续改进。

(12) 提高了与环境管理体系标准等其他管理体系标准的相容性。

## 2. 意义

自 1987 年以来,我国国家质量技术监督局先后将 1987 版 ISO 9000 系列国际标准、1994 版 ISO 9000 族国际标准引入我国,并及时将其转化为国家标准。到目前为止,我国已将由 ISO/TC 176 制定的所有 ISO 9000 族国际标准全部等同转化为 ISO 9000 族国家标准,有力地推动了 ISO 9000 族标准在我国的广泛应用,取得了显著的社会效益和经济效益。

2000 版 ISO 9000 族标准总结了世界各国多年来标准化、质量管理、质量认证理论研究的成果和实践的经验,无论在结构上、内容上还是在思路上都发生了很大变化。它的发布为各种类型和规模的组织进一步提高其质量管理水平、适应我国加入 WTO 后面临的新形势、扩大对外开放、促进国际贸易又一次提供了很好的学习机会和发展机遇。其作用和意义主要表现在以下几点:

(1) 标准通用性的加强,为进一步推动标准在各行各业的应用创造了条件。

(2) 标准对文件要求的减少,为组织进一步关注标准实施的有效性创造了

条件。

- (3) 协调一致的一对标准,为持续改进组织的总体业绩与效率创造了条件。
- (4) 两类标准的相互趋近,为进一步促进组织管理体系的一体化创造了条件。
- (5) 质量管理原则的应用,为进一步提高组织质量管理的科学性创造了条件。

### 2.1.3 一对相互协调的标准

ISO/TC176 将 2000 版 ISO 9004 与 ISO 9001 设计成为一对结构相似、范围不同,既可以互相补充也可以单独使用的相互协调的标准。采用相似结构的目的是为了两个标准具有相容性,且易于使用。为了更进一步方便使用,在 2000 版 ISO 9004 的相应条款后面还将 ISO 9001 的内容置于方框之中。但标准强调了 ISO 9004 不是 ISO 9001 的实施指南。

#### 1. ISO 9001 和 ISO 9004 标准的范围和目的不同

ISO 9001 和 ISO 9004 标准的范围和目的不同点如下:

ISO 9001 规定了质量管理体系要求,可供组织内部使用,也可用于认证或合同的目的,在满足顾客要求方面,ISO 9001 所关注的是质量管理体系的有效性。

ISO 9004 为实现质量管理体系更宽范围的目标提供了指南,尤其为持续改进组织的总体业绩和效率以及有效性提供了指南。ISO 9004 为那些希望超出 ISO 9001 的要求,寻求对业绩持续改进的组织最高管理者提供了指南。然而,用于认证和合同不是 ISO 9004 的目的。标准在这里为组织提供了一种可以先按 ISO 9001 建立一个满足基本要求的质量管理体系,再在此基础上通过实施 ISO 9004 以改进组织的总体业绩的方式,这种方法对于广大获证企业来说具有现实意义。

#### 2. ISO 9004 超越 ISO 9001 的要求

ISO 9004 提供了超出 ISO 9001 要求的指南,以便于考虑提高质量管理体系的有效性和效率,进而考虑开发和改进组织业绩的潜能,指导组织建立一个更加完整和更趋成熟的质量管理体系。与 ISO 9001 相比,ISO 9004 将顾客满意和产品质量的目标扩展为包括相关方满意和组织的业绩在内。

##### (1) 超越符合性要求,追求卓越业绩

ISO 9001 旨在给出产品的质量保证并增进顾客满意程度,而 ISO 9004 则通过使用更广泛的质量管理的观点,提供业绩改进的指南。ISO 9004 标准中强调组织的总体业绩、质量管理体系业绩和过程业绩。ISO 9001 更多的是强调“符合要求”、“产品符合要求”或“质量管理体系的符合性”

##### (2) 超越有效性,追求有效性和效率

ISO 9001 关注的是质量管理体系的有效性,而 ISO 9004 则强调提高质量管理体系的有效性和效率,以及如何确保体系和过程以高效和有效的方式运作、实施和改进。

##### (3) 超越满足顾客需求,追求使所有相关方获益

ISO 9001 通过满足顾客要求,达到顾客满意;而 ISO 9004 则始终关注满足顾客

和其他相关方的需求和期望,确保使组织的所有相关方都获益,也就是通过满足相关方要求,增进相关方满意。

#### (4) 超越狭义的质量,追求广义的质量

ISO 9001 关注的主要是产品的质量,而 ISO 9004 关注的则是组织的总体业绩,包括收入和市场份额、成本和周转期等。即使是产品质量,也不限于产品的基本性能和功能,而是关注组织的顾客和其他相关方所期望的所有的质量因素,如产品的寿命周期、安全和卫生、可使用性、人体工效、环境、产品处置等,因此 ISO 9004 追求的是广义的质量。

## 2.2 2000 版 ISO 9000 族标准的基础

### 2.2.1 质量管理八项原则

质量管理八项原则可以作为组织制定质量方针的基础,最高管理者可以运用这些原则领导组织进行业绩改进。事实上,这些原则不仅体现了质量管理的基本规律,也适用于组织的全部管理。各类组织应认真学习、研究质量管理八项原则,坚持管理的科学性,将我国的质量管理推进到一个新的水平。

#### 原则一:以顾客为关注焦点

组织依存于其顾客。因此,组织应理解顾客当前和未来的需求,满足顾客要求并争取超越顾客期望。

##### 作用

(1) 由于始终关注顾客要求并及时加以满足,就能使组织及时抓住市场机遇,作出快速而灵活的反应,从而能提高市场占有率,增加收入,提高经济效益;

(2) 由于始终满足顾客要求,可以提高顾客对组织的忠诚度(顾客忠诚度是指:顾客一贯购买本组织的产品或服务、不为其他组织的宣传所吸引、劝说自己的亲友购买本组织的产品或服务、当本组织的产品或服务有缺点时给予谅解并对克服缺点的行动表示欢迎),

#### 原则二:领导作用

领导者确立组织统一的宗旨及方向。他们应当创造并保持使员工能充分参与实现组织目标的内部环境。

##### 作用

(1) 由于领导者创造了一个比较宽松、和谐和有序的环境,全体员工能够理解组织的目标并动员起来去实现这些目标;

(2) 由于领导者规定了各级、各部门的工作准则,所有的活动能以一种统一的方式加以评价、协调和实施;

(3) 领导者可以通过先进部门、先进员工的范例来推广先进经验,以促进持续改进。

#### 原则三:全员参与

**各级人员都是组织之本。只有他们的充分参与,才能使他们的才干为组织带来收益。**

**作用**

(1) 使全体员工动员起来,积极参与,努力工作,实现承诺,从而实现组织的方针和目标;

(2) 使员工感到他们对自己的业绩负有责任,工作不好会给组织带来损失,从而树立起工作责任心;

(3) 使员工渴望参与持续改进并做出贡献,主动地、积极地去寻找改进的机会,从而树立起事业心。

**原则四:过程方法**

**将活动和相关的资源作为过程进行管理,可以更高效地得到期望的结果。**

**作用**

(1) 由于采用了过程方法,可以通过有效地使用资源,使组织具有降低成本并缩短周期的能力;

(2) 由于对过程的各要素进行了管理和控制,可获得改进的、一致的和可预测的结果;

(3) 可集中注意每个过程可以改进的机会,并按其发生影响的大小次序进行改进。

**原则五:管理的系统方法**

**将相互关联的过程作为系统加以识别、理解和管理,有助于组织提高实现目标的有效性和效率。**

**作用**

(1) 使各过程彼此协调一致,能最好地取得所期望的结果;

(2) 增强了把注意力集中于关键过程的能力;

(3) 由于体系、产品和过程处于受控状态,组织能向重要的相关方提供对组织的有效性和效率的信任。

**原则六:持续改进**

**持续改进总体业绩应当是组织的一个永恒目标**

**作用**

(1) 由于坚持持续改进,从而提高了组织的能力,增强了组织的竞争优势;

(2) 由于主动、积极地寻找改进的机会,提高了组织对改进机会快速而灵活的反应能力。

**原则七:基于事实的决策方法**

**有效决策是建立在数据和信息分析的基础之上。**

**作用**

(1) 组织可以向各级领导提供有信息根据的决策;

(2) 组织可以增强通过实际来验证过去决策的正确性的能力;



(3) 组织可以增强对各种意见和决策进行评审、质疑和更改的能力,发扬民主决策的作风,使决策更切合实际。

#### **原则八:与供方互利的关系**

**组织与供方是相互依存的,互利的关系可增强双方创造价值的能力。**

**作用**

- (1) 与供方的合作可以增强供需双方创造价值的能力;
- (2) 与供方的合作可以增强对市场的变化联合作出灵活和快速的反应;
- (3) 与供方建立合作关系可以降低成本,使资源的配置达到最优化。

### **2.2.2 质量管理体系基础**

#### **1. 质量管理体系的理论说明**

质量管理体系的目的就是要帮助组织增进顾客满意。组织依存于顾客,顾客要求组织提供的产品应能满足他们的需求和期望,这种需求和期望体现在产品技术标准或技术规范中。最后决定产品是否可以接受的是顾客。顾客有最终决定权。

由于顾客的需求和期望是不断变化的,这就驱使组织持续改进其产品和过程,体现了顾客是组织持续改进的推动力之一。

质量管理体系方法要求组织分析顾客要求,规定为达到顾客要求所必须的过程,并使这些过程处于连续受控状态,以便实现顾客可以接受的产品。质量管理体系还能组织持续改进其整体业绩提供一个框架,使持续改进在体系内正常进行,以增加顾客和其他相关方满意的机会。质量管理体系还能提供内、外部质量保证,向组织(内部)和顾客以及其他相关方(外部)提供信任,使他们相信组织有能力提供持续满足要求的产品。

#### **2. 质量管理体系要求与产品要求**

ISO9001:2000 规定了对质量管理体系的要求,这种要求是通用的,适用于各种行业或经济部门的,提供各种类别的产品,包括硬件、软件、服务和流程性材料的,各种规模(大型、中型、小型)的组织。但是,每个组织为符合质量管理体系的要求而采取的措施却是不同的。因此,每个组织要根据自己的具体情况建立质量管理体系。

ISO 9001:2000 标准对产品没有提出任何具体的要求。通常,对产品的要求在技术规范、产品标准、过程标准或规范、合同协议以及法律法规中规定。

对每一个组织来说,产品要求与质量管理体系要求缺一不可,质量管理体系要求是对产品要求的补充。

#### **3. 质量管理体系方法**

质量管理体系方法是过程方法和管理的系统方法及原则的具体应用。在建立和实施质量管理体系以及保持和改进现有的质量管理体系中可采用 8 个步骤(详见 2.4.5 节)

#### 4. 过程方法

所谓“过程”，就是“将一组输入转化为输出的相互关联或相互作用的活动”。因此，任何使用资源将输入转化为输出的活动或一组活动均可视为一个过程。所谓“过程方法”，就是“系统地识别和管理组织所应用的过程，特别是这些过程之间的相互作用”。重要的是识别质量管理体系所需的过程，包括组织的管理活动、资源提供、产品实现和测量有关的过程，并确定过程的顺序和相互作用。

ISO 9000 族标准把以过程为基础的质量管理体系用一个图来表示，见图 2.5-1。从图 2.5-1 可以看出，质量管理体系的四大过程“管理职责”、“资源管理”、“产品实现”和“测量、分析和改进”彼此相连，最后通过体系的持续改进而进入更高的阶段。从水平方向看，顾客(和其他相关方)的要求形成产品实现过程的输入。产品实现过程的输出是最终产品。产品交付给顾客后，顾客(及其他相关方)将对其满意程度的意见反馈给组织的测量、分析和改进过程，作为体系持续改进的一个依据。在新的阶段，“管理职责”过程把新的决策反馈给顾客(及其它相关方)，后者可能据此而形成新的要求。利用这个图，组织可以进一步识别质量管理体系所需的过程，进一步展开、细化，并对过程进行连续控制，从而改进体系的有效性。

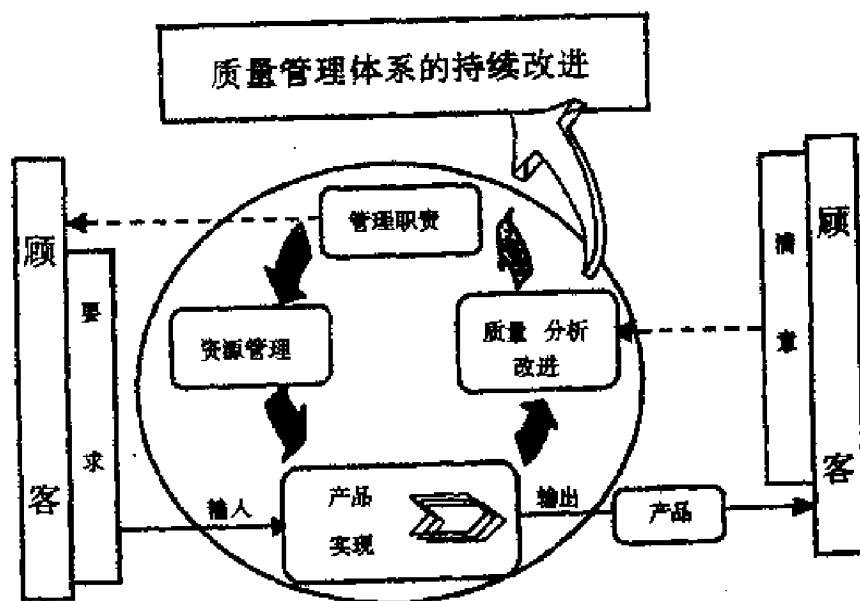


图 2.5-1 以过程为基础的质量管理体系模式

#### 5. 质量方针和质量目标

质量方针指出了组织满足顾客要求的意图和策略，组织在质量方面的方向和追求的目标，为组织建立和评审质量目标提供了框架，使组织的各项质量活动都能围绕这个方针和目标来进行，而质量目标则是实现这些意图和策略的具体要求，需要与质量方针保持一致。两者为组织提供了关注的焦点，确定了要想达到的预期

结果,使组织利用其资源来实现这些结果。

质量方针和质量目标的实现对产品质量、运行有效性、财务业绩(即经济效益)都会产生积极的影响,对相关方的满意也会产生积极的影响。

## 6. 最高管理者的作用

最高管理者指组织的最高管理层,具有决策、指挥和控制的职责和权力。他(他们)的最重要的任务就是要通过他们具体的领导作用和各种措施来创造一个良好的内部环境。在这个环境中,质量管理体系得到有效的运行,全体员工可以充分参与,发挥他们的主动性、积极性和创造性。

## 7. 文件

### (1) 文件的价值

总的说,文件的价值是传递信息、沟通意图、统一行动。

文件固然重要,但编制文件并不是我们最终目的。我们要求建立一个形成文件的质量管理体系,而不是文件体系,并不要求将质量管理体系中所有的过程和活动都形成文件。文件的目的是使质量管理体系的过程得到有效的运作和实施。文件只有在体系中具体应用、实施后,才能促使质量管理产生增值的效果。

### (2) 质量管理体系中使用的文件类型:

质量管理体系中使用的文件类型主要有:质量手册;质量计划;规范;指南;程序、作业指导书和图样、记录,文件的数量多少、详略程度、使用什么媒体视具体情况而定。

## 8. 质量管理体系评价

### (1) 质量管理体系过程的评价

由于体系是由许多相互关联和相互作用的过程构成的,所以对各个过程的评价是体系评价的基础。在评价质量管理体系时,应对每一个被评价的过程,提出四个基本问题(详见 2.5.3 节),综合四个问题的答案可以确定评价的结果。

### (2) 质量管理体系审核

质量管理体系审核用于确定符合质量管理体系要求的程度。审核发现(即审核的结果)可用于评定质量管理体系的有效性和识别改进的机会。

质量管理体系审核有第一方审核(内审)、第二方审核和第三方审核三种类型。

### (3) 质量管理体系评审

最高管理者的一项重要任务就是要主持、组织质量管理体系评审,就质量方针和质量目标对质量管理体系的适宜性、充分性、有效性和效率进行定期的(按计划的时间间隔)、系统的评价。这种评审可包括考虑修改质量方针和质量目标的需求以响应相关方需求和期望的变化。从这个意义上来说,管理评审的依据是相关方的需求和期望。质量管理体系评审是一种第一方的自我评价。

### (4) 自我评定

组织的自我评定是一种参照质量管理体系或优秀模式(如评质量奖)对组织的活动和结果所进行的全面和系统的评审,也是一种第一方评价。

自我评定可以对组织业绩及体系成熟程度提供一个总看法,它还有助于识别需改进的领域及需优先开展的活动。

### 9. 持续改进

持续改进是八项质量管理原则之一。持续改进原则用于质量管理体系时,其目的在于增加顾客和其它相关方满意的机会。

### 10. 统计技术的作用

在质量管理中,即使在明显的稳定条件下,在许多活动的状态和结果中,都可以看到变异。统计技术可以对这类变异进行测量、描述、分析、解释和建立数学模型。即使在数据量相对有限的情况下,也可以做到。这种对数据的统计分析能帮助我们更好地理解变异的性质、程度和产生变异的原因,从而可以帮助我们决策,即采取相应的措施,解决已出现的问题,甚至可以预防由变异产生的问题。因此,统计技术是促进持续改进产品质量和过程及体系的有效性的有力武器。

### 11. 质量管理体系与其他管理体系的关注点

一个组织的管理体系包括若干个不同的分体系,如质量管理体系、环境管理体系、职业健康与安全管理体系等。这些管理体系有各自的方针和目标,但互有联系,又具有相同的要素。在评价管理体系时,既可以对质量管理体系、环境管理体系、职业健康与安全管理体系等分别进行审核,也可以合并进行审核。

### 12. 质量管理体系与优秀模式之间的关系

在 ISO 9000 族标准正式颁布以前,欧美各国和日本都早已通过评选优秀的质量管理企业来推广某些先进经验和做法。现在这种优秀企业评选的模式日趋成熟,较有名的如美国的马尔柯姆·波得里奇国家质量奖、欧洲的欧洲质量奖、日本的戴明奖等。

ISO 9000 族标准的质量管理体系方法和组织优秀模式之间共同之处是两种方法所依据的原则相同;ISO 9000 族标准的质量管理体系与优秀模式之间的差别主要是他们的应用范围不同。

## 2.3 2000 版 ISO 9000 族标准的质量管理体系要求

本节依据 ISO 9001:2000《质量管理体系 要求》(以下简称标准),简要介绍标准所规定的质量管理体系的基本要求。

### 一、范围

标准所规定的质量管理体系要求是为了满足组织的下列两种需求,或者说当有下列两种需求时,组织的质量管理体系至少应满足标准所规定的各项要求:

1. 需要证实组织的能力,这种能力表现在:
  - (1) 有能力持续地稳定地提供产品;
  - (2) 有能力提供满足要求的产品;
  - (3) 有能力提供满足适用的法律法规要求的产品。

2. 需要增强顾客满意的目的, 达到此目的措施可通过质量管理体系的建立和有效实施, 包括:

- (1) 质量管理体系的持续改进;
- (2) 保证符合顾客与适用的法律法规要求。

基于上述两种需求, 标准为各类组织规定了质量管理体系要求。无论组织的类型、规模和提供的产品有何不同, 这些要求是基本的, 都是通用的。若组织认为其中某些要求因组织及其产品的特点而不适用时, 可以考虑删减这些要求。但组织拟通过质量管理体系认证或拟声明符合标准, 在考虑删减时必须满足标准对删减的下列条件:

1. 能力: 删减后不影响组织提供满足顾客和适用法律法规要求的产品的能力;
2. 责任: 删减后不免除组织提供满足顾客和适用法律法规要求的产品的责任;
3. 范围: 删减仅限于标准的第七章“产品实现”。

## 二、质量管理体系总要求和文件要求

### 1. 质量管理体系总要求

质量管理体系应满足以下五个方面的总要求:

- (1) 符合标准要求;
- (2) 形成文件;
- (3) 加以实施;
- (4) 加以保持;
- (5) 持续改进其有效性。

为了实现质量管理体系的上述要求, 组织应采用过程方法, 识别质量管理体系所需过程及其在组织中的应用, 确定这些过程的顺序和相互作用, 确保过程的有效策划、运行和控制, 以实现对这些过程策划的结果和过程的持续改进。

质量管理体系所需过程包括与管理活动、资源提供、产品实现和测量有关的四大过程。本节第3-第6部分分别介绍了标准对这四大过程所规定的一些基本要求。

### 2. 文件要求

根据质量管理体系总要求, 质量管理体系应形成文件, 形成的文件应满足标准对文件的要求。

质量管理体系文件范围包括两大类:

- (1) 组织所需要的, 包括:
  - a. 为确保过程有效策划、运行和控制所需的文件;
  - b. 为实现过程及其产品满足要求提供证据所需的记录;
  - c. 与产品有关的外来文件, 包括法律法规及标准等。
- (2) 标准所要求的, 包括:
  - a. 形成文件的质量方针和质量目标;
  - b. 质量手册;

c. 标准要求对 6 项活动,即文件控制、记录控制、内部审核、不合格品控制、纠正措施和预防措施,有形成文件的程序;

d. 标准要求对 22 项活动要保持记录。

对质量管理体系所有文件,包括组织自己要求的和标准所要求的,组织都应予以控制,确保使用的文件现行有效,确保记录在规定的保存期限内可追溯。文件的数量、类型、格式、形式及详略程序因组织和产品而异。

### 三、管理职责

最高管理者应积极发挥在质量管理体系中的领导作用,履行相应的管理职责:

职责一:最高管理者应对建立、实施质量管理体系并持续改进其有效性作出承诺,并对所作出的承诺提供证据;

职责二:最高管理者应以顾客为关注焦点,以增强顾客满意为目的;

职责三:最高管理者应正式颁布质量方针,确保质量方针满足要求,包括与组织的宗旨相适应;

职责四:最高管理者应确保在组织的相关职能和层次上建立可测量的质量目标,并与质量方针保持一致;

职责五:最高管理者应确保质量管理体系的策划,满足质量目标的要求以及质量管理体系的总要求;

职责六:最高管理者应确保组织内的职责和权限得到规定和沟通;

职责七:最高管理者应在管理层中指定一名管理者代表,并赋予相应的职责和权限;

职责八:最高管理者应确保在组织内就质量管理体系有效性进行沟通;

职责九:最高管理者应就质量方针和质量目标对质量管理体系持续的适宜性、充分性和有效性进行评审(管理评审)。

### 四、资源管理

资源是质量管理体系的重要组成部分,是质量管理体系得以建立和运行的前提和必要条件。质量管理体系对资源的需求包括:

1. 实施、保持质量管理体系并持续改进其有效性所需的资源;
2. 通过满足顾客要求,增强顾客满意所需的资源。

组织应确定并提供上述所需的各种资源,包括人力资源、基础设施、工作环境。标准对这三大资源提出了要求,包括要求从事影响产品质量工作的人员应是能够胜任的,基础设施和工作环境应能满足产品要求的需要等。

### 五、产品实现

产品实现的过程是产品质量形成的过程,组织应对产品实现所需的过程进行策划,以确保过程依策划的要求得到运行和控制,达到所策划的结果。产品实现所需的过程包括与顾客有关的过程、设计和开发过程、采购过程、生产和服务提供过程以及监视和测量设备的控制过程等 5 大过程。

#### 1. 与顾客有关的过程

组织应确定与产品有关的要求,包括顾客规定的和没有规定的,并在向顾客作出提供产品的承诺之前评审所确定的与产品有关的要求,确保组织有能力满足这些要求。组织在确定和评审与产品有关的要求的过程中,应保持与顾客的有效沟通。

## 2. 设计和开发

标准对设计和开发的要求是指产品而言,过程的设计和开发也可应用。组织应对产品设计和开发的过程进行策划,确定设计和开发的输入,提出设计和开发的输出,并依据设计和开发所策划的安排对设计和开发的结果进行评审、验证和确认。设计和开发的更改应进行识别和控制。

## 3. 采购

组织应对采购过程进行控制,包括对采购品的控制和对提供采购品的供方的控制,采购品包括硬件、软件和服务等。控制的类型和程度取决于采购品对随后的产品实现和最终产品的影响,目的是要确保采购的产品符合规定的采购要求。

## 4. 生产和服务提供

生产和服务提供应在受控条件下进行。当生产和服务提供过程的输出不能由后续的监视或测量加以验证时,标准要求对这样的过程实施确认,以证实这些过程实现所策划的结果的能力。标准还对产品实现过程中所涉及的标识和可追溯性、顾客财产、产品防护等方面提出了要求。

## 5. 监视和测量装置的控制

组织应建立监视和测量装置的控制过程,确定需实施的监视和测量以及所需的装置,确保监视和测量活动可行,结果有效,目的是为产品符合确定的要求提供证据。

# 六、测量、分析和改进

组织应对所需的监视、测量、分析和改进过程进行策划,并依据策划的安排加以实施。

## 1. 监视和测量

监视和测量的对象包括体系、过程和产品。

组织应将顾客满意作为对质量管理体系业绩的一种测量。内部审核是为了确定质量管理体系的符合性和有效性,也可作为对体系的一种监视和测量。

过程的监视和测量应证实过程实现所策划的结果的能力。

产品的监视和测量是针对产品的特性,依据接收准则,验证产品要求已得到满足。

## 2. 分析和改进

组织应对不合格品进行控制,防止不合格品的非预期使用和交付;针对不合格的产生原因和潜在原因,采取纠正措施和预防措施,防止不合格的再发生并预防不合格的发生;确定、收集和分析包括来自监视和测量的结果以及其他有关来源的数据,以证实质量管理体系的适宜性和有效性,并评价在何处可以持续改进其有效性。标准要求组织利用各种手段,采取各种措施,包括质量方针和目标、审核结果、数据分析、纠正和预防措施以及管理评审等,促进质量管理体系有效性的不断提高。

## 2.4 质量管理体系的建立

### 2.4.1 质量管理体系的发展

任何一个能完成其职能的组织,不论该组织是否贯彻了 ISO 9000 族标准,客观上都存在一个质量管理体系,但并非是每个质量管理体系都是充分有效的。

早在 20 世纪中期,一些发达国家开始注重用系统理论建立并实施质量管理,并创建了一批各具特色的质量管理体系,其中最有代表性的质量管理体系包括:以美国为代表的、以军品为先导、过程控制为重点的质量管理体系,和以日本为代表的、以全面质量管理为特点的质量管理体系。

世界上最早发布质量管理体系标准的是美国军方,1959 年,美国国防部发布了 MIL-Q-9858《质量大纲要求》。标准要求军品承制组织“应在设计、研制、加工、装配、检验、试验、维护、装箱、贮存和安装的所有过程充分保证质量”。同时,美国国防部还根据不同需要发布了 MIL-Q-45208A《检验系统要求》,以适应较简单的武器装备的质量保证需要。为了对上述标准进行解释和评定,美国国防部还制订了 MIL-HDBK-50《承包商质量大纲评定》和 MIL-HDBK-51《承包商检验系统评定》等文件,从而形成了一套较完整的质量管理体系标准文件。美国军品生产组织通过贯彻美军标、建立和完善质量管理(保证)体系,很快取得令人信服的成效,不仅对美国国内民品生产组织而且引起了其他发达国家的关注。

始于美国、发展在日本的全面质量管理(简称 TQC 或 TQM)较充分地体现了“体系”的思想。其主要特点是强调“三全”,即全面质量、全过程控制和全员参与。

全面质量管理亦称广义质量,除产品质量以外,还包括价格、交付期、和售后服务等方面。从另一个角度,全面质量管理还包括过程质量和工作质量,即用工作质量保证过程质量,用过程质量保证产品质量。全过程控制,是指对包括设计过程、制造过程、使用过程以及辅助过程在内的全部过程进行管理和控制,使产、供、销各个环节形成一个相互联系和相互作用的有机整体。全员参与是指一个组织的所有员工、特别是高层管理者都应将自己的工作和本组织的质量管理体系紧密的联系起来。另一方面,全面质量管理还强调综合性管理,即提倡利用统计技术等现代管理方法对质量进行管理。

由于多种因素的影响,长期以来,我国各企业的质量管理体系具有多样性、多变性和不稳定性,直到我国采用 ISO 9000 族标准,特别是开展质量管理体系认证以来,我国的质量管理体系才走上了统一的轨道,实现了质量管理体系要求的国际接轨。

### 2.4.2 质量管理体系的有关概念

2000 版 ISO 9000 族标准的作用,是“帮助各种类型和规模的组织实施并运行有效的质量管理体系”。可以认为:不了解体系,就不能理解标准,更不能建立和实



施有效的质量管理体系。

### 1. 体系和系统

体系源于系统。当研究对象的技术含量较高时,人们多习惯称其为系统;而在管理领域,体系和系统并无必要加以严格区分,既可称为体系,也可称为系统。2000 版 ISO 9000 族标准将两者视为同义词,所以,质量管理体系,也就是质量管理体系;系统科学的有关理论,同样可用来研究质量管理体系。

质量管理原则——管理的系统方法强调:“将相互关联的过程作为系统加以识别、理解和管理,有助于组织提高实现目标的有效性和效率。”

研究体系(系统)的主要“工具”是系统工程。系统工程是以系统为对象的一门跨学科的边缘科学,是对所有系统都具有普遍意义的一种现代化管理技术,也是研究和解决复杂问题的有效手段。广义系统工程包括对系统构成的要素、组织结构、信息处理等和实现“最优”管理目标相关的各种组织技术,狭义的系统工程包括系统分析、系统综合、系统模拟、系统优化等技术。在实际应用中,二者并无严格界限。

体系(系统)可以说无所不在,大到宇宙、太阳系、社会,小到企业、产品和过程,都可视为一个体系(系统)。人们总是通过体系认识自然,了解社会;有效的管理者总是通过体系去管理组织,通过体系来提高管理效率和总体业绩。

ISO/TC176 技术委员会将其制订的国际标准称为 ISO 9000 族(family),是一个相互依存并有“血缘”关系的“家族”;其本身就是一个相互关联和相互作用的文件体系。

### 2. 什么是体系、管理体系和质量管理体系

在系统理论中,将体系(系统)的组成部分称为体系的单元或元素,当体系的组成部分不很明确或组成部分数量较多时,我们习惯将组成部分称为“要素”,以强调体系中的主要元素。ISO 9000 标准将体系(系统)、管理体系和质量管理体系三个术语定义为:

体系(系统),system(3.2.1):相互关联或相互作用的一组要素。

管理体系,management system(3.2.5):建立方针和目标并实现这些目标的体系(3.2.1)。

质量管理体系,quality management system(3.2.3):在质量方面指挥和控制组织的管理体系(3.2.5)

根据 ISO 9000 族标准约定的术语的替代规则,管理体系可理解为:建立方针和目标并实现这些目标的“相互关联或相互作用的一组要素”。

同样质量管理体系中的“管理体系”也可用管理体系的定义所替代。

不难看出,质量管理体系和管理体系都具有术语“体系”的所有属性,其实质都强调“相互关联和相互作用的一组要素”,而质量管理体系还具有管理体系的属性。在术语层次结构中,当下一层术语概念继承了上层术语概念所有特性,并包含有将其区别于上层和同层概念的表达时,标准中将具有这种关系的术语称为“属种关系”。

术语括号中数字为 ISO 9000:2000 标准中的术语编号,下同。

从定义可看出,质量管理体系具有 3 个特征:

1. 具有(在质量方面)指挥、控制组织的管理特征。
2. 在建立和实现(质量)方针和目标方面,具有明确的目标特征。
3. 与组织的其它管理体系一样,其组成要素具有相互关联和相互作用的体系特征。

### 2.4.3 体系的主要特征

描述体系的特征,可以从不同角度进行而有所侧重。就质量管理而言,用总体性、关联性、有序性、动态性等方面来说明体系的特征可能是适宜的。

#### 1. 总体性

尽管组成体系的各要素在体系中都有自己特定的功能,但就体系总体而言,系统的功能必须由系统的总体才能实现。而且,系统的总体功能不能简单地理解为是由系统组成的各要素功能之和。

古希腊先哲亚里士多德有句名言:“总体大于局部之和”,是说体系的总体功能可以大于组成体系各要素功能之和,或具有其要素所没有的总体功能。当然,一加一可以大于二,如处理不好,一加一也可以小于二。

体系和要素是辩证的统一。以汽车发动机为例,它本身即可以作为一个“系统”,而在研究对象是汽车时,发动机这个系统就转化为汽车这个体系中的一个“要素”。

#### 2. 关联性

组成体系的要素,既具独立性,又具相关性,而且各要素和体系之间同样存在这种“相互关联或相互作用”的关系。过程控制,特别是统计过程控制的任务之一就是识别、控制和利用“要素”之间的关联性或相互作用。如:由于日本的一些企业采用了“三次设计”(系统设计、参数设计、容差设计),充分利用了有关参数之间的关联作用(统计上称“交互作用”),从而做到了能用次于美国的元器件组装优于美国的整机。相反,如果对要素之间的关联性不加识别和控制,就有可能造成不良后果。又如:在设计更改中,如果只考虑更改部位的合理性,而不考虑更改对其它部件和整机的影响,这在客观上就有可能“制造”了一个质量隐患。

#### 3. 有序性

所谓有序性,通俗地讲,就是将实现体系目标的全过程按照严格的逻辑关系程序化。通常我们不能保证执行体系目标的每个人在认识上完全一致,但必须使他们的行为做到井然有序。体系功能的有效性,不仅取决于要素(内在)的作用,在一定程度上也取决于有序化程度,而这种有序化程度又与组织的产品类别、过程复杂性和人员素质相关。

为了做到有序性,可以编制一个经过优化了的形成文件的程序,以规定一项活动的目的和范围,由谁来做,如何做,在什么时间、什么场合做等。对于一些约定俗成的活动,只要大家能习惯地遵循,也不一定通过编制文件来达到有序化。

#### 4. 动态性

所谓动态性,是指体系的状态和体系的结构在时间上的演化趋势。

应当强调,体系的结构(包括其管理职责)总是相对保守和稳定的因素,而市场和顾客的需求则是相对活跃和变化的因素,一般而言,前者总是落后于后者,但又必须服从于或适应于后者。为了保持体系的动态平衡,为了使体系能适应于市场和顾客的不断变化的需求,这就要求一个组织不仅应当理解顾客当前的需求以满足顾客的要求,而且应当理解顾客未来的需求和争取超越顾客的期望(参见质量管理原则——以顾客为关注焦点)。

体系的动态性也并非是没有规律的。“世界是物质的,物质是运动的,运动是有规律的”。

#### 2.4.4 关于质量管理体系的几点认识

统一以下认识对建立有效的质量管理体系是有益的。

1. 不同的产品可以有不同的特性,不同顾客可以有不同需求,但一个组织只应建立一个质量管理体系,以适应本组织的不同产品和不同需求。而且,应尽可能地将质量管理体系与组织的其它体系如环境管理体系整合成一个总的管理体系。

2. ISO 9000 族标准只规定了质量管理体系的通用要求,并未规定为达到标准要求的具体作法。质量管理体系文件的任务就是将标准中的通用要求转化为能反映本组织特点并具有运行性质的法规性文件。

3. 一般而言,一个组织的好的经验和行之有效的作法,都应符合标准要求。编制质量管理体系文件的关键,是要善于从两者中寻求共同点,不要过于苛求“文似”,要注重“神似”,切不可将精力放在编制那些“装饰性”文章上去,这正如 ISO 9000:2000 族标准 2.7 条款所强调的:“文件的形成本身并不是目的”。

4. 质量管理体系既要能满足顾客的需求又要能满足组织内部管理的需要,内部管理必须服从、适应于顾客和市场需求的变化。可以认为,满足顾客需求是内部管理的前提,内部管理是满足顾客需求的基础。两者具有因果关系,组织的质量管理体系的重点应放在内部管理上。

5. 建立和完善质量管理体系的关键,是强化各级管理者,特别是最高管理者在质量管理体系中的主导作用和关键地位,要使各级管理者认识到,建立质量管理体系,主要不是解决操作性问题,而是解决管理问题,解决管理者自身的工作质量问题。

6. 质量管理体系是在持续改进中得到完善的,而这种改进是永无止境的。组织的管理者应确信,任何情况下,本组织的质量管理体系都存在不足和有待改进;应通过管理评审、自我评价、内部审核、数据分析等自我完善机制,不断寻求改进领域,确定并实现新的改进目标。

7. 建立、实施质量管理体系的最终目标,不应仅局限于 ISO 9001 标准的基本要求,应创造条件,结合 ISO 9004 标准的内容全面实施,以期收到更好的效果。

8. 建立和实施质量管理体系的过程,是始于培训、终于培训的过程,是提高认

识、统一认识的过程,是研究问题、解决问题的过程。

### 2.4.5 质量管理体系方法

建立、实施、保持和改进质量管理体系可采用下列八个步骤:

- (1) 确定顾客和其他相关方的需求和期望;
- (2) 建立组织的质量方针和质量目标;
- (3) 确定实现质量目标必需的过程和职责;
- (4) 确定和提供实现质量目标必需的资源;
- (5) 规定测量每个过程的有效性和效率的方法;
- (6) 应用这些测量方法确定每个过程的有效性和效率;
- (7) 确定防止不合格并消除产生原因的措施;
- (8) 建立和应用持续改进质量管理体系的过程。

上述八个步骤方法不能简单地理解为是一个工作程序,而是在建立、实施、保持和改进质量管理体系的任务层面上提出的,是质量管理原则——过程方法和管理的系统方法的体现。现分别说明如下:

#### 1. 确定顾客和其他相关方的需求和期望

识别和确定顾客(市场)需求,对一个组织而言,实质是树立一个正确的营销观念。营销(Marketing),是一种以顾客和市场为中心的经营思想,其特征是:一个组织所关心的不仅是生产适销产品满足顾客当前需求,还要着眼于通过对顾客和市场调查分析和预测,不断开发新产品,满足顾客和市场的未来需求。

一个组织生产的产品能否长期满足顾客和市场的需求,在很大程度上取决于营销质量,其重点包括以下三个方面:

##### (1) 需求分析

亦称营销要求分析,通过市场和顾客的调查分析确定产品的质量需求(Product)、产品的销售方向(Place)、促销策略(Promotion)、研究具有竞争力的价格(Price)、分析企业的盈利(Profit),以及确定以上5个方面的市场营销组合(合称5P)。

##### (2) 将需求转换成规范

在以上工作基础上,将顾客期望和市场要求转换成一套初始规范或设计任务书(产品建议书),作为下一步产品设计和制造的基础。

##### (3) 顾客信息反馈

产品进入市场后,应建立一个连续的信息反馈和分析系统,就顾客对产品使用和满意程度的所有信息进行整理、分析。顾客的反馈信息能导致在制品的改进和新产品的开发。此外,顾客需求和期望也是确定一个组织的管理职责和组织结构的基础。

#### 2. 建立组织的质量方针和质量目标

一个组织的质量方针和质量目标不仅应与组织的宗旨和发展方向相一致,而且应能体现顾客的需求和期望。

质量方针应能体现一个组织在质量上的追求,对顾客在质量方面的承诺,也是规范全体员工质量行为的准则,但一个好的质量方针必须有好的质量目标的支持。质量目标的主要要求应包括:

(1) 针对性

质量方针是制订质量目标的框架,质量目标必须能全面反映质量方针要求和组织特点;

(2) 可测量

方针可以原则一些,但目标必须具体。这里讲的可测量不仅指对事物大小或质量参数的测定,也包括可感知的评价。通俗地说,所有制订的质量目标都应该是可以衡量的。

(3) 分层次

“最高管理者应确保在组织的相关职能和层次上建立质量目标”。一个组织的质量方针和质量目标实质上是一个目标体系。质量方针应有组织的质量目标支持,组织的质量目标应有部门的具体目标或举措支持,只要每个员工都能完成本职工作,就应能实现本部门的目标,能实现各部门的目标,就能完成本组织的目标。

(4) 能达到

质量目标是“在质量方面所追求的目的”。这就是说现在已经做到或轻而易举就能做到的不能称为目标;另一方面,根本做不到的也不能称为目标。一个科学而合理的质量目标,应该是在某个时间段内经过努力能达到的要求。

(5) 全方位

即在目标的设定上应能全方位地体现质量方针,可能应包括组织上的、技术上的、资源方面的、以及为满足产品要求所需的内容。

### 3. 确定实现质量目标必须的过程和职责

为实现质量目标,就需要识别、确定、控制、评价和改进过程。为此,组织应解决好如下问题:

(1) 系统识别并确定为实现质量目标所需的过程,包括一个过程应包括那些子过程和活动。在此基础上,明确每一过程的输入和输出的要求。

(2) 用网络图、流程图或文字科学而合理地描述这些过程或子过程的逻辑顺序、接口和相互关系。

(3) 明确这些过程的责任部门和责任人,并规定其职责。

### 4. 确定和提供实现质量目标必须的资源

这些资源主要包括:

(1) 人力资源

选择经过适当教育、培训、具有一定技能和经验的人员作为过程的执行者,以确保他们有能力完成过程要求。

(2) 基础设施

规定过程实施所必需的基础设施。基础设施包括工作场所、过程设备(硬件和

软件),以及通讯、运输等支持性服务。

### (3) 工作环境

管理者应关注工作环境对人员能动性和提高组织业绩的影响,营造一个适宜而良好的工作环境,既要考虑物的因素,也要考虑人的因素,以及两种因素的组合。

### (4) 信息

信息是一个组织的重要资源。信息可用来分析问题、传授知识、实现沟通,统一认识,促使组织持续发展,信息对实现“以事实为基础的决策”以及激励员工创新也是必不可少的。

除以上四方面外,资源还包括财务资源、自然资源和供方及合作者提供的资源等。

## 5. 规定测量每个过程的有效性和效率的方法

根据术语定义“有效性”是指“完成策划的活动和达到策划结果的程度”;“效率”是指“达到的结果与所使用的资源之间的关系”。结合过程概念并将两个术语结合起来理解,过程的有效性和效率是指在投入合理资源的前提下,过程实现所策划结果的能力。为了确保过程在受控状态下进行,应规定过程的输入、转换活动和输出的监视和测量方法。这些方法包括检验、验证、数据分析、内部审核和采用统计技术等。

## 6. 应用这些测量方法确定每个过程的有效性和效率

该条款是本节第五个问题的实施。过程的有效性和效率实质是指评价质量管理体系的适宜性、充分性和有效性以及效率的主要内容。

## 7. 确定防止不合格并消除其产生原因的措施

“防止不合格”即预防不合格,“为消除潜在不合格或其它潜在不期望情况的原因所采取的措施”称预防措施,以过程方法为基础的质量管理体系模式,其重点不是处理已发生的不合格,而是发现潜在的不合格并针对潜在不合格原因采取预防措施,防止潜在不合格发生。采取预防措施的主要途径包括:

(1) 建立能发现潜在不合格原因的信息渠道,对管理过程、产品实现过程和产品使用过程的信息进行整理分析,发现异常;

(2) 通过计算机统计过程诊断(SPD)软件和统计过程控制(SPC)等方法发现过程失控;

(3) 设计报警系统(如烟雾报警器、电冰箱氟利昂报警器等),当过程中某一因素失控立即发出警报,以防止不合格的发生。

## 8. 建立和应用持续改进质量管理体系的过程

持续改进质量管理体系的目的在于增加顾客和其他相关方满意的机会,而这种改进是一种持续和永无止境的活动。持续改进是质量管理体系过程、PDCA循环活动的终点,也是一个新的质量管理体系过程、PDCA循环活动的起点。以过程为基础的质量管理体系模式就是建立在以“顾客为关注焦点”和“质量管理体系持续改进”基础上的。

## 2.5 质量管理体系的审核

### 2.5.1 概述

#### 1. 审核的定义及其内涵

ISO 9000 标准对审核的定义是:

审核(3.9.1):为获得审核证据并对其进行客观评价,以确定满足审核准则的程度所进行的系统的、独立的并形成文件的过程。

从定义可以看出

(1) 审核实质是收集、分析和评价客观证据过程。客观证据是指“支持事物存在的真实信息(数据)”。审核中的客观证据亦称审核证据(3.9.4),其定义是:“与审核准则有关的并且能够证实的记录、事实陈述或其它信息”。

(2) 审核的基本性质是一种符合性检查,即将审核证据与审核准则(审核中所依据的标准、文件和法律法规要求)进行比较以确定其满足程度。

(3) 就质量而言,审核包括质量管理体系审核和产品质量审核,有时也包括过程审核,当描述质量管理体系审核或产品质量审核时,只需在审核定义中的相关部位冠以“质量管理体系”或“产品”即可。如质量管理体系审核可以表现为:

为获得质量管理体系审核证据并对其进行客观的评价,以确定满足质量管理体系审核准则的程度所进行的系统的、独立的并形成文件的过程。

(4) 审核的特点是强调系统、独立和形成文件。

所谓系统性,首先是指受审核方的质量管理体系已经按审核准则要求正式运行;其次,审核计划(审核方案)已经审核的委托方的批准或确认;第三,整个审核过程都应符合审核准则要求。

所谓独立,表现在审核方与受审核方无直接责任关系,审核组能独立依据审核准则进行审核,以保证审核的客观性和公正性;即使组织内部,审核员也不能审核自己的工作。

形成文件,指整个审核过程都必须由文件支持,包括审核计划、检查表、现场审核记录、不合格报告、审核报告等。

#### 2. 审核类型

(1) 按对象可分为:产品审核;质量管理体系审核;有时还包括过程审核。

(2) 按委托方分:

① 第一方审核,即内部审核,由组织自己或以组织名义进行的审核;

② 第二方审核,由组织的顾客或由顾客委托他人以顾客名义进行的审核;

③ 第三方审核,由独立于第一方和第二方的外部组织进行的审核,这类组织通常是经过权威机构认可的。

第二方审核和第三方审核,对受审核方而言,均属外部审核。

(3) 按审核先后时间顺序可分为：初次审核；监督审核；复评(证书有效期届满,重新提出申请所进行的再次审核)。

(4) 按质量管理体系的审核性质分：

- ① 质量管理体系认证中的质量管理体系审核；
- ② 产品认证中的质量管理体系审核。

此外,当质量管理体系和环境管理体系被一起审核时,这种情况称为“一体化审核”,当两个或两个以上审核机构合作,共同审核一个受审核方时称为“联合审核”。

### 3. 质量管理体系审核的目的和依据

#### (1) 第一方审核(内部审核)

①目的：确保质量管理体系持续有效和持续改进的需要；为第二方、第三方审核做准备,以减少外部审核的风险；

③ 审核依据：质量管理体系文件；必要时包括第二方/第三方要求；

#### (2) 第二方审核

①目的：合同前的评定；合同签订后的审核；促进供方改进质量管理体系。

②审核依据：合同。

#### (3) 第三方审核

①目的：获得质量管理体系认证证书,为潜在的顾客提供信任；减少第二方审核,节省费用；健全和完善质量管理体系；查证是否满足法规或其他规定的要求。

②审核依据：质量管理体系—要求标准；质量管理体系文件；适用的法律、法规。

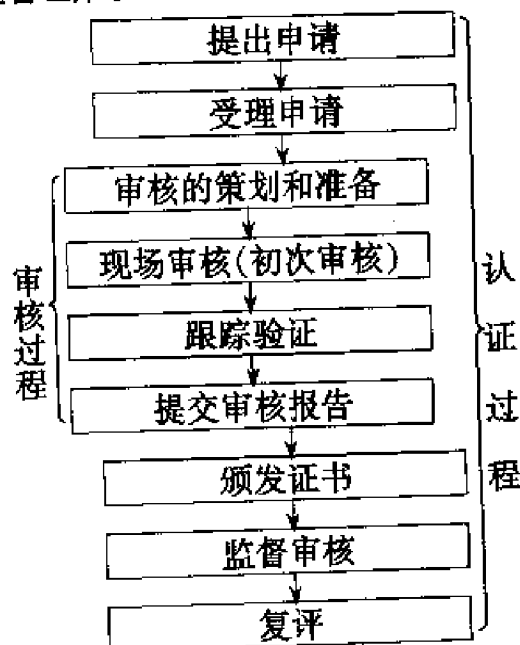


图 2.5-1 审核过程与认证过程

本节重点介绍质量管理体系的第三方审核。



#### 4. 审核过程和认证过程

审核过程是认证过程中的核心内容,其关系如图 2.5.1

从图 2.5.1 可看出:

(1) 认证过程的起点是受审核方提出认证申请或认证机构受理申请,终点是认证证书的有效期限届满的复评。

(2) 审核过程是认证过程的核心,而现场审核又是审核过程的重点。审核过程的起点是审核的策划和准备,其终点是审核组向委托方提交审核报告。

#### 5. 与审核有关的术语

① 审核方案(3.9.2):针对特定时间段所策划,并具有特定目的的一组(一次或多次)审核。

② 审核发现(3.9.5):将收集到的审核证据对照审核准则进行评价的结果。

③ 审核结论(3.9.6):审核组考虑了审核目标和所有审核发现后得出的最终审核结果。

④ 受审核方(3.9.8):被审核的组织。

⑤ 审核委托方(3.9.7):要求审核的组织或人员。

委托方可以是:

- 希望他人按照 QMS 标准对自己的 QMS 进行审核的受审核方;
- 由自己的审核员或第三方对供方的 QMS 进行审核的顾客;
- 被授权的独立机构

⑥ 审核员(3.9.9):有能力实施审核的人员。

⑦ 技术专家(3.9.11):提供关于被审核对象的特定知识或技术的人员。

以上术语摘自 ISO 9000 标准。

### 2.5.2 审核的策划和准备

审核的策划准备包括以下 6 个方面,其内容和流程如图 2.5-2 所示。

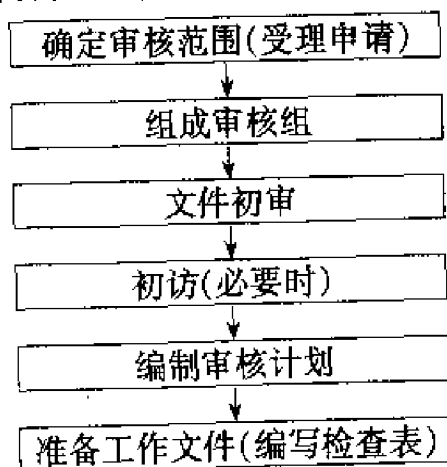


图 2.5-2 审核的策划和准备流程图

## 1. 确定审核范围

### (1) 什么是审核范围

审核范围是为了确定“一项审核的深度和界限”。具体地说,审核范围是受审核方对质量管理体系承诺并实施认证的责任范围,也是审核方拟审核的质量管理体系过程、产品、活动、场所和部门所界定的范围。

审核范围由委托方决定,审核组长协助,现场审核加以界定。

#### (1) 确定审核范围应考虑的因素

- ① 审核/认证标准及其删减情况;
- ② 涉及的产品、过程或服务的类别及其复杂程度;
- ③ 受审核方规模和组织机构的设置;
- ④ 适当时,有关产品所需的法规要求、产品标准或其他引用文件;
- ⑤ 受审核方的特定要求;

审核范围应与组织的能力和水平相适应,审核范围过大、过小对审核双方都会增加风险。

#### (2) 哪些文件需记录审核范围?

- ① 审核/认证合同。其作用是作为选派审核组和审核收费的依据;
- ② 审核计划。其作用是作为审核双方准备和实施审核的依据;
- ③ 审核报告。其作用是通过现场审核对审核范围的现场确认;
- ④ 认证证书。其作用是便于向顾客或相关方展示本组织质量管理体系的能力范围;

- ⑤ 注册名录。其作用是通过主管部门公告,便于顾客选择产品的生产组织。

## 2. 组成审核组

### (1) 对审核组的要求

- ① 审核组内至少有一名高级审核员(可以是组长或组员);
- ② 审核组内至少有一名经认可具有相关专业能力的审核员(或技术专家);
- ③ 审核组成员不得向受审核方提供咨询服务,并应将本人或其组织与受审核方现在、过去或将来有可能发生的联系告知认证机构;

- ④ 审核组成员名单需经受审核方认可。

### (2) 审核组成员

- ① 审核组长:除承担审核外还需管理审核工作;
- ② 审核员:在审核组长指导下进行审核;
- ③ 专家:在专业知识方面向审核组提供咨询,但不得向受审核方咨询;
- ④ 实习审核员:在审核员指导下进行审核学习。

## 3. 文件初审

### (1) 文件初审的主要内容

文件初审是指对受审核方质量管理体系文件的初步审查,其目的是为现场审

核做准备。

- ① 质量方针和质量目标是否符合标准要求？
- ② 质量管理体系过程的描述是否结合本组织的特点？
- ③ 过程与过程之间的关联和相互作用是否作了描述；
- ④ 质量管理体系的范围是否明确？
- ⑤ 如有删减，则对删减的合理性和细节是否作了说明？
- ⑥ 质量手册的管理；
- ⑦ 受审核方的基本信息。

文件审查主要是由审核组长对质量手册进行审查，必要时也可查阅有关的程序文件。

文件审核时，通常也要求受审核方提供适用于该行业的法令、法规文件的最新有效版本。

(3) 文件初审的方式包括：去受审核方现场之前审查，在受审核方现场审查。

(4) 文件初审的意见和结论

① 提出不符合/不满足规定要求的体系文件名称、条款、内容以及相对应的标准的条款；

② 指出希望进一步澄清的问题和要求；

③ 文件初审的结论一般有两种情况：

- 基本通过，不合格项在现场验证；
- 改正后重新审查。

#### 4. 初访

(1) 初访的要求

初访是为制定审核计划和现场审核的可行性收集必要信息。通常由审核组长进行；通常在受审核方认为准备就绪后进行；通常需要 1-2 人日；初访根据需要，必要时才进行。

(2) 初访和预审核的比较

在现场审核前，受审核方有可能要求审核组进行一次预审核，现通过表 2.5-1 对初访和预审核进行比较。

#### 5. 编制审核计划

(1) 审核计划的内容

审核计划是对一次现场审核活动的具体安排和必要说明，其内容包括：

- ① 审核目的；
- ② 审核准则(依据)及引用文件；
- ③ 审核范围；
- ④ 审核组成员及其资格与分工；
- ⑤ 现场审核活动的日程安排，包括与受审核方领导层的沟通及审核组内部会议的安排；

⑥ 其它,如使用语言等。

表 2.5-1 初访和预审核的比较

	初访	预审核
性质	一次正式的工作访问	一次非正式的工作访问
提出者	审核方	受审核方
目的	收集必要信息,对审核可行性作判断	向受审核方作审核活动的示范,提前发现问题,减少审核风险
执行者	审核组长	预审组
共同点	1.都不是对体系作正式评价 2.都不是提咨询意见 3.都不是正式审核的必要程序 4.人日数 $\leq 2$	

## (2) 编制审核计划应注意的问题

- ① 审核计划由审核组长编制并经委托方和受审核方认可;
- ② 应有适当灵活性,以便现场审核时作必要调整;
- ③ 采用过程方法进行审核安排;
- ④ 可按部门也可按过程审核。按部门审核时,负责过程必查,配合部门选查;按过程审核时,负责该过程的部门必查,配合部门选查;
- ⑤ 加大管理层的审核力度;
- ⑥ 专业审核员、技术专家应安排在专业性较强的过程中。

## (3) 影响人、日的主要因素

认证中的收费以及现场审核的时间安排均是按照人、日计算的,所谓人、日是审核时间和审核员人数的乘积,实习审核员不计算人、日。影响审核人、日的因素有:

- ① 受审核方规模;
- ② 过程要求及删减情况;
- ③ 场所和地点的分散程度;
- ④ 产品和过程的复杂程度;
- ⑤ 生产方式。

审核人、日的具体确定应根据国家主管部门规定的人、日确定参数表及其说明并考虑以上因素加以调整,由认证机构和受审核方共同商定。

## 6. 编写检查表

### (1) 检查表的作用

- ① 保持审核目标的清晰和明确;
- ② 保持审核内容的周密和完善;
- ③ 保持审核节奏和延续性;
- ④ 减少审核员的偏见和随意性;

### (2) 编制检查表应注意的问题

- ① 被审核过程的输入、输出和活动是什么?
- ② 谁是本过程的顾客(内、外部)?
- ③ 顾客对本过程有什么要求?
- ④ 本过程由哪个部门或个人负责?
- ⑤ 明确总体,合理抽样;
- ⑥ 选择自上而下还是自下而上的检查方式;
- ⑦ 既按标准查,又按手册、程序查;
- ⑧ 按 PDCA 思想审核每个过程。

## 2.5.3 实施审核

### 1. 首次会议和现场审核过程中的其它会议

#### (1) 现场审核过程中的各种会议及其作用

- ① 审核组准备会议:专业引导,明确分工;
- ② 首次会议:确认与介绍;
- ③ 审核组内部讨论会:交流、统一认识;
- ④ 与受审核方沟通会:沟通、确认,取得共识;
- ⑤ 末次会议:报告审核结果。

#### (2) 首次会议典型议程:

- ① 确认审核目的;审核范围;审核依据;
- ② 确认审核日程安排;
- ③ 介绍审核过程的主要方法和程序(抽样、过程中的交流和沟通);
- ④ 介绍不合格判定及最终结论判定的方法;
- ⑤ 确认工作资源(陪同人员、办公设施);
- ⑥ 确认末次会议的时间和地点;
- ⑦ 公正性、客观性和保密的承诺;
- ⑧ 其它有关问题的说明(限制条件)。

最后,征求受审核方意见。

会议时间一般 30 分钟,会前应签到,会议开始审核双方应作简要介绍。

### 2. 审核方式

审核方式包括:顺向跟踪、逆向追溯、按部门审核和按过程审核。这四种方式

往往是两两组合应用,即先确定是按部门还是按过程审核,然后在确定是顺向还是逆向审核。但不论采用何种审核方式都应体现过程方法和 PDCA 的思想。

#### (1) 顺向跟踪

这是从前(因素、订单、文件、原材料)向后(结果、交付、实施、成品)的一种审核。这种审核的优点是系统性强,可观察接口,缺点是容易忽略重点。

#### (2) 逆向追溯

这是从后向前的一种审核,优点是针对性强,有利于发现问题,缺点是容易漏项。

#### (3) 按部门审核

以部门为中心的审核。这种审核方式可以节省时间,减少不同审核小组对同一部门重复往返,缺点是容易将相关过程遗漏,该审核方式较适用于组织结构相对复杂的大中型组织。

#### (4) 按过程审核

以过程为中心的审核,该审核方式的优点是针对性强,易于与标准要求和体系文件对照,缺点是重复往返多,该方式较适用于组织结构简单的小型企业。监督审核一般也采用过程审核。

### 4. 审核证据的收集

#### (1) 信息源

审核证据信息源包括信息的发生点和信息的发源点,主要来自于:

- ① 质量记录;
- ② 与质量管理体系有关的文件;
- ③ 现场查阅和观察到的事实与现象;
- ④ 向当事人提问。

#### (2) 提问的方式

① 封闭式 可用简单“是”或“否”回答,可以获取专门的信息,优点是有主动权,缺点是信息量小。

② 开放式 答案需要解释或表达,优点是可获取较大的信息量,其缺点是有时会浪费时间。

③ 澄清式 用以获得更多的专门信息或确认已获的信息,是一种带主观导向性提问,应慎用。

根据现场实际情况区别对待,目的是用最短的时间获取最有效的信息。

#### (3) 收集审核证据应注意的问题

- ① 应收集“正”、“反”两方面的客观证据,重点收集符合要求的客观证据;
- ② 只收集和审核有关的证据;不介入受审核方的矛盾;
- ③ 不凭个人爱好和专业兴趣收集信息;
- ④ 注意收集潜在信息。

### 3. 合理进行抽样

#### (1) 抽样过程

采集审核证据只能通过抽样进行。

## (2) 审核中的抽样方法

① 明确总体并在过程受控状态下进行抽样；

② 保证一定的样本量(样本大小),对于“评价性”抽样,一般控制在3~12个“样品”；

③ 既要突出重点,又要注意分层；

④ 适度均衡；

⑤ 独立抽样,不能由受审核方“送样”。

## (3) 多现场抽样

对于性质相同、生产现场多而分散的组织(如建筑性的施工现场),要对每一个现场都进行审核会有困难,此时应按以下要求进行抽样。

① 初次审核:样本量( $y$ )应为现场数( $x$ )的平方根,取整至上界,即

$$y = \sqrt{X};$$

② 监督抽样: $y_1 = 0.6 \sqrt{X}$ ;

③ 复评: $y_2 = \sqrt{X}$ ;

(4) 初审时不允许抽样的情况；

① 与质量管理体系有关的部门；

② 与质量管理体系有关的过程；

③ 审核范围中所覆盖的产品。

以上要求不包括多现场抽样。

## 4. 审核计划的编制

(1) 原则:由于审核计划是双方确认的,原则上应按审核计划进行审核；

(2) 调整:只限于审核路线和具体日程安排,审核范围、审核准则等审核组在现场无权改变；

(3) 严重问题的处理:即时与受审核方沟通,尊重受审核方意见。

## 5. 识别关键过程

审核员应通过查阅文件和记录,以及现场观察和调查,识别组织或部门的关键过程以明确审核的重点。

(1) 识别不同性质组织的关键过程；

组织的性质不同,其关键过程也不同,如装配性质的组织,审核员应重点审核采购、装配和防护过程;属于例行试验的组织应重点审核产品的监视和测量、监视和测量装置和产品的检验状态等过程。

(2) 识别一个组织内部不同部门的关键过程

组织内部各部门由于职责和责任不同,其控制和审核的重点也应有所区别。如计量部门的重点应审核监视和测量装置的控制过程和产品检验状态过程;生产部门重点应审核生产和服务提供中的有关过程。

此外,还应识别组织的管理者,特别是最高管理者在质量管理体系中起关键作用的过程。

#### 6. 评价影响过程能力的主要因素

过程能力是指:过程处于统计控制状态下,过程符合容差范围的输出能力,一般用特性值的6倍标准差( $6\sigma$ )衡量。

影响过程能力的主要因素,包括:人、机、料、法、测、环(5M1E),也包括计算机系统和软件。

不同因素对不同过程的影响程度不同,有些自动化程度高的生产线,设备能力有可能占过程能力的3/4,而一些手工操作的艺术品,其质量主要取决于操作人员的技能。

#### 7. 确保审核的客观性

审核的客观性不仅影响对体系评价,而且可减少审核风险性。本节以上内容的控制都可以提高审核的客观性和减少审核的风险性。此外,还应着重强调:

(1) 审核必须以审核证据为基础,所有审核证据都应有审核记录的支持,使其具有重查性和可追溯性;

(2) 不偏离审核准则,特别是不偏离标准,不能用审核员自身的固有经验或本行业的习惯作法要求受审核方;

(3) 营造良好的审核气氛,鼓励受审核方提出不同意见,所有审核结果的事实都应得到受审核方的确认;

(4) 审核组内部加强沟通,充分讨论,统一认识。

(5) 遵守审核员的行为准则。

#### 8. 不合格报告的编写

##### (1) 不合格项分类和不合格报告

当审核证据表明,某过程或活动不符合审核准则的规定要求,称不合格项。不合格项就其性质可分为三种情况:

① 文件性不合格,如质量管理体系文件不符合 ISO 9001 标准要求;

② 实施性不合格,如过程或活动不符合审核准则的规定;

③ 效果性不合格,如虽按文件执行,但未取得所期望的效果。

当确认不合格项后,审核员应按认证机构规定的表式填写不合格报告,不合格报告的内容应包括:不合格事实的描述,不合格的理由,不符合审核准则(主要是 ISO 9001 标准)的条款和不合格严重程度的判定。

##### (2) 严重程度的判断

当发现以下三种情况之一应判严重不合格:

① 系统性失效:指某一过程多次重复发生不合格而又未能及时采取纠正措施的不合格项;

② 区域性失效:指某一部门、场所的主要过程全面失控;

③ 后果严重的失效:指该项不合格对产品最终质量或体系有效运行会产生严



重后果的不合格项。

不属于上述范围的不合格项属于一般不合格项。

### (3) 观察项

属于以下情况可定为观察项：

- ① 轻微且偶发性的不合格；
- ② 虽有不合格迹象,但缺乏客观证据；
- ③ 审核准则未作规定、难以准确判断的不合格。

观察项可不开不合格报告,但可书面提醒,审核组也不进行书面验证,在监督审核时应注意观察其发展。

## 9. 质量管理体系的有效性评价和审核结论

### (1) 质量管理体系过程评价

根据 ISO 9000 标准要求,评价质量管理体系时,应对每一个被评价的过程提出如下四个基本问题：

- ① 过程是否已被识别并适当规定？
- ② 职责是否已被分配？
- ③ 程序是否得到实施和保持？
- ④ 在实现要求的结果方面,过程是否有效？

综合上述问题的答案可以确定评价结果。

### (2) 质量管理体系中有效性评价

是指现场审核中对受审核方质量管理体系是否有效所进行的评价,主要评价三个问题：

- ① 文件化质量管理体系对于 ISO 9001 标准的符合程度；
- ② 文件化质量管理体系的实施程度；
- ③ 实施的有效程度。

### (3) 体系有效性评价应考虑的问题：

① 审核中的符合性客观证据和不合格项及其按部门、按过程的分布情况(作矩阵分析表)；

② 内审、管理评审、纠正措施、预防措施和数据分析等与持续改进、自我完善机制的有关情况；

- ③ 管理层的质量意识；
- ④ 员工的参与程度；
- ⑤ 实物质量以及顾客抱怨及其处理；
- ⑥ 质量问题的发展趋势。

### (4) 审核结论

审核结论可能有以下三种情况：

- ① 推荐通过,但所有不合格项必须采取纠正措施并经验证通过；
- ② 推迟推荐,个别要素须重新审核；

③ 不推荐通过,全部要素需重新审核。

#### 10. 末次会议和审核报告

(1) 末次会议前,审核组长应召集一次审核组内部会议。会议主要将收集到的审核证据对照审核准则进行综合评价,以得出最终审核结果,内容包括:

- ① 最终确定不合格项;
- ② 进行体系有效性评价;
- ③ 作出推荐与否的结论;
- ④ 预见末次会议可能出现的意外情况,为末次会议作准备;
- ⑤ 提出审核报告草案。

#### (2) 与受审核方进行沟通

为使末次会议顺利进行,在末次会议前应受审核方管理者进行沟通:

- ① 沟通内容应与审核组内部会议所讨论结果一致;
- ② 征求受审核方的意见,如有不同意见,应尽可能在末次会议前取得共识;
- ③ 请受审核方在末次会议上作表态准备;
- ④ 确定会议规模,一般由高层管理者和受审核部门的领导参加;
- ⑤ 确定会议时间,一般 0.5 至 1 小时。

#### (3) 末次会议的典型议程

- ① 重申审核目的、范围、依据;
  - ② 报告审核经过;
  - ③ 宣读不合格报告;
  - ④ 说明抽样的客观性和局限性;
  - ⑤ 质量管理体系的有效性评价;
  - ⑥ 审核结论;
  - ⑦ 保密承诺;
  - ⑧ 提出纠正措施及验证要求;
  - ⑨ 说明监督审核的时间与方式(如果推荐通过);
  - ⑩ 对证书的使用要求(如推荐通过);
- 最后一点是:受审核方领导简短表态。

#### 4. 编写审核报告

- ① 审核报告的主要内容应与末次会议的内容基本一致;
- ② 由于对象不同,侧重点有所差异;
- ③ 审核报告可以现场提供,也可经认证机构审核后由认证机构负责发送;
- ④ 审核报告由审核组长负责编制。

### 2.5.4 纠正措施的验证和证后监督

#### 1. 相关术语的理解

- ① 纠正——是对不合格的一种处置;

② 纠正措施——为消除已出现的不合格再次发生的原因所采取的措施；

③ 预防措施——为消除潜在不合格、缺陷或其他不希望的情况发生的原因所采取的措施。

## 2. 审核双方在纠正措施中的责任

(1) 审核人员的责任：确定不合格项；提出纠正措施要求；进行纠正措施的跟踪验证。

(2) 受审核方的责任：分析不合格原因；确定和实施纠正措施；验证已实施的纠正措施；认真记录、不断改进质量管理体系。

## 3. 监督审核的目的和要求

### (1) 目的

① 验证受审核方质量管理体系持续满足质量认证标准要求；

② 促进受审核方质量管理体系的持续改进。

### (2) 要求

① 证书三年有效期内，监督审核时间间隔不超过一年；

② 监督审核的工作要求和程序与初次审核基本一致；

③ 监督审核时可以对过程抽查，但三年中必须覆盖全部过程；

④ 与自我完善机制有关的过程、实施质量信息反馈及证书的使用方式是每次必查项目；

⑤ 审核的人、日一般是初审人日的 1/3；

⑥ 相对于初审应适当从严。

### (3) 监督审核的重点

① 涉及质量管理体系有效性、保持性的重点过程；

② 前一次审核所发现的不合格项；

③ 体系(组织结构、产品要求等)如有变化所涉及的过程。

## 4. 证书持有期间发现问题的处置方式

### (1) 证书暂停

有下列情况之一的应暂停认证证书和标志

① 获证方未经认证机构批准，更改质量管理体系且影响到体系认证资格；

② 监督审核中发现获证方质量管理体系达不到规定要求，但严重程度尚不构成撤销体系认证资格；

③ 体系认证证书和标志使用不符合认证机构的规定；

④ 未按期交纳认证费用且经指出后不予纠正；

⑤ 其它违反体系认证规则的情况。

证书暂停后，若原持证者在规定时间内满足规定的条件，体系认证机构取消暂停；否则，撤销体系认证资格，收回体系认证证书。

### (2) 证书撤销

有下列情况之一的，撤销认证资格，收回体系认证证书：

- ① 证书暂停通知发出后持证者未按规定要求采取适当纠正措施;
- ② 监督审核中发现存在严重的(主要的)不合格项;
- ③ 合同中规定其它构成撤销体系认证资格的情况。

被撤销体系认证资格者,一年后方可重新提出体系认证申请。

### (3) 证书注销

有下列情况之一的应予以证书注销:

- ① 由于体系认证规则变更,持证者不愿或不能确保符合新要求;
- ② 持证有效期满,未能在提前足够时间内提出重新认证申请;
- ③ 持证者正式提出注销。

## 2.6 本章参考文献

- [2-1] 李学方、周韵笙、李为柱编著,《2000 版 ISO/DIS 9000 族标准 理解与转换 实施培训教材》,配套教材,2001。
- [2-2] 2000 版质量管理体系标准,中国标准出版社,2001。
- [2-3] 2000 版质量管理体系国家标准理解与实施,中国标准出版社,2001。

## 本章思考题

- [2-1] 质量管理体系内部审核(第一方审核)有什么意义?
- [2-2] 质量管理体系与质量管理体系文件有什么关系?

## 思考题题解

- [2-1] (1) 内部审核的程序和方法可参照第三方审核。  
(2) 内部审核是组织自我完善、持续改进机制的重要手段。  
(3) 组织可加大内部审核的深度和频次,充分发挥内部审核的作用。  
(4) 内部审核可委托第二方或第三方以组织的名义进行。
- [2-2] (1) 质量管理体系是一个系统,是一个能够提供所需过程及过程间相互作用的系统。质量管理体系文件是一种媒体,是一种能够提供质量管理体系信息的媒体。  
(2) 质量管理体系文件是一组与质量管理体系有关的包括与所有质量活动有关的文件的总称。  
(3) 质量管理体系应形成文件,并不意味着所有与质量有关的活动或过程都应形成文件。  
(4) 质量管理体系文件的产生或编制是一项活动,是质量策划中的一项活动,质量管理体系文件应是质量策划的结果之一。

## 第三章 质量检验

### 3.1 什么是质量检验

1. 检验的定义:通过观察和判断,必要时可结合测量、试验所进行的符合性评价。

2. 质量检验:就是对产品的一个或多个质量特性进行观察、试验、测量,并将结果与规定的质量要求进行比较,以确定每项质量特性合格情况的技术性检查活动。

3. 质量检验活动可分为下列几个阶段:

(1) 熟悉规定的质量要求,选择试验方法,指定检验规程。

(2) 观察、测量或试验。

(3) 记录。

(4) 比较和判定。

(5) 确认和处置,可分别情况采取下列处置:

① 对合格品准予放行,对不合格品作出返修、返工或报废处置。

② 对批量产品作出合格、拒收或复检等处置。

对于不同的检验对象,可以有不同的质量检验,详见后文 3.3~3.13。

4. 过程质量保证产品质量,因此,为了保证产品的质量检验,首先应该进行过程的质量检验,即过程的设计评审。由于篇幅所限,故本章重点是讨论制造过程,也即产品的质量检验。

### 3.2 质量检验机构及其职责

#### 3.2.1 质量检验机构

1. 产品质量检验工作的组织落实是建立质量检验机构。企业的质量检验工作能否做好,首先是决定于有没有一个健全的质量检验机构。

2. 企业的质量检验需要设置哪些机构? 配备多少什么样素质的人员? 当然不能统一规定,要根据企业的具体任务来决定。但无论哪一个企业,都应建立一个质量检验部门,称之为处、科、或其他名称皆可。

3. 质量检验部门各机构的负责人应该是由质量观念强的、技术业务水平较高的、有一定实践经验的人员担任,质量检验人员也必须是质量责任心强的、对分配的质量检验专业经过专门的培训考核合格的,有一定实践经验的技术人员或工人。某些单位为了“照顾”,把老弱病残的人员调去作质量检验工作,这种作法显然是把

不住质量关的。

4. 为了使质量检验部门的各职能机构能形成一个有机的整体,检验机构应实行集中统一的领导体制,以便有效地、有组织地展开工作。

5. 质量检验机构在工作中必须能独立行使职权。在进行检测、判断、处置时,不受研制、生产进度、成本等因素的约束,即使判为不合格会大大影响研制生产进度或延误交付日期,带来重大的经济损失,但真正不合格的还必须判为不合格,因为只有确保质量的前提下才能真正地保住研制生产进度并得到真正的经济效益。质量检验工作不得经受人干扰。在一般情况下,企业单位任何部门和个人无权干预质量检验部门的结论。在特殊情况下,如果企业领导在职权范围内否决或改变质量检验部门对质量问题的判断和处理结论时,必须签署书面意见。此时,质量检验部门一方面执行,一方面同时必须上报上一级主管部门。即在这种情况下,质量检验部门也不是修改结论,而是坚持原结论,附上签署的修改意见,说明执行情况。

### 3.2.2 质量检验部门的职责

1. 质量检验部门的职责是:

(1) 在厂长或分工负责质量的副厂长领导下。对全企业的质量检验的行政业务技术工作实行集中统一的领导,组织实施全企业的质量检验。其计划及措施由厂长批准下达。

(2) 根据产品合同、设计技术图纸文件、工艺生产文件、标准或标准样件等质量检验规定的检验依据,进行质量检验。

(3) 参加重要的外购器材、外协件承制单位的质量保证体系的考核及认证(或认定)。参加外购器材、外协件的合同制订工作,负责起草合同中的质量检验条款,确保交付产品能满足本企业的质量要求。

(4) 负责外购器材及外协件的质量检验。监督器材保管的质量保证,按规定对库存器材进行必要的质量复验。

(5) 对技术文件(包括工艺生产文件)中有关质量检验的内容进行审查,会签。

(6) 编制质量检验的技术管理及指导操作的文件(例如“检验规程”)。指导质量检验工作,使质量检验工作实行规范化管理。

(7) 按质量检验依据的文件,对生产现场的“人、机、料、法、环、测(简称5M1E)”,工艺纪律、文明生产等实行监督。

(8) 按规定,对车间工序严格进行质量检验。

(9) 按规定的授权,处理不合格品,监督不合格品的处理过程,认真隔离处理。

(10) 按规定对产品(包括各工序的产品即中间产品、半成品)的质量信息进行收集、分析、传递、反馈、保存。分析质量趋势(例如,  $C_p$  的变化,控制图的预警等)上报有关部门。

(11) 负责成品质量检验,按规定向使用方代表提交经质量检验合格的产品,

对验收后出厂的产品质量负责。并负责售后服务中的质量检验。

这里要指出:按产品的质量责任制,厂长是企业单位的法人代表,由于他对本单位的最终产品质量要向用户负责,所以他对保证产品质量工作要负全面的责任。厂长的质量责任要分解到各个部门。质量检验部门的质量职责是按检验依据来检验产品的质量。如果符合检验依据的产品还存在质量问题,则是检验依据(如设计文件、工艺生产文件等)还存在疏漏,应由设计、工艺生产部门负责改进。如果是错检或漏检,则责任在质量检验部门本身。

(12) 负责质量检验表格的设计、印制,以及使用说明、合格证、检验印章的设计、制造、发放与管理。

(13) 负责组织、改进、研制、引进新的质量检验工具、仪表与设备。

(14) 有计划地组织质量检验人员的继续教育,学习掌握先进的管理技术(如学习 ISO 9000,即 GB/T 19000),质量检验技术(如先进的检测手段),质量分析技术(如  $C_p$ 、 $C_{pk}$ ,各种控制图、选控图)等等,以提高人员的素质。

(15) 对质量检验人员进行资格考核及定期考核,考核合格后才能发证上岗。

质量检验部门需要有一个负责质量检验技术的机构,譬如。称之为“技术组”,作为部门领导在质量检验管理及技术上的参谋部,提出管理和技术上的措施及建议,请部门领导决策,促进及改进质量检验工作。并在管理上与技术上指导和帮助下属质量检验机构贯彻质量检验制度、规定及措施。当发生重大的质量问题后,技术组应负责(或由更高的部门负责、技术组参加)进行故障机理分析。对处理及改进措施提出书面报告。技术组负责编制质量检验的管理规定及组织编制各项具体项目质量检验的技术文件,经有关机构部门领导批准后执行。设计、制造、发放与监督、管理质量检验表格、印章、证明合格文件。及时了解国内外先进质量检验的管理方法、技术及手段,结合本企业情况,组织交流、学习、引进、推广。组织改进、研制、引入先进的检验设备。技术组还负责组织质量检验人员的专业培训、考核,考核合格后发证,批准上岗。

2. 器材检验组是质量检验部门把关的关键机构。它负责:

(1) 按产品合同、技术文件和器材质量检验制度、规范的规定,对外购器材和外协件进行进货(进厂)质量检验,作出“合格”或“不合格”的结论。对领料出库的器材和外协件进行出库检验,保证发料的质量符合规定。与发料一起提供所发器材的合格证明文件,并向使用方提供必要的质量信息,包括如炉号、批号、化验文件号、复验记录、保管期(包括如铝材等的油封期)等。

(2) 当发现已入库复验的外购器材、外购件不合格时,立即分析原因。如果结论属于批次性质量问题,则应立即通知有关单位停止发料、生产单位停止使用;已领料的应及时追回,已加工的采取补救措施换用合格品。有些不合格的器材与外购件可以超差使用或代用,则必须由设计部门批准签署书面文件后才可使用,并记录在案。

(3) 进货检验合格的外购器材及外协件必须由质量检验部门按规定加上合格

标志,以防止外购器材不合格品混入合格品中投入生产。

(4) 对已入库需要定期复验的器材及外协件,由器材保管人员按时办理送验。

(5) 对有保管期要求的器材及外协件,在达到保管期后,就应按时送有关部门处理。

(6) 器材保管质量检验的一项重要内容是监督器材存放的环境条件。重点监督项目如:温度、湿度要求、易燃、易爆、有毒器材及外协件的存放环境条件。如果环境条件已有一段时期不符合规定要求,则必要时要对器材及外协件进行质量复验。

(7) 器材、外协件要有完整的质量信息系统。从原始质量文件(如原生产厂的炉批号、合格证等),台账,试验分析报告,检验报告、超差代料批准文件到领发料单据需要保管的规定年限。

(8) 对检验合格发放出库的器材及外协件的质量负责。

3. 车间质量检验组是质量检验的重点。它负责:

(1) 按产品合同、技术文件和质量检验制度、规定。对器材、外协件、工序加工、成品进行质量检验,并提供质量检验结果结论文件。

(2) 执行首件三检制。如果出现质量问题,必须查明原因、查清责任、落实纠正措施。

(3) 对出现的不合格品或不合格批次产品按规定进行处理,该报废的报废,该返修的返修。不合格品予以隔离,绝对防止混入合格品。

(4) 负责记录质量原始信息,按规定进行必要的质量信息分析(例如  $C_p$  值计算,  $\bar{X}-R$ 、 $p$  控制图、选控图的分析),将质量信息按规定归档上报。以便出了质量问题后可进行质量跟踪,落实补救措施。

(5) 监督保证生产质量的“人、机、料、法、环、测”与生产现场的工艺纪律和文明生产。

(6) 监督车间所用的工装、设备、量具、仪器、仪表的合格性,并保持在有效使用期之内。

(7) 有计划、有组织地进行专业培训,学习及掌握先进质量检验的管理方法、技术及先进手段的操作方法。不断提高人员素质。

(8) 根据质量检验结果,提供车间及班组工段的质量业绩报表,供质量考核使用。

(9) 车间检验组对经质量验收判为合格后出车间的产品的质量问题的质量负责。

4. 检验部门在下述违反规定的情况下有采取断然措施的权力:

(1) 有权禁用不合格的或已超过有效使用期的工装、设备、量具、仪器、仪表。

(2) 有权对违反首件三检制规定加工的产品予以拒收。

(3) 对“人、机、料、法、环、测”不合规定,工艺生产纪律松弛、文明生产不好的单位,有权要求立即采取措施,限期改正。

(4) 当已经出现重大质量问题,出现批次性不合格,器材严重损坏,错、混料等情况,或从质量检验信息分析,产品质量已明显下降(例如,控制图的上、下警戒界限被突破等)时,有权停止有关工序的生产,停止产品出工序、出车间或出厂。并立



即报告有关上级以至厂长。

(5) 有权要求有关单位查明质量问题原因并采取有效的改进措施。

检验机构要与企业各部门充分协调配合工作。例如,车间的检验组不能归车间领导,而应直属于检验部门领导。但车间的检验组是在车间工作的,故应遵守所在车间的有关规章制度,配合车间生产计划、进度进行质量检验。工艺生产部门要把质量检验作为工艺的一部分,列入工艺规程条款,在工艺规程中应详细规定质量检验要求、方法、仪表设备、测试操作方法,抽样百分比(或全检),合格标志、部位等内容,检验部门则据此编制检验规程,指导生产现场工作,质量检验部门得到的质量信息应提供各有关部门使用,及时反馈,改进质量。

### 3.3 生产操作的质量检验

进行生产操作必须符合下列要求:

(1) 工艺文件、作业指导书和质量保证文件符合设计和合同要求。

设计和工艺文件、作业指导书和质量控制文件是进行生产操作的依据。因此,必须文文相符、完整清晰,并保证文本是现行有效的。生产现场使用的文件不能任意修改。不容许白图下厂。数控、程控车床加工用的软件在投入使用前,应有充分的测试及运行检验,经测试检验合格批准发放后才能使用。

(2) 生产、试验设备和工艺装备经检定合格。

现场生产使用的生产、试验设备、工艺装备和检测器具,必须按规定进行周期检定,检定合格的给予标识,才能用于生产、试验和检验。检定不合格的给予“禁用”标识,有禁用标识或已超过检定有效日期的生产试验设备、工艺装备和检测器具不得使用。

(3) 原材料、元器件、另配件、在制品、成件必须经检验(包括按规定进行抽样检验)合格,才能流入下一工序。

外购原材料、另配件、元器件和成件必须经入厂检验(包括筛选)合格,并给予检验合格证书或合格检验印章等标识,才可投入加工、组装。在制品必须有上道工序的检验(包括按规定进行抽样检验)合格证件,才可进入下道工序。

(4) 生产环境应符合规定要求。

(5) 生产操作人员必须考核上岗。

生产操作人员的技术水平必须满足工艺文件规定的要求。生产操作人员必须先进行岗位专业技术知识及操作技能的培训,经考核合格,持有考核合格的资格证书才能上岗。在操作前,有责任掌握有关工艺技术文件,核查其它生产条件,确认符合要求后才能开始操作。

### 3.4 采购器材(和外构件)及其保管的质量检验

#### 3.4.1 外购器材的质量检验

外购器材(和外协件)是指形成产品所直接使用的非承制单位自制的器材,包括外购的原材料、元器件、生产辅助材料、成件、设备以及外单位协作的毛坯、零部件等。

外购器材(和外协件)必须符合技术文件的要求。外购器材(和外协件)的质量检验的目的是检查供货单位的产品质量是否符合技术文件的要求;防止不符合质量要求的器材(原材料、元器件、外购成品件)进入本单位的生产过程。维护和确保产品质量。

根据责、权、利统一的原则,承制单位对最终产品质量负完全责任。因此,由于选用、保管、加工不当而造成器材的质量问题和经济损失要由承制单位负责。

承制单位的采购人员要分析技术文件及整机系统对外购器材的质量要求,选择适用的外购器材及其供应单位。在选择器材时,要优先选用经认证机构认证合格的器材(例如:IEC 认证合格的器材,美国国防部委托国防部电子产品供应中心(DESC)认证合格列入 QPL(鉴定产品名单)的元器件,我国部门认证合格的器材等等)。

承制单位对器材供应单位应有质量保证要求。

根据外购器材质量特性的重要程度,承制单位对器材供应单位的质量保证要求一般可分为三类:

- (1) 提供合格证明。
- (2) 提供具有合格的检验系统的证明。
- (3) 提供具有合格的质保体系的证明。承制单位有权对供应单位的质保体系按 ISO 9000(即 GB/T 19000)的规定进行考查、监督。这种考查可以委托第三方进行。如果器材供应单位已得到国际承认或国内有认证权的机构的认证,则不需要再进行这种考查。

具体作法是:

- (1) 外购件(和外协件)的订购合同中,必须明确规定质量保证要求。
- (2) 对供货单位的质保能力进行考查,确认其有能力供应质量合格的产品,并择优订货。

(3) 对供货单位进行质量监督。监督应有连续报告或记录,形成产品及供货单位的质量历史资料,以掌握外购件质量动态。作为今后订货选择依据。

对供货单位进行质量考查监督的深度、广度及频繁程度(例如提哪一类质量保证要求?),视外购器材的特性、需要量、供货单位的产品质量历史情况等来决定。以确实保证质量要求为目的。例如对关键的外购器材,可向供货单位派出常驻的

或流动的质量验收代表。

对新研制投产的器材,尽管已按预研程序规定,经过预研鉴定,可以转入使用,但毕竟没有充分的实践予以考验,还可能存在一定的缺陷,有一定的风险,因此质量控制程序应更为严格。

### 3.4.2 外购器材的保管的质量检验

企业应当制定外购器材保管制度。有些管理人员对器材保管中的质量保证工作认识不足,放松了进厂入库的质量检验,保管条件不合要求,发放了实际上是质量不合格的器材,这些不合格的器材投入加工制造过程后,其质量问题有时不能迅速发现,从而导致设备甚至系统质量的不合格,带来严重的损失。因此,器材保管的质量是一项重要的质量工作。对器材入库、保管、发放的每个环节都必须进行有效的质量控制,保证发放投入加工制造的器材满足设计及工艺文件的质量要求。

外购器材的质量保管制度,必须满足器材的质量保证要求,经入厂验收合格的器材,按物资器材管理制度入库。未经入厂验收合格的器材或质量不合格的器材不得入库。器材存放的库房或场地的环境要求应合乎质量保证要求。对器材应按质量保证要求进行定期检查及维护保护措施(例如,充氮、油封等)。有些器材有保管期要求(例如,有些电子元器件的保管期为五年,有些零部件如橡胶件、塑料件、油漆、油膏等的保管期更短),这些器材入库时就必须登记,加以保管期标记,按规定期限从库房或场地剔出、隔离、报废,等候处理。器材的领料、发放要有完备的批准领发手续,领发料的记录必须保存,以防万一发生混料、错料时可以根据记录跟踪,采取有效的补救措施。器材出库发放应有质量检验人员审核,并有合格标识或合格证件。

要定期对企业器材保管的质量保证制度的执行及效果进行审核。

上级机关或审核部门对器材保管的质量检验的重点审核要求为:

- (1) 制定的器材保管制度能否满足对器材质量保证的要求?
- (2) 质量检验是否包括监督器材保管的有效性?
- (3) 有无领发料的详细记录,以便一旦出现错、混料时是否可以跟踪补救?

#### 1. 器材入库的检验

入库的原则是:经验收合格的器材,按物资管理制度办理入库手续;未经质量验收和不合格的器材,不得入库。

入库的质量检验包括以下内容:

- (1) 器材的质量证明文件齐全;填写的内容和技术文件符合订货协议书或合同等的有关规定。
- (2) 器材的名称、牌号、型号、规格、件号、炉(批)号、数量等与质量证明文件符合。
- (3) 器材的包装、配套、封印、备件完整、齐全,其外观质量符合有关技术文件的规定。

- (4) 器材的油封期、保管期(库存期)、校验期、贮存期符合有关规定的要求。
- (5) 如该类器材列入 QPL 目录,则器材供应单位应符合 QPL 上的供应单位。
- (6) 按规定需进行几何尺寸、理化性能、电气参数测试和无损检测的器材,由器材部门根据文件规定送检或抽样送检。如为抽样送检,则由器材检验人员按抽样规定抽取件号、部位及数量作为样件,由检测单位发出检测试验报告。
- (7) 电子元器件需 100% 进行筛选,由器材部门按规定送检测部门。筛选严格程度由技术文件确定。检测部门发出测试数据报告及筛选合格证。
- (8) 经质量验收判为不合格的器材,应作出明显标识,严格隔离。由检验单位提出质量不合格报告。需退货时由器材部门负责退货。
- (9) 有明确退货、索赔期(例如,很多进口器材有三个月期限)的器材的质量验收,应在退货、索赔期内完成。

(10) 对质量验收判为合格的器材,填写专门的器材入库登记表后,办理入库手续。

企业也可以对某些关键器材作补充规定。例如,对关键的金属材料,要求作 100% 的分光或火花检查。(对厚度小于 1mm 的板材、带材、直径小于 1mm 的丝材、壁厚小于 1mm 的管子可不作)。

筛选是一种通过质量检验剔除不合格或有可能早期失效产品的方法。检验包括在规定环境条件下的目视检查、实体尺寸测量与功能测量等,某些功能测量是在强应力下进行的。

电子元器件的筛选是保证质量的主要技术之一。

## 2. 器材保管中的检验

器材保管必须满足器材的质量保证要求:

(1) 放器材的仓库或场地,其环境条件(如温度、湿度、防尘、防霉菌、防腐蚀、防日晒等)必须满足规定文件中的保证器材安全可靠、不因保管环境不当而变质蜕化及其它特殊要求。确保库存器材质量完好。

(2) 器材必须按性质、类别、规格、炉(批)号分类保管(为了防止混淆,可以在材料上用喷漆、涂漆、打钢字、挂标签等办法注出材料的牌号、炉(批)号、化验单号、尺寸、规格等标记)。摆放时,先后入库的次序应清晰有界。对易燃、易爆、剧毒物品必须按其属性分库隔离保管。不同批次的器材不能混放。特别是性质不相容的化工材料不容许混放保管。

(4) 对需油封、充氮、冷藏等保护处理的器材,应按规定进行保护处理,并定期检查其保护措施。

(5) 易老化的和有保管期要求的器材,应定期检查。凡已失效的或超过规定保管期的应及时从库房剔出,予以隔离,办理申请报废或处理手续。

为了保证器材保管中质量保证的有效性,还需要定期或不定期检查以下内容:

- (1) 所有库存器材是否都有满足保管质量保证要求的保管制度?
- (2) 保管措施是否认真执行及有效?
- (3) 有无错料、混料事件? 如有,如何纠正? 是否已彻底纠正?

### 3. 器材发放中的检验

器材的发放要有完备的领发手续:

(1) 发放器材的牌号、型号、规格、尺寸、炉(批)号、技术标准、供应状态和数量应与工艺资料、工序流程卡或领料单上的内容符合。

(2) 发放器材的识别标志和质量证明文件应完整无损。

(3) 油封期、保管期(库存期)、贮存期等应符合要求。

(4) 器材发放按 FIFO(First In, First Out 即“先进先出”)原则进行。

(5) 器材应按批(炉)号发放。为严防发生混料,需传递炉(批)号的材料应将质量标志与其一起周转,如金属材料需锯开发放时,各段均应作出牌号、规格、炉(批)号标志。

[注]这里的按批发放的意思是:给某项目发料时,只要库材料数量够时,应该只发给一个批(炉)号的料。如不够时,补发给相同牌号、规格、技术条件的另一批(炉)号的料。这样,一旦发现原材料出现批次问题时,便于迅速隔离纠正。

(6) 使用代用器材(指改变牌号、技术条件、规格等),必须有按规定程序办理的审批文件。

(7) 对发出的器材,检验员应按规定开出器材出库合格证,或在质量控制卡、工艺流程卡上盖检验印章。

### 4. 器材保管人员的质量要求

规章制度是要靠人来执行的。器材保管人员的本身质量(人的素质)直接关系到保管器材的质量有无保证。因此,要求:

(1) 制定完整的器材保管手册。除器材保管的制度及一般保管知识外,还包括库存保管器材的理、化特性及其环境条件的要求,器材的符号、标记,可能的差错的防范措施及纠正措施等等。新品种器材入库前应增补有关规定。

(2) 器材保管人员应经培训,掌握器材保管手册并尽到保管人员的职责。

(3) 器材保管人员经培训考核合格,才能上岗,并应持证上岗。

(4) 器材保管人员上岗资格证书,应明确负责保管器材的类别。他所保管的器材应与之相符。如调换到未经培训考核过的器材保管岗位,则应补充培训,再考核上岗。

### 5. 贮存器材的质量蜕化是器材保管中的必须重视的问题。

以塑料产品为例,很多塑料在贮存一段时间后会不断失去增塑剂或其它成份,这些成分从塑料中蒸发掉后,塑料会变脆,用作密封件的塑料就可能漏泄,用作绝缘的塑料可能产生绝缘击穿,塑料件也可能降低累积损伤能忍受的上限,导致提前疲劳失效。此外塑料件在制成后还有可能继续进行聚合反应,尽管没有化学成分变化,其分子结构还继续改变,使塑料件的性能变化。

以轴承的润滑剂为例。在贮存过程中,润滑剂可以氧化并构成污染物。润滑剂还可能吸住外界杂质例如灰尘等,使润滑失效或导致轴承的过度磨损,从而大大降低轴承的使用寿命。

### 3.5 工序质量检验

1. 生产和检验原材料、零部件、整机的具体阶段叫工序。

企业应确定直接影响产品质量的生产和安装工序(如存在安装工序时),制订计划,保证这些工序处于受控状态。

2. 工序质量检验的目的是防止出现成批的不合格品,避免不合格品流入下道工序。为此,企业的检验部门应:

(1) 对工序进行监督控制(例如对过程能力指数的抽查等),使工序固有能力和生产操作加工要求,以保证加工结果质量符合规定要求。

(2) 按质量计划或规定程序进行检验。

(3) 未经检验或检验不合格的不能流入下工序。

(4) 对不合格品给以标识。

3. 工序质量检验的具体要求是:

(1) 生产现场必须符合技术文件对 5M1E 的各项要求。

(2) 必须按现行有效的图纸、技术文件、工艺文件和产品验收标准样件进行工序质量检验。

(3) 检验完毕必须按规定填写检验记录。

(4) 按规定填写质量控制卡或工艺流程卡,在留名栏内签字或盖章。

(5) 对批次管理进行监督,即分批投料、分批加工、分批转工序、分批入库、分批组装、分批出厂。

(6) 监督生产现场的工艺纪律。

(7) 对不合格品作出标识,并严格隔离。

(8) 产品工序间周转运输时要采取防止碰伤损坏的有效措施。

4. 三检

企业应当实行首件三检,即“自检、互检、专检”制度。首件三检不同于首件鉴定,主要是防止出现成批超差、返修、报废的预先控制手段。

首件三检一般适用于逐件加工形式。首件检验是对生产开始时和工序要素变化后的首件产品质量进行的检验。凡每个工作班开始加工、该班加工产品有三件以上的,或生产中更换操作者的,更换或重调工艺装备、生产设备的,或工艺技术文件作了更改的,第一件产品加工完成后,均必须经过工人自检、班组长(或指定同工种工人)互检、专职检验员专检,确定合格后方可继续加工后续产品。首件三检如出现不合格,应及时查明原因,采取纠正措施,然后重新进行首件加工、进行三检,直到合格后才可定为首件。

工序检验除了三检以外还有巡检,即巡回检验。是检验人员根据生产中的质量关键因素与生产现场情况对正在加工的产品进行的质量检查。

5. 关、重件及关键工序的质量检验

对于关键件(特性)、重要件(特性)和对产品质量起决定性作用的工序即关键工序,应当编制专门的质量控制程序,进行重点控制。

关键件、重要件是在研制阶段的初期确定的。关、重件的特性取决于某些工序,这就出现了关键工序。关键工序由工艺部门选定,其选定原则大体为:

- (1) 形成关键件、重要件特性的工序。
- (2) 关键、重要的外购器材(原材料、元器件、成件)的入厂检验工序。
- (3) 加工难度大的工序。
- (4) 加工质量不稳定的工序。
- (5) 加工出不合格品的损失较大的工序。

对关、重件,关键工序的重点控制包括:

- (1) 百分之百的检验。
- (2) 对工序质量采用统计质量控制(SPC)。例如,可以采用:过程能力指数  $C_p$  和适当的控制图。
- (3) 有详细的质量记录,保证出现质量问题后的可追溯性。
- (4) 严格对不合格品的处理和隔离。
- (5) 清晰醒目的质量标识。
- (6) 对关键工序限额发料,发料及用料数应相符。
- (7) 实行严格的批次管理。

有的工序的加工质量不能通过现场对产品的检验和试验完全确定,例如,某种加工缺陷只有经过一段时间使用后才能暴露,这种难以准确评定其质量的关键工序列为特殊工序。要对这些工序的工艺参数和人员进行连续监控,以确保满足规定的要求。这些工序的设备、人员的鉴定记录应保存一段时间,时间长短视需要规定。

上级机关及审核部门对关键件(特性)及重要件(特性)、关键工序的质量控制、质量检验的重点审核要求为:

- (1) 对关键件(特性)、重要件(特性)、关键工序是否建立了专门的质量控制程序及制定专门的质量检验规定?
- (2) 对批量生产的关键工序是否进行过程能力指数  $C_p$  或  $C_{pk}$  的监控?
- (3) 关键工序的质量控制程序是否纳入了工艺规程(或作业指导书),是否严格执行。
- (4) 关键工序是否进行了统计质量控制(应用  $C_p$ 、 $C_{pk}$ 、 $\bar{X}-R$ 、 $p$  控制图、选控图等)?

一个复杂产品有很多道工序,工序质量管理的重点在关键工序。如果把工序也进行 ABC 分析,则关键工序就是 A、B 类的工序。抓住了关键工序的质量,产品质量就有了基本保证。

### 3.6 产品质量检验

成品质量检验的目的是为了保证不合格品不入库或不出厂,它是产品到用户手中之前的最终检验。因此是保证产品质量的最后一关。

成品检验包括:

- (1) 完工零件的质量检验。
- (2) 部件、组件、分机的质量检验。
- (3) 整机、整系统的质量检验。

在具备下述条件时开始成品检验:

- (1) 有明确的检验依据。
- (2) 在成品检验前的所有工序都已完成。各项质量检验包括检测、试验、检验。都已合格通过。
- (3) 符合下一节所述的批次质量管理及检验要求。
- (4) 暴露、发现的质量问题都已按规定处理完毕,有书面通过依据。
- (5) 成品按规定有完整的所需要的质量记录、质量信息及质量标记。
- (6) 成品检验所需的“人、机、料、法、环、测”条件齐备、合格。

在成品检验过程中,要注意:

(1) 必须按质量检验依据对完工产品进行质量检验,一丝不苟。成品检验是未一道工序。成品如果不合格就前功尽弃。因此,略有超差、稍稍超出容许限,也许就有人“高抬贵手”,放了过去。这是要不得的。即使略有超差,也是不合格,超差品即使经研究分析可用,也要办理超差使用手续,审批后使用还是超差品。

(2) 当发现成品有批次性质量问题时,确实定为批次性不合格会导致较大经济损失,但是该拒收的还是要拒收。然后采取必要措施。有的可采取逐个产品检测返修予以补救,但有的只能成批报废,不能从经济损失着眼而把不住质量关。

(3) 通过成品检验合格,加上成品检验合乎质量标志的成品才容许入库或出厂交付。

严格的成品检查往往可以发现前工序中未发现的问题。原因之一是:有时从单个工序来看是不算质量问题的小缺陷,但对多个工序来说,不是质量问题的小质量缺陷到成品上总和起来就构成了质量问题。

### 3.7 包装的质量检验

包装是使合格的产品不致受损的一道重要工序。必须充分考虑到包装后的产品可能经受的恶劣环境条件,例如振动、冲击、有害气体、湿度、温度等,采取必要的防振、防冲击等的有效包装技术。包装设计是产品设计的重要内容之一。质量检



验人员根据包装设计的质量要求检验产品的包装是否合格?

包装的对象是“合格”产品。因此在包装前,质量检验人员要检查:

- (1) 产品有质量检验部门签发的“质量合格”证明文件。
- (2) 有技术文件规定的产品配套表、装箱清单和产品使用维护说明书等规定的资料。
- (3) 产品有识别标志。
- (4) 如有封存要求,产品按技术文件规定进行了封存,质量合格。
- (5) 如需使用方代表验收后再装运交付,则应有使用方代表的验收签署。

质量检验人员对产品包装按检验依据进行质量检验:

- (1) 产品合格证上的产品型号、图号、名称、件号、数量与实物要一致。
- (2) 装箱单所列产品与被装箱的要一致。
- (3) 配套文件资料是否齐全?
- (4) 包装箱的设计、包装箱或包装材料是否满足质量要求?
- (5) 产品在包装箱内的安放位置是否按照规定?固定是否妥善?
- (6) 如果产品在运输装卸过程中不允许倒置,要求防雨淋、防振,在包装箱外表面是否有明显的规定标记。如果产品在运输装卸过程中要起吊,包装箱是否有明显的起吊位置标记?
- (7) 如果产品易燃、易爆、易挥发、有毒、有放射性等属于有一定危险的危险产品,必须按技术文件规定及安全规定进行过特殊包装处理,符合安全性的质量要求。
- (8) 通过质量检验合格的包装箱,由质量检验人员在包装箱的开启处打上检验合格的封印。专用的重要的包装箱还应铅封,防止错换、缺漏事件的发生。

上级机关或审核部门对运输、贮存、包装的质量检验的审核要点为:

- (1) 对不同产品是否制订了相应的运输、贮存、包装的质量要求?
- (2) 运输、贮存、包装的质量要求是否经过严格检验,确实得到贯彻?
- (3) 包装箱上是否印有明显的必要质量保证标志?

这里要注意的是:在制定运输质量保证制度及规定时,必须贯彻国务院及有关部门颁发的交通运输法规。如铁道、公路汽车、水路货运运输规则、危险货物运输规则、爆炸物品管理规则等。

### 3.8 产品检验的标志及合格证明

为确保在生产过程中,任何外购器材、外协件、在制品、半成品、成品均应有质量识别标志。凡经质量检验部门检验通过,认为合格的,应有合格质量标志或附有书面合格证明文件。经质量检验的部门检验不通过,认为不合格的应有不合格质量标志,并予以严格隔离。对无质量标志的,则认为质量情况不明,因而不得入库、发放、投入生产、交付,任何单位或个人都应拒收。

为此,必须做到:

- (1) 制订正确的质量检验依据、规范、标准、作业指导书等文件。
- (2) 质量检验必须严格按文件规定进行操作。
- (3) 实事求是地正确填写质量检验的原始记录。按规定存档备查。
- (4) 不论是库存的器材、外协件或生产过程中运转的在制品、半成品、成品,都必须有质量检验标志或合格性证明文件。
- (5) 外购器材、外协件、生产过程的在制品、半成品、成品的存放库房、存放场地中的物品,均不容许存在“质量情况不明”的情况出现。
- (6) 质量标志应由质量检验部门统一规定,而且必须明显醒目,且不易磨损、消失。

上级机关或审核部门对产品质量标志的审核重点为:

- (1) 质量检验有无正确的规范、标准?
- (2) 质量检验是否按规定严格执行?
- (3) 经检验的器材、外协件、在制品、半成品及成品有无质量标志?

### 3.9 批生产的质量检验

质量管理的重要任务之一是防止出现质量问题。但是在实际经营管理中,绝对不出现质量问题是难以做到的,特别是一个复杂产品往往需要很多外购器材、外协件。尽管有对外购器材、外协件供货厂家的质保体系认证,对历史产品的质量分析,有厂际质保体系对质量的控制,仍难保证一定不出问题。例如,某单位过去多年来一直选用某厂的金属膜电阻器,质量稳定,可靠性高,列为免检外购件。但有一批由于生产厂把一种材料发错,出厂不久就由于材料间的不相容性使阻值超差。导致已装上整机并予以硅橡胶充填的金属膜电阻全部拆下重装合格品,工艺过程上的损失远超过金属膜电阻报废的损失。

因此,一旦出了质量问题,就要求:

(1) 查清原因。象上述金属膜电阻事例。装上整机后不久,电路性能就漂移严重,查出是电阻值已漂出合格范围,并且是批次性超差。经失效分析,是一种材料用错,属于批次性质量问题,这批金属膜电阻应全批报废,换上合格批的金属膜电阻。

(2) 弄清涉及的范围,采取有效的纠正措施。以上述金属膜电阻事例为例,必须弄清这批不合格的金属膜电阻发到哪里去了,装到哪些整机的哪些部位,才能逐一换下来。

这就需要采取一系列相应措施。实行批次管理就是有效措施之一。这就要:

- ① 建立并执行批次管理。
- ② 按批次建立随工流通卡,在卡上详细记录了投料、工序加工、总装、测试、调试、交付的数量、质量信息、负责人、检验人。并存档备查。
- ③ 产品的批次标记应与原始记录一致。

④ 产品批次要清楚、质量信息要清楚、原始记录清楚、数量清楚、炉号(批号)清楚,即所谓“五清”。

⑤ 要分批投料、分批加工、分批转工、分批入库、分批装配、分批交付,这即所谓“六分批”。切忌混批。

批次质量检验:

检验一般应是按批进行的。在一致条件下生产或按规定方式汇总起来的一定数量的个体,叫做一批。一批中包含的个体数量,叫做批量。一次交付的个体集合叫作交付批。注意,交付批与批是两个不同的概念。批与交付批不一定是一致的。一个交付批可以由一批、二批、多批或一批的一部分组成。

在一致条件下生产并提交检验的一定数量的个体称为检验批。对检验批来说,前提是一致条件下生产。因此,在同一检验批内的产品质量基本上是一致的。有的单位把不同生产条件下的个体混作一个检验批,这是违反检验批定义的。

产品批次质量检验管理是指从外购器材(原材料、元器件、成件等)入厂、投入生产开始,零、组、部件加工到产品出厂交付的全过程以批为中心的检验管理。其目的是为了如果出现产品质量问题,就可以迅速查清原因,按迹追踪,便于采取纠正或补救措施。如果没有批次检验管理,就会不知哪些产品存在质量问题,想纠正补救也无从做起。如把这一时期的产品全作为怀疑对象,采取例如隔离等措施,则将导致太大的损失。

产品批次质量检验管理的主要内容是:

(1) 建立、执行并监督批次质量检验管理制度。

(2) 批生产的全过程要分清批次、(炉号)、数量,原始质量记录完整,质量情况清楚。

(3) 要分批投料、分批加工、分批转工序、分批组装、分批入库、分批交付。

(4) 产品的年、批、序号、炉(批)号应标记清晰,与原始记录一致。按规定进行炉(批)号编号的传递。

(5) 转批使用时还必须对质量进行复验。

(6) 投入生产的原材料、元器件、成件应在其有效的保管、贮存期内。生产中使用的工装、设备、计量器具等应在有效期内。生产操作人员应考核合格上岗。

上级机关或审核部门对批次质量检验的审核要点为:

(1) 是否建立了批次管理制度?

(2) 产品生产全过程的原始记录是否完整、准确。如果出现质量问题,可否由此跟踪追溯及采取补救措施?

(3) 是否做到“五清”?

(4) 是否做到“六分批”?

(5) 是否切实执行了批次管理的质量检验诸规定?

### 3.10 不合格品管理

1. 不合格指不能满足规定的要求,意为一种或多种质量特性偏离了规定的要求或没有这些特性。不能满足规定要求的产品叫不合格品。

质量检验人员应当按照技术文件规定检验产品,作出合格或不合格的结论。质量检验部门应按有关规定处理不合格品。质量保证体系应找出不合格品产生的原因,查清责任,落实纠正措施,并且验明纠正措施的后果。

#### 2. 不合格品的符合性判断

不能满足规定要求的产品叫不合格品,在本章,是指任何具有一个或一个以上不符合合同、图纸、样件、技术条件或其它规定的技术文件所要求的特性的产品。承制单位的检验人员应当按技术文件规定检验产品,作出合格或不合格的结论。

承制单位要以文件形式明确检验人员在判断产品符合性方面的职责。包括:

(1) 检验人员应严格照产品图纸和工艺文件的规定检验产品,正确地作出合格或不合格结论。

(2) 对发现的不合格品,及时作出明显的识别标志,存放在指定的隔离区,予以严格控制,防止同合格品相混或被误用。

(3) 填写不合格品拒收单。

必须指出,检验人员的职责是鉴别产品质量的符合性,不是查原因、查责任,也不决定超差代料、返修、报废。

从原则上来说,不合格的器材不能投产,不合格的零件不能用于装配,不合格的产品不能出厂交付。但有些不合格品的不合格程度不严重,如予报废则经济损失较大(例如,外观不合格),则需要从技术上加以研究,可否在不影响适用性的前提下使用或降级使用(限定使用范围使用)。这就需要对出现的不合格品作出适用性判断。

3. 不合格品的适用性判断是技术性和经济性很强的工作。应对已设计定型的产品,承制单位成立由设计、工艺、生产、质量部门代表组成的不合格品审理组织,按有关规定分级审理及处理。不合格品审理组织的日常办事机构是质保体系的一部分,成员资格应经确认,对未设计定型的产品出现不合格品时,原则上主要由设计部门审理。审理的结论一般分为下列三类:

(1) 原产品超差代用。即经审理,认为还可直接使用。

(2) 返修。

(3) 报废

#### 4. 不合格品管理

不合格品的管理,是指检验人员按图纸、技术文件检验产品后发现的不合格品,按规定由审理组织审理(明确可原样超差代用、返修或废品)后,进行处理的管理。

承制单位要制定不合格品管理制度,建立不合格品审理组织,明确有关工作人员的职权。制订不合格品处理程序,并监督按处理程序办事。

不合格品管理制度的主要内容有:

(1) 采取有效措施控制不合格品,防止混入合格品或被误用。

(2) 不合格品的处理要有完整、准确的质量记录。

(3) 不合格品的审理的原则为:找出不合格原因,查清责任,采取有效的纠正措施,并经批准手续放行。

[注]对不合格品的责任有不同意见时,原则上由不合格品审理机构仲裁。

(4) 不合格品的责任在于协作单位时,由主承制单位负责找协作单位的质保体系负责人员解决。

(5) 不合格品的处理结论无“引用”特性。即只适用于当次。以后即使要引用,也需经不合格品审理机构审理后批准,不能自然引用。

(6) 不合格品的责任单位有职责及时按规定办理不合格品手续。

(7) 由于错检、误检而漏网通过的不合格品,在其后工序或使用中发现时,由操作加工人员、检验员各负有关责任。

(8) 不合格品造成的经济损失(包括器材的损失、工时损失、相应的管理费用等等)由质量成本主管部门负责核算。

#### 5. 原产品超差代用的管理

产品经检验员检验发现不符合技术文件规定要求时,判为不合格品,填写产品拒收单,并将不符合的具体情况记录在质量控制卡或工艺流程卡上,交不合格品审理机构处理。

当不合格品审理机构判为原不合格产品可超差代用时,审理机构办理超差代用文件。检验部门根据超差代用文件验收超差代用品,在质量控制卡或工艺流程卡上填上超差代用文件编号,检验人员盖验收印章。

容许超差代用的产品算可用于生产的产品,但在合格证上应注明属于超差代用。如果在限定范围内超差代用(例如某些产品不能耐受军用级的温度:  $-55^{\circ}\text{C} \sim 125^{\circ}\text{C}$ ,但可以在较不严格的温度下工作),则必须在合格证上注明,并在产品上作标识。

#### 6. 返修产品的管理

有的经质量检验判为不合格的产品,从经济效益(或从进度)出发,认为经补充加工可以达到要求质量的称之为返修品。

质量检验人员发现产品不合格时,应及时通知有关生产单位(人员)到现场对不合格品进行确认。如有关生产单位(人员)确认为本单位(人员)的责任且有条件返修并认为应予返修时。经审理组织同意填写“返修品通知单”并签署后,由质量检验部门把返修品通知单及返修品交调度部门。返修品根据返修通知单要求在厂内流动。

返修品必须在办理返修通知单手续后才能对其进行返修。当返修品的不合格

责任属于两个以上单位时,返修手续应根据产品交接的流程反向办理,由有关责任单位返修。未办返修品通知单手续的返修品,不得对不合格品进行返修。

经返修后的产品应先从责任单位的质量检验员按原质量检验依据重作检验,合格后再送交发现不合格的质量检验单位重检。如检验合格,在返修通知单上填上明确的合格结论,盖上检验标志。但这仍为返修合格品。

若某些产品的返修已不能按原工艺流程进行,此时应编制临时返修工艺规程及相应的质量记录资料(卡),经审批后再执行返修。

成批产品的返修或关键件的返修属于重大质量问题,返修后应有返修质量报告,上报并存档备查。

不合格品办理返修通知单手续后,有时也可由责任单位派人带工具、器材到现场排除故障。但必须在返修后先由责任单位的质量检验人员检验通过,认为合格后再交发现不合格的质量检验单位重检。

### 7. 废品的管理

当质量检验人员根据质量检验依据判为不合格品后,责任单位(人员)确认为不合格,且无法返修或经济上不值得返修,则审理组织判为废品,办理报废手续,填写报废单。

造成产品不合格的责任单位的质量检验员代表单位在报废单的责任代表栏内签署。如是外购器材或外协件的报废,则由器材质量检验代表签署。

由于产品报废,要重新投料生产,需要重新领料。重新领料应经质量检验员核对签署后,凭产品报废单领料。

产品的丢失按废品处理,重新领料。丢失的原因及责任要查明。

成批产品报废或关键件报废属于重大质量事故,要及时上报报废质量报告,并存档备查。

注意:上级决定停产的产品不算报废,工艺试验件要破坏的产品不算报废,破坏性试验需用的产品也不算报废。

## 3.11 产品交付及验收的质量检验

生产方必须保证交付的产品的质量符合合同规定的质量要求。这里的质量内容,如使用寿命、可靠性、维修性、可信性、安全性、保障性等,有的是要在产品使用中才能真正得到证实的。

生产方在交付产品前必须对产品进行质量检验、试验,确认产品符合交付的质量要求后才交付产品。生产方有责任保证:不合格的产品不出厂交付。

产品在生产过程中出现过技术状态更改(例如超差代料等)或在生产过程中出现过故障、发现过缺陷,即使故障已排除、缺陷已补救,也必须把技术状态更改记录,故障机理及纠正措施,缺陷补救措施整理成资料,在使用方需要时提供查询。

产品交付时,由检验部门和企业领导(厂长)签署的产品质量合格证是生产方

对产品质量负责的凭证。

产品交付前由生产方检验部门进行的质量检验属于生产方对产品质量的自检。使用方在接收交付产品时,还需由使用方代表进行验收质量检验。使用方代表需要生产方提供质量检验所必需的附件(如工夹具、量具、仪表、设备及技术文件、资料)应由生产方给以满足。

使用方代表在验收时进行的质量检验项目及质量要求应列入合同条款(包括所需由生产方供应的条件)。

有时为了节省检验费用,经使用方与生产方协商,可以承认生产方对产品交付前的自检结论,这时的自检必须由使用方监督进行,但生产方不能因此而减轻自己的责任。也有这样的情况,可以承认生产方对产品交付前的某些质量检验项目的自检(在使用方监督下的)结论,同时还有一些质量检验项目由使用方进行。

验收检验的一次检验合格率是度量企业质量保证体系能力及对产品质量控制有效性的重要依据。

对验收时发现的质量问题,质量检验部门有责任协助生产责任单位查清原因、切实改进。

上级机关及审核部门对产品交付及验收的质量检验的审核重点是:生产方是否建立并执行产品交付前的自检制度。

### 3.12 检验人员的质量检验

#### 1. 检验人员的资格审核

产品从元器件、原材料入厂,投料加工、装配、调试、试验交付出厂的全过程,都需要经过检验人员的检验。检验人员要把不合格品加以剔除,使不合格品不能转入下一道工序或交付出厂;要做到“不合格的原材料、元器件不投产,不合格的在制品不继续运行,不合格的零组部件不予装配,不合格的产品不出厂交付。”当然,绝对做到上述要求是不现实的,但必须把错检、漏检率控制在容许的水平以内。

正因为检验人员对产品质量起把关作用,从而检验人员本身的素质就在很大程度上影响检验质量。为此,需要对检验人员的质量进行资格审核,即考核检验人员从事质量检验工作,履行检验职责是否具备下列基本条件:

(1) 具有一定的文化程度。一般,应具有高中(技校)以上文化程度,某些复杂的关键岗位检验员还需要大专学历,作为掌握专业技术的基本条件。

(2) 掌握检验人员需要的质量管理及质量检验管理的基本知识。

(3) 掌握与本检验岗位有关的在制品、元器件、原材料,产品的结构、原理、特性、技术要求、工艺及生产流程。

(4) 掌握与本检验岗位有关的检验专业技术知识、相应的检验技能,检测技术,能正确使用有关的计量器具。

(5) 质量意识高,热爱检验工作,敢于坚持原则,不徇私情。

(6) 身体健康,无与本检验岗位工作不适应的缺陷和疾病(如有的岗位工作不容许有色盲等等)。

(7) 某些检验岗位对人体机能(如视力、听力、嗅觉等等)有特殊要求的情况,检验人员应经确认具备有关条件。

检验部门有责任按规定对检验员培训上述有关知识及技术,提高检验人员素质。随着检验技术的发展,对已考核上岗的检验人员也还需要进行继续教育,适应时代的步伐。

## 2. 错检、漏检

人是不可能不出差错的,问题是要找出差错的原因,采取有效措施降低差错率。

错检是:作出错误的检验结论,错检的主要原因大体上如下:

- (1) 检验人员对验收文件理解不正确,按不正确的理解作出错误的检验结论。
- (2) 检验结果是正确的,检验人员作出了错误判定。
- (3) 检验方法使用不当。
- (4) 计量器具使用不正确。

(5) 违反检验的有关规定进行检验。例如,明知不符合检验要求而通过检验,违反“三不规定”(不合格的原材料、元器件不投产,上工序不合格的在制品不能进入下工序,不合格的产品不能出厂交付)通过检验;;在检验上弄虚作假等。

[注]由于技术文件错误(包括由于管理混乱把文件弄错)造成的错检不属于检验人员责任。

漏检是:在检验过程中,遗漏了应予检验的对象,遗漏了技术文件(包括:合同、图纸、技术条件、工艺文件…等等)规定要进行检验的项目或内容。不论其是否造成后果(例如遗漏检验的项目是合格的)均属漏检。合格证上漏填检验结论,产品漏打合格、不合格标识也属漏检。

某些原材料、元器件、在制品、产品按技术条件规定采取抽样检验。抽样检验通过后交付,但其后发现交付的未经检验的原材料、元器件、在制品、产品中有一部分不合格。这不属于检验人员的责任。而是采取抽样检验不可避免的要冒的风险,不算漏检。

在规定产品的稳定生产线上,正常情况下有一个稳定的错检率、漏检率。积累一定时期内的错检率、漏检率,可以建立相当于不合格品率控制图(p控制图)那样的错检率控制图、漏检率控制图,对错检率、漏检率进行管理,使异常的超出正常情况的错检率、漏检率能及时发现并得以纠正。

上级机关或审核部门对检验人员的资格审核的审核重点是:

- (1) 检验人员的在职继续教育、专业培训以及考核制度是否健全?
- (2) 检验人员有无考核合格证书?
- (4) 对检验人员出现的错检、漏检有无书面记录,是否进行错、漏检的监督考查?



### 3.13 检验印章管理

检验人员的资格证明是检验印章,因此必须加强印章管理。

各类检验印章应只由检验部门统一设计、刻制、发放。并实行印章的发放、注销登记档案,此档案应长期保存。非检验部门无权设计、刻制、发放、管理检验印章。

检验印章常用的有下述三类:

- (1) 胶印章,常用于质量证明文件。
- (2) 钢印章,常用于产品或工装、样板。
- (3) 封印章,常用于铅封、漆封。

检验印章的发放应遵守下述规定:

(1) 检验人员必须根据其岗位任务的要求,进行必要的培训,考核,考核合格者给予相应的资格证书。

(2) 根据检验员的资格证书,发给相应岗位的检验印章。

(3) 检验印章专人专用,不准转借。

(4) 检验人员免职或调离时,必须收回他所保管的印章。

(5) 检验人员调换到新岗位或本岗位增加新的检验项目、内容时,必须重新进行培训、考核。考核合格者使用的检验印章交旧领新。(注意:不能沿用旧章。因为一个章表示一定的检验岗位和检验内容)。

(6) 检验人员因故(如病假)脱离原岗位一定时期(例如规定半年)后,必须经重新考核合格后,才能恢复上岗,续用印章。

(7) 检验印章如丢失,应立即上报备案。

(8) 检验印章盖的印迹必须清晰,易于识别。当盖的印迹模糊时应重盖。如印章已磨损,则应交旧领新。

检验印章的使用应注意:

(1) 只有在确认对象已经检验合格,验收凭证及质量证明文件填写正确、完整,才可盖检验印章。

(2) 在图纸、技术文件未规定检验印章位置时,应在产品的非工作表面、以后不再加工的表面、打印后不再喷涂的表面盖印,在图纸的图号旁盖印。

上级机关或审核部门对检验印章管理的审核重点是:检验印章管理制度是否健全。

### 3.14 质量检验计划

#### 1. 什么是质量检验计划

质量检验计划是对检验涉及的活动、过程和资源作出的规范化书面文件规定,用以指导检验活动的进行,是企业质量工作计划的一个重要组成部分。

## 2. 质量检验计划的目的

现代企业的生产活动从原材料、另配件、元器件进厂一直到产品完成出厂是一个有序、复杂的过程,涉及到不同的部门、工种、人员、工序、设备、物资,因此,需要配合生产作业,编制正确周密的检验计划。

## 3. 质量检验计划的作用

其重要作用如下:

- (1) 按照产品加工和物流的流程统一安排检验点的设置,以降低产品成本。
- (2) 合理选择与安排检验或试验项目,检验方法,合理安排检验设备和人员,以节约人力、物力和财力。
- (3) 使得检验工作逐步实现规范化和科学化,以保证产品质量。

## 4. 质量检验计划的内容

质量检验计划包括下列内容:

- (1) 编制质量检验流程图。
- (2) 合理设置检验点。
- (3) 对关键件或重要件编制检验规程或检验指导书。
- (4) 选定适宜的检验方法。
- (5) 编制检验使用的测量工具、仪器设备明细表。
- (6) 明确检验人员的岗位任务和职责。
- (7) 确定检验人员的组织方式、培训计划和资格认定方式。

## 5. 编制质量检验计划的原则

- (1) 及时发现不合格品,并保证检验通过的产品符合质量标准的要求。
- (2) 对关键件和重要件应优先保证。
- (3) 在保证产品质量的条件下,应尽量降低检验成本。

## 6. 检验流程图的编制

(1) 检验流程图是用图形符号简洁地表示出检验计划所规定的待检验的产品的流程、检验点的设置、所选定的检验方法的图纸文件。

(2) 检验流程图要结合现场具体情况来制定,不能千篇一律,但所运用的图形符号必须要规范、统一以便于能够准确理解和执行。

(3) 检验流程图的编制,包括下列各点:

- ① 了解与熟悉待检验产品的技术标准、工艺规程等工艺文件。
- ② 设计检验内容、学习有关的检验方法和检验工具的使用。
- ③ 设计与配置检验点。
- ④ 绘制质量检验流程图。
- ⑤ 编写质量检验说明书。
- ⑥ 对编制的质量检验流程图进行评审。由产品设计、工艺、检验人员、生产管理人员、现场操作人员等联合评审,进行修改。最后由总工程师或车间主任批准后执行。

## 7. 检验点的设置

(1) 设置检验点的原则,其内容如下:

- ① 要重点设在质量控制的关键部位处。
- ② 配合生产过程,注意与生产同步和衔接。
- ③ 要有适宜的工作环境,要有便于检验活动的空间。
- ④ 要考虑节约检验成本。
- ⑤ 图 3.14-1 是一个机械加工检验点设置示例。

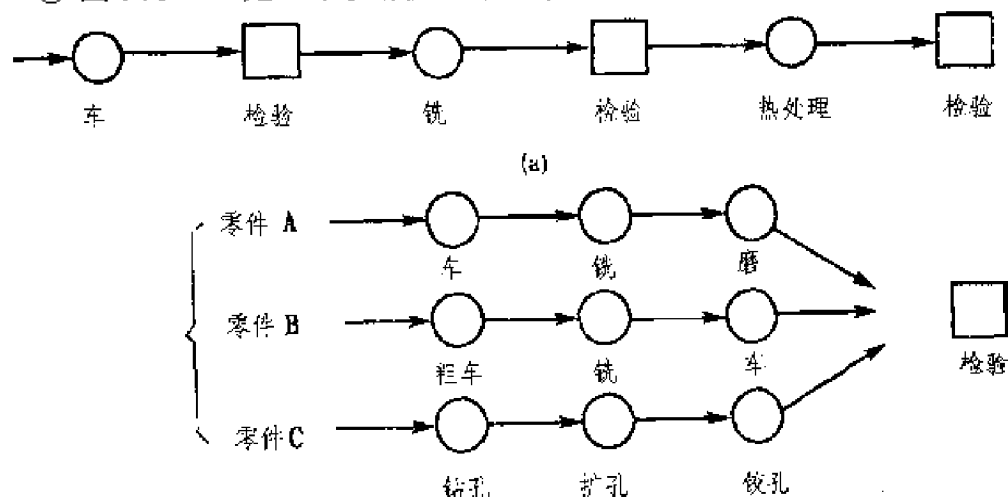


图 3.14-1 机械加工检验点设置示例

## 3.15 本章参考文献

- [3-1] 军工产品质量管理条例,1987。
- [3-2] 军工产品质量管理条例实施与评定导则,1988。
- [3-3] GJB379—87 质量管理手册编制指南。
- [3-4] GJB467—88 工序质量控制要求。
- [3-5] GJB571—88 不合格品管理。
- [3-6] 《专业理论与实务》第四章质量检验,人事出版社,2001。

## 本章思考题

- [3-1] 机械类的质量检验与电子类、化工类的质量检验有何异同?

## 思考题题解

- [3-1] 请读者根据自己的观点来发挥。

## 第四章 概率统计基础知识

本章并不追求对概率统计理论体系的深入阐述,而希望从质量人员实际应用的角度,对日常质量工作中,经常遇到的概率统计问题进行分析,尽量避免艰深的理论论述,力求质量问题的背景明确、思路清晰、解决方案简单易行,为本书的其它章节提供必要的概率统计基础知识。

### 4.1 概率基本概念

在质量工程中,许多决策都涉及到对不确定性问题的处理。过程能否满足要求?用于过程控制的标准度量是否准确,是否具有可重复性?接收到一批产品的质量是否满足合同的质量要求?统计方法可以回答这些问题,概率理论则构筑了统计决策的基础。本节将先讨论一些基本的概率概念,它们是质量工程中常用统计方法的基础。

#### 1. 随机事件

每当获得一个观测值,说明发生了一次随机实验。从观测者的角度来看,随机实验本身有可能并未囊括各种可能的变化,但是,它依旧是一次实验。观测值是一次实验的结果,无法预先确定,是具有不确定性的实验结果。然而,概率理论定义了所有可能结果的集合,而且集合中的每个可能结果都分配了唯一的数值。例如:掷骰子,其结果必然是1,2,3,4,5,6。我们不能预先确定随机实验的结果会出现哪个数字,但是我们知道,结果必然是这六个可能结果中的一个。这个数字组成的集合称为样本空间,描述各个可能结果的变量称为随机变量。如果将掷骰子的结果设为变量 $X$ ,则 $X$ 是一个随机变量, $X$ 的样本空间为 $\{1,2,3,4,5,6\}$ 。

概率论中,应用集合来描述随机实验的可能结果,称为随机事件,简称事件,常用大写字母 $A$ 、 $B$ 、 $C$ 等来表示。概率论使用了集合论中的符号,为讨论概率论的重要概念提供了有效的速记方法。

#### 2. 事件间的关系与运算

全集是所考虑的全部对象的集合,记为 $S$ 。在概率论中, $S$ 称作样本空间。 $S$ 中的每个对象是 $S$ 的一个元素。当 $x$ 是集合 $A$ 的一个元素时,记为 $x \in A$ 。如果一个集合包括 $S$ 中部分、而不是全部的元素,那么,就称为 $S$ 的一个子集。如果 $A$ 是 $S$ 的一个子集,记作 $A \subset S$ 。 $S$ 中不属于集合 $A$ 的那部分称作 $A$ 的补集,记为 $\bar{A}$ 。不包含 $S$ 的任何一个元素的集合称为空集,记为 $\phi$ 。

设有两个集合 A 和 B:

- ☞ 由集合 A 中或集合 B 中或者既在集合 A 中又在集合 B 中的元素组成的集合称为集合 A 和集合 B 的并集,记为  $A \cup B$ 。
- ☞ 既在集合 A 中又在集合 B 中的元素组成的集合称为集合 A 和集合 B 的交集,记为  $A \cap B$ 。
- ☞ 如果集合 A 和集合 B 没有共同的元素,那么,称为集合 A 和集合 B 不相容,记为  $A \cap B = \phi$ 。
- ☞ 如果集合 A 和集合 B 覆盖了全部的样本空间,那么,称为穷举,记为  $A \cup B = S$ 。

维恩(Venn)图是用来表示概率之间关系、集合之间关系的简单图示,图 4-1 就是一个抛硬币的维恩图。

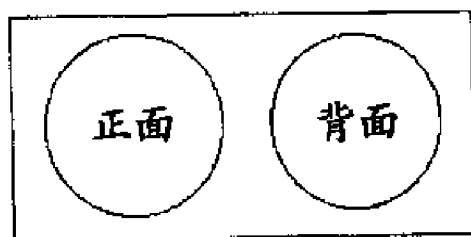


图 4-1 两个不相容事件的维恩图

如果事件 A 不依赖于事件 B,事件 B 也不依赖于事件 A,则称事件 A 和事件 B 是独立的。此时,两个事件同时发生的概率是这两个事件各自发生的概率的简单乘积。实际上,当且仅当  $P(A \cap B) = P(A)P(B)$  时,事件 A 与事件 B 是独立的。例如,一枚硬币被抛掷两次,得到一个“背面”结果(记为 T)之后,接着得到一个“正面”结果(记为 H)的概率是:

$$P(H \cap T) = P(H)P(T) = 0.5 \times 0.5 = 0.25。$$

图 4-1 给出了两个互不重叠的圆,表示它们是互不相容的。如果两个事件可能会同时发生,那么情况就不同了。来看一个例子,现在有 1000 个零件(样本空间)。设事件 A 是有缺陷的零件,事件 B 是来自于供应商 A 的零件。由于可能会存在来自供应商 A 的零件是有缺陷的,即两个事件可能同时发生,如图 4-2 所示。

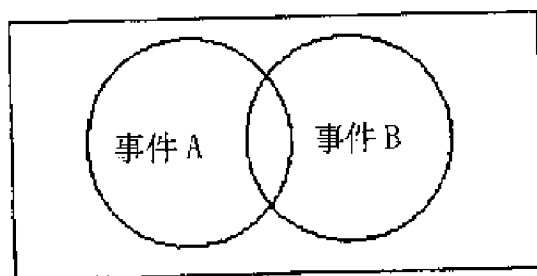


图 4-2 两个事件可以同时发生的维恩图

如果出现了图 4-2 所示的相容情况,则不能简单地把各个事件发生的概率相加,而需要使用下列公式:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B) \quad (4-1)$$

例如,设 A 代表零件有缺陷这一事件(概率为 0.05),B 代表零件来自于供应商 A 这一事件(概率为 0.50)。假定事件 A 和事件 B 是彼此独立的,那么, $A \cup B$  零件有缺陷或者零件来自于供应商 A 的概率是

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B) = 0.05 + 0.50 - (0.05 \times 0.50) = 0.525。$$

该规则同样适用于多个相容事件的情况。例如,如果 A, B 和 C 是三个相容的事件,则

$$P(A \cup B \cup C) = P(A) + P(B) + P(C) - P(A \cap B) - P(A \cap C) - P(B \cap C) + P(A \cap B \cap C) \quad (4-2)$$

### 3. 概率

现在可以正式给出概率的定义。概率是一个集合函数 P, 样本空间 S 中的每个事件 A 都被赋予一个实数, 记为  $P(A)$ , 称为事件 A 的概率, 有

☞ 对于每个事件 A, 有  $P(A) \geq 0$ ;

☞  $P(S) = 1$ ;

☞ 如果 A, B, C, ... 是两个互不相容的事件, 那么,

$$P(A \cup B \cup C \cup \dots) = P(A) + P(B) + P(C) + \dots$$

### 4. 离散数据与连续数据

当数据只能取有限个数值点, 且用非负整数来表示时, 称数据为离散的。例如, 样本中的缺陷数就是离散数据。当数据在一个区间或者几个区间内取值时, 称数据为连续的。例如: PH 值的测量值就是连续数据。质量工程中的许多理论方法都建立在离散数据和连续数据的概率函数的基础上。

### 5. 排列与组合

枚举法是统计可能结果的数量的一种方法。当样本量小时, 可以很方便地使用枚举法。在质量工程中, 这些方法应用于多种统计程序。

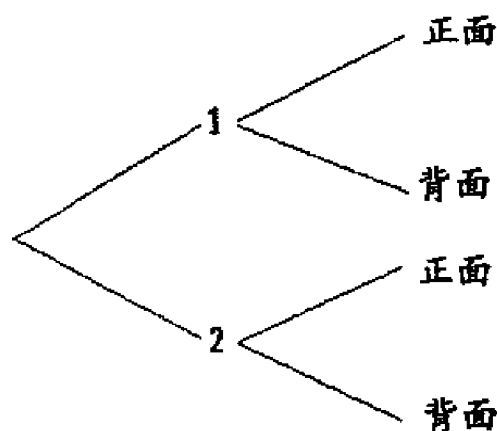


图 4-3 乘法原理在抛硬币中的应用

枚举法的基础是乘法原理。乘法原理规定：一系列实验可能出现的结果，其数目等于每次实验结果数目的乘积。例如，考虑抛两次硬币。第一次有两种可能的结果（正面/背面），第二次仍有两种可能的结果（正面/背面）。这样，连续抛两次硬币可以得到  $2 \times 2 = 4$  种结果。图 4-3 分析了乘法原理在抛硬币中的应用。

有次序地对各要素进行放置称为排列。设想有四件物品和四只空盒子，每只盒子放入一件物品。现在考虑把物品放到盒子里一共有多少种不同的方式。第一件物品可以放入四只盒子中的任何一只。而一旦第一件物品已经放好了，就只剩下三只盒子可供第二件物品选择，第三件物品则只有两只盒子可供选择，最后的一件物品只有放入最后剩下的那只盒子里。应用乘法原理，四件物品放入四只盒子的所有放置方法一共有  $4 \times 3 \times 2 \times 1 = 24$  种。通常，如果将  $n$  件物品放入  $n$  个位置，就有

$$n(n-1)\dots(2)(1) = n! \quad (4-3)$$

种可能的安排。记为  $n!$ ，读作  $n$  的阶乘。定义  $0! = 1$ 。

质量控制中的离散变量经常要利用有效的计数方法，其中一种有效的计数方法是组合，如公式 4-4 所示，

$$C_n^r = \frac{n!}{r!(n-r)!} \quad (4-4)$$

组合给出了从  $n$  件物品中一次取出  $r$  件物品成为一组，一共可以有多少种组合方法，其中， $r$  是一个小于或等于  $n$  的正整数。

例如，从 A、B 和 C 三个字母中一次取出两个字母组成的一组，确定一共有多少种组合数？即有  $n=3$  个字母，一次取  $r=2$  个字母，运用上面的公式可以得到下面的结果：

$$C_3^2 = \frac{3!}{2!(3-2)!} = \frac{3 \times 2 \times 1}{(2 \times 1)(1)} = \frac{6}{2} = 3$$

3种组合分别是:AB,AC和BC。注意:这种方法没有将字母颠倒顺序作为不同的组合方式,换言之,AB和BA被认为是相同的组合。

## 4.2 随机变量与分布

抛一枚质地均匀的硬币,有两种可能的实验结果,如果用 $\omega_0$ 表示正面和 $\omega_1$ 表示背面,则样本空间 $\Omega = \{\omega_0, \omega_1\}$ 。为了将可能的结果数量化,引入变量 $X$ ,令:

$$X = X(\omega) = \begin{cases} 0, & \omega = \omega_0 \\ 1, & \omega = \omega_1 \end{cases}$$

$X$ 是定义在 $\Omega$ 上的实数值函数。对于不同的实验结果, $X(\omega)$ 也各不相同,把所有实验结果所对应的实数值集合,记为 $R$ 。但是,由于每次随机实验之前无法预料结果,换言之, $X$ 取0还是取1是随机的,故,称 $X$ 为随机变量。而且,该随机变量 $X$ 以确定的概率取不同的实验结果,即具有:

$$P(X=0) = P(\text{"正面"}) = 0.5$$

$$P(X=1) = P(\text{"背面"}) = 0.5$$

随机变量是定义在样本空间上的函数,即对于随机实验的每一个可能的结果,都有一个实数 $X(\omega)$ 与它对应,对于不同的实验结果 $X(\omega)$ 也不同,并且 $X$ 以确定的概率取这些不同的值。随机变量可以分为两类:连续随机变量和离散随机变量。

某个随机变量的分布是指该随机变量的总体获得的大量数据的集合。分布是一种有效地展示所关注的质量特性值及其概率之间关系的方法。假设过程处于统计控制状态,那么,利用适当的分布,就可以回答下列问题:

- ▮  $x$ 发生的概率是多少?
- ▮ 小于 $x$ 的概率是多少?
- ▮ 大于 $x$ 的概率是多少?
- ▮ 数值在 $x$ 和 $y$ 之间的概率是多少?

利用分布的形状,可以分析在给定取值范围内概率变化的快慢程度。分布可以提供大量信息。

### 1. 离散随机变量和分布

如果随机变量 $X$ 只取有限个或可列个可能的值 $x_1, x_2, x_3, \dots$ ,且 $P(X=x_i) = P_i, i=1, 2, 3, \dots$ ,则称 $X$ 为离散随机变量。称 $P(X=x_i) = P_i$ 为离散随机变量 $X$ 的概率函数或分布律,可记为 $f(x)$ 。该分布律是一个实数值函数,并满足下列性质:

- ▮  $f(x) \geq 0, x \in R, R = \{x_1, x_2, x_3, \dots\}$ ;
- ▮  $\sum_{x \in R} f(x) = 1$ ;
- ▮  $P(X \in A) = \sum_{x \in A} f(x)$ , 其中 $A \subset R$ 。



对于离散随机变量,  $f(x)$  给出了实验结果的观测值恰好等于  $x$  的概率, 也就是,  $P(X=x)$ 。例如: 抛硬币时,  $P(X=0)=0.5$ ;  $P(X=1)=0.5$ 。

设  $X$  是一个随机变量,  $x$  是一个任意实数, 函数  $F(x)=P(X \leq x)$ , 称为随机变量  $X$  的分布函数, 记为  $F(x)$ , 表示了观测值小于或等于  $x$  的概率。

### 离散随机变量的例子

令离散随机变量  $X$  的分布律为  $f(x)=x/10 \quad x=1,2,3,4$ 。那么,

$$\sum_{x \in R} f(x) = \frac{1+2+3+4}{10} = 1$$

$$P(X=1) = 1/10$$

且 
$$P(X \leq 3) = \frac{1+2+3}{10} = \frac{3}{5}。$$

该离散随机变量的分布律和分布函数如图 4-4 所示。

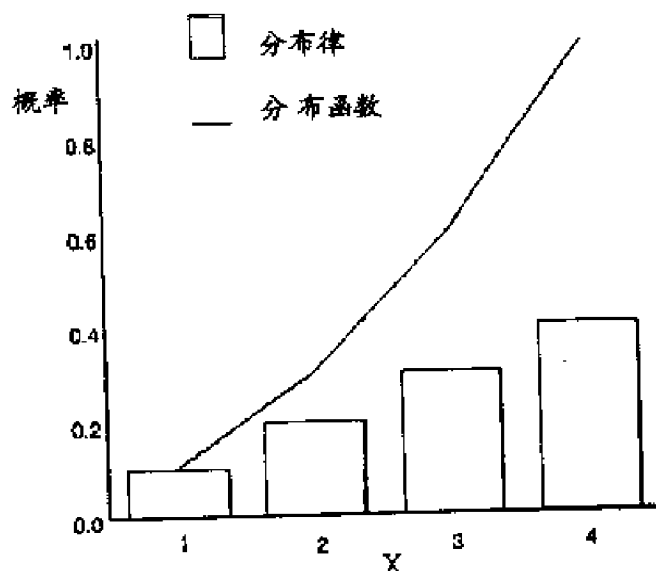


图 4-4  $f(x)=x/10$  和  $F(x)$  的图

## 2. 连续随机变量和分布

对于分布函数, 连续随机变量与离散随机变量的主要区别在于: 连续随机变量的分布函数要使用积分。然而, 质量工程中常用的多数连续随机变量都将随后进行介绍, 有关的数据表都附在本书的后面。现在, 简要介绍连续随机变量的概率密度函数和分布函数。虽然完全理解这两个函数需要利用积分, 但是没有积分背景的人员也可以抓住其本质。

### 连续随机变量

对于任意实数  $x$ , 如果随机变量  $X$  的分布函数  $F(x)$  可以写成:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(t) dt$$

其中  $f(x) \geq 0$ , 则称  $X$  为连续型随机变量, 称  $f(x)$  为  $X$  的概率密度函数, 有时也记为  $X \sim f(x)$ 。概率密度函数  $f(x)$  是一个实数值函数, 并满足下列性质:

- ☛  $f(x) \geq 0, x \in R$ ;
- ☛  $\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1$
- ☛  $P(X \in A) = \int_A f(x) dx$ 。

### 概率密度函数的性质

性质 1: 概率密度函数不为零, 不为负。例如, 正态分布覆盖了从负无穷到正无穷的区域, 至少在理论上, 正态分布随机变量可以取任意一个数值。当然, 取得这些极限值的概率极小, 难以察觉, 在实际工作中, 认为它们从不发生。

性质 2: 概率密度函数曲线与实数轴所围成的面积为 1。如图 4-5 所示。

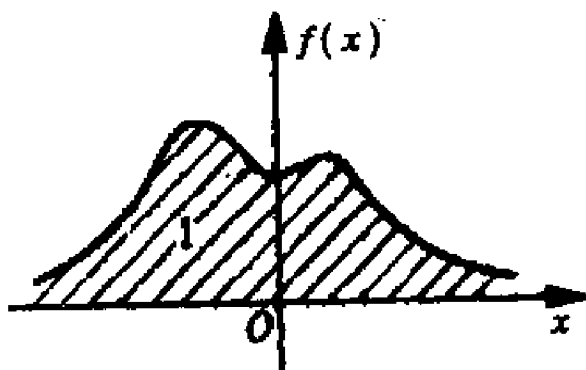


图 4-5 概率密度函数所围成的面积等于 1

性质 3: 连续随机变量取子集  $A$  中数值的概率, 可以由概率密度函数在子集  $A$  上求积分来得到。例如, 胶囊中的药量服从均值为 40 毫克、标准差为 0.1 毫克的正态分布, 那么, 胶囊的药量处于 40.1 毫克到 40.2 毫克之间的概率, 可以由正态分布概率密度函数在 40.1 毫克与 40.2 毫克之间求积分来得到。即相当于这两个数值之间的概率密度函数曲线所围成的面积。实际工作中, 这些概率可以通过查表来得到。如图 4-6 所示。

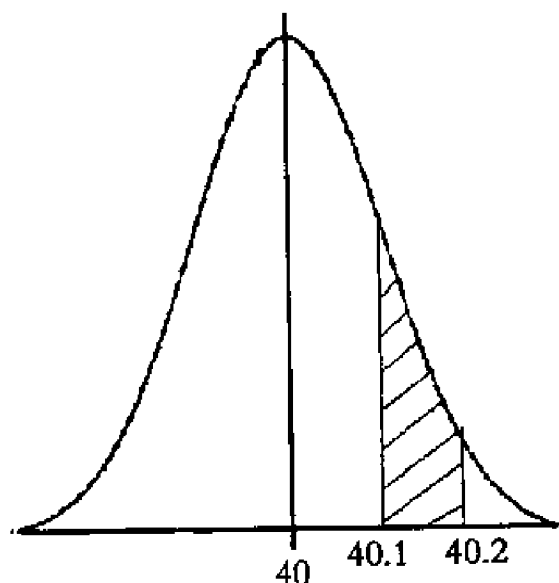


图 4-6 40.1 毫克与 40.2 毫克之间的概率

### 连续随机变量的分布函数

分布函数记为  $F(x)$ ，它给出了观测值小于或等于  $x$  的概率，即  $F(x) = P(X \leq x)$ 。对于连续随机变量，

$$P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x f(t) dt$$

换言之，分布函数  $F(x)$  就是在从负无穷到该值  $x$  的区间上，通过对概率密度函数求积分来得到的。即相当于直到数值  $x$  的概率密度函数曲线所围成的面积。实际工作中，这些分布函数的取值经常可以查表获得。

随机变量  $X$  落在数值  $a$ 、 $b$  之间的概率可由下式得到，

$$P(a \leq x \leq b) = \int_a^b f(x) dx$$

$X$  落在数值  $a$ 、 $b$  之间的概率就是概率密度函数在这两个数值之间所围成的面积。由于分布函数得到了小于某个特定值的概率，因此，落在  $a$ 、 $b$  之间的观测值的概率也可以通过下式来得到

$$P(a \leq x \leq b) = F(b) - F(a)$$

注意：对于连续随机变量来说，取任一实数值  $a$  的概率均为 0，即  $P(X = a) = 0$ 。后文将分别介绍质量工程中常见的各种连续分布。

## 4.3 数学期望

随机变量的数学期望简称期望，是一个与算术平均相类似的经过严格理论定义

得到的量。

数学期望有助于归纳概率分布的重要特性。在质量工程中,有两个特别重要的期望值:均值和方差。下面将分别进行讨论,先给出一个应用期望值概念的实例。

### 1. 数学期望的实例

租赁公司规定某种昂贵的建筑设备,顾客必须至少提前三天预定。租赁费是500美元。如果下雨,顾客将无法使用该设备,但是,顾客仍要支付500美元。如果没有下雨,顾客使用建筑设备完成工作可获得收入1000美元。若降雨的概率是20%,租赁设备的期望值是多少?

使用下面的方程式:

$$E = (1/5) \times (-\$500) + (4/5) \times \$1000 = \$700$$

顾客可以期望收入700美元。注意,实际上,700美元是不可能发生的,租赁人要么失去500美元,要么获得1000美元。期望值给出了顾客可以得到的平均水平,概率作为“权重”被应用于不同的结果。因此,数学期望可看作各种可能结果的加权平均。

### 2. 数学期望

期望涉及下列两个方面:结果和获得该结果的概率。上例中,结果只有两种可能,要么损失500美元,要么获得1000美元,它们的概率分别是1/5和4/5。可以看到,期望就是各种可能的结果与相应结果出现的概率的乘积之和。令结果为随机变量 $X$ 的函数 $u(X)$ ,随机变量 $X$ 的概率函数为 $f(x)$ ,则期望可以表示为:

$$E[u(X)] = \sum_R u(x)f(x) \quad (4-5)$$

其中:下标 $R$ 表示 $x$ 的全部取值范围。在上例中,

$$f(x) = \begin{cases} 1/5, & \text{下雨} \\ 4/5, & \text{晴天} \end{cases}$$

$$u(x) = \begin{cases} -\$500, & x = \text{下雨} \\ \$1000, & x = \text{晴天} \end{cases}$$

### 3. 数学期望的基本性质

数学期望具有下列性质:

- ◆ 如果 $c$ 是常数,则 $E[c] = c$ 。
- ◆ 如果 $c$ 是常数, $u$ 是随机变量 $X$ 的一个函数,则 $E[cu(X)] = cE[u(X)]$ 。
- ◆ 如果 $c_1$ 和 $c_2$ 是常数, $u_1$ 是随机变量 $X$ 的函数, $u_2$ 是随机变量 $Y$ 的函数,则。

$$E[c_1 u_1(X) + c_2 u_2(Y)] = c_1 E[u_1(X)] + c_2 E[u_2(Y)]$$

#### 4. 期望值:均值、方差和标准差

如果  $X$  是在  $R$  上定义的离散随机变量,其分布律为  $f(x)$ ,则

$$\mu = E(X) = \sum_R xf(x) \quad (4-6)$$

$\mu$  是分布的均值,经常称为总体均值。如果  $X$  是在  $R$  上定义的连续随机变量,其概率密度函数为  $f(x)$  的,则利用积分代替求和,可以得到分布的均值,

$$\mu = E(X) = \int_R xf(x) dx \quad (4-7)$$

对于一只质地均匀的骰子,得到  $x = 1, 2, 3, 4, 5, 6$  这六种结果的概率是相等的,都为  $1/6$ ,即  $f(x) = 1/6$ 。将  $x$  和  $f(x)$  值带入公式 4-6,得到

$$\begin{aligned} \mu &= \sum_{x=1}^6 xf(x) = 1\left(\frac{1}{6}\right) + 2\left(\frac{1}{6}\right) + 3\left(\frac{1}{6}\right) + 4\left(\frac{1}{6}\right) + 5\left(\frac{1}{6}\right) + 6\left(\frac{1}{6}\right) \\ &= \frac{1+2+3+4+5+6}{6} = 3.5 \end{aligned}$$

均值给出对分布中心的度量。在力学中,均值就是质心。

分布的方差也是期望。均值提供了分布位置的信息,方差提供了分布的离散或散布程度的信息。对于离散随机变量,

$$\sigma^2 = E[(X - \mu)^2] = \sum_R (x - \mu)^2 f(x) \quad (4-8)$$

对于连续随机变量,利用积分来建立方差公式,

$$\sigma^2 = E[(X - \mu)^2] = \int_R (x - \mu)^2 f(x) dx \quad (4-9)$$

已知质地均匀的骰子其均值是 3.5,则其方差可表示如下:

$$\begin{aligned} \sigma^2 &= E[(X - 3.5)^2] = \sum_{x=1}^6 (x - 3.5)^2 \frac{1}{6} \\ &= [(1 - 3.5)^2 + (2 - 3.5)^2 + \dots + (6 - 3.5)^2] \frac{1}{6} = \frac{35}{12} \end{aligned}$$

标准差是方差的正平方根,即

$$\sigma = \sqrt{\text{Var}(X)} = \sqrt{\sigma^2} \quad (4-10)$$

$\sigma$  经常称为总体标准差。通过计算,知质地均匀的骰子的标准差为:

$$\sigma = \sqrt{35/12} = 1.708$$

### 4.4 质量工程的常见分布

质量工程的常见分布有:

- ☛ 二项分布
- ☛ 泊松分布
- ☛ 超几何分布

- ▣ 正态分布
- ▣ 指数分布
- ▣  $\chi^2$  分布
- ▣ t 分布
- ▣ F 分布

## 二项分布

假定过程生产不合格品的比率为  $p$ 。可以通过收集大量的样本信息来加以估计,用样本中的不合格品数除以所抽取的产品总数来得到  $p$ 。公式 4-11 给出了  $n$  个产品组成的样本中,  $x$  个产品有缺陷的概率,

$$P(x) = C_n^x p^x (1-p)^{n-x} \quad (4-11)$$

上式为二项概率分布。二项分布除了作为连续生产过程中不合格品的精确分布以外,当样本量小于批量的 10% 时,二项分布还可以作为繁琐的超几何概率分布的近似。

## 二项分布的实例

生产玻璃瓶子的过程。过去的历史数据表明:1% 的瓶子有一个或多个瑕疵。如果,从生产过程中取 10 个瓶子作为样本,那么,没有不合格品的概率是多少?

例中,  $n = 10, p = 0.01, x = 0$ 。将这些数值带入公式 4-11,有

$$P(0) = C_{10}^0 0.01^0 (1-0.01)^{10-0} = 1 \times 1 \times 0.99^{10} = 0.904 = 90.4\%$$

上述实例还可以有另一种解释。抽样方案:检查 10 件产品,如果没有发现不合格品,就接受该生产过程。对于平均不合格品率为 1% 的过程来说,这个抽样方案有 90.4% 的概率接受该过程。

## 泊松分布

质量控制中经常遇到另一种情况:我们不仅要关注不满足要求的产品,而且还要关注每件不合格产品所包含的不合格项的情况。例如,考虑计算机的质量控制。全面检查最终生产出的计算机总会发现一些不合格项,即使有些不合格项是不重要的(例如,仪表上的贴纸可能不太整齐)。用超几何分布或者是二项分布来评估此种情形下的抽样方案,可能会发现根本无法工作,因为,整批产品或者整个过程可能 100% 不合格。显然,此时所关注的不是产品本身,而是产品中出现的不合格项。有些情况,甚至无法确定样本所包含的个体数。例如,对意外事件的处理,就只能统计所发生的事件数。

产品的不合格数服从泊松分布。泊松分布的概率分布如公式 4-12 所示,

$$P(x) = \frac{\mu^x e^{-\mu}}{x!} \quad (4-12)$$

公式 4-12 中,  $\mu$  是产品所包含的平均不合格数,  $x$  是产品中的不合格数,  $e$  是常

$$P(0) = \frac{C_{12-3}^{4-0} C_3^0}{C_{12}^4} = \frac{126 \times 1}{495} = 0.255$$

$$P(1) = \frac{C_{12-3}^{4-1} C_3^1}{C_{12}^4} = \frac{84 \times 3}{495} = 0.509$$

$$P(1 \text{ 或 } 0) = P(0) + P(1)$$

两个概率相加给出了抽样方案接受批量为 12 的货物中有 3 件不合格品的概率。检查 4 件产品,如果有 0 件或 1 件不合格品,那么接受该批货物的抽样方案,对于批产品质量未满足规定,即“如果不合格品少于 3 件,接受这批货物”,而该批货物却被接受的概率高达  $0.266 + 0.509 = 0.764$ ,即 76.4%。这就是抽样方案的“消费者风险”。如此高的消费者风险根本是不能接受的。

### 正态分布

质量控制中最常遇到的连续分布是正态分布。有时过程的质量特性值近似正态分布,有时可以通过对数据进行数学变换或者使用平均值来得到正态分布。公式 4-14 给出了正态分布的概率密度函数,

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (4-14)$$

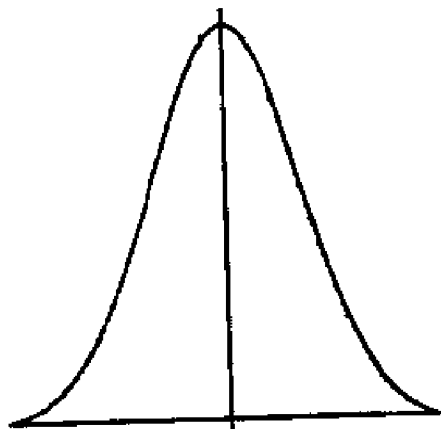


图 4-7 正态曲线

绘制正态分布的  $f(x)$  曲线,可以得到著名的“钟型曲线”。正态分布又称高斯分布,如图 4-7 所示。

公式 4-14 中,  $\mu$  是总体均值,  $\sigma$  是总体标准差。对这些参数 4.3 节已进行了讨论。正态曲线具有以  $\mu$  为对称轴、左右对称的特点。通常情况下,只能得到样本而无法获得总体,因为总体是所有观测值的全集。关于样本均值、方差和标准差的计算前面已经进行了讨论。

正态分布函数  $F(x) = P(X \leq x)$  的取值,可以利用数值方法对公式 4-14 求积分来得到,但经常是应用查数表的方法来求得上述取值。本书附录 I 表 I-1

给出了标准正态分布表(见国标 GB4086—83)。 $F(x) = P(X \leq x)$  的概率值可应用附录 I 表 I - 1 来查得,这时首先需要进行 Z 变换也称为标准变换。对于总体, Z 变换为

$$Z = \frac{x_i - \mu}{\sigma} \quad (4-15)$$

对于样本数据

$$Z = \frac{x_i - \bar{x}}{s} \quad (4-16)$$

通过 Z 变换,任何正态分布都可以转化为均值为 0、标准差为 1 的标准正态分布,从而可使用本书附录 I 表 I - 1 标准正态分布表来查得其概率值。

### 正态分布的应用实例

用正态分布进行长期过程性能的预测很有效。假定,检查微电路生产中的关键线路粘合过程的阻断力时,过程的平均力度是 9 #,标准差是 4 #。过程力度服从正态分布。如果工程规范下限为 3 #,则力度低于规范下限的比例为多少?

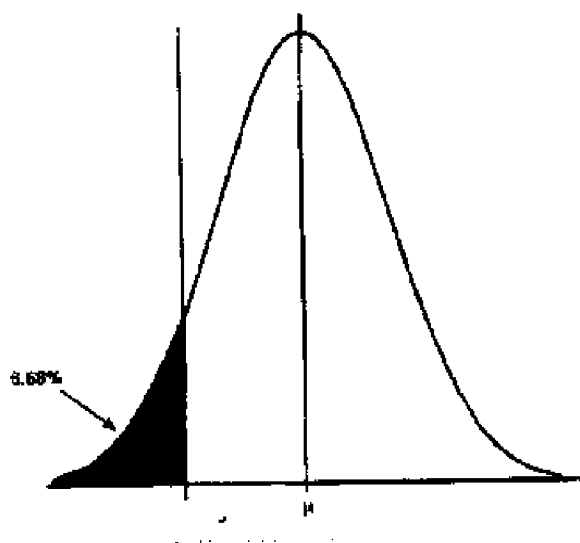


图 4-8 Z 变换后的正态分布区域的图示

利用公式 4-16,

$$Z = \frac{3 - 9}{4} = \frac{-6}{4} = -1.5$$

如图 4-8 所示。

由本书附录 I 表 I - 1 得到,当  $Z = -1.5$  时,低于该 Z 值的概率是 6.68%。因此,本例中,6.68%的阻断力低于规范下限 3 #。质量控制通常要求平均值距离规范界限至少 3 倍标准差。为了实现这个目标,需要改进过程,要么提高阻断力的均值,要么减小过程的标准差,或者同时改进这两个方面。



## 指数分布

另一种质量控制中常见的分布是指数分布。指数分布常用于可靠性分析。指数分布的概率密度函数为：

$$f(x) = \frac{1}{\mu} e^{-x/\mu}, x \geq 0 \quad (4-17)$$

不同于正态分布,指数分布的形状是严重倾斜的,而且小于均值部分的面积比大于均值部分的面积要略大一些。事实上,超过 63% 的指数分布低于均值。图 4-9 给出了指数分布的概率密度函数曲线。

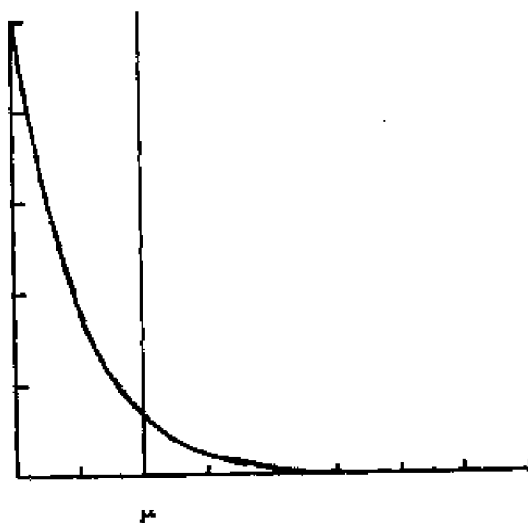


图 4-9 指数分布的概率密度函数曲线

指数分布有确定的分布函数,也就是说,指数分布直接给出了计算分布函数的公式。所以,不需要再为指数分布提供数表。

$$P(X \leq x) = 1 - e^{-x/\mu} \quad (4-18)$$

## 指数分布的应用实例

一家城市水资源管理公司,平均每年发生 500 次泄漏。那么周末(从周五晚上六点至周一早上六点)工作人员没有接到维修电话的概率是多少?

这里给出了每年平均泄漏次数,需要转化为每小时的泄漏次数。每年 365 天,每天 24 小时,即 8760 小时。两次泄露之间的平均间隔时间(MTBF)为  $8760/500 \approx 17.52$  小时。周五晚六点至周一早六点之间有 60 个小时,由公式 4-23 得到

$$P(X \leq 60) = 1 - e^{-60/17.52} = 0.967 \approx 96.7\%$$

因此,工作人员周末空闲的概率仅为  $1 - 96.7\% = 3.3\%$ 。

## $\chi^2$ 分布, $t$ 分布和 $F$ 分布

这三种分布在质量工程中用于检验假设、构造置信区间和计算控制界限。

## $\chi^2$ 分布

质量工程中的很多质量特性都服从正态分布或近似服从正态分布,而这些质量特性的样本方差服从卡方分布,记为  $\chi^2$ 。

设  $v$  等于样本量  $n$  减 1,  $\chi^2$  分布随着数量  $v$  的变化而变化。每个  $v$  值都有不同的  $\chi^2$  分布与之对应,  $v$  称为  $\chi^2$  分布的自由度。下面给出了  $\chi^2$  分布的概率密度函数,

$$f(\chi^2) = \frac{e^{-\chi^2/2} (\chi^2)^{(v-2)/2}}{2^{v/2} (\frac{v-2}{2})!} \quad (4-19)$$

图 4-10 给出了  $v=4$  的  $\chi^2$  分布的概率密度函数曲线。

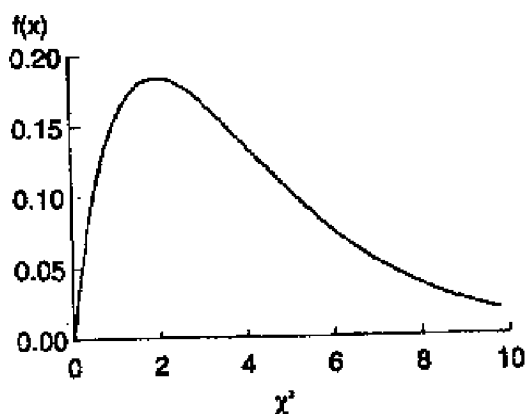


图 4-10  $v=4$  的  $\chi^2$  分布概率密度函数曲线

本书附录 I 表 I-4 给出了  $\chi^2$  分布表。

## $\chi^2$ 分布的应用实例

本例给出了  $\chi^2$  分布的应用实例。从正态总体取出  $n$  个个体组成样本,求出样本方差大于等于某个给定值  $s^2$  的概率;计算  $\chi^2 = (n-1)s^2/\sigma^2$ 。假设从  $\sigma^2 = 25$  的过程中取 10 个个体组成样本,求出样本方差超过 50 的概率。于是

$$\frac{(n-1)s^2}{\sigma^2} = \frac{9(50)}{25} = 18$$

查本书附录 I 表 I-4 的  $\chi^2$  分布表,从第  $v=10-1=9$  行,注意到 18 落在纵列 0.025 与 0.05 所对应的数据之间。得到样本方差大于 50 的概率大约为 3%。

还有另一种常用实例。例如,我们希望能够灵敏地控制样本方差大于某值  $s^2$  的情况,因为在 100 次中这种情况只会出现一次,要确定  $s^2$ 。构建  $\chi^2$  分布,从本书附录 I 表 I-4 的  $\chi^2$  分布表查找临界值,求解样本方差  $s^2$ 。利用上面的数据,计算  $s^2$ ,使得 100 次中仅有一次样本方差超过该值,由本书附录 I 表 I-4 的  $\chi^2$  分布表,查 0.01 所对应的  $v=10-1=9$  的临界值,得到 21.7,于是,

$$\frac{9s^2}{\sigma^2} = \frac{9s^2}{25} = 21.7 \Rightarrow s^2 = \frac{21.7 \times 25}{9} = 60.278$$

换言之,来自过程的样本量为 10 的样本方差有 99% 的概率小于 60.278。

### $t$ 分布

$t$  统计量常用于检验均值、回归系数和质量工程中其它关于统计量的假设。公式 4-20 给出了  $t$  统计量

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{s/\sqrt{n}} \quad (4-20)$$

公式 4-20 中,  $\bar{X}$  是样本均值, 分母  $s/\sqrt{n}$  是样本均值的标准差。 $t$  分布的概率值可以从本书附录 I 表 I-2  $t$  分布表查到。样本量  $n > 1$  的情况下, 不同的  $n$  值对应不同的  $t$  分布。随着样本量  $n$  的增加,  $t$  分布的形状逐渐接近标准正态分布, 如图 4-11 所示。

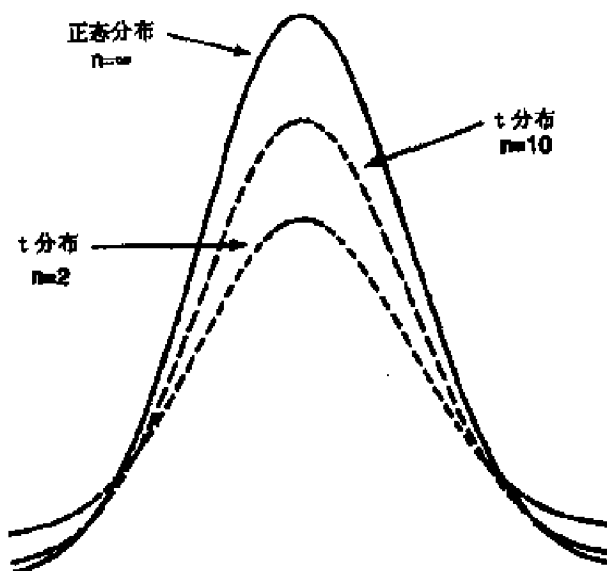


图 4-11  $t$  分布

设  $\nu$  等于样本量  $n$  减 1,  $\nu$  称为  $t$  分布的自由度。 $t$  检验的最简单、最常见的应用是处理来自均值为  $\mu$ , 方差为  $\sigma^2$  的正态总体的样本。

### $F$ 分布

假设来自正态总体的两个随机样本, 第一个样本的方差是  $s_1^2$ , 第二个样本的方差是  $s_2^2$ 。但是, 不要求这两个样本的样本量必须相同。统计量  $F$  为,

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2} \quad (4-21)$$

统计量  $F$  的抽样分布称为  $F$  分布。涉及到两个样本方差和两个自由度, 分子的自

由度为  $n_1 - 1$ , 分母的自由度为  $n_2 - 1$ 。本书附录 I 表 1-3  $F$  分布表分别给出了 1%、2.5%、5%、10% 的  $F$  分布表。图 4-12 给出了两条  $F$  分布曲线。

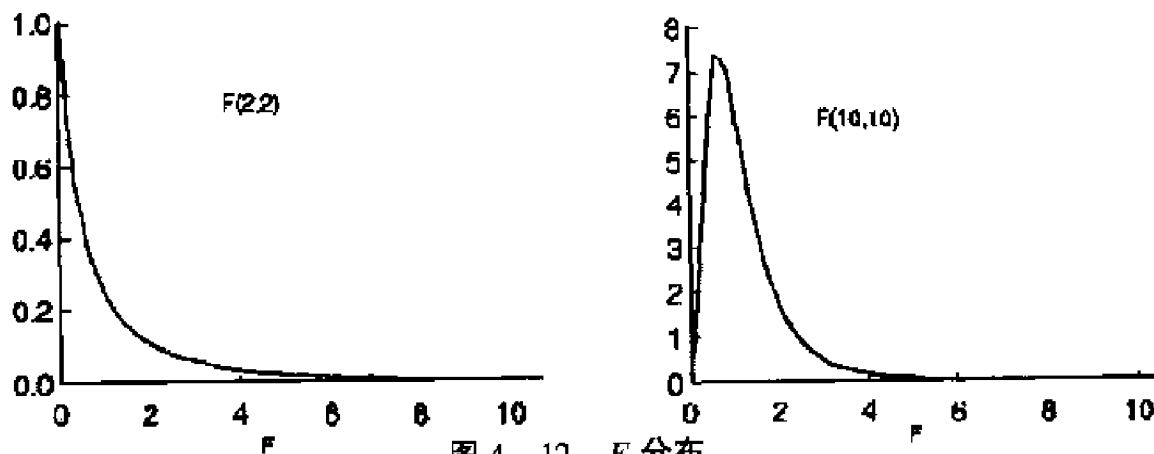


图 4-12  $F$  分布

## 4.5 统计分析

大多数统计问题,可以获得的都是样本信息,而很难获得整个总体的全部信息,前面介绍的  $\chi^2$  分布,  $t$  分布和  $F$  分布都给出了对样本信息的分析和处理。本节首先介绍了样本数据可用于构造累积曲线,可用于构造直方图、茎叶图、箱线图等等,样本数据还可以解决很多统计问题。然后,来考虑样本数据分布的某些特性以及参数估计。

### 1. 频率和累积分布

进行频率分析是对观测值集合的一种经验描述。如果对观测值没有分组进行频率分析,那么,只给出了观测值和各观测值出现的频率。如果对观测值分组进行频率分析,那么,观测值落在各个组中,每个组代表了整个数据范围内的一个子集,组中所包含的观测值的个数称为频数,频数与总观测值的个数相比得到频率。利用每个组的频率可以构成了分组频率分布图,常用直方图和茎叶图进行描述。

当直方图和茎叶图给出某个给定数据或一组数据的频率时,常常还要进一步检测这些数据的累计频率。累计频率是指累积到某个特定值并包含该特定值的总频率。在数据分组的情况下,累积频数给出了累积到某个组并包括该组边界的观测值的个数,累积频数与总观测值个数相比得到累积频率。累计频率分布通常以累计频率分布曲线来描述,如图 4-13 所示。

### 2. 抽样分布

经验分布为样本中的每个  $x_i$  赋予了相同的概率,皆为  $1/n$ , 分布的均值是:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (4-22)$$

$\bar{X}$  读作“ $x$  拔( $x$  bar)”,  $\bar{X}$  称为样本均值。

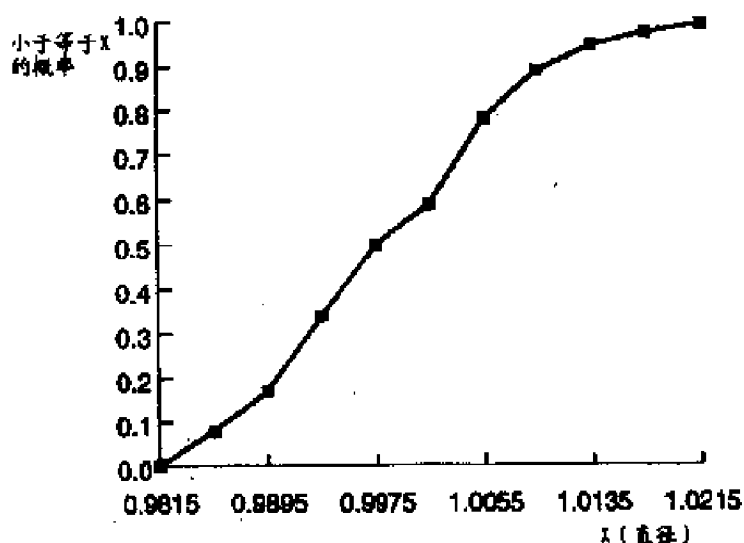


图 4-13 直径数据的累积曲线

前面给出了总体方差:

$$\sigma^2 = E[(X - \mu)^2] = \sum_R (x - \mu)^2 f(x)$$

相应地对于样本来说,

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (4-23)$$

然而,  $E[s^2] \neq \sigma^2$ 。换言之, 统计量  $s^2$  是总体参数  $\sigma^2$  的有偏估计。事实上,

$$E[s^2] = \frac{n-1}{n} \sigma^2。$$

因此, 需要对这个有偏估计量进行修正, 公式 4-23 乘以系数

$$\frac{n}{n-1}$$

得到:

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (4-24)$$

$S^2$  的这个公式通常称为样本方差。相应的样本标准差为:

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (4-25)$$

质量工程中另一个非常重要的样本统计量是样本均值的标准差, 又称为均值的标准误差, 简称标准误差, 该统计量表示为

$$S_{\bar{X}} = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (4-26)$$

可以看出,样本均值的标准差与样本容量的平方根成反比,换言之,样本容量越大,样本均值的标准差越小,如图4-14所示。可以看到,样本容量  $n=4$  的均值的标准差是抽取样本的总体随机变量的标准差的一半。

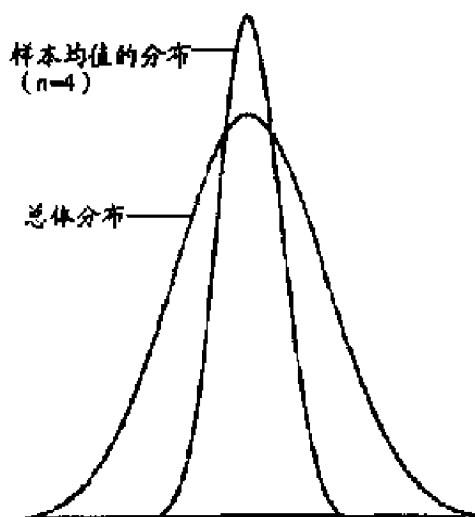


图4-14 样本容量对标准误差的影响

### 3. 参数估计

迄今为止,已经介绍了一些重要的统计量,例如:样本均值、样本标准差和样本方差。这些样本统计量可以称作点估计量,因为这些统计量都是利用单个的数值来估计总体参数。同时,还可以构造统计量的区间,以预先确定的概率包含真实的总体参数,这样的区间称作置信区间。区间估计是对点估计的补充。置信区间既可以是单侧的,也可以是双侧的。单侧置信区间在置信水平设定的情况下,给出参数值的上限或是下限。双侧置信区间则同时确定上限和下限。

几乎所有的统计应用中,包括在质量控制中的应用,都需要基于样本数据得到对总体的推断。本章已经讨论了样本均值和样本标准差,并利用这些数据对过程的性能进行分析,如:长期收益或潜在损失的情况。但是,实际工作中,还要注意一个问题:任何基于样本的估计都存在着一定的抽样误差,即使这个估计是某种意义上的“最佳估计”,例如:总体参数的无偏估计,抽样误差也是客观存在的。

#### 均值的估计

设总体均值为  $\mu$  和标准差为  $\sigma$ 。对于有放回的随机样本,样本均值  $\bar{X}$  的抽样分布均值为  $\mu$  和标准差为  $\sigma/\sqrt{n}$ 。对于容量  $n$  较大的样本,  $\bar{X}$  的抽样分布近似服从正态分布,可以使用正态分布表来确定样本均值落在  $\mu$  的给定区间内的概率。例

如,可以发现 95% 的样本其样本均值落在  $\mu \pm 1.96\sigma/\sqrt{n}$  的区间内。换言之,95% 的样本,其区间从  $\bar{X} - 1.96\sigma/\sqrt{n}$  到  $\bar{X} + 1.96\sigma/\sqrt{n}$  会包括  $\mu$ 。这个区间称为“ $\mu$  的 95% 置信区间”,如下所示:

$$\bar{X} - 1.96\sigma/\sqrt{n} < \mu < \bar{X} + 1.96\sigma/\sqrt{n} \quad (4-27)$$

系数 1.96 是从本书附录 1 表 1-1 标准正态分布表查得的  $z$  值。正态分布总体落在  $z$  值以外的概率为 2.5%。由于正态分布是对称的,超过  $z$  值和不足  $-z$  值的概率都为 2.5%。置信区间和假设检验中, $z$  值常用符号来表示。其中,当前期望的置信水平为  $(1-\alpha)$ 。例如:如果置信水平为 95%, $\alpha=0.05$ , $Z_{0.025}=1.96$ 。在假设检验中, $\alpha$  称为显著性水平。

#### 例: $\sigma$ 已知时, $\mu$ 的估计

假设  $\sigma$  已知,等于 2.8。抽取样本,样本量为  $n=16$ ,计算得  $\bar{X}=15.7$ ,运用上述公式 4-27 可以得到  $\mu$  的 95% 置信区间为:

$$\begin{aligned} \bar{X} - 1.96\sigma/\sqrt{n} < \mu < \bar{X} + 1.96\sigma/\sqrt{n} \\ 15.7 - 1.96(2.8/\sqrt{16}) < \mu < 15.7 + 1.96(2.8/\sqrt{16}) \end{aligned}$$

即

$$14.33 < \mu < 17.07$$

这是置信水平为 95% 的置信区间。数字 14.33 和 17.07 有时称为置信下限和置信上限。这是一个双侧置信区间,这里, $\mu$  大于 17.07 的概率为 2.5%, $\mu$  小于 14.33 的概率为 2.5%。如果仅对  $\mu$  小于 14.33 的概率感兴趣,那么,单侧置信区间为  $\mu > 14.33$ ,此时的单侧置信水平为 97.5%。

#### 例: $\sigma$ 未知时, $\mu$ 的估计

当  $\sigma$  未知时,在计算  $\mu$  的置信区间时,要用样本标准差  $s$  代替  $\sigma$ ,用  $t_{\alpha/2}$  代替  $Z_{\alpha/2}$ ,即用  $t$  分布的百分位数代替正态分布的百分位数。重新讨论上述例子,但假设  $\sigma$  未知,用样本来进行估计。由于样本量  $n=16$ ,可计算出  $s=2.8$  和  $\bar{X}=15.7$ 。那么,95% 置信区间为,

$$\begin{aligned} \bar{X} - 2.131s/\sqrt{n} < \mu < \bar{X} + 2.131s/\sqrt{n} \\ 15.7 - 2.131(2.8/\sqrt{16}) < \mu < 15.7 + 2.131(2.8/\sqrt{16}) \end{aligned}$$

即

$$14.21 < \mu < 17.19$$

由此可见,上述置信区间比  $\sigma$  已知情况下的置信区间要宽。自由度为  $16-1=15$  的  $t_{\alpha/2}$  值为 2.131,(参见本书附录 I 表 I-2  $t$  分布表),比上面得到的  $Z_{\alpha/2}=1.96$  要大。

## 4.6 假设检验

假设检验通常包括下列四个步骤：

1. 根据实际情况,提出假设;
2. 从总体采集样本,获得样本观测值;
3. 计算基于样本的统计量;
4. 根据预先确定的接受准则,做出接受或者拒绝假设的结论。

与假设检验相关的错误有两类。第Ⅰ类错误:正确的假设被拒绝的概率,记为 $\alpha$ ,又称为假设检验的显著性水平。第Ⅱ类错误:错误的假设被接受的概率,记为 $\beta$ 。第Ⅱ类错误经常使用抽检特性曲线来进行分析,抽检特性曲线简称 OC 曲线。OC 曲线被广泛用于评价各种统计质量控制方法的性质。

假设检验有助于我们在期望的显著性水平条件下,对总体参数做出推断。下面利用几个实例来解释假设检验在质量控制中的应用。

### 例:样本均值的假设检验

实验:装有化学药品的瓶子,其规范要求是 30 立方厘米(记为 cc)。实验方案是从稳态生产过程中采集样本量  $n = 25$  的样本,应用样本均值和样本标准差,构造双侧置信区间(以样本均值为中心,对样本均值的双侧进行设定),该区间包括总体均值的概率是 95%。如果区间包括 30,那么,就不能拒绝批量产品的均值是 30 的假设,否则,得到结论批量产品的均值不是 30。

结果:测量 25 瓶组成的样本,得到下列统计量的数值:

$$\bar{X} = 28\text{cc}$$

$$s = 6\text{cc}$$

检验统计量是:

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{s/\sqrt{n}} = \frac{28 - 30}{6/\sqrt{25}} = -1.67$$

本书附录 I 表 I - 2 t 分布表给出了自由度变化时  $t$  统计量的值。 $t$  统计量的自由度是  $n - 1$ 。本例中,我们查找列  $1 - 0.975 = 0.025$  与自由度为 24 的行,在其行列的交叉处得到  $t$  值为 2.064。由于  $t$  值大于检验统计量的绝对值,所以,不能拒绝批量均值是 30cc 的假设。应用统计的专门符号表示如下:

$$H_0: \mu = 30\text{cc} \text{ (零假设)}$$

$$H_1: \mu \neq 30\text{cc} \text{ (备择假设)}$$

$$\alpha = 0.05 \text{ (第Ⅰ类错误,即显著性水平)}$$

临界区域:从 -2.064 到 +2.064

检验统计量: -1.67

由于检验统计量落在临界区域内,所以,接受  $H_0$  假设。



**例：两个样本方差的假设检验**

从稳定的生产过程取出  $n = 25$  的样本，设备  $X$  的方差是 100。设备  $Y$  的方差是 50，其样本量为 10。设备  $X$  的供应商其制造代表认为上述结果只是一个“统计意外”。假设，“统计意外”意味着：100 次机会中发生的可能性小于 1 次，对上述两个方差实际上相等的假设进行检验。

用于检验两个样本方差相等的检验统计量是  $F$  统计量，本例中， $F$  由下列公式得到：

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2} = \frac{100}{50} = 2, \text{分子自由度} = 25 - 1 = 24, \text{分母自由度} = 10 - 1 = 9$$

应用本书附录 I 表 I - 3  $F$  分布表查找  $F_{0.01}(24, 9)$  的值，得到 4.73。因为， $2 < 4.73$ ，所以，可以得出结论：设备  $X$  的制造商是正确的，结果是一个统计意外。本例揭示了样本方差和样本标准差的抽样误差的不稳定性质。

**例：标准差与标准值相比的假设检验**

假定一台机器生产的零件要求在  $0.500 \pm 0.006$  英寸的范围。统计人员得出所能允许的标准差的最大值是 0.002 英寸。根据检查能力图发现，从工位上最好的设备，获得样本量为 25 的样本，所得到的样本标准差为 0.0022。统计人员与管理人员经过讨论达成一致：如果对于标准差  $\sigma$  的 95% 的单侧置信区间包括 0.002，那么，设备可以使用。

样本标准差与标准值进行对比，使用的统计量是  $\chi^2$  统计量。本例中， $s = 0.0022$ ， $n = 25$ ， $\sigma_0 = 0.002$ 。 $\chi^2$  统计量的自由度为  $n - 1 = 24$ 。于是，

$$\chi^2 = \frac{(n - 1)s^2}{\sigma^2} = \frac{24 \times (0.0022)^2}{(0.002)^2} = 29.04$$

从本书附录 I 表 I - 4  $\chi^2$  分布表，在 0.05 的列（因为我们正在构造单侧置信区间）与自由度为  $df = 24$  的行的交叉处，得到临界值  $\chi^2 = 36.42$ 。由于  $\chi^2$  的计算结果 29.04 小于 36.42，所以，得到结论可以使用该设备。请注意：所有实例都包括了大量的假设。例如，“知道”最好的设备的样本标准差是 0.0022。实际工作中，这些信息需要通过控制图来加以确定。

## 4.7 本章参考文献

- [4-1] Dimitris Bertsimas and Robert M. Freund,《Data, Models and Decisions, The Fundamentals of Management Sciences》. South - Western College Publishing, 2000.
- [4-2] 浙江大学编,《概率论与数理统计》,高等教育出版社,1989.
- [4-3] 孙静译,《六西格玛手册》,清华大学出版社,2002.

## 本章思考题

- [4-1] 总体与样本的关系。
- [4-2] 点估计与区间估计的关系。

## 思考题题解

- [4-1] 总体是所有观测值的全体。在通常情况下,只能得到样本而无法获得总体,所以需要样本的信息来估计总体。
- [4-2] 用样本值来估计总体的某些参数,这就是参数估计。参数估计又有点估计与区间估计之分。本章介绍了一些重要的样本统计量,如样本均值、样本标准差、样本方差,这些样本统计量可以称作点估计量,因为,可以利用这些统计量的数值来估计总体参数。同时,还可以构造统计量的区间,以预先确定的概率包含真实的总体参数。这样的区间称为置信区间,这就是区间估计。区间估计是对点估计的补充。

## 第五章 正交试验设计与田口方法

### 5.1 概述

试验是人们探索和认识事物客观规律的一种基本手段和方法。但试验安排是否得当,其效果会大不一样。如何以尽可能少的试验次数获得足够有效的数据,并分析得出比较可靠的结论,这就是试验设计所要研究和解决的问题。

试验设计技术最早是由英国费歇尔(R. A. Fisher)等人在 20 世纪 20 年代提出的,并首先将其应用于农业试验。后来,这种技术又被应用于生物学、遗传学等方面。1935 年出版了他的专著《试验设计》,从而开创了一门新的学科。20 世纪三四十年代,英美等国相继对试验设计方法进行了研究,并应用于工业生产。第二次世界大战后,在日本获得普遍的应用和进一步的发展,以田口玄一为首的一批研究人员,将试验设计方法应用于改进产品和系统的质量,并研究开发出正交试验设计技术,成为日本战后质量管理的重要工具之一。70 年代以来,我国在工业企业进行了普遍的推广,在冶金、化工、电子、医药、纺织、机械等行业获得广泛的应用,并取得显著的成效。

在质量管理中,经常会遇到多因素、有误差、周期长的一类试验,希望通过试验解决以下几个问题:

1. 对质量指标的影响,哪些因素重要,哪些因素不重要?
2. 每个因素取什么水平为好?
3. 各个因素按什么样的水平搭配起来使指标较好?

这是多因素试验中比较典型的几个问题。如何合理地安排试验,以较少的试验次数达到试验的目的,这是正交试验设计所要研究和解决的问题。实践表明,正交试验设计是处理这类试验问题的一种简便易行、行之有效的方法。

产品质量的形成贯穿于产品寿命周期的全过程,包括设计、制造和使用过程。日本的田口玄一博士进一步研究提出产品的三次设计思想,即系统设计、参数设计和容差设计,并将正交试验设计方法应用于产品研制设计阶段对参数的合理选择,为提高产品的设计质量提供了一套理论和方法。自 20 世纪 80 年代以来,田口三次设计方法引起了美洲、欧洲和亚洲一些国家的重视,我国的一些质量管理研究人员也进行了消化、吸收和研究,并在一些工业企业和科研设计部门进行了推广,取得了一定的成效。

## 5.2 正交试验设计的基本方法

### 5.2.1 正交表

正交表是一种规格化的表格,各种各样的正交表(详见本书附表 II-1 常用的正交表)都已构造出来了,对于解决实际问题的应用来说,只要掌握正交表的运用方法就可达到目的。

表 5.2-1 是一张正交表。这个表有 4 列,每列的数字代表水平符号;表中有 9 行,每一行的水平组合代表一个试验条件。我们把这张表简记为  $L_9(3^4)$ 。 $L$  表示正交表,下标 9 表示试验次数, $3^4$  表示应用这个表最多可安排 3 水平 4 因子的试验。这张表具有如下两个性质:

1. 在任意一列中,各水平出现的次数相同,即水平 1、2、3 出现的次数相同;
2. 对任意列的任一水平,其他列的水平 1、2、3 与之在同行上相遇的次数相同。或者说,任意两列同行上水平组合的有序数对 11、12、13、21、22、23、31、32、33 出现的次数相同。

表 5.2-1 正交表

列 号 试 验 号	1	2	3	4
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

这两个性质称为正交表的整齐可比性性质,也就是正交表的正交性性质。正交试验设计正是基于正交表的这些性质,才有可能使试验次数减少。比如,对于 4 因子 3 水平的试验,所有可能的全面搭配试验要做  $3^4 = 81$  次,而用正交表  $L_9(3^4)$  安排试验,只要做 9 次,从总体来说,只是从所有可能的搭配试验中做了部分试验,但由于性质 2,对于任意两个因素来说是全面搭配试验,这样仍有可能进行比较。

一般来说,凡是正交表都具有上述两个性质。在一张正交表里,行与行或列与列之间交换,不改变正交表上述两个性质。

常用的正交表有  $L_4(2^3)$ ,  $L_8(2^7)$ ,  $L_{16}(2^{15})$ ;  $L_9(3^4)$ ,  $L_{27}(3^{13})$ ;  $L_{16}(4^5)$ ;  $L_{18}(2 \times 3^7)$  等等。其中如  $L_{18}(2 \times 3^7)$  型式的表称为混合型正交表, 用这张表来安排试验, 可以安排 1 因子 2 水平、7 因子 3 水平的试验。如果所考虑的问题有  $n$  个因子, 每个因子都取 2 个水平, 则称此问题为  $2^n$  因子试验问题; 若被考察的  $n$  个因子皆取 3 个水平, 则称为  $3^n$  因子试验问题; 如考察的因子有  $n+m$  个, 其中  $n$  个因子取 2 个水平,  $m$  个因子取 3 个水平, 则称此问题为  $2^n \times 3^m$  因子试验问题, 依此类推。

### 5.2.2 正交表的应用

[例 5.2-1] 考虑一个实际问题。磁鼓电机是彩色录象机磁鼓组件的关键部件之一, 国外同类产品的力矩这项指标规定大于  $210\text{g}\cdot\text{cm}$ 。某厂以国外同类产品水平为依据, 对电机质量进行调查, 因力矩不合格达 43%, 因此, 为了提高电机的输出力矩, 需要进行试验。

技术分析认为, 影响电机输出力矩的因素有: 充磁量、定位角度、定子线圈匝数。为讨论方便, 我们把这 3 个因素分别命名为 A、B、C, 并称 A、B、C 为因子。根据经验, 可以确定出各因素的变化范围为:

A 充磁量(T):  $900 \times 10^{-4} \sim 1300 \times 10^{-4}$ ,

B 定位角度(rad):  $10 \times \frac{\pi}{180} \sim 12 \times \frac{\pi}{180}$ ,

C 定子线圈匝数(匝): 60 ~ 100。

现要进行试验, 选择合适的充磁量、定位角度、定子线圈匝数, 以获得尽可能高的输出力矩值。为此, 我们考虑在各因素的变化范围内取 3 点进行试验。比如

A:  $A_1 = 900 \times 10^{-4}$ ,  $A_2 = 1100 \times 10^{-4}$ ,  $A_3 = 1300 \times 10^{-4}$ ;

B:  $B_1 = 10 \times \frac{\pi}{180}$ ,  $B_2 = 11 \times \frac{\pi}{180}$ ,  $B_3 = 12 \times \frac{\pi}{180}$ ;

C:  $C_1 = 70$ ,  $C_2 = 80$ ,  $C_3 = 90$ 。

我们称  $A_1 = 900 \times 10^{-4}$  为 A 因子的第 1 水平,  $A_2 = 1100 \times 10^{-4}$  为第 2 水平,  $A_3 = 1300 \times 10^{-4}$  为第 3 水平。对 B、C 因子亦类似。

这个问题已归结为  $3^3$  因子试验问题。把所考察的因素及水平列成表 5.2-2 的形式。

表 5.2-2 因子水平

水 平	因 子	A	B	C
		充磁量( $10^{-4}\text{T}$ )	定位角度( $\frac{\pi}{180}\text{rad}$ )	定位线圈匝数(匝)
1		$A_1 = 900$	$B_1 = 10$	$C_1 = 70$
2		$A_2 = 1100$	$B_2 = 11$	$C_2 = 80$
3		$A_3 = 1300$	$B_3 = 12$	$C_3 = 90$

表 5.2-2 被称为因子水平表。在因子水平确定后,就要选适当的正交表。对于这个 3 因子 3 水平的试验问题,可以选 3 水平正交表中的  $L_9(3^4)$ 。这个表有 4 列,表头上有 4 个位置,可以安排 4 个因子。规定 A、B、C 三个因子分别放在  $L_9(3^4)$  表的第 1、2、3 列,这就叫表头设计。经这样安排之后, $L_9(3^4)$  表的第 1 列上“1”的位置填上  $A_1 = 900$ ,在“2”的位置填上  $A_2 = 1100$ ,在“3”的位置填上  $A_3 = 1300$ 。对安排 B、C 因子的第 2、3 列亦作同样的处理,就可得表 5.2-3。

这就是应用正交表设计的试验方案,或称试验计划表。表中的 9 行就是 9 个具体试验条件。比如,对应于第 4 行的具体试验条件就是:充磁量  $1100 \times 10^{-4} \text{T}$ ,定位角度  $10 \times \frac{\pi}{180} \text{rad}$ ,定子线圈匝数 80 匝。如此等等。

按照以上制订的试验方案进行试验。一般,在进行试验时,各次试验的顺序应当随机化,以尽量避免由于已知或未知的系统因素的干扰而造成的试验偏差。做完试验,就可测得试验结果,对于本例就是磁鼓电机输出力矩的测定值。把测得的每号试验结果填入表 5.2-3 试验结果一栏中。

获得试验结果后,如何进行分析呢?一种办法是直接看试验结果,选择其中较好的作为一个好条件,如果结果已较满意,且试验又比较复杂,可先将这个好条件用于生产。但正交表的作用除了安排试验点具有均衡这一性质外,还能用简便的方法对试验结果进行统计分析。其分析的计算格式按表 5.2-4 进行。表下方的  $K_1$ 、 $K_2$ 、 $K_3$ ;  $k_1$ 、 $k_2$ 、 $k_3$  及 R 如何计算,现以安排 A 因子的第 1 列为例加以说明。记相应第  $i$  个试验号的结果为  $y_i$ ,第 1 列的  $K_1$  就是对应于该列中“1”水平的 3 个试验结果之和,即

表 5.2-3 试验方案及结果

试 验 号	因 子	A( $10^{-4} \text{T}$ ) 1	B( $\frac{\pi}{180} \text{rad}$ ) 2	C(匝) 3	试验结果 力矩( $\text{g} \cdot \text{cm}$ )
1		900	10	70	160
2		900	11	80	215
3		900	12	90	180
4		1100	10	80	168
5		1100	11	90	236
6		1100	12	70	190
7		1300	10	90	157
8		1300	11	70	205
9		1300	12	80	140

表 5.2-4 计算格式

表头设计	A	B	C		试验结果 $y_i$ 力矩(g·cm)
列号	1	2	3	4	
试验号					
1	1	1	1	1	160
2	1	2	2	2	215
3	1	3	3	3	180
4	2	1	2	3	168
5	2	2	3	1	236
6	2	3	1	2	190
7	3	1	3	2	157
8	3	2	1	3	205
9	3	3	2	1	140
$K_1$	555	485	555	(536)	$\Sigma = 1651$
$K_2$	594	656	523	(562)	
$K_3$	502	510	573	(553)	
$k_1$	185	161.7	185	(178.7)	
$k_2$	198	218.7	174.3	(187.3)	
$k_3$	167.3	170	191	(184.3)	
R	30.7	57.0	16.7	8.6	

$$K_1 = y_1 + y_2 + y_3$$

$$= 160 + 215 + 180 = 555$$

第 1 列中的  $K_2$  就是该列中“2”水平对应的 3 次试验结果之和,即

$$K_2 = y_4 + y_5 + y_6$$

$$= 168 + 236 + 190 = 594$$

第 1 列中的  $K_3$  就是第 1 列中“3”水平的所对应的 3 次试验结果之和,即

$$K_3 = y_7 + y_8 + y_9$$

$$= 157 + 205 + 140 = 502$$

第 1 列中的  $k_1$ 、 $k_2$ 、 $k_3$  分别是第 1 列的  $K_1$ 、 $K_2$ 、 $K_3$  除以 3 得到的平均数,即

$$k_1 = \frac{K_1}{3} = \frac{555}{3} = 185$$

$$k_2 = \frac{K_2}{3} = \frac{594}{3} = 198$$

$$k_3 = \frac{K_3}{3} = \frac{502}{3} = 167.3$$

$R_1$  就是第 1 列  $k_1$ 、 $k_2$ 、 $k_3$  中最大者与最小者之差,这里

$$R_1 = k_2 - k_3$$

$$= 198 - 167.3 = 30.7$$

R 称为极差。对于安排 B、C 因子的第 2、3 列进行类似的计算,就可得到表 5.2-4

的下半部分。根据其计算结果,可以得到如下两个主要的结论:

1. 因素的主次关系。根据极差  $R$  的大小,可以判断各因素对试验结果影响的大小。判断的原则是:凡是极差  $R$  越大,所对应的因子越主要。现第 2 列的极差是 57,是所有极差中最大的一个,该列是安排 B 因子,表明 B 因子对试验结果的影响是最主要的。其次,是 A 因子,再其次,是 C 因子。因而,因子的主次关系是:

B  $\longrightarrow$  A  $\longrightarrow$  C

2. 较优水平组合。根据  $k_1$ 、 $k_2$ 、 $k_3$  值的大小来确定 A、B、C 各因子取哪个水平好。确定的原则要根据对指标值的要求而定:如果要求指标值越大越好,则取最大的  $k$  所对应的那个水平;若要求指标值越小越好,则取最小的  $k$  所对应的那个水平;若要求指标值适中为好,则取适中的  $k$  所对应的那个水平。现所考察的指标值要求越大越好,则根据上述原则,B 因子取第 2 水平好,A 因子取“2”水平好,C 因子取“3”水平好。这样,就得到一个较优水平组合  $A_2B_2C_3$ ,即得到一个好条件:A:  $1100 \times 10^{-4}T$ ; B:  $11 \times \frac{\pi}{180}rad$ ; C: 90 匝。实际上这个条件已经包括在已做的 9 次试验之中,即就是第 5 号试验条件。

应当指出,在  $L_9(3^4)$  表的第 4 列,并没有安排因子,但也可以计算出极差数,这个数也能提供重要的信息,对分析总是有作用的,一般,可作为对试验误差的粗略估计。

### 5.2.3 几个问题的补充说明

#### 1. 正交试验设计的基本步骤

前面结合实际问题介绍了正交试验设计的基本步骤与方法,归结起来是:

- (1) 分析问题,明确试验的目的;
- (2) 确定因子水平表;
- (3) 选正交表,进行表头设计;
- (4) 制定试验计划表;
- (5) 进行试验,测定试验结果;
- (6) 对试验结果进行统计分析,得出因子的主次关系和较优水平组合。

#### 2. 在实际应用中可能遇到的情况

(1) 在前例中,分析得到的较优水平组合,已做过试验,即第 5 号条件。一般说来,它也是 27 个所有可能组合中最好的一个组合。但有时,分析得到的可能的好组合在首批试验中未出现,这时应作补充试验,加以验证。如试验后,效果确有提高,则它往往是所有可能组合中最好的组合,可先用于生产;如验证结果与实际有明显的差异,表明问题比较复杂,可能还有新的潜力可挖。一般说来,这是由于没有考虑因素间的交互作用或试验误差较大引起的。这时,应以试验中的最好者、次好者为基本依据,并找出试验误差较大的原因所在,加以克服,或进一步安排考察交互作用的试验。



(2) 在确定较优水平组合时,对于影响不明显的次要因素,取哪一个水平好,还要结合生产实际情况综合考虑。比如,为了有利于提高效率、降低消耗等目的,不一定取最大(或最小)的  $k$  所对应的那个水平,而可以取次大(或次小)的  $k$  所对应的水平,甚至取最小(或最大)的  $k$  所对应的水平。

(3) 通过第一批试验,已得到一个好成绩,有时,还希望继续做试验,以寻找更好的条件。这时,应在第一批试验获得的信息的基础上,以第一批试验中得到的好成绩为依据,设计第二批试验。

(4) 当试验结果的有效位数较多时,计算比较麻烦。为了简化计算,可以先对试验结果进行简化处理。比如,在各个试验结果中,都同时减去一个数,并不影响分析的结论。

## 5.3 因素之间的交互作用

### 5.3.1 交互作用的概念

前面仅考察了各个因素的单独作用,未考虑到因素之间的相互关系,这是一种简单的情形。实际上,在一些情况下,不仅各个因素单独在起作用,而且因素之间会联合起来影响试验结果的变化,这种作用称为因素之间的交互作用。因素 A 和 B 的交互作用记作  $A \times B$ 。现举一个简单的例子。某试验小组希望通过试验来考虑氮肥 N 和磷肥 P 对某种农作物产量的影响,为此,选择了土地情况大致相同的 4 块试验田进行试验。试验的方式与结果如表 5.3-1 所示。

表 5.3-1 试验方案及结果

磷 肥 P 氮肥 N	$P_1 = 0$ (kg)	$P_2 = 3$ (kg)
$N_1 = 0$	150	190
$N_2 = 4$	180	250

从表 5.3-1 中看出,不施氮肥、磷肥时,平均亩产 150kg;只施 4kg 氮肥,不施磷肥,平均亩产增加 30kg;只施 3kg 磷肥,不施氮肥,亩产增加 40kg;而两种肥料同时施放,亩产增加 100kg。这说明增产的 100kg 除了氮肥的单独效果 30kg 和磷肥的单独效果 40kg 以外,还有它们联合起来所产生的作用,即

$$(250 - 150) - (180 - 150) - (190 - 150) = 100 - 30 - 40 = 30(\text{kg})$$

就反映了这种联合起来的效果。在正交试验设计中,把这个值的一半称为 N 和 P 的交互作用,即

$$N \times P = \frac{1}{2} \times 30 = 15(\text{kg})$$

不难理解,两个因素的交互作用好像是在这两个因素的单独作用之外的一个“假设的因素”的作用,但它没有“水平”的选择,其作用的大小完全依赖于前两个因素及其水平的搭配。

当试验需要考察交互作用时,在正交试验设计里,如何安排试验并分析两个因素间的交互作用呢?前面已指出,两个因素的交互作用可作为与这两个因素密切相关的另一个“假想的因素”来处理,那么它在正交表上应表示出来,在表头上占有它的位置。而且这个位置不是随意的,而是由这两个因素在正交表上的位置来决定。这时,需要应用正交表的两列间的交互作用表。

### 5.3.2 应用实例

下面结合实例来说明步骤与方法。

[例 5.3-1] 提高某种药品得率的试验。所考察的因子及水平如表 5.3-2 所示。

表 5.3-2 因子水平

因 子 水 平	A 反应温度 (℃)	B 反映时间 (H)	C 配比 (某两种料之比)	D 真空度 (mmHg)
1	60	2.5	1.1/1	500
2	80	3.5	1.2/1	600

这是 2 水平 4 因子的试验,根据经验,D 因子与 A、B、C 因子之间无交互作用,但希望考察交互作用  $A \times B$ 、 $A \times C$ 、 $B \times C$ ,这是 3 个“假想”的因子,这样,就相当于有 7 个因子的试验。可选用  $L_8(2^7)$  表安排这个试验,见表 5.3-3。

表 5.3-3  $L_8(2^7)$  正交表

试 列 验 号	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

在表头设计时,还需用  $L_8(2^7)$  表的两列间交互作用表,见表 5.3-4。

表 5.3-4  $L_8(2^7)$  两列间的交互作用表

1	2	3	4	5	6	7	列号
(1)	3	2	5	4	7	6	1
	(2)	1	6	7	4	5	2
		(3)	7	6	5	4	3
			(4)	1	2	3	4
				(5)	3	2	6
					(6)	1	7
						(7)	

现进行表头设计。把因子 A 和 B 分别安排在表  $L_8(2^7)$  的 1、2 列,由于要考察 A、B 因子的交互作用  $A \times B$ ,在交互作用表上的列号(1)往右看,列号 2 垂直往下看,交叉处数字是 3,这就是说,第 1、2 列的交互作用列是第 3 列,即 A 和 B 的交互作用因子  $A \times B$  应安排在第 3 列,则第 3 列就不能安排其他因子。接着,再把因子 C 安排在第 4 列,同理,从表 5.3-4 可查出交互作用因子  $A \times C$  应安排在第 5 列,  $B \times C$  安排在第 6 列,最后把因子 D 安排在第 7 列上。这样,就得到表头设计如表 5.3-5。

表 5.3-5 表头设计

表头设计	A	B	$A \times B$	C	$A \times C$	$B \times C$	D
列号	1	2	3	4	5	6	7

表头设计好后,制定具体试验方案与前面相同,只要在安排 A、B、C、D 的 1、2、4、7 列中分别按水平符合填上规定该因子的第 1 水平和第 2 水平的具体内容,就可确定具体试验条件。试验计划与试验结果及其计算分析见表 5.3-6。

表 5.3-6 中交互作用列  $K_1$  和  $K_2$  的计算与其他列相同。 $K_1$  是该列“1”水平对应的试验结果之和, $K_2$  是该列“2”水平对应的试验结果之和。表中的极差  $R = (K_{\text{大}} - K_{\text{小}})/4$ ,当然不除 4 也不影响分析的结论。根据表中计算的结果,可以得出如下两个主要结论:

1. 因素的主次关系。从极差可以看出,第 4 列的极差最大,所以对应的 C 因子是最主要的;其次是 A 和 B 的交互作用因子  $A \times B$ ;再其次依次是 B、A。而  $A \times C$ 、 $B \times C$  及 D 因子对应的极差相对于其他因子而言都比较较小,可以认为主要是误差引起的,暂可忽略。因而因子的主次关系为:

$$C \longrightarrow A \times B \longrightarrow B \longrightarrow A$$

2. 较优水平组合。在确定较优水平组合时,一般说来,应按因素的主次排列顺序从左往右逐一确定。本例中,C 因子最主要,而指标值得率要求越大越好,所以 C 取  $C_2$  比  $C_1$  得率高。排在第 2 位的是交互作用因子  $A \times B$ ,因交互作用因子无实际水平可言,所以说取哪个水平好没有实际意义,应该说取何种水平搭配好,不能

按该列的  $K_1$ 、 $K_2$  值的大小来确定。对于两因素 2 水平的情形,所有可能的搭配有 4 种,在 8 次试验中,每种搭配都重复了 2 次试验,根据正交表的综合可比性,可计算出这 4 种搭配下试验结果的平均值,其中最大值所对应的水平搭配就是最好的水平搭配。具体的计算格式与结果,如表 5.3-7 所示。

表 5.3-6 试验结果及计算格式

试验号 列号	表头设计							试验结果
	A 1	B 2	A×B 3	C 4	A×C 5	B×C 6	D 7	得率 $y_i$ (%)
1	1(60)	1(2.5)	1	1(1.1/1)	1	1	1(500)	86
2	1	1	1	2(1.2/1)	2	2	2(600)	95
3	1	2(3.5)	2	1	1	2	2	91
4	1	2	2	2	2	1	1	94
5	2(80)	1	2	1	2	1	2	91
6	2	1	1	1	1	2	1	96
7	2	2	1	1	2	2	1	83
8	2	2	1	2	1	1	2	88
$K_1$	366	368	352	351	361	359	359	$\Sigma = 724$
$K_2$	358	356	372	373	363	365	365	
R	2.0	3.0	5.0	5.5	0.5	1.5	1.5	

表 5.3-7 二元分析表

B A	A	
	$A_1$	$A_2$
$B_1$	$\frac{86+95}{2} = 90.5$	$\frac{91+96}{2} = 93.5$
$B_2$	$\frac{91+94}{2} = 92.5$	$\frac{83+88}{2} = 85.5$

从表 5.3-7 可知,  $A$ 、 $B$  之间的最好搭配是  $A_2 B_1$ 。对于排列第 3 位的  $B$  因子,比较该列的  $K_1$  和  $K_2$ , 可知  $B$  取  $B_1$  好。同理,  $A$  因子取  $A_1$  好, 把前面的讨论归结如下:

因素的主次关系:  $C \rightarrow A \times B \rightarrow B \rightarrow A$

较优水平或搭配:  $C_2 A_2 B_1 B_1 A_1$

可以看到,  $A$  因子单独作用取  $A_1$  好, 而它与  $B$  因子搭配作用中取  $A_2$  好, 这存在交互作用时, 这种矛盾现象是经常出现的。这时,  $A$  因子取哪一个水平好呢? 一般说来, 次要的应服从主要的, 本例中应取  $A_2$ 。所以较优水平组合为

$A_2B_1C_2D$ ,  $D$  因子的水平可视实际情况来确定, 本例中不妨取  $D_2$ , 最后得  $A_2B_1C_2D_2$ 。

应当指出的是, 如果出现:

$$\begin{array}{ccccc} A \times B & \longrightarrow & B & \longrightarrow & A \\ A_2B_1 & & B_2 & & A_1 \end{array}$$

或者

$$\begin{array}{ccccc} B & \longrightarrow & A \times B & \longrightarrow & A \\ B_2 & & A_2B_1 & & A_1 \end{array}$$

等, 则  $A$  和  $B$  取怎样的搭配好呢? 这就不能简单地直观地确定, 需要进一步综合分析, 这里不予讨论。

### 5.3.3 几个问题的进一步说明

下面, 再进一步说明几个问题:

1. 在需要考虑交互作用的问题里, 表头设计需要遵循一个原则, 即表头上每列最多只能安排一个内容, 不允许出现同一列安排两个或两个以上内容的混杂现象。这在因子数不多的简单情形下是容易做到的, 但当因子数及要考察的交互作用较多时, 也是一项麻烦的工作。要避免这种混杂现象, 与选表有关, 也与经验有关。表选大一些, 自然容易避免混杂, 但试验次数要多; 表选小了, 可能不可避免地要出现混杂。那么, 怎么样选表有没有一个原则呢? 一般说来, 可以遵循这样一条原则: 所选正交表的自由度必须大于要考察的因子及交互作用的自由度总和。关于自由度的计算说明如下。

正交表的总自由度  $f_{\text{总}} = \text{试验次数} - 1$ ; 正交表每列的自由度  $f_{\text{列}} = \text{该列水平数} - 1$ 。

因子  $A$  的自由度  $f_A = \text{因子 } A \text{ 的水平数} - 1$ ; 因子  $A$ 、 $B$  间交互作用的自由度  $f_{A \times B} = \text{因子 } A \text{ 的自由度} \times \text{因子 } B \text{ 的自由度} = f_A \times f_B$ 。

因此, 2 水平正交表中每列的自由度是 1, 而 2 水平因子的自由度也是 1, 所以 2 水平因子的交互作用的自由度也是 1, 故在正交表上也只占一列。不难明白, 对于 3 水平的正交表, 每列的自由度是 2, 3 水平因子的自由度也是 2, 所以两个 3 水平因子的交互作用的自由度是 4, 故在 3 水平正交表上应占两列。对于多水平的情形, 可以依次类推。

需要注意的是, 上述指出的原则是选用正交表必须要满足的条件, 并不是说按此原则选取的正交表就一定能安排得下要考察的因子及交互作用, 如何选到合适的正交表, 还要我们通过具体实践尝试。

2. 要解决既要避免混杂, 又要试验次数尽可能少的矛盾, 还需要我们在实际应用中能灵活地考虑和处理问题。在明确了试验要考察的因子及水平之后, 必须根据经验判断剔除不存在的交互作用及可以忽略的交互作用。明确哪些交互作用要着重考察, 哪些是希望在不增加试验次数的情况下能尽量照顾考察。这样, 在表

头设计的时候,首先安排要着重考察的交互作用的那些因子,最后,的确放不下时,可以让照顾考察的交互作用混杂。一般说来,也能很好地达到我们试验的目的。

3. 上面所讨论的交互作用,是指两个因子之间的交互作用,称为一级交互作用。在某些特殊问题里,还存在着3个或3个以上因子间的交互作用,称为高级交互作用。高级交互作用以因子连乘的记号来表示,比如  $A \times B \times C$  就是2级交互作用,它也可以用正交表的某一列来计算。比如,在  $L_8(2^7)$  表中, $A$ 、 $B$  分别安排在表的第1、2列, $A \times B$  在第3列, $C$  安排在第4列,因第3列和第4列的交互作用是第7列,所以  $A \times B \times C$  因子占第7列。

但实践经验表明,在一般的问题里,极大部分2级和2级以上的交互作用都是可以忽略的,大部分一级交互作用也是可以忽略的,利用交互作用可以忽略这一点来减少试验次数的潜力是很大的。在一个问题里,究竟哪些交互作用可以忽略,需要依靠我们的实践经验和专业知识来判断。因此,应用正交试验设计法还要和我们的实践经验及专业知识很好结合,这样才能使正交试验设计法发挥更好的作用。

## 5.4 正交表的灵活应用

前面已介绍了如何应用正交表来安排水平数相同的多因子试验及其分析方法。在实际问题中还会遇到一些特殊或复杂的情况,这时,就需要灵活应用正交表。灵活应用的方法很多,本节作简要的介绍。

### 5.4.1 正交表的并列

正交表的并列法是处理因子水平数不全相同时试验的常用方法。这里以2水平正交表为例进行讨论。2水平正交表并列后就可得到一张既有2水平列又有4水平列的混合水平的正交表。这样的表既能安排2水平因子,又能安排4水平因子。

表 5.4-1  $L_8(2^7)$  正交表

列号 试验号	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

现以  $L_8(2^7)$  表为例加以说明。 $L_8$  表如表 5.4-1 所示,从中任选两列,例如第 2、3 列,它们的横行组成 8 个数对,恰好 4 种不同的数对各出现 2 次,把每一种搭配用 1 个数字来代表。其规则如下:

11 → 1  
12 → 2  
21 → 3  
22 → 4

于是就可以把这两列改变成新的一列,见表 5.4-2。

表 5.4-2 并列后的新列

列 号 试 验 号	2	3	新 列
1	1	1	1
2	1	1	1
3	2	2	4
4	2	2	4
5	1	2	2
6	1	2	2
7	2	1	3
8	2	1	3

把  $L_8$  表中第 2、3 列代以新列,并删去第 2、3 列的交互作用列第 1 列,就得到表 5.4-3。

表 5.4-3 新正交表  $L_8(4 \times 2^4)$

列 号 试 验 号	新 列	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2
3	4	1	1	2	2
4	4	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2
6	2	2	1	2	1
7	3	1	2	2	1
8	3	2	1	1	2

不难验证,这张新表仍满足正交表的两个性质。所以,按上述指定规则改造后的新表是一张混合水平的正交表,并用记号  $L_8(4 \times 2^4)$  表示。它的 2 水平列的自由度是 1, 4 水平列的自由度是 3。它的任意两个 2 水平列的交互作用列仍可由  $L_8(2^7)$  表的交互作用表查出,它的 4 水平列与任一 2 水平列的交互作用列都有 3 列,而且就是 1、2、3 列与该列的 3 个交互作用列。

上述新表的原理对其他 2 水平表都是适用的,也可推广到 3 水平的正交表。

利用这类混合水平正交表来安排水平数不等的试验,其试验方案的设计与试验结果的分析,与前面所介绍的方法类似。只要注意,在计算并列后得到的新列的  $K_i$  值时,有几个水平就要计算几个  $K_i$  值;在求平均值  $K_i$  时,由  $k_i$  除以该列中各水平的重复数。

### 5.4.2 拟水平设计

正交表的拟水平设计是在水平数较多的正交表上安排水平数较少的因子的方法。比如,在 3 水平正交表中可用拟水平设计安排 2 水平因子,在 4 水平正交表中可用拟水平设计安排 3 水平因子,等等。因此,正交表的拟水平设计是解决水平数不相同的多因子试验的一个途径。

[例 5.4-1] 为了提高某产品的转化率,要进行工艺试验。需考察的因素有温度、时间、用碱量、搅拌速度。由于所用电动机只有快、慢两档,所以搅拌速度只能取 2 水平。其他因素考虑取 3 水平。因子水平表如表 5.4-4。

表 5.4-4 因子水平

因 子 水平	A 温度(℃)	B 时间(分)	C 用碱量(%)	D 搅拌速度
1	80	90	5	快速
2	85	120	6	慢速
3	90	150	7	

这是 4 因子混合水平的试验,现选用  $L_9(4^3)$  表进行拟水平设计。根据经验,2 水平因子 D 的第 1 水平可能更好一些,因此把 1 水平再重复一次,这样就可把 D 因子看成 3 水平的因子,只不过第 3 水平与第 1 水平的状态相同,故称为“拟水平”。现把 A、B、C 三因子分别安排在  $L_9$  表的第 1、2、3 列, D 因子安排在第 4 列,并把第 4 列中的 3 都改为 1。改造后的表及试验方案和试验结果见表 5.4-5。

表 5.4-5 试验结果与计算格式

列 号 试 验 号	A 1	B 2	C 3	D 4	试验结果 转化率(%)
1	1(80)	1(90)	1(5%)	1(快)	31
2	1	2(120)	2(6%)	2(慢)	54
3	1	3(150)	3(7%)	1	38
4	2(85)	1	2	1	53
5	2	2	3	1	49
6	2	3	1	2	42
7	3(90)	1	3	2	57



续表

列号 试验号	A 1	B 2	C 3	D 4	试验结果 转化率(%)
8	3	2	1	1	62
9	3	3	2	1	64
$K_1$	123	141	135	297	$\Sigma = 450$
$K_2$	144	165	171	153	
$K_3$	183	144	144		
$k_1$	41	47	45	49.5	
$k_2$	48	55	57	51	
$k_3$	61	48	48		
R	20	8	12	1.5	

在分析计算中,只需注意,在第4列即拟水平列中, $K_1$ 是该列1水平对应的6个试验结果之和, $K_2$ 是2水平对应的3个试验结果之和,因此, $k_1 = K_1/6$ , $k_2 = K_2/3$ 。从计算的极差看出,A因子最主要,其次是C,再其次是B与D。因转化率这项指标要求越高越好,因而较优水平组合为 $A_3B_2C_2D_2$ 。

最后指出,从表5.4-5中看出,改造后的这个表的水平号的排列有以下两个性质:

1. 就每一列看,可分两种情况:未改动的列各水平出现次数相同;改动后的列1出现的次数正是2的两倍。

2. 就每两列看,可分两种情况:未改动的列,它们组成的有序数对出现的次数相同;一列改动,一列未改动,改动的列出现数字1的各水平搭配正好是数字2的两倍,如(1,1)是(1,2)的两倍,(2,1)是(2,2)的两倍,(3,1)是(3,2)的两倍。称上面两性质为“部份均衡搭配”性质。

### 5.4.3 活动水平与组合因子

#### 1. 活动水平

在有的实际问题中,两个或多个因素之间存在一定的相互依赖关系,一种因素水平的选取要随着另外因素水平而变化,这时可采用活动水平的方法。

[例5.4-2] 化学铣切工艺试验

化学铣切主要工艺因素有碱浓度、铝含量、温度。在化铣过程中,当铝含量不断增加时,游离碱度不断减少,因此,当铝含量增加一定程度时,就达到饱和状态,不能继续化铣。因此,当起始碱浓度水平较低,铝含量水平较高时,有可能出现不能进行搭配试验的情形。这时,我们可以对铝含量的水平采用随起始碱浓度水平而变化的活动水平。

在实验室里做的小试验,所选水平如表5.4-6。

表 5.4-6 因子水平

因子 水平	A NaOH 浓度(g)	B 铝含量(g)	C 温度(℃)
1	120	(A)10%	80
2	180	(A)40%	90

除了要考察因子的单独作用外,还要考察交互作用  $A \times B$ 、 $A \times C$ 、 $B \times C$ 。选用  $L_8$  表安排试验,试验方案见表 5.4-7。

表 5.4-7 试验计划

表头设计 列号 试验号	A 1	B 2	$A \times B$ 3	C 4	$A \times C$ 5	$B \times C$ 6	7
1	1(120)	1(12)	1	1(80)	1	1	1
2	1(120)	1(12)	1	2(90)	2	2	2
3	1(120)	2(48)	2	1(80)	2	2	2
4	1(120)	2(48)	2	2(90)	1	1	1
5	2(180)	1(18)	2	1(80)	2	1	2
6	2(180)	1(18)	2	2(90)	1	2	1
7	2(180)	2(72)	1	1(80)	1	2	1
8	2(180)	2(72)	1	2(90)	2	1	2

## 2. 组合因子

在实际试验中,有时为了少做一些试验或照顾到实际操作方便,也可以把两个或多个因素组合起来当作一个因素来对待,这种由两个或多个因素组合起来的因素叫做组合因子,它的水平的选取就是它内部各因子的不同水平的各种搭配。

[例 5.4-3] 某橡胶配方试验

所考察的因素及水平如表 5.4-8 所示。

表中因子 A 是由 M、DM、D、T、T 四个成分组合而成的,它们之间的某些搭配构成了 A 的 4 个水平。至于要选几个水平,这要根据实际情况而定。比如因子 B、D 都是组合因子,它们就只取两个水平。一般说来,采用组合因子时,往往要用正交表的并列法或拟水平法进行试验设计。

表 5.4-8 因子水平

因 子 水 平	A 促进剂	B 补强剂	C 硫磺	D 氧化锌与硬脂酸	E 软化剂
1	$\begin{cases} \text{M} & 1.5 \\ \text{DM} & 0.7 \\ \text{D} & 0.4 \end{cases}$	高耐磨 70	1.8	$\begin{cases} \text{ZnO} & 5 \\ \text{硬脂酸} & 1 \end{cases}$	二氢脂 8
2	$\begin{cases} \text{D} & 1.6 \\ \text{DM} & 1.1 \end{cases}$	$\begin{cases} \text{高耐磨} & 52 \\ \text{喷雾炭黑} & 26 \end{cases}$	1.5	$\begin{cases} \text{ZnO} & 10 \\ \text{硬脂酸} & 2 \end{cases}$	二丁脂 8
3	$\begin{cases} \text{DM} & 1.5 \\ \text{T.T} & 0.4 \end{cases}$				
4	$\begin{cases} \text{DM} & 2 \\ \text{T.T} & 0.2 \end{cases}$				

#### 5.4.4 其他方法简介

1. 拟因子设计。它和拟水平设计一样,也是为了解决水平数不同的多因子试验问题,而拟因子设计的思想是将水平较多的因子排入水平数较少的正交表中,其中较常用的是把 3 水平因子排入 2 水平正交表。

2. 直和法。当实际中遇到因子数较多,水平数又不等的试验问题时,如果把这些因子安排在一张正交表中进行试验,次数太多,要经很长时间才能得出结果。直和法的基本思想是分阶段进行试验,先把一部分因子和水平安排在第一张较小的正交表上进行试验,如果试验结果未能达到要求,再充分利用第一阶段试验结果提供的信息,在第二张正交表上安排下一批试验。最后,再对两张正交表上试验的结果进行统一的分析。

3. 分割法设计。在比较复杂的试验中,可能要经过好几道工序才能得出结果。而在这些工序中,有的重复起来容易些,有的困难些。试验中要考察的因子,分属于不同的工序。分割法设计的思想,是按照这些工序重复起来的难易程度将因子分类,并通过适当地安排试验,使得重复起来困难的工序,尽可能少重复;重复起来容易的工序,可以多重复一些。

4. 直积法。在橡胶、化工问题中,所考察的因子既有配方因子,又有工艺条件因子。类似地,在冶金问题中,所考察的因子既有确定各金属成分的因子,又有热处理工艺的因子。这两类因子的性质是不同的。试验的目的既要寻求好的配方成分,又要寻求适合于这种好的配方或成分的工艺条件。因此,我们还希望考察这两类因子间的交互作用。直积法就是将这两类因子分别安排在两张正交表上,再按工序的顺序进行试验,最后,对这两张表的试验结果进行统一分析。

## 5.5 田口方法

田口方法是质量工程技术,就其采用的方法而言,主要是正交试验设计法的运用。本节对田口三次设计的基本思想和内容作简要的介绍。

### 5.5.1 基本概念

#### 1. 质量干扰

质量控制的主要目的之一是控制产品质量特性的波动,因为,质量特性波动超过一定界限时就会使产品发生故障或丧失功能。引起质量特性波动的原因,一般称为质量干扰,或叫质量波动源。质量干扰具体表现形式多种多样,归纳起来大致有以下三个方面:

(1) 外干扰。由于环境因素与使用条件的变化或波动,如温度、湿度、位置、尘埃、输入电源、磁场、机械振动、腐蚀气体等的变化或波动,而引起产品性能波动。这些干扰会使质量性能不稳定,影响产品功能的正常发挥,但这些干扰出现在产品的外部,故称为外干扰或外噪声。

(2) 内干扰。产品在库存或使用中,产品本身的零件、材料会随着时间的推移发生质量变化,从而引起产品性能的变化。例如,电器产品绝缘材料的老化,零件在使用中承载负荷产生磨损、蠕变,滑动期间润滑材料的干扰与老化等等,都会恶化产品质量特性,产生故障甚至丧失功能。这些使产品性能波动的原因存在于产品本身内部,故称为内干扰或内噪声。

(3) 产品间的波动。由于构成产品的材料、元件、零件,在外协或外购时就存在着波动,在制造过程中由于操作、设备、原材料或坯件、工艺参数或环境条件等也不可避免地存在着波动,使得按同一规格和生产条件下生产出来的一批产品,其间的质量特性也会存在波动。这种波动称为产品间波动。这种干扰也是一种内干扰,如果说,老化干扰是时间上的内干扰,则产品间的波动就是空间的内干扰。

产品的质量好,性能稳定,应表现在产品性能波动为最小。在各种外干扰和内干扰的情况下,产品仍能正常发挥功能,才算得上性能优良的产品。因此,为了保证和提高产品质量,应研究如何减少上述三种干扰,也就是说,应提高产品的抗干扰能力。

#### 2. 质量的评价

(1) 质量的定义。什么叫质量?按照前述的思路,优质的概念是质量特性值趋向目标值,质量特性值越接近目标值,产品发生故障甚至丧失功能性就变小,给用户和社会带来损失的可能性也减少,用户就越满意。

田口给质量下了如下的定义:

“所谓质量就是产品出厂后给社会带来的损失”。质量好,社会损失小;质量差,社会损失大。这个定义将质量和经济性密切结合起来。根据田口关于质量的

定义,质量和损失之间可建立函数关系,这样可使质量评价定量化。

(2) 质量损失函数。设产品的质量特性值为  $y$ , 目标值为  $m$ , 质量损失函数为  $L(y)$ 。当  $y = M$  时,  $L(Y)$  达最小且为零。无论特性值是变大或变小, 其质量损失可用质量特性值与目标值偏差平方成比例来表示, 即质量损失函数为

$$L(y) = K(y - m)^2 \quad (5.5-1)$$

式中  $K$  为质量损失函数的比例常数。不同情况下  $K$  值有所不同, 并可定量求出。当产品成批生产时, 应考虑各质量特性偏离目标值的偏差平方的平均值, 即方差  $\sigma^2$ 。这时的质量损失函数(又称质量水平)为:

$$L(y) = K\sigma^2 \quad (5.5-2)$$

(3) 安全系数。如果将质量特性偏离目标值而产品丧失功能时的功能界限用  $\Delta$  表示, 质量损失为  $A_0$ , 则根据(5.5-1)式可得

$$A_0 = K\Delta_0^2, K = \frac{A_0}{\Delta_0^2}$$

工厂制订产品技术规格时, 不能按功能界限考虑, 而应该更严格些, 采用一定的安全系数。设产品技术规格要求的容差为  $\Delta$ , 超出技术规格时工厂的损失为  $A$ , 则根据式(5.5-1)可得

$$A = K\Delta^2 = \frac{A_0}{\Delta_0^2} \Delta^2$$

$$\Delta = \sqrt{\frac{A}{A_0}} \Delta_0 = \frac{\Delta_0}{\Phi} \text{ 称为安全系数。} \quad (5.5-3)$$

式中  $\Phi = \sqrt{\frac{A}{A_0}}$ , 称为安全系数。

安全系数是质量工程中的一个重要概念, 采用安全系数, 可以合理地确定与评价工程中多层次的容差, 包括原因特性容差、各工序容差及老化特性容差等。

(4) 信噪比( $SN$  比)。为了对质量进行评价, 需要对质量特性值的波动进行分析研究。在各种设计、工艺和试验条件下, 若有若干个质量特性值, 设与目标值之差为  $y_1, y_2, \dots, y_n$ 。在质量工程中经常运用的评价指标有:

$$\text{全波动 } S_T = y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_n^2 \quad (5.5-4)$$

$$\text{一般平均波动 } S_m = \frac{y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_n^2}{n} \quad (5.5-5)$$

$$\text{误差波动 } S_e = S_T - S_m \quad (5.5-6)$$

$$\text{误差方差 } V_e = \frac{S_e}{n-1} \quad (5.5-7)$$

$$\text{信噪比 } \eta = \frac{\frac{1}{n}(S_m - S_e)}{V_e} \quad (5.5-8)$$

$$\text{灵敏度 } S = \frac{1}{n}(S_e - V_e) \quad (5.5-9)$$

其中,信噪比(SN比)是质量工程中用得较为广泛的质量评价指标。

由于质量特性的类型不同,SN比的表达式也有所不同。产品或系统的质量特性可分为静态特性和动态特性。静态特性包括望目、望小和望大特性。

望目特性是有预定目标值的特性,希望质量特性值趋向目标值。望目特性的SN比公式如(5.5-8)表示。为了避免计算中出现过大的数值,往往要对SN取常用对数的10倍来使用,即

$$\eta = 10 \log \frac{1}{n} \frac{(S_m - S_e)}{V_e} \quad (\text{分贝}) \quad (5.5-10)$$

望小特性是不取负值,希望越小越好的特性。设望小特性值与目标值零的偏差为 $y_1, y_2, \dots, y_n$ ,则其方差为 $\sigma^2$

$$\sigma^2 = (y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_n^2) \quad (5.5-11)$$

望小特性的SN比为

$$\eta = 10 \log \frac{1}{\sigma^2} = -10 \log \sigma^2 \quad (5.5-12)$$

望大特性是不取负值,希望越大越好的特性。对于望大特性 $y$ ,如取其倒数,就可以和望小特性同样处理。这时,方差 $\sigma^2$ 为

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \left( \frac{1}{y_1^2} + \frac{1}{y_2^2} + \dots + \frac{1}{y_n^2} \right) \quad (5.5-13)$$

望大特性的SN比为

$$\eta = -10 \log \sigma^2 = -10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \quad (5.5-14)$$

### 5.5.2 三次设计

三次设计又称三阶段设计,即系统设计、参数设计和容差设计。三次设计可应用于产品的开发设计,也可应用于各种工艺参数的优化、测试系统的最优设计、材料配方和材料工艺等各个方面。

(1) 系统设计。根据产品规划所要求的功能,利用专业知识和技术,对该产品的整个系统结构和功能进行设计,称为系统设计。系统设计又叫功能设计或一次设计。

进行系统设计时,往往提出具有相同功能的各种系统方案,这就需要将有关人员集中在一起,对规划阶段确定的功能、成本、寿命等各个项目的优劣,进行方案论证,交换意见,然后作出选择。如当产品因丧失功能会给社会造成重大损失时,系统设计的内容还应考虑是否要进行安全设计。

对于复杂的系统产品,当总体设计方案确定后,就要进行分系统设计,零、部件设计、原材料的研制等。其中任一阶段都有系统设计、参数设计和容差设计的问题。

(2) 参数设计。在系统设计之后,就要进行参数设计,故也称参数设计为二次

设计。参数设计是要确定系统中有关的参数值及其最优组合,是为了提高质量和降低成本。通过参数设计,使系统的参数值合理搭配,从而有可能用廉价的元、器件制造出性能良好的整机,或放宽系统中有关数值的容差,而达到系统输出特性值的稳定。

三次设计的重点是参数设计,参数设计的重点是稳定性设计。

设系统的质量特性值为  $y$ ,  $y$  的目标值为  $y_0 = m$ , 其影响因素为  $A, B, \dots, L$ 。一般优化设计的任务是寻找一组最优解  $A_0, B_0, \dots, L_0$  (参数可取的值或水平), 使得

$$y_0 = f(A_0, B_0, \dots, L_0) = m \text{ (或 } \rightarrow m \text{)}$$

稳定性设计的目的不是着眼于找出满足约束条件的最优解  $A_0, B_0, \dots, L_0$ , 或求出目标函数值  $y_0$ , 而是使系统输出特性  $y$  的波动尽可能小, 稳定性好, 能抗干扰。

由于影响系统输出特性值  $y$  的各种参数值是有误差或有波动的, 因而  $y$  值也是有波动的。设各参数值的误差或波动  $\Delta A, \Delta B, \dots, \Delta L$ , 这时,  $y = f(A_0 \pm \Delta A, B_0 \pm \Delta B, \dots, L_0 \pm \Delta L)$  将偏离理想的目标值  $m$ 。因此, 要考虑  $y = f(A_0 \pm \Delta A, B_0 \pm \Delta B, \dots, L_0 \pm \Delta L)$  与目标值  $m$  的接近程度。误差因素水平的不同,  $y$  取值也不同。也就是说,  $y$  有可能取值  $y_1, y_2, \dots, y_n$ 。如不同的  $y$  值都接近目标值并在允许范围内, 稳定性才是好的。

衡量稳定性好坏的指标, 常用的是 SN 比或方差。采用稳定性设计, 可使产品或部件中参数搭配合理, 即使元件和零件的性能波动较大, 也能保证整机性能的优良与稳定。这就是说, 可以利用价廉的元器件制造出性能优良的整机, 从而有利于降低成本、保证质量和参与市场竞争。

作为稳定性优化设计的参数设计, 田口成功地运用了内正交表和外正交表相结合的方法进行试验或计算(对于系统中质量特性和各参数之间已建立函数关系的可进行计算), 并以 SN 比作为质量评价指标, 以寻求最优的稳定性好的参数组合。

采用这种方法需要对影响输出特性的因素进行分类, 按其在系统中所起的作用分为 4 类: 可控因素, 标示因素, 信号因素和误差因素。可控因素是因素的各水平能加以控制的因素; 标示因素是与环境条件和使用条件有关的因素, 可以了解因素的水平, 但不能加以选择和控制; 信号因素是动态特性中输出变量因素; 误差因素是除上述因素以外的因素, 是对产品质量特性有影响的所有内、外干扰因素。经这样分类后, 在内正交表上安排可控因素和标示因素, 而在外正交表上安排信号因素和误差因素。

稳定性设计首先考虑的是改善系统的 SN 比, 使系统输出的波动减少到最低程度, 然后在目标给定时特性值调整到目标值。按照这种思想, 通过试验或计算出可控因素对 SN 比和灵敏度  $S$  的效应, 选择对 SN 比有影响的因素, 取其最优水平组合以达到系统的稳定性。然后选用一个对 SN 比影响小, 而对灵敏度  $S$  影响大的

因素作为调整因素,调整系统的输出值使之达到或接近于目标值。

稳定性设计方法也称为参数设计的二阶段设计法。

(3)容差设计。通过参数设计确定了系统各参数值之后,就要进行容差设计,以进一步确定有关参数的容许波动的范围。

容差设计不仅要考察系统本身各参数对目标特性值的影响,还应考虑到环境条件和时间效应诸因素对目标特性的影响。同时,还要进一步分析系统中各因素的波动对输出特性值波动的影响程度,并利用贡献率作为因素效应的定量评价指标。对于影响大的因素,可以规定较狭小的允许波动范围,并可用波动幅度小的一级品或二级品代替三级品。虽然采用质量等级高的元件或部件,能将波动幅度控制在较狭小的范围内,但会引起成本的上升。因此,要从质量、成本、市场等来综合考虑,合理决定各因素的参数值容差的大小及采用零件、元件和材料等的质量等级的高低。

### 5.5.3 参数设计的实验例

参数设计不仅可以在质量特性与参数之间的函数关系有数学表达式的情况下进行,也可以在函数关系没有数学表达式的情况下进行。前者可利用已知的函数表达式来计算,后者则需要进行试验。下面举一个望大特性参数设计的实验例。望大特性的损失函数如图 5.5-1 所示。

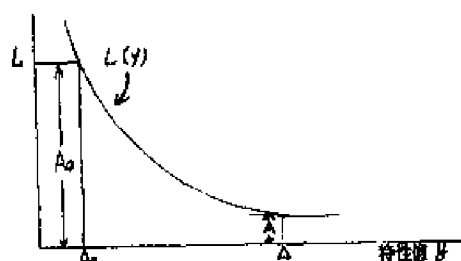


图 5.5-1 望大特性的损失函数( $\Delta$ 为说明书上的容差)

根据图 5.5-1,损失函数  $L(y)$  有:

$$L(\infty) = 0 \quad (5.5-15)$$

$$L'(\infty) = 0 \quad (5.5-16)$$

将  $L(y)$  在  $y = \infty$  处对  $y$  的倒数进行泰劳展开:

$$L(y) = \frac{L(\infty) + L'(\infty)}{1!} \times \frac{1}{y} + \frac{L''(\infty)}{2!} \times \frac{1}{y^2} + \dots \quad (5.5-17)$$

将(5.5-15)式和(5.5-16)式代入(5.5-17)式,并省略 3 次以上的项,得到

$$L = K \times \frac{1}{y^2} \quad (5.5-18)$$

设  $y = \Delta_0$  时,损失  $L\Delta_0 = A_0$ ,将此代入(5.5-18)式得



$$A_0 = K \times \frac{1}{\Delta_0^2}$$

因此,比例常数  $K$  为:

$$K = A_0 \Delta_0^2 \quad (5.5-19)$$

将(5.5-19)式代入(5.5-18)式,得损失函数的近似公式为:

$$L(y) = A_0 \Delta_0^2 \times \frac{1}{y^2} \quad (5.5-20)$$

式中  $\Delta_0$  为丧失功能时的功能界限,  $A_0$  为质量损失。下面的例子中将使用此公式。

[例 5.5-1] 粘接强度的质量改进

某塑料和铝的粘接强度的规格为 15kgf 以上,超出规格的产品为不合格品,此时的损失为 60 元。为了提高粘接强度的质量,要进行试验。

考察的可控因素及水平如表 5.5-1。

表 5.5-1 因子水平表

因子 水平	A 涂敷量	B 粘接温度	C 粘接时间	D 加压力	E 中心形状	F 液混合化	G 液混合比
1	$A_1$	$B_1$	$C_1$	$D_1$	$E_1$	$F_1$	$G_1$
2	$A_2$	$B_2$	$C_2$	$D_2$	$E_2$	$F_2$	$G_2$
3	$A_3$	$B_3$	$C_3$	$D_3$	$E_3$	$F_3$	$G_3$

现用条件为  $A_1 B_2 C_2 D_2 E_2 F_2 G_2$ 。

这是  $2^1 \times 3^6$  因子试验,选用  $L_{18}(2^1 \times 3^7)$  正交表安排这个试验,每个条件下作两个试件,即在粘接后取两个水平,计测粘接强度的数据。试验方案及结果数据见表 5.5-2。

将  $y$  作为误差因素,由望大特性 SN 比公式(5.5-14)计算  $\eta$  值。本例  $\eta$  的计算公式为

$$\eta = -10 \log \frac{1}{2} \left( \frac{1}{y_1^2} + \frac{1}{y_2^2} \right)$$

计算结果列在表 5.5-2 的右列。

根据 SN 比  $\eta$  值,计算每列各水平的数据和  $K_1$ 、 $K_2$ 、 $K_3$  及各列的平方和  $S$ 、贡献率  $\rho$ ,计算结果见表 5.5-2 的下方。

从计算的结果看出,因素的主次关系是

$B \longrightarrow C \longrightarrow F \longrightarrow E \longrightarrow D \longrightarrow G$

较优水平组合是  $A_2 B_3 C_3 D_3 E_{2,3} F_2 G_2$ ,其中  $E$  可取第 2 水平或第 3 水平,效果相当。与现状条件比较, $E$ 、 $F$ 、 $G$  因子所取水平相同,而主要因子  $B$ 、 $C$ 、 $D$  水平不同,可考虑把它们作为改善质量的因素。

表 5.5-2 试验方案、数据和 SN 比

列 试 验 号	A	B	C	D	E	F	G	e	数据 (kgf)		$\eta$ (dB)
	1	2	3	4	5	6	7	8	$y_1$	$y_2$	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	12	12.3
2	1	1	2	2	2	2	2	2	8	10	18.9
3	1	1	3	3	3	3	3	3	9	9	19.1
4	1	2	1	1	2	2	3	3	9	10	19.5
5	1	2	2	2	3	3	1	1	10	13	21.0
6	1	2	3	3	1	1	2	2	14	15	23.2
7	1	3	1	2	1	3	2	3	7	10	18.2
8	1	3	2	3	2	1	3	1	10	12	20.7
9	1	3	3	1	3	2	1	2	14	15	23.2
10	2	1	1	3	3	2	2	1	8	8	18.1
11	2	1	2	1	1	3	3	2	4	14	14.7
12	2	1	3	2	2	1	1	3	9	10	19.5
13	2	2	1	2	3	1	3	2	7	1	18.2
14	2	2	2	3	1	2	1	3	11	12	21.2
15	2	2	3	1	2	3	2	1	13	14	22.6
16	2	3	1	3	2	3	1	2	10	11	20.4
17	2	3	2	1	3	1	2	3	12	14	22.2
18	2	3	3	2	1	2	3	1	15	17	24.0
$K_1$	176.1	102.6	106.7	114.5	15.4	116.1	117.6	118.7	$T = 357$ $\bar{T} = 19.8$ $\Sigma = 150.66$		
$K_2$	180.9	125.7	118.7	119.8	121.6	124.9	123.2	118.6			
$K_3$		128.7	131.6	122.7	121.8	116.0	116.2	119.7			
$S$	1.28	67.99	51.69	5.76	7.29	8.70	4.57	3.26			
$\rho(\%)$	0.8	45.1	34.3	3.8	4.8	5.8	3.0	2.2			

现估计一下较优水平组合的工程平均值,并与现状条件进行比较。为避免过大估计,只考虑主要因子 B、C、F、E、D,

$$\begin{aligned}\mu_{B_3 C_3 F_3 E_3 D_3} &= \bar{\mu} + \hat{b}_3 + \hat{c}_3 + \hat{d}_3 + \hat{e}_3 + \hat{f}_2 = \bar{T} + \frac{k_3(B) + K_3(C) + K_3(D) + K_3(E) + K_2(F)}{6} - 5\bar{T} \\ &= \frac{128.7 + 131.6 + 122.7 + 121.8 + 124.9}{6} - 4 \times 19.8 \\ &= 25.75\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu_{B_2 C_2 D_2 E_2 F_2} &= \bar{\mu} + \hat{b}_2 + \hat{c}_2 + \hat{d}_2 + \hat{e}_2 + \hat{f}_2 = \bar{T} + \frac{k_2(B) + K_2(C) + K_2(D) + K_2(E) + K_2(F)}{6} - 5\bar{T} \\ &= \frac{125.7 + 118.7 + 119.8 + 121.6 + 124.9}{6} - 4 \times 19.8 \\ &= 22.58\end{aligned}$$

将较优条件与现行条件比较,可见改进了 3 分贝,损失减少一半。

若假定该实验数据是以市场上的标准条件作为代表的数据,则损失函数为

$$L = A_0 \Delta_0^2 \sigma^2 = 60 \times 15^2 \times \sigma^2$$

由望大特性 SN 比的公式(5.5-14)求其中的方差:

$$-10 \log \sigma^2 = 25.75$$

$$\sigma^2 = 10^{-2.575} = 0.00265$$

因此,

$$L = 60 \times 15^2 \times 0.00265 \approx 36(\text{元})$$

现行条件比较优先条件差 3 分贝,现行条件下的损失为 72 元。若每年的产量为 20 万件,则每年的质量改善为 720 万元。

## 5.6 响应曲面法

响应曲面法已成功地用于优化许多工业设备、工艺和系统。该方法主要适用于实验室的研究和开发工作,有时也可用于工厂设备。但是对于工厂设备的情况一般采用最速上升法则更为有效。

响应曲面法要求精心挑选试验模式来变化某个工艺的重要因子,这些因子可能是通过筛选试验确定的。通常要研究可控变量和单个响应变量,然后在研究的可控变量范围内,利用给出的响应曲面(一般用等高线表示)的主要目标分析得到的数据。

响应曲面法使用的数学模型是一阶和二阶多项式。这样拟合的响应曲面可能是平面(一阶近似)或是曲面(二阶近似)。利用最小方差估计方法(回归分析)得到拟合的模型。

响应曲面法的步骤如下:

1. 一阶步骤:建立一阶数学模型,完成一个因子或其它一阶设计,拟合数据,画响应曲面的等高线,确定和追踪最陡方向。
2. 二阶步骤:建立二阶数学模型,完成中心复合或其它二阶设计,拟合数据,画响应曲面的等高线,进行规范地分析,优化决策。由于篇幅所限,这里不进行详细的论述,详见参考文献。

## 5.7 本章参考文献

- [5-1] 金良超编著,《正交设计与多指标分析》,中国铁道出版社,1998。
- [5-2] 正交试验设计编写组编,《正交试验设计法》,上海科学技术出版社,1979。
- [5-3] 北京大学数学力学系数学专业概率统计组编,《正交设计》,人民教育出版社,1976。
- [5-4] 田口玄一著,中国兵器工业质量协会译,《开发、设计阶段的质量工程学》,兵器工业出版社,1990。
- [5-5] 王万中,崩诗松编,《试验的设计与分析》,华东师范大学出版社,1997。
- [5-6] 汪仁官,陈荣昭译,《实验设计与分析》,中国统计出版社,1998。

## 本章思考题

- [5-1] 在正交试验设计中通过试验结果的计算分析可以得出什么样的结论?
- [5-2] 在一个3水平正交试验中,通过结果的计算分析,A因子极差最大,而  $k_1 = k_2 = 70, k_3 = 30$ 。指标值要求愈大愈好。问A因子应取哪个水平?最好的结果有可能在哪里出现?

## 思考题题解

- [5-1] 可以得出两个重要结论:因子的主次关系;因子的较优水平组合。
- [5-2] A因子可以取第1水平或第2水平。更好的结果可能在A因子第1水平和第2水平区间内某一点出现。

## 第六章 方差分析法

### 6.1 概述

前面第五章中介绍了正交试验设计的极差分析法,这种分析方法比较直观,计算简单,应用方便。一般说来,应用这种简便的方法,生产实际中的一般问题能得到很好的处理。但极差分析法不能估计试验过程中以及试验结果测定中必然存在的误差的大小,因而不能真正区分某因子各水平所对应的试验结果间的差异究竟是由水平改变引起的,还是由试验误差引起的,因此分析的结论比较粗糙一些。同时,对于多水平的试验,当要考虑交互作用时,由于交互作用要在正交表占有几例,比如3水平因子的交互作用要占两列,这样,根据极差分析法,就不能准确地考察交互作用的大小。为了弥补极差分析这一不足,在必要时可进一步采用方差分析法。

什么叫方差分析法呢?我们通过试验可以获得一组结果数据,这组数据之间总存在着一定的差异,即使在相同的条件下做几次试验,由于偶然因素的影响,所得的数据也不完全相同。这说明,一组试验数据的波动不仅与试验条件的改变有关,而且还包括试验误差的影响。因此,在进行了一组试验之后,不能简单地下结论,应该把各种偶然因素所引起的数据波动和试验条件不同所引起的数据波动加以区分,然后才能判断:数据的波动主要是由试验误差引起的还是试验条件的改变引起的,这就是方差分析法。

### 6.2 单因子试验的方差分析

[例 6.2-1] 在研究 7103 胶料的过程中,为考察生胶的转动粘度对胶料压缩变形有无显著的影响,进行了试验,其试验结果如表 6.2-1。

表 6.2-1 试验结果

粘 度 试 验 号	139	142	147	150
1	38.2	36.5	35.6	32.4
2	33.3	35.9	34.1	31.6
3	36.0	32.8	32.8	35.6
平均值	35.8	35.1	34.2	33.2

我们把转动粘度记作因子  $A$ , 这是单因子 4 水平的试验, 每个水平都进行了 3 次重复试验。从这组试验数据, 我们如何来判断  $A$  因子对压缩变形有无显著影响呢?

为回答这个问题, 我们要从这组数据出发, 计算出试验误差引起的数据波动及  $A$  因子水平的改变所引起的数据波动。

首先, 我们注意到在  $A$  的同一水平下, 虽然试验条件没有改变, 但所得的试验数据不完全一样, 也就是说压缩变形值不完全一样。这种现象是由于试验误差的存在使数据发生了波动。我们用  $A$  的同一水平下的各数据与这个水平下数据的平均值之差的平方和来刻画这种波动。例如,  $A$  的第 1 水平下 ( $A_1 = 139$ ) 数据的平均数为

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{3}(38.2 + 33.3 + 36.0) = 35.8$$

数据的波动值就是

$$S_1 = (38.2 - 35.8)^2 + (33.3 - 35.8)^2 + (36.0 - 35.8)^2 = 12.05$$

我们称  $S_1$  为  $A$  的第 1 水平下的偏差平方和。偏差平方和反映了一组数据的分散和集中程度,  $S$  大, 表明这组数分散,  $S$  小, 表明它们集中。类似地, 我们可以按公式

$$\bar{x}_i = \frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 x_{ij}$$

$$S_i = \sum_{j=1}^3 (x_{ij} - \bar{x}_i)^2, \quad i = 1, 2, 3, 4$$

计算各水平下数据的平均值及偏差平方和;

$$\begin{array}{ll} \bar{x}_2 = 35.1 & S_2 = 7.89 \\ \bar{x}_3 = 34.2 & S_3 = 3.93 \\ \bar{x}_4 = 33.2 & S_4 = 8.96 \end{array}$$

将因子  $A$  各水平下的偏差平方和相加, 得

$$S_{\text{误}} = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^3 (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 = 32.83$$

这完全是由于试验误差引起的, 它刻画了试验误差在这组试验中引起的数据的总波动值, 我们称  $S_{\text{误}}$  为误差的偏差平方和。

对因子  $A$ , 我们注意到  $A$  的 4 个水平下的平均值  $\bar{x}_i$  也各不相同。这种数据平均值的波动不仅与试验误差有关, 特别地, 还包含着由于  $A$  的水平不同所引起的数据波动。 $A$  的第 1 水平下的平均值  $\bar{x}_1 = 35.8$ , 这个平均值可代替各个 1 水平 (共 3 个) 对压缩变形的影响, 对其它的水平亦作同样的考虑。记

$$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 \bar{x}_i = 34.6$$

表示数据的总平均值, 则  $A$  因子各水平平均数之间的偏差平方和为

$$S_A = 3 \sum_{i=1}^4 (\bar{x}_i - \bar{\bar{x}})^2 = 11.43$$

它刻划了  $A$  水平不同引起的数据波动值,称为因子  $A$  的偏差平方和。如果记

$$S_{\text{总}} = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^3 (x_{ij} - \bar{x})^2$$

表示所有数据围绕它们的总平均值的波动值,则可以证明:

$$S_{\text{总}} = S_A + S_{\text{误}}$$

通过以上的分析,我们把  $S_{\text{总}}$  分解成  $S_A$  和  $S_{\text{误}}$ ,是否就能区分因子水平引起的波动与误差引起的波动了呢? 这还有问题,从数据偏差平方和可见,数据个数多的,偏差平方和就可能大,即偏差平方和不但与数据本身变动有关,还与数据的个数有关。为了消除数据个数的影响,我们采用平均偏差平方和  $S_A/f_A$ ,  $S_{\text{误}}/f_{\text{误}}$ ,其中的  $f_A$  和  $f_{\text{误}}$  分别表示偏差平方和  $S_A$  和  $S_{\text{误}}$  的自由度。与偏差平方和一样,自由度也可以分解为

$$f_{\text{总}} = f_A + f_{\text{误}}$$

而

$$f_{\text{总}} = N - 1, N \text{ 为总试验次数}$$

$$f_A = A \text{ 的水平数} - 1$$

$$f_{\text{误}} = f_{\text{总}} - f_A$$

现在考虑比值

$$F_A = \frac{S_A/f_A}{S_{\text{误}}/f_{\text{误}}} \quad V_A = S_A/f_A \quad V_{\text{误}} = S_{\text{误}}/f_{\text{误}}$$

若  $F_A$  近似于 1,表明  $S_A/f_A$  与  $S_{\text{误}}/f_{\text{误}}$  差不多,也就说明因子  $A$  的水平改变对指标的影响在误差范围内,即水平之间无显著差异。那么,当  $F_A$  多大时,才能说因子  $A$  水平改变对结果有显著影响呢? 这时要查一下  $F$  分布临界值表(详见本手册附表 I - 3  $F$  分布表)。 $F$  分布临界值表列出了各种自由度情况下  $F$  比的临界值。在  $F$  分布临界值表上横行  $f_1$  代表  $F$  比中分子的自由度情况下  $F$  比的临界值。查得的临界值记为  $F_{\alpha}$ ,这里的  $\alpha$  是预先给定的显著性水平,若  $F_A \geq F_{\alpha}$ ,我们就有  $(1 - \alpha)$  的把握说明因子  $A$  对结果有显著影响。

对于我们所讨论的具体例子,有

$$f_{\text{总}} = 12 - 1 = 11$$

$$f_A = 4 - 1 = 3$$

$$f_{\text{误}} = 11 - 3 = 8$$

把有关数据代入  $F_A$  的表达式,得

$$F_A = \frac{11.43/3}{32.83/8} = 1.08$$

我们给定显著性水平  $\alpha = 0.10$ ,从附表 I - 3  $F$  分布表中查出

$$F_{0.10}(3, 8) = 2.92$$

由于

$$F_A = 1.08 < F_{0.10}(3, 8) = 2.92$$

因此,我们大概有 90% 的把握说因子 A 的水平改变对结果的影响无显著差异。也就是说,我们有 90% 的把握说生胶转动粘度水平的改变对压缩变形的影响无显著差异,试验结果所出现的波动主要是由试验误差造成的。

显著性水平  $\alpha$ ,是指我们对作出的判断大概有  $1 - \alpha$  的把握。对于不同的显著性水平  $\alpha$ ,有不同的 F 分布表,常用的用  $\alpha = 0.01, \alpha = 0.05, \alpha = 0.10$ 。

为了区别显著性的程度,当  $F_A > F_{0.01}(f_1, f_2)$  时,就说该因子水平的改变,对试验结果有高度显著的影响,记作 \*\*\*;当  $F_{0.01}(f_1, f_2) > F_A > F_{0.05}(f_1, f_2)$  时,就说该因子水平的改变,对试验结果有显著的影响,记作 \*\*;当  $F_{0.05}(f_1, f_2) > F_A > F_{0.10}(f_1, f_2)$  时,就说该因子水平的改变,对试验结果有一定的影响,记作 \*。

以上分析过程可归结为如表 6.2-2 的方差分析表。

表 6.2-2 方差分析

来源	偏差平方和	自由度	均方和	F 比
因子 A	$S_A = 11.43$	$f_A = 3$	$V_A = 3.81$	$F_A = 1.08$
误差	$S_{\text{误}} = 32.83$	$F_{\text{误}} = 8$	$V_{\text{误}} = 4.20$	
总计	$S_{\text{总}} = 44.26$	$F_{\text{总}} = 11$		

其中  $\alpha = 0.10, F_{0.10}(3, 8) = 2.92$ 。

上面提到的有关自由的概念,我们给于简单的解释。所谓自由度,就是独立的数据个数。比如对  $S_1$  而言,在 3 个数据 38.2, 33.3, 36.0 中,由于它们之间有一个关系式

$$\frac{38.2 + 33.3 + 36.0}{3} = 35.8$$

所以称这 3 个数据中只有 3 - 1 个数据对其平均值是独立的,也就是说,如果 3 个试验结果的平均值已知为 35.8,且其中 2 个试验结果分别为 38.2, 33.3, 则第 3 个试验结果也就完全确定了。所以说  $S_1$  的自由度是 2。

现在,我们讨论一般的情况。设所考察的因素 A,取了 a 个水平,在  $A_i$  水平下指标服从正态分布,其均值为  $\mu_i$ ,其方差为  $\sigma^2, i = 1, 2, \dots, a$ 。每一水平下的指标全体便构成一个总体,共有 a 个总体,这时比较各个总体的问题就变成比较各个总体的均值是否相同的问题了,即要检验如下假设是否为真:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_a$$

当  $H_0$  不真时,表示不同水平下的指标的均值有显著差异,此时称因子 A 是显著的,否则称因子 A 不显著。

假设在每个水平下进行了 b 次试验,测得的数据如下:

A 的水平	数 据			
1	$X_{11}$	$X_{12}$	$\dots$	$X_{1b}$



$$\begin{array}{cccc} 2 & X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2b} \\ a & X_{a1} & X_{a2} & \dots & X_{ab} \end{array}$$

A 的第  $i$  个水平下数据的平均值为:

$$\bar{x}_i = \frac{1}{b} \sum_{j=1}^b X_{ij}$$

A 的第  $i$  个水平下的偏差平方和为:

$$S_i = \sum_{j=1}^b (x_{ij} - \bar{x}_i)^2, i = 1, 2, \dots, a$$

则

$$S_{\text{误}} = \sum_{i=1}^a S_i = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \quad (6.2-1)$$

数据的总平均值为:

$$\bar{x} = \frac{1}{a} \sum_{i=1}^a \bar{x}_i = \frac{1}{ab} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b x_{ij}$$

则

$$S_A = b \sum_{i=1}^a (\bar{x}_i - \bar{x})^2 \quad (6.2-2)$$

总的偏差平方

$$S = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b (x_{ij} - \bar{x})^2$$

可以证明

$$S = S_A + S_{\text{误}}$$

显著性检验标准为

$$F_A = \frac{S_A/f_A}{S_{\text{误}}/f_{\text{误}}} \quad (6.2-3)$$

其中  $f_A, f_{\text{误}}$  分别为  $S_A, S_{\text{误}}$  的自由度。对任意  $n$  个实数  $u_1, u_2, \dots, u_n$ , 令

$$\bar{u} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_i, \text{ 恒有}$$

$$\sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})^2 = \sum_{i=1}^n u_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n u_i \right)^2$$

利用这个等式, 可以把式 (6.2-1) 和 (6.2-2) 改写为:

$$S_{\text{误}} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b x_{ij}^2 - \frac{1}{b} \sum_{i=1}^a \left( \sum_{j=1}^b x_{ij} \right)^2 \quad (6.2-4)$$

$$S_A = \frac{1}{b} \sum_{i=1}^a \left( \sum_{j=1}^b x_{ij} \right)^2 - \frac{1}{ab} \left( \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b x_{ij} \right)^2 \quad (6.2-5)$$

这样, 就可把 (6.2-4) 和 (6.2-5) 式右端各数的计算列表如表 6.2-3。

表 6.2-3 计算格式

试验号	A 的水平		
	1	2.....g	
1	$x_{11}$	$x_{21} \dots x_{g1}$	左边各数相加
2	$x_{12}$	$x_{22} \dots x_{g2}$	
b	$x_{1b}$	$x_{2b} \dots x_{gb}$	
各数相加	$\sum_{j=1}^b x_{1j}$	$\sum_{j=1}^b x_{2j} \dots \sum_{j=1}^b x_{gj}$	
(各数相加) <sup>2</sup>	$(\sum_{j=1}^b x_{1j})^2$	$(\sum_{j=1}^b x_{2j})^2 \dots (\sum_{j=1}^b x_{gj})^2$	$\sum_{i=1}^a (\sum_{j=1}^b x_{ij})^2$
(各数) <sup>2</sup> 相加	$\sum_{j=1}^b x_{1j}^2$	$\sum_{j=1}^b x_{2j}^2 \dots \sum_{j=1}^b x_{gj}^2$	$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b x_{ij}^2$

在计算偏差平方和时,当  $N$  个数据  $x_1, x_2, \dots, x_N$  较大时,为了简化计算,可将每一个数据都减去一个常数  $C$ ,这并不影响偏差平方和的计算结果,而计算工作量却可大为减少。证明如下:

令  $y_i = x_i - C \quad i = 1, 2, \dots, N$ , 则

$$\begin{aligned} \bar{y} &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - c) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i - c \\ &= \bar{x} - c \end{aligned}$$

于是

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 &= \sum_{i=1}^N \{ (x_i - c) - (\bar{x} - c) \}^2 \\ &= \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \end{aligned}$$

特别地,从公式(6.2-1),(6.2-2),(6.2-3)可以看出。对任意两个常数  $c, d$ , 如以

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - c}{d}, i = 1, 2, \dots, a;$$

$$j = 1, 2, \dots, b$$

去代替  $x_{ij}$ , 计算出来的  $F$  值不变。因此,在作显著性检验时,我们要经常进行这样的变换,而不另加说明。

### 6.3 多因子试验的方差分析

和单因子试验的情况一样,多因子试验其结果之间的差异同样是由于各因素水平的改变及试验误差的影响所引起的。方差分析的目的也在于将试验误差引起的结果差异与试验条件的改变所引起的结果差异区分开来,以便检验哪些因子对结果有影响,哪些没有影响,并区分哪些是影响试验结果的主要因子,哪些是次要

因子,从而可以着重研究其中几个主要因子。

下面结合实例来介绍多因子试验的方差分析。

[例 6.3-1] 电度表支架压铸工艺试验。

试验的目的是为了寻求好的工艺条件,以提高压铸件的合格率。所考察的因素及水平如表 6.3-1。

表 6.3-1 因子水平

因子 水平	A 人	B 压力	C 合金	D 压射持压时间(S)
1	技术高	Ⅲ级	精炼,禁止投入料饼	10
2	技术低	Ⅱ级	未精炼,允许投入料饼	2

根据以往的经验,认为人的因素对质量有一定影响,所以把人的技术水平作为一个因素来考察,以通过试验了解一下人的技术水平的差异对质量有多大的影响。另外,还需要考察交互作用  $A \times B$ ,  $B \times C$ 。

选用  $L_8(2^7)$  表,表头设计如表 6.3-2。于是,我们得到由  $L_8(2^7)$  表的第 1、2、4、7 列组成的试验计划以及实现这一计划后的试验结果(见表 6.2-3)。

表 6.3-2 表头设计

表头设计	A	B	$A \times B$	C		$B \times C$	D
列 号	1	2	3	4	5	6	7

表 6.3-3 试验结果

列 号	1	2	4	7	试验结果	
因子 试验号	A	B	C	D (s)	表面合格 率%	内部钻孔 合格率%
1	技术高	Ⅲ级	精炼	10	94.2	100.0
2	技术高	Ⅲ级	未精炼	2	100.0	100.0
3	技术高	Ⅱ级	精炼	2	82.8	80.0
4	技术高	Ⅱ级	未精炼	10	79.0	83.3
5	技术低	Ⅲ级	精炼	2	91.7	100.0
6	技术低	Ⅲ级	未精炼	10	91.8	96.0
7	技术低	Ⅱ级	精炼	10	77.0	60.0
8	技术低	Ⅱ级	未精炼	2	79.0	72.0

我们先考虑表面合格率这项指标。从表中可以看到,这项指标的数据是在 77.0% ~ 100.0% 之间波动。这个波动可用试验结果的总偏差平方和  $S_{\text{总}}$  来表示。

设每号试验结果由  $y_i (i=1, 2, \dots, 8)$  表示, 则

$$S_{\text{总}} = \sum_{i=1}^8 y_i^2 - \frac{1}{8} \left( \sum_{i=1}^8 y_i \right)^2, \quad f_{\text{总}} = 8 - 1 = 7$$

下面讨论因子的偏差平方和计算。例如因子  $A$ , 安排在  $L_8(2^7)$  表的第 1 列上, 这列中有 4 个 1 水平, 4 个 2 水平。如果这个试验只安排 1 个因子  $A$ , 那么试验结果间的差异, 就归于因子  $A$  的水平变化和试验误差的影响所引起, 这样就属于单因子试验问题。因而, 可以用因子  $A$  的 1 水平对结果的平均影响  $K_1/4$  代替各个 1 水平 (共 4 个) 对结果的影响, 用其 2 水平对结果的平均影响  $K_2/4$  代替各个 2 水平 (共 4 个) 对结果的影响。根据正交表的综合可比性,  $K_1/4$  和  $K_2/4$  这两个平均值可以相互比较, 且它们反映了因子  $A$  的两个水平间的差异。所以, 因子  $A$  的偏差平方和  $S_A$  可由计算 4 个  $K_1/4$ , 4 个  $K_2/4$  与试验结果的总平均值的偏差平方和得到, 即

$$\begin{aligned} S_A &= 4 \left( \frac{K_1}{4} - \bar{y} \right)^2 + 4 \left( \frac{K_2}{4} - \bar{y} \right)^2 \\ &= 4 \left( \frac{K_1}{4} - \frac{K_1 + K_2}{8} \right)^2 + 4 \left( \frac{K_2}{4} - \frac{K_1 + K_2}{8} \right)^2 \\ &= 4 \left( \frac{K_1 - K_2}{8} \right)^2 + 4 \left( \frac{K_1 - K_2}{8} \right)^2 \\ &= \left( \frac{K_1 - K_2}{8} \right)^2 \\ f_A &= 2 - 1 = 1 \end{aligned}$$

同理, 其它因子 (包括 2 水平情形下的交互作用) 偏差平方和都可按此公式计算。

关于误差偏差平方和, 可以用正交表中未安排因子的空列的偏差平方和来计算。在本例中第 5 列是空列, 可用该列的偏差平方和来估计误差, 其计算公式与前述相同。此外, 如果其它列的偏差平方和与空列的偏差平方和相接近, 也可合并起来作为误差估计, 这样可使估计更精确些。

可以证明

$$\begin{aligned} S_{\text{总}} &= S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6 + S_7 \\ &= S_A + S_B + S_{A \times B} + S_C + S_{\text{误}} + S_{B \times C} + S_D \end{aligned}$$

我们按上述平方和的计算公式, 对表 6.3-3 中的试验结果进行计算。计算结果见表 6.3-4。从表中看出, 第 3 列和第 4 列的偏差平方和相对地都很小, 可以并入误差估计, 所以

$$S_{\text{误}} = S_3 + S_4 + S_5 = 0.0003 + 0.0002 + 0.0 = 0.0005$$

$$f_{\text{误}} = 1 + 1 + 1 = 3$$

有了误差估计, 可以分别计算出因子  $A$ 、 $B$ 、 $B \times C$ 、 $D$  的  $F$  比如下:

$$F_A = \frac{S_A/f_A}{S_{\text{误}}/f_{\text{误}}} = \frac{0.0034/1}{0.0005/3} = 20.4$$

表 6.3-4 计算格式

列号	A	B	A×B	C	5	B×C	D	表面合格率
因子 试验号	1	2	3	4		6	7	
1	1	1	1	1	1	1	1	0.942
2	1	1	1	2	2	2	2	1.0
3	1	2	2	1	1	2	2	0.828
4	1	2	2	2	2	1	1	0.79
5	2	1	2	1	2	1	2	0.917
6	2	1	2	2	1	2	1	0.918
7	2	2	1	1	2	2	1	0.77
8	2	2	1	2	1	1	2	0.79
$K_1$	3.56	3.777	3.502	3.457	3.478	3.439	3.42	$\bar{y} = 0.869$ $S_{\bar{y}} = 0.0511$
$K_2$	3.395	3.178	3.453	3.49	3.477	3.516	3.535	
$S =$ $(\frac{K_1 - K_2}{8})^2$	0.0034	0.0448	0.0003	0.0002	0.0000	0.0007	0.0016	
$\rho$	6.6%	87.7%	0.59%	0.39%	0%	1.37%	3.1%	

$$F_D = \frac{S_D/f_D}{S_{\text{误}}/f_{\text{误}}} = \frac{0.0016/1}{0.0005/3} = 9.6$$

查 F 分布临界值表可得

$$F_{0.01}(1,3) = 34.1, F_{0.05}(1,3) = 10.1,$$

$$F_{0.10}(1,3) = 5.54$$

因为

$$F_{0.01}(1,3) > F_A > F_{0.05}(1,3)$$

$$F_B > F_{0.01}(1,3)$$

$$F_{B \times C} < F_{0.10}(1,3)$$

$$F_{0.05}(1,3) > F_D > F_{0.10}(1,3)$$

所以显著性检验结果为

因子 A……………\*\* (显著)

因子 B……………\*\*\* (高度显著)

因子 B 和 C 的交互作用……………不显著

因子 D……………\* (有一定影响)

在作方差分析时,为直观起见,一般把上述显著性检验过程列成表 6.3-5 方差分析表。

表 6.3-5 方差分析表

方差来源	偏差平方和	自由度	均方	F 比	显著性
$A$	$S_A = S_1 = 0.0034$	1	0.0034	20.4	* *
$B$	$S_B = S_2 = 0.0488$	1	0.0448	268.8	* * *
$B \times C$	$S_{B \times C} = S_6 = 0.0007$	1	0.0007	4.2	
$D$	$S_D = S_7 = 0.0016$	1	0.0016	9.6	*
误差	$S_e = S_3 + S_4 + S_5 = 0.0005$	3	0.0005/3		
总和	$S_{\text{总}} = 0.0511$	7			

通过方差分析表明： $A$  因子水平的改变对铸件表面合格率有显著的影响，根据  $K_1$  和  $K_2$  的大小，选 1 水平为好； $B$  因子的水平改变对铸件表面合格率有高度显著的影响，从  $K_1$  和  $K_2$  的大小可以看出，选 1 水平好； $C$  因子没有显著影响，其水平可以任意选，不妨也根据  $K_1$  和  $K_2$  的大小选取 2 水平； $D$  因子水平改变对表面合格率有一定影响，比较  $K_1$  和  $K_2$  的大小，选取 2 水平。这样，得到较优水平组合为  $A_1 B_1 C_2 D_2$ 。

对于内部钻孔合格率这项指标，可类似地进行分析。分析结果， $B$  因子水平改变对铸件内部钻孔合格率有高度显著的影响， $A$  因子有显著影响， $A$  和  $B$  交互作用有一定影响。较优水平组合和表面合格率的情形是相同的，也是  $A_1 B_1 C_2 D_2$ 。这里不再详细讨论，留给读者自己去练习。分析得到的条件就是第 2 号试验条件。

在表 6.3-4 中，最后一行所计算的  $\rho$  值是一个百分比，称为贡献率，计算公式为  $\rho = S_i / S_{\text{总}}$ 。它表明对应的因子对指标贡献的大小。比如， $B$  因子的贡献率是 87.7%，就表明  $B$  因子对表面合格率的影响作用在所有因素中占 87.7%。因此，贡献率定量地描述了因子对试验结果影响大小的程度，对分析问题是有帮助的。只要我们抓住贡献率总和达 80% 以上那些因子（但不是全体），也就抓住了主要矛盾，问题就不难得到解决。

从上面的显著性检验方法可以看到，要区分各因子水平改变对指标的影响是否显著，需要先求出误差的估计  $S_e$ ，而在正交试验中， $S_e$  是通过正交表中的空列来获得的，所以在表头设计时应尽量留些空列，以供方差分析用。如果正交表的所有列都被因子及它们的交互作用占满了，就无法取得误差的估计。这时，如要进行方差分析，就要进行重复试验来得到误差的估计。但有时觉得重复试验不合算，或不允许，也可以取各列中偏差平方和最小者作为误差的近似估计。

前面以  $L_8(2^7)$  表为例推导了方差分析时每列偏差平方和的计算公式，现把一般情形的计算公式归纳如下。

对于 2 水平的正交表,每列的偏差平方和按以下公式计算:

$$S = \frac{(K_1 - K_2)^2}{\text{试验次数}}$$

对于 3 水平的情况,也可以同样的道理推导出每列的偏差平方和的计算公式,比如,  $L_9(3^4)$  正交表每列的平方和可按以下公式计算:

$$S = \frac{K_1^2 + K_2^2 + K_3^2}{3} - \frac{(K_1 + K_2 + K_3)^2}{9}$$

3 水平正交表每列自由度为 2。交互作用在正交表上占两列,它的自由度为 4,它的平方和就是所占两列偏差平方和之和。

对于多水平的情形,可按以下公式计算各列的偏差平方和与自由度:

$$\text{第 } i \text{ 列的平方和} = \frac{\sum_j (\text{第 } i \text{ 列对应于数字“} j \text{”的数据之和})^2}{\text{各水平重复次数}} - \frac{(\text{全部数据之和})^2}{\text{数据总个数}}$$

各列的自由度 = 水平数 - 1

设因子 A 有 P 个水平,且其各同水平的数据之和分别为  $K_1, K_2, \dots, K_P$ , 则 A 的平方和由

$$S_A = \frac{K_1^2 + K_2^2 + \dots + K_P^2}{N/P} - CT$$

计算,其中 N 为试验次数, P 为水平数,且

$$CT = \frac{(K_1 + K_2 + \dots + K_P)^2}{N} = \frac{T^2}{N}$$

$$T = \text{数据总和} = K_1 + K_2 + \dots + K_P$$

此时,因子 A 的自由度为

$$f_A = p - 1$$

[例 6.3-2] 不锈钢酸洗工艺试验。

过去,在高温下进行不锈钢酸洗,有害于工人健康。但改成常温下酸洗后,表面光洁度质量不好。现要通过试验,选择一个常温下酸洗液的较优配方,以改进表面光洁度的质量。表面光洁度这个指标是非数量指标,质量好坏凭经验观察判断。

经过讨论,所考察的因子及水平如表 6.3-6 所示。

表 6.3-6 因子水平

因子 水平	A 硫酸	B 硝酸	C 氢氟酸附加剂	D
1	150	80	40	1.5
2	50	120	70	0.5
3	100	40	100	1.0

这是  $3^4$  因子试验问题,并要考察交互作用  $A \times B, A \times C, B \times C$ 。因 3 水平因子的自由度是 2,交互作用的自由度是  $2 \times 2 = 4$ 。所以,4 个因子和 3 个交互作用,自由度总计是 20,所选正交表的自由度应大于 20。因此,我们不妨选附表  $L_{27}(3^3)$  正交表来安排这个试验。由于要考察交互作用,在表头设计时要同时应用  $L_{27}(3^3)$  表的两列间的交互作用表。表头设计如表 6.3-7。第 10、12、13 列是空列,可作为误差估计。

表 6.3-7 表头设计

表头设计	A	B	$A \times B$	$A \times B$	C	$A \times C$	$A \times C$	$B \times C$	D	$B \times C$
列号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 11 12 13

根据上述的表头设计,利用正交表  $L_{27}(3^3)$  和因子水平表 6.3-6,按“对号入座”的办法,就可确定 27 次试验的具体试验计划。每一个试验条件下都用了 3 个试样。试验完成后,对表面光洁度进行评价。我们采用了评分的办法。最好的评 10 分,最差的评 1 分,根据质量差异情况,对 27 次试验后的样品分别评出得分。试验方案设计和试验结果的评分,以及分析计算见表 6.3-8。直接看试验结果,第 21 号试验的得分是 10 分,是 27 个试验条件中最好的一个,表面光洁度已比较满意。

根据表 6.3-8 的计算结果,可对各因子及交互作用进行显著性检验。因安排 A 因子的第 1 列偏差平方和很小,可看成是试验误差引起的,因而也并入误差估计。检验结果见方差分析表 6.3-9。

$$F_{0.01}(2,8) = 8.65, F_{0.05}(2,8) = 4.46,$$

$$F_{0.10}(2,8) = 3.11。$$

显著性检验结果表明,B 因子对表面光洁度有高度显著的影响。因指标值要求愈大愈好,比较  $K_1, K_2, K_3$  的大小,B 因子取  $B_2$  为好。

A 因子单独对表面光洁度无显著影响,但 A 和 B 的交互作用  $A \times B$  对表面光洁度有显著影响。为确定 A 和 B 因子的最好搭配,列出如下的交互作用计算表 6.3-10。表中的数值是搭配  $A_i B_j (i, j = 1, 2, 3)$  对应的 3 个试验结果的平均值。比如  $A_1 B_1$  这个搭配在 27 次试验中重复了 3 次,即第 1、2、3 号试验,对应的试验结果分别为 6、9、8,它们的平均值是  $\frac{1}{3}(6+9+8) = 7.7$ ,这个平均值就代表  $A_1 B_1$  这个搭配对结果的平均作用。因指标值愈大愈好,所以,A 和 B 的水平搭配取  $A_1 B_1$  好。

C 因子对表面光洁度有显著影响,从该列的  $K_1, K_2, K_3$  的大小,C 取  $C_3$  为好。



表 6.3-8 计算格式

表头设计 列号 试验号	A 1	B 2	A×B 3	A×B 4	C 5	A×C 6	A×C 7	B×C 8	D 9	10	B×C 11	12	13	试验结果(得分)
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	9
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	8
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1	4
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2	4
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2	1
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3	1
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1	1
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	2
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2	7
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2	6
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3	6
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1	6
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1	1
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2	3
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3	1
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1	10
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1	7
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	7
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3	8
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3	1
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1	1
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2	1
K <sub>1</sub>	38	46	52	44	29	36	41	32	34	40	31	37	38	T = ∑ y <sub>i</sub> = 111 CT = T <sup>2</sup> / 27 = 456.33 ∑S <sub>i</sub> = 227.59
K <sub>2</sub>	36	52	26	31	34	42	39	34	43	38	33	43	39	
K <sub>3</sub>	37	13	33	36	48	33	31	45	34	33	47	31	34	
S <sup>2</sup> = K <sub>1</sub> <sup>2</sup> + K <sub>2</sub> <sup>2</sup> + K <sub>3</sub> <sup>2</sup> 9	0.11	98.11	40.23	9.56	21.56	4.67	6.23	10.89	6	2.89	16.78	8	1.56	
- T <sup>2</sup> / 27														
贡献率 = S <sub>i</sub> / ∑S <sub>i</sub>	0.04	43.1	17.7	4.2	9.5	2.1	2.7	4.8	8.2	2.2	1.2	7.3	3.5	0.7%

表 6.3-9 方差分析

方差来源	平方和	自由度	均 方	F 比	显著性
A	98.11	2	49.06	32.25	***
A × B	49.79	4	12.45	7.93	**
C	21.56	2	10.78	6.87	**
A × C	10.90	4	2.73	1.74	
B × C	27.67	4	6.92	4.41	*
D	6	2	3	1.91	
$S_e = S_1 + S_{10} + S_{12} + S_{13}$	12.56	8	1.57		
总和	227.59	26			

表 6.3-10 交互作用计算

B \ A	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
B <sub>1</sub>	7.7	3.7	4
B <sub>2</sub>	4	6	7.3
B <sub>3</sub>	1	2.3	1

B 和 C 因子的交互作用 B × C 对表面光洁度有一定影响,按表 6.3-11 计算确定的最好水平搭配是 B<sub>1</sub>C<sub>3</sub>。

表 6.3-11 交互作用计算

C \ B	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>
C <sub>1</sub>	3	5.7	1
C <sub>2</sub>	4	5.7	1.7
C <sub>3</sub>	8.3	6	1.7

交互作用 A × C 和因子 D 对表面光洁度无显著影响, D 因子的水平可视实际情况确定,在本例中取 D<sub>2</sub> 为宜。

通过以上的分析,得到各因子的最好水平及交互作用的最好水平搭配如下:

B	A × B	C	B × C	D
B <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	C <sub>3</sub>	B <sub>1</sub> C <sub>3</sub>	D <sub>2</sub>

可以看到, B 因子单独作用取 B<sub>2</sub> 好,而在和 A 和 C 的交互作用的最好水平搭配中取 B<sub>1</sub> 好,出现这种矛盾的情况,如何来确定较优水平组合呢?这就需要进一步进行分析。我们分两种情况考虑。

1. 从计算 A 和 B 交互作用的最好水平搭配的表 6.2-10 可以看出, A<sub>1</sub>B<sub>1</sub> 搭配最好,而次好的搭配是 A<sub>3</sub>B<sub>2</sub>;从表 6.2-11 可以看出,最好搭配是 B<sub>1</sub>C<sub>3</sub>,次好的是

$B_2C_3$ , 而且注意到 B 和 C 交互作用对结果只是有一定影响, 所以也可以考虑取  $B_2C_3$ 。这样, 我们得到一个参考的较优水平组合为  $A_3B_2C_3D_2$ 。

2. 从 B 因子对应的  $K_1, K_2, K_3$  值来看, 最大的是  $K_2$ , 次大的是  $K_1$ , 而且这两个数值已较接近, 所以, 对 B 因子单独作用来说, 也可以考虑取  $B_1$ 。这样, 我们又得到一个参考的较优水平组合为  $A_1B_1C_3D_2$ 。

我们对分析得到的两个参考的较优水平组合进行了 4 次重复验证试验, 同时对 27 次试验中表面光洁度较好的第 2 号、21 号、24 号试验条件进行重复试验, 然后进行比较, 结果表明, 以  $A_1B_1C_3D_2$  生产条件下的表面光洁度为最好。

试验前使用的酸洗液配方为: 硫酸 80-100; 硝酸 60-90; 氢氟酸 40-50; 附加剂 1-1.5。现通过试验确定的新配方为: 硫酸 150; 硝酸 80; 氢氟酸 100; 附加剂 0.5。应用新配方, 产品质量有了明显的改进。

## 6.4 本节参考文献

- [6-1] 金良超编著,《正交设计与多指标分析》,中国铁道出版社,1998。
- [6-2] 正交试验设计编写组编,《正交试验设计法》,上海科学技术出版社,1979。
- [6-3] 北京大学数学力学系数学专业概率统计组编,《正交设计》,人民教育出版社,1976。
- [6-4] 中国科学院数学研究所数理统计组,《正交设计》人民教育出版社,1976。

## 本章思考题

- [6-1] 在单因子方差分析问题中,作了什么样的假设?
- [6-2] 所考察因子取 5 个水平,每个水平下重复 4 次试验。写出平方和的分解公式和各项平方和的计算表达式以及相应的自由度。

## 思考题题解

- [6-1] 假设  $A_i$  水平下指标全体服从正态分布, 方差相等, 其方差为  $\sigma^2$ 。

[6-2]  $S_{\text{总}} = S_A + S_{\text{误}}$

$$S_{\text{总}} = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 (x_{ij} - \bar{x})^2$$

$$S_A = 4 \sum_{i=1}^5 (x_{i\cdot} - \bar{x})^2$$

$$S_{\text{误}} = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 (x_{ij} - \bar{x}_i)^2$$

$$f_{\text{总}} = f_A + f_{\text{误}}, f_{\text{总}} = \text{试验次数} - 1 = 20 - 1 = 19, f_A = \text{水平数} - 1 = 5 - 1 = 4,$$

$$f_{\text{误}} = f_{\text{总}} - f_A = 19 - 4 = 15。$$

## 第七章 回归分析

### 7.1 概述

我们在作试验的时候,总是改变因素的水平以观察试验结果如何变化,从而寻找因果的规律性。这些可改变的因素称之为变量,或自变量,或因变量。试验结果我们称为指标,它也是一个变量,通常称为因变量或结果变量。

在生产和科研设计中,我们经常要研究变量之间的关系。人们通过各种实践,发现变量之间的关系可以分成两种不同的类型。一种是变量之间存在着完全确定的关系,比如,自由落体运动中,物体下落的距离  $s$  和所需时间  $t$  之间有关系式:

$$s = \frac{1}{2}gt^2 (0 \leq t \leq T)$$

当  $t$  的值确定时,  $s$  的值就完全确定了。变量之间这种确定性关系,我们称它们为函数关系。

但实际中有很多问题,变量之间不具有这种确定性的关系。比如,人的身高和体重,不同高度的人,身高和体重可以相差很远,但即使身高相同的人,体重往往也不一样,体重相同的人,身高也不一样。作试验时也有类似的情况,即使在同一试验条件下,但由于各种偶然因素的综合作用,其试验结果往往不一样,这说明这类变量是不确定性的关系。那么,是不是这种不具有确定性关系的变量之间就没有任何规律可寻了呢?那也不是。大量的偶然性中蕴含着必然的规律。如果我们经过多次的实践和调查研究,我们就会发现,许多具有这种不确定性关系的变量之间也存在着某种客观的规律性。比如,就人的体重和身高的关系,平均来说,身高者,体也重。我们称这类变量之间的关系为相关关系。那么,当我们获得一组试验数据之后,能不能对这组数据进行分析,找出定量的关系式,来反映这种客观规律性呢?回归分析就是寻求这种规律性的一种方法。概括起来,回归分析主要解决以下几方面的问题:

(1) 从一组数据出发,确定这些变量间的定量关系式,并对这些关系式的可信程度进行统计检验;

(2) 对于共同影响某一变量的许多变量(因素)中,判断哪些变量(因素)是重要的,哪些是次要的,这些变量(因素)之间又有什么关系等;

利用所求得的关系式对生产过程进行预测和控制,并要知道这种预测和控制可达到什么样的精确度。

由此可以看出,回归分析在生产和科研中可以获得广泛的应用。比如,求经验公式,制定某些新标准,分析产品的质量与工艺因素的关系,确定最优生产条件,预

报气象与病虫害,市场调查与预测,制定自动控制中的数学模型等等,都要用到回归分析的工具。

## 7.2 一元线性回归

实际中最简单的问题是两个变量的情形。若已知变量  $x$  和  $y$  之间存在一定的关系,即结果变量  $y$  的值在某种程度上是附着因变量  $x$  的值的而变化,则通过试验,可以得到关于  $x$ 、 $y$  两个变量的一组数据。我们希望找出能描述这两个变量之间关系的定量表达式,这就是一元回归的问题。假如两个变量的关系是线性的,那就是一元线性回归分析研究的对象。

### 7.2.1 散点图和回归直线

为便于说明问题,先看一个简单的例子。

[例 7.2-1] 在化学铣切过程中,在一定起始碱浓度下,游离碱度和铝含量有直线的关系。表 7.2-1 是实测的 9 个铝含量和相应的游离碱度的数据。

表 7.2-1 观测数据

编号 $N$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
铝含量 $x$	1.43	10.81	19.31	30.33	38.93	51.31	71.66	87.9	88.2
游离碱度 $y$	200	178.4	163.6	152.5	136.5	116.5	86.01	64.2	59.7

为了研究铝含量与游离碱度这两个变量之间的关系,一个直观的也是常用的办法是作图。把铝含量作为因变量  $x$ ,游离碱度作为结果变量  $y$ ,在坐标纸上作成图 7.2-1,每组数据  $(x, y)$  在图中以一个叉点表示,这种图叫做散点图。从图 7.2-1 中可以看出,游离碱度  $y$  是随着铝含量  $x$  的增加而减少,虽然这些点不在一条直线上,但可以看出它们之间大致成一线性关系。但这两个变量之间并不是确定性的线性函数关系,而是一种相关关系。

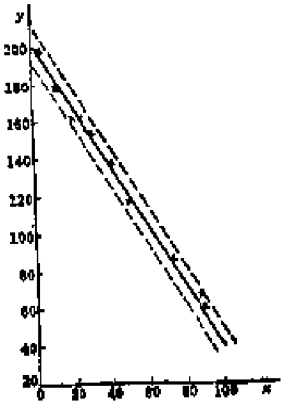


图 7.2-1 散点图

现在,我们希望进一步用数学公式来表示它们之间的关系。因散点图表明铝含量和游离碱度之间大致成线性关系,我们很自然地想到用一条直线来表示两者的关系:

$$\hat{y} = b_0 + bx \quad (7.2-1)$$

它称为游离碱度  $y$  对铝含量  $x$  的回归直线,也称为  $y$  对  $x$  的回归方程。回归直线的斜率  $b$  称为回归系数,它表示当  $x$  增加一个单位时,  $y$  平均减少的数量。在本例中经计算,  $b = -1.55$ 。式(7.2-1)中的  $b_0$  为直线方程的常数项。在本例中经计算  $b_0 = 197.47$ ,于是游离碱度对铝含量的回归方程为

$$\hat{y} = 197.47 - 1.55x \quad (7.2-2)$$

这就是图 7.2-1 中所画的粗实线。

### 7.2.2 确定回归直线的原则

前面已经指出,对于具有线性相关关系的两个变量,可以用回归直线来表示它们之间的关系。但平面上的直线有无穷多条,究竟用哪一条直线来代表一张散点图上所表示的两个变量之间的关系,需要一个原则。有些直线离散点近一些,用它来表示  $x$  和  $y$  的关系,与实际情况较为符合;而有些直线离散点较远,用它们来表示  $x$  和  $y$  的关系,其精度要差一些。因此,我们所要确定的回归直线应该是在一切直线中对所有试验点总的接近度最好的一条直线。也就是说,以这条直线来代表  $x$  与  $y$  的关系与实测数据的总误差比任何其它直线都要小。

假设用  $(x_i, y_i) (i = 1, 2, \dots, N)$  表示  $N$  组观测数据,即  $N$  个观测点。任意一条直线的方程可写成如下的形式

$$y^* = b_0 + bx \quad (7.2-3)$$

如果用这条直线来代替  $x$  与  $y$  的关系,则对已知的观测点  $(x_i, y_i)$ ,就用同一横坐标  $x_i$  的直线上的点,其纵坐标为  $y_i^* = b_0 + bx_i$ ,来代替实测值  $y_i$ ,其误差为

$$\delta_i = y_i - y_i^* = y_i - b_0 - bx_i \quad (7.2-4)$$

而  $N$  个观测点所引起的误差  $\delta_i$  就构成了总误差。显然,这个总误差不能用这些  $\delta_i$  的代数和

$$\sum_{i=1}^N \delta_i = \delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_N$$

来表示,因为这些误差中有正有负,所以单纯地相加由于正负抵消而不能代表真正的总误差。如用误差的绝对值之和

$$\sum_{i=1}^N |\delta_i| = |\delta_1| + |\delta_2| + \dots + |\delta_N|$$

来表示总误差,可以避免这个缺点,但是这种表示会给以后的数学运算带来麻烦。因而我们转而采用每个误差的平方和

$$Q^* = \sum_{i=1}^N \delta_i^2 = \sum_{i=1}^N (y_i - b_0 - bx_i)^2 \quad (7.2-5)$$

作为总误差。于是,我们要求的回归直线就是在所有直线中误差平方和  $Q^*$  最小的一条直线,也就是说回归直线的系数  $b$  及常数项  $b_0$  使  $Q^*$  达到极小值。

误差平方和  $Q^*$  是待定参数  $b$ 、 $b_0$  的二元函数,根据数学分析中的极值原理,要使  $Q^*$  达到极小值,只要由式(7.2-5)分别对  $b_0$ 、 $b$  求偏导数并令其等于零,即

$$\frac{\partial Q^*}{\partial b_0} = -2 \sum_{i=1}^N (y_i - b_0 - bx_i) = 0 \quad (7.2-6)$$

$$\frac{\partial Q^*}{\partial b} = -2 \sum_{i=1}^N x_i (y_i - b_0 - bx_i) = 0 \quad (7.2-7)$$

使  $Q^*$  达极小值的  $b_0$ 、 $b$  应满足关系式(7.2-6)和(7.2-7)。因此,解此方程组,就可求得  $b_0$ 、 $b$ 。

从式(7.2-6)可以得出

$$\begin{aligned} Nb_0 &= \sum_{i=1}^N y_i - b \sum_{i=1}^N x_i \\ b_0 &= \bar{y} - b\bar{x} \end{aligned} \quad (7.2-8)$$

其中

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N x_i, \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N y_i \quad (7.2-9)$$

它们分别表示  $x_i$ 、 $y_i$  的平均值。从式(7.2-7)求得

$$\sum_{i=1}^N x_i y_i - b_0 \sum_{i=1}^N x_i - b \sum_{i=1}^N x_i^2 = 0$$

将式(7.2-8)及(7.2-9)代入,经整理可得回归系数  $b$  的计算公式:

$$\begin{aligned} b &= \frac{\sum_{i=1}^N x_i y_i - \frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^N x_i \right) \left( \sum_{i=1}^N y_i \right)}{\sum_{i=1}^N x_i^2 - \frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^N x_i \right)^2} \\ &= \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \end{aligned} \quad (7.2-10)$$

由于计算  $b_0$ 、 $b$  的公式(7.2-8)、(7.2-10)中的所有量都可以从观测数据中得出,因此回归直线方程

$$\hat{y} = b_0 + bx$$

便可确定。

在公式(7.2-10)中,分母是所有  $x$  的观测值距其平均数  $\bar{x}$  的偏差平方和,简

称为  $x$  的偏差平方和,记为  $L_{xx}$ 。只要所有的  $x$  的观测值不完全相等,它必然是个大于零的数,因此回归系数  $b$  的符号取决于分子  $x$  的偏差  $x_i - \bar{x}$  与  $y$  的偏差  $y_i - \bar{y}$  积之和,记为  $L_{xy}$ 。当  $b > 0$ ,  $y$  有随  $x$  的增加而增加的趋势;当  $b < 0$ ,  $y$  有随  $x$  的增加而减少的趋势。

上述确定回归直线所根据的原则是使它与所有的观测数据误差的平方和达到极小值。上述求回归直线的方法通常称为“最小二乘法”。这来源于日文汉字,“二乘”即平方。

### 7.2.3 具体计算格式

为了计算的方便,  $x$  的偏差平方和  $L_{xx} = \sum (x - \bar{x})^2$  和  $x$ 、 $y$  的偏差乘积之和  $L_{xy} = \sum (x - \bar{x}) \cdot (y - \bar{y})$ , 以及  $y$  的偏差平方和  $L_{yy} = \sum (y - \bar{y})^2$ , 在实际计算时是按下面的公式计算的:

$$L_{xx} = \sum x^2 - \frac{1}{N}(\sum x)^2 \quad (7.2-11)$$

$$L_{yy} = \sum y^2 - \frac{1}{N}(\sum y)^2 \quad (7.2-12)$$

$$L_{xy} = \sum xy - \frac{1}{N}(\sum x)(\sum y) \quad (7.2-13)$$

例 7.2-1 的具体计算步骤可按表 7.2-2 的格式进行。表 7.2-2 中前两列抄录了表 7.2-1 所记载的  $x$ (铝含量)及  $y$ (游离碱度)的观测值,后三列是对每组分别计算的  $x^2$ 、 $y^2$  及  $xy$  的值(可利用平方表及乘法表)。然后将表 7.2-2 中每列  $N=9$  个数相加,将和数写在最后一行。

表 7.2-2 回归直线方程的计算格式

编号 $N$	$x$	$y$	$x^2$	$y^2$	$xy$
1	1.43	200	2.05	40000	286
2	10.81	178.4	116.86	31826.56	1928.5
3	19.31	163.6	372.88	26764.96	3159.12
4	30.33	152.5	919.91	23256.25	4625.33
5	38.93	136.5	1515.54	18632.25	5313.95
6	51.31	116.5	2632.72	13572.25	5977.62
7	71.66	86.01	5135.16	7397.72	6163.48
8	87.9	64.2	7726.41	4121.64	5643.18
9	88.2	59.7	7779.24	3564.09	5265.54
每列各 数相加	$\sum x = 399.88$	$\sum y = 1157.41$	$\sum x^2$ $= 26200.77$	$\sum y^2$ $= 169135.72$	$\sum xy$ $= 38362.72$



由表 7.2-2 计算得到最后一行数后,按公式(7.2-11)、(7.2-12)、(7.2-13)计算可得:

$$L_{xx} = \sum x^2 - \frac{1}{N}(\sum x)^2 = 26200.77 - 17767.21 = 8433.66$$

$$L_{xy} = \sum xy - \frac{1}{N}(\sum x)(\sum y) = 38362.72 - 51425.01 = -13062.29$$

$$L_{yy} = \sum y^2 - \frac{1}{N}(\sum y)^2 = 169135.72 - 148844.21 = 20291.51$$

再根据公式(7.2-8)、(7.2-9)、(7.2-10)可以算得

$$b = \frac{L_{xy}}{L_{xx}} = -1.55$$

$$b_0 = \bar{y} - b\bar{x} = \frac{1}{N}\sum y - b\frac{1}{N}\sum x = 128.6 + 1.55 \times 44.33 = 128.6 + 68.87 = 197.47$$

最后得回归直线方程为

$$\hat{y} = b_0 + bx = 197.47 - 1.55x$$

这就是所要求的游离碱度与铝含量之间关系的定量表达式。

从前面的计算中不难想到,当观测数据的数字比较大时,计算是比较麻烦的。为了简化计算可以将数据进行适当的变换。通常把观测数据  $x$  或  $y$  加(减)一个常数或乘(除)一个常数,然后对变换后的数据进行类似于表 7.2-2 的计算,最后的计算  $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$ 、 $L_{xx}$ 、 $L_{xy}$ 、 $L_{yy}$  时再进行与前面的变换相应的修正。

设原始的观测数据以  $x$ 、 $y$  表示,现将它们作如下的变换:

$$x' = d_1(x - c_1), y' = d_2(y - c_2)$$

则

$$\bar{x} = c_1 + \frac{\bar{x}'}{d_1}, \bar{y} = c_2 + \frac{\bar{y}'}{d_2}$$

$$L_{xx} = \frac{1}{d_1^2} L_{x'x'}, L_{yy} = \frac{1}{d_2^2} L_{y'y'}$$

$$L_{xy} = \frac{1}{d_1 d_2} L_{x'y'}$$

#### 7.2.4 回归问题的方差分析

当我们求得回归方程之后,这个方程是否基本上符合变量  $y$  与  $x$  之间的客观规律,由它根据  $x$  的值来预报  $y$  的值效果如何,这就需要对变量  $x$ 、 $y$  之间是否线性关系,进行统计检验。

我们根据实验得到的一组观测值  $y$ ,不可能是完全固定的,而总是有变化, $y$  取值的这种变化的波动现象称为变差。我们知道,引起观测数据的波动有两方面的原因:第一,因变量  $x$  取值的不同;第二,其他因素(包括试验误差)的影响。为

了检验这两方面的影响哪一个是主要的,就必须把它们所引起的变差从  $y$  总的变差中分解出来。

对每次观测值来说,变差的大小可以通过该次实际观测值  $y$  与平均数  $\bar{y}$  的差  $y - \bar{y}$  (称为偏差)来表示。而全部  $N$  次观测值的总变差(即总的波动大小)可由这些偏差的平方和

$$S_{\text{总}} = \sum (y - \bar{y})^2 = L_{yy} \quad (7.2-14)$$

表示,它称为  $y$  总的偏差平方和,简称为总的平方和。每个观测点的偏差  $y - \bar{y}$  都可分解成

$$y - \bar{y} = (y - \hat{y}) + (\hat{y} - \bar{y}) \quad (7.2-15)$$

将式(7.2-15)两边平方,然后对所有  $N$  求和,则有

$$\begin{aligned} \sum (y - \bar{y})^2 &= \sum [(y - \hat{y}) + (\hat{y} - \bar{y})]^2 \\ &= \sum (y - \hat{y})^2 + \sum (\hat{y} - \bar{y})^2 + 2\sum (y - \hat{y})(\hat{y} - \bar{y}) \end{aligned}$$

上式最后一项由式(7.2-6)和(7.2-7)可知等于 0,因此总平方和可以分解成两部份,即

$$S_{\text{总}} = \sum (y - \bar{y})^2 = \sum (y - \hat{y})^2 + \sum (\hat{y} - \bar{y})^2 \quad (7.2-16)$$

上式右边第二项是回归值  $\hat{y}$  与平均数  $\bar{y}$  之差的平方和。根据回归方程,回归值  $\hat{y} = b_0 + bx$ ,因此可以把  $\hat{y} - \bar{y}$  看作是由于  $x$  的变化而引起的  $y$  值的变化。因此,所有这些量的平方和  $\sum (\hat{y} - \bar{y})^2$  反映了在  $y$  总的变差中由于  $x$  与  $y$  的线性关系而引起  $y$  变化的部份,我们称它为回归平方和,记作  $U$ 。 $Y$  的这部份变差是可以通过控制  $x$  的值而避免的,因此回归平方和也就是考虑了  $x$  与  $y$  的线性关系或者说作了回归后能使总平方和减少的部份。

至于式(7.2-16)右边的第一项  $\sum (y - \hat{y})^2$ ,它是所有观测点距回归直线的残差  $\delta_i = y_i - \hat{y}_i$  的平方和。根据最小二乘原理,这个量是在所有类似的直线中与观测点距离平方和最小的一个。它是除了  $x$  对  $y$  的线性影响之外的一切因素(包括  $x$  对  $y$  的非线性影响及测量误差等等)对  $y$  变差的作用,我们称它为剩余平方和(或残差平方和),记作  $Q$ 。 $y$  的这部份变差是仅考虑  $x$  与  $y$  的线性关系所不能减少的部分。于是,式(7.2-16)也可以写成

$$S_{\text{总}} = S_{\text{回}} + S_{\text{剩}} = U + Q$$

但需要指出的是,当数据很多时,按定义来计算回归平方和  $U$  和剩余平方和  $Q$  是很复杂的,通常是根据以下的公式来计算:

$$\begin{aligned} U &= \sum (\hat{y} - \bar{y})^2 = \sum (b_0 + bx - b_0 - b\bar{x})^2 \\ &= b^2 \sum (x - \bar{x})^2 = b^2 / L_{xx} = b \cdot \frac{L_{xy}}{L_{xx}} \cdot L_{xx} = bL_{xy} \end{aligned} \quad (7.2-17)$$

因此有了回归系数  $b$ ,回归平方和就可按上式立即求得。至于剩余平方和可按下面公式求得:

$$Q = S_{\text{总}} - U = L_{yy} - bL_{xy} \quad (7.2-18)$$

对每个平方和都有一个相应的“自由度”，而总平方和的自由度  $n$  总也可分解成回归平方和的自由度  $n_u$  与剩余平方和自由度  $n_Q$  之和，即

$$n_{\text{总}} = n_u + n_Q \quad (7.2-19)$$

在回归问题中， $n_{\text{总}} = N - 1$ ，而  $n_u$  对应于自变量的个数，在一元线性回归中， $n_u = 1$ ，故根据式(7.2-19)， $Q$  的自由度  $n_Q = N - 2$ 。

剩余平方和  $Q$  除以它的自由度  $n_Q$  所得的商

$$S^2 = \frac{Q}{N-2} \quad (7.2-20)$$

称为剩余均方(或剩余方差)，它可以看作在排除了  $x$  对  $y$  的线性影响后(或者说当  $x$  固定时)，衡量  $y$  随机波动大小的一个估计量。剩余方差的平方根

$$s = \sqrt{\frac{Q}{N-2}} \quad (7.2-21)$$

称为剩余标准差。与  $s^2$  的意义相似，它可以用来衡量所有随机因素对  $y$  的一次观测值的平均变差的大小，它的单位与  $y$  的单位相同。

这种把平方和及自由度进行分解的方法称为方差分析法。方差分析的所有结果可以归纳在一个简单的表格中，这种表称为方差分析表(见表 7.2-3)。

表 7.2-3 一元线性回归方差分析

变差来源	平方和	自由度	均方(方差)	$F$
回归(因素 $x$ )	$\sum(\hat{y} - \bar{y})^2 = bL_{xy}$	1	$s^2 = \frac{Q}{N-2}$	$bL_{xy}/s^2$
剩余(随机因素)	$\sum(\hat{y} - \bar{y})^2 = L_{yy} - bL_{xy}$	$N-2$		
总计	$L_{yy} = \sum(y - \bar{y})^2$	$N-1$		

上表中  $F$  这个数值是回归均方与剩余均方的比，利用  $F$  这个比值就可以对回归方程进行显著性检验。

我们在作回归时，假定了回归的数学模型是

$$y = \beta_0 + \beta x + \varepsilon$$

即  $y$  与  $x$  具有线性关系。式中的  $\varepsilon$  是误差项，并假定  $\varepsilon$  是独立的，均值为 0，方差为常数  $\sigma^2$  的正态分布。 $b_0$ 、 $b$  是  $\beta_0$ 、 $\beta$  的最小二乘估计。如果  $y$  与  $x$  无线性关系，则模型中一次项系数  $\beta = 0$ ，反之  $\beta \neq 0$ 。所以，要检验两个变量之间是否线性关系，归根到底就是检验  $\beta$  是否为 0。假设  $\beta = 0$ ，则可证明  $F$  统计量服从自由度为  $(1, N-2)$  的  $F$  分布。因此，在给定显著性水平  $\alpha$  下，统计量  $F$  应有

$$P(F \leq F_{\alpha}(1, N-2)) = 1 - \alpha$$

这表明事件“ $F > F_{\alpha}$ ”是小概率事件，它在一次试验中不应发生。如果算得的  $F$  值的确大于  $F_{\alpha}$ ，则说明原假设“ $\beta = 0$ ”不能成立，这就意味着回归模型中一次项

是必要的,不可少的,因而就称该线性回归方程是显著的,反之就称为不显著的。

对于例 7.2-1,由表 7.2-2 计算得到的结果,有

$$L_{yy} = 20291.51, L_{xy} = -13062.29$$

因而

$$U = bL_{xy} = -1.55 \times (-13062.29) = 20246.55$$

$$Q = L_{yy} - U = 20291.51 - 20246.55 = 44.96$$

其自由度  $n_{\text{总}} = 8, n_u = 1, n_Q = 7$ 。从而可列出下面的方差分析表 7.2-4。

表 7.2-4 游离碱度对铝含量回归的方差分析

变 差 来 源	平 方 和	自 由 度	均 方	F
回 归	20246.55	1	20246.55	3153.67 * * *
剩 余	44.96	7	6.42	
总 计	20291.51	8		

对于给定的显著性水平  $\alpha = 0.01$ ,查  $F$  分布表,得  $F_{0.01}(1, 7) = 12.25$ ,而计算得到的  $F = 3153.67$  大于这个数,可见回归方程是高度显著的。

### 7.2.5 相关系数

我们除了用方差分析的方法对回归方程进行统计检验外,还可以从另一角度来讨论回归的效果问题。

我们对  $n$  对数据配一条直线的目的,无非是要探索  $x$  与  $y$  之间,或者说  $y$  与  $x$  之间的线性关系是否密切。在前面的讨论中我们不难看出,就方法本身而言,即使是对于平面上一堆杂乱无章的散点,也可用最小二乘法给它们配一条直线来表示  $x$  和  $y$  之间的关系。但在这种情况下,所配的直线不一定具有实际意义。因此我们要问,究竟在什么场合下配回归直线才有意义? 为了回答这个问题,我们希望找到一个指标,它能够描述两个变量之间线性关系的密切程度,这个指标叫做相关系数,通常用字母  $r$  来表示,它由下列公式来计算的:

$$r = \frac{L_{xy}}{\sqrt{L_{xx} \cdot L_{yy}}} = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \cdot \sum (y - \bar{y})^2}} \quad (7.2-22)$$

从上式可知,相关系数的符号决定于偏差乘积之和  $L_{xy}$  的符号,从而与回归系数  $b$  的符号相一致。当  $r > 0$  时,称  $x$  与  $y$  正相关;当  $r < 0$  时,称  $x$  与  $y$  负相关。

可以证明,对于  $x, y$  的任何值,式(7.2-22)中分子的绝对值永远不会大于分母的值,因而相关系数的取值范围是

$$0 \leq |r| \leq 1$$

我们从回归平方和与剩余平方和的意义可知,一个回归效果的好坏取决于  $U$  及  $Q$  的大小,或者说取决于  $U$  在总平方和  $L_{yy}$  中的比例  $U/L_{yy}$  这个比值愈大,回归

的效果就愈好。由于

$$\begin{aligned} U &= bL_{xy} \\ Q &= L_{yy} - U = L_{yy} - bL_{xy} \\ \frac{U}{L_{yy}} &= \frac{bL_{xy}}{L_{yy}} = \frac{L_{xy}^2}{L_{xx} \cdot L_{yy}} = r^2 \\ r &= \sqrt{\frac{U}{L_{yy}}} \end{aligned} \quad (7.2-23)$$

因此,  $r$  的绝对值愈大, 回归的效果就愈好。

在例 7.2-1 中,  $U = 20246.55$ ,  $L_{yy} = 20291.51$ , 故

$$r = \sqrt{\frac{20246.55}{20291.51}} = 0.9989$$

这说明  $x$  与  $y$  的线性关系非常密切。

### 7.2.6 利用回归方程进行预测和控制

如果通过检验, 所求得的回归方程有意义, 那么它在一定程度上反映了两个相关变量之间的内在规律。于是, 我们就可以利用回归方程进行预测与控制。

所谓预测, 就是对给定的  $x$ , 预测  $y$  的散布范围。当  $x$  固定于某个特定值  $x_0$  时,  $y$  是一个服从正态分布的随机变量, 它的均值为  $\alpha + \beta x_0$ , 方差为  $\sigma^2$ 。因此, 当我们求得回归直线方程  $\hat{y} = b_0 + bx$  后, 可以用  $b_0$ 、 $b$  分别估计  $\alpha$  与  $\beta$ , 用剩余方差  $s^2$  估计  $\sigma^2$ 。因此粗略地说, 对固定的  $x_0$ , 根据回归方程可以用回归估计量  $\hat{y}_0 = b_0 + bx_0$  来预测  $y$  的值, 而预测方差的估计为  $s^2$ 。因此预测值  $y$  的分布近似为均值为  $\hat{y}_0$ 、方差为  $s^2$  的正态分布。于是根据正态分布的性质, 当  $x = x_0$ , 用  $\hat{y}_0$  预测  $y$  时,  $y$  的实际观测值落在  $\hat{y}_0 \pm 2s$  范围内的比例约为 95%, 落在  $\hat{y}_0 \pm 3s$  范围内的比例约为 99.7%, 等等。由此可见, 若  $s$  愈小, 则由回归方程预测  $y$  的值就愈精确, 因此剩余标准差可以看作为预测精确度的一个重要标志。

以上的结论对一切合理取值范围内的  $x$  都成立, 因此如在平面图上作两条与回归直线平行的直线:

$$y' = b_0 - 3s + bx$$

$$y'' = b_0 + 3s + bx$$

则可以预料, 在全部可能出现的  $y$  值中, 大约有 99.7% 的点落在这两条直线所夹的范围内。

对例 7.2-1, 经计算得:

$$s = 2.53 \quad (7.2-24)$$

$$y' = b_0 - 3s + bx = 189.88 - 1.55x$$

$$y'' = b_0 + 3s + bx = 205.06 - 1.55x \quad (7.2-25)$$

直线(7.2-24)与(7.2-25)即是图 7.2-1 中画的两条虚线。

上面讨论了预测问题,关于控制问题,实际上是预测问题的反问题。即若要求  $y$  在某范围  $(y_1, y_2)$  内取值,问  $x$  应控制在什么范围,亦即要求以一定的置信水平求出相应的  $x_1, x_2$ , 使  $x_1 < x < x_2$ , 所对应的  $y$  值落在  $(y_1, y_2)$  内。

例如在例 7.2-1 中,若要求游离碱度  $y$  在  $(160, 70)$  内变化,问铝含量  $x$  应控制在什么范围? 由式(7.2-24)可得

$$y_2 = 189.88 - 1.55x_2 = 70$$

解得  $x_2 = 77.34$ 。由式(7.2-25)

$$y_1 = 205.06 - 1.55x_1 = 160$$

解得  $x_1 = 29.07$ 。所以,只要铝含量控制在  $(29.07, 77.74)$  范围内,就可以 99.7% 的概率保证游离碱度在  $(160, 70)$  范围内变化。

### 7.3 一元正交多项式回归

实际中很多问题,结果变量与因变量的关系并非都是线性的,而是非线性的。这类问题可以用多项式回归来处理。故多项式回归在回归分析中占有重要的地位,它可以处理相当一类非线性问题。

在原则上,非线性的回归问题可以化为多元线性回归问题。比如,结果变量  $y$  和因变量  $x$  是一个  $k$  次多项式的关系

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \cdots + a_kx^k \quad (7.3-1)$$

只要我们令

$$x_1 = x, x_2 = x^2, \cdots, x_k = x^k$$

式(7.3-1)就成为

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \cdots + a_kx_k$$

这就化为一个多元线性回归问题。但是当  $k$  的数值较大时,多元线性回归的计算是相当复杂的,而且由于回归系数之间存在相关性,当剔除一个自变量之后,还必须重新计算。这是多元线性回归的基本缺点。

为了克服这些缺点,人们研究了各种方法。利用正交多项式来配多项式回归的方法,可以有效地克服上述两个缺点。但要注意的是,这种方法仅适用于因变量取等间隔数值的情况。

假设在某项实验中,因变量是可控制的,从而可以有意识地安排它取等间隔的数值。不失一般性,可设  $x_1 = 1, x_2 = 2, \cdots, x_t = t, \cdots, x_N = N$ 。如果  $x_1 = a + h, x_2 = a + 2h, \cdots, x_N = a + Nh$ , 只要作变换  $x' = (x - a)/h$ , 就有  $x'_1 = 1, x'_2 = 2, \cdots, x'_N = N$ 。记对应于  $x_t = t$  的实验结果为  $y_t (t = 1, 2, \cdots, N)$ , 对这组实验结果我们配一个  $k$  次多项式

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \cdots + a_kx^k$$

设  $\Psi_1(x), \Psi_2(x), \dots, \Psi_k(x)$  分别是  $x$  的一次, 二次及  $k$  次多项式, 则式(7.3-1)也可用  $\Psi_i(x)$  来表示

$$y = b_0 + b_1 \Psi_1(x) + b_2 \Psi_2(x) + \dots + b_k \Psi_k(x) \quad (7.3-2)$$

将  $\Psi_i(x)$  看作是新变量, 式(7.3-2)就是一个  $k$  元线性回归方程, 其回归系数  $b_i$  由下面的正规方程组确定:

$$\begin{cases} L_{11} b_1 + L_{12} b_2 + \dots + L_{1k} b_k = L_{1y} \\ L_{21} b_1 + L_{22} b_2 + \dots + L_{2k} b_k = L_{2y} \\ \vdots \\ L_{k1} b_1 + L_{k2} b_2 + \dots + L_{kk} b_k = L_{ky} \end{cases} \quad (7.3-3)$$

为了简化计算, 我们选择这样的  $\Psi_i(x)$ , 使

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^N \Psi_i(x_i) = 0, i = 1, 2, \dots, k \\ \sum_{i=1}^N \Psi_i(x_i) \Psi_j(x_i) = 0, i \neq j \end{cases} \quad (7.2-4)$$

式(7.3-4)称为正交性条件, 满足式(7.2-4)的  $\Psi_i(x)$  称为正交多项式。这时解方程(7.3-3)可求得:

$$b_i = \frac{\sum_{i=1}^N \Psi_i(x_i) y_i}{\sum_{i=1}^N \Psi_i^2(x_i)} \quad (7.2-5)$$

而常数项  $b_0$  的表达式:

$$b_0 = \bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \quad (7.2-6)$$

因此, 问题是要我们能够确定出满足正交性条件(7.2-4)的  $\Psi_i(x)$ 。不难验证, 下列一组多项式满足正交性:

$$\begin{cases} \Psi_1(x) = x - \bar{x} \\ \Psi_2(x) = (x - \bar{x})^2 - \frac{N^2 - 1}{12} \\ \Psi_3(x) = (x - \bar{x})^3 - \frac{3N^2 - 7}{20}(x - \bar{x})^2 \\ \vdots \\ \Psi_{p+1}(x) = \Psi_1(x) \Psi_p(x) - \frac{p^2(N^2 - p^2)}{4(4p^2 - 1)} \Psi_{p-1}(x) \end{cases} \quad (7.2-7)$$

这一组多项式就称为正交多项式。

由于  $\Psi_i(x)$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) 的值不一定都为整数, 因此为方便起见, 通常引进适当的系数  $\lambda_i$ , 使

$$\phi_i(x) = \lambda_i \Psi_i(x) \quad (7.3-8)$$

在  $N$  个整数点上的值都为整数, 此时

$$\sum_{i=1}^N \phi_i(x_i) \phi_j(x_i) = \begin{cases} 0, & \text{当 } i \neq j \\ s_i, & \text{当 } i = j \end{cases} \quad (7.3-9)$$

对给定的  $N$ , 相应的  $\lambda_i$  及  $\phi_i(x)$  在  $1, 2, \dots, N$  各整数点的数值及  $s_i = \sum_{i=1}^N \phi_i^2(x_i)$  都已制成表(见本手册附表Ⅲ-1 正交多项式表), 实际计算可以充分利用这些表进行, 以使计算大为简化。

利用正交多项式配回归的实际计算按以下的步骤进行:

(1) 根据试验次数  $N$ , 查相应的正交多项式表;

(2) 设要配一个  $k$  次多项式, 就抄下到  $k$  次为止的正交多项式表, 然后把  $N$  个观测数据  $y$ , 写在正交多项式表的右方列中;

(3) 计算

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum y$$

$$B_i = L_{iy} = \sum_{i=1}^N \phi_i(x_i) y_i$$

从而回归系数

$$b_i = \frac{B_i}{S_i}, i = 1, 2, \dots, k$$

$$b_0 = \bar{y}$$

则回归方程为

$$\begin{aligned} \hat{y} &= b_0 + b_1 \phi_1(x) + b_2 \phi_2(x) + \dots + b_k \phi_k(x) \\ &= b_0 + b_1 \lambda_1 \Psi_1(x) + b_2 \lambda_2 \Psi_2(x) + \dots + b_k \lambda_k \Psi_k(x) \end{aligned}$$

(4) 效果检验。在计算  $\phi_i$  的系数  $b_i$  之后, 就可进行方差分析。 $y$  的总平方和仍按通常的公式计算, 即

$$L_y = \sum y^2 - \frac{1}{N} (\sum y)^2$$

而回归平方和为

$$U = \sum_{i=1}^k b_i L_{iy} = b_i B_i$$

在用正交多项式配回归中, 我们注意到这样一个事实, 即每次多项式  $\phi_i(x)$  的系数  $b_i$  及相应的  $B_i = \sum_{i=1}^N \phi_i(x_i) y_i$  只与  $y_i$  及  $\phi_i(x_i)$  有关, 而不随其他各次多项式的增减而变化。在整个回归中多配一项  $\phi_i(x)$  就使回归平方和增加一项  $b_i B_i$ 。因此可以把

$$R_i = b_i B_i = B_i^2 / s_i$$

看作是第  $i$  次多项式  $\phi_i(x)$  的效应, 而回归平方和则是各次效应的和。

正交多项式回归的方差分析可按表 7.3-1 的格式进行。



表 7.3-1 正交多项式回归的方差分析

变差来源	平方和	自由度	均方(方差)	F
回归 $\left\{ \begin{array}{l} \text{一次 } \phi_1(x) \\ \text{二次 } \phi_2(x) \\ \vdots \\ \text{k 次 } \phi_k(x) \end{array} \right.$	$U \left\{ \begin{array}{l} b_1 B_1 \\ b_2 B_2 \\ \vdots \\ b_k B_k \end{array} \right.$	$k \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{array} \right.$	$\begin{array}{l} b_1 B_1 \\ b_2 B_2 \\ \vdots \\ b_k B_k \end{array}$	$\begin{array}{l} F_1 = B_1 b_1 / s^2 \\ F_2 = b_2 B_2 / s^2 \\ \vdots \\ F_k = b_k B_k / s^2 \end{array}$
剩余	$Q = L_{yy} - \sum_{i=1}^k b_i B_i$		$s^2 = \frac{Q}{N-k-1}$	
总 和	$L_{yy}$	$N-1$		

其中回归平方和的自由度  $k$  也被分解成各次效应的自由度(都等于 1)之和。

检验所配各次多项式  $\phi_i(x)$  对  $y$  的贡献是否显著,可以用各次效应  $P_i$  与剩余方差  $s^2$  的比值

$$F_i = \frac{P_i}{s^2} = \frac{b_i B_i}{s^2}$$

进行 F 检验,  $F_i$  的自由度为 1,  $N-k-1$ 。对于那些不显著的高次项可以把它们从回归方程中剔除。而如果检验的结果都显著,同时所配多项式的精度还不够满意时可继续增加更高次的项。

[例 7.3-1] 为了考察化学铣切过程中铝含量和不均匀度的定量关系,我们确定起始碱浓度为 145, 温度固定,测得 8 个不同铝含量下的不均匀度数据列于表 7.3-2。

表 7.3-2 起始碱浓度为 145 时不同铝含量下的不均匀度

铝含量 $x$	0	10	20	30	40	50	60	70
不均匀度 $y$	0.12	0.15	0.20	0.22	0.25	0.47	0.54	0.60

对上面的 8 组数据我们设想配一个直到 3 次多项式的回归方程:

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 \quad (7.3-10)$$

我们作变换

$$\begin{cases} x' = \frac{x+10}{10} \\ y' = 10y \end{cases}$$

则表 7.3-2 的数据变换成表 7.3-3。

表 7.3-3 经变换后不同铝含量下的不均匀度

铝含量 $x'$	1	2	3	4	5	6	7	8
不均匀度 $y'$	1.2	1.5	2	2.2	2.5	4.7	5.4	6

利用  $N=8$  的正交多项式, 式(7.3-10)可以写成:

$$\begin{aligned} y' &= b_0 + b_1 \phi_1(x') + b_2 \phi_2(x') + b_3 \phi_3(x') \\ &= b_0 + b_1 \lambda_1 \Psi_1(x') + b_2 \lambda_2 \Psi_2(x') + b_3 \lambda_3 \Psi_3(x') \end{aligned} \quad (7.3-11)$$

查  $N=8$  的正交多项式表(详见本手册附表Ⅲ-1 正交多项式表), 因我们只准备配到 3 次, 所以只抄录相应于  $\phi_1, \phi_2, \phi_3$  这几列的数值。具体计算列于表 7.3-4。

表 7.3-4 用正交多项式配多项式回归的计算格式

$x'$	$\phi_1(x')$	$\phi_2(x')$	$\phi_3(x')$	$y'$	$y'^2$
1	-7	7	-7	1.2	1.44
2	-5	1	5	1.5	2.25
3	-3	-3	7	2.0	4.0
4	-1	-5	3	2.2	4.84
5	1	-5	-3	2.5	6.25
6	3	-3	-7	4.7	22.09
7	5	1	-5	5.4	29.16
8	7	7	7	6.0	36.0
$B_i = \sum \phi_i y'_i$	61.5	13.7	-5.7	$\sum y' = 25.5$	$\sum y'^2 = 106.03$
$s_i$	168	168	264	$N = 8$	
$b_i = B_i / s_i$	0.366	0.0815	-0.0216	$b_0 = 3.188$	
$P_i = b_i B_i$	22.509	1.1165	0.1231		
$\lambda_i$	2	1	2/3		

上表中  $y'$  这一列记载的是 8 次试验的实测数据, 最右列  $y'^2$  是为了计算总平方和  $L_{yy}$  用的。表中下半部的  $s_i$  及  $\lambda_i$  两行数值也是从正交多项式表中抄录的。 $B_i$  这一行的每个数是相应的列与  $y'$  这一列的乘积之和, 例如

$$B_1 = \sum \phi_{1j}(x') y'_j = (-7) \times 1.2 + (-5) \times 1.5 + (-3) \times 2 + \cdots + 7 \times 6 = 61.5$$

对  $B_2, B_3$  作类似计算。从  $B_i$  及  $s_i$  即可得  $b_i$  及  $P_i$ 。根据上表, 总平方和为

$$L_{yy} = \sum y'^2 - \frac{1}{N} (\sum y')^2 = 106.03 - \frac{1}{8} (25.5)^2 = 24.7488$$

回归平方和等于各次效应之和

$$U = \sum_{i=1}^3 P_i = \sum_{i=1}^3 b_i B_i = 24.7486$$

所以剩余平方和为

$$Q = L_{yy} - U = 1.0002$$

从而可得方差分析表如表 7.3-5。

表 7.3-5 不均匀度的正交多项式回归的方差分析(I)

变差来源	平方和	自由度	均方(方差)	F
回归 { 一次 二次 三次	23.7486 { 22.509 1.1165 0.1231	3 { 1 1 1	22.509 1.1165 0.1231	90.036*** 4.466* 0.492
剩余	1.0002	4	0.25	
总 和	24.7488	7		

查  $F$  分布表  $F_{0.01}(1,4) = 21.20$ ,  $F_{0.05}(1,4) = 7.71$ ,  $F_{0.10}(1,4) = 4.54$ 。可见一次项是高度显著的,二次项已接近于  $\alpha = 0.10$  水平上显著,三次项不显著。我们把三次项的平方和归入剩余平方和中再作方差分析,列表如表 7.3-6。

表 7.3-6 不均匀度的正交多项式回归的方差分析(II)

变差来源	平方和	自由度	均方(方差)	F
回归 { 一次 二次	23.6255 { 22.509 1.1165	2 { 1 1	22.509 1.1165	100.218*** 4.97*
剩余	1.1233	5	0.2246	
总 和	24.7488	7		

查  $F$  分布表  $F_{0.01}(1,5) = 16.26$ ,  $F_{0.05}(1,5) = 6.61$ ,  $F_{0.10}(1,5) = 4.06$ 。因此一次项是高度显著的,二次项在  $\alpha = 0.10$  水平上显著。因而实际上配到二次就可以了。因此不均匀度  $y'$  和铝含量  $x'$  的回归方程为:

$$\begin{aligned}\hat{y}' &= b_0 + b_1\Phi_1(x') + b_2\Phi_2(x') = b_0 + b_1\lambda_1\Psi_1(x') + b_2\lambda_2\Psi_2(x') \\ &= 3.188 + 0.732(x' - 4.5) + 0.0815[(x' - 4.5)^2 - \frac{8^2 - 1}{12}] \\ &= 1.1165 - 0.0015x' + 0.08152x'^2\end{aligned}$$

相关系数  $R = 0.9546$ , 误差  $\hat{s}' = 0.474$

将  $x' = \frac{x+10}{10}$ ,  $y' = 10y$  代入得

$$\begin{aligned}\hat{y} &= 10^{-1} [1.1165 - 0.0015 \frac{x+10}{10} + 0.0815 (\frac{x+10}{10})^2] \\ &= 0.1197 + 0.00163x + 0.000082x^2\end{aligned}$$

$$R = 0.9546, \hat{s} = 0.0474$$

在应用正交多项式回归时,每增加一次实际上只须要在表中增加一列,而且可

以在前面计算完成后再加上去,这在实际使用中是很方便的。如不使用正交多项式,就没有这个方便。

## 7.4 本章参考文献

- [7-1] 金良超编著,《正交设计与多指标分析》,中国铁道出版社,1998。
- [7-2] 上海师范大学数学系概率统计教研组,《回归分析及其设计》上海教育出版社,1978。
- [7-3] 正交试验设计编写组编,《正交试验设计法》,上海科学技术出版社,1979。
- [7-4] 北京大学数学力学系数学专业概率统计组编,《正交设计》,人民教育出版社,1976。

## 本章思考题

- [7-1] 对某发动机的推进剂流量  $x$  与推力  $y$  做了 14 次试验,得到了 14 组观测数据,通过计算得到如下结果,  $\sum_{i=1}^{14} x_i = 61.8$ ,  $\sum_{i=1}^{14} y_i = 132.9$ ,  $\sum_{i=1}^{14} x_i y_i = 621.41$ ,  $\sum_{i=1}^{14} x_i^2 = 296.8$ ,  $\sum_{i=1}^{14} y_i^2 = 1313.95$ , 试求  $L_{xx}$ ,  $L_{xy}$ ,  $L_{yy}$  以及  $b$ ,  $b_0$  和回归方程  $\hat{y}$ 。
- [7-2] 求题[7-1]中的相关系数  $r$ ,并说明  $x$  与  $y$  是否线性相关。

## 思考题题解

$$[7-1] \quad L_{xx} = \sum x^2 - \frac{1}{14}(\sum x)^2 = 23.9971$$

$$L_{yy} = \sum y^2 - \frac{1}{14}(\sum y)^2 = 52.3493$$

$$L_{xy} = \sum xy - \frac{1}{14}(\sum x)(\sum y) = 34.7514, b = \frac{L_{xy}}{L_{xx}} = 1.4481, b_0 = \bar{y} - b\bar{x} = 3.$$

$$1005, \hat{y} = 3.1005 + 1.4481x$$

$$[7-2] \quad r = \frac{L_{xy}}{\sqrt{L_{xx} \cdot L_{yy}}} = \frac{34.7514}{\sqrt{(23.9971)(52.3493)}} = 0.9805, \text{因此,认为 } x \text{ 与 } y \text{ 之间存在密切的线性相关关系。}$$

## 第八章 抽样检验

### 8.1 概述

#### 8.1.1 基本概念

**个体**是可以对其进行一系列观测的一件具体的或一般的物体、或可以对其进行一系列观测的一定数量的物质、或一个定性或定量的观测值。例如：一个电阻、一公斤化肥、一个电灯泡的寿命。所考虑的个体的全体称为**总体**。例如：某厂某车间一天生产的电视机全体。总体中每一有明确定义的部分称为**子总体**。区别给定总体中的个体的一种性质叫**特性(特征)**，上述区别可以是定量的，也可以是定性的。例如：电阻的阻值，电视机的美观程度。

在一致条件下生产或按规定方式汇总起来的一定数量的个体叫“**批**”。批中包括的个体数量叫**批量**。一次交付的个体集叫**交付批**。交付批可以由一批、多批或部分批组成。从而批与交付批是两个不一定一致的概念。在本章中，一般就把批看成为总体。

**样本(子样)**是取自总体中的一个或多个个体，用于提供关于总体的信息，并作为可能对总体(或产生总体的过程)进行某种判定的基础。样本中所包含的个体数目叫**样本量**。组成样本过程叫**抽样**，如果个体是从总体中一次同时抽取，或是逐个抽取但不放回到总体中去，则叫**无放回抽样**，如果每个被抽取并经过观测的个体在抽下一个个体前须放回到总体中去，则叫**有放回抽样**。进行有放回抽样时，同一个个体有可能在样本中出现多次。在工业中目前已不采用有放回抽样。

#### 8.1.2 随机抽样

从包含  $N$  个个体的总体中抽取  $n$  个个体，使包含有  $n$  个个体的所有可能的组合被抽取的概率都相等的抽样叫**简单随机抽样**。例如：设总体包含 A、B、C、D、E 共 5 个个体。今要从其中抽取 3 个个体。则一共有  $\binom{5}{3} = 5! / 3! (5-3)! = 10$  种可能组合。即：

ABC, ABD, ABE, ACD, ACE, ADE, BCD, BCE, BDE, CDE。

这 10 种可能组合被抽取的概率都相等时，即简单随机抽样。但这样实现简单随机抽样实在太麻烦了。按照简单随机抽样的特性，“总体中每个个体被抽取到样本中的可能性都相等”，我们根据这个特性来实现随机抽样。

本章中的抽样都指的是随机抽样。**随机抽样**的方法大体有三种。一是我国古老的抓阄，缺点是做纸团不方便；二是由计算机数学的创始人冯·诺依曼(Von Neu-

mann)最早建议,后来由其他学者发展的用计算机程序产生随机数。但由于这种随机数是程序按一定规律产生的,故叫**伪随机数**。有些电子计算器就有产生三位伪随机数的功能。第三种方法是日本首倡的正 20 面体骰子。叫“随机数骰子”,一套六个具有不同颜色。它是均匀材料制成的正 20 面体,各面上刻有 0,1,2,...,9 的数字各 2 个。图 8.1-1 为其示意图。用它可以产生一位、二位,以至六位随机数。首先根据要一个  $n$  位随机数就取  $n$  个骰子。然后规定各种颜色的骰子所表示的位数。将着这  $n$  个骰子一掷(或放在盒内摇动)即得一个  $n$  位随机数。继续下去,可得  $n$  位随机数的数列。例如一个三位随机数的数列掷得如下:

735,468,723,562,696,840,177,888,052,363,

利用随机数列进行随机抽样的方法如下:

(1)将一批产品的个体予以编号。设批量为  $N$ ,则编号从 1,2,到  $N$ 。要从中抽取  $n$  个个体。

(2)当  $N \leq 10$  时,掷出一个一位随机数列,其中的 0 号作为 10 号。逐次记下随机数号,但超过  $N$  的不算,重复出现的不算。按随机数号抽取  $n$  个个体。

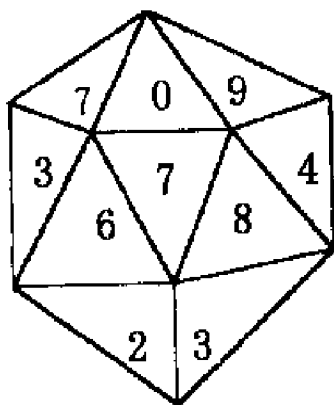


图 8.1-1 随机数骰子图

(3)当  $10 < N \leq 100$  时,掷出一个两位随机数列:

①  $10 < N \leq 20$ ,把每一个随机数除以 20 后的余数作为随机选取的编号数列,其中的 00 号作为 20 号,但超过  $N$  的不算,重复出现的不算。按随机选取的编号数列抽取  $n$  个个体。

②  $20 < N \leq 50$ ,把每一个随机数除以 50 后的余数作为随机选取的编号数列,其中的 00 号作为 50 号,超过  $N$  的随机数不算,重复出现的不算。按随机选取的编号数列抽取  $n$  个个体。

③  $50 < N \leq 100$ 。把两位随机数列即作为随机选取的编号数列。其中的 00 号作为 100 号,但超过  $N$  的不算,重复出现的不算。按随机选取的编号数列抽取  $n$  个个体。

④ 当  $100 < N \leq 1000$  时,掷出一个三位随机数列,仿③的规则进行,只是 20 与

50 换成 200 与 500。

[例 8.1-1] 在一批  $N = 155$  的产品中,要随机抽取七个产品构成一个样本。问如何进行?

[解] 从(8.1-1)数列已得一个三位随机数列。

今  $100 < N \leq 200$ ,把每一个随机数除以 200 后的余数作为随机选取的编号数列,得到

135,068,123,162,096,040,177,088,052,163,...

其中的 00 号作为 200,超过  $N = 155$  的随机数不算,重复出现的不算。得随机选取的编号数列为:

135,068,123,...,096,040,...,088,052,...

因此抽取编号为 135,068,123,096,040,088,052 的七个产品。

### 8.1.3 抽样检验

对一种或多种特性进行测量、检查、试验,并和规定要求条件进行对比的活动叫**检验**。(GB/T3358.2—93)为确定批的质量而进行的检验叫**批检验**。由使用方对交付批(或准备交付批)进行的检验叫**验收检验**。在一致条件下生产并提交检验的一定数量的个体叫**检验批**。从抽取的一个或  $n$  个样本得到的信息并作出某种决定的方案叫**抽样方案**。这里的决定一般是两种:一是**接收**,即同意接收一个批;一是**拒收**,即拒绝接收一个批。按照规定的抽样方案,随机地从一批或一个过程中抽取部分个体或材料进行的检验叫**抽样检验**。与此相对的是全检或百分之百检,即对批中的所有个体或材料进行的全部检验。一般说来,如果使用方要求以最小费用保证所接收的产品符合质量规定,则采用适当的抽样检验比全检常更为有利,对于破坏性检验的产品,则抽样检验是唯一可行的方法。但如果要求每个个体都符合要求,则只能用全检。

个体中与规定用途有关的要求不符合的任何一项(点)叫**缺陷**。但个体的缺陷往往不止一种,其后果不一定一样。从而应根据缺陷后果的严重性予以分级。根据判断或经验,对使用、维护产品或与此有关的人员可能造成危害或不安全状况的缺陷;或可能损坏重要产品的基本功能的缺陷叫**致命缺陷**,也叫**A类缺陷**。不同于致命缺陷,但能引起失效或显著降低产品预期性能的缺陷叫**重缺陷**,也叫**B类缺陷**。不会显著降低产品预期性能的缺陷,或偏离标准但只轻微影响产品的有效使用或操作的缺陷叫**轻缺陷**。例如,某些产品的外观不合格就属于轻缺陷,也叫**C类缺陷**。一个个体可能有  $n$  个缺陷,例如,一台收录机的音色不好与外观两处掉漆,这就有三个缺陷。再如,以十米为一个个体的布上有七个疵点,这就有七个缺陷。被观测个体的总缺陷数除以被观测的个体数所得的商叫做每个个体**平均缺陷数**。该数再乘 100,即**每百个体平均缺陷数**。

有缺陷的个体叫**不合格品**。其中包含致命缺陷(也可能还包含重或轻缺陷)的个体叫**致命不合格品**,也叫**A类不合格品**;包含重缺陷(也可能还包含轻缺陷)但不

包含致命缺陷的个体叫**重不合格品**,也叫**B类不合格品**;包含轻缺陷但不包含致命缺陷和重缺陷的个体叫**轻不合格品**,也叫**C类不合格品**。不合格品应分级统计。被观测的个体集中的不合格品数除以被观测的个体总数即**不合格品率**。该数再乘100即是百分不合格品率。

一个产品有很多质量特性,例如,电容就有容量、漏电流和温漂系数等质量特性。其中有些质量特性只有通过破坏性检测才能检验,例如电灯泡的寿命等。因此一个产品质量特性一般是不可能全测的。能予测量的也只是一部分参数,而且某些参数测试的费用较高,甚至远远超过产品本身的费用,因此所谓全检,实质上是根据设计需要及测试费用,选定若干个参数对批产品的每个个体予以测试。

正因为如此,有两种不合格及不合格率的概念。

产品有  $n$  个质量参数,每一个质量参数有一个合格范围,如果产品有一项参数超出合格范围,产品就不合格。一个产品的某一项参数不合格,其它参数可能是合格的。对于一个产品而言,诸参数合格与否并不一致。所以一个产品的某几项指定检验的参数测试合格,这叫检验合格,不能说明所有参数合格,也即可能它是不合格品,令一批产品对所有参数而言的不合格率为  $p_T$ ,这是批产品真正的不合格率;对指定测试的几个参数的不合格率为  $p$ ,则一般是  $p_T > p$ , $p_T$  叫**总体不合格率**, $p$  叫**检验不合格率**。

因此“批产品经全数检验交付检验合格品”,并不意味着“交付产品都真的是合格的”。它仍有  $p_T - p$  的不合格率!但是对稳定生产的产品而言,如果选定的检测参数有一定代表性,则  $p$  一般是  $p_T$  的一个百分数。本章的  $p$  值指的是检测不合格率,简称不合格率(不是批真正的不合格率)。

对检验批(或取自该批的样本)中每个个体记录有无某种属性(一般是:合格品?还是不合格品?),计算共有多少个体有(或无)这种属性;或者计算每个(或每百个)个体中的缺陷数的检验方法叫**计数检验**。对检验批(或取自该批的样本)中的每个个体,测量其某个定量质量特性的检验方法叫“**计量检验**”。根据抽样方案是抽取一个还是多个样本?可分为:一次抽样、二次抽样、多次抽样、序贯抽样等几种。“**一次抽样**”是从批中只抽取一个样本的抽样方式;“**二次抽样**”是根据第一个样本提供的信息,决定是否抽取第二个样本的抽样方式;**多次抽样**是可能依次抽取多达  $K$  个样本的抽样方式,关于抽取第  $i$  个( $i \leq K$ )样本的决定是由前( $i-1$ )个样本所提供的信息而定的;序贯抽样是逐个(或成组)地抽取个体,但事先并不固定抽取个数的抽样方式。根据事先规定的规则,直到可以作出接收或拒收此批的决定为止。**序贯抽样**一般用于大型或贵重产品。在一次、二次或多次抽样的情况,一旦可以作出接收或拒收的决定时就终止检验。这叫**截尾检验**。在序贯抽样的情况下,当检验个数达到事先规定的数目仍没有作出接收或拒收的决定时,停止检验,并按照另一个事先确定的规则作出决定,这叫**截尾序贯检验**。

确定接收或拒收一个批的抽样方案叫验收抽样方案。一个最简单的计数一次抽样方案如图 8.1-2 所示。



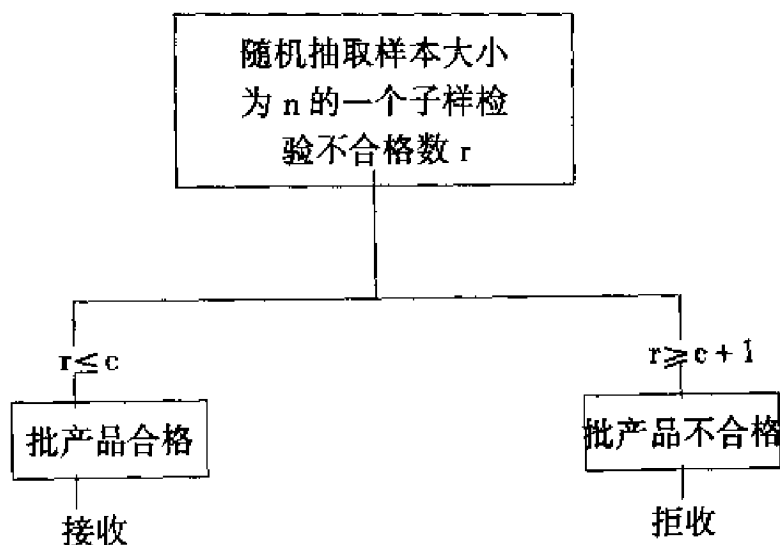


图 8.1-2 例 8.1-2 的抽样方框图

[例 8.1-2] 在一批产品数量很多的批量为  $N$  的批产品中,随机抽取一个样本量为  $n$  的样本,检验其中的不合格品数  $r$ 。规定一个  $c$  值,如  $r \leq c$ ,认为批产品合格,接收;如  $r \geq c + 1$ ,认为批产品不合格,拒收。此抽样方案的方框图如图 8.1-2 所示。

在计数抽样检验中,对接收批的样本中容许出现的缺陷数或不合格品数的上限值叫接收数,或合格判定数。上例中, $c$  就是接收数。在计数抽样检验中,对拒收批的样本中规定的缺陷数或不合格品数的下限值叫拒收数,或不合格判定数。上例中  $c + 1$  就是拒收数。在国际上,以  $A_c$  表示接收数, $R_e$  表示拒收数。在 [例 8.1-2] 中, $A_c = c$ ,  $R_e = c + 1$ 。

正由于抽样检验不是全检。因此,任何抽样方案都有可能接收质量不好的批,也有可能拒收质量好的批。

[例 8.1-3] 在 [例 8.1-2] 中设  $N$  比  $n$  大得多,记作  $N \gg n$ 。令  $n = 20$ ,  $c = 2$ 。即

$$A_c = 2, R_e = 3。$$

设  $N = 1000$ ,其中合格品 997 个,不合格品 3 个。这批产品的质量是好的。但如果正好抽 20 个产品构成样本时,得到 17 个合格品及 3 个不合格品,则按抽样方案,应拒收这批产品,即拒收质量好的批产品,使生产方蒙受损失。不过正好抽到 3 个不合格品的机会是很少的。

反之,设  $N = 1000$ ,其中合格品 18 个,不合格品 982 个。这批产品的质量是很不好的。但如果正好抽 20 个产品构成样本时,得到 18 个合格品及 2 个不合格品,则按抽样方案,应接收这批产品。即接收质量很不好的批产品,使得使用方蒙受损失。不过正好抽到 18 个合格品的机会是非常小的,但总还是有这样的可能。

具有一定质量的批,按给定的抽样方案接收的概率叫接收概率;具有一定质量的批,按给定的抽样方案拒收的概率叫拒收概率。人们自然关心给定抽样方案对

一定质量的批的接收及拒收概率。

#### 8.1.4 特性曲线(OC 曲线)

[例 8.1-4] 在[例 8.1-2]中,设批产品的实际检测(以后删去检测两字)不合格品率为  $p$ ,问批产品的接收概率及拒收概率多大?

[解]:在一批批量  $N \gg n$ ,实际不合格品率为  $p$  的产品中,随机地抽取一个个体,得到不合格品的概率为  $p$ 。随机地抽取  $n$  个个体,其中得到  $r$  个不合格品的概率为:  $P(n, r | p) = \binom{n}{r} p^r (1-p)^{n-r}$ , 这里  $\binom{n}{r}$  的是组合的二项系数:  $\binom{n}{r} = \frac{n(n-1)\cdots(n-r+1)}{r!}$ , 但定义:

$$\binom{n}{0} = 1$$

注 1:当  $N \geq 10n$  不成立时,在一批批量为  $N$ ,实际不合格品率为  $p$  的产品中,随机抽取  $n$  个个体。其中得到  $r$  个不合格品的概率按超几何分布公式为:

$$P(r, n | M, N) = \frac{\binom{N \cdot p}{r} \binom{N - Np}{n-r}}{\binom{N}{n}}$$

式中,  $M$  为批中不合格品数,  $M = Np$ 。于是

$$L(P) = \sum_{r=0}^c P(n, N, r | p)。$$

设  $N = 100, n = 5, p = 5\%$ , 则样本中出现  $r = 3$  个不合格品的概率为:

$$\begin{aligned} P(3, 5 | 5, 100) &= \binom{5}{3} \cdot \frac{\binom{100-5}{5-3}}{\binom{100}{5}} \\ &= 10 \times 4465 / 75287520 = 0.000593 \end{aligned}$$

注 2:设  $np = \lambda, N \geq 10n, p < 10\%$  可近似地按泊松分布计算样本中有  $r$  个不合格品的概率为

$$P(r | \lambda) = e^{-\lambda} \lambda^r / r!$$

$$L(p) = \sum_{r=0}^c e^{-\lambda} \lambda^r / r!$$

设  $N = 100, n = 5, p = 5\%$ , 求样本中有 3 个不合格品的概率?

令  $\lambda = np = 5 \times 5\% = 0.25$ , 按泊松分布公式

$$P(3 | 0.25) = e^{-0.25} 0.25^3 / 3! = 0.0002028$$

绝对误差  $\leq 0.15\%$

注 3:用二项概率计算, 设  $N = 100, n \approx 5, p = 5\%$ , 则样本中有 3 个不合格品的概率用二项概率近似计算为

$$P(5, 3|5\%) = \binom{5}{3} \cdot (5\%)^3 (1-5\%)^{5-3} = 0.001128$$

绝对误差  $\leq 0.1\%$ 。

于是,批产品被接收的概率即不合格品数不超过  $c$  的概率,亦即不合格品数为  $0, 1, 2, \dots, c-1, c$  的概率的总和。显然,批产品的接收概率与批产品的实际不合格品率  $p$  有关,故把批产品的接收概率记为  $L(p)$ , 即  $L(p) = \sum_{r=0}^c P(n, r|p)$ , 拒收概率为  $1 - L(p)$ 。

[例 8.1-5] 在[例 8.1-3]中, 设  $p = 10\%$ , 问  $L(10\%) = ?$

$$[\text{解}]: L(10\%) = \sum_{r=0}^2 P(20, r|10\%)$$

$$\text{今 } P(20, 0|10\%) = \binom{20}{0} 10\%{}^0 (1-10\%)^{20-0} = 0.12158$$

$$\text{按此, } P(20, 1|10\%) = 0.27017; P(20, 2|10\%) = 0.28518$$

$$\text{故 } L(10\%) = 0.12158 + 0.27017 + 0.28518 = 67.70\%$$

仿此, 可得如下结果: 拒收概率为  $1 - L(p)$

$$L(0) = 100\%; L(5.0\%) = 92.46\%; L(15\%) = 40.49\%; L(20\%) = 20.60\%$$

$$L(25\%) = 9.12\%; L(50\%) = 0.02\%; L(100\%) = 0.00\%$$

如果以  $p$  为横坐标,  $L(p)$  为纵坐标, 作出一条曲线, 则其形状如图 8.1-3 所示。曲线从纵轴上的 100% 开始, 递降到横轴上的 1 为止。此图有典型意义。对给定的抽样方案, 表示接收概率与批的实际质量水平函数关系的曲线叫抽样方案的抽检特性曲线(OC 曲线)。

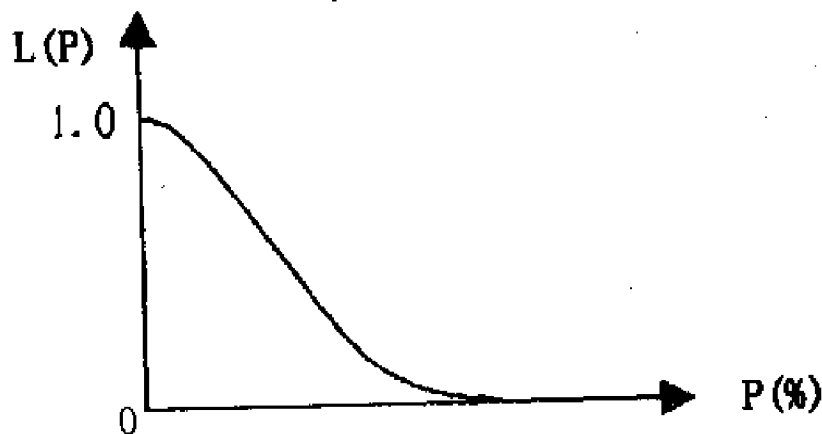


图 8.1-3 抽检特性曲线(OC 曲线)

图 8.1-3 即抽样方案[例 8.1-3]的 OC 曲线。

理想的以不合格品率为质量指标的抽样方案, 其 OC 曲线的特点是: 有一  $p^*$  存在。如果  $p \leq p^*$ , 认为该批为合格批, 应以 100% 的概率接收; 如果  $p > p^*$ , 认为批产品是不合格的, 应以 100% 的概率拒收。亦即  $L(p)$  应为

$$L(p) = \begin{cases} 1, & p \leq p^* \\ 0, & p > p^* \end{cases}$$

它的 OC 曲线图如图 8.1-4 所示。但这种理想的抽样方案只能通过全检得到,那就不是抽样检验了。

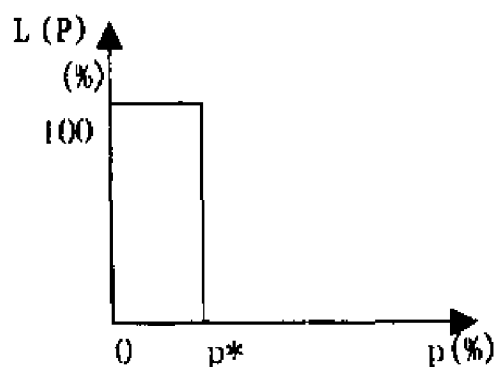


图 8.1-4 理想抽检特性曲线

在上例中,产品的实际质量指标为批实际检测不合格品率  $p$ 。在另外一些情况下,实际质量指标可以是别的量。设批产品的实际质量指标为  $Q$ 。按给定的抽样方案,接收概率为  $L(Q)$ ,称为抽样方案的 OC 函数。 $L(Q) \sim Q$  曲线即 OC 曲线,其形状与图 8.1-3 相似。典型图形如图 8.1-5 所示。此图表示:产品质量指标值  $Q$  愈大,反映产品质量愈次,愈不希望被接收。对给定的质量指标  $Q$  而言,如果只作一次抽样检验,则批产品可能被接收,接收概率为  $L(Q)$ ;也可能被拒收,拒收概率为  $1 - L(Q)$ 。一次抽样检验的样本量一般不大,因此,一次抽样检验的样本平均质量不一定确切反映批生产的产品质量。但在连续生产的多批中抽取样本的平均质量则基本上可反映生产产品的平均质量。我们把对检验批的首次检验叫**初检验**。①根据初检验,连续生产过程生产的一系列批产品的平均质量叫**过程平均**。生产方一般通过过程平均来掌握自己的质量水平。

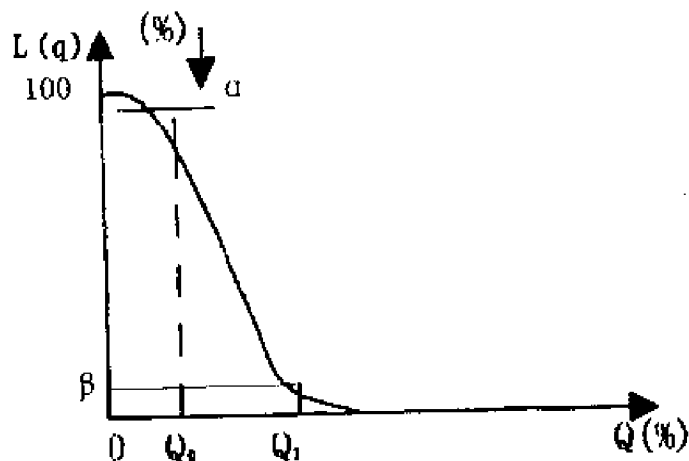


图 8.1-5 典型抽检特性曲线

对使用方来说,批产品的质量指标  $Q$  如果差到一定程度令为  $Q_1$  以上时,批产品是不能接收的。使用方选定的这个  $Q_1$  叫**极限质量**,其理想情况是“ $L(Q) = 0$ , 当  $Q > Q_1$ ”。但根据实际的抽样检验特性,对质量不好的批总还有一定的接收概率,不可能是接收概率为 0。因此只能退而要求:

$$L(Q) < \beta, \text{ 当 } Q > Q_1$$

这里的  $\beta$  是使用方可以容忍的小概率,亦即可以被使用方容忍的接收质量不好的批的风险,叫**使用方风险**(Consumer's Risk),简称为 CR。在实际应用中, $\beta$  通常规定为 10%(但在某些情况下,也可规定为 5%、20%甚至 30%)。

由于 OC 曲线是连续曲线。要求在  $Q > Q_1$  时的  $L(Q) < \beta$ ,则  $L(Q_1)$  最多只能是  $\beta$ 。从而取

$$L(Q_1) = \beta$$

极限质量  $Q_1$  亦叫使用方风险质量 CRQ。如果质量指标是不合格品率  $p$ ,则极限质量表示为  $p_1$ 。国际符号为 LTPD,即**批容许不合格品率**(Lot Tolerance Percent Defective)(有不少资料上,把  $p_1$  叫“不可容忍的质量水平”或“不可接受的质量水平”,从标准的英文来看,意义也是不对的)。

使用方提出极限质量  $Q_1$  后,生产方不能生产质量接近  $Q_1$  的产品。如果那样做,则由于  $L(Q)$  太低,大批产品被拒收,会导致严重损失。生产方一般选定一个接近于自己产品的实际质量水平的质量指标  $Q_0$ 。它应该对应于一个比较高的接收概率,亦即比较小的拒收概率  $\alpha$ ,即

$$L(Q_0) = 1 - \alpha$$

$Q_0$  叫**可接收质量水平或合格质量水平**(Acceptable Quality Level),简称为 AQL。 $\alpha$  是生产方要忍受的拒收合格批的概率,叫**生产方风险**(Producer's Risk),简称为 PR。 $Q_0$  叫生产方风险质量 PRQ。在实际应用中,生产方风险通常规定为 5%。(但在某些情况下,也可规定为 10%、20%甚至 30%)。

如果质量指标是不合格品率  $p$ ,则 AQL 表示为  $p_0$ 。

生产方及使用方对  $Q_0$ 、 $Q_1$  (在质量指标为不合格品率  $p$  时是  $p_0$ 、 $p_1$ ) 及相应的  $\alpha$ 、 $\beta$  值进行确定后,抽样方案的基本要求就决定了。

$p_0$ 、 $p_1$  值的确定原则如下:

(1) 使用方根据设计需要,确定产品批总体不合格率  $p_T$ 。

设一个产品由  $n$  个基本部分组成,第  $i$  个组成部分的不合格率为  $p_i$ ,合格率为  $q_i$ ,如果其中有一个组成部分不合格,产品即不合格,则产品的合格率  $q = q_1 \cdot q_2 \cdots q_n = (1 - p_1)(1 - p_2) \cdots (1 - p_n)$ 。在最简单情况下, $p_1 = p_2 = \cdots = p_n$  时, $q = q_1^n = (1 - p_1)^n$ 。设一个产品,例如一块 PCB 板(印制电路板)有 500 个电子元器件。设这些元器件的不合格率都相同为  $p_1$ ,则  $q = (1 - p_1)^{500} = q_1^{500}$ 。设  $p_1 = 0.05\%$ ,则  $q = 77.88\%$ ,设计人员认为 PCB 不合格率为 77.88% 所导致的损失不能忍受;设  $p_1$

$= 0.02\%$ , 则  $q = 90.48\%$ , 设计人员认为 PCB 不合格率为  $90.48\%$  导致的损失可以忍受, 于是选定电子元器件的不合格率应为  $0.02\%$  以下。这  $0.02\%$  是元器件的总体不合格率即  $p_T$ 。

(2) 使用方选定使用需要检验的一组关键质量特性, 确定检验不合格率, 这就是  $p_1$ 。

根据历史数据(特别是现场数据)可以得出  $p_T$  与  $p$  的大体比例关系。例如: 设在全面检验或现场使用中出现的不合格产品中, 选定予以检验的一组质量特性不合格品率为  $p$ , 则  $p/p_T = k$ 。

例如: 设电容选定的检验质量项目为电容值。在例行试验中, 发现在一千个不合格电容中, 电容不合格占  $75\%$  (其它为漏电流不合格等)。因此大体上  $p/p_T = 75\%$ 。因此, 如果电容的总体不合格率  $p_T$  要求为  $0.02\%$ , 则  $p_1$  为  $0.015\%$ 。

(3)  $p_0$  是供方实际产品的稳定检验不合格率。

对于稳定生产的产品, 供方通过象例行试验一类较全面的质量检测及现场使用失效数据, 可以得到总体不合格率  $p_T$  及给定一组质量检测项目的检验不合格率的比率。这个检验不合格率就是供方对于使用方要求检测项目的实际检验不合格率  $p_0$ 。同一产品、不同的检测参数组合的  $p_0$  不相同, 要求检验的参数愈多,  $p_0$  愈大。如上所述,  $p_1$ 、 $p_0$  是使用设计及供方的实际确定的, 对使用设计而言是需要, 对供方则为可能, 不是什么协商的。

只有在供方需要开发生产新产品时, 才有一个协商问题。因为, 对于新产品的不合格率, 达到不同水平需要的资源(包括时间)是不同的, 从而开发生产周期成本及价格也不同。

注: 有人提出如果使用方提出的  $p_1$  过高, 从而实际中的供方达不到怎么办? 怎么协商? 这里有两种情况。一种是使用方的设计脱离实际水平, 要求的不合格率的产品当前还没有供方, 这当然要适当调整。(例如: 调低某几种组成部分的不合格率, 同时也调高某几种组成部分的不合格率, 使产品的总不合格率仍达到要求)。如果只是某几个供方达不到, 有几个供方能达到, 那有什么必要协商呢? 既然已有别的供方可达到, 你达不到就不定你的货, 这会对他们形成改进质量的压力。

## 8.2 计数型抽样方案

### 8.2.1 不合格品率的计数标准型一次抽检方案

[例 8.2-1] 某企业应使用方的要求生产一种新产品, 设生产方及使用方已协商决定  $p_0$ 、 $p_1$ ;  $\alpha$ 、 $\beta$ , 如何选定一个计数型一次抽样方案? 即如何选定样本量  $n$  及合格接收数  $Ac = c$  ( $Re = c + 1$ )?

[解]: 设  $N \geq 10n$ , 对某一  $n$  及某一  $c$  值而言, 批产品被接收的概率为

$$L(p) = \sum_{r=0}^c p(n, r|p)$$

从而选定的  $n, c$  应满足

$$\begin{cases} \alpha = 1 - L(p_0) = 1 - \sum_{r=0}^c p(n, r | p_0) \\ \beta = 1 - L(p_1) = 1 - \sum_{r=0}^c p(n, r | p_1) \end{cases}$$

解此联立方程式,即可得到  $n, c$ ,但由于  $n, c$  必须是正整数,所以这组联立方程只能近似地满足。它无显式可以求解,只能应用试凑法(cutndtry)。

注:如  $N \geq 10n$  不成立,则用超几何分布表达式。如  $np = \lambda$ ,则可用 Poisson 分布近似式。

统计专家算出了一次抽样的表,对于给定的  $p_0, p_1; \alpha, \beta$ ,可查出需要的抽样方案。

抽样程序如下:

(1) 确定质量标准。即定义合格品及不合格品。

(2) 使用方确定  $p_1$  值,及相应的  $\beta$ 。由于使用中的重要程度不同,产品的  $p_1$  不同。重要的(故障后果严重的)产品,相应的  $p_1$  应小到使后果的期望损失低于可接受水平。 $p_1$  是设计确定的。

注:例如一个电源中用一个铝电介电容器。如果它耐压失效就会爆炸,使电源失效,属于致命故障,则  $p_1$  就应很小。

(3) 供方确定  $p_0$  值及相应的  $\alpha$ 。 $p_0$  当然应比  $p_1$  小,即  $p_0 < p_1, D = p_1/p_0$  叫鉴别比。但如  $p_1/p_0$  过小,会增大抽检样本量;IEC 推荐的  $D$  值为 1.5, 2.0, 3.0。 $p_0$  是供方的实际产品的质量水平,供方应该心中有数,因此在一般订货中,没有什么“协商”,只有在供方专门为使用方开发生产新产品时,供方要根据开发、生产的资源、成本、质量要求,与使用方在  $p_0$  及价格、费用上进行协商。

(4) 组成检验批。即在一致条件下生产提交检验的批产品。批量大小  $N$  不是一个考虑因素,因为不论批量  $N$  多大,期望的拒收概率是一样的,如果拒收概率为 5%,对批量为十万的批,期望拒收量为 5000;如分成十批,每批一万,期望总拒收量还是 5000(如果执行的是 MIL-STD-105E,用检验水平 II,则批量十万时,代码为 N,一次抽 500,批量为 1 万时,代码为 L,一次抽 200,十次共抽 2000,反而抽得多)。

注:如果实行挑选型抽样,则期望的检验总数  $\bar{I}$  与  $N$  有关,  $\bar{I} = nL(p) + N(1 - L(p))$ 。但在多数情况下,检验项目不完备,挑选型不能确保质量,不宜采用。在符合使用挑选型抽样条件时,由于  $L(p)$  是指定的。因此把大批分成若干小批,总数  $N$  一样,  $N(1 - L(p))$  相同。大批与小批对  $\bar{I}$  的差别只在  $n$  上,影响  $n \cdot L(p)$  而已,因此平均检验总数差异不大。有人认为批量大,拒收时全数挑选工作量大大增加,理论上是错误的,因为关心的不是可能返工量,而是期望返工量。

(5) 检索抽样方案。在计数型抽样情况得出  $(n, c)$  (或  $n$  与  $A_c, R_c$ )。

(6) 按随机抽样要求抽取样本。一般用简单随机抽样。

(7) 对样本中的每个个体根据规定的质量检测项目进行检测,在计数型抽样情况下,判定个体是否合格。统计出样本中的合格个体数  $r$ 。

(8) 作出批产品是否合格的判断。在计数型抽样情况下,

如  $r \leq c$  或  $r \leq A_c$  批产品合格;

$r \leq c+1$  或  $r \geq Re$  批产品不合格。

### (9) 不合格批处理

根据合同规定办理,只有在检测项目基本完备(已满足使用方需求时)才可采取。

例如对不合格批逐个检测,以合格品交付的挑选型抽样办法。

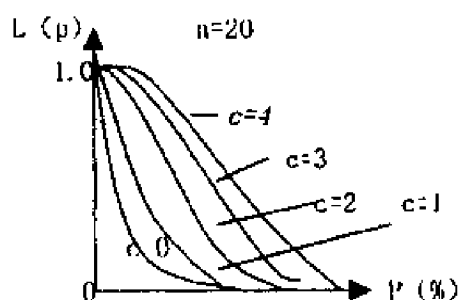


图 8.2-1 抽样方案示例 1

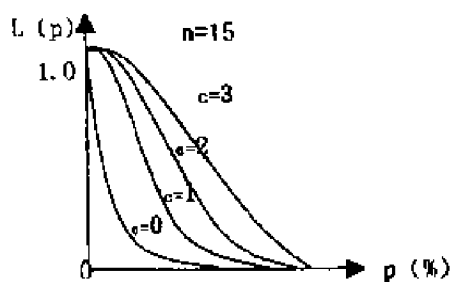


图 8.2-2 抽样方案示例 2

对于计数型一次抽样方案( $n, c$ )而言,显然可见:

(1)如增加  $n, c$  不变,即增大样本量,接收数不变,这显然是抽样方案变严了,因此接收概率  $L(p)$  会变小,OC 曲线会下降。

(2)如  $n$  不变,增加  $c$ ,即样本量不变,放宽接收数,这显然抽样方案变宽了,因此接收概率  $L(p)$  会变大,OC 曲线会上升。如图 8.2-1、8.2-2 所示。

### 8.2.2 不合格品率的计数标准型一次抽样方案 GB/T13262-91

GB/T13262-91《不合格品率的计数标准型一次抽样检验程序及抽样表》具体设计如下:

(1)  $p_0$  从(0.0091% ~ 0.100%)(标称值 0.095%)到(10.1% ~ 11.2%)(标称值 10.5%),共分为 42 个区间。

(2)  $p_1$  从(0.71% ~ 0.80%)(标称值 0.75%)到(31.6% ~ 35.5%)(标称值 34.0%),共分为 34 个区间。

(3) 样本量  $n$  取从 5, 6, ..., 1820, 2055 的 209 级。

规定  $\alpha = 5\%$ ,  $\beta = 10\%$ ,查表步骤如下:

[例 8.2-2] 查抽样方案  $p_0 = 2\%$ ,  $\alpha = 5\%$ ;  $p_1 = 8\%$ ,  $\beta = 10\%$ 。查  $p_0$  值在  $p_0$  的哪一个区间及在哪一行;查  $p_1$  值在  $p_1$  的哪一个区间及在哪一列?  $p_0$  值所在区间的行与  $p_1$  值所在区间的列的交汇格中有两个数,即  $n, c$ 。

由表 8.3-1 可查得:  $n = 105, c = 4$

此国标因为与日本,西欧的都不一致,因此不能用于国际贸易。标准制定的与国际不兼容,是本标准的缺点,此外  $p_1$  可高出 10% 很多,在实用上失去意义。



表 8.2—1 不合格品率的技术标准型一次抽样方案(GB/T 13262—91)

P <sub>0</sub> /%	0.75	0.85	0.95	1.05	1.20	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.40	2.60	3.00	3.40	3.80	4.20	4.80	5.30	6.00	6.70	7.50	8.50	9.50
0.085	730.2	425.1	395.1	370.1	345.1	315.1	280.1	250.1	225.1	210.1	185.1	160.1	98.0	64.0	58.0	54.0	49.0	45.0	41.0	37.0	33.0	30.0	27.0
0.105	730.2	665.2	380.1	355.1	330.1	310.1	275.1	250.1	225.1	200.1	185.1	160.1	150.1	60.1	56.0	52.0	48.0	44.0	40.0	37.0	33.0	29.0	26.0
0.120	700.2	650.2	595.2	540.1	520.1	285.1	275.1	245.1	220.1	200.1	181.1	160.1	150.1	130.1	54.0	40.0	46.0	43.0	39.0	36.0	33.0	29.0	26.0
0.130	930.3	625.2	580.2	535.2	305.1	285.1	260.1	240.1	220.1	200.1	180.1	160.1	150.1	130.1	115.1	48.0	45.0	41.0	38.0	35.0	32.0	29.0	26.0
0.150	900.5	820.3	545.2	520.2	475.2	270.1	250.1	230.1	215.1	195.1	175.1	160.1	140.1	130.1	115.1	100.1	43.0	40.0	37.0	33.0	31.0	28.0	26.0
0.170	1105.4	735.3	740.3	485.2	470.2	430.2	240.1	220.1	205.1	190.1	175.1	160.1	140.1	125.1	115.1	100.1	92.1	82.1	72.1	64.1	56.1	50.1	44.1
0.190	1295.5	980.4	710.3	665.3	440.2	415.2	370.2	210.1	200.1	185.1	170.1	155.1	140.1	125.1	115.1	100.1	92.1	82.1	72.1	64.1	56.1	50.1	44.1
0.210	1445.6	1135.5	875.4	635.3	585.3	395.2	365.2	330.2	190.1	180.1	165.1	155.1	140.1	125.1	115.1	100.1	92.1	82.1	72.1	64.1	56.1	50.1	44.1
0.240	1620.7	1305.6	1015.5	795.4	570.3	525.3	350.2	325.2	300.2	170.1	160.1	145.1	135.1	125.1	115.1	100.1	90.1	82.1	72.1	64.1	56.1	50.1	44.1
0.260	1750.8	1435.7	1165.6	910.5	705.4	510.3	465.3	310.2	290.2	265.2	150.1	140.1	130.1	120.1	110.1	100.1	90.1	80.1	70.1	64.1	56.1	50.1	44.1
0.300	2055.10	1545.8	1275.7	1025.6	810.5	625.4	450.3	410.3	275.2	260.2	240.2	135.1	125.1	115.1	110.1	96.1	86.1	80.1	70.1	62.1	56.1	50.1	45.1
0.340		1820.10	1385.8	1145.7	920.6	725.5	355.4	400.3	365.3	230.2	230.2	210.2	120.1	110.1	105.1	96.1	86.1	80.1	70.1	62.1	56.1	50.1	45.1
0.380			1630.10	1235.8	1025.7	820.6	640.5	190.4	355.3	330.3	220.2	205.2	190.2	110.1	100.1	92.1	86.1	78.1	70.1	62.1	56.1	50.1	45.1
0.420				1450.10	1100.8	910.7	725.6	565.5	440.4	315.3	285.3	260.3	175.2	165.2	95.1	88.1	82.1	76.1	68.1	62.1	56.1	50.1	45.1
0.480					1300.10	985.8	810.7	545.5	505.5	390.4	285.3	260.3	175.2	165.2	150.2	84.1	80.1	74.1	68.1	62.1	56.1	50.1	44.1
0.530						1165.10	875.8	715.7	495.5	454.4	350.4	250.3	230.3	155.2	145.2	135.2	76.1	70.1	64.1	60.1	54.1	48.1	44.1
0.600							1055.10	770.8	640.7	435.5	405.5	310.4	225.3	215.3	140.2	125.2	115.2	86.1	62.1	58.1	54.1	48.1	44.1
0.670								910.10	690.8	570.7	390.5	360.5	275.4	200.3	185.3	125.2	115.2	105.2	59.1	56.1	52.1	47.1	43.1
0.730									815.10	620.8	510.7	350.5	320.5	250.4	180.3	165.3	110.2	105.2	94.2	54.1	49.1	46.1	42.1
0.830										725.10	550.8	455.7	310.5	285.5	220.4	160.3	145.3	100.2	90.2	84.2	74.2	64.1	40.1
0.930											650.10	490.8	405.7	275.5	255.5	195.4	140.3	130.3	86.2	82.2	74.2	64.1	39.1
R/%	0.71 ~ 0.80	0.81 ~ 0.90	0.91 ~ 1.00	1.01 ~ 1.12	1.13 ~ 1.25	1.26 ~ 1.40	1.41 ~ 1.60	1.61 ~ 1.80	1.81 ~ 2.00	2.01 ~ 2.24	2.25 ~ 2.50	2.51 ~ 2.80	2.81 ~ 3.15	3.16 ~ 3.55	3.56 ~ 4.00	4.01 ~ 4.50	4.51 ~ 5.00	5.01 ~ 5.60	5.61 ~ 7.10	7.11 ~ 7.50	7.51 ~ 8.00	8.01 ~ 8.00	9.01 ~ 10.0

世

$R/\%$	0.75	0.85	0.95	1.05	1.20	1.30	1.50	1.70	1.90	2.10	2.40	2.60	3.00	3.40	3.80	4.20	4.80	5.30	6.00	6.70	7.50	8.50	9.50
$R_0/\%$																							
1.05												530.10	435.8	360.7	245.5	225.5	175.4	125.3	115.3	78.2	72.2	64.2	37.1
1.20												715.13	515.10	390.8	280.5	220.5	165.4	155.4	115.3	105.3	70.2	64.2	58.2
1.03													635.13	465.10	350.8	250.6	195.5	150.4	135.4	100.3	66.2	62.2	58.2
1.50													825.18	585.13	410.10	310.8	220.6	175.5	130.4	120.4	90.3	58.2	54.2
1.70														745.18	505.13	380.10	275.8	195.6	155.5	115.4	110.4	78.3	52.2
1.90															660.18	445.13	325.10	245.8	175.6	140.5	105.4	95.4	70.3
2.10																585.18	400.13	290.10	220.8	155.6	125.5	95.4	86.4
2.40																	520.18	360.13	260.10	195.8	140.6	110.5	84.4
2.60																		470.17	320.13	230.10	175.8	125.6	100.5
3.00																			415.18	280.13	205.10	155.8	110.6
3.40																				350.17	250.13	180.10	140.8
3.80																					310.17	225.13	165.10
4.20																						275.17	200.13
4.80																							245.17
5.30																							
6.00																							
6.70																							
7.50																							
8.50																							
9.50																							
10.50																							
$R/\%$	0.71	0.81	0.91	1.01	1.13	1.26	1.41	1.61	1.81	2.01	2.25	2.51	2.81	3.16	3.56	4.01	4.51	5.01	5.61	7.11	7.51	8.01	9.01
$R/\%$	0.80	0.90	1.00	1.12	1.25	1.40	1.60	1.80	2.00	2.24	2.50	2.80	3.15	3.55	4.00	4.50	5.00	5.60	7.10	7.50	8.00	9.00	10.0

### 8.2.3 IEC 一次抽样方案

设给定的极限质量为  $p_1, q_1 = 1 - p_1$ , 使用方选定  $p_1$  后, 生产方选定  $p_0, q_0 = 1 - p_0$ 。定义鉴别比为:

$$D = p_1 / p_0 = (1 - q_1) / (1 - q_0)$$

IEC 给定了:  $\alpha = \beta = 5\%, 10\%, 20\%, 30\%$

$$D = 1.5, 1.75, 2.00, 3.00$$

$q_0$  如表 8.2-2 所示的标准一次抽样检验方案可供查用。这里  $q_0$  最低为 80%, 因为, 低于 80% 的合格品率的产品一般没有市场。

[例 8.2-3] 设协定的  $q_0 = 99\%$ ,  $D = 3.0, \alpha = \beta = 10\%$ , 设计一个一次抽样方案。

[解]: 本例的  $D = 3.0$ , 即  $p_1 / p_0 = 3.0$ 。今  $p_0 = 1 - q_0 = 1 - 99\% = 1\%$ , 故  $p_1 = 3.0 \times p_0 = 3\%$ , 亦即  $q_1 = 1 - p_1 = 97\%$ 。

根据  $q_0$  及  $D$  值就可从表中查出相应于  $\alpha, \beta$  值的  $n$  值及  $Re$  值。今查得  $q_0 = 99\%$ ,  $D = 3.0, \alpha = \beta = 10\%$  时的

$$n = 308, Re = 6$$

故  $n = 308, c = Re - 1 = 6 - 1 = 5$ , 即一次抽样方案为  $(308, 5)$ 。亦即如果产品的合格品率  $p$  的最低可接收值为  $p_1 = 3\%, \beta = 10\%$ 。生产方同意  $D = 3.0$ , 则可供选用的抽样方案为:

随机抽产品 308 个, 如不合格品不超过 5 个, 则接收。

### 8.2.4 LTPD 方案

LTPD 的不合格品率一次抽样方案在美军电子元器件生产工序控制中有广泛的应用。后来也引入到我国。

LTPD 方案的基本思想是使用方只要求控制住给定的  $p_1$  (LTPD) 及相应的  $\beta = 10\%$ 。抽样方案的  $(n, c)$  由生产方 (承制方) 选定。

LTPD 表见表 8.2-3, 用法如下:

根据使用方提出的 LTPD 值  $p_1$ , 生产方从表中对应于不同的接收数  $c$  可查得相应的  $n$ 。表中  $n$  值下括号中的值是相应于  $\alpha = 5\%$  的  $p_0$  值 (单位: % )。

例如, 指定  $p_1 = 2\% (\beta = 10\%)$ , 则可查得:

$c = 0$	$n = 116$	相应的 $p_0 = 0.04\%$
$c = 1$	$n = 195$	相应的 $p_0 = 0.18\%$
$c = 2$	$n = 266$	相应的 $p_0 = 0.31\%$
$c = 3$	$n = 333$	相应的 $p_0 = 0.41\%$
$c = 4$	$n = 398$	相应的 $p_0 = 0.50\% \dots$

如果生产方选定鉴别比  $D \approx 3.0$ , 即  $p_0$  约为  $0.67\%$ , 则可选  $n = 589, c = 7$ , 亦即在一批中抽样 589 个产品, 不合格品数不超过 7 个时, 接收。

注: 设已选定  $c = 0, n = 116$ 。如抽样结果  $c = 1$ , 则拒收。不能再改为  $c = 1, n = 195$  (即再抽 79

个, 出不合格品时接收。因为已选定  $c=0, n=116$ , 如果  $p_1$  为 2%, 拒收概率为  $\beta=10\%$ , 如果拒收后再抽 79 个, 出不合格品概率为 20.3%, 于是第二次接收概率为  $5\% \times 0.203 = 0.01\%$ , 这样总的接收概率为 9%, 亦即  $\beta$  从 10% 变为 9%。

### 8.2.5 计数挑选型抽样检验

挑选型抽样检验, 是指用预先规定的抽样方案对批产品的样本个体根据指定的检验项目进行初次检验, 判为合格的批直接接收, 判为不合格的批必须经过全数指定项目的检验, 将批中的不合格品一一挑出换成合格品后再提交检验的过程。

挑选型抽样检验适用于下述情况:

- (1) 产品一批接一批入库;
- (2) 各工序间的半成品交接;
- (3) 向指定的用户连续供货;

此种检验不适用于破坏性检验的情况。

挑选型抽样检验是由美国贝尔电话实验室的工程师道奇 (H. F. Dodge) 和罗米格 (H. G. Roming) 于 1929 年创立, 并发表了世界著名的道奇 - 罗米格抽样表。当指定的检验项目不完备时, 这种抽样方案不能保证交付产品的质量。在二十世纪中叶, 产品质量要求还不很高时, 此法还可使用; 对现今不少产品质量要求 (特别是可信性、安全性等要求) 已较高时, 指定的检验项目往往不能完备, 此方案已不能适用。所以, 未成为美军标及国际标准。当前只适用于指定检验项目已足够满足用户需要的简单情况。

用抽样方案  $(n, c)$  抽检不合格品率为  $p$  的多批产品, 这时会出现有的批经过一次抽检就合格, 抽检合格概率为  $L(p)$ , 此时抽检数为  $n$ ; 而有的批则初检不合格, 概率为  $1 - L(p)$ , 还需全数挑选, 剩下的  $N - n$  个要全部检测。将这两种情况下发生的平均每批检验产品的个数, 称做**平均检验总数**, 简称 ATI, 记作  $\bar{I}$ 。

$$\begin{aligned}\bar{I} &= n + (N - n)[1 - L(p)] \\ &= nL(p) + N[1 - L(p)]\end{aligned}\quad (8.2-1)$$

[例 8.2-4]  $N=1000, p=3\%, n=30, c=2$  时,  $L(p)=0.940$ , 求平均检验总数。

[解]:

$$\begin{aligned}\bar{I} &= nL(p) + N[1 - L(p)] \\ &= 30 \times 0.940 + 1000(1 - 0.940) \\ &= 88.2(\text{件})\end{aligned}$$

当不合格品率从 0 开始变化时, 对应于不同  $p$  值可计算出  $\bar{I}$  值。

如以横轴表示批不合格品率  $p$ , 以纵轴表示平均检验总数, 则得平均检验总数曲线。

[例 8.2-5] 的平均检验总数 ATI 曲线如图 8.2-3 所示。

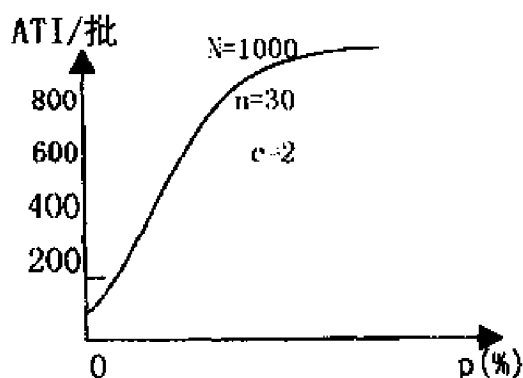


图 8.2-3 平均检验总数曲线

**平均检出质量**(Average Outgoing Quality, 简称 AOQ)是指对于一定质量的待验收产品,利用某一验收抽样方案检验后,检出产品的预期平均质量水平。

设产品的批量为  $N$ , 不合格品率为  $p$ , 抽样方案的接收概率为  $L(p)$ 。接收批的不合格品数为  $pN$ ; 拒收批概率为  $1 - L(p)$ , 此时全数挑选, 不合格品数为 0, 因此交付批的不合格品数的期望值为  $pNL(p)$ , 即不合格率期望值为  $pNL(p)/N = pL(p)$ 。这是期望的出厂交付产品的质量即平均检出质量, 故  $AOQ \approx pL(p)$ 。

[例 8.2-6] 用  $(10, 0)$  的抽样方案对  $N = 1000$  的批不合格率为 5% 时的批产品进行挑选型抽样检验, 试求平均检出质量 AOQ。

解:  $L(p) = (1 - q)^{10}$

令  $p = 0.05$  故  $L(p) = (1 - 0.05)^{10} = 0.095^{10} = 0.610$

于是  $AOQ = 0.05 \times 0.610 = 0.0305$

对不同的  $p$ , 有不同的 AOQ 值, AOQ 是  $p$  的函数, 以  $p$  为横坐标, AOQ 为纵坐标, 画成曲线为平均检出质量特性曲线, 它表明平均出厂不合格率与抽检前不合格品率之间的关系。

[例 8.2-6] 的 AOQ 曲线如图 8.2-4 所示。

从图 8.2-4 可以看出, 当  $p$  由 0 逐渐增大时, AOQ 也逐渐增大, 在某一点(本例为  $p = 10\%$ )处 AOQ 达到极大值, 然后由于拒收批增加, 用合格品代换不合格品的影响显著起来, AOQ 的数值又逐渐减小。这说明, 在抽样方案  $(n, c)$  已定的情况下, 不管产品的不合格品率  $p$  是多少, 平均漏过去的不合格品率总不会超过某个定值。这个值就是 AOQ 曲线的最大值, 称为平均检出质量上限, 简称 AOQL。

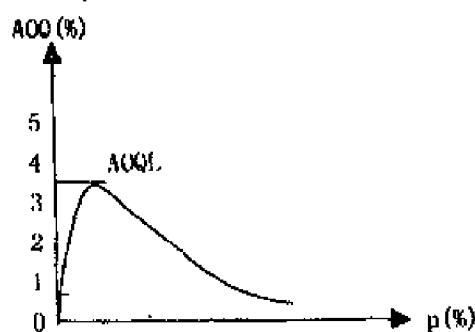


图 8.2-4 平均检出质量特性曲线

### 8.2.6 百分比抽样方案的不科学性

在我国,很多单位还在使用所谓“百分比抽样方案”。

**[百分比抽样方案]** 在一批量为  $N$  的产品中,随机地抽取一个大小为  $n = Nk$  的子样,, $k$  为一固定的百分比,检验所得的不合格品数为  $r$ 。

如果  $r \leq c$ ,认为批产品合格,接收这批产品;

如果  $r > c$ ,认为批产品不合格,拒收这批产品。

例如,在一批量为  $N$  的产品中,随机地抽取一个大小为  $10\% N$  (即  $k = 10\%$ ) 的子样,检验所得的不合格品数  $r$ 。

如果  $r = 0$ ,认为批产品合格,接收这批产品;

如果  $r > 0$ ,认为批产品不合格,拒收这批产品。

这就是一个百分比抽样方案,此时  $N = 100, 150, 200, 300, 550, 1500$  时的 OC 曲线如图 8.2-5(a) 所示。

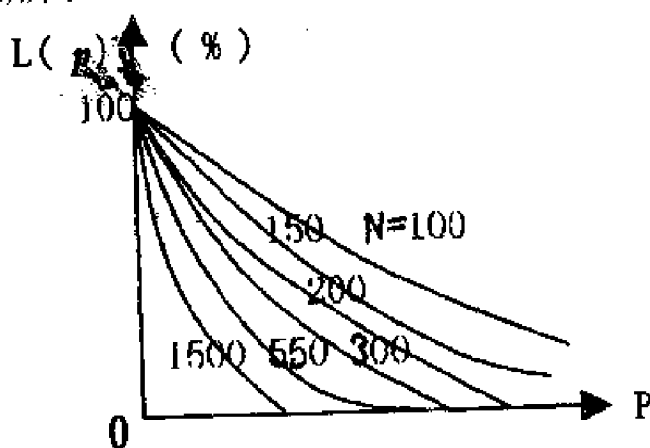


图 8.2-5(a) 百分比抽样方案的 OC 曲线

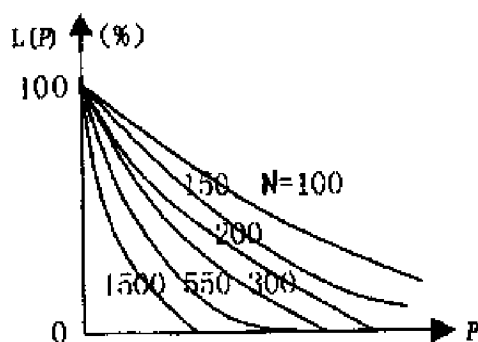
由此可见,OC 曲线随  $N$  而变,且差异相当大。当  $N$  增大时,OC 曲线普遍下降且变陡,亦即  $\alpha$  增大而  $\beta$  减少。因此,生产方应选  $N$  值较小的方案,此时对生产方有利。既然利害与  $N$  有关,说明百分比抽样是不“公平”的,是不合理的。

修改的百分比抽样方案在一批批量为  $N$  的产品中,随机地抽取一个大小为  $Kn$  的子样,检验所得的不合格品数为  $r$ 。再决定一个比值  $k'$ 。

如果  $r \leq k'n$ , 认为批产品合格,接收这批产品;

如果  $r > k'n$ , 认为批产品不合格,拒收这批产品。

例如:以  $k = 10\%$ ,  $k' = 5\%$  为例,对  $N = 200, 400, 1000, 2000$  作出的 OC 曲线图如图 8.2-5(b) 所示。图右侧为不同  $n$  情况下的抽样方案。



N	$n = 0.1N$	$c = 0.5n$
200	20	1
400	40	2
1000	100	5
2000	200	10

图 8.2-5(b) 修改后的百分比抽样方案

由图可见, OC 曲线随批量  $N$  不同而有相当大的差异,故仍为不合理。为此,国际上已明令废止使用百分比抽样方案。

### 8.2.7 逐批检验计数抽样方案(适用于连续批的检验)MIL-STD-105E

更多的情况是在有效的质量管理体系下,对稳定的连续生产批的抽检问题。对稳定的连续批,它有一个过程平均质量  $p_0$ ,由于有质量体系保证,这  $p_0$  是可信的。这种情况下,只要使用方认为  $p_0$  可满足自己对产品的质量要求,就不必再提出  $p_1$ 。于是抽样方案就化为:

表 8.2-2 IEC 一次抽样表

$q_0$	D	$\alpha = \beta = 5\%$		$\alpha = \beta = 10\%$		$\alpha = \beta = 20\%$		$\alpha = \beta = 30\%$	
		n	Re	n	Re	n	Re	n	Re
0.9995	1.50	108 002	67	65 849	41	28 584	18	10 814	7
	1.75	51 726	35	32 207	22	14 806	10	5 442	4
	2.00	31 410	23	20 125	15	9 074	7	3 615	3
	3.00	10 467	10	6 181	6	2 852	3	1 626	2
0.9990	1.50	53 998	67	32 922	41	14 291	18	5 407	7
	1.75	25 861	35	16 102	22	7 152	10	2 721	4
	2.00	15 703	23	10 061	15	4 537	7	1 807	3
	3.00	5 232	10	3 090	6	1 426	3	813	2
0.9950	1.50	10 647	66	6 851	41	2 857	18	1 071	7

续表

qo	D	$\alpha = \beta = 5\%$		$\alpha = \beta = 10\%$		$\alpha = \beta = 20\%$		$\alpha = \beta = 30\%$	
		n	Re	n	Re	n	Re	n	Re
0.9900	1.75	5 168	35	3 218	22	1 429	10	544	4
	2.00	3 137	23	1 893	14	906	7	361	3
	3.00	1 044	10	617	6	285	3	162	2
	1.50	5 320	66	3 215	40	1 428	18	540	7
	1.75	2 581	35	1 607	22	714	10	272	4
0.9800	2.00	1 567	23	945	14	453	7	081	3
	3.00	521	10	308	6	142	3	18	2
	1.50	2 620	65	1 605	40	713	18	270	7
	1.75	1 288	35	770	21	356	10	136	4
	2.00	781	23	471	14	226	7	90	3
0.9700	3.00	259	10	153	6	71	3	40	2
	1.50	1 720	64	1 044	39	450	17	180	7
	1.75	835	34	512	21	237	10	90	4
	2.00	519	23	313	14	150	7	60	3
	3.00	158	9	101	6	47	3	27	2
0.9600	1.50	1 288	64	782	39	33 7	17	135	7
	1.75	625	34	383	21	161	9	68	4
	2.00	374	22	234	14	98	6	45	3
	3.00	117	9	76	6	35	3	20	2
	1.50	1 014	63	610	38	269	17	108	7
0.9500	1.75	486	33	306	21	129	9	54	4
	2.00	298	22	187	14	78	6	36	3
	3.00	93	9	60	6	28	3	16	2
	1.50	832	62	508	38	224	17	90	7
	1.75	404	33	244	20	107	9	45	4
0.9400	2.00	248	22	155	14	65	6	30	3
	3.00	77	9	50	6	23	3	13	2
	1.50	702	61	424	37	192	17	77	7
	1.75	336	32	208	20	92	9	38	4
	2.00	293	21	125	13	55	6	25	3
0.9200	3.00	66	9	42	6	20	3	11	2
	1.50	513	61	371	37	168	17	67	7
	1.75	294	32	182	20	80	9	34	4
	2.00	177	21	109	13	48	6	22	3
	3.00	57	9	37	6	17	3	10	2
0.9100	1.50	536	60	329	37	149	17	60	7
	1.75	253	31	154	19	71	9	30	4
	2.00	157	21	96	13	43	6	20	3
	3.00	51	9	33	6	15	3	9	2
	1.50	474	59	288	36	134	17	53	7
0.9000	1.75	227	31	138	19	64	9	27	4
	2.00	135	20	86	13	39	6	18	3
	3.00	41	8	25	5	14	3	8	2
	1.50	294	55	181	34	79	15	35	7
	1.75	141	29	87	18	42	9	18	4
0.8500	2.00	85	19	53	12	21	5	12	3
	3.00	26	8	16	5	9	3	5	2
	1.50	204	51	127	32	55	14	26	7
	1.75	98	27	61	17	28	9	13	4
	2.00	60	18	36	11	19	6	9	3
0.8000	3.00	17	7	9	4	4	2	4	2



表 8.2-3 LTPD 方案表  $\beta=1\%$ 

接收数 $c$	不合格品率 $p_1$ (%)														
	20	15	10	7	5	3	2	1.5	1	0.7	0.5	0.3	0.2	0.15	0.1
0	11 (0.48)	15 (0.34)	22 (0.23)	32 (0.16)	45 (0.11)	78 (0.07)	110 (0.04)	153 (0.03)	231 (0.02)	328 (0.02)	461 (0.01)	767 (0.007)	1152 (0.005)	1534 (0.003)	2303 (0.002)
1	18 (2.0)	25 (1.4)	38 (0.94)	55 (0.65)	77 (0.44)	129 (0.28)	195 (0.18)	258 (0.14)	390 (0.09)	555 (0.06)	778 (0.045)	1296 (0.027)	1946 (0.018)	2592 (0.013)	3891 (0.009)
2	25 (3.4)	34 (2.24)	52 (1.6)	75 (1.1)	105 (0.78)	176 (0.47)	266 (0.31)	354 (0.23)	533 (0.15)	759 (0.11)	1065 (0.080)	1773 (0.045)	2662 (0.031)	3547 (0.022)	5323 (0.015)
3	32 (4.4)	43 (3.2)	65 (2.1)	94 (1.5)	132 (1.0)	221 (0.62)	333 (0.41)	444 (0.31)	668 (0.20)	953 (0.14)	1337 (0.10)	2228 (0.062)	3341 (0.041)	4452 (0.031)	6681 (0.018)
4	38 (5.3)	52 (3.9)	78 (2.6)	113 (1.8)	158 (1.3)	265 (0.75)	398 (0.50)	531 (0.37)	798 (0.25)	1140 (0.17)	1599 (0.12)	2663 (0.074)	3997 (0.049)	5327 (0.037)	7994 (0.025)
5	45 (6.0)	60 (4.4)	91 (2.9)	131 (2.0)	184 (1.4)	308 (0.85)	462 (0.57)	617 (0.42)	927 (0.28)	1323 (0.20)	1855 (0.14)	3090 (0.085)	4638 (0.056)	6181 (0.042)	9275 (0.028)
6	51 (6.6)	68 (4.9)	104 (3.2)	149 (2.2)	209 (1.6)	349 (0.94)	528 (0.62)	700 (0.47)	1054 (0.31)	1503 (0.22)	2107 (0.155)	3059 (0.093)	4367 (0.062)	5879 (0.047)	8033 (0.031)
7	57 (7.2)	77 (5.3)	116 (3.5)	166 (2.4)	234 (1.7)	390 (1.0)	589 (0.67)	783 (0.51)	1178 (0.34)	1690 (0.24)	2355 (0.17)	3922 (0.101)	5886 (0.067)	8045 (0.051)	11771 (0.034)
8	63 (7.7)	85 (5.6)	128 (3.7)	184 (2.6)	258 (1.8)	431 (1.1)	648 (0.72)	864 (0.54)	1300 (0.36)	1854 (0.25)	2599 (0.18)	4329 (0.108)	6496 (0.072)	8660 (0.054)	12895 (0.036)
9	69 (8.1)	93 (6.8)	140 (3.9)	201 (2.7)	282 (1.9)	471 (1.2)	709 (0.77)	945 (0.58)	1421 (0.38)	2207 (0.27)	2842 (0.19)	4732 (0.114)	7103 (0.077)	9468 (0.057)	14206 (0.038)
10	75 (8.4)	100 (6.3)	152 (4.1)	218 (2.9)	306 (2.0)	511 (1.2)	770 (0.80)	1025 (0.60)	1541 (0.40)	2199 (0.28)	3082 (0.20)	5133 (0.120)	7704 (0.080)	10268 (0.060)	15407 (0.04)

对使用方认可的稳定生产的  $p_0$ , 即 AQL 值, 求抽样数  $n$  及  $A_c$ 、 $R_e$ 。

MIL—STD—105 就是为连续批抽样设计的。但它的单个抽样方案也可用于单批、孤立批抽样。由于 MIL—STD—105 为国际标准, 因此本书介绍用 MIL—STD—105 作为不合格品率的计数标准型一次抽样方案。免得在国际贸易中, GB/T13262 不被承认而无标准可用。

批与批之间质量关系密切(待检批可利用最近已检批提供的质量信息)的连续提交检验的批叫连续批。如在同一生产过程中, 连续生产的一系列批只要产品的设计、结构、工艺、主要原材料、元器件等 5M1E 生产条件基本相同, 一般可视为连续批。在实际工作中, 如果产品连续几批抽样检验的结果都较好, 则自然可以考虑: 是否有可能减少抽取的样本大小以减少检验费用? 反之, 如果产品从抽样检验结果看来质量可能不太好, 则是否应加严下几批的抽样以保证接收质量?

当没有理由认为产品的质量水平与规定的可接收质量水平不符合时, 所采用的检验叫正常检验。不如正常检验更加严格的一种检验叫放宽检验。当从许多批的检验结果可以相信产品的质量水平高时, 即从正常检验转向放宽检验。比正常检验严格的一种检验叫加严检验。当从许多批的检验结果可以相信产品的质量水平差时, 即从正常检验转向加严检验。对每批产品都必须进行的检验叫逐批检验。根据抽样检验的结果按规定的规则选用“正常”、“放宽”、“加严”检验叫调整型抽样检验。其典型代表为 1950 年美军公布的 MIL—STD—105A。在实践中几经修改, 于 1963 年公布 MIL—STD—105D。欧洲共同体国家改了一个名称照用; 叫 ABC—

STD—105A。日本对它稍加修改,1971年制定了 JISZ9015、国际标准组织(ISO)照搬成 ISO2859—74。这是一个国际通用的抽样标准。1989年公布的 MIL—STD—105E。我国以 ISO 2859 为准,加以一些修改公布了 GB 2828。其主要差别为我国抽样专家马毅林、严擎宇等研究了 ISO 2859 的 7 次抽样方案,发现可改进为 5 次抽样方案。我国军标 GJB 179《计数抽样检验程序及表》就等效采用 MIL—STD—105D,亦即 ISO2859。本章介绍我国军标 GJB179A,它等效采用 MIL—STD—105E,它的美国国家标准号是 ANSI/ASQCZ1.4(1993)。它重新作了精确计算,对 105D 在数据上作了不少修正。

MIL—STD—105E 的实施程序如下:

(1) 规定个体产品的质量标准。

明确区分个体合格或不合格。划分不合格品(或缺陷)的类别。

(2) 规定检验水平检验水平是抽样方案的一个事先选定的特性,它将样本大小与批量联系起来。MIL—STD—105E 规定了三个一般检验水平:Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ,和四个特殊检验水平:s—1、s—2、s—3、s—4。如无特殊要求,采用一般检验水平Ⅱ;当允许降低抽样方案的鉴别能力时,可采用一般检验水平Ⅰ;当需要提高抽样方案的鉴别能力时,可采用一般检验水平Ⅲ(检验水平Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ的样本量之比大体上为 0.4:1:1.6。检验水平Ⅲ比Ⅱ高、Ⅱ比Ⅰ高。检验水平高时, $\alpha$ 减少, $\beta$ 减少。但相对之下, $\alpha$ 变化不太大,而 $\beta$ 的变化则是显著的)。

在产品成本及检验费用较高等情况,如果宁可增大使用方风险而减少样本量,则可采用特殊检验水平。特殊检验水平的样本量较少,所以也叫小样本抽样。它必然会增大 $\beta$ 。因此,这种检验水平一般要在过去对产品已积累了足够的技术资料、质量资料,经分析,确信在批内个体之间的质量波动较小时,才能使用。

(3) 规定 AQL(或 PRQ)值(AQL 的单位为%)。

一般情况,要求生产方的批质量不比 AQL 差,而且质量要求是可以达到的。

对于不同类别的缺陷或缺陷组可以规定不同的 AQL 值。AQL 值在 10.0 及以下的,表示百分不合格品率或每百单位产品缺陷数;超过 10.0 的只表示每百单位产品缺陷数。

MIL—STD—105E 表中给出的 AQL 值都是优先数值。如果采用的 AQL 不是优先数值,则不能用这些表。

(4) 确定抽样方案的类型

一般只考虑选一次抽样方案还是选二次抽样方案(七次抽样在国内外基本上不用,故本书未附有关表格)。二次抽样因有可能是抽第二个样本。在管理上增加一些工作量,试验工作量及时间一般要多一些,但样本量则可能会少一些。综合权衡后选定。

(5) 确定样本量代码(根据表 8.2—6)

按批量和检验水平确定的用于表示样本量的字母叫“样本量代码”。从 A、B、C、…到 R,共 16 个字母。

样本量代码表中批量  $N$  的分档是根据优先数列确定的。根据批量所在范围的那一行及检验水平所在的那一列,两者交会格的文字即样本量代码。

[例 8.2-7] 设批量  $N=1600$ , 检验水平为 II, 则查表 8.2-4,  $N=1600$  所在的范围 1201~3200 那一行与检验水平 II 所在的那一列的交会格的文字为 K, K 即样本量代码。

表 8.2-5 是一次正常检验抽样方案, 表 8.2-6 是一次加严抽样方案, 表 8.2-7 是一次放宽检验抽样方案。表 8.2-8 是二次正常检验抽样方案, 表 8.2-9 是二次加严检验抽样方案, 表 8.2-10 是二次放宽检验抽样方案。

查表法是从表中查出样本量代码所在的行, 从样本量列查出相应的样本量  $n$ 。抽样方案表中, 样本量代码所在的行与 AQL 值所在的列交会的格中有两个数, 其左即  $A_c$ , 其右即  $R_e$ 。但如交会格中是箭头, 则按箭头指向查所需的  $A_c$  与  $R_e$ 。但相应的代码及样本量亦随之改变。

表 8.2-4 样本量代码表

批量 N	特别检验水平				一般检验水平		
	S—1	S—2	S—3	S—4	I	II	III
2—8	A	A	A	A	A	A	B
9—15	A	A	A	A	A	B	C
16—25	A	A	B	B	B	C	D
26—50	A	B	B	C	C	D	E
51—90	B	B	C	C	C	E	F
91—150	B	B	C	D	D	F	G
151—280	B	C	D	E	E	G	H
281—500	B	C	D	E	F	H	J
501—1200	C	C	E	F	G	J	K
1201—3200	C	D	E	G	H	K	L
3201—10000	C	D	F	G	J	L	M
10001—35000	C	D	F	H	K	M	N
35001—150000	D	E	G	J	L	N	P
150001—500000	D	E	G	J	M	P	Q
500001 以上	D	E	H	K	N	Q	R

[例 8.2-8] 设  $N = 1600$ , 检验水平为 II。  $AQL = 1.5(\%)$ , 查相应的一次正常、加严、放宽检验抽样方案。

[解]: 从[例 8.2-7]已查得样本量代码为 K, 相应的样本量列中的数为 125, 即

$n = 125$ ; 查表 8.2-5, 样本量代码为 K 所在的行与  $AQL$  为  $1.5(\%)$  的列相交会格中有两个数 5, 6, 故一次正常检验抽样方案的  $A_c = 5, R_e = 6$ , 即在批产品中, 随机抽取  $n = 125$  个产品构成一个样本。检验样本中的不合格品数  $r$ 。如果  $r \leq 5$ , 认为批产品合格, 接收这批产品; 如果  $r \geq 6$ , 认为批产品不合格, 拒收这批产品。

仿此, 查表 8.2-6、8.2-7, 结果如下:

抽样方案	$n$	$A_c$	$R_e$
一次正常抽样检验方案	125	5	6
一次加严抽样检验方案	125	3	4
一次放宽抽样检验方案	50	2	5

在使用放宽检验抽样方案时,  $A_c = 2, R_e = 5$ 。这里可能出现一种情况: 如果  $A_c = 2 < r < 5 = R_e$ , 则此批算接收, 但从下一批起恢复为正常检验。

[例 8.2-9] 在例 8.2-8 中, 查相应的二次正常、加严、放宽检验抽样方案。

[解] 查表 8.2-10、8.2-11、8.2-12, 方法与查一次抽样方案表相似。但样本量代码所在的行与  $AQL$  值所在的列相交会格中有上、下两行四个数。上一行左、右两个数分别表示第一次抽样的接收数  $A_c(1)$  及拒收数  $R_e(1)$ ; 下一行左右两个数分别表示: 在需要进行第二次抽样检验时的两次抽样累计的接收数  $A_c(2)$  及拒收数  $R_e(2)$ 。

如果交会格中为箭头, 则按箭头指向查所需的  $A_c、R_e$  值, 这时样本量代码及样本量亦随之而变, 原代码及样本量作废。

以二次正常抽样检验方案为例。第一次抽样的样本量  $n_1$  为 80, 检测其中的不合格品数  $r_1$ 。如  $r_1 \leq A_{c(1)} = 2$ , 接收, 不再进行第二次抽样; 如  $r_1 \geq R_{e(1)} = 5$ , 拒收, 也不再进行第二次抽样; 如  $A_{c(1)} = 2 < r < 5 = R_{e(1)}$ , 即  $r = 3$  或 4, 则第一次抽样不作出判决。进行第二次抽样, 样本量  $n_2$  为 80, 检测其中的不合格品数  $r_2$ 。累计不合格品数为  $r = r_1 + r_2$ 。如果  $r \leq A_{c(2)} = 6$ , 接收; 如果  $r \geq R_{e(2)} = 7$ , 拒收。

例 8.2-9 的查表结果

抽样方案	批量 $V$	抽样次号	抽样样本量	累计样本量	累计接收数 $Ac$	累计拒收数 $Re$
二次正常抽样 检验方案	1600	第一次	80	80	2	5
		第二次	80	160	6	7
二次加严抽样 检验方案	1600	第一次	80	80	1	4
		第二次	80	160	4	5
二次放宽抽样 检验方案	1600	第一次	32	32	0	4
		第二次	32	64	3	6

某些情况下,如二次放宽抽样检验方案的  $A_{c(2)} = 3, R_{e(2)} = 6$

于是  $r \leq 3$ ; 接收;  $r \geq 6$ , 拒收。如  $A_{c(2)} = 3 < r < 6 = R_{e(2)}$ , 即  $r$  为 4 或 5, 则该则予以接收, 但从下一批起回到正常检验。

[例 8.2-10] 在例 8.2-8 中, 如  $AQL = 0.15\%$ , 查相应的一次正常检验抽样方案。

[解]: 代码为  $K$ 。查表 8.2-5。样本量  $n = 125$ , 代码为  $K$  所在的行与  $AQL$  为 0.15 的列相交会格中为  $\uparrow$ 。按箭头指向, 查得  $[Ac, Re]$  为  $[0, 1]$ 。这时与之相应的代码为  $J$ , 样本量  $n = 80$ 。故抽样方案为:  $n = 80, Ac = 0, Re = 1$ 。

原按代码  $K$  得到的  $n = 125$  作废。

二次抽样方案表中的 \* 表示:

- (1) 用相应的一次抽样方案。
- (2) 如可用样本量较多的二次抽样方案, 则用 \* 之下的  $[Ac, Re]$  及相应的第一、第二样本量  $n_1, n_2$ 。

在个别情况下, 查出表中的样本量超过或等于批量, 则对批产品进行全检。此时批量  $N$  即样本量, 表中的  $Ac, Re$  值不调整。

$MIL - STD - 105E$  列出了对于单个正常(加严)抽样方案, 对指定的  $AQL$  的  $L(p)$  表, 例如: 代码  $K, AQL = 1.0(\%)$  的正常检验的  $p \sim L(P)$  表如下:

表 8.2-5 一次正常检查抽样方案

代 碼	轉 本 量	AOL																											
		0.010	0.015	0.025	0.040	0.065	0.10	0.15	0.25	0.40	0.65	1.0	1.6	2.5	4.0	6.5	10	15	25	40	65	100	150	250	400	650	1000		
A	2	→																											
B	3	→																											
C	5	→																											
D	8	→																											
E	13	→																											
F	20	→																											
G	32	→																											
H	50	→																											
J	80	→																											
K	125	→																											
L	200	→																											
M	315	→																											
N	500	→																											
P	800	→																											
Q	1250	→																											
R	2000	→																											

表 8.2-6 一次加严验抽样方案

代 碼	序 號	Wavelength (nm)																											
		0.010	0.015	0.025	0.040	0.065	0.10	0.15	0.25	0.40	0.65	1.0	1.5	2.5	4.0	6.5	10	15	25	40	65	100	150	250	400	650	1000		
A	1	→																											
B	2	→																											
C	3	→																											
D	4	→																											
E	5	→																											
F	6	→																											
G	7	→																											
H	8	→																											
I	9	→																											
J	10	→																											
K	11	→																											
L	12	→																											
M	13	→																											
N	14	→																											
P	15	→																											
Q	16	→																											
R	17	→																											
S	18	→																											

2017

[illegible]



### 表 8.2-8 二次正常檢驗抽樣方案

代碼		標本	標本量	AQL																									
				0.10	0.15	0.25	0.40	0.55	0.70	1.0	1.5	2.5	4.0	6.5	10	15	25	40	65	100	150	250	400	650	1000				
A	第一類	2	2	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓				
B	第二類	3	3	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓				
C	第三類	4	4	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓				
D	第四類	5	5	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓				
E	第五類	6	6	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓				
F	第六類	7	7	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓				
G	第七類	8	8	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓				
H	第八類	9	9	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓				
I	第九類	10	10	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓				
J	第十類	11	11	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓				
K	第十一類	12	12	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓				
L	第十二類	13	13	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓				
M	第十三類	14	14	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓				
N	第十四類	15	15	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓				
P	第十五類	16	16	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓				
Q	第十六類	17	17	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓				
R	第十七類	18	18	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓				

表 8.2-9 二次加严检验抽样方案

[illegible]

表 8.2-10 二次放宽检验抽样方案

[illegible]

表 8.2-11 放寬檢驗的界限數表

[illegible]

[1] 表 8.2-11 中的\*表示不能进行放宽检验

[1] 表 8.2-11 中的 \* 表示不能进行放宽检验

[2] 使用表 8.2-11 时, 如果最近十批的样本量、产品数不够, 可用多于十批来计算。但所有批都应是最近连续生产, 按正常检验无一被检验拒收的。

$p(\%)$	1.09	2.03	2.94	4.09	5.34	6.20
$L(p)(\%)$	95	75	50	25	10	5

可见,如供方产品的不合格率为指定的  $AQL = 1\%$  左右,接收概率为 95% 左右;但如供方的产品不合格率变坏到  $p = 2\%$ ,接收概率还有 75%。因此可见,单靠抽样方案本身,是控制不住产品质量的。 $MIL - STD - 105E$  的先决条件为:生产是稳定的,即事前已有很大把握产品是合格的。使用  $MIL - STD - 105E$  必须与对供方生产稳定性监控配合起来进行。

根据上述典型的  $OC$  函数特点可见:如果不根据供方的产品实际不合格品率,而主观定出  $AQL$ ,来使用  $MIL - STD - 105E$ ,则不能保证通过抽样的批产品达到指定的  $AQL$  值,因为不合格率比指定  $AQL$  高的多的批产品仍会以相当高的概率被接收。

有人认为主观  $AQL$  也有好处,供方达不到指定的  $AQL$  时,由于拒收概率增大 会促使供方改进质量。这是不对的!此时,由于使用方接收了高出指定  $AQL$  的不合格率的批产品造成的损失会很严重,往往远远超过供方的损失(拒收的供方产品往往可以转销别的用户)。

(7) 批的提交、批的构成、批量  $N$  及生产方对每批产品提交与鉴别的方式由双方协商列入合同条款。

(8) 批的接收和拒收。用(6)确定的抽样方案作判决。

除负责部门另有规定外,在检验开始时应使用正常检验。

在抽样检验中,应根据产品质量变化情况,按下述转移规则进行严格性调整:

① 从正常检验到加严检验。

进行正常检验时,若连续五批或少于五批中有两批经初检验被拒收,则从下一批开始执行加严检验。

② 从加严检验到正常检验。

进行加严检验时,若连续五批经初检验被接收,则从下一批开始执行正常检验。

③ 从正常检验到放宽检验。

进行正常检验时,若下列条件均满足,则从下一批开始执行放宽检验:

① 连续十批初检验均被接收。

② 条件①规定的批所抽取的样本中(若使用二次抽样方案,应包括所有被检样本),不合格品总数或缺陷总数小于或等于表 8.2 - 11 中规定的界限数。

③ 生产稳定。

④ 负责部门认为可以执行放宽检验。

④ 从放宽检验到正常检验。

进行放宽检验对,若出现下列任一情况。则从下一批开始执行正常检验:

① 有一批初检验拒收。

② 在进行放宽检验时; $A_c < r < Re$ ,由于  $r < Re$  故不拒收,这批算勉强接收,自下一批起必须执行正常检验。

③ 生产不正常或停滞。

④ 由于其它原因,负责部门认为有必要执行正常检验。

⑤ 暂停检验。

进行加严检验时,若连续五批停留于加严检验,且不能按②的规定转为正常检验时,应暂时停止按本标准进行的检验。暂停检验后,如果生产方采取了有效措施,改善了提交批的质量,经负责部门认可,可恢复本标准规定的检验,但一般从加严检验开始。

[例 8.2-11] 某产品的 AQL 值为 2.5(%),检验水平为 II,采取一次正常检验抽样方案,最近 10 批的检验结果如表 8.2-12 所示。

表 8.2-12 例 8.2-11 的检验结果

批号	批量 N	样本量字码	样本量	Ac	Re	检测结果	判决
1	1000	J	80	5	6	2	接收
2	500	H	50	3	4	1	接收
3	2000	K	125	7	8	2	接收
4	800	J	80	5	6	1	接收
5	1500	K	125	7	8	2	接收
6	500	H	50	3	4	0	接收
7	2500	K	125	7	8	2	接收
8	2000	K	125	7	8	1	接收
9	1200	J	80	5	6	1	接收
10	1500	K	125	7	8	1	接收
合计			965			13	

问是否符合转为放宽检验的条件③之②?

[解]:10 批的累计样本量总数为

$$80 + 50 + 125 + 80 + 125 + 50 + 125 + 125 + 80 + 125 = 965$$

10 批的累计不合格品数为:2 + 1 + 2 + 1 + 2 + 0 + 2 + 1 + 1 + 1 = 13

查表 8.2-11,累计样本个体总数 965 在 800 ~ 1249 这一档内,此档所在行与 AQL = 2.5(%)所在列的交会格中的数为 14,即放宽检查界限数为 14。

累计不合格产品数为  $13 \leq$  界限数 14,故满足条件③之②。

ASN(平均抽检数)和方案的 OC 曲线

对于二次抽样来说,第一次抽  $n$  个个体构成第一个抽样样本,这是必须抽的,但当  $p$  不相当小或不相当大时,才需要第二次抽样,所以第二个样本不一定要抽取。

使用一定抽样方案做出接收或拒收决定时,平均每批要检验的样本数叫平均样本量 ASN (average sample number)。

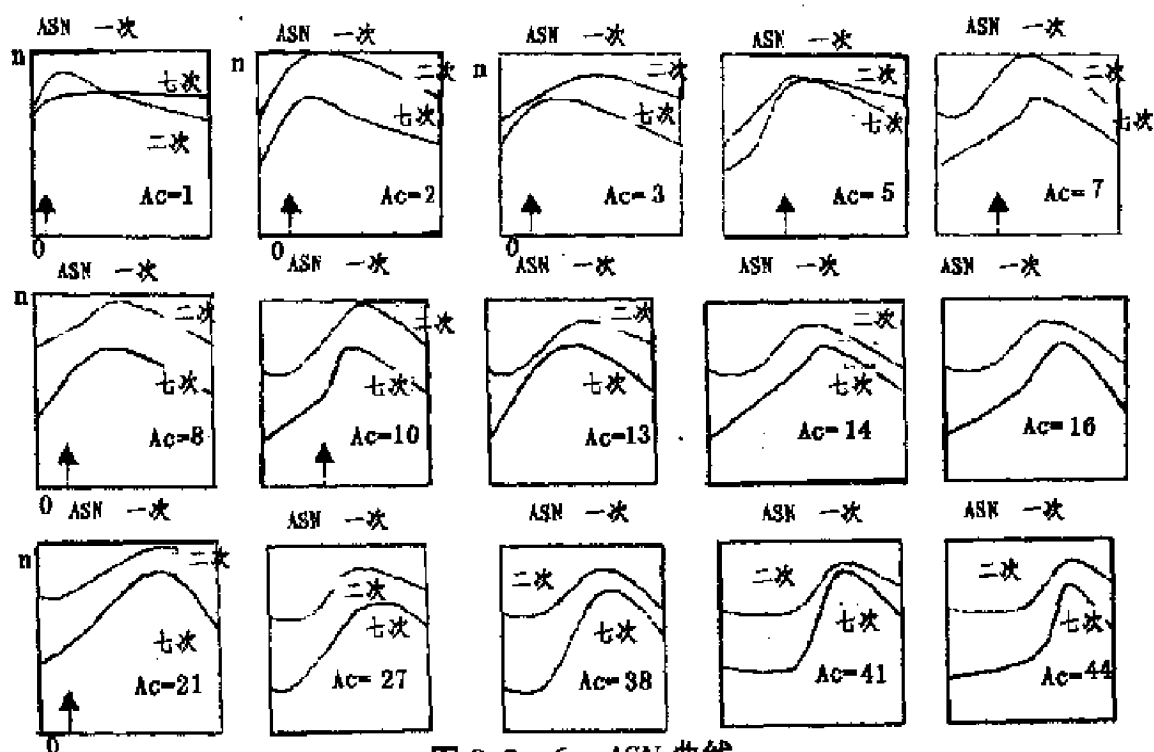


图 8.2-6 ASN 曲线

MIL-STD-105E 对不同  $Ac$  数的一次抽样的 ASN (它是常数  $n$ )、二次抽样的 ASN 数 (它是  $p$  的函数)、七次抽样的 ASN 数 (它是  $p$  的函数) 如图 8.2-6 所示, 每一个  $Ac$  数一个图, 纵坐标为  $ASN(p)$  值, 横坐标为  $np$ ,  $\uparrow$  是正常检验相应的 AQL 值处。

注: MIL-STD-105E 对单个正常及加严检验抽样方案提供了 OC 函数的代表点值。本书只附了字码 N、K 的 OC 函数代表点值表, 其余参见原标准。

在原标准 105D 中, 有各个方案的 OC 曲线, 例如代码 K 的 OC 曲线如图 8.2-7 所示, 曲线边的数是 AQL 值。由于 MIL-STD-105E 有一套转移规则, 给定批量、检验水平、AQL 值后, 抽样方案就确定了。此时, 如实际  $p$  比 AQL 大的多, 则很多从正常转到加严, 有转到暂停生产。于是转移停止。从转移图来看, 存在吸收点 (sink), 转移到吸收点就中止。这样就不能无限转移下去, 于是转移概率  $L(p)$  很难分析, 只有通过 Monte-Carlo 方法来模拟。

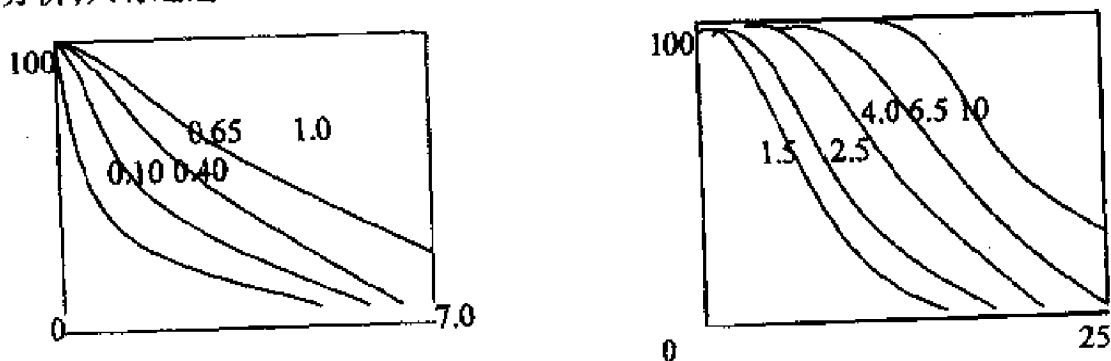


图 8.2-7 字码 K 的 OC 曲线

### 8.2.8 MIL—STD—105E 用于单批抽样

MIL—STD—105E 是从 AQL 出发的,使用 MIL—STD—105E 的前提是:生产方的产品生产是稳定的,过程平均或 AQL 值是已知的,生产方可以达到的。此时使用方不提出 LQ(或 LTPD)的要求。

如果把连续批抽样的 MIL—STD—105E 用于单独的批产品抽样,则必须复核选用的抽样方案在 LQ 处的使用方风险  $\beta$ ,看能否保护使用方利益。

MIL—STD—105E 的正常检查抽样方案,在 AQL 值点,接收概率从 88% 到 99%,且随样本量  $n$  的增大而增大。也即在 AQL 处,  $\alpha$  不一定是 5%。

每一个代码的每一种 AQL。有与此相应的 MIL—STD—105E 一次正常、加严检验抽样方案。MIL—STD—105E 提供了这些抽样方案的 OC 曲线上的相应接收概率  $L(p)$  分别为 99%, 95%, 90%, 75%, 50%, 25%, 10%, 5.0%, 1.0% 的  $p$  值。这就提供了成百种抽样方案。

给定  $\alpha$ 、 $\beta$  为 5% 或 10% (可以  $\alpha \neq \beta$ ,也可以  $\alpha = \beta$ ) 和  $p_0$ 、 $p_1$  后,就可以从这些一次正常检查、加严检查抽样方案中选取基本满足要求的一次抽样方案。

[例 8.2-12] 设生产方及使用方协商确定

$$p_0 = 2\%, \alpha = 10\%; p_1 = 4\%, \beta = 10\%。$$

试从 MIL—STD—105E 检索单批的一次抽样方案(GB/T13262 不能查此例的方案)。

[解]: 查接收概率  $L(p) = 90\%$  (即  $\alpha = 10\%$ ) 的行中,  $p$  接近于  $p_0 = 2\%$  的列; 且此列中  $L(p) = 10\%$  (即  $\beta = 10\%$ ) 的行中,  $p$  值又接近于  $p_1 = 4\%$ 。

查得为表 8.2-13 的代码 N, AQL = 1.5。相应的  $p_0 = 2.06$ ,  $p_1 = 4.03$ , 很接近要求。查代码 N, AQL = 1.5 的一次正常抽样方案,由表 8.2-5 得

$$n = 500, A_c = 14, R_e = 15。$$

MIL—STD—105E 的一次抽样、二次抽样的 OC 曲线基本是一致的。因此,也可查得单批的二次抽样方案。

以例 8.2-12 为例,查代码 N, AQL = 1.5 的二次正常抽样方案为:

$$n_1 = 315; A_{c1} = 7, R_{c1} = 11; n_2 = 315; A_{c2} = 18, R_{c2} = 19。$$



表 8.2-13 代码 N 的 OC 曲线型值 (正常抽样, 加严抽样)

AQL(正常)												
P	0.025	0.10	0.15	0.25	0.40	0.65	×	1.0	×	1.5	×	2.5
P(不合格品率或每百单位缺陷数)												
99.0	0.00201	0.0237	0.0832	0.185	0.357	0.581	0.701	0.954	1.22	1.50	2.07	2.51
95.0	0.0103	0.711	0.164	0.273	0.523	0.796	0.939	1.23	1.54	1.85	2.49	2.98
90.0	0.0211	0.106	0.220	0.349	0.630	0.931	1.09	1.40	1.73	2.06	2.73	3.25
75.0	0.0575	0.192	0.345	0.507	0.844	1.19	1.37	1.72	2.08	2.45	3.18	3.74
50.0	0.139	0.336	0.535	0.734	1.13	1.53	1.73	2.13	2.53	2.93	3.73	4.33
25.0	0.277	0.539	0.784	1.02	1.48	1.94	2.16	2.60	3.04	3.48	4.35	4.89
10.0	0.461	0.778	1.08	1.34	1.85	2.35	2.60	3.08	3.56	4.03	4.95	5.64
5.0	0.599	0.949	1.26	1.55	2.10	2.63	2.89	3.39	3.89	4.38	5.34	6.05
1.0	0.921	1.33	1.68	2.01	2.62	3.20	3.48	4.03	4.56	5.09	6.12	6.87
	0.040	0.15	0.25	0.40	0.65	×	10	×	1.5	×	2.5	×

表 8.2-14 代码 K 的 OC 曲线型值 (正常抽样, 加严抽样)

P <sub>a</sub>	AQL(正常)											
	0.10	0.40	0.65	1.0	1.5	2.5	×	4.0	×	6.5	×	10
	p(不合格品率或每百单位缺陷数)											
99.0	0.00804	0.119	0.349	0.659	1.43	2.32	2.81	3.82	4.63	5.98	8.28	10.1
95.0	0.0410	0.284	0.654	1.09	2.09	3.18	3.76	4.94	6.15	7.40	9.95	11.9
90.0	0.0843	0.425	0.882	1.40	2.52	3.72	4.35	5.62	6.92	8.24	10.9	13.0
75.0	0.230	0.769	1.382	2.03	3.38	4.76	5.47	6.90	8.34	9.79	12.7	14.9
50.0	0.555	1.34	2.14	2.94	4.54	6.14	6.94	8.53	10.1	11.7	14.9	17.3
25.0	1.11	2.15	3.14	4.09	5.94	7.75	8.64	10.4	12.2	13.9	17.4	20.0
10.0	1.84	3.11	4.26	5.34	7.42	9.42	10.4	12.3	14.2	16.1	19.8	22.5
5.0	2.40	3.80	5.04	6.20	8.41	10.5	11.5	13.6	15.6	17.5	21.4	24.2
1.0	3.68	5.31	6.27	8.04	10.5	12.8	18.3	16.1	18.3	20.4	24.5	27.5
	0.15	0.65	1.0	1.5	2.5	×	4.0	×	6.5	×	10	×
AQL(加严)												

[例 8.2-13] 设生产方及使用方协定  $p_0 = 2\%$ 、 $p_1 = 8\%$ ； $\alpha = 5\%$ 、 $\beta = 10\%$ 。试从 MIL—STD—105E 检索单批的一次抽样方案。

[解]：查接收概率  $L(p) = 95\%$  (即  $\alpha = 5\%$ ) 的行中， $p$  接近于  $p_0 = 2\%$  的列；且此列中， $L(p) = 10\%$  (即  $\beta = 10\%$ ) 的行中， $p$  值又接收于  $p_1 = 8\%$ 。

查得为表 8.2-14 的代码 K,  $AQL = 1.5$ 。相应的  $p_0 = 2.09$ ,  $p_1 = 7.42$ 。接近要求。

查代码 K,  $AQL = 1.5$  的一次正常抽样方案，得

$$n = 125, Ac = 5, Re = 6。$$

这与查 JISZ 9002 的结果不完全一样，原因是 MIL—STD—105E 的样本量一共只有 16 档，而 JISZ 9002 是解方程式解出样本量  $n$  的。

### 8.2.9 IEC 的计数型序贯抽样方案

序贯抽样的思想是逐个地抽取个体检验，但事先并不固定它们的抽样数。每一次抽样作出接收、拒收、继续抽样之一的判决。设累计抽了  $n$  个产品检验，其中有  $m$  个产品不合格。

在直角坐标之上，以试验次数  $n$  为横坐标，不合格品数  $m$  为纵坐标，作两平行直线，方程为：

$$L_0: m = -h_0 + sn; \quad L_1: m = h_1 + sn$$

如图 8.2-8 所示。

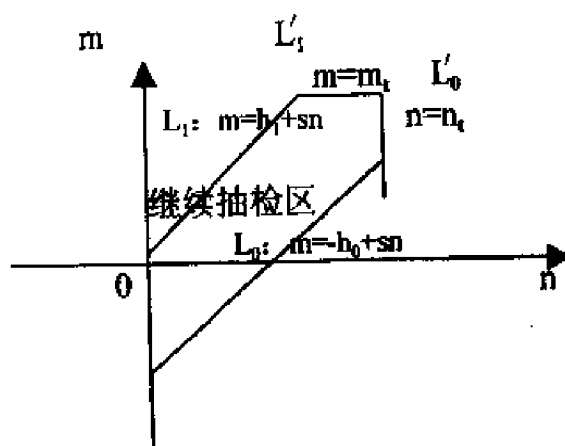


图 8.2-8 序贯抽样方案示意图

这里，

$$s = \frac{\lg[(1-p_0)/(1-p_1)]}{\lg[p_0/p_1] + \lg[(1-p_0)/(1-p_1)]}$$

$$h_0 = \frac{\lg[(1-\alpha)/\beta]}{\lg[p_1/p_0] + \lg[(1-p_0)/(1-p_1)]}$$

$$h_1 = \frac{\lg[(1-\beta)/\alpha]}{\lg[p_1/p_0] + \lg[(1-p_0)/(1-p_1)]}$$

其中,  $\lg$  是以 10 为底的常用对数。

从  $n=1$  起, 根据逐次检验结果, 点出  $P_1(1, x)$ ,  $P_2(2, x)$ ,  $P_3(3, x)$ , ...,  $P_n(n, x)$  诸点, 连成一折线。如折线穿入直线  $L_0$  之下, 即  $m \leq -h_0 + sn$ , 批产品判为合格, 可接收。故  $L_0$  叫“合格判定线”; 如折线穿入直线  $L_1$  之上, 即  $m \geq h_1 + sn$ , 批产品判为不合格, 拒收。故  $L_1$  叫“不合格判定线”; 当  $P_n(n, x)$  在  $L_0$ 、 $L_1$  之间时, 继续抽样检验, 故  $L_0$ 、 $L_1$  所夹的区域叫“继续抽检区”。

但存在这样的可能性,  $P_n(n, m)$  随  $n$  的增大始终在继续检验区移动。这就会长期作不出接收、拒收结论。为此, 规定两个数  $n_t$  及  $m_t$ 。令当  $n = n_t$  时, 如  $m < m_t$ , 认为批产品合格, 接收。如  $m > m_t$ , 认为批产品不合格, 拒收。

于是, 在序贯检验图上, 加了两条直线, 称为截尾线, 方程为

$$L'_0: n = n_t$$

$$L'_1: m = m_t$$

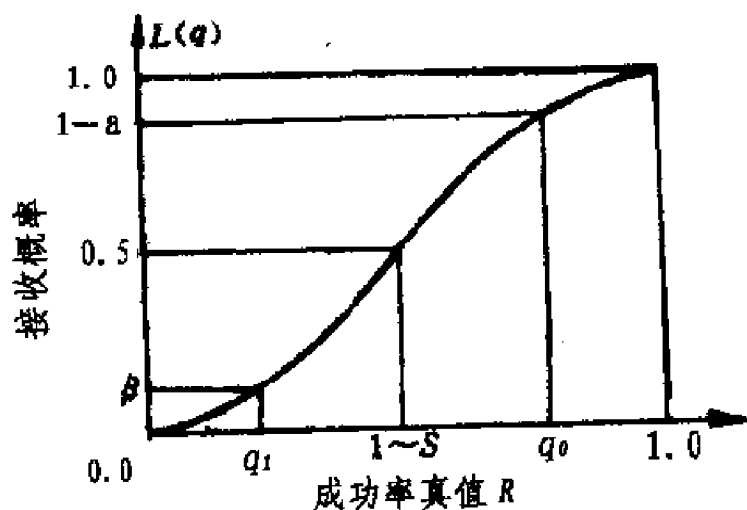


图 8.2-9 序贯检验的 OC 曲线(近似)

继续检验区就是由  $L_0$ 、 $L'_0$ 、 $L_1$ 、 $L'_1$ ,  $x$  轴,  $y$  轴围成的区域。必须指出, 上述的  $h_0$ 、 $h_1$ 、 $s$  计算公式是 Wald 提出的近似公式, 按此得出的序贯抽样方案, 与原来的  $\alpha$ 、 $\beta$  值相比有一定误差。截尾以后, 还会增加一些误差。

合格率  $q$  为横坐标的 OC 曲线如图 8.2-9 所示。但加上截尾后, 这曲线形状应略加修改。

截尾或不截尾序贯检验方案所需检验产品数  $n$  是一个随机变量, 但为了心中有数, 希望得到  $n$  的期望值  $E[n]$ , 即期望检验数。对非截尾情况, 一些点的近似  $E[n]$  值如图 8.2-10 所示。

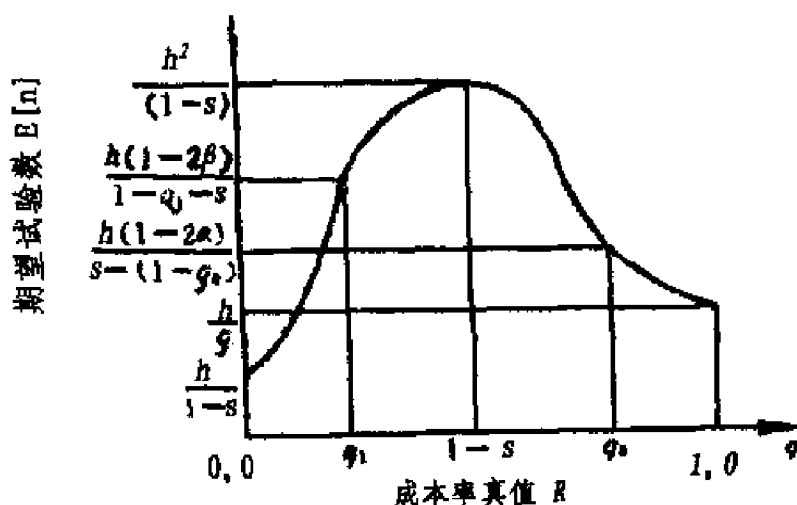


图 8.2-10 期望检验数曲线

### 8.3 计量标准型抽样方案

#### 8.3.1 计量标准型抽样方案的基础知识

计数标准型抽样方案的缺点是：对一个产品，只检测它是合格品还是不合格品，从一个产品得到的信息不多。从而，一般情况需要较大的样本量。

计量标准型抽样方案的基础是：产品的质量特性  $X$  是正态分布的随机变量。利用正态分布的特性，在很多情况下可以减少样本量。但对每一个产品要较精确地测定产品的质量特性，需要较精确的检测设备，较大的检验工作量。

设产品的质量特性  $X$  是遵循均值为  $\mu$ 、方差  $\sigma^2$ （即标准偏差为  $\sigma$ ）的正态分布，记作： $N(\mu, \sigma^2)$ 。

今取产品的一个样本，样本量为  $n$ 。测得某质量特性值为：

$$x_1, x_2, \dots, x_n。$$

令样本均值为  $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ ，样本方差为  $s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$ ， $s = \sqrt{s^2}$ 。

必须指出： $\bar{x}$  不等于  $\mu$ ， $s^2$  不等于  $\sigma^2$ 。这—个重要概念不难理解。 $\mu$ 、 $\sigma^2$  是  $X$  的分布参数，是客观存在的（可能是未知的）。但不同样本的  $\bar{x}$ 、 $s^2$  是不尽相同。亦即对多个样本来说， $\bar{x}$  及  $s^2$  是随机变量。 $\bar{x}$  的均值即  $\mu$ ， $s^2$  的均值即  $\sigma^2$ 。以  $E[X]$  表  $X$  的均值，有  $E[\bar{x}] = \mu$ ， $E[s^2] = \sigma^2$ 。注意  $s$  的均值不是  $\sigma$ 。

$$E(s) = \frac{\Gamma(\frac{n}{2})\sigma}{\sqrt{\frac{n-1}{2}}\Gamma(\frac{n-1}{2})}$$

正因为如此， $\bar{x}$  有一半的可能比  $\mu$  小，也有一半的可能比  $\mu$  大， $\bar{x}$  围绕  $\mu$  波动；同样， $s^2$  围绕  $\sigma^2$  波动。当  $n$  增大时，波动量变小。因此，根据  $\bar{x}$ 、 $s^2$  值来估计  $\mu$ 、 $\sigma^2$  时，要加上适当的安全系数。

设  $x \sim N(\mu, \sigma^2)$ , 它的概率密度函数为

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad -\infty < x < \infty$$

其图形如图 8.3-1。

随机变量  $X$  落在某一区间  $[a, b]$  内的概率为曲线  $y = f(x)$  在此区间上的面积, 即

$$P(X \in [a, b]) = \int_a^b f(x) dx$$

规定的用以判定个体的某质量特性是否合格的界限值叫规范限。规定的合格计量质量特性的最大值叫上规范限, 通常记作  $U$ ; 规定的合格计量质量特性的最小值叫下规范限, 通常记作  $L$ 。如  $X > U$ , 或  $X < L$ , 产品就不合格。因此图 8.3-1 中, 产品质量特性  $X$  超过  $U$  从而为不合格的概率即  $U$  右侧、 $y = f(x)$  下的阴影区面积; 同理, 产品质量特性  $X$  低于  $L$  从而为不合格的概率即  $L$  左侧、 $y = f(x)$  下的阴影区面积。

从图 8.3-1 可以看出: 要减少不合格品率, 有两条途径: 一是让  $\mu$  离开上规范限  $U$  或下规范限  $L$  远一些, 一是让  $\sigma$  变小一些, 即提高产品质量特性的公差精度, 这往往要提高加工精度或另选材料, 在工艺上较难实现。过去往往采取调整  $\mu$  的方法来减少不合格品率, 近来开展的  $6\sigma$  活动, 则把减小  $\sigma$  作为主要的努力方向。

计量标准型一次抽样方案有不合格品率的计量标准型一次抽样方案  $JISZ9003$ 。它为我国 GB8053 等效采用。在日本、台湾省等处通用。它的  $\alpha = 5\%$ ,  $\beta = 10\%$ 。

对连续批的计量型抽样有  $MIL - STD - 414$ , 已成为国际标准  $ISO3951$ 。它亦可用于单批生产的抽检,  $\alpha$  不限于  $5\%$ ,  $\beta$  也不限于  $10\%$ 。在  $\sigma$  已知条件下, 给定上规范限  $U$  (或下规范限  $L$ ), 再给定不合格品率  $p$  后, 可以从  $p = \Phi\left(\frac{U-\mu}{\sigma}\right)$  或  $\Phi\left(\frac{U-L}{\sigma}\right)$  导出  $\mu$ 。因此, 给定  $p_0, p_1$ , 等价于给定  $\mu_0, \mu_1$ 。这就是平均值的计量标准型一次抽样方案。 $JISZ9003$  提供了抽样表。我国 GB8054 引用了  $JIS$  的抽样表, 但把  $JIS$  判别值公式  $x^* = \mu + k\sigma$  中的  $k$  改为负值。这样与  $JISZ9003$  又不一致, 在日本、台湾省等处也不适用。GB8054 加上了  $JISZ9003$  没有的  $\sigma$  未知情况, 在  $\sigma$  未知情况下, 使用方与生产方根据上规范限  $U$  (或下规范限  $L$ ) 给不出  $\mu_0, \mu_1$ 。很不实用。故本书不介绍 GB8053 及 GB8054。

### 8.3.2 不合格品率的计量型抽样方案(连续批) $MIL-STD-414$ (修订本)

$MIL-STD-414$ 《计量抽样检验程序及图表》适用于连续批的逐批检验。使用时要满足下述条件:

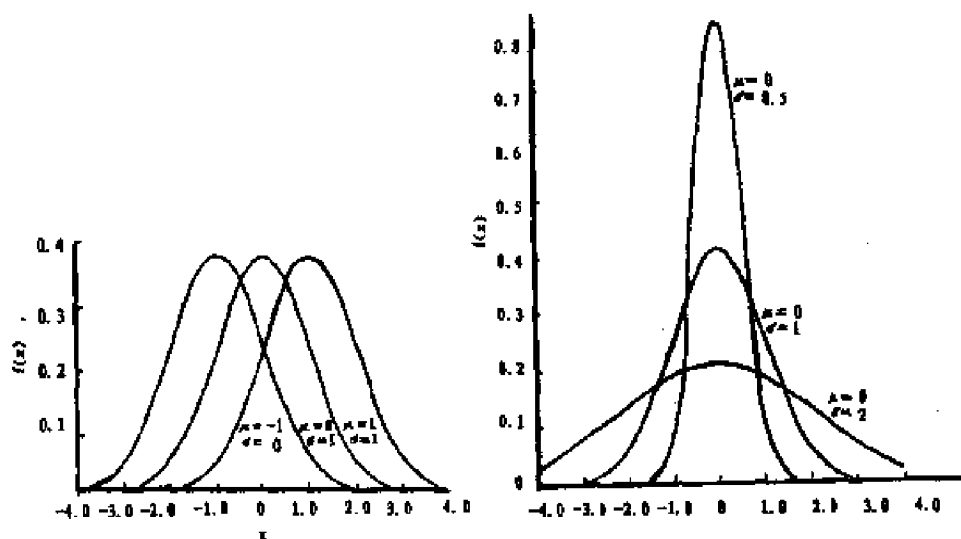


图 8.3-1 正态分布图

- (1) 提交检验的批是连续批。
- (2) 产品的质量特性为正态分布。
- (3) 产品的质量特性为连续随机变量。
- (4) 已规定了产品质量特性的规范限。包括可以是上规范限、下规范限、双侧规范限。双侧规范限包括分立双侧规范限(对上、下规范限分别规定了 AQL 的双侧规范限)及综合双侧规范限(对上、下规范限只规定了一个总的 AQL 的双侧规范限)。

MIL—STD—414 是 1957 年发布的。它包括两种方法:  $k$  法,  $M$  法。ISO 以 414 的  $k$  法为主内容, 把 414 的表格化成图表, 制定了 ISO3951—81。我国采用 ISO3951, 制定了 GB6378—86。但都未包括 414 的  $M$  法。MIL—STD—414 于 1980 年发布了修订本, 即 ANSI/ASQC Z1.9—1980 (MIL—STD—414 修订本)。本书介绍 414 修订本(以下略去“修订本”几个字)。

MIL—STD—414 与 MIL—STD—105E 一样, 有一个根本的前提, 即生产方的产品生产是稳定的, AQL 是已知的(过程平均已通过数据积累得到), 从而使用方不提出 LQ(即 LTPD)的要求。

但 MIL—STD—414 也可用于单独批、孤立批抽样, 本书第 8.3.3 节专门讨论这一用法。

MIL—STD—414 的实施程序如下:

- (1) 选定检验方式。

MIL—STD—414 有  $\sigma$  已知情况(称  $\sigma$  法)、 $\sigma$  未知情况(称  $s$  法)。一般应从  $\sigma$  未知情况开始检验。但如有充足理由说明过程标准差  $\sigma$  已知, 经负责部门同意, 也可从  $\sigma$  已知情况开始。

- (2) 确定产品质量特性合格准则。

给定产品质量特性的规范限,可有下列几种情况:

给定产品质量特性  $X$  的上规范限  $U$ ;

给定产品质量特性  $X$  的下规范限  $L$ ;

给定  $U$  及  $L$

(3) 规定检验水平。

ISO3951 规定了三个一般检验水平 I、II、III 和两个特殊检验水平  $s-3$  和  $s-4$ 。通常使用检验水平 II;当允许降低抽样方案对批质量的判别力时,采用检验水平 I;当需要提高抽样方案对批质量的判别力时,采用检验水平 III。特殊检验水平  $s-3$  和  $s-4$  主要用于要求尽量减少样本量的场合,但将增加误判的风险。

(4) 规定 AQL。

MIL—STD—414 按优先数列定下的从 0.1%—10.0% 共十一个 AQL 代表值,各代表一个 AQL 值的范围。按代表值查本标准,见表 8.3—1。例如  $AQL = 2.3\%$ ,代表值为 2.5。

表 8.3—1 AQL 值的标称值表

当规定之 AQL 值在此范围内时	采用代表的 AQL 值
$\leq 0.109$	0.10
0.110 ~ 0.164	0.15
0.165 ~ 0.279	0.25
0.280 ~ 0.439	0.40
0.440 ~ 0.699	0.65
0.700 ~ 1.09	1.0
1.10 ~ 1.64	1.5
1.65 ~ 2.79	2.5
2.80 ~ 4.39	4.0
4.40 ~ 6.99	6.5
7.00 ~ 10.9	10.0

表中 AQL 值的单位为%。

(5) 规定抽样方案的严格性。

与 MIL—STD—105D 一样,本标准有三种抽样方案:正常检验抽样方案、加严检验抽样方案、放宽检验抽样方案。如无特殊规定,开始应使用正常检验抽样方案。在特殊情况下经负责部门指定,开始也可使用加严检验或放宽检验抽样方案。

(6) 检索样本大小代码。

样本大小代码从 B ~ P(中间略去 O)。根据表 12.3—2,可从批量  $N$ 、检验水平查出样本大小代码。样本大小代码表示方案的样本量。

注意:此表与 ISO 3951 及 GB6378 基本一致,但不完全一致。

例如:设批量  $N$  为 100,检验水平为 II,则  $N = 100$  在档次[91—150]中,它所在的行与检验水平 II 所在的列交会格中为代码 F。



$k$  法抽样方案的思想如下: 随机抽取  $n$  个产品构成一个样本。检测产品的质量特性值, 得

$$x_1, x_2, \dots, x_n$$

计算样本均值  $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ ; 计算样本方差  $s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$ ,

情况 1:  $\sigma$  已知(简称  $\sigma$  法)。

给定上规范限  $U$  时, 有判别值  $X_U^* = U - k\sigma$

如  $\bar{x} \leq X_U^*$ , 即  $Q_U = \frac{U - \bar{x}}{\sigma} \geq k$ , 接收

如  $\bar{x} > X_U^*$ , 即  $Q_U = \frac{U - \bar{x}}{\sigma} < k$ , 不接收

给定下规范限  $L$  时, 有判别值  $X_L^* = L + k\sigma$

如  $\bar{x} > X_L^*$ , 即  $Q_L = \frac{\bar{x} - L}{\sigma} \geq k$ , 接收

如  $\bar{x} < X_L^*$ , 即  $Q_L = \frac{\bar{x} - L}{\sigma} < k$ , 有接收

给定上、下规范限时, 分别查出相应的  $k$  值。如上、下限都能接收, 则接收; 否则, 不予接收。

表 8.3-2 代码表

批 量	检 验 水 平				
	特殊水平		一般水平		
	S-3	S-4	I	II	III
2~8	B	B	B	B	C
9~15	B	B	B	B	D
16~25	B	B	B	C	E
26~50	B	B	C	D	F
51~90	B	B	D	E	G
91~150	B	C	E	F	H
151~280	B	D	F	G	I
281~400	C	E	G	H	J
401~500	C	E	G	I	J
501~1,200	D	F	H	J	K
1,201~3,200	E	G	I	K	L
3,201~10,000	F	H	J	L	M
10,001~35,000	G	I	K	M	N
35,001~150,000	H	J	L	N	P
150,001~500,000	H	K	M	P	P
$\geq 500,001$	H	K	N	P	P

情况 2:  $\sigma$  未知(简称  $s$  法)。

给定上规范限时,有判别值  $X_U^* = U - ks$

如  $\bar{x} \leq X_U^*$ , 即  $Q_U = \frac{U - \bar{x}}{s} \geq k$ , 接收

如  $\bar{x} > X_U^*$ , 即  $Q_U = \frac{U - \bar{x}}{s} < k$ , 不接收

给定下规范限时,有判别值  $X_L^* = L + ks$

如  $\bar{x} \geq X_L^*$ , 即  $Q_L = \frac{\bar{x} - L}{s} \geq k$ , 接收

如  $\bar{x} < X_L^*$ , 即  $Q_L = \frac{\bar{x} - L}{s} < k$ , 不接收

给定上、下规范限时,分别查出相应的  $k$  值。如上、下限都能接收,则接收;否则拒收。

#### (7) 检索抽样方案( $k$ 法)

根据样本大小代码、检验方式、严格性,查相应的抽样方案表,得  $n$  及  $k$  值。

正常检验抽样方案( $\sigma$  法)见表 8.3-3;

加严检验抽样方案( $\sigma$  法)见表 8.3-4;

放宽检验抽样方案( $\sigma$  法)见表 8.3-5;

正常检验抽样方案( $s$  法)见表 8.3-6;

加严检验抽样方案( $s$  法)见表 8.3-7;

放宽检验抽样方案( $s$  法)见表 8.3-8。

[例 8.3-1] 某种设备的最高操作温度规定为  $60^\circ\text{C}$ , 以 100 个个体产品组成一批进行抽样检验,用检验水平 II, 正常检验,  $AQL = 2.5\%$ 。

已查得抽样样本大小代码为  $F$ , 检索得的  $n$ 、 $K$  值如下:

“ $\sigma$ ”法, 正常检验,  $n = 5$ ,  $K = 1.39$ ;

“ $\sigma$ ”法, 加严检验,  $n = 4$ ,  $K = 1.53$ ;

“ $\sigma$ ”法, 放宽检验,  $n = 2$ ,  $K = 0.93$ ;

“ $s$ ”法, 正常检验,  $n = 10$ ,  $K = 1.41$ ;

“ $s$ ”法, 加严检验,  $n = 10$ ,  $K = 1.58$ ;

“ $s$ ”法, 放宽检验,  $n = 4$ ,  $K = 1.01$ 。

#### (8) 抽取样本。

设为正常检验,  $s$  法, 则抽取  $n = 10$  个产品构成一个样本。

#### (9) 检测样本值。

设测量 10 个产品的质量特性值, 得:

$53^\circ\text{C}$ ,  $57^\circ\text{C}$ ,  $49^\circ\text{C}$ ,  $58^\circ\text{C}$ ,  $59^\circ\text{C}$ ,

$54^\circ\text{C}$ ,  $58^\circ\text{C}$ ,  $56^\circ\text{C}$ ,  $55^\circ\text{C}$ ,  $50^\circ\text{C}$ 。

#### (10) 判断接收或拒收。

① 根据样本数据,计算  $\bar{x}$  及  $s$ 。

本例算得  $\bar{x} = 54.9^{\circ}\text{C}$ ,  $s = 3.414^{\circ}\text{C}$ 。

② 根据规范限,计算  $\frac{U - \bar{x}}{\sigma}$  或  $\frac{U - \bar{x}}{s}$ ; 或  $\frac{\bar{x} - L}{\sigma}$  或  $\frac{\bar{x} - L}{s}$ 。

今为给定上规范限,  $s$  法,故计算:

$$\frac{U - \bar{x}}{s} = \frac{60 - 54.9}{3.414} = 1.494$$

③ 将②的结果与  $k$  值比较,作出判决。

今为上规范限情况,  $s$  法,

$$\frac{U - \bar{x}}{s} = 1.494 \geq k = 1.414, \text{故接收。}$$

$M$  法抽样方案的思想如下:

设  $X$  遵循均值为  $\mu$ 、方差为  $\sigma^2$  的正态分布,则给定上规范限  $U$  时,  $X$  超过  $U$  亦即不合格的概率为  $\Phi\left(\frac{U - \mu}{\sigma}\right) = p$ ; 给定下规范限  $L$  时,  $X$  低于  $L$  亦即不合格的概率为  $\Phi\left(\frac{\mu - L}{\sigma}\right) = p$ 。

情况 I:  $\sigma$  已知(简称  $\sigma$  法)。

给定上规范限  $U$  时,定义质量系数  $Q_U = \frac{(U - \bar{x})V}{\sigma}$

给定下规范限  $L$  时,定义质量系数  $Q_L = \frac{(\bar{x} - L)V}{\sigma}$  这里的  $v$  为修正系数,  $V = \sqrt{n/(n-1)}$ 。

由  $Q_U$  或  $Q_L$  可从表 8.3 - 10 查出相应的不合格品率估计值  $p_U$  或  $p_L$ 。表 8.3 - 10 即标准正态分布表。

有判别值  $M$  (取决于样本大小代码及 AQL 值):

如  $p_U \leq M$ , 或  $p_L \leq M$ , 接收;

如  $p_U > M$ , 或  $p_L > M$ , 不接收。

情况 II:  $\sigma$  未知(简称  $s$  法)。

给定上规范限  $U$  时,定义质量系数  $Q_U = \frac{(U - \bar{x})V}{s}$ ,

给定下规范限  $L$  时,定义质量系数  $Q_L = \frac{(\bar{x} - L)V}{s}$ 。

根据  $Q_U$  或  $Q_L$  可从表 8.3 - 9 查出相应的不合格品率估计值  $p_U$  或  $p_L$ 。(表 8.3 - 10 是按不完全  $\beta$  分布表算得的)。

有判别值  $M$  (取决于样本大小代码及 AQL 值):

如  $p_U \leq M$ , 或  $p_L \leq M$ , 接收;

如  $p_U > M$ , 或  $p_L > M$ , 不接收。

情况Ⅲ:双边规范限情况。

根据  $\sigma$  已知或未知,用情况Ⅰ、Ⅱ的方法求得  $p_U$  及  $p_L$ 。由此估算总的不合格品率估计值  $p = p_U + p_L$ 。

(1) 如果对上规范限  $U$  及下规范限  $L$  合用一个总的  $AQL$  值要求。则有判别值  $M$  (取决于样本大小代码及总的  $AQL$  值):

如  $p \leq M$ , 接收;

如  $p > M$ , 或  $Q_U < 0$  或  $Q_L < 0$ , 或  $Q_U, Q_L < 0$ , 不接收。

(2) 如果对上规范限  $U$  有一个  $AQL_U$  要求, 对下规范限有一个  $AQL_L$  要求。则对上规范限的  $AQL_U$ , 有判别值  $M_U$ ; 对下规范限的  $AQL_L$ , 有判别值  $M_L$ 。

如下述三条件皆满足:

①  $p_U \leq M_U$

②  $p_L \leq M_L$

③  $p \leq \max(M_U, M_L)$ , 则接收。

如上述三条件有一个不满足, 或

$Q_U < 0$ , 或  $Q_L < 0$ , 或  $Q_U, Q_L < 0$ , 则不接收。

(7) 检索抽样方案( $M$ 法)。

根据抽样样本大小代码, 检验方式, 严格性, 查相应的抽样方案表。

在  $\sigma$  已知情况, 得  $n, V, M$  值;

在  $\sigma$  未知情况, 得  $n, M$  值。

正常及加严检验抽样方案( $\sigma$ 法), 见表 8.3-11。

放宽检验抽样方案( $\sigma$ 法), 见表 8.3-12。

正常及加严检验抽样方案( $s$ 法), 见表 8.3-13。

放宽检验抽样方案( $s$ 法), 见表 8.3-14。

[例 8.3-2] 某设备的工作温度  $X$  的上规范限为  $U = 209^\circ\text{C}$ , 批量  $N = 40$ , 确定检查水平Ⅱ, 正常检查,  $AQL = 1.00(\%)$ ,  $\sigma$  未知, 试用  $M$  法。

(6) 检索抽样样本大小代码, 从表 8.3-2 得  $D$ 。

(7) 检索抽样方案。查表 8.3-13, 得

$$n = 5, M = 3.32。$$

(8) 抽取样本。得测量数据为:

$$197, 188, 184, 205, 201 (^\circ\text{C})。$$

试判断接收或不接收。

[解]:

(1) 根据样本数据, 计算  $\bar{x}$  及  $s$ 。

本列算得  $\bar{x} = 195(^\circ\text{C})$ ,  $s = 8.81(^\circ\text{C})$

(2) 计算  $Q_U$ 。

$$\text{本例的 } Q_U = (U - \bar{x})/s = (209 - 195)/8.81 = 1.59。$$

(3) 根据  $Q_U$  查相应的表得  $p_U$ 。

今  $\sigma$  未知, 查表 8.3-9, 得:

相应于  $n=5$  的  $Q_U=1.55$  对应  $p_U=2.87$ ;  $Q_U=1.60$  对应  $p_U=2.03$ 。

通过插入, 得  $Q_U=1.59$  相应的  $p_U=2.20$ 。

(4) 将(3)的结果与  $M$  值相比较, 作出判决。

今  $p_U=2.20 < M=3.22$

故接收。

[例 8.3-3] 某铸件规定的最高屈服点为  $U=67000$  磅/平方英寸, 最低屈服点为  $L=58000$  磅/平方英寸。以批量  $N=500$  的批提交检验。用检查水平 II, 正常检查。上、下规范限合用一 AQL 值 1.5%,  $\sigma$  已知为 3000 磅/平方英寸。

(7) 检索抽样方案( $M$  法)查得抽样样本大小代码为  $I$ 。

今  $\sigma$  已知, 查表 8.3-11 相应于  $AQL=1.5$ , 有

$$n=10, M=3.63, v=1.054。$$

(8) 抽取  $n=10$  个产品构成样本。

(9) 检测样本值。

设测量 10 个产品的屈服点值, 得:

62500, 60500, 68000, 59000, 65500,

62000, 61000, 69000, 58000, 64500。

试判断接收或不接收?

[解]:

(1) 根据样本数据, 计算  $\bar{x}$  及  $s$  (如  $\sigma$  已知, 则测出  $\sigma$ )。

本例算得:  $\bar{x}=63000, \sigma=3000$ 。

(2) 今  $\sigma$  已知, 根据规范限、计算质量系数  $Q_U=(U-\bar{x})v/\sigma$  及  $Q_L=(\bar{x}-L)v/\sigma$ 。

本例算得:  $Q_U=1.41, Q_L=1.76$ 。

(3) 根据  $Q_U, Q_L$ , 从表 8.3-10, 查相应的  $p_U, p_L$ , 算得  $p=p_U+p_L$ 。

本例从表 8.3-10, 查得:  $p_U=7.44\%, p_L=2.93\%$ 。

$$p=p_U+p_L=10.37\%$$

(4) 将(3)的结果与  $M$  值比较, 作出判决。

今为上、下规范限综合给定一个 AQL 值。

$$P=10.37\% > M=3.63\%, \text{故不接收。}$$

[例 8.3-4] 某一设备最低工作温度定为  $L=180^\circ\text{F}$ , 最高工作温度定为  $U=208^\circ\text{F}$ 。以批量  $N=40$  的批提交检验。检验水平 II、正常检验。规定对上规范限的  $AQL=1\%$ ; 对下规范限的  $AQL=2.5\%$ 。 $\sigma$  未知。

(7) 检索抽样方案。查得样本大小代码为  $D$ 。

今  $\sigma$  未知, 查附表 8.3-13。相应与上规范限,  $AQL=1\%$ , 查得  $M_U=3.32\%$ ;

相应于下规范限,  $AQL=2.5\%$ , 查得  $M_L=9.80\%$ ;  $n=5$ 。

(8) 抽取  $n = 5$  个产品, 构成样本。

(9) 检测样本值。

设测量 5 个产品的工作温度值为:  $197^{\circ}, 188^{\circ}, 184^{\circ}, 205^{\circ}, 201^{\circ}$

试判断接收或不接收。

[解]:

(1) 根据样本数, 计算  $\bar{x}$  及  $s$  (如  $\sigma$  已知, 则列出  $\sigma$ )。

本例算得  $\bar{x} = 195, s = 8.81$ 。

(2) 今  $\sigma$  未知, 根据规范限, 计算质量系数:

$$Q_U = (U - \bar{x})/s, Q_L = (\bar{x} - L)/s$$

本例算得  $Q_U = 1.59, Q_L = 1.70$

(3) 根据  $Q_U, Q_L$ , 查相应的  $p_U, p_L$ , 算出  $p = p_U + p_L$ 。

本例从表 8.3—9, 查得  $p_U = 2.19\%, p_L = 0.66\%$ 。

算得  $p = p_U + p_L = 2.85\%$ 。

(4) 将(3)的结果与  $M$  值比较, 作出判决。

今上、下规范限分别给出 AQL 值,

$$p_U = 2.19\% \leq M_U = 3.32\%$$

$$p_L = 0.66\% \leq M_L = 9.80\%$$

$$p = 2.85\% \leq \max(M_U, M_L) = 9.80\%, \text{ 故接收。}$$

(5) 处理检验批。

严格性转换规则为:

(1) 为了防止过程平均超过 AQL, 当检验结果表明过程平均已超过 AQL 时, 应转向加严检验。在加严检验后, 如生产方不能及时地改善其生产过程, 就应暂停检验。暂停检验后, 只有当生产者已采取措施改善了其所提交产品的质量, 才能恢复加严检验。

(2) 除非另有规定, 最初采用正常检验。

(3) 从正常检验转换到加严检验。

当进行正常检验时, 若在不多于五批的连续批中有两批经初检验拒收, 则从下一批起执行加严检验。

(4) 从加严检验转换到正常检查。

当进行加严检查时, 若连续五批经初检验接收, 则从下一批起执行正常检查。

(5) 从正常检验到放宽检验。

当执行正常检查时, 若下列条件均满足, 则从下一批起执行放宽检验。

① 初检中连续十批均接收。

② 经可接收质量水平(AQL)加严一级判断后, 这些批仍被接收。

③ 生产处于统计控制状态。

④ 负责部门同意转到放宽检验。

## (6) 从放宽检验到正常检查。

当进行放宽检查时,若出现下列情况之一,则从下一批起执行正常检查。

- ① 初检拒收一批。
- ② 生产不正常或出现故障。
- ③ 其它情况提出告警,认为必须转入正常检查。

## (7) 暂停检查。

如果累计五批加严检查不合格,则应暂停抽样检查,直到生产者改善了质量为止。

## 8.3.3 MIL—STD—414 用于单批抽样

MIL—STD—414(修订本)与 MIL—STD—105E 一样,可用于单批抽样。对每一个代码的每一种 AQL,提供了 OC 曲线。但未提供像 MIL—STD—105E 那样的 OC 函数典型值表。本书为节省篇幅,不附这些曲线,只附不同代码,每一种 AQL 值相应的 OC 曲线上,与接收概率 95%、10% 相应的  $p_0$ 、 $p_1$  表,见表 8.3-15。

如果给定  $p_0$ 、 $\alpha = 5\%$ ;  $p_1$ 、 $\beta = 10\%$ , 要查计量标准型一次抽样方案的方法可通过例 8.3-5 加以说明。

表 8.3-3 正常检查一次抽样方案(主表): $\sigma$  法

样本 量 字 码	合格质量水平(正 常 检 查)											
	0.10	0.15	0.25	0.40	0.65	1.00	1.50	2.50	4.00	6.50	10.00	
	n k	n k	n k	n k	n k	n k	n k	n k	n k	n k	n k	n k
B						↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
C						2 1.36	2 1.25	2 1.09	2 0.936	3 0.755	3 0.573	
D					2 1.58	2 1.42	2 1.33	3 <sup>△</sup> 1.17	3 1.01	3 0.825	4 0.641	
E			2 1.94	2 1.81	3 1.69	3 1.56	3 1.44	4 1.28	4 1.11	5 0.919	5 0.728	
F		3 2.19	3 2.07	3 1.91	4 1.80	4 1.69	4 1.53	5 1.39	5 1.20	6 0.991	7 0.797	
G	4 2.39	4 2.30	4 2.14	5 2.05	5 1.88	6 1.78	6 1.62	7 1.45	8 1.28	9 1.07	11 0.877	
H	5 2.46	5 2.34	6 2.23	6 2.08	7 1.95	7 1.80	8 1.68	9 1.49	10 1.31	12 1.11	14 0.906	
I	6 2.49	6 2.37	7 2.25	8 2.13	8 1.96	9 1.3	10 1.70	11 1.51	13 1.34	15 1.13	17 0.924	
J	8 2.54	9 2.45	9 2.29	10 2.16	11 2.01	12 1.88	14 1.75	15 1.56	18 1.38	20 1.17	24 0.964	
K	11 2.59	12 2.49	13 2.35	14 2.21	16 2.07	17 1.93	19 1.79	22 1.61	25 1.42	29 1.21	33 0.995	
L	16 2.65	17 2.54	19 2.41	21 2.27	23 2.12	25 1.97	28 1.84	32 1.65	36 1.46	42 1.24	49 1.03	
M	22 2.69	23 2.57	25 2.43	27 2.29	30 2.14	33 2.00	36 1.86	42 1.67	48 1.48	55 1.26	64 1.05	
N	31 2.72	34 2.62	37 2.47	40 2.33	44 2.17	49 2.03	54 1.89	61 1.69	70 1.51	82 1.29	95 1.07	
P	42 2.73	45 2.62	49 2.48	54 2.34	59 2.18	65 2.04	71 1.89	81 1.70	93 1.51	109 1.29	127 1.07	

注:①所有的 AQL 值均以不合格品率(%)给出。

②符号“↓”表示该范围中没有合适的抽样方案。应采用箭头之下的第一个抽样方案,即样本大小和接收常数 k。

③符号“△”表示该范围中给出的抽样方案样本大小太大,经负责部门同意,可以采取靠近箭头之上的抽样方案。

表 8.3-4 加严检查一次抽样方案(主表): $\sigma$ 法

样本 量 字码	合格质量水平(加严检查)																							
	0.10		0.15		0.25		0.40		0.65		1.00		1.50		2.50		4.00		6.50		10.00			
	n	k	n	k	n	k	n	k	n	k	n	k	n	k	n	k	n	k	n	k	n	k		
B																								
C													2	1.36	2	1.25	2	1.09	2	0.936	3	0.755		
D												2	1.58	2	1.42	2	1.33	3	1.17	3	1.01	3	0.825	
E							2	1.94	2	1.81	3	1.69	3	1.56	3	1.44	4	1.28	4	1.11	5	0.919		
F					3	2.19	3	2.07	3	1.91	4	1.80	4	1.69	4	1.53	5	1.39	5	1.20	6	0.991		
G	3	2.49	4	2.39	4	2.30	4	2.44	5	2.05	5	1.88	6	1.78	6	1.62	7	1.45	8	1.29	9	1.07		
H	4	2.55	5	2.46	5	2.34	6	2.23	6	2.08	7	1.95	7	1.80	8	1.68	9	1.49	10	1.31	12	1.11		
I	6	2.59	6	2.49	6	2.37	7	2.25	8	2.13	8	1.96	9	1.83	10	1.70	11	1.51	13	1.34	15	1.13		
J	7	2.63	8	2.54	9	2.45	9	2.29	10	2.16	11	2.01	12	1.88	14	1.75	15	1.56	18	1.38	20	1.17		
K	11	2.72	11	2.59	12	2.49	13	2.35	14	2.21	16	2.07	17	1.93	19	1.79	22	1.61	25	1.42	29	1.21		
L	15	2.77	16	2.65	17	2.54	19	2.41	21	2.27	23	2.12	25	1.97	28	1.84	32	1.65	36	1.46	42	1.24		
M	20	2.80	22	2.69	23	2.57	25	2.43	27	2.29	33	2.11	38	2.00	36	1.86	42	1.67	48	1.48	55	1.26		
N	30	2.81	31	2.72	34	2.62	37	2.47	40	2.33	44	2.17	49	2.03	54	1.89	61	1.69	70	1.51	82	1.29		
P	40	2.85	42	2.73	45	2.62	49	2.48	51	2.31	59	2.18	65	2.04	71	1.80	81	1.70	93	1.51	109	1.29		

表 8.3-5 放宽检查一次抽样方案(主表):  $\sigma$  法

样本 量 字码	合 格 质 量 水 平 (放 宽 检 查)											
	0.10	0.15	0.25	0.40	0.65	1.00	1.50	2.50	4.00	6.50	10.00	
	$n$ $k$	$n$ $k$	$n$ $k$	$n$ $k$	$n$ $k$	$n$ $k$	$n$ $k$	$n$ $k$	$n$ $k$	$n$ $k$	$n$ $k$	
B	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
C												
D												
E												
F												
G		2   1.94	2   1.81	2   1.58	2   1.42	2   1.33	3   1.17	3   1.01	3   0.825	4   0.641	4   0.429	
H				3   1.69	3   1.56	3   1.44	4   1.28	4   1.11	5   0.919	5   0.723	6   0.515	
I	3   2.19	3   2.07	3   1.91	4   1.80	4   1.69	4   1.53	5   1.39	5   1.20	6   0.991	7   0.797	8   0.584	
J	4   2.30	4   2.14	5   2.05	5   1.88	6   1.78	6   1.62	7   1.45	8   1.28	9   1.07	11   0.877	12   0.649	
K	5   2.34	6   2.23	6   2.08	7   1.95	7   1.80	8   1.68	9   1.49	10   1.31	12   1.11	14   0.906	16   0.685	
L	6   2.37	7   2.25	8   2.13	8   1.96	9   1.83	10   1.70	11   1.51	13   1.34	15   1.13	17   0.924	20   0.706	
M	9   2.45	9   2.29	10   2.16	11   2.01	12   1.88	14   1.75	15   1.56	18   1.38	20   1.17	24   0.964	27   0.737	
N	12   2.49	13   2.35	14   2.21	16   2.07	17   1.93	19   1.79	22   1.61	25   1.42	29   1.21	33   0.995	38   0.770	
P	17   2.54	19   2.41	21   2.27	23   2.12	25   1.97	28   1.84	32   1.65	36   1.46	42   1.24	49   1.03	56   0.803	

表 8.3-6 正常检查一次抽样方案(主表):S 法

样本量 字码	样本量	0.10	0.15	0.25	0.40	0.65	1.00	1.50	2.50	4.00	6.50	10.00
		k	k	k	k	k	k	k	k	k	k	k
B	3								1.12	0.958	0.765	0.566
C	4					↓	1.45	1.34	1.17	1.01	0.814	0.617
D	5					1.65	1.53	1.40	1.24	1.07	0.874	0.675
E	7					1.75	1.62	1.50	1.33	1.15	0.955	0.755
F	10		2.24	2.00	1.88	1.84	1.72	1.58	1.41	1.23	1.03	0.826
G	15	2.42	2.32	2.20	2.06	1.91	1.79	1.65	1.47	1.30	1.09	0.886
H	20	2.47	2.36	2.24	2.11	1.96	1.82	1.69	1.51	1.33	1.12	0.917
I	25	2.50	2.40	2.26	2.14	1.98	1.85	1.72	1.53	1.35	1.14	0.936
J	35	2.54	2.45	2.31	2.18	2.03	1.89	1.76	1.57	1.39	1.18	0.969
K	50	2.60	2.50	2.35	2.22	2.08	1.93	1.80	1.61	1.42	1.21	1.00
L	75	2.66	2.55	2.41	2.27	2.12	1.98	1.84	1.65	1.46	1.24	1.03
M	100	2.69	2.59	2.43	2.29	2.14	2.00	1.86	1.67	1.48	1.26	1.05
N	150	2.73	2.61	2.47	2.33	2.18	2.03	1.89	1.70	1.51	1.29	1.07
P	200	2.73	2.62	2.47	2.33	2.18	2.04	1.89	1.70	1.51	1.29	1.07

注, ①所有的 AQL 值均以不合格品率(%)给出。

②符号“↓”表示该范围中没有合适的抽样方案。应采用箭头之下的第一个抽样方案,即样本大小和接收常数 $k$ 。

③符号“ $\triangle$ ”表示该范围中给出的抽样方案样本大小 $n$ 大,经负责部门同意,可以采用靠近箭头之上的抽样方案。



表 8.3-7 加严检验一次抽样方案(主表): S 法

样本量 字 码	样本 量	合格质量水平(正常检查)										
		0.10	0.15	0.25	0.40	0.65	1.00	1.50	2.50	4.00	6.50	10.00
		k	k	k	k	k	k	k	k	k	k	k
B	3									1.12	0.958	0.765
C	4							1.45	1.34	1.17	1.01	0.814
D	5						1.65	1.53	1.40	1.24	1.07	0.874
E	7				2.00	1.88	1.75	1.62	1.50	1.33	1.15	0.955
F	10			2.24	2.11	1.98	1.84	1.72	1.58	1.41	1.23	1.03
G	15	2.53	2.42	2.32	2.20	2.06	1.91	1.79	1.65	1.47	1.30	1.09
H	20	2.58	2.47	2.36	2.24	2.11	1.96	1.82	1.69	1.51	1.33	1.12
I	25	2.61	2.50	2.40	2.26	2.14	1.98	1.85	1.72	1.53	1.35	1.14
J	35	2.65	2.54	2.45	2.31	2.18	2.03	1.89	1.76	1.57	1.39	1.18
K	50	2.71	2.60	2.50	2.35	2.22	2.08	1.93	1.80	1.61	1.42	1.21
L	75	2.77	2.66	2.55	2.41	2.27	2.12	1.98	1.84	1.65	1.46	1.24
M	100	2.80	2.69	2.58	2.43	2.29	2.14	2.00	1.86	1.67	1.48	1.26
N	150	2.84	2.73	2.61	2.47	2.33	2.18	2.03	1.89	1.70	1.51	1.29
P	200	2.85	2.73	2.62	2.47	2.33	2.18	2.04	1.89	1.70	1.51	1.29

表 8.3-8 放宽检查一次抽样方案(主表): S 法

样本量 字 码	样本 量	合格质量水平(放宽检查)										
		0.10	0.15	0.25	0.40	0.65	1.00	1.50	2.50	4.00	6.50	10.00
		k	k	k	k	k	k	k	k	k	k	k
B	3							1.12	0.958	0.765	0.566	0.341
C	3							1.12	0.958	0.765	0.566	0.341
D	3							1.12	0.958	0.765	0.566	0.341
E	3							1.12	0.958	0.765	0.566	0.341
F	4					1.45	1.34	1.17	1.01	0.814	0.617	0.393
G	5				1.65	1.53	1.40	1.24	1.07	0.874	0.675	0.455
H	7		2.00	1.88	1.75	1.62	1.50	1.33	1.15	0.955	0.755	0.536
I	10	2.24	2.11	1.98	1.84	1.72	1.58	1.41	1.23	1.03	0.828	0.611
J	15	2.32	2.20	2.06	1.91	1.79	1.65	1.47	1.30	1.09	0.886	0.664
K	20	2.36	2.24	2.11	1.96	1.82	1.69	1.51	1.33	1.12	0.917	0.695
L	25	2.40	2.26	2.14	1.98	1.85	1.72	1.53	1.35	1.14	0.936	0.712
M	35	2.45	2.31	2.18	2.03	1.89	1.76	1.57	1.39	1.18	0.969	0.745
N	50	2.50	2.35	2.22	2.08	1.93	1.80	1.61	1.42	1.21	1.00	0.774
P	75	2.55	2.41	2.27	2.12	1.98	1.84	1.65	1.46	1.24	1.03	0.804

表 8.3-9 未知;由  $QU$ (或  $QL$ ) 查  $pU$ (或  $pL$ )

$QU$ 或 $QL$	本														
	3	4	5	7	10	15	20	25	30	35	50	75	100	150	200
1.50	0.00	0.00	3.80	5.28	5.87	6.200	6.34	6.41	6.46	6.50	6.55	6.60	6.62	6.64	6.65
1.51	0.00	0.00	3.61	5.13	5.73	6.06	6.20	6.28	6.33	6.36	6.42	6.47	6.49	6.51	6.52
1.52	0.00	0.00	3.42	4.97	5.59	5.93	6.07	6.15	6.20	6.23	6.29	6.34	6.36	6.38	6.39
1.53	0.00	0.00	3.23	4.82	5.45	5.80	5.94	6.02	6.07	6.11	6.17	6.21	6.24	6.26	6.27
1.54	0.00	0.00	3.05	4.67	5.31	5.67	5.81	5.89	5.95	5.98	6.04	6.09	6.11	6.13	6.15
1.55	0.00	0.00	2.87	4.52	5.18	5.54	5.69	5.77	5.82	5.86	5.92	5.97	5.99	6.01	6.02
1.56	0.00	0.00	2.69	4.38	5.05	5.41	5.56	5.65	5.70	5.84	5.80	5.85	5.87	5.89	5.90
1.57	0.00	0.00	2.52	4.24	4.92	5.29	5.44	5.53	5.58	5.62	5.68	5.73	5.75	5.78	5.79
1.58	0.00	0.00	2.35	4.10	4.79	5.16	5.32	5.41	5.46	5.50	5.56	5.61	5.64	5.66	5.67
1.59	0.00	0.00	2.19	3.96	4.66	5.04	5.20	5.29	5.34	5.38	5.45	5.50	5.52	5.54	5.56
1.60	0.00	0.00	2.03	3.83	4.54	4.92	5.09	5.17	5.23	5.27	5.33	5.38	5.41	5.43	5.44
1.61	0.00	0.00	1.87	3.69	4.41	4.81	4.97	5.06	5.12	5.16	5.22	5.27	5.30	5.32	5.33
1.62	0.00	0.00	1.72	3.57	4.30	4.69	4.86	4.95	5.01	5.04	5.11	5.16	5.19	5.21	5.23
1.63	0.00	0.00	1.57	3.44	4.18	4.58	4.75	4.84	4.90	4.94	5.01	5.06	5.08	5.11	5.12
1.64	0.00	0.00	1.42	3.31	4.06	4.47	4.64	4.73	4.79	4.83	4.90	4.95	4.98	5.00	5.01
1.65	0.00	0.00	1.26	3.19	3.95	4.36	4.53	4.62	4.68	4.72	4.79	4.85	4.87	4.90	4.91
1.66	0.00	0.00	1.15	3.07	3.84	4.25	4.43	4.52	4.58	4.62	4.69	4.74	4.77	4.80	4.81
1.67	0.00	0.00	1.02	2.95	3.73	4.15	4.32	4.42	4.48	4.52	4.59	4.64	4.67	4.70	4.71
1.68	0.00	0.00	0.89	2.84	3.62	4.05	4.22	4.32	4.38	4.42	4.49	4.55	4.57	4.60	4.61
1.69	0.00	0.00	0.77	2.73	3.52	3.94	4.12	4.22	4.28	4.32	4.39	4.45	4.47	4.50	4.51
1.70	0.00	0.00	0.66	2.62	3.41	3.84	4.02	4.12	4.18	4.22	4.30	4.35	4.38	4.41	4.42
1.71	0.00	0.00	0.55	2.51	3.31	3.75	3.93	4.02	4.09	4.13	4.20	4.26	4.29	4.31	4.32
1.72	0.00	0.00	0.45	2.41	3.21	3.65	3.83	3.93	3.99	4.04	4.11	4.17	4.19	4.22	4.23
1.73	0.00	0.00	0.36	2.30	3.11	3.56	3.74	3.84	3.90	3.94	4.02	4.08	4.10	4.13	4.14
1.74	0.00	0.00	0.27	2.20	3.02	3.46	3.65	3.75	3.81	3.85	3.93	3.99	4.01	4.04	4.05
1.75	0.00	0.00	0.19	2.11	2.93	3.37	3.56	3.66	3.72	3.77	3.84	3.90	3.93	3.95	3.97
1.76	0.00	0.00	0.12	2.01	2.83	3.28	3.47	3.57	3.63	3.68	3.76	3.81	3.84	3.87	3.88
1.77	0.00	0.00	0.06	1.92	2.74	3.20	3.38	3.48	3.55	3.59	3.67	3.73	3.76	3.78	3.80
1.78	0.00	0.00	0.02	1.83	2.66	3.11	3.30	3.40	3.47	3.51	3.59	3.64	3.67	3.70	3.71
1.79	0.00	0.00	0.00	1.74	2.57	3.03	3.21	3.32	3.38	3.43	3.51	3.56	3.59	3.63	3.63
1.80	0.00	0.00	0.00	1.65	2.49	2.94	3.13	3.24	3.30	3.35	3.43	3.48	3.51	3.54	3.55
1.81	0.00	0.00	0.00	1.57	2.40	2.86	3.05	3.16	3.22	3.27	3.35	3.40	3.43	3.46	3.47
1.82	0.00	0.00	0.00	1.49	2.32	2.79	2.98	3.08	3.15	3.19	3.27	3.33	3.36	3.38	3.40
1.83	0.00	0.00	0.00	1.41	2.25	2.71	2.90	3.00	3.07	3.11	3.19	3.25	3.28	3.31	3.32
1.84	0.00	0.00	0.00	1.34	2.17	2.63	2.82	2.93	2.99	3.04	3.12	3.18	3.21	3.23	3.25
1.85	0.00	0.00	0.00	1.26	2.09	2.56	2.75	2.85	2.92	2.97	3.05	3.10	3.13	3.16	3.17
1.86	0.00	0.00	0.00	1.19	2.02	2.48	2.68	2.78	2.85	2.89	2.97	3.03	3.06	3.09	3.10
1.87	0.00	0.00	0.00	1.12	1.95	2.41	2.61	2.71	2.78	2.82	2.90	2.96	2.99	3.02	3.03
1.88	0.00	0.00	0.00	1.06	1.88	2.34	2.54	2.64	2.71	2.75	2.83	2.89	2.92	2.95	2.96
1.89	0.00	0.00	0.00	0.99	1.81	2.28	2.47	2.57	2.64	2.69	2.77	2.83	2.85	2.88	2.90

注 1:表中数值均为百分率。

续表

Q <sub>v</sub> 或 Q <sub>1</sub>	本														
	3	4	5	7	10	15	20	25	30	35	50	75	100	150	200
1.10	9.84	13.33	13.48	13.49	13.50	13.51	13.52	13.52	13.53	13.54	13.54	13.55	13.55	13.56	13.56
1.11	8.89	13.00	13.20	13.25	13.26	13.28	13.29	13.30	13.31	13.31	13.32	13.33	13.34	13.34	13.34
1.12	7.82	12.67	12.93	13.00	13.03	13.05	13.07	13.08	13.09	13.10	13.11	13.12	13.12	13.12	13.13
1.13	6.60	12.33	12.65	12.75	12.80	12.83	12.85	12.86	12.87	12.88	12.89	12.90	12.91	12.91	12.92
1.14	5.08	12.00	12.37	12.51	12.57	12.61	12.63	12.65	12.66	12.67	12.68	12.69	12.70	12.70	12.70
1.15	0.29	11.67	12.10	12.27	12.34	12.39	12.42	12.44	12.45	12.46	12.47	12.48	12.49	12.49	12.50
1.16	0.00	11.33	11.83	12.03	12.12	12.18	12.21	12.22	12.24	12.25	12.26	12.28	12.28	12.29	12.29
1.17	0.00	11.00	11.56	11.79	11.90	11.96	12.00	12.02	12.03	12.04	12.06	12.07	12.08	12.08	12.09
1.18	0.00	10.67	11.29	11.56	11.68	11.75	11.79	11.81	11.82	11.84	11.85	11.87	11.88	11.88	11.89
1.19	0.00	10.33	11.02	11.33	11.46	11.54	11.58	11.61	11.62	11.63	11.65	11.67	11.68	11.69	11.69
1.20	0.00	10.00	10.76	11.10	11.24	11.34	11.38	11.41	11.42	11.43	11.46	11.47	11.48	11.49	11.49
1.21	0.00	9.67	10.50	10.87	11.03	11.13	11.18	11.21	11.22	11.24	11.26	11.28	11.29	11.30	11.30
1.22	0.00	9.33	10.23	10.65	10.82	10.93	10.98	11.01	11.03	11.04	11.07	11.09	11.09	11.10	11.11
1.23	0.00	9.00	9.97	10.42	10.61	10.73	10.78	10.81	10.84	10.85	10.88	10.90	10.91	10.91	10.92
1.24	0.00	8.67	9.72	10.20	10.41	10.53	10.59	10.62	10.64	10.66	10.69	10.71	10.72	10.73	10.73
1.25	0.00	8.33	9.46	9.98	10.21	10.34	10.40	10.43	10.46	10.47	10.50	10.52	10.53	10.54	10.55
1.26	0.00	8.00	9.21	9.77	10.00	10.15	10.21	10.25	10.27	10.29	10.32	10.34	10.35	10.36	10.37
1.27	0.00	7.67	8.96	9.55	9.81	9.96	10.02	10.06	10.09	10.10	10.13	10.16	10.17	10.18	10.19
1.28	0.00	7.33	8.71	9.34	9.61	9.77	9.84	9.88	9.90	9.92	9.95	9.98	9.99	10.00	10.01
1.29	0.00	7.00	8.46	9.13	9.42	9.58	9.65	9.70	9.72	9.74	9.78	9.80	9.82	9.83	9.83
1.30	0.00	6.67	8.21	8.93	9.22	9.40	9.48	9.52	9.55	9.57	9.60	9.63	9.64	9.65	9.66
1.31	0.00	6.33	7.97	8.72	9.03	9.22	9.30	9.34	9.37	9.39	9.43	9.46	9.47	9.48	9.49
1.32	0.00	6.00	7.73	8.52	8.85	9.04	9.12	9.17	9.20	9.22	9.26	9.29	9.30	9.31	9.32
1.33	0.00	5.67	7.49	8.32	8.66	8.86	8.95	9.00	9.03	9.05	9.09	9.12	9.13	9.15	9.15
1.34	0.00	5.33	7.25	8.12	8.48	8.69	8.78	8.83	8.86	8.88	8.92	8.95	8.97	8.98	8.99
1.35	0.00	5.00	7.02	7.92	8.30	8.52	8.61	8.66	8.69	8.72	8.76	8.79	8.81	8.82	8.83
1.36	0.00	4.67	6.79	7.73	8.12	8.35	8.44	8.50	8.53	8.55	8.60	8.63	8.65	8.66	8.67
1.37	0.00	4.33	6.56	7.54	7.95	8.18	8.28	8.33	8.37	8.39	8.44	8.47	8.49	8.50	8.51
1.38	0.00	4.00	6.33	7.35	7.77	8.01	8.12	8.17	8.21	8.24	8.25	8.31	8.33	8.35	8.35
1.39	0.00	3.67	6.10	7.17	7.60	7.85	7.96	8.01	8.05	8.08	8.12	8.16	8.18	8.19	8.20
1.40	0.00	3.33	5.88	6.96	7.44	7.69	7.80	7.86	7.90	7.92	7.97	8.01	8.02	8.04	8.05
1.41	0.00	3.00	5.66	6.80	7.27	7.53	7.64	7.70	7.74	7.77	7.82	7.86	7.87	7.89	7.90
1.42	0.00	2.67	5.44	6.62	7.10	7.37	7.49	7.55	7.59	7.62	7.67	7.71	7.73	7.74	7.75
1.43	0.00	2.33	5.23	6.45	6.94	7.22	7.34	7.40	7.44	7.47	7.52	7.56	7.58	7.60	7.61
1.44	0.00	2.00	5.01	6.27	6.78	7.07	7.19	7.26	7.30	7.33	7.38	7.42	7.44	7.46	7.47
1.45	0.00	1.67	4.81	6.10	6.63	6.92	7.04	7.11	7.15	7.18	7.24	7.28	7.30	7.31	7.33
1.46	0.00	1.33	4.60	5.93	6.47	6.77	6.90	6.97	7.01	7.04	7.10	7.14	7.15	7.16	7.18
1.47	0.00	1.00	4.39	5.77	6.32	6.63	6.75	6.83	6.87	6.90	6.96	7.00	7.02	7.04	7.05
1.48	0.00	67	4.19	5.60	6.17	6.48	6.61	6.69	6.73	6.77	6.82	6.86	6.88	6.90	6.91
1.49	0.00	33	3.99	5.44	6.02	6.34	6.48	6.55	6.60	6.63	6.69	6.73	6.75	6.77	6.78

表 8.3-10  $\sigma$  已知; 由  $QU$  (或  $QL$ ) 及  $n$  查  $pU$  (或  $pL$ )

QU 或 QL	样本大小															
	3	4	5	7	10	15	20	25	30	35	40	50	75	100	150	200
0	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00
.1	47.24	46.67	46.44	46.28	46.16	46.10	46.08	46.06	46.05	46.05	46.04	46.04	46.03	46.03	46.02	46.02
.2	44.46	43.33	42.90	42.64	42.35	42.35	42.24	42.19	42.16	42.15	42.13	42.11	42.10	42.09	42.06	42.06
.3	41.63	40.00	39.37	38.87	38.60	38.44	38.37	38.33	38.31	38.29	38.28	38.27	38.25	38.24	38.22	38.22
.35	40.20	38.33	37.62	37.06	36.75	36.57	36.49	36.45	36.43	36.41	36.40	36.38	36.36	36.34	36.33	36.33
.40	38.74	36.67	35.88	35.26	34.93	34.73	34.65	34.60	34.58	34.58	34.54	34.53	34.50	34.49	34.48	34.47
.45	37.26	35.00	34.16	33.49	33.13	32.92	32.84	32.79	32.76	32.74	32.73	32.71	32.68	32.67	32.66	32.65
.50	35.75	33.33	32.44	31.74	31.37	31.15	31.06	31.01	30.98	30.98	30.95	30.93	30.90	30.89	30.87	30.87
.55	34.20	31.67	30.74	30.01	29.64	29.41	29.32	29.27	29.14	29.22	29.21	29.19	29.16	29.15	29.14	29.13
.60	32.61	30.00	29.05	28.32	27.94	27.72	27.63	27.58	27.55	27.53	27.52	27.50	27.47	27.46	27.45	27.44
.65	30.97	28.33	27.39	26.66	26.28	26.07	25.98	25.93	25.90	25.88	25.87	25.85	25.83	25.82	25.80	25.80
.70	29.27	26.67	25.74	25.03	24.67	24.45	24.38	24.33	24.31	24.29	24.28	24.26	24.24	24.23	24.21	24.21
.75	27.50	25.00	24.11	23.44	23.10	22.90	22.83	22.79	22.76	22.75	22.73	22.72	22.70	22.69	22.68	22.67
.80	25.64	23.33	22.51	21.88	21.57	21.40	21.33	21.29	21.27	21.26	21.25	21.23	21.22	21.21	21.20	21.20
.85	23.67	21.67	20.93	20.37	20.10	19.94	19.89	19.86	19.84	19.82	19.82	19.80	19.79	19.78	19.78	19.77
.90	21.55	20.00	19.38	18.90	18.67	18.54	18.50	18.47	18.46	18.45	18.44	18.43	18.42	18.42	18.41	18.41
.95	19.25	18.33	17.86	17.48	17.29	17.20	17.17	17.15	17.14	17.13	17.13	17.12	17.12	17.11	17.11	17.11
1.00	16.67	16.67	16.36	16.10	15.97	15.91	15.89	15.88	15.88	15.87	15.87	15.87	15.87	15.87	15.87	15.87
1.05	13.66	15.00	14.91	14.77	14.71	14.68	14.67	14.67	14.67	14.67	14.67	14.68	14.68	14.68	14.68	14.68
1.10	9.84	13.33	13.48	13.49	13.50	13.51	13.52	13.52	13.53	13.54	13.54	13.54	13.55	13.55	13.56	13.56
1.15	0.29	11.67	12.10	12.27	12.34	12.39	12.42	12.44	12.45	12.46	12.46	12.47	12.48	12.49	12.49	12.50
1.20	0.00	10.00	10.76	11.19	11.24	11.34	11.38	11.41	11.42	11.43	11.44	11.46	11.47	11.48	11.49	11.49
1.25	0.00	8.33	9.46	9.98	10.21	10.34	10.40	10.43	10.46	10.47	10.48	10.50	10.52	10.53	10.54	10.55
1.30	0.00	6.67	8.21	8.93	9.22	9.40	9.48	9.52	9.55	9.57	9.58	9.60	9.63	9.64	9.65	9.66
1.35	0.00	5.00	7.02	7.92	8.30	8.52	8.61	8.66	8.69	8.72	8.74	8.76	8.79	8.81	8.82	8.83
1.40	0.00	3.33	5.88	6.98	7.44	7.69	7.80	7.86	7.90	7.92	7.94	7.97	8.01	8.02	8.04	8.05
1.45	0.00	1.67	4.81	6.10	6.63	6.92	7.04	7.11	7.15	7.18	7.21	7.24	7.28	7.30	7.31	7.33
1.50	0.00	0.00	3.80	5.28	5.87	6.20	6.34	6.41	6.46	6.50	6.52	6.55	6.60	6.62	6.64	6.65
1.55	0.00	0.00	2.87	4.52	5.18	5.54	5.69	5.77	5.82	5.86	5.88	5.92	5.97	5.99	6.01	6.02
1.60	0.00	0.00	2.03	3.83	4.54	4.92	5.09	5.17	5.23	5.27	5.30	5.33	5.38	5.41	5.43	5.44
1.65	0.00	0.00	1.28	3.19	3.95	4.36	4.53	4.62	4.68	4.72	4.75	4.79	4.85	4.87	4.90	4.91
1.70	0.00	0.00	0.66	2.62	3.41	3.84	4.02	4.12	4.18	4.22	4.25	4.30	4.35	4.38	4.41	4.42
1.75	0.00	0.00	0.19	2.11	2.93	3.37	3.56	3.66	3.72	3.77	3.80	3.84	3.90	3.93	3.95	3.97
1.80	0.00	0.00	0.00	1.65	2.49	2.94	3.13	3.24	3.30	3.35	3.38	3.43	3.48	3.51	3.54	3.55
1.85	0.00	0.00	0.00	1.26	2.09	2.56	2.75	2.85	2.92	2.97	3.00	3.05	3.10	3.13	3.16	3.17
1.90	0.00	0.00	0.00	0.93	1.75	2.21	2.40	2.51	2.57	2.62	2.65	2.70	2.76	2.79	2.82	2.83
1.95	0.00	0.00	0.00	0.65	1.44	1.90	2.09	2.19	2.26	2.31	2.34	2.39	2.45	2.48	2.50	2.52
2.00	0.00	0.00	0.00	0.43	1.17	1.62	1.81	1.91	1.98	2.03	2.06	2.10	2.16	2.19	2.22	2.23
2.05	0.00	0.00	0.00	0.26	0.94	1.37	1.56	1.66	1.73	1.77	1.80	1.85	1.91	1.94	1.96	1.98
2.10	0.00	0.00	0.00	0.14	0.74	1.16	1.34	1.44	1.50	1.54	1.58	1.62	1.68	1.71	1.73	1.75
2.15	0.00	0.00	0.00	0.06	0.58	0.97	1.14	1.24	1.30	1.34	1.37	1.42	1.47	1.50	1.53	1.54

续表

Q <sub>u</sub> 或 Q <sub>L</sub>	样本大小															
	3	4	5	7	10	15	20	25	30	35	40	50	75	100	150	200
2.20	0.000	0.000	0.000	0.015	0.437	0.803	0.968	1.061	1.120	1.161	1.192	1.233	1.287	1.314	1.340	1.352
2.25	0.000	0.000	0.000	0.001	0.324	0.660	0.816	0.905	0.962	1.002	1.031	1.071	1.123	1.148	1.173	1.186
2.30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.233	0.538	0.685	0.769	0.823	0.861	0.888	0.927	0.977	1.001	1.025	1.037
2.35	0.000	0.000	0.000	0.000	0.163	0.435	0.571	0.650	0.701	0.736	0.763	0.799	0.847	0.870	0.893	0.905
2.40	0.000	0.000	0.000	0.000	0.109	0.348	0.473	0.546	0.594	0.628	0.653	0.687	0.732	0.755	0.777	0.787
2.45	0.000	0.000	0.000	0.000	0.069	0.275	0.389	0.457	0.501	0.533	0.556	0.589	0.632	0.653	0.673	0.684
2.50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.041	0.214	0.317	0.380	0.421	0.451	0.473	0.503	0.543	0.563	0.582	0.592
2.55	0.000	0.000	0.000	0.000	0.023	0.165	0.257	0.314	0.352	0.379	0.400	0.428	0.465	0.484	0.502	0.511
2.60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.125	0.207	0.258	0.293	0.318	0.337	0.363	0.398	0.415	0.432	0.441
2.65	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.084	0.165	0.211	0.243	0.265	0.282	0.307	0.339	0.355	0.371	0.379
2.70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.069	0.130	0.171	0.200	0.220	0.236	0.258	0.288	0.302	0.317	0.325
2.75	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.049	0.102	0.138	0.163	0.182	0.196	0.216	0.243	0.257	0.271	0.277
2.80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.035	0.079	0.110	0.133	0.150	0.162	0.181	0.205	0.218	0.230	0.237
2.85	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.024	0.060	0.088	0.108	0.122	0.134	0.150	0.173	0.184	0.195	0.201
2.90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016	0.046	0.069	0.087	0.100	0.110	0.125	0.145	0.155	0.165	0.171
2.95	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.034	0.054	0.069	0.081	0.090	0.103	0.121	0.130	0.140	0.144
3.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.025	0.042	0.055	0.065	0.073	0.084	0.101	0.109	0.118	0.122
3.05	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.018	0.032	0.043	0.052	0.059	0.069	0.083	0.091	0.099	0.103
3.10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.013	0.024	0.034	0.041	0.047	0.056	0.069	0.076	0.083	0.086
3.15	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.009	0.018	0.026	0.033	0.038	0.046	0.057	0.063	0.069	0.072
3.20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.008	0.014	0.020	0.026	0.030	0.037	0.047	0.052	0.057	0.060
3.25	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.010	0.015	0.020	0.024	0.030	0.038	0.043	0.048	0.050
3.30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.007	0.012	0.015	0.019	0.024	0.031	0.035	0.039	0.042
3.35	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.005	0.009	0.012	0.015	0.019	0.025	0.029	0.032	0.034
3.40	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.004	0.007	0.009	0.011	0.015	0.020	0.023	0.027	0.028
3.45	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.003	0.005	0.007	0.009	0.012	0.016	0.019	0.022	0.023
3.50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.003	0.005	0.007	0.009	0.013	0.015	0.018	0.019
3.55	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.003	0.004	0.005	0.007	0.011	0.012	0.015	0.016
3.60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.003	0.004	0.006	0.008	0.010	0.012	0.013
3.65	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.002	0.003	0.004	0.007	0.008	0.010	0.010
3.70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.002	0.003	0.005	0.006	0.008	0.008
3.75	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.002	0.002	0.004	0.005	0.006	0.007
3.80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006
3.85	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.002	0.003	0.004	0.004
3.90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.003	0.003	0.004

表 8.3-11 已知时,正常及加严检验抽样表  
M 法(双侧规范界限及单边规范界限)

代码	AQL(正常检查)																	
	T			10			15			25			40			65		
	n	M	v	n	M	v	n	M	v	n	M	v	n	M	v	n	M	v
B C		↓			↓			↓			↓			↓			↓	
D E F		↓			↓			↓		2	.310	1.414	2	.510	1.414	3	1.28	1.414
		↓			↓		3	.369	1.225	3	.568	1.225	3	.959	1.225	4	1.88	1.155
G	3	.114	1.225	4	.290	1.155	4	.399	1.155	4	.681	1.155	5	1.09	1.118	5	1.76	1.118
H	4	.161	1.155	5	.296	1.118	5	.445	1.118	6	.721	1.095	6	1.14	1.095	7	1.75	0.080
I	6	.230	1.095	6	.321	1.095	6	.478	1.095	7	.756	1.080	8	1.14	1.069	8	1.80	1.069
J	7	.226	1.080	8	.330	1.069	9	.469	1.061	9	.760	1.061	10	1.14	1.054	11	1.73	1.049
K	11	.217	1.049	11	.328	1.049	12	.461	1.045	13	.721	1.041	14	1.08	1.038	16	1.62	1.033
L	15	.211	1.035	16	.308	1.033	17	.438	1.031	19	.673	1.027	21	1.00	1.025	23	1.51	1.023
M	20	.207	1.026	22	.296	1.024	23	.423	1.023	25	.655	1.021	27	.980	1.019	30	1.47	1.017
N	30	.198	1.017	31	.283	1.017	34	.397	1.015	37	.615	1.014	40	.921	1.013	44	1.39	1.012
P	40	.196	1.013	42	.285	1.012	45	.402	1.011	49	.620	1.010	54	.920	1.009	59	1.39	1.009
	.10			.15			.25			.40			.65			1.00		
	AQL(加严检查)																	

代码	AQL(正常检查)																	
	1.00			1.50			2.50			4.00			6.50			10.00		
	n	M	v	n	M	v	n	M	v	n	M	v	n	M	v	n	M	v
B C	2	↓ 2.73	1.414	2	↓ 3.90	1.414	2	↓ 6.11	1.414	2	↓ 9.27	1.414	3	↓ 17.74	1.225	3	↓ 24.22	1.225
D	2	2.23	1.414	2	3.00	1.414	3	7.56	1.225	3	10.79	1.225	3	15.60	1.225	4	22.97	1.155
E	3	2.76	1.225	3	3.85	1.225	4	6.99	1.155	4	9.97	1.155	5	15.21	1.118	5	20.80	1.118
F	4	2.58	1.155	4	3.87	1.155	5	6.05	1.118	5	8.92	1.118	6	13.89	1.095	7	19.45	1.080
G	5	2.57	1.095	6	3.77	1.095	7	5.83	1.080	8	8.62	1.069	9	12.88	1.061	11	17.88	1.049
H	7	2.62	1.080	8	3.68	1.069	9	5.68	1.061	10	8.43	1.054	12	12.35	1.045	14	17.36	1.038
I	9	2.59	1.061	10	3.63	1.054	11	5.60	1.049	13	8.13	1.041	15	12.04	1.035	17	17.05	1.031
J	12	2.49	1.045	14	3.43	1.038	16	5.34	1.035	18	7.72	1.029	20	11.57	1.026	24	16.23	1.022
K	17	2.35	1.031	19	3.28	1.027	22	4.98	1.024	25	7.34	1.021	29	10.93	1.018	33	15.61	1.016
L	25	2.19	1.021	28	3.05	1.018	32	4.68	1.016	36	6.95	1.014	42	10.40	1.012	49	14.87	1.010
M	33	2.12	1.016	36	2.99	1.014	42	4.55	1.012	48	6.75	1.011	55	10.17	1.009	64	14.58	1.008
N	49	2.00	1.010	54	2.87	1.009	61	4.35	1.008	70	6.48	1.007	82	9.76	1.005	95	14.09	1.005
P	65	2.00	1.008	71	2.82	1.007	81	4.34	1.006	93	6.46	1.005	109	9.73	1.005	127	14.02	1.004
	1.50			2.50			4.00			6.50			10.00					
允收品质水准(加严检查)																		

表 8.3-12  $\sigma$  已知时,放宽检验抽样表  
M 法(双侧规范界限及单边规范界限)

代码	AQL														
	.10			.15			.25			.40			.65		
	n	M	v	n	M	v	n	M	v	n	M	v	n	M	v
B		↓			↓			↓			↓			↓	
C		↓			↓			↓			↓			↓	
D		↓			↓			↓			↓			↓	
E		↓			↓			↓			↓			↓	
F		↓			↓			↓			↓		2	2.73	1.414
G		↓			↓			↓		2	1.28	1.414	2	2.23	1.414
H		↓		2	.310	1.414	2	.510	1.414	3	1.94	1.225	3	2.76	1.225
I	3	.369	1.225	3	.568	1.225	3	.959	1.225	4	1.88	1.155	4	2.58	1.155
J	4	.399	1.155	4	.681	1.155	5	1.09	1.118	5	1.76	1.118	6	2.57	1.095
K	5	.445	1.118	6	.721	1.095	6	1.14	1.095	7	1.75	1.080	6	2.62	1.080
L	6	.478	1.095	7	.756	1.080	8	1.14	1.069	8	1.80	1.069	9	2.59	1.061
M	7	.507	1.080	8	.791	1.069	9	1.18	1.061	10	1.79	1.054	11	2.57	1.049
N	12	.461	1.045	13	.721	1.041	14	1.08	1.038	16	1.62	1.033	17	2.35	1.031
P	17	.438	1.031	19	.673	1.027	21	1.00	1.025	23	1.51	1.023	25	2.19	1.021

代码	AQL																	
	1.00			1.50			2.50			4.0			6.5			10.00		
	n	M	v	n	M	v	n	M	v	n	M	v	n	M	v	n	M	v
B		↓			↓			↓			↓			↓			↓	
C		↓			↓			↓			↓			↓			↓	
D		↓			↓			↓			↓			↓			↓	
E		↓			↓			↓			↓			↓			↓	
F	2	3.90	1.414	2	6.11	1.414	2	9.27	1.414	3	17.74	1.225	3	24.22	1.225	4	33.67	1.225
G	2	3.00	1.414	3	7.56	1.225	3	10.79	1.225	3	15.60	1.225	4	22.97	1.155	4	31.01	1.155
H	3	3.85	1.225	4	6.99	1.155	4	9.97	1.155	5	15.21	1.118	5	20.80	1.118	6	28.44	1.095
I	4	3.87	1.155	5	6.05	1.118	5	8.92	1.118	6	13.89	1.095	7	19.46	1.080	8	26.61	1.069
J	6	3.77	1.095	7	5.83	1.080	8	8.62	1.069	9	12.88	1.061	11	17.88	1.049	12	24.82	1.045
K	8	3.68	1.069	9	5.68	1.061	10	8.43	1.054	12	12.35	1.045	14	17.36	1.038	16	23.96	1.033
L	10	3.63	1.054	11	5.60	1.049	13	8.13	1.041	15	12.04	1.035	17	17.05	1.031	20	23.43	1.026
M	12	3.61	1.045	13	5.58	1.041	15	8.13	1.035	18	11.88	1.029	21	16.71	1.025	24	23.13	1.022
N	19	3.28	1.027	22	4.98	1.024	25	7.34	1.021	29	10.93	1.018	33	15.61	1.016	38	21.77	1.013
P	28	3.05	1.018	32	4.68	1.016	36	6.95	1.014	42	10.40	1.012	49	14.87	1.010	56	20.90	1.009

所有 AQL 值均为不合格百分率。

应使用箭头下第一个抽样方案,即样本量是 M 值两者,当样本量等于或超过批量时,必须检查批中之每一件产品。

表 8.3-13  $\sigma$  未知时,正常及加严检验抽样表  
M 法(双侧规范界限及单边规范界限)

代 码	样本量	AQL(正常检查)											
		T	.10	.15	.25	.40	.65	1.00	1.50	2.50	4.00	6.50	10.00
		M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
B	3	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	7.59	18.86	26.94	33.69
C	4	↓	↓	↓	↓	↓	↓	1.53	5.50	10.92	16.45	22.86	29.45
D	5	↓	↓	↓	↓	↓	1.33	3.32	5.83	9.80	14.39	20.19	26.56
E	7	↓	↓	↓	0.422	1.06	2.14	3.55	5.36	8.40	12.20	17.35	23.29
F	10	↓	↓	0.349	0.716	1.30	2.17	3.26	4.77	7.29	10.54	15.17	20.74
G	15	0.186	0.312	0.503	0.818	1.31	2.11	3.05	4.31	6.56	9.46	13.71	18.94
H	20	0.228	0.365	0.544	0.846	1.29	2.05	2.95	4.09	6.17	8.92	12.99	18.03
I	25	0.250	0.380	0.551	0.877	1.29	2.00	2.86	3.97	5.97	8.63	12.57	17.51
J	35	0.264	0.388	0.535	0.847	1.23	1.87	2.68	3.70	5.57	8.10	11.87	16.63
K	50	0.250	0.363	0.503	0.789	1.17	1.71	2.49	3.45	5.20	7.61	11.23	15.87
L	75	0.228	0.330	0.467	0.720	1.07	1.60	2.29	3.20	4.87	7.15	10.63	15.13
M	100	0.220	0.317	0.447	0.689	1.02	1.53	2.20	3.07	4.69	6.91	10.32	14.75
N	150	0.203	0.293	0.413	0.638	0.949	1.43	2.05	2.89	4.43	6.57	9.88	14.20
P	200	0.204	0.294	0.414	0.637	0.945	1.42	2.04	2.87	4.40	6.53	9.81	14.12
		.10	.15	.25	.40	.65	1.00	1.50	2.50	4.00	6.50	10.00	
AQL(加严检查)													

↓ 所有 AQL 值均为不合格百分率。T 表示此计划专用于加严检查,并藉此符号以识别合适之 OC 曲线。  
 ↓ 应使用箭头下第一个抽样方案,即样本量是 M 值两者。当样本等于或超过批量时,必须检查批中之每一件产品。

代 码	样本量	AQL(正常检查)											
		.10	.15	.25	.40	.65	1.00	1.50	2.50	4.00	6.50	10.00	
		M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	
B	3	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	7.59	18.86	26.94	33.69	40.47
C	3	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	7.59	18.86	26.94	33.69	40.47
D	3	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	7.59	18.86	26.94	33.69	40.47
E	3	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	7.59	18.86	26.94	33.69	40.47
F	4	↓	↓	↓	↓	1.53	5.50	10.92	16.45	22.86	29.45	36.90	
G	5	↓	↓	↓	1.33	3.32	5.83	9.80	14.39	20.19	26.56	33.99	
H	7	↓	0.422	1.06	2.14	3.55	5.35	8.40	12.20	17.35	23.29	30.50	
I	10	0.349	0.716	1.30	2.17	3.26	4.77	7.29	10.54	15.17	20.74	27.57	
J	15	0.503	0.818	1.31	2.11	3.05	4.31	6.56	9.46	13.71	18.94	25.61	
K	20	0.544	0.846	1.29	2.05	2.95	4.09	6.17	8.92	12.99	18.03	24.53	
L	25	0.551	0.877	1.29	2.00	2.86	3.97	5.97	8.63	12.57	17.51	23.97	
M	30	0.581	0.879	1.29	1.98	2.83	3.91	5.86	8.47	12.36	17.24	23.58	
N	50	0.503	0.789	1.17	1.71	2.49	3.45	5.20	7.61	11.23	15.87	22.00	
P	75	0.467	0.720	1.07	1.60	2.29	3.20	4.87	7.15	10.63	15.13	21.11	



表 8.3-15 ANSI/ASQC Z-1, 9-1980 用不合格率表示之百分点

接收 Z1.9-1980		AQL (‰)									
概率	代 码	.10	.15	.25	.40	.65	1.00	1.50	2.50	4.00	10.00
95.0	B								1.04	1.89	6.02
50.0									16.68	20.30	30.97
10.0									49.34	52.83	62.08
95.0	C					.44	.69	1.32	2.29	4.13	6.85
50.0						9.52	11.28	14.44	17.93	22.89	28.61
10.0						34.88	37.26	41.15	45.05	50.13	55.55
95.0	D					.28	.45	.77	1.38	2.43	4.30
50.0						6.34	7.82	9.71	12.47	15.97	20.75
10.0						25.94	28.40	31.24	34.98	39.26	44.55
95.0	E			.11	.18	.32	.53	.83	1.50	2.65	4.57
50.0				2.89	3.72	4.83	6.18	7.69	10.28	13.66	18.11
10.0				14.42	16.33	18.60	21.09	23.58	27.43	31.93	37.28
95.0	F		.07	.12	.21	.36	.57	.94	1.65	2.83	4.84
50.0			1.53	2.08	2.79	3.77	4.82	6.33	8.62	11.69	15.91
10.0			7.95	9.44	11.15	13.23	15.23	17.84	21.40	25.66	30.99
95.0	G	.06	.09	.15	.25	.45	.68	1.09	1.91	3.09	5.30
50.0		.90	1.17	1.57	2.20	3.09	3.99	5.32	7.51	10.15	14.27
10.0		4.31	5.07	6.13	7.58	9.41	11.12	13.38	16.77	20.48	25.76
95.0	H	.07	.11	.17	.29	.49	.79	1.21	2.07	3.39	5.69
50.0		.76	1.01	1.38	1.90	2.69	3.66	4.81	6.85	9.51	13.31
10.0		3.16	3.85	4.73	5.88	7.46	9.23	11.14	14.25	17.94	23.01
95.0	I	.08	.12	.20	.32	.56	.85	1.28	2.23	3.61	5.98
50.0		.68	.89	1.28	1.73	2.53	3.39	4.47	6.54	9.12	13.00
10.0		2.55	3.08	3.99	4.93	6.46	7.97	9.73	12.81	16.34	21.24
95.0	J	.09	.13	.23	.36	.60	.94	1.40	2.38	3.80	6.21
50.0		.59	.76	1.10	1.54	2.21	3.05	4.05	5.98	8.41	12.10
10.0		1.90	2.29	3.02	3.87	5.10	6.50	8.07	10.85	14.11	18.71
95.0	K	.10	.15	.26	.40	.64	1.02	1.49	2.51	4.04	6.52
50.0		.19	.65	.98	1.37	1.94	2.76	3.68	5.48	7.90	11.45
10.0		1.36	1.70	2.35	3.07	4.03	5.33	6.72	9.23	12.39	16.72
95.0	L	.11	.17	.27	.43	.70	1.06	1.58	2.62	4.18	6.81
50.0		.40	.56	.82	1.19	1.74	2.43	3.34	5.02	7.29	10.84
10.0		.97	1.27	1.74	2.37	3.24	4.28	5.58	7.82	10.70	14.94
95.0	M	.12	.18	.29	.47	.74	1.12	1.66	2.73	4.31	6.97
50.0		.37	.51	.77	1.12	1.64	2.31	3.18	4.80	7.00	10.45
10.0		.80	1.05	1.50	2.06	2.86	3.81	5.01	7.11	9.84	13.89
95.0	N	.13	.19	.31	.48	.77	1.18	1.73	2.82	4.41	7.07
50.0		.32	.46	.69	1.00	1.48	2.14	2.96	4.49	6.59	9.90
10.0		.62	.85	1.21	1.68	2.36	3.26	4.34	6.26	8.78	12.58
95.0	P	.143	.210	.344	.534	.84	1.25	1.86	3.00	4.66	7.40
50.0		.321	.445	.683	1.000	1.48	2.08	2.96	4.48	6.58	9.88
10.0		.571	.763	1.116	1.567	2.22	3.02	4.12	5.98	8.45	12.19

[例 8.3-5] 沿用例 8.2-15 已知条件,设要求:

$$p_0 = 2\%, p_1 = 8\%; \alpha = 5\%; \beta = 10\%。$$

[解]: 在表 8.3-15 中,查  $L(p_0) = 95(\%)$  (即  $\alpha = 5\%$ ) 的行中,  $p$  接近于  $p_0 = 2\%$  的列;且此列中,  $L(p_1) = 10\%$  (即  $\beta = 10\%$ ) 的行中,  $p$  值又接近于  $p_1 = 8\%$ 。

查得为代码  $L$ ,  $AQL = 2.5\%$ ; 相应的  $p_0 = 2.62, p_1 = 7.82$ 。

按表 8.3-1,  $AQL$  值在  $[1.65 \sim 2.79]$  的代表值为 2.5, 故  $p_0 = 2\%$  用标称值 2.5% 代表是合理的。由代码  $L$  及  $AQL$  值, 查具体抽样方案。

查表 8.3-3, 如  $\sigma$  已知  $K$  法的  $n = 32, k = 1.65$ ;

查表 8.3-5, 如  $\sigma$  未知  $K$  法的  $n = 75, k = 1.65$ ;

查表 8.3-11, 如  $\sigma$  已知  $M$  法,  $n = 32, M = 4.68, V = 1.0165$ ;

查表 8.3-13, 如  $\sigma$  未知  $M$  法,  $n = 75, M = 4.87$ 。

如给定的  $\alpha \neq 5\%、\beta \neq 10\%$ , 则需从诸  $OC$  曲线去检索抽样方案, 可查 414 的  $OC$  曲线表。

## 8.4 本章小结

抽样方案取决于生产方及使用方协商确定的极限质量  $LQ$  及使用方风险  $\beta$ 、可接收质量水平  $AQL$  及生产方风险  $\alpha$ 。在给定  $LQ、AQL、\beta、\alpha$  后, 抽样方案可通过查标准型抽样表得到。但  $LQ、AQL、\alpha、\beta$  必须是标准中规定的优先系列值及指定值。

当生产方的产品是在严格的质量体系管理下进行的, 其一致性及稳定性在得到保证的情况下, 其过程平均是已知的。此时如过程平均满足使用方的质量要求, 则使用方可以以此过程平均值为基础选定  $AQL$  值, 不再提出  $LQ$  值。这就是连续批抽样的前提。

对于单批抽样而言, 计数型有 JISZ9002, 计量型有 JISZ9003、9004。对于连续批抽样而言, 计数型有 MIL—STD—105E (国标 GB2828 依据的是 MIL—STD—105D)。计量型有 MIL—STD—414 的修订版 ANSI/ASQC Z1.9 (国标 GB6378 主要依据的是 MIL—STD—414 的原版的一半), 寿命型抽样有 GJB899 即 MIL—STD—781D。限于篇幅, 其他用得较少的标准未予介绍。

由于计量型抽样一般用的样本量较少, 所以在有条件时, 宜争取用计量型抽样 (寿命抽样也是一种计量型抽样)。

MIL—STD—105E 及 MIL—STD—414 修订版也可用于单批抽样, 只是需要查阅方案相应的  $LQ$  及  $\beta$  是否满足使用方要求。

## 8.5 本章参考文献

[8-1] JIS—Z—9031:《テゾム抜取法》。

- [8-2] GB10111:《利用随机数子进行随机抽样的方法》。
- [8-3] GB6583.1:《质量管理和质量保证术语——第一部分》。
- [8-4] GB3358:《统计学名词及符号》。
- [8-5] JISZ9001:《拔取检查通则》。
- [8-6] JISZ9002:《计数规准型一回拔取检查》。
- [8-7] JISZ9003:《计量规准型一回拔取检查》。
- [8-8] JISZ9004:《计量规准型一回拔取检查》。
- [8-9] MIL—STD—105E:《计数抽样程序及表》。
- [8-10] MIL—STD—414 修订版, ANSI/ASQC Z1.9:《计量值检验抽样程序及表》。
- [8-11] GJB899:《可靠性鉴定和验收试验(即 MIL—STD—781D)》。

## 本章思考题

- [8-1] 为什么百分比抽样方案是不合理的?
- [8-2] 简述 AQL 的含义以及影响 AQL 的因素。

## 思考题题解

- [8-1] 百分比抽样方案就是按固定的比例,从总体中抽取一定量的单位产品构成样本,并规定合判定格数为零的抽样方案。百分比抽样方案在批质量水平完全相同时,由于批量  $N$  不同,抽样方案的严格程度也不同,批量越大,样本量也越大,方案越严格。因此,百分比抽样方案的严重缺陷就是在批质量相同时“大批严,小批宽”。
- [8-2] AQL 是可接受的质量水平上限值,是 GB 2828 的唯一的指标,是使用方对生产方过程平均提出的质量要求。  
确定 AQL,主要考虑下列因素:产品的技术要求,产品特性的重要程度和不合格分类,产品的价格和复杂程度,以及对后续工序和成品的影响程度。

## 第九章 统计过程控制与诊断(SPC 与 SPD)

### 9.1 SPC 与 SPD 工程概论

#### 9.1.1 什么是 SPC 与 SPD 工程?

1. 要搞好质量管理首先应该明确下列两点:

(1) 贯彻预防原则是现代质量管理的核心与精髓。

(2) 质量管理学科有一个十分重要的特点,即对于质量管理所提出的原则、方针、目标都要有科学措施与科学方法来保证它们的实现。这体现了质量管理学科的科学性。

上述第(1)点在 ISO 9000 中已有充分的反映。但上述第(2)点鲜为人知,这是目前质量管理中形式主义泛滥的思想根源之一。

2. 为了保证预防原则的实现,20 世纪 20 年代美国休哈特(W. A. Shewhart)首创过程控制(process control)理论以及监控过程的工具——控制图(control chart),现今统称之为 SPC(Statistical Process Control,统计过程控制)。SPC 就是为了贯彻预防原则,利用统计技术对过程中的各个阶段进行监控,从而达到保证产品质量的目的。这里的统计技术泛指任何可以应用的数理统计方法,又以控制图理论为主。

3. SPC 可以判断过程的异常,及时告警,贡献良多。但 SPC 也有其历史局限性,它不能告知此异常是什么因素引起的,发生于何处,即不能进行诊断。而现场则迫切需要解决诊断问题,否则即使要想纠正异常也无从下手。1980 年张公绪教授提出选控控制图系列(Cause - Selecting Control Charts Series),选控图是统计诊断理论的重要工具,奠定了统计诊断理论的基础。1982 年张公绪教授又提出两种质量诊断理论(Diagnostic Theory with Two Kinds of Quality),不但具有 SPC 及时告警的控制功能,而且具有 SPC 所没有的诊断功能,突破了休哈特的 SPC 理论,从此 SPC 上升为 SPD(Statistical Process Diagnosis,统计过程诊断)。

4. SPD 就是利用统计技术对过程中的各个阶段进行监控与诊断,从而达到缩短诊断异常的时间、以便迅速采取纠正措施、减少损失、降低成本、保证产品质量的目的。SPD 是 SPC 的进一步发展。

5. SPC 与 SPD 是质量科学的重要内容。尤其是在我国加入 WTO 后,国际市场的竞争将愈益激烈。推行工业发达国家普遍采用的 SPC 与 SPD 势在必行。根据 21 世纪的超严格质量要求,对于产品质量提出愈益精确的要求,因此,从 20 世纪 90 年代起,SPC 与 SPD 也向多元化的方向发展,出现了 MSPC(Multivariate Statistical Process Control,多元统计过程控制)与 MSPD(Multivariate Statistical Process Diagnosis,多元统计过程诊断)。

6. 质量科学的发展。SPC 发展为 SPD,SPD 又进一步发展为 SPA(Statistical Process

Adjustment,统计过程调整)。这是质量科学发展的三个阶段,参见图 9.1-1。以医生给病人看病作为譬喻,医生给病人看病时要告诉病人,到底是有病还是无病,若有病,SPC 并不能告诉病人是什么病。SPD 不但能够告诉病人到底有病还是无病,还能诊断出是什么病。SPA 则是给病人看病,不但能够告诉病人有病还是无病,是什么病,而且还能针对病情加以治疗,在工业上即称之为调整(Adjustment)。故由 SPC 发展到 SPD,再由 SPD 发展到 SPA,就形成了一个闭环。周而复始,循环不已,不断质量改进。这是科学发展的必然。SPC 自 1930 年开始,现在已经普及,工业发达国家无一不推行 SPC。SPD 从 1980 年开始,首先在中国大陆开始普及,SPA 从 1990 年开始,目前尚无实用性成果,正在发展之中。

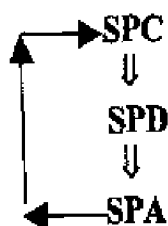


图 9.1-1 SPC、SPD、SPA 三者间的关系

7. SPC 与 SPD 工程是建立在 SPC 与 SPD 科学基础上的一门工程科学。SPC 与 SPD 工程强调 SPC 与 SPD 原理在生产实践中的应用,强调经济与质量成本,不能单纯只从数学出发。这一点是与休哈特本人的学术观点一致的。参见孙静、张公绪,《常规控制图及其应用》第八章休哈特控制图的国际标准,中国标准出版社,2000 年。

8. SPC 与 SPD 工程的特点是:

- (1) 与 TQM 相同,强调全员参加;
- (2) 强调应用统计方法来保证预防原则的实现;
- (3) SPC 与 SPD 工程不是用来解决个别工序采用什么控制图的问题,而是强调从整个过程、整个体系出发来解决问题。SPC 与 SPD 的重点就在于“P(Process, 过程或体系)”。

### 9.1.2 为什么要学习 SPC 与 SPD 工程?

我们从时代的要求、科学的要求、认证的要求、外贸的要求,推行六西格玛的要求以及借鉴美国和日本的经验教训等几个方面来进行分析:

#### 1. 时代的要求

1994 年美国质量管理专家朱兰(J. M. Juran)在美国质量管理学会年会上指出:20 世纪以“生产力的世纪”载入史册,未来的 21 世纪是“质量的世纪”。

朱兰作出上述论断有其下列科学背景:

(1) 近年来,由于科学技术的迅猛发展,产品的不合格品率迅速降低,如电子产品的不合格品率由过去的百分之一、千分之一降低到百万分之一(ppm, parts per million,  $10^{-6}$ ),乃至十亿分之一(ppb, parts per billion,  $10^{-9}$ )。

(2) 生产控制方式由过去的  $3\sigma$  控制方式演进为  $6\sigma$  控制方式。 $3\sigma$  控制方式下

均值无偏移不合格品率为  $2.7 \times 10^{-3}$ ,  $6\sigma$  控制方式下均值无偏移不合格品率为  $2.0 \times 10^{-9}$ , 参见图 9.1-2 和表 9.1-1 中第 3 行, 故后者比前者降低了一百三十五万倍! 而  $3\sigma$  控制方式下均值偏移  $1.5\sigma$  的不合格品率为 66807ppm,  $6\sigma$  控制方式下均值偏移  $1.5\sigma$  的不合格品率为 3.4ppm, 参见表 9.1-1 中第 6 行, 这里, 根据当前的科技水平, 由种种因素所确定的均值偏移为  $1.5\sigma$ , 故后者比前者降低了 20000 倍。可称之为超严格质量要求(Super Strict Quality Requirements)! 各种产品都有其相应的超严格质量要求。例如, 冰箱与空调的主要部件压缩机, 其不合格品率的国际水平为 200ppm, 国际最高记录据说为世界第一大压缩机厂巴西 EMBRACO 公司所保持的 34ppm。

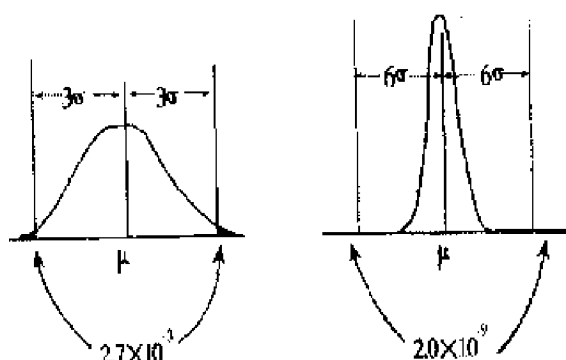


图 9.1-2  $3\sigma$  控制方式与  $6\sigma$  控制方式的比较

表 9.1-1  $1\sigma$  控制方式的不合格率与均值偏移  $1.5\sigma$  情形的不合格率

$1\sigma$ 控制方式	均值无偏移情形的不合格率	均值偏移 $1.5\sigma$ 情形的不合格率 (单位为 ppm)
1. $1\sigma$ 控制方式	$31.7 \times 10^{-2}$	697670
2. $2\sigma$ 控制方式	$4.55 \times 10^{-2}$	308770
3. $3\sigma$ 控制方式	$2.70 \times 10^{-3}$	66807
4. $4\sigma$ 控制方式	$63.3 \times 10^{-6} = 63.3\text{ppm}$	6210
5. $5\sigma$ 控制方式	$0.573 \times 10^{-6} = 0.573\text{ppm}$	233
6. $6\sigma$ 控制方式	$0.002 \times 10^{-6} = 2\text{ppb}$	3.4
7. $7\sigma$ 控制方式	$0.01125596 \approx 0.003\text{ppb}$	0.019
8. 六西格玛与三西格玛的比较	无偏移条件下, 六西格玛不合格率比三西格玛小 135 万倍: $\frac{2.7 \times 10^{-3}}{2 \times 10^{-6}} = 1.35 \times 10^6$	偏移 $1.5\sigma$ 条件下, 六西格玛不合格率比三西格玛小两万倍: $\frac{66807}{3.4} = 19649.12 \approx 20000$

## 2. 科学的要求

要想在市场上立于不败之地, 就要满足超严格质量要求, 生产出世界级质量的

产品,这就需要采用先进的技术科学与先进的管理科学。一般说来,先进的技术科学可以改进产品质量指标的绝对值,而先进的管理科学则可以在现有条件下将其波动调整到最小。这就好比一辆摩托车的两个轮子,二者缺一不可。推行 SPC 与 SPD 就是贯彻先进的科学管理。

### 3. 六西格玛管理的要求

现今世界顶级企业流行的新动向—六西格玛管理,其实,就是 SPC 与 SPD 工程的全面深化,由制造过程推广到所有过程,故贯彻 SPC 与 SPD 工程是推行六西格玛的基础。

### 4. 认证的要求

据中国质量体系认证机构国家认可委员会发布,截止 2001 年 7 月 31 日,累计有 31619 家企业持有标明国家认可标志的体系认证证书(有效证书),成绩卓著,但重大缺点之一即未按照质量管理学科的特点办事。例如,对于质量体系的建立,很多企业未采取统计方法来保证其实现,或者仅仅采用因果图与排列图就算是已经采用了统计方法,应付了事。因此,需要大力提倡应用 SPC 与 SPD 工程等统计方法。

### 5. 外贸的要求

西方工业发达国家来华加工定货,一般都要求加工企业在生产线推行 SPC,如未推行就认为该企业的产品质量没有保证,拒绝对定货。现在,此风愈演愈盛,甚至一些发展中国家,如马来西亚、泰国等也提出上述要求。我国加入世贸组织(WTO)后,可以预计在国际市场中的竞争将更加激烈,从而各个企业对质量科学的需求将会更加迫切。

### 6. 推行 SPC 与 SPD 势在必行

(1) 20 世纪 20 年代休哈特创建 SPC 理论,但当时恰逢美国处于经济萧条时期,休哈特的理论无人问津,直到第二次世界大战由于美国急需提高军火质量,方有机会受到重视,并大显身手,战后遂风行全世界。

(2) 美国由于机缘凑巧,在二战中战火未直接烧到美国本土,故二战结束后,一时在国际市场中独占鳌头,无竞争对手。这对美国固然是好事,但同时也是坏事。由于美国在国际市场中无竞争压力,一些好的科学方法,如 SPC 等逐渐从美国消失。

(3) 日本则不然,二战结束时日本的工业遭受到战争的严重破坏,民不聊生,加之资源缺乏,故只能以来料加工谋生,这就必须强调加工的质量。为此,在 1950 年与 1952 年日本两度邀请美国统计学家戴明(W. Edwards Deming)前往日本传授 SPC。以后为了说服日本经理层支持 SPC,又在 1954 年邀请美国朱兰前往日本讲授质量管理。从 1950 年到 1980 年这 30 年中,日本卧薪尝胆,发奋图强,终于在 1980 年一跃而居世界质量与劳动生产率的领导地位。同时,在 1980 年日、美间的贸易也发生了戏剧性的变化,日本由入超转变为出超,反之,美国则由出超转变为入超,引起西方世界,尤其是美国的震惊。当时在民品方面日美间的产品质量已经有明显的差距,以汽车零件而论,美国汽车零件的不合格品率为 1%~4%,而日本仅为

0.001%,比美国要低 1000 到 4000 倍。故美国汽车装配线上的零件储备需要投资 10 亿美元,而日本则寥寥无几。因此,日本汽车能够打入美国的市场绝非偶然。一时美国专家纷纷调查日本所以能够翻身的原因,美国著名质量管理专家伊阿华州立大学(Iowa State University)教授伯格(R. W. Berger)指出,日本能够翻身的原因很多,但其中一个重要原因就是日本认真学习了 SPC,并且身体力行,加以发扬光大。故从 1980 年起,美国与西方国家发起一场 SPC 的复兴运动。一直到 1994 ~ 1995 年,经过了十五、六年的努力,在民品方面,美国才基本上弥补了与日本产品质量间的差距。这就是美国与日本的经验教训,值得我们深思与借鉴。

### 9.1.3 SPC 与 SPD工程的进行步骤

SPC 与 SPD工程的进行步骤如下:

步骤 1:培训 SPC 与 SPD工程。可考虑培训下列内容:

- (1) 正态分布等统计基础知识。
- (2) 质量管理七个工具:因果图、排列图、直方图、散布图、控制图、分层法、调查表。
- (3) SPC 与 SPD工程。
- (4) 过程控制网图的作法。
- (5) 过程控制标准的作法。

步骤 2:确定关键质量因素(关键变量)。具体作法是:

(1) 对全厂每道工序,用因果图进行分析,找出所有关键质量因素;然后再用排列图找出对最终产品影响最大的因素,即关键质量因素。如美国 LTV 钢铁厂共确定了 20000 个关键质量因素。20000 个这个数字不但可以供我们参考,而且更重要的是本例说明:一个企业如果想认真推行 SPC 与 SPD,就必须痛下决心,真正地按照科学原理来做。

(2) 找出关键质量因素后,列出过程控制网图。后者即在图中按工艺流程顺序将每道工序的关键质量因素列出。

步骤 3:制定过程控制标准。

- (1) 对步骤 2 得到的每一个关键质量因素进行具体分析。
- (2) 对每一个关键质量因素建立过程控制标准表,如表 9.1-2。

本步骤最困难,最费时间。例如,制定一个部门或车间的所有关键质量因素的过程控制标准,大约需要两个多人年。

步骤 4:编制过程控制标准手册,在各部门落实。将在生产线具有立法性质的有关过程控制标准的文件编制成明确易懂、便于操作的手册供各道工序使用。如美国 LTV 钢铁厂共编制了这类手册 600 本。



表 9.1-2 过程控制标准表

所在车间		控制点		控制因素		文件号		制订日期	
控制内容									
过程标准									
控制理由									
测量规定									
数据报告途径									
控制图	有无建立 控制图		控制图 类型		制定者 制定日期		批准者 批准日期		
纠正性措施									
操作程序									
审核程序									
制定者			审批者			审批日期			

步骤 5: 对过程进行统计监控与诊断。主要应用控制图对过程进行监控与诊断。若在实践中发现问题, 则须将上述过程控制标准手册加以修订, 即反馈到步骤 4。

步骤 6: 对过程进行诊断并采取措施解决问题, 可以考虑以下几点:

- (1) 可以运用传统的质量管理七个工具进行分析。
- (2) 特别是需要注意应用统计诊断理论, 如两种质量诊断理论、两种质量多元诊断理论及其软件 SPCD 2000 和 DTTQ 2000, 进行现场电脑实时分析与诊断。
- (3) 在诊断后的纠正过程中有可能引出新的关键质量因素, 即反馈到步骤 2、3、4。

上述步骤是参考美国 LTV 钢铁厂推行 SPC 的经验结合我国的 SPD 的发展情况写出的。

推行 SPC 的效果是显著的。如美国 LTV 钢铁厂 1985 年实施了 SPC 后, 劳动生产率提高了 20% 以上。

#### 9.1.4 本节参考文献

- [9.1-1] 张公绪主编、孙静副主编,《现代质量管理学》,中国财政经济出版社,1999 年,定价 25 元/本。本书出版后,读者好评如潮,认为本书取材新颖,内容精练,是一本不可多得的好书。读者如欲购买本书可与下列单位联系:北京市 100036 海淀区阜成路甲 28 号新知大厦 9 层 904 房间中国财政经济出版社伍景华女士联系,电话:010-88190904。
- [9.1-2] 张公绪、孙静:《现代质量控制与诊断工程》,经济科学出版社,1999 年,定价 11.5 元。读者如欲购买本书,请与下列单位联系:北京市 100036 海淀区阜成路甲 28 号新知大厦 12 层经济科学出版社发行部杨秀华女士,电话:010-88191515。

#### 本节思考题

- [9.1-1] 什么是 SPC 与 SPD 工程?
- [9.1-2] 为什么要学习 SPC 与 SPD 工程?
- [9.1-3] SPC 与 SPD 工程有哪些特点?

## 思考题题解

- [9.1-1] SPC与SPD工程是建立在SPC与SPD科学基础上的一门工程科学。SPC与SPD工程强调SPC与SPD原理在生产实践中的应用,强调经济与质量成本,不能单纯只从数学出发,这点与休哈特本人的学术观点是一致的。
- [9.1-2] 学习SPC与SPD工程的必要性可从下列各点看出:
- (1) 时代的要求:21世纪是质量的世纪,提出超严格质量要求。要想满足超严格质量要求,制造出世界级产品,就需要学习SPC与SPD工程。
  - (2) 科学的要求:先进的技术科学与先进的管理科学好比一辆摩托车的两个轮子,二者缺一不可。推行质量科学就是贯彻先进的科学管理。
  - (3) 推行六西格玛的要求:六西格玛是SPC与SPD工程的全面深化,故推行SPC与SPD工程是推行六西格玛的基础。
  - (4) 认证的要求:我国认证工作的重大缺点之一即未按照质量管理学科的特点办事,例如,对于质量体系的建立,很多企业未采取统计方法和其他科学方法来保证其实现,这里需要大力提倡采用SPC与SPD工程。
  - (5) 外贸的要求:西方工业发达国家来华加工定货,一般都要求加工企业在生产线推行SPC,如未推行就认为该企业的产品质量没有保证,拒绝对定货。
  - (6) 从1980年日美之间贸易逆转的经验教训可知,学习SPC与SPD是十分重要的。
- [9.1-3] SPC与SPD工程的特点是:
- (1) 与TQM相同,强调全员参加;
  - (2) 强调应用统计方法来保证预防原则的实现;
  - (3) SPC与SPD工程不是用来解决个别工序采用什么控制图的问题,SPC与SPD工程强调从整个过程、整个体系出发来解决问题。SPC与SPD的重点就在于“P(Process,过程或体系)”。

## 9.2 控制图原理

### 9.2.1 什么是控制图?

控制图(control chart)是对过程质量特性值进行测定、记录、评估,从而监察过程是否处于控制状态的一种用统计方法设计的图。图上有中心线(CL, Central Line)、上控制限(UCL, Upper Control Limit)和下控制限(LCL, Lower Control Limit),并有按时间顺序抽取的样本统计量数值的描点序列,参见图9.2-1。UCL、CL与LCL统称为控制线(control lines)。若控制图中的描点落在UCL与LCL之外或描点在UCL与LCL之间的排列不随机,则表明过程异常。世界上第一张控制图是美国休哈特(W. A. Shewhart)在1924年5月16日提出的不合格品率p控制图。

控制图有一个很大的优点,即通过将图中的点子与相应的控制界限相比较,可

以具体看见产品或服务质量的变化。

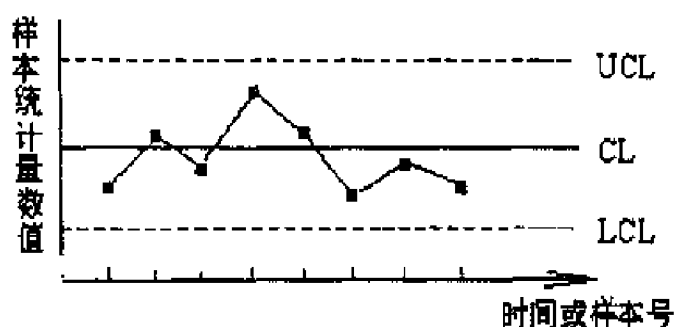


图 9.2-1 控制图示例

### 9.2.2 控制图的重要性

控制图的重要性体现在下列各点:

1. 是贯彻预防原则的 SPC 与 SPD 的重要工具;控制图可用以直接控制与诊断过程,故为质量管理七个工具的核心。

2. 1984 年日本名古屋工业大学函调了 200 家日本各行各业的中小型工厂(但应答的只有 115 家),结果发现平均每家工厂采用 137 张控制图。这个数字对于推行 SPC 与 SPD 工程有一定的参考意义。

3. 当然,有些大型企业应用控制图的张数是很多,例如,美国柯达彩色胶卷公司(Eastman Kodak)有 5000 职工,一共应用了 35000 张控制图,平均每个职工 7 张,为什么要应用这么多张控制图呢?因为彩色胶卷的工艺很复杂,在胶卷的片基上需要分别涂上 8 层厚度为  $1 \sim 2\mu\text{m}$  的药膜;此外,对于种类繁多的化工原料还要应用 SPC 进行控制。

4. 我们不追求控制图张数的多少,但可以说,工厂中使用控制图的张数在某种意义上反映了管理现代化的程度。

### 9.2.3 产品质量的统计观点

产品质量的统计观点是现代质量管理的基本观点之一。若推行这样的观点就是现代的质量管理,否则即传统的质量管理。

产品质量的统计观点包含下列内容:

产品质量的统计观点 { 产品的质量具有变异性  
产品质量的变异具有统计规律性

1. 产品的质量具有变异性(variation)。

这是众所周知的事实,但在工业革命后,人们一开始误认为:现在由机器来进行生产,生产的产品应该是一样的。经过一百多年的实践,随着测量理论与测量工具的进步,人类才终于认识到:尽管是机器生产,但产品质量特性值仍然具有变异性,公差制度的建立就是承认这点的一个标志。

另外,根据 ISO 9000,六大类质量因素:“人(Man)、机(Machine)、料(Material)、

法(Method)、测(Measurement)、环(Environment),即5M1E”,还要补充下列三个字:“软(件)、辅(助材料)、公(用设施水、电、汽等)”。这反映了时代的进步。

## 2. 产品质量的变异具有统计规律性。

产品质量的变异也是有规律性的,但它不是通常的确定性现象的确定性规律,而是随机现象的统计规律。

对于随机现象通常应用分布(distribution)来描述,分布可以告诉我们:变异的幅度有多大,出现这么大幅度可能性(概率,probability)就有多大,这就是统计规律。对于计量特性值,如长度、重量、时间、强度、纯度、成分、收率等连续性数据,最常见的是正态分布(normal distribution),参见图9.2-2。对于计件特性值,如特性测量的结果只有合格与不合格两种情形的离散性数据,最常见的是二项分布(binomial distribution),参见图9.2-3。对于计点特性值,如铸件的沙眼数、布匹上的疵点数、电视机中的焊接不合格数等离散性数据,最常见的是泊松分布(Poisson distribution),参见图9.2-4。计件值与计点值又统称计数值,都是可以0个,1个,2个,……,这样数下去的数据。掌握这些数据的统计规律可以保证和提高产品质量。

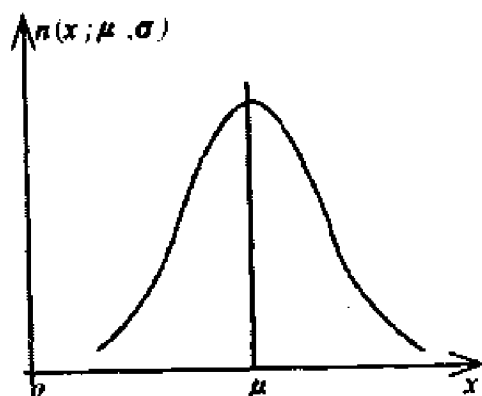


图9.2-2 正态分布密度图

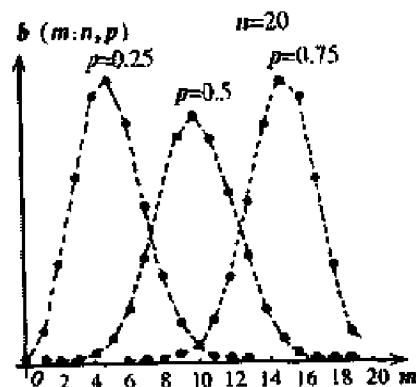


图9.2-3 二项分布(图中  $p$  为不合格品率)

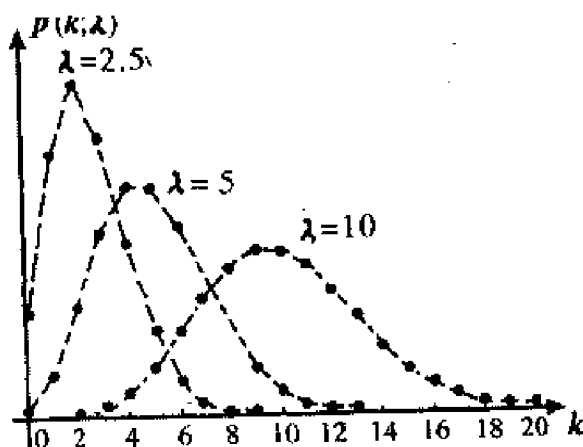


图9.2-4 泊松分布(图中  $\lambda$  为单位缺陷数)

### 9.2.4 控制图原理的讨论

#### 1. 基础知识 - 直方图作法

示例:老工人用车床车制机螺丝,要求其直径为 10 毫米。为了了解老工人的加工质量,随机抽查他加工好的机螺丝 100 个,分别测得其直径数据 100 个如表 9.2-1 所示。直观来看,看不出任何规律来,需要应用统计方法来加以处理,即分组,统计,作直方图。具体步骤如下:

步骤 1:找出最大值和最小值。从表 9.2-1 中可见最大值为 10.60,最小值为 9.22。故

表 9.2-1 螺丝直径数据

10.24	9.94	10.00	9.99	9.85	9.94	10.42	10.30	10.36	10.09
10.21	9.79	9.70	10.04	9.98	9.81	10.13	10.21	9.84	9.55
10.01	10.36	9.88	9.22	10.01	9.85	9.61	10.03	10.41	10.12
10.15	9.76	10.57	9.76	10.15	10.11	10.03	10.15	10.21	10.05
9.73	9.82	9.82	10.06	10.42	10.24	10.60	9.58	10.06	9.98
10.12	9.97	10.30	10.12	10.14	10.17	10.00	10.09	10.11	9.70
9.49	9.97	10.18	9.99	9.98	9.83	9.55	9.87	10.19	10.39
10.27	10.18	10.01	9.77	9.58	10.33	10.15	9.91	9.67	10.10
10.09	10.33	10.06	9.53	9.95	10.39	10.16	9.73	10.15	9.75
9.79	9.94	10.09	9.97	9.91	9.64	9.88	10.02	9.91	9.54

数据分散宽度 = (最大值 - 最小值) = 10.60 - 9.22 = 1.38

步骤 2:确定组数。设  $n$  为数据个数,组数  $k$  可按表 9.2-2 或按经验公式:  $k \cong \sqrt{n}$  进行估计,这些都是经验值,不必死套公式。其实,从图 9.2-5 也可看出:组数  $k = 3$ ,图形太粗糙,组数  $k = 12$ ,分组过多,直方图的直方之间出现缺口,故图中组数  $k$  在 3~12 之间(平均数为 7.5)最合适。本例数据个数  $n = 100$ ,故试取组数  $k = 7$ 。

表 9.2-2 数据组数的选取

数据个数 $n$	组数 $k$
$n < 50$	5 - 7
$50 \leq n < 100$	6 - 10
$100 \leq n < 250$	7 - 12
$n \geq 250$	10 - 20

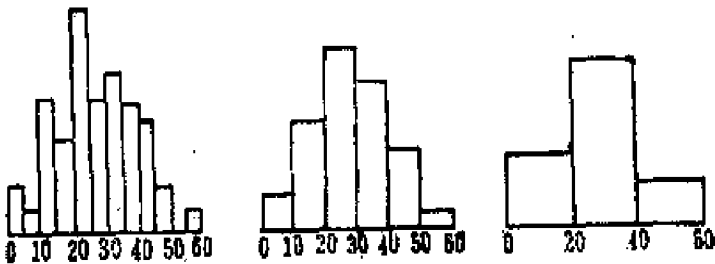


图 9.2-5 同一组数据、不同分组情形下的直方图

步骤3:确定组距。本例组距:

$$h = (\text{最大值} - \text{最小值}) / \text{组数} = 1.38 / 7 = 0.197 \approx 0.2$$

步骤4:确定各组的组界。为了使得所有数据不会落在组界上,并保证最小值9.22落在第一组内,故取第一组的组下限等于最小值减去最小测量单位的一半(在本例即  $0.01/2 = 0.005$ )。于是

$$\text{第一组的组下限} = 9.22 - 0.005 = 9.215$$

$$\text{第一组的组上限} = \text{第一组的组下限} + \text{组距} = 9.215 + 0.2 = 9.415$$

其余各组以此类推,参见表9.2-3。可见最大值10.60已包括在第七组内。

步骤5:确定各组的频数。将数据表中的各个数据按其数值大小分布到各个组中去。从表9.2-2得出频数分布表表9.2-3。

表 9.2-3 频数分布表

组号	频数
第一组:9.215 - 9.415	1
第二组:9.415 - 9.615	8
第三组:9.615 - 9.815	14
第四组:9.815 - 10.015	29
第五组:10.015 - 10.215	32
第六组:10.215 - 10.415	12
第七组:10.415 - 10.615	4

步骤6:作直方图。根据表9.2-3,在横轴上以每组对应的组距线段为底,以该组的频数为高,作出7个矩形所组成的直方图(histogram),参见图9.2-6。

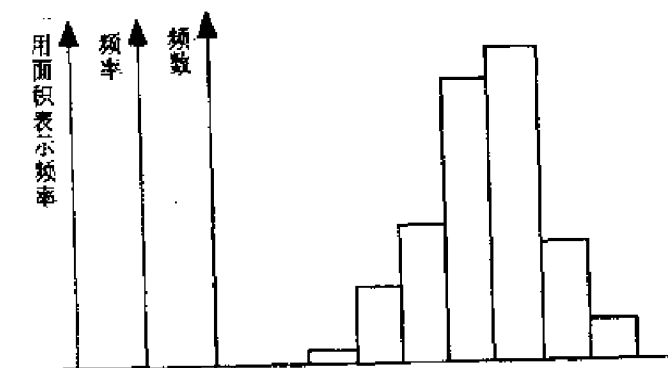


图 9.2-6 100 个机螺丝直径实测值的直方图

步骤7:对直方图的观察。本例直方图形状的特点是:中间高、两头低、左右对称。故直方图反映了数据的规律。事实上,如果我们将上述抽查机螺丝作直方图的作法再重复做几遍,我们就会发现这几次作出来的直方图样子都差不多,所以直

方图确实反映了数据的规律。

上述频数直方图还不能反映出螺丝直径落在某个直方组的可能性大小,故将每个直方组的频数除以总频数  $N = 100$ , 所得到的比率就称为频率(frequency), 它反映了螺丝直径落在该直方组的可能性大小, 参见图 9.2-6 中以左侧中间的纵轴表示的直方图。在此图中, 螺丝直径落在该直方组的可能性大小是以直方的高来表示的; 但从数学应用方便的角度来看, 则希望用直方的面积来表示可能性大小。由于各组的组距, 即直方的宽度是相等的, 故应用直方的面积来表示与应用直方的高来表示是相同的。因此, 图 9.2-6 仍可用, 但这时需要改为采用图中最左侧的纵轴。

## 2. 正态分布的基础知识

(1) 若数据越多, 分组越密, 则图 9.2-6 的直方图也越趋近一条光滑曲线, 如图 9.2-7 所示。它实质上即分布。连续值最常见的分布为正态分布, 其特点为中间高、两头低、左右对称并延伸到无穷。

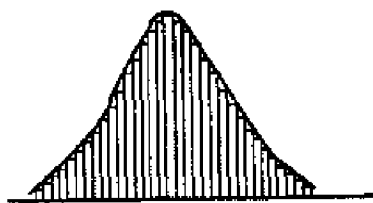


图 9.2-7 直方图趋近光滑曲线

(2) 正态分布是一条曲线, 讨论起来不方便, 故采用其两个参数: 平均值( $\mu$ , 希腊字母, 读作“谬”, average)与标准差( $\sigma$ , 希腊字母, 读作“西格玛”, standard deviation)来表示。平均值( $\mu$ )与标准差( $\sigma$ )的变化对于正态分布曲线的影响, 分别参见图 9.2-8 与图 9.2-9。由图 9.2-8 可见, 若平均值( $\mu$ )增大, 则正态曲线往右移动。由图 9.2-9 可见, 若标准差( $\sigma$ )越大, 则加工质量特性值越分散。注意, 标准差( $\sigma$ )与质量有着密切的关系。

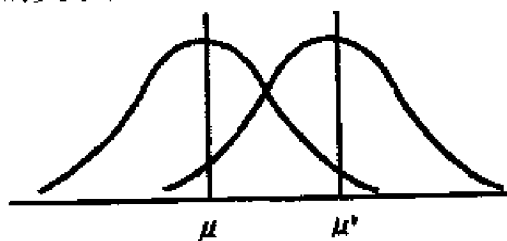
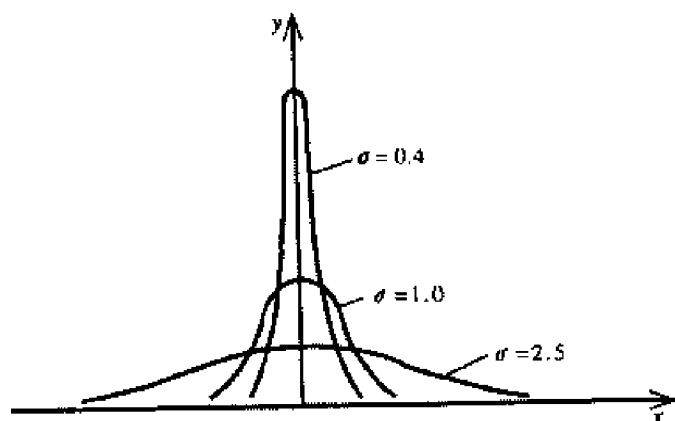


图 9.2-8 正态曲线随着平均值( $\mu$ )变化

图 9.2-9 正态曲线随着标准差( $\sigma$ )变化

正态分布的两个参数平均值( $\mu$ )与标准差( $\sigma$ )是互相独立的。事实上,不论平均值( $\mu$ )如何变化都不会改变正态分布的形状,即标准差( $\sigma$ );反之,不论正态分布的形状,即标准差( $\sigma$ )如何变化,也决不会影响数据的对称中心,即平均值。注意,二项分布与泊松分布就没有上述特点,它们的两个参数平均值( $\mu$ )与标准差( $\sigma$ )是不独立的。

正态分布有一个事实在质量管理中经常要用到,即不论  $\mu$  与  $\sigma$  取值为何,产品质量特性值落在  $[\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma]$  范围内的概率为 99.73%,这是数学计算的精确值,参见图 9.2-10。

99.73%这个数值经常要用到,故“9973”这 4 个字应该牢牢记住!于是产品质量特性值落在  $[\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma]$  范围外的概率为  $1 - 99.73\% = 0.27\%$  (与 0.9973 相对应,“0.27%”也要牢牢记住),而落在大于  $\mu + 3\sigma$  一侧的概率为  $0.27\% / 2 = 0.135\% \approx 1\text{‰}$ 。休哈特就是根据这一点发明了控制图。

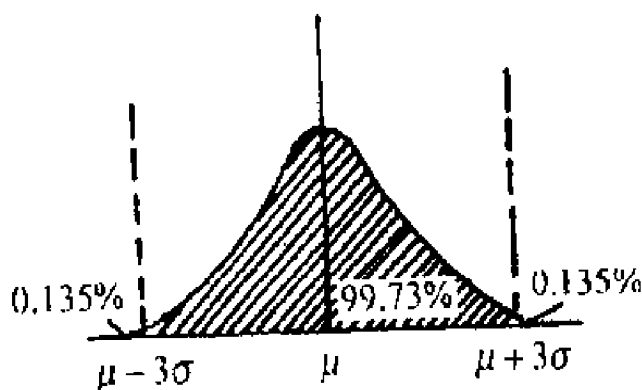


图 9.2-10 正态分布曲线下的面积

3. 控制图的形成首先把图 9.2-10 按顺时针方向转  $90^\circ$ , 如图 9.2-11(a) 所示。由于图中数值上小、下大不符合常规,故再将图 9.2-11(a) 上下翻转  $180^\circ$ , 成为图 9.2-11(b), 这样就得到了一张控制图, 具体说是单值(X)控制图(individual(X) control chart), 参见图 9.2-12。图中的  $UCL = \mu + 3\sigma$  为上控制限,  $CL = \mu$  为中心线,



$LCL = \mu - 3\sigma$  为下控制限。

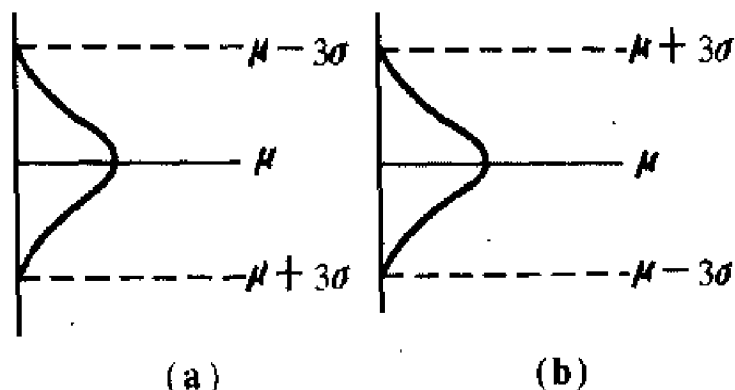


图 9.2-11 控制图的演变

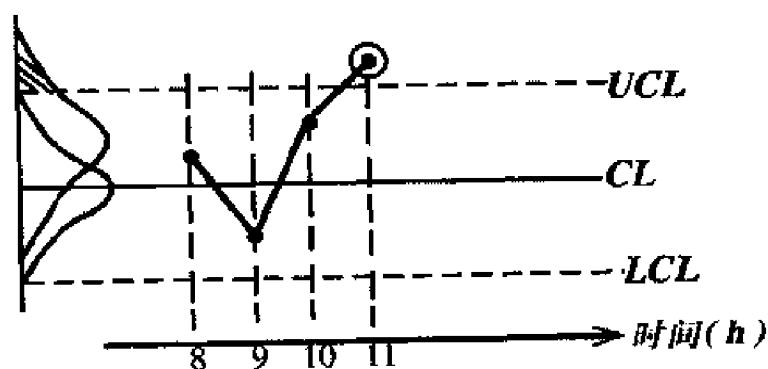


图 9.2-12 X 控制图

#### 4. 控制图原理的第一种解释

为了控制加工螺丝的质量,每隔 1 小时随机抽取一个车好的螺丝,测量其直径,将结果描点在图 9.2-12 中,并用直线段将点子连接,以便观察点子的变化趋势。由图 9.2-12 可看出,前 3 个点都在控制界限内,但第四个点子却超出了 UCL,为了醒目,把它用小圆圈圈起来,表示第四个螺丝的直径过分粗了,应引起注意。现在根据这第四个点子对过程应作什么判断呢? 摆在我们面前的有下列两种可能性:

(1) 若过程正常,即分布不变,则点子超过 UCL 的概率只有 1‰ 左右。

(2) 若过程异常,譬如设异常原因为车刀磨损,则随着车刀的磨损,加工的螺丝将逐渐变粗, $\mu$  逐渐增大,于是分布曲线上移,参见图 9.2-12,点子超过 UCL 的概率将大为增加,可能为 1‰ 的几十乃至几百倍。

现在第四个点子已经超出 UCL,问在上述(1)、(2)两种情形中,应该判断是哪种情形造成的? 由于情形(2)发生的可能性要比情形(1)大几十乃至几百倍,故我们合乎逻辑地认为上述异常是由情形(2)造成的。于是,得出结论:

**点出界就判异,要把这 6 个字当成一条规定来记住!**

用数学语言来说,这就是小概率事件原理:小概率事件实际上不发生,若发生即判

断异常。控制图就是统计假设检验的图上作业法。在控制图上每描一个点就是作一次统计假设检验。

### 5. 控制图原理的第二种解释

现在换个角度再来研究一下控制图原理。根据来源的不同,质量因素可分为人、机、料、法、测、环 6 个方面。但从对产品质量的影响大小来分,质量因素可分为偶然因素(简称偶因, random cause)与异常因素(简称异因,也称为可查明因素, assignable cause,或系统因素, systematic cause)两类。偶因是过程固有的,始终存在,对质量的影响微小,但难以除去,例如机床开动时的轻微振动等。异因则非过程固有,有时存在,有时不存在,对质量影响大,但不难除去,例如车刀磨损等。参见图 9.2-13。

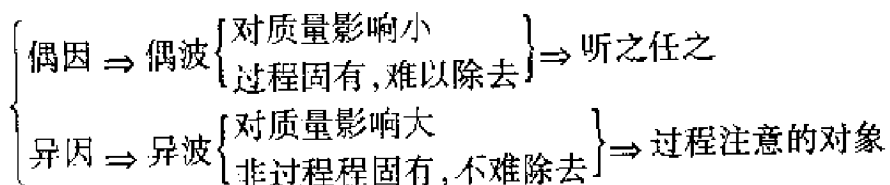


图 9.2-13 两种质量因素及其不同的对待策略

偶因引起质量的偶然波动(简称偶波),异因引起质量的异常波动(简称异波)。偶波是不可避免的,但对质量的影响微小,故可把它看作背景噪声而听之任之。异波则不然,它对质量的影响大,且采取措施不难消除,故在过程中异波及造成异波的异因是我们注意的对象,一旦发生,就应该尽快找出,采取措施加以消除,并纳入标准化,保证它不再出现。将质量波动区分为偶波与异波两类并分别采取不同的对待策略,这是休哈特的贡献。

偶波与异波都是产品质量的波动,如何能发现异波的到来呢?可以这样设想:假定在过程中,异波已经消除,只剩下偶波,这当然是最小波动。根据这最小波动,应用统计学原理设计出与控制图相应的控制界限,于是当异波发生时,点子就会落在界外。因此,点子频频出界就表明存在异波,这与控制图原理的第一种解释是一致的。控制图上的控制界限就是区分偶波与异波的科学界限。

根据上述,可以说休哈特控制图的实质是区分偶然因素与异常因素两类因素(注意,别的控制图,例如选控图就并非如此)。

### 9.2.5 控制图是如何贯彻预防原则的?

我们按下属情形分别讨论:

情形 1:应用控制图对生产过程进行监控,如出现图 9.2-14 的上升倾向,显然过程有问题,故异因刚一露头,即可发现,于是可及时采取措施加以消除,这当然是预防。但在现场出现这种情形是不多的。

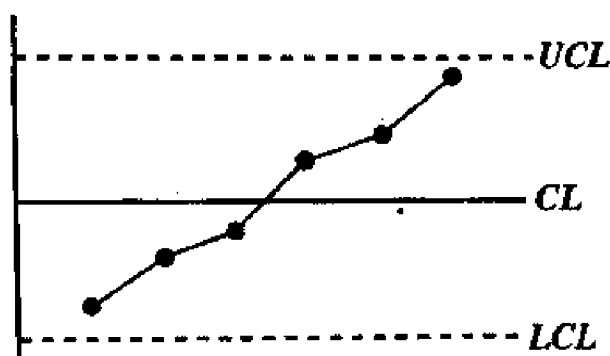


图 9.2-14 控制图点子形成倾向

情形 2:更经常地是控制图上点子突然出界,显示异常。这时必须按照下列“20 字方针”去做:“查出异因,采取措施,加以消除,不再出现,纳入标准”上述 20 字要牢牢记住!这 20 个字首先是由张公绪总结的,戏称之为 20 字真经,取唐僧取经要取真经之意。每执行一次这 20 个字,就消灭一个异因,于是对此异因而言,起到了预防作用。不照这“20 字方针”去做,控制图形同虚设,就不必搞控制图。因此,

“点出界就判异”这 6 个字与“20 字方针”一共 26 个字是必须连起来记住的。

控制图的作用是及时告警。只在控制图上描描点子,是不可能起到预防作用的。要贯彻预防作用就必须执行上述“20 字方针”。从这点出发,就要强调要求现场第一线的工程技术人员来推行 SPC 与 SPD,把它作为日常工作的一部分,而质量管理人员则应该起到组织、协调、监督、鉴定与当好领导参谋的作用。

注意:控制图只能及时告警;真正起到预防作用的是贯彻“二十字方针”。

### 9.2.6 统计控制状态

1. 所有的技术控制都有一个标准作为基准,若过程不处于此基准的状态,则必须立即采取措施,将其恢复到此基准。统计过程控制(SPC)也是一种控制(统计控制),当然它也要采取一种标准(统计标准)作为其基准,这就是:统计控制状态。

2. 统计控制状态(state in statistical control),简称控制状态(state in control),是指过程中只有偶因(而无异因)产生的变异的状态。

控制状态是生产追求的目标,因为在控制状态下,有下列几大好处:

(1) 对产品的质量有完全的把握(通常,控制图的控制界限都在规范界限之内,故至少有 99.73%的产品是合格品)。

(2) 生产也是最经济的(偶因和异因都可以造成不合格品,但由偶因造成的不合格品极少(只有 2.7‰),主要是由异因造成的。故在控制状态下所产生的不合格品最少,生产最经济。

(3) 在控制状态下,过程的变异最小。

4. 通过对过程不断执行“20 字方针”,进行调整,至少从理论上讲,控制状态总

是可以达到的。由于异因只有有限个,故经过有限次执行“20 字方针”后,就可以消灭全部异因,达到控制状态。

5. 虽然质量变异不能完全消灭,但应用控制图与执行“20 字方针”是使得质量变异成为最小的有效工具。

6. 推行 SPC 为什么能够保证实现全过程的预防? 一道工序达到控制状态称为稳定工序,道道工序都达到控制状态称为全稳生产线,SPC 所以能够保证实现全过程的预防,依靠的就是全稳生产线。

### 9.2.7 两种错误

控制图对过程的监察是通过抽查来进行的,很经济。但抽查就不可能不犯错误。

1. 什么是两种错误(two kinds of error)?

(1) 第一种错误(error of the first type):虚发警报(false alarm)。

生产正常而点子偶然超出界外,根据点出界就判异,于是就犯了第一种错误。通常将犯第一种错误的概率记以  $\alpha$ ,参见图 9.2-15。第一种错误将造成寻找根本不存在的异因的损失。

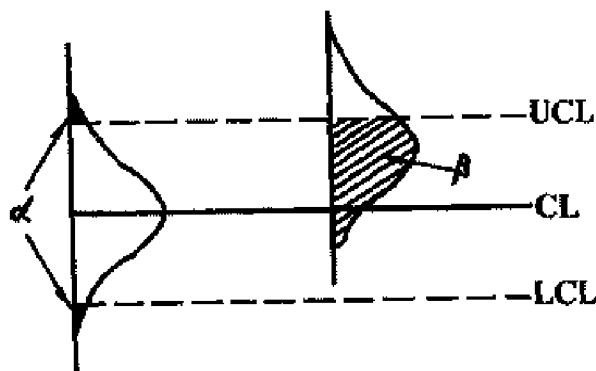


图 9.2-15 控制图的两两种错误

(2) 第二种错误(error of the second type):漏发警报(alarm missing)。过程已经异常,但仍会有部分产品,其质量特性值的数值大小偶然位于控制界限内。如果抽到这样的产品,打点就会在界内,从而犯了第二种错误,即漏发警报。通常犯第二种错误的概率记以  $\beta$ ,参见图 9.2-15。第二种错误将造成废次品增加的损失。

2. 如何减少两种错误所造成的损失?

(1) 控制图共有三根线,一般,正态分布的 CL 居中不动,而且 UCL 与 LCL 互相平行,故只能改动 UCL 与 LCL 二者之间的间隔距离。从图 9.2-15 可见,若此间隔距离增加,则  $\alpha$  减少,  $\beta$  增大,反之也反。故无论如何调整上下控制限的间隔,两种错误都是不可避免的。

(1) 解决办法是:根据使两种错误造成的总损失最小这一点来确定 UCL 与 LCL 二者之间的最优间隔距离。经验证明休哈特所提出的  $3\sigma$  方式较好,在不少情况,  $3\sigma$  方式都接近最优间隔距离。

### 9.2.8 $3\sigma$ 方式

#### 1. $3\sigma$ 方式的公式

$$\begin{aligned} UCL &= \mu + 3\sigma \\ CL &= \mu \\ LCL &= \mu - 3\sigma \end{aligned} \quad (9.2-1)$$

式中,  $\mu$ 、 $\sigma$  为统计量的总体参数。

2. 这是休哈特控制图的总公式, 真正应用时需要经过下列两个步骤:

- (1) 具体化,
- (2) 对总体参数进行估计。

3. 注意, 总体参数与样本参数不能混为一谈, 总体包括过去已制成的产品、现在正在制造的产品以及未来将要制造的产品全体。而样本只是过去已制成产品的一部分。故总体参数的数值是不可能精确知道的, 只能通过以往已知的数据来加以估计, 而样本参数的数值则是已知的。

4. 注意, 规范界限不能用作控制界限。规范界限用以区分合格与不合格, 控制界限则用以区分偶波与异波, 二者完全是两码事, 不能混为一谈。

### 9.2.9 常用休图

常用休图参见表 9.2-4(国标 GB/T 4091-2001)。分析表 9.2-4 可知, 实质上只有下列四种控制图: 图  $\bar{X}-s$ , 图  $\bar{X}-R$ ,  $np_T$  图与  $c_T$  图。

表 9.2-4 常规控制图

分布	控制图代号	控制图名称	控制图界限	备 注
正态分布 (计量值)	$\bar{X}-R$	均值-极差控制图	$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}$ $UCL_R = D_4 \bar{R}$ $LCL_R = D_3 \bar{R}$	1. 正态分布的参数 $\mu$ 与 $\sigma$ 互相独立, 控制正态分布需要分别控制 $\mu$ 与 $\sigma$ , 故正态分布控制图都有两张控制图, 前者控制 $\mu$ , 后者控制 $\sigma$ 。二项分布与泊松分布则并非如此。 2. $\bar{X}-R$ 图可由 $\bar{X}-s$ 图代替。 3. $\bar{X}-R$ 图可淘汰。 4. 故只剩下 $\bar{X}-s$ 图与 $x-R_s$ 图。
	$\bar{X}-s$	均值-标准差控制图	$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_3 \bar{s}$ $UCL_s = B_4 \bar{s}$ $LCL_s = B_3 \bar{s}$	
	$\tilde{X}-R$	中位数-极差控制图	$UCL_{\tilde{X}} = \bar{\tilde{X}} + m_1 A_2 \bar{R}$ $UCL_R = D_4 \bar{R}$ $LCL_R = D_3 \bar{R}$	
	$X-R_s$	单值-移动极差控制图	$UCL_x = \bar{\bar{X}} + 2.66 \bar{R}_s$ $UCL_{R_s} = 3.267 \bar{R}_s$ $LCL_{R_s} = -$	
二项分布 (计件值)	p	不合格品率控制图	$UCL_p = \bar{p} + 3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n}$	左列两图可由通用不合格品数 $np_T$ 图代替。
	np	不合格品数控制图	$UCL_{np} = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$	
泊松分布 (计点值)	u	单位不合格数控制图	$UCL_u = \bar{u} + 3\sqrt{\bar{u}/n}$	1. 缺陷数现改称为“不合格数”。 2. 左列两图可由通用不合格数 $c_T$ 图代替。
	c	不合格数控制图	$UCL_c = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$	

注: 1. 符号“ $\tilde{x}$ ”读作 xtilde。

2. 表内各个控制界限公式中的系数可参见第 9.4 节表 9.4-5 计量值控制图系数表。

### 9.2.10 本节参考文献

- [9.1-1] 张公绪主编、孙静副主编:《现代质量管理学》,中国财政经济出版社,第二次印刷,2000 年,定价 25 元。本书出版后,读者好评如潮,认为本书取材新颖,内容精炼,是一本不可多得的好书。读者如欲购买本书可与下列单位联系:北京市 100036 海淀区阜成路甲 28 号新知大厦 9 层 904 房间中国财政经济出版社伍景华女士联系,电话:010-88190904。
- [9.1-2] 张公绪、孙静:《现代质量控制与诊断工程》,经济科学出版社,1999 年,定价 11.5 元。读者如欲购买本书,请与下列单位联系:北京市 100036 海淀区阜成路甲 28 号新知大厦 12 层经济科学出版社,电话:010-88191515 发行部杨秀华女士。
- [9.1-3] 孙静、张公绪:《常规控制图标准及其应用》,中国标准出版社,2000,定价 22 元。读者如欲购买本书,请与下列单位联系:北京 100045 复兴门外三里河北街 16 号中国标准出版社朱晓滨女士,电话:010-68523906。

### 本节思考题

- [9.2-1] 产品质量的统计观点包括哪些内容?有何重要意义?
- [9.2-2] 控制图原理是什么?试用简洁的语言加以叙述。
- [9.2-3] 控制图是如何实现预防原则的?
- [9.2-4] 什么是控制状态?
- [9.2-5] 生产过程中为什么要追求控制状态?
- [9.2-6] SPC如何作到全过程的预防?

### 思考题题解

- [9.2-1] 产品质量的统计观点包括下列内容:
  - (1) 产品的质量特性值具有变异性。
  - (2) 产品质量特性值的变异性具有统计规律性。
 由于现代质量管理强调预防原则,而保证贯彻预防的科学方法即统计过程控制(SPC)与统计过程诊断(SPD),由此可见产品质量的统计观点的重要性。所以我们说,推行这样的观点就是现代的质量管理,否则即传统的质量管理。
- [9.2-2] 控制图原理实际上即小概率事件原理;小概率事件实际上不发生,若发生就判断异常。
- [9.2-3] 控制图的作用是及时告警,在控制图上描点不会除去过程中的异常,故现场工作人员需要执行“20字方针”才能起到预防作用。
- [9.2-4] 控制状态,即统计控制状态,是指过程中只有偶然因素,而无异常因素所造成的异常。
- [9.2-5] 过程处于统计控制状态有下列几大好处:
  - (1) 产品或服务的质量有完全的把握。
  - (2) 生产最经济,
  - (3) 过程的变异最小。
 故在过程中要追求统计控制状态。
- [9.2-6] 一道工序达到统计控制状态,即稳态,称为稳态工序,道道工序都成为稳态,称为全稳生产线。SPC所以能够作到全过程的预防,所依靠的就是全稳生产线。

## 9.3 控制图的判断准则

### 9.3.1 分析用控制图与控制用控制图

#### 1. 概论

眼睛是人的心灵的窗口,从一个人的眼睛可以看出人的内心世界。同样,控制图是过程的窗口,从控制图可以看出过程处于什么状态。一道工序开始应用控制图时,几乎总不会恰巧处于稳态,也即总存在异因。如果就以这种非稳态状态下的参数来建立控制图,控制图界限之间的间隔一定较宽,以这样的控制图来控制未来,将导致错误的结论。因此,一开始,总需要将非稳态的过程调整到稳态,这就是分析用控制图的阶段。等到过程调整到稳态后,才能延长控制图的控制线作为控制用控制图,这就是控制用控制图的阶段。故日本有句质量管理的名言:“始于控制图,终于控制图。”所谓“始于控制图”是指对过程的分析从应用控制图对过程进行分析开始,所谓“终于控制图”是指对过程的分析结束,最终建立了控制用控制图。故根据使用的目的的不同,控制图可分为:分析用控制图与控制用控制图:

## 2. 分析用控制图

主要分析以下两点:

(1) 所分析的过程是否处于统计控制状态,或称统计稳态? 参见图 9.3-1。从图中可见,前三个分布图形都不相同,说明还未达到稳态,在经过调整之后,后三个分布图形完全相同,说明达到了稳态。

(2) 该过程的过程能力指数(process capability index)是否满足要求? 荷兰学者维尔达(S. L. Wierda)把过程能力指数满足要求称作技术控制状态,或称技术稳态(state in technical control)。参见图 9.3-2。从图中可见,前三个分布图形相同,已达到了稳态,但它们的不合格品率过大,也即过程能力指数太小,在经过调整后,后三个分布图形不但相同,达到了稳态,而且它们的不合格品率,也即过程能力指数也同时满足了技术要求。

由于  $C_p$  值必须在稳态下计算,故须先将过程调整到统计稳态,然后再调整到技术稳态。

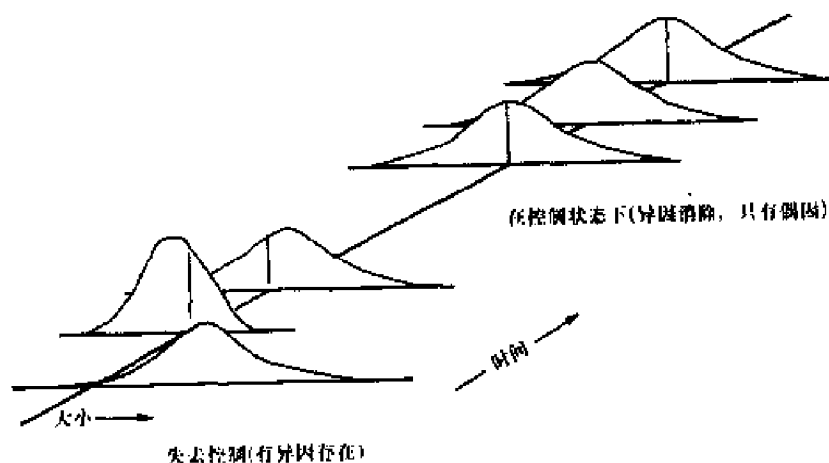


图 9.3-1 统计稳态的图示



表 9.3-1 状态分类

统计稳态 \ 技术稳态		统计稳态	
		是	否
技术稳态	是	I	II
	否	III	IV

根据统计稳态与技术稳态的是否达到可以分为如表 9.3-1 所示的四种情况:

- (1) 状态 I: 统计稳态与技术稳态同时达到, 最理想。
- (2) 状态 II: 统计稳态未达到, 技术稳态达到。
- (3) 状态 III: 统计稳态达到, 技术稳态未达到。
- (4) 状态 IV: 统计稳态与技术稳态均未达到, 最不理想。

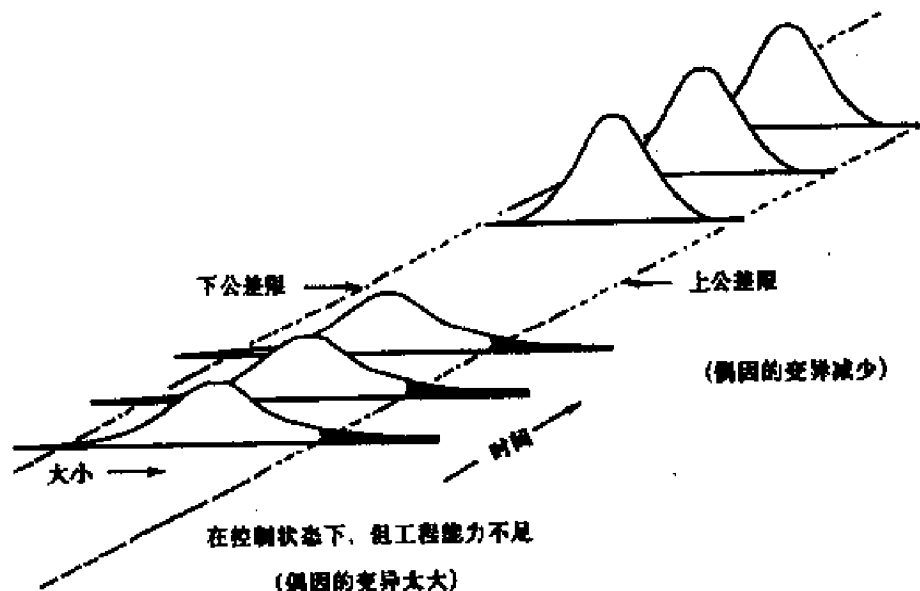


图 9.3-2 过程能力的图示

显然, 状态 IV 最不理想, 也是现场所不能容忍的, 需要加以调整, 使之逐步达到状态 I。从表 9.3-1 可见, 从状态 IV 达到状态 I 的途径有二: 状态 IV  $\Rightarrow$  状态 II  $\Rightarrow$  状态 I 或状态 IV  $\Rightarrow$  状态 III  $\Rightarrow$  状态 I, 究竟通过哪条途径应由具体的技术经济分析来决定。虽然从计算  $C_p$  值上看, 应该先达到状态 III, 但有时, 为了更加经济, 宁可保持在状态 II 也是有的。当然, 在生产线的末道工序一般以保持状态 I 为宜。

分析用控制图的调整过程即质量不断改进的过程。

### 3. 控制用控制图

当过程达到了我们所确定的状态后, 才能将分析用控制图的控制线延长作为控制用控制图。由于后者相当于生产中的立法, 故由前者转为后者时应有正式交接手续。这里要用到判断稳态的准则(简称判稳准则), 在稳定之前还要用到判断异常的准则(简称判异准则)。

进入日常管理后, 关键是保持所确定的状态。经过一个阶段的使用后, 可能又

出现异常,这时应按照第9.2节的“20字方针”去做,恢复所确定的状态。

从数学的角度看,分析用控制图的阶段就是过程参数未知的阶段,而控制用控制图的阶段则是过程参数已知的阶段。

### 9.3.2 休图的设计思想

1. 休图的设计思想是先定 $\alpha$ ,再看 $\beta$ 。(1)按照 $3\sigma$ 方式确定UCL、CL、LCL就等于确定了 $\alpha_0=0.27\%$ 。(2)通常的统计一般采用 $\alpha=1\%,5\%,10\%$ 三级,但休哈特为了增加使用者的信心,把休图的 $\alpha$ 取得特别小(若想把休图的 $\alpha$ 取为零是不可能的。事实上,若 $\alpha$ 取为零,则UCL与LCL之间的间隔将为无穷大,从而 $\beta$ 为1,必然漏报),这样 $\beta$ 就大,需要增加第二类判异准则;界内点排列不随机判异。

2. 休图的设计并未从使两种错误造成的总损失最小这一点出发来进行。从80年代起出现经济质量控制(EQC)学派,这个学派的特点就是从两种错误造成的总损失最小这一点出发来设计控制图与抽样方案。其学术带头人为德国乌尔茨堡(Wurzburg)大学经济质量控制中心主任冯·考拉尼(Ehart von Collani)教授。

### 9.3.3 判稳准则

#### 1. 判稳准则的思路

对于判异来说,“点出界就判异”虽不百发百中,也是千发九九七中,很可靠。但在控制图上如打一个点子未出界,可否判稳?打一个点未出界有两种可能性:(1)过程本来稳定,或是(2)漏报(这里由于 $\alpha$ 小,所以 $\beta$ 大),故打一个点子未出界不能立即判稳。但若接连打 $m$  ( $m \gg 1$ )个点子都未出界,则情况大不相同,这时整个点子系列的 $\beta_m = \beta^m$ 要比个别点子的 $\beta$ 小得很多,可以忽略不计。于是只剩一种可能,即过程稳定。如果接连在控制界内的点子更多,则即使有个别点子偶然出界,过程仍可看作是稳态的。上述就是判稳准则的思路。

#### 2. 判稳准则

在点子随机排列的情况下,符合下列各点之一判稳:

- (1) 连续25个点,界外点数 $d=0$ ,
- (2) 连续35个点,界外点数 $d \leq 1$ ,
- (3) 连续100个点,界外点数 $d \leq 2$ 。

当然,即使在判稳时,为了保险,对于界外点也必须按照第9.2节的“20字方针”去做。

3. 现在对上述判稳准则的 $\alpha$ 进行分析。判稳准则也是对随机现象加以判定,故也可能发生两种错误。现以上述判稳准则(2)为例分析该准则的 $\alpha$ ,即 $\alpha_2$ 。设过程正常,于是

$$P(\text{连续35点}, d \leq 1) = C_{35}^0 (0.99735)^{35} + C_{35}^1 (0.00973)(0.0027) = 0.9959$$

故

$$P(\text{连续 35 点}, d > 1) = 1 - P(\text{连续 35 点}, d \leq 1) = 1 - 0.9959 = 0.0041 = \alpha_2$$

上式表示,在过程正常的情况下,连续 35 点出现  $d > 1$  是小概率事件,它实际上不发生,若发生即判断过程不稳(失控)。 $\alpha_2$  就是执行第(2)条判稳准则犯第一种错误的概率,也称为显著性水平(level of significance)。

类似地,可求出  $\alpha_1$  与  $\alpha_3$ 。于是有

$$\alpha_1 = 0.0654$$

$$\alpha_2 = 0.0041$$

$$\alpha_3 = 0.0026$$

根据上述  $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ 、 $\alpha_3$  的数值,可见它们依次递减,也即这三条判稳准则判断的可靠性依次递增。另一方面,三条判稳准则所需要的样品个数依次递增,也即成本越来越高。故进行判稳时,应从判稳准则 1 开始,若不能判稳,则进行准则 2;若仍不能判稳,则接着进行准则 3;若准则 3 依旧不能判稳,则不能继续再应用判稳准则,而应该对该制程尽力查找出异因。注意,由于  $\alpha_1 = 0.0654$ ,比较大,虚报较多,应尽量采用判稳准则 2 与准则 3 为妥。

#### 9.3.4 判异准则

1. 什么是异常? 我们知道 SPC 的基准是稳态,若过程显著偏离稳态就称为异常。故所谓异常可以有异常好与异常坏两类。初学者很容易产生误会,以为判异一定是异常坏。

2. 判异准则有两类:

- (1) 点出界就判异;
- (2) 界内点排列不随机判异。

由于对点子的数目未加限制,故上述(2)的模式原则上可以有无穷多种,但现场能够保留下来继续使用的只有具有明显物理意义的若干种,在控制图的判断中要注意对这些模式加以识别。

3. 常规控制图的国标 GB/T 4091-2001 引用了西方电气公司统计质量控制手册(Western Electric (1956), Statistical Quality Control Handbook, American Telephone and Telegraph Company, Chicago, III.),其中 8 种判异准则如图 9.3-3~9.3-10 所示。实际上,有些物理意义不够明显的准则,不易为参与质量管理的广大群众所理解 and 记忆。反之,图 9.3-3 中的准则 1“一点在 A 区之外(点出界就判异)”是休哈特亲自提出来的,称为准则 I (criterion I),由于其物理意义非常明显,故应用最为广泛。

4. 以下分别介绍各个判异准则:

**准则 1:一点落在 A 区以外。**



图 9.3-3 准则 1 的图示

此准则由休哈特在 1931 年所提出,在许多应用中,它甚至是唯一的判异准则。准则 1 可对参数  $\mu$  的变化或参数  $\sigma$  的变化给出信号,变化越大,则给出信号越快。对于  $\bar{X}-R$  控制图而言,若  $R$  图保持为稳态,则可除去参数  $\sigma$  变化的可能。准则 1 还可对过程中的单个失控作出反应,如计算错误、测量误差、原材料不合格、设备故障等。准则 1 犯第一种错误的概率,或称显著性水平,为  $\alpha = 0.0027$ 。

准则 2:连续 9 点落在中心线同一侧。

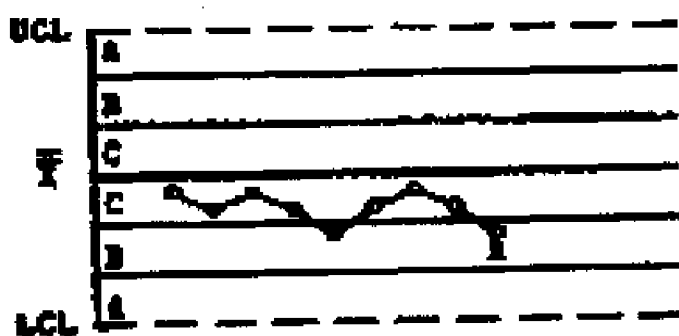


图 9.3-4 准则 2 的图示

此准则通常是为了补充准则 1 而设计的,以便改进控制图的灵敏度。选择 9 点是为了使其犯第一种错误的概率  $\alpha$  与准则 1 的  $\alpha_0 = 0.0027$  大体相仿,同时也使得本准则采用的点数比美国格兰特和列文沃斯(Grant and Levenworth)在 1980 年提出的 7 点链判异的准则所增点数不多。

出现图 9.3-4 准则 2 的现象,主要是由于分布的  $\mu$  减小的缘故。

现对准则 2 作进一步的分析如下:在控制图中心线一侧连续出现的点称为链(run),其中包含的点子数目称为链长。链长  $\leq 9$ ,判异。出现下列点数的链的  $\alpha$  分别为:

$$P(\text{中心线一侧出现长为 7 的链}) = 2\left(\frac{0.9973}{2}\right)^7 = 0.0153 = \alpha_7$$

$$P(\text{中心线一侧出现长为 8 的链}) = 2\left(\frac{0.9973}{2}\right)^8 = 0.0076 = \alpha_8$$

$$P(\text{中心线一侧出现长为 9 的链}) = 2\left(\frac{0.9973}{2}\right)^9 = 0.0038 = \alpha_9$$

$$P(\text{中心线一侧出现长为 10 的链}) = 2\left(\frac{0.9973}{2}\right)^{10} = 0.0019 = \alpha_{10}$$

与准则 1 的  $\alpha_0 = 0.0027$  相较,  $\alpha_9 - \alpha_0 = 0.0038 - 0.0027 = 0.0011$ , 而  $\alpha_0 - \alpha_{10} = 0.0027 - 0.0019 = 0.0008$ , 可见,  $\alpha_{10}$  距离  $\alpha_0$  要比  $\alpha_9$  距离  $\alpha_{10}$  更接近一些, 但 10 点链比 9 点链要多一个点子, 且较格兰特和列文沃斯 (Grant and Levenworth) 提出的 7 点链判异准则所增点数多了些, 故取 9 点链判异。若链长 = 7 判异, 则  $\alpha_7 = 0.0153$ , 比准则 1 的  $\alpha_0$  大得太多了。

以往包括老国标 GB 4091—83 在内, 都采用 7 点链判异, 目前国外改为 9 点链判异, 这主要是因为现在推行 SPC 一般都采用电脑进行, 所有判异准则都用电脑来判断, 从而使得整个系统的  $\alpha_{\text{总}}$  增大了。不难证明:

$$\alpha_{\text{总}} \approx \sum_{i=1}^i \alpha_i$$

式中,  $\alpha_i$  为第  $i$  条判异准则的显著性水平。为了减少  $\alpha_{\text{总}}$ , 就需要减少每条判异准则各自的  $\alpha_0$ 。

准则 3: 连续 6 点递增或递减。

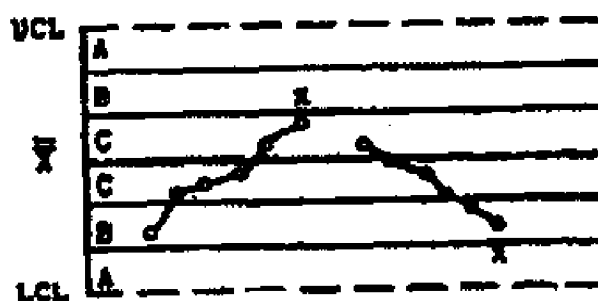


图 9.3-5 准则 3 的图示

此准则是针对过程平均值的趋势 (trend) 进行设计的, 它判定过程平均值的较小趋势要比准则 2 更为灵敏。产生趋势的原因可能是工具逐渐磨损、维修水平逐渐降低、操作人员技能的逐渐提高等, 从而使得参数随着时间而变化。由于

$$P(n \text{ 点趋势}) = \frac{2}{n!} (0.9973)^n$$

于是

$$P(5 \text{ 点趋势}) = 0.01644 = \alpha_5$$

$$P(6 \text{ 点趋势}) = 0.00273 = \alpha_6$$

$$P(7 \text{ 点趋势}) = 0.00039 = \alpha_7$$

显然,6点趋势的 $\alpha_6$ 最接近准则1的 $\alpha_0 = 0.0027$ ,故6点趋势判异是合适的。老国标 GB 4091—83 相应的内容为“7点趋势判异”,由于 $\alpha_7$ 的概率为0.00039,过小,显然不合适。

**准则4:连续14点中相邻点上下交替。**

出现本准则的现象是由于轮流使用两台设备或由两位操作人员轮流进行操作而引起的系统效应。实际上,这就是一个数据分层不够的问题。选择14点是通过统计模拟试验而得出的,以使其 $\alpha$ 大体与准则1的 $\alpha_0 = 0.0027$ 相当。



图 9.3-6 准则4的图示

**准则5:连续3点中有2点落在中心线同一侧的B区以外。**

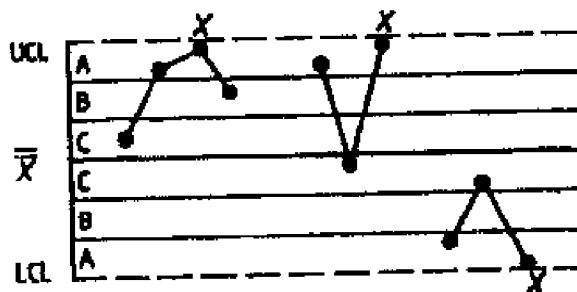


图 9.3-7 准则5的图示

过程平均值的变化通常可由本准则判定,它对于变异的增加也较灵敏。这里需要说明:三点中的两点可以是任何两点,至于这第三点可以在任何处,甚至可以根本不存在。

现在计算一下本准则的 $\alpha$ 。我们知道:点子落在中心线一侧 $2\sigma$ 界限与 $3\sigma$ 界限之间的概率为

$$\phi(3) - \phi(2) = 0.998650 - 0.977250 = 0.0214$$

3点中2个点子在中心线同一侧的A区,另一个点子在控制界限内的任何处。这表明参数 $\mu$ 产生了变化,发生这种情况的概率为

$$2 \times C_2^3 \times 0.0214^2 \times (0.9973 - 0.0214) = 0.00268$$

这与 $\alpha_0 = 0.0027$ 接近。

准则 6:连续 5 点中有 4 点落在中心线同一侧的 C 区以外。

与准则 5 类似,这第 5 点可在任何处。本准则对于过程平均值的偏移也是较灵敏的。出现本准则的现象是由于参数  $\mu$  发生了变化。

现在计算本准则的  $\alpha$ 。由于在控制图中点子落在  $1\sigma$  与  $3\sigma$  之间的概率为

$$\phi(3) - \phi(1) = 0.998650 - 0.841345 = 0.157305$$

故

$$\begin{aligned} P(5 \text{ 点中有 } 4 \text{ 点在 } A+B \text{ 区}) &= 2 \times C_5^1 \times 0.157305^4 \times (0.5 - 0.00135 - 0.157305) \\ &= 0.002081817 \approx 0.0021 \end{aligned}$$

与准则 1 的  $\alpha_0 = 0.0027$  接近。

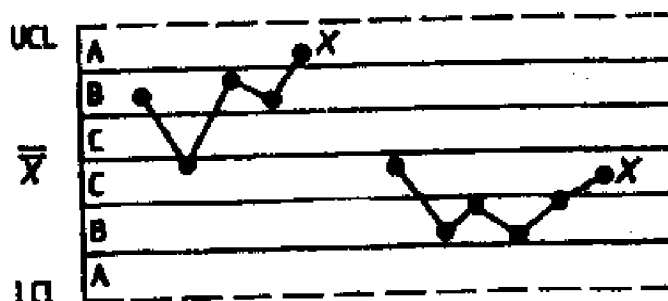


图 9.3-8 准则 6 的图示

准则 7:连续 15 点在 C 区中心线上下。

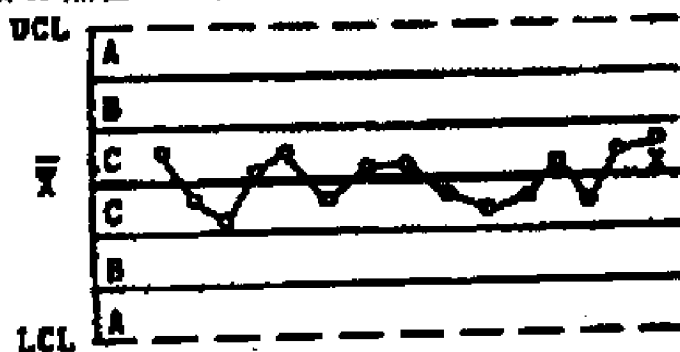


图 9.3-9 准则 7 的图示

出现本准则的现象是由于参数  $\sigma$  变小。对于本准则不要被它的良好“外貌”所迷惑,而应该注意到它的非随机性。造成本准则现象的原因可能有:数据虚假或数据分层不够等。

注意,碰到这种情况不要高兴得过早,首先需要检查下列两种可能性:

- (1) 是否应用了假数据,弄虚作假;
- (2) 是否分层不够。

在排除了上述两种可能性之后,这时才能总结现场减少标准差  $\sigma$  的先进经验。

现在分别计算下列各种点子集中在中心线附近的  $\alpha$ :

连续 14 个点子集中在中心线附近的  $\alpha$  为  $\alpha_{14} = 0.68268^{14} = 0.00478$

连续 15 个点子集中在中心线附近的  $\alpha$  为  $\alpha_{15} = 0.68268^{15} = 0.00326$

连续 16 个点子集中在中心线附近的  $\alpha$  为  $\alpha_{16} = 0.68268^{16} = 0.00223$

其中  $\alpha_{15} = 0.00326$ , 比较接近准则 1 的  $\alpha_0 = 0.0027$ , 故有准则 7。这里, 从表面上看, 似乎  $\alpha_{16} = 0.00223$  与  $\alpha_0 = 0.0027$  更稍稍接近一点, 但是连续 16 点要比连续 15 点多一个点子, 应用起来不如 15 点方便。故仍选取连续 15 点集中在中心线附近判异的准则。

准则 8: 连续 8 点在中心线两侧, 但无一在 C 区中。



图 9.3-10 准则 8 的图示

造成本准则现象的主要原因是数据分层不够, 本准则即为此而设计的。现在计算本准则的  $\alpha$ , 由于点子落在  $1\sigma$  界限与  $3\sigma$  界限之间的概率为:

$$\phi(3) - \phi(1) = 0.998650 - 0.841345 = 0.157305$$

于是本准则的

$$\begin{aligned}\alpha_8 &= 2 \times [C_8^1 + C_8^2 + C_8^3 + C_8^4 + C_8^5 + C_8^6 + C_8^7 + C_8^8] \times 0.157305^8 \\ &= 2 \times 255 \times 0.157305^8 = 0.00019121 \approx 0.0002\end{aligned}$$

类似地, 可求出:

$$\alpha_7 = 2 \times 127 \times 0.15731^7 \approx 0.0006$$

$$\alpha_6 = 2 \times 63 \times 0.15731^6 \approx 0.0019$$

$$\alpha_5 = 2 \times 31 \times 0.15731^5 \approx 0.006$$

根据上述计算, 显然  $\alpha_8 = 0.0002$  较之  $\alpha_0 = 0.0027$  过小, 而  $\alpha_6 = 0.0019$  与  $\alpha_0$  比较相当, 故作者建议将准则 8 改成: 连续 6 点在中心线两侧, 但无一在 C 区中。

### 9.3.5 局部问题对策与系统改进

#### 1. 局部问题对策

由异因造成的质量变异可用控制图发现, 通常由过程人员负责处理, 称为局部问题的对策。这类问题约占过程问题的 15%。

#### 2. 系统改进



由偶因造成的质量变异可通过分析过程能力来发现,但其改善往往耗费大量资金,须由高一级管理人员决定,称为系统改进。这类问题约占过程问题的 85%。

虽然局部问题只占 15%,但是一个系统早期出现的问题却往往是局部问题。这一点与可靠性理论中的浴盆曲线类似,参见图 9.3-11。产品的故障机理虽然不同,但大多数产品的故障率曲线形似浴盆,如图 9.3-11 所示,故将故障率曲线称为浴盆曲线。

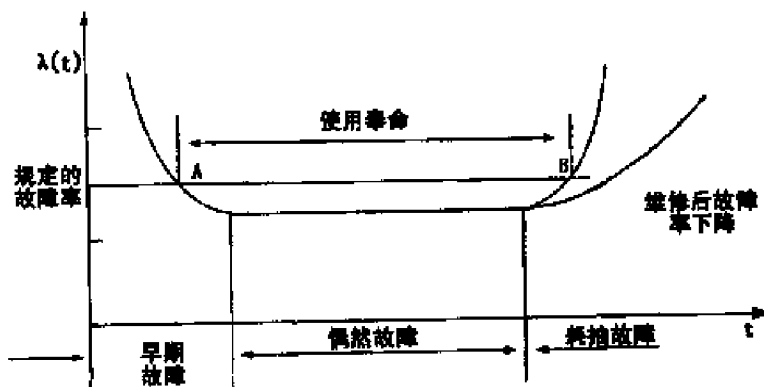


图 9.3-11 浴盆曲线

### 9.3.6 本节参考文献

- [9.3-1] 孙静、张公绪:《常规控制图标准及其应用》,中国标准出版社,2000,定价 22 元。读者如欲购买本书,请与下列单位联系:北京 100045 复兴门外三里河北街 16 号中国标准出版社朱晓滨女士,电话:010-68523906。
- [9.3-2] 孙静、张公绪:《常用管制图标准及原理》,台湾品质学会,2002 年 1 月出版。

### 本节思考题

- [9.3-1] 判稳的思路是什么? 试用简洁的语言加以叙述。
- [9.3-2] 判异的思路是什么? 试用简洁的语言加以叙述。
- [9.3-3] 前面说过,“点出界就判异”,现在在第(2)条判稳准则中,若连续 35 点中即使有一点出界也判稳,这是为什么?
- [9.3-4] 根据上述判稳准则,我们取数据至少应该取多少组?
- [9.3-5] 有了第(1)条判稳准则,为什么还需要第(2)、第(3)条判稳准则?
- [9.3-6] 判断下列图 9.3-12 中各个控制图的异常:

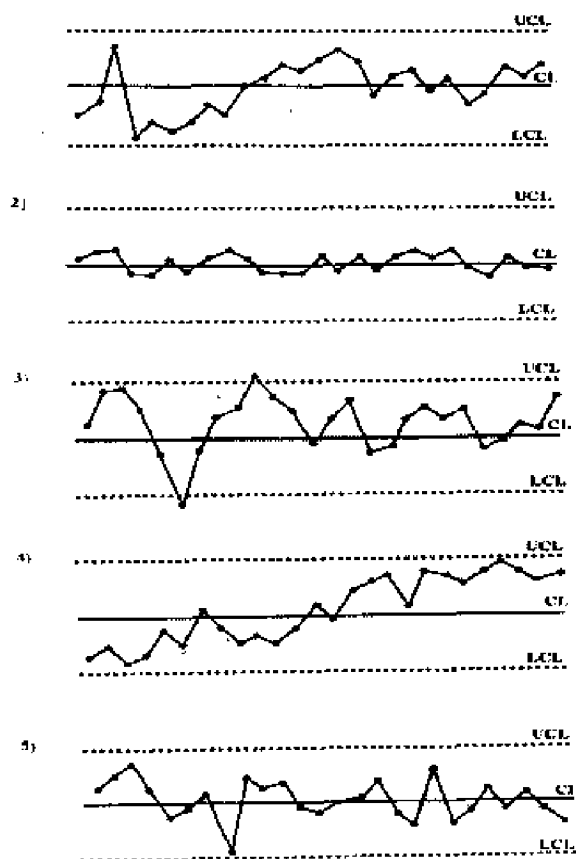


图 9.3-12 试判断上述图 1) - 5) 是否异常

### 思考题题解

- [9.3-1] 判稳准则的思路如下:打一个点子未出界,不能判稳,因为这里有两种可能性,即(1)过程本来处于稳态,(2)漏报。但如果连续有许多个点子都打在界内,情况就大不相同,这时漏报的可能性大为减少,从而可以认为过程是处于稳态的。
- [9.3-2] 判异准则的思路即小概率事件原理。
- [9.3-3] 前述“点出界就判异”是无条件概率,而后面的“连续 35 点中有一点出界”意味着,连续 34 点在界内(这是条件),只有一个点子出界(这是条件概率)。故二者完全是两码事,不能相提并论。
- [9.3-4] 根据判稳准则(1),可见至少需要 25 组数据,最好再加 5 组,共 30 组,以便发生异常时,可以将异常数据摔掉。
- [9.3-5] 由于三条判稳准则的  $\alpha$  分别为  $\alpha_1 = 0.0654$ ,  $\alpha_2 = 0.0041$ ,  $\alpha_3 = 0.0026$ ,可见它们依次递减,也即这三条判稳准则判断的可靠性依次递增。另一方面,三条判稳准则的样品个数依次递增,也即成本越来越高。故进行判稳时,应从判稳准则 1 开始,若不能判稳,则进行准则 2;若仍不能判

稳,则接着进行准则3;若准则3依旧不能判稳,则不能继续再应用判稳准则,而应该对该制程尽力查找出异因。注意,由于  $\alpha_1 = 0.0654$ ,比较大,虚报较多,应尽量采用判稳准则2与准则3为妥。

[9.3-6] 在图9.3-12的各个分图1)~5)中,判断如下:

- (1) 第4、5、6三个点符合判异准则5;第4~16点虽然不符合判异准则3,但从整体来看,仍然有个上升趋势,应予注意。
- (2) 整个图形共有26个点,符合判异准则7。
- (3) 第6、10两点出界;第2、3两点符合准则5;第18、19、20、21点符合判异准则6。
- (4) 第3、4点以及第22、23、24点符合判异准则5;第15~26点符合判异准则2,为一12点链。
- (5) 整个控制图共26个点全部都在控制界限内,且无点子排列不随机的现象,故根据判稳准则(1)给予判稳。

## 9.4 $\bar{X}-R$ 、 $\bar{X}-s$ 、 $\bar{X}-R_s$ 控制图与 p 控制图

### 9.4.1 休哈特控制图的种类及其用途

国标 GB/T 4091—2001 常规控制图是针对休哈特控制图的。根据该国标,休哈特控制图如表9.4-1所示。表中计件控制图与计点控制图又统称为计数控制图。这些控制图各有各的用途,应根据所控制对象的情况和数据性质等因素分别加以选择。表9.4-1中的二项分布和泊松分布是离散数据场合的两种典型分布,它们超出  $3\sigma$  界限的第1类错误的概率  $\alpha$  未必恰巧等于正态分布  $3\sigma$  界限的第1类错误的概率  $\alpha_0 = 0.0027$ ,但无论如何总是个相当小的概率。因此,可以应用与正态分布情况类似的论证,从而建立 p、np、u、c 等控制图。

表 9.4-1 休哈特控制图

数据	分布	控制图	简记	备注
计量值	正态分布	均值-极差控制图	$\bar{X}-R$ 控制图	
		均值-标准差控制图	$\bar{X}-s$ 控制图	
		中位数-极差控制图	$\tilde{X}-R$ 控制图	
		单值-移动极差控制图	$X-R_s$ 控制图	
计件值	二项分布	不合格品率控制图	p 控制图	
		不合格品数控制图	np 控制图	
计点值	泊松分布	单位不合格数控制图	u 控制图	
		不合格数控制图	c 控制图	

现在简单说明各个控制图的用途:

(1)  $\bar{X}-R$  控制图。对于计量数据而言,这是最常用最基本的控制图。它用于控制对象为长度、重量、强度、纯度、时间、收率和生产量等计量值的场合。

$\bar{X}$  控制图主要用于观察正态分布的均值的变化, $R$  控制图用于观察正态分布的分散或变异的变化,而  $\bar{X}-R$  控制图则将二者联合运用,用于观察正态分布的变化。

(2)  $\bar{X}-s$  控制图与  $\bar{X}-R$  图相似,只是用标准差( $s$ )图代替极差( $R$ )图而已。极差计算简便,故  $R$  图得到广泛应用,但当样本大小  $n > 10$  时,应用极差估计总体标准差  $\sigma$  的效率减低,需要应用  $s$  图来代替  $R$  图。现在由于微机的应用已经普及, $s$  图的计算已经不成问题,故控制  $\bar{X}-s$  图的应用也将越来越广泛。

(3)  $\tilde{X}-R$  控制图与  $\bar{X}-R$  图也很相似,只是用中位数图( $\tilde{X}$  图)代替均值图( $\bar{X}$  图)。所谓中位数即指在一组按大小顺序排列的数列中居中的数。例如,在以下数列中 2、3、7、13、18,中位数为 7。又如,在以下数列中 2、3、7、9、13、18,共有偶数个数据。这时,规定中位数为中间两个数的均值。在本例即  $(7+9)/2 = 8$ 。由于中位数的计算比均值简单,所以多用于现场需要把测定数据直接记入控制图进行控制的场合,这时,为了简便,自然规定为奇数个数据。应用中位数还有一个好处,即它受到异常数据的影响较小,但如果严格按照规定来收集数据,则异常数据也不会很多。现在现场推行 SPC,多应用电脑,计算平均值已经不成问题,故  $\tilde{X}-R$  控制图的应用逐渐减少。

(4)  $X$  控制图。多用于下列场合:对每一个产品都进行检验,采用自动化检查和测量的场合;取样费时、昂贵的场合;以及如化工等气体与液体流程式过程,产品均匀,多抽样也无太大意义的场合。由于它不像前三种控制图那样取得较多的信息,所以它判断过程变化的灵敏度也要差一些。

(5)  $p$  控制图。用于控制对象为不合格品率或合格品率等计数质量指标的场合。这里需要注意的是,在根据多种检查项目综合起来确定不合格品率的情况,当控制图显示异常后难以找出异常的原因。因此,使用  $p$  图时应选择重要的检查项目作为判断不合格品的依据。 $p$  图用于控制不合格品率、废品率、交货延迟率、缺勤率、邮电、铁道部门的各种差错率等。

(6)  $np$  控制图。用于控制对象为不合格品数的场合。设  $n$  为样本大小, $p$  为不合格品率,则  $np$  为不合格品个数。故取  $np$  作为不合格品数控制图的简记记号。由于当样本大小  $n$  变化时  $np$  控制图的控制线全都成为凹凸状,比较麻烦,故只在样本大小相同的情况下,才应用此图。

(7)  $c$  控制图。用于控制一部机器,一个部件,一定的长度,一定的面积或任何一定的单位中所出现的不合格数目。如布匹上的疵点数,铸件上的砂眼数,机器设备的不合格数或故障次数,电子设备的焊接不良数、传票的误记数,每页印刷错误数,办公室的差错次数等等。

(8)  $u$  控制图。当上述一定的单位,也即样品的大小保持不变时可以应用  $c$  控

制图,而当样品的大小变化时则应换算为平均每单位的不合格数后再使用  $u$  控制图。例如,在制造厚度为 2mm 的钢板的生产过程中,一批样品是  $2\text{m}^2$  的,下一批样品是  $3\text{m}^2$  的。这时就应都换算为平均每平方米的不合格数,然后再对它进行控制。

现在对表 9.4-1 的常规控制图进行一些评论如下:

1. 计量控制图:由于现在电脑的应用很普及, $\bar{X}-s$  控制图的计算毫无困难,而且不论样本大小  $n$  是否大于 10, $\bar{X}-s$  图计算的结果都是精确的,故  $\bar{X}-s$  图完全可以代替  $\bar{X}-R$  图。其次, $\tilde{X}-R$  控制图也是在电脑出现以前提出的,用中位数代替平均数,以便迅速反映现场。现在有了电脑,故也可淘汰了。

2. 计件控制图:由于  $p$  图、 $np$  图的控制界限都呈凹凸状,不但作图不便,更无法判异、判稳,故应采用通用不合格品数  $np_T$  图来取代。

3. 计点控制图:由于  $u$  图、 $c$  图的控制界限都呈凹凸状,不但作图不便,更无法判异、判稳,故应采用通用不合格数  $c_T$  图来取代。

4. 因此,在表 9.4-1 的常规休哈特控制图中,真正起作用的不过是图  $\bar{X}-s$ 、图  $X-R_s$ 、 $np_T$  图与  $c_T$  图四种控制图而已。

### 9.4.2 应用控制图需要考虑的一些问题

应用控制图需要考虑以下一些问题:

(1) 控制图用于何处? 原则上讲,对于任何过程,凡需要对质量进行控制的场合都可以应用控制图。但这里还要求:对于所确定的控制对象—统计量应能够定量,这样才能够应用计量值控制图。如果只有定性的描述而不能够定量,那就只能应用计数控制图。所控制的过程必须具有重复性,即具有统计规律。对于只有一次性或少数几次的过程,显然难于应用控制图进行控制。

(2) 如何选择控制对象? 一个过程往往具有各种各样的特性,在使用控制图时应选择能够真正代表过程的主要指标作为控制对象。例如,假定某产品在强度方面有问题,就应该选择强度作为控制对象。在电动机装配车间,如果对于电动机轴的尺寸要求很高,这就需把机轴直径作为我们的控制对象。在电路板沉铜缸,由于甲醛( $\text{HCHO}$ )、 $\text{NaOH}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$  的浓度以及沉铜速率多个指标之间具有相关性,就需要选择所有这些指标进行多元控制。

(3) 怎样选择控制图? 选择控制图主要考虑下列几点:首先根据所控制质量指标的数据性质来进行选择,如数据为连续值的应选择  $\bar{X}-R$  图, $\bar{X}-s$  图, $\bar{X}-R_s$  图等;数据为计件值的应选择  $p$  或  $np$  图,数据为计点值的应选择  $c$  或  $u$  图。其次,要确定过程中的异常因素是全部加以控制(全控)还是部分加以控制(选控),若为全控应采用常规控制图等;若为选控,应采用选控图,参见第 9.6.4 节;若为单指标可选择单指标或一元控制图,若为多指标则须选择多指标控制图,参见第 9.6.9 节。最后,还需要考虑其它要求。如检出力大小,抽取样品、取得数据的难易和是否经济等等,例如,要求检出力大可采用成组数据的控制图,如控制图。

(4) 如何分析控制图? 如果在控制图中点子未出界,同时点子的排列也是随机的,则认为生产过程处于稳定状态或统计控制状态。如果控制图点子出界或界内点排列非随机,就认为生产过程失控。

对于应用控制图的方法还不够熟悉的工作人员来说,即使在控制图点子出界的场合,也首先应该从下列几方面进行检查:样品的取法是否随机? 测量有无差错? 数字的读取是否正确? 计算有无错误? 描点有无差错? 然后再来调查过程方面的原因,经验证明这点十分重要。

(5) 对于点子出界或违反其他准则的处理。若点子出界或界内点排列非随机,应执行第 9.2 节的“20 字方针”,立即追查原因并采取措施防止它再次出现。

对于过程而言,控制图起着告警铃的作用,控制图点子出界就好比告警铃响,告诉工作人员现在应该执行“20 字方针”了。但一般来说,控制图只起告警铃的作用,而不能告知这种告警究竟是由什么异常因素造成的。要找出造成异常的原因,除去根据生产和管理方面的技术与经验来解决外,应该强调指出,应用两种质量诊断理论和两种质量多因素诊断理论来诊断的方法是十分重要的,参见第 9.6 节。

(6) 控制图的重新制定。控制图是根据稳态下的条件(人员、设备、原材料、工艺方法、测量、环境,即 5M1E)来制定的。如果上述条件变化,如操作人员更换或通过学习操作水平显著提高,设备更新,采用新型原材料或更换其它原材料,改变工艺参数或采用新工艺,环境改变等,这时,控制图也必须重新加以制定。由于控制图是科学管理生产过程的重要依据,所以经过相当时间的使用后应重新抽取数据,进行计算,加以检验。

(7) 控制图的保管问题。控制图的计算以及日常的记录都应作为技术资料加以妥善保管。对于点子出界或界内点排列非随机的异常情况以及当时的处理情况都应予以记录,因为这些都是以后出现异常时查找原因的重要参考资料。有了长期保存的记录,便能对该过程的质量水平有清楚的了解,这对于今后在产品设计和制定规范方面都是十分有用的。

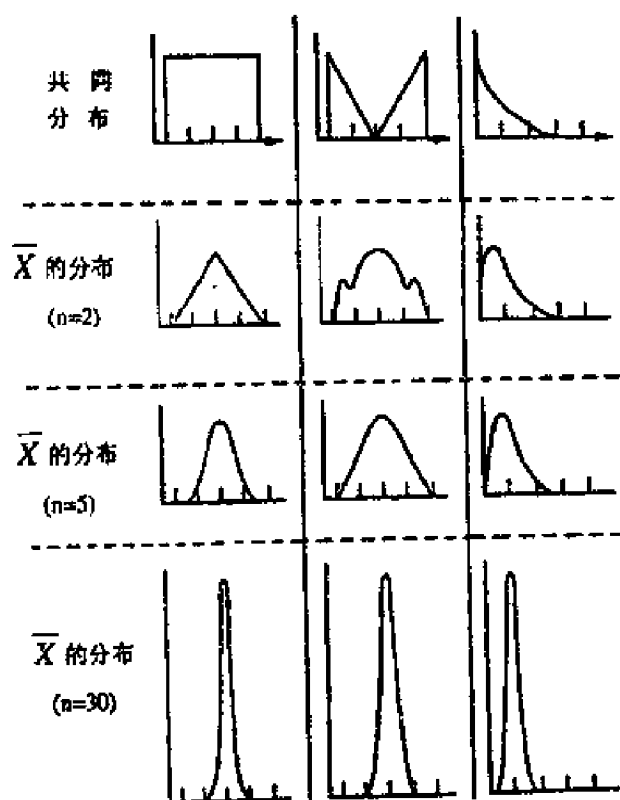
### 9.4.3 $\bar{X}-R$ 控制图

1.  $\bar{X}-R$  控制图是计量值最常用、最重要的控制图

由于适用范围广,灵敏度高,故  $\bar{X}-R$  控制图是计量值最常用、最重要的控制图。

(1) 关于适用范围:

$\bar{X}$  图:若  $X$  服从正态分布,则易证  $\bar{X}$  也服从正态分布;若  $X$  非正态分布,则根据中心极限定理。可证  $\bar{X}$  近似服从正态分布,参见图 9.4-1。关键是这后一点才使得  $\bar{X}$  图得以广为应用。因此,可以说,只要是计量数据,应用  $\bar{X}$  图总是没有问题的。

图 9.4-1  $\bar{X}$  样本的分布

R 图:通过在计算机上的模拟试验证实:只要  $X$  不是非常不对称的,则  $R$  的分布无大的变化,故也适用范围广。

(2) 关于灵敏度高:

$\bar{X}$  图:由于偶波的存在,一个样本组的各个  $X$  的数值通常不会都相等,有的偏大,有的偏小,这样把它们加起来求平均值,偶波就会抵消一部分,故标准差减小,从而控制图 UCL 与 LCL 的间隔缩小。但对于异波而言,由于一般异波所产生的变异往往是同一个方向的,故求平均值的操作对其并无影响。因此,当异常时,描点出界就更加容易了,也即灵敏度高。

R 图:无此优点。

## 2. $\bar{X}-R$ 图的控制线

表 9.4-1 预备数据

组号	观测值					样本均值	样本极差	
$i$	$x_{i1}$	$x_{i2}$	$x_{i3}$	$x_{i4}$	$x_{i5}$	$\bar{X}_i$	$R_i$	$i=1, \dots, m,$ $m$ 为样本组数目。

为了求出估计值,需要收集预备数据如表 9.4-1。从表 9.4-1 的数据可求得:

总平均值为

$$\bar{\bar{X}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{X}_i$$

式中,  $m$  为样本组组数。极差为

$$R_i = X_{i\max} - X_{i\min}$$

式中,  $X_{i\max}$  为第  $i$  组样本组中的最大值,  $X_{i\min}$  为第  $i$  组样本组中的最小值, 极差平均值为

$$\begin{aligned}\bar{R} &= \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m R_i \\ UCL_{\bar{X}} &= \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \\ CL_{\bar{X}} &= \bar{\bar{X}} \\ LCL_{\bar{X}} &= \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}\end{aligned}\quad (9.4-1)$$

式中,  $A_2 = \frac{3}{d_2 \sqrt{n}}$ , 参见表 9.4-2 或本节表 9.4-5 计量控制图系数表。

表 9.4-2 系数  $A_2$

n	2	3	4	5	6	7	8
$A_2$	1.880	1.023	0.729	0.577	0.483	0.419	0.373

$$\begin{aligned}UCL_R &= D_4 \bar{R} \\ CL_R &= \bar{R} \\ LCL_R &= D_3 \bar{R}\end{aligned}\quad (9.4-2)$$

式中, 系数  $D_3$ 、 $D_4$  分别为:

$$D_3 = 1 - 3d_3/d_2 \quad D_4 = 1 + 3d_3/d_2$$

$D_3$ 、 $D_4$  为与样本大小  $n$  有关的系数, 参见表 9.4-2 或表 9.4-5 计量控制图系数表。

表 9.4-3  $D_3$ 、 $D_4$  系数表

n	2	3	4	5	6	7	8
$D_3$	0	0	0	0	0	0.076	0.136
$D_4$	3.267	2.574	2.282	2.114	2.004	1.924	1.864

注: 表中的 0 表示 LCL 为负值, 但  $R$  不可能为负, 故  $LCL=0$  仅表示为  $R$  的自然下界, 而非下控界。为了更清晰地表示这一点, 可将下控界写成:  $LCL=-$ 。

### 3. $\bar{X}$ 图与 $R$ 图应该先作哪一张图?

现将图与  $R$  图控制线的公式并列在下面:

$$\begin{aligned}UCL_{\bar{X}} &= \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \\ CL_{\bar{X}} &= \bar{\bar{X}} \\ LCL_{\bar{X}} &= \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}\end{aligned}$$



$$UCL_R = D_4 \bar{R}$$

$$CL_R = \bar{R}$$

$$LCL_R = D_3 \bar{R}$$

请大家分析:在  $\bar{X}-R$  图中,应该先作哪一张图?

(1) 如果先作  $\bar{X}$  图,则由于这时  $R$  图还未判稳,  $\bar{R}$  的数据不可用,故不可行。

(2) 如果先作  $R$  图,则由于  $R$  图中只有  $\bar{R}$  一个数据,可行。等  $R$  图判稳后,再作  $\bar{X}$  图。

故作  $\bar{X}-R$  图应倒过来作,先作  $R$  图,  $R$  图判稳后,再  $\bar{X}$  作图。若  $R$  图未判稳,则永不能开始作  $\bar{X}$  图。国标 GB/T 4091—2001 也规定了在  $\bar{X}-R$  图中必须先作  $R$  图。不但如此,注意,所有正态分布的控制图都必须倒过来作。多元正态控制图也要倒过来作。

#### 4. $\bar{X}-R$ 控制图的操作步骤

步骤 1: 确定控制对象,或称统计量(statistic)。

这里要注意下列各点:

- (1) 选择技术上最重要的控制对象。
- (2) 若指标之间有因果关系,则宁可取作为因的指标为统计量。
- (3) 控制对象可以是多个,这时需要应用多指标控制图与多指标诊断。
- (4) 控制对象要明确,并为大家理解与同意。
- (5) 控制对象要能以数字来表示。
- (6) 控制对象要选择容易测定并对过程容易采取措施者。
- (7) 直接选择控制对象有困难时可采用代用特性进行测定。

步骤 2: 取预备数据(preliminary data)

(1) 至少取 25 组(根据判稳准则(1))。

(2) 样本量(sample size)取为多少? 显然,若样本量过小,则计算不精确;反之,由图 9.4-2 可见,若样本量大于 5,则增加精确性不多,故国标推荐样本量为 4 或 5。

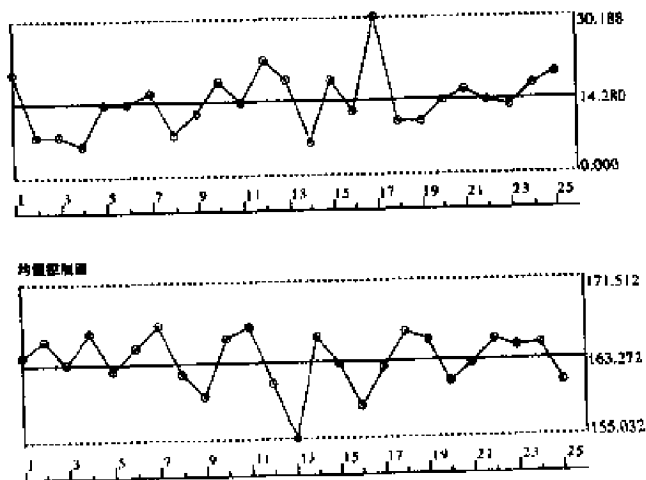


图 9.4-2  $\bar{X}$  图样本量的确定

### (3) 合理子组原则(principle of rational subgroup):

合理子组原则是休哈特亲自提出的原则,其内容是:“组内差异只由偶因造成,组间差异主要由异因造成”。其中,前一句的目的是保证控制图上下控制界线的间隔距离  $6\sigma$  为最小,从而对异因能够及时发出统计信号。由此我们在取样本组时应在过程条件保持不变时来取或在短间隔内取,以避免异因进入。根据后一句,为了便于发现异因,在过程不稳,变化激烈时应多抽取样本,而在过程平稳时,则可少抽取样本。

如不遵守上述合理子组原则,则在最坏情况下,甚至可使控制图失去控制的作用。

步骤 3: 计算  $\bar{X}_i, R_i$ 。

步骤 4: 计算  $\bar{\bar{X}}, \bar{R}$ 。

步骤 5: 计算 R 图控制线并作图。

步骤 6: 将预备数据在 R 图中打点,判稳。

若稳,则进行步骤 7; 若不稳,则执行第 9.2 节的 20 字方针后转入步骤 2 重新开始。

步骤 7: 计算  $\bar{X}$  图控制线并作图。将预备数据在  $\bar{X}$  图中打点,判稳。

若稳,则进行步骤 8; 若不稳,则执行第 9.2 节的“20 字方针”后转入步骤 2 重新开始。

步骤 8: 计算过程能力指数并检验其是否满足技术要求

若过程能力指数满足技术要求,则转入步骤 9。

若过程能力指数不满足技术要求,则需调整过程直至过程能力指数满足技术要求为止。

步骤 9: 延长  $\bar{X}-R$  控制图的控制线,作控制用控制图,进行日常管理。

上述步骤 1~步骤 8 为分析用控制图。上述步骤 9 为控制用控制图。

#### 5. $\bar{X}-R$ 控制图示例

、 [实例 9.4-1] 某手表厂为了提高手表的质量,应用排列图分析造成手表不合格品的各种原因,发现“停摆”占第一位。为了解决停摆问题,再次应用排列图分析造成停摆的原因,结果发现主要是由于螺栓脱落造成的。而后者是由螺栓松动造成的。为此厂方决定应用控制图对装配作业中的螺栓扭矩进行过程控制。

分析: 螺栓扭矩是一计量特性值,故可选用基于正态分布的计量控制图。又由于本例是大量生产,不难取得数据,故决定选用灵敏度高的  $\bar{X}-R$  图。

[解]: 我们按照下列步骤建立  $\bar{X}-R$  图:

步骤 1: 取预备数据,然后将数据合理分成 25 组,参见表 9.4-4。

表 9.4-4 实例 9.4-1 的数据与图计算表

序号	观测值					$\sum_{j=1}^5 x_{ij}$ (6)	$\bar{x}_i$ (7)	R (8)	备注 (9)
	$X_{i1}$ (1)	$X_{i2}$ (2)	$X_{i3}$ (3)	$X_{i4}$ (4)	$X_{i5}$ (5)				
1	154	174	164	166	162	820	164.0	20	
2	166	170	162	166	164	828	165.6	8	
3	168	166	160	162	160	816	163.2	8	
4	168	164	170	164	166	832	166.4	6	
5	153	1656	162	165	167	812	162.4	14	
6	164	158	162	172	168	824	164.8	14	
7	167	169	159	175	165	835	167.0	16	
8	158	160	162	164	166	810	162.0	8	
9	156	162	164	152	164	798	159.6	12	
10	174	162	162	156	174	828	165.6	18	
11	168	174	166	160	166	934	166.8	14	
12	148	160	162	164	170	804	160.8	22	
13	165	159	147	153	151	775	155.0	18	超出 $\bar{X}$ 图 LCL
14	164	166	164	170	164	828	165.6	6	
15	162	158	154	168	172	814	162.8	18	
16	158	162	156	164	152	792	158.4	12	
17	151	158	154	181	168	812	162.4	30	
18	166	166	172	164	162	830	166.0	10	
19	170	170	166	160	160	826	165.2	10	
20	168	160	162	154	160	804	160.8	14	
21	162	164	165	169	153	813	162.6	16	
22	166	160	170	172	158	826	165.2	14	
23	172	164	159	167	160	822	164.4	13	
24	174	164	166	157	162	823	164.6	17	
25	151	160	164	158	170	803	160.6	19	
表中, $i=1,2,\dots,25$ 。						$\Sigma$ 均值	4082.2 163.288	357 14.280	

步骤 2: 计算各组样本的平均数。例如, 第一组样本的平均值为

$$\bar{x}_1 = \frac{154 + 174 + 164 + 166 + 162}{5} = 164.0$$

其余参见表 9.4-4 中第(7)栏。

步骤 3: 计算各组样本的极差  $R_i$ 。例如, 第一组样本的极差为

$$R_1 = \max\{x_i\} - \min\{x_i\} = 174 - 154 = 20$$

其余参见表 9.4-4 中第(8)栏。

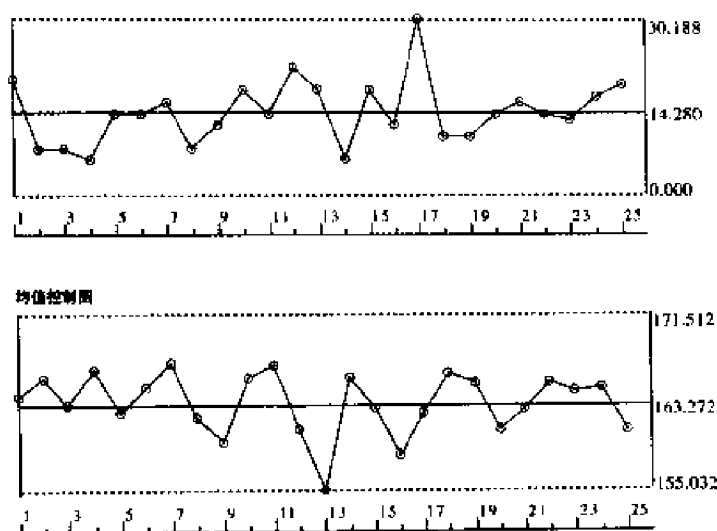


图 9.4-2 实例 9.4-1 的第一次图

步骤 4: 计算样本总均值  $\bar{\bar{X}}$  与平均样本极差  $\bar{R}$ 。由于  $\sum \bar{X}_i = 4082.2$ ,  $\sum R = 357$ , 参见表 9.4-4 末行, 故

$$\bar{\bar{X}} = 163.288, \bar{R} = 14.280$$

步骤 5: 计算 R 图的参数。

先计算 R 图的参数。从表 9.4-5 可知, 当样本大小  $n = 5$ ,  $D_4 = 2.114$ ,  $D_3 = 0$ , 代入 R 图的公式, 得到

$$UCL_R = D_4 \bar{R} = 2.144 \times 14.280 = 30.188$$

$$CL_R = \bar{R} = 14.280$$

$$LCL_R = D_3 \bar{R} = -$$

参见图 9.4-2。可见现在 R 图判稳。故接着再建立  $\bar{X}$  图。由于  $n = 5$ , 从表 9.4-2 知  $A_2 = 0.577$ , 再将  $\bar{\bar{X}} = 163.288$ ,  $\bar{R} = 14.280$  代入图的公式, 得到

$\bar{X}$  图:

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} = 163.288 + 0.577 \times 14.280 = 171.527 \approx 171.53$$

$$CL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} = 163.288 \approx 163.29$$

$$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} = 163.288 - 0.577 \times 14.280 = 155.048 \approx 155.05$$

可见, 第 13 组  $\bar{X}$  值为 155.00 小于  $LCL_{\bar{X}}$ , 故过程的均值失控。经调查其原因后, 改进夹具, 并采取措施防止这种现象再次发生。然后去掉第 13 组数据, 再重新计算 R 图与  $\bar{X}$  图的参数。此时, (注意, 若改进夹具影响到过程, 则需重新收集数据)。

$$\bar{R}' = \frac{\sum R}{24} = \frac{357 - 18}{24} = \frac{339}{24} = 14.125$$

$$\bar{\bar{X}}' = \frac{\sum \bar{X}}{24} = \frac{4082.2 - 155.0}{24} = \frac{3927.2}{24} = 163.633$$

代入 R 图与  $\bar{X}$  图的公式, 得到

R 图:

$$UCL_R = D_4 \bar{R}' = 2.144 \times 14.125 = 29.860 \approx 29.86$$

$$CL_R = \bar{R}' = 14.1250 \approx 14.13$$

$$LCL_R = D_3 \bar{R}' = 0$$

从表 9.4-4 可见, R 图中第 17 组  $R = 30$  出界。于是再次执行第 9.2 节的“20 字方针”后, 舍去第 17 组数据, 从新计算如下:

$$\bar{R}'' = \frac{\sum R}{23} = \frac{339 - 30}{23} = 13.435$$

$$\bar{\bar{X}}'' = \frac{\sum \bar{X}}{23} = \frac{3927.2 - 162.4}{23} = \frac{3764.8}{23} = 163.687$$

R 图:

$$UCL_R = D_4 \bar{R}'' = 2.144 \times 13.435 = 28.402 \approx 28.40$$

$$CL_R = \bar{R}'' = 13.435 \approx 13.44$$

$$LCL_R = D_3 \bar{R}'' = -$$

从表 9.4-4 可见, R 图可判稳。于是计算  $\bar{X}$  图如下:

$\bar{X}$  图:

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}}'' + A_2 \bar{R}'' = 163.687 + 0.577 \times 13.435 = 171.439 \approx 171.44$$

$$CL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}}'' = 163.687 \approx 163.69$$

$$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}}'' - A_2 \bar{R}'' = 163.687 - 0.577 \times 13.435 = 155.953 \approx 155.94$$

将其余 23 组样本的极差值与均值分别点绘于 R 图与  $\bar{X}$  图上, 参见图 9.4-3, 根据判稳准则, 知此时过程的波动与均值均处于稳态。

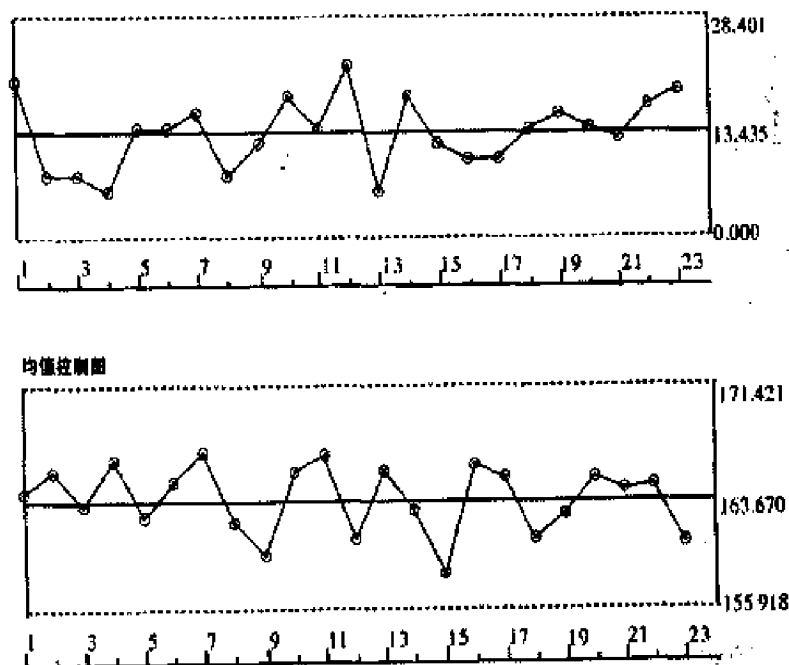


图 9.4-3 实例 9.4-1 的第 2 次  $\bar{X}$ -R 图

步骤 6: 与规范进行比较。

已经给定公差为:  $S_L = 100$ ,  $S_U = 200$ 。现应用全部预备数据作直方图并与规范进行比较, 参见图 9.4-4。

由图 9.4-4 可见,数据的分布与公差相比较有较多的余量,因此,虽然其平均值并未对准公差中心,不加以调整,问题也不会太大。若加以调整则还可提高过程能力指数,即减少不合格品率,或者也可从技术角度出发考虑适当减小公差范围。当然,若加以调整则需要重新计算相应的  $\bar{X}-R$  图。

步骤 7:延长上述  $\bar{X}-R$  图的控制线,对工序进行日常控制。

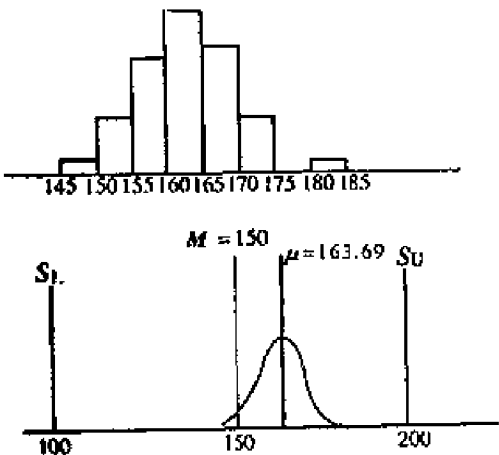


图 9.4-4 与公差对比

表 9.4-5 计量控制图系数表

样本大小	均值控制图			标准差控制图								公差控制图					
	控制界限系数			中心线系数		控制界限系数				中心线系数		控制界限系数				控制界限系数	
	A	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	c <sub>1</sub>	1/c <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	d <sub>1</sub>	1/d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	m, m <sub>1</sub> , d <sub>2</sub>
2	2.121	1.880	2.659	0.7979	1.2533	0	3.267	0	2.606	1.128	0.8865	0.853	0	3.686	0	3.267	1.000 1.890
3	1.732	1.623	1.954	0.8862	1.1284	0	2.568	0	2.276	1.693	0.5907	0.888	0	4.358	0	2.574	1.150 1.187
4	1.500	0.729	1.628	0.9213	1.0854	0	2.266	0	2.088	2.089	0.4857	0.880	0	4.698	0	2.282	1.082 0.796
5	1.342	0.577	1.427	0.9400	1.0638	0	2.089	0	1.964	2.326	0.4299	0.864	0	4.918	0	2.114	1.198 0.691
6	1.225	0.483	1.287	0.9515	1.0510	0.030	1.970	0.029	1.874	2.534	0.3946	0.848	0	5.078	0	2.004	1.135 0.549
7	1.134	0.419	1.182	0.9594	1.0423	0.118	1.882	0.113	1.806	2.704	0.3698	0.833	0.204	5.204	0.076	1.924	1.214 0.509
8	1.061	0.373	1.099	0.9650	1.0363	0.185	1.815	0.179	1.751	2.847	0.3512	0.820	0.388	5.306	0.136	1.864	1.160 0.432
9	1.000	0.337	1.032	0.9693	1.0317	0.239	1.761	0.232	1.707	2.970	0.3367	0.808	0.547	5.393	0.184	1.816	1.223 0.412
10	0.949	0.308	0.975	0.9727	1.0281	0.284	1.716	0.276	1.669	3.078	0.3249	0.797	0.687	5.469	0.223	1.777	1.176 0.363
11	0.905	0.285	0.927	0.9754	1.0252	0.321	1.679	0.313	1.637	3.173	0.3152	0.787	0.811	5.535	0.256	1.744	
12	0.866	0.266	0.886	0.9776	1.0229	0.354	1.646	0.346	1.610	3.258	0.3069	0.778	0.922	5.594	0.283	1.717	
13	0.832	0.249	0.850	0.9794	1.0210	0.382	1.618	0.374	1.585	3.336	0.2998	0.770	1.025	5.647	0.307	1.693	
14	0.802	0.235	0.817	0.9810	1.0194	0.406	1.594	0.399	1.563	3.407	0.2935	0.763	1.118	5.696	0.328	1.672	
15	0.775	0.223	0.789	0.9823	1.0180	0.428	1.572	0.421	1.544	3.472	0.2880	0.756	1.203	5.741	0.347	1.653	
16	0.750	0.212	0.763	0.9835	1.0168	0.448	1.552	0.440	1.526	3.532	0.2831	0.750	1.282	5.782	0.363	1.637	
17	0.728	0.203	0.739	0.9845	1.0157	0.466	1.534	0.458	1.511	3.588	0.2787	0.744	1.356	5.820	0.378	1.622	
18	0.707	0.194	0.718	0.9854	1.0148	0.482	1.518	0.475	1.496	3.640	0.2747	0.739	1.424	5.856	0.391	1.608	
19	0.688	0.187	0.698	0.9862	1.0144	0.497	1.503	0.490	1.483	3.689	0.2711	0.734	1.487	5.891	0.403	1.597	
20	0.671	0.180	0.680	0.9869	1.0133	0.510	1.490	0.504	1.470	3.735	0.2677	0.729	1.549	5.921	0.415	1.585	
21	0.655	0.173	0.663	0.9876	1.0126	0.523	1.477	0.516	1.459	3.778	0.2647	0.724	1.605	5.951	0.425	1.575	
22	0.640	0.167	0.647	0.9882	1.0119	0.534	1.466	0.528	1.448	3.819	0.2618	0.720	1.659	5.979	0.434	1.566	
23	0.626	0.162	0.633	0.9887	1.0114	0.545	1.455	0.539	1.438	3.858	0.2592	0.716	1.710	6.006	0.443	1.557	
24	0.612	0.157	0.619	0.9892	1.0109	0.555	1.445	0.549	1.429	3.895	0.2567	0.712	1.759	6.031	0.451	1.548	
25	0.600	0.153	0.606	0.9896	1.0105	0.565	1.435	0.559	1.420	3.931	0.2544	0.708	1.806	6.056	0.459	1.541	

$$\text{当 } n > 25, A = \frac{3}{\sqrt{n}}, A_3 = \frac{3}{C_4 \sqrt{n}}, C_4 = \frac{4(n-1)}{4n-3}, B_3 = 1 - \frac{3}{C_4 \sqrt{2(n-1)}},$$

$$B_4 = 1 + \frac{3}{C_4 \sqrt{2(n-1)}}, B_5 = c_4 - 3 \sqrt{1 - c_4^2}, B_6 = c_4 + 3 \sqrt{1 - c_4^2}$$

#### 9.4.4 $\bar{X} - s$ 控制图

当样本量  $n > 10$ , 应采用  $\bar{X} - R$  控制图。

$\bar{X} - s$  控制图控制界限公式的推导与  $\bar{X} - R$  控制图类似, 只是用  $s$  图代替  $R$  图而已。

根据  $3\sigma$  方式有

$$UCL_s = \mu_s + 3\sigma_s$$

$$CL_s = \mu_s$$

$$LCL_s = \mu_s - 3\sigma_s$$

由数理统计知, 若样本来自正态总体, 则

$$E(s) = c_4 \sigma$$

$$\sigma_s = \sigma \sqrt{1 - c_4^2}$$

式中,  $c_4$  为一与样本量  $n$  有关的常数。于是

$$UCL_s = \mu_s + 3\sigma_s = c_4 \sigma + 3\sigma \sqrt{1 - c_4^2}$$

$$CL_s = \mu_s = c_4 \sigma$$

$$LCL_s = \mu_s - 3\sigma_s = c_4 \sigma - 3\sigma \sqrt{1 - c_4^2}$$

若总体参数  $\sigma$  已知, 则  $s$  图的参数为

$$UCL_s = c_4 \sigma + 3\sigma \sqrt{1 - c_4^2} = B_6 \sigma$$

$$CL_s = c_4 \sigma$$

$$LCL_s = c_4 \sigma - 3\sigma \sqrt{1 - c_4^2} = B_5 \sigma$$

(9.4-3)

式中

$$B_5 = c_4 - 3 \sqrt{1 - c_4^2}$$

$$B_6 = c_4 + 3 \sqrt{1 - c_4^2}$$

这里, 系数  $B_5$  与  $B_6$  见表 9.4-5。

若总体参数  $\sigma$  未知, 则需要根据过去的数据进行估计。

从  $E(s) = c_4 \sigma$ , 我们有  $\hat{\sigma} = \bar{s}/c_4$ ,

这里,

$$\bar{s} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m s_i$$

于是得到  $\sigma$  未知情形的  $s$  图的参数为

$$UCL_s = \bar{s} + 3 \frac{\bar{s}}{c_4} \sqrt{1 - c_4^2}$$

$$UCL_s = \bar{s}$$

$$LCL_s = \bar{s} - 3 \frac{\bar{s}}{C_4} \sqrt{1 - c_4^2}$$

定义

$$B_3 = 1 - \frac{3}{C_4} \sqrt{1 - c_4^2}$$

$$B_4 = 1 + \frac{3}{C_4} \sqrt{1 - c_4^2}$$

于是得到  $\sigma$  未知情形的  $s$  图的参数为

$$\begin{aligned} UCL_s &= B_4 \bar{s} \\ CL_s &= \bar{s} \\ LCL_s &= B_3 \bar{s} \end{aligned} \quad (9.4-4)$$

式中,系数  $B_3$ 、 $B_4$  见表 9.4-5。

应用  $\bar{X}-s$  控制图时,为取得一致,相应的  $\bar{X}$  图的参数也需要应用  $\bar{s}/C_4$  来估计  $\sigma$ ,于是  $\bar{X}$  图的参数为

$$\begin{aligned} UCL_{\bar{X}} &= \bar{\bar{X}} + \frac{3\bar{s}}{C_4 \sqrt{n}} \\ CL_{\bar{X}} &= \bar{\bar{X}} \\ LCL_{\bar{X}} &= \bar{\bar{X}} - \frac{3\bar{s}}{C_4 \sqrt{n}} \end{aligned}$$

令

$$A_3 = \frac{3}{C_4 \sqrt{n}}$$

由此, $\bar{X}$  图的参数可写成

$$\begin{aligned} UCL_{\bar{X}} &= \bar{\bar{X}} + A_3 \bar{s} \\ CL_{\bar{X}} &= \bar{\bar{X}} \\ LCL_{\bar{X}} &= \bar{\bar{X}} - A_3 \bar{s} \end{aligned} \quad (9.4-5)$$

系数  $A_3$  参见表 9.4-5。

#### 9.4.5 $\bar{X}-R_s$ 控制图

现在样本大小为 1,所以对过程标准差  $\sigma$  的估计要通过相邻两个样本间的移动极差  $R_s$  来进行。设从过程抽取的样本为  $x_i, i=1, 2, \dots, n$ ,则移动极差定义为

$$R_s = |x_i - x_{i+1}|, i=1, 2, \dots, n-1 \quad (9.4-6)$$

而平均移动极差为

$$\bar{R} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} R_s \quad (9.4-7)$$

若样本取自正态总体,可以导出  $\bar{X}$  图的控制线为

$$\begin{aligned} UCL &= \bar{\bar{X}} + 2.66\bar{R}_s \\ CL &= \bar{\bar{X}} \\ LCL &= \bar{\bar{X}} - 2.66\bar{R}_s \end{aligned} \quad (9.4-8)$$



而  $R_s$  图的控制线为

$$\begin{aligned} UCL &= 3.267\bar{R}_s \\ CL &= \bar{R}_s \\ LCL &= - \end{aligned} \quad (9.4-9)$$

由于  $R_s$  不可能为负,故式中,  $LCL = -$  表示  $LCL$  不存在,而取零为  $R_s$  的自然下界。

[例 9.4-2] 在炼钢过程中,对于某种化学成分需要进行控制。在生产稳定时已测得 25 组数据,如表 9.4-6 所示。由于该化学成分的化验需要很长的时间,试制定  $\bar{X}-R_s$  控制图对其加以控制。

[解] 按下列步骤进行:

步骤 1: 预备数据的取得。已给定样本大小为 1 的数据 25 组,如表 9.4-6 所示。

步骤 2: 计算均值。从表 9.4-6 中第(2)栏数据得到

$$\bar{X} = \frac{1}{25} \sum_{i=1}^{25} x_i = \frac{1675.91}{25} = 67.036$$

这就是  $\bar{X}$  图的中心线。

步骤 3: 计算移动极差  $R_s$ 。根据式(9.4-6),算得

$$R_{s1} = |67.00 - 67.05| = 0.05$$

表 9.4-6 化学成分的测定数据

组号 (1)	测定值 $x$ (2)	移动极差 $R_s$ (3)	组号 (1)	测定值 $x$ (2)	移动极差 $R_s$ (3)
1	67.00	-	14	66.98	0.05
2	67.05	0.05	15	66.97	0.01
3	66.99	0.06	16	67.02	0.05
4	67.09	0.10	17	66.93	0.09
5	67.07	0.02	18	66.90	0.03
6	67.26	0.19	19	67.06	0.16
7	67.00	0.26	20	66.89	0.17
8	67.06	0.06	21	67.19	0.30
9	66.92	0.14	22	67.03	0.16
10	67.11	0.19	23	67.22	0.19
11	67.02	0.09	24	67.03	0.19
12	67.15	0.13	25	67.04	0.01
13	66.93	0.18	小计	1675.91	2.92
			均值	67.036	0.122

其余见表 9.4-6 中第(3)栏。

步骤 4: 计算平均移动极差。根据表 9.4-6 中第(3)栏数据得到

$$\bar{R}_s = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} R_{si} = \frac{2.92}{25-1} = 0.1216 \approx 0.122$$

这就是  $R_s$  图的中心线。

步骤 5: 计算  $\bar{X}-R_s$  图的控制线。先考虑  $R_s$  图,由于总体的  $\sigma$  未知,将上述  $\bar{R}_s = 0.122$  代入式(9.4-9)后,得到  $R_s$  图的控制线为

$$UCL_{R_s} = 3.267 \times 0.122 = 0.3985 \approx 0.40$$

$$CL_{R_s} = 0.122 \approx 0.12$$

$$LCL_{R_s} = -$$

如图 9.4-5 所示。式中,“ $LCL_{R_s} = -$ ”表示  $LCL_{R_s}$  不存在,而以 0 为  $R_s$  的自然下界。将 24 个  $R_s$  值点绘在此图中,然后根据判稳准则(1)近似判断过程的变异度处于控制状态。接着计算  $\bar{X}$  图的控制线,将  $\bar{X} = 67.036$  与  $\bar{R}_s = 0.122$  代入式(9.4-8)后,得到

$$UCL_{\bar{X}} = 67.036 + 2.66 \times 0.122 = 67.361 \approx 67.36$$

$$CL_{\bar{X}} = 67.036 \approx 67.04$$

$$LCL_{\bar{X}} = 67.036 - 2.66 \times 0.122 = 66.711 \approx 66.71$$

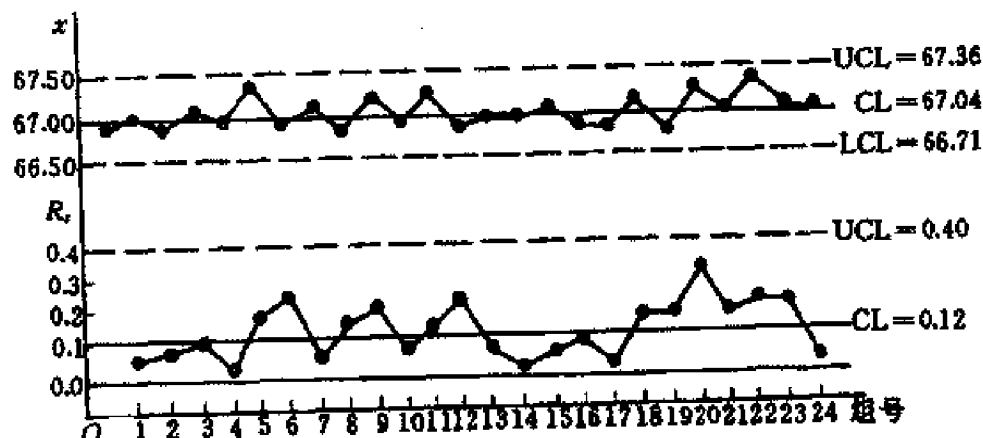


图 9.4-5 例 9.4-2 的  $\bar{X}$  控制图

如图 9.4-5 所示。将 25 个  $x$  值点绘在此图中,然后根据判稳准则(1)判断过程的均值也处于控制状态。于是,可以延长图的控制线作为控制用控制图进行日常管理。

#### 9.4.6 控制界限与公差界限之间的关系

再说明一下  $\bar{X}$  控制图的控制界限与公差之间的关系。这里,与  $\bar{X}$  控制图情况不同,如果  $\bar{X}$  图的控制界限在公差界限之内,产品质量就保证满足公差的要求。否则如果控制界限在公差界限之外,产品质量就不能保证满足公差的要求,这时应改进工艺或放宽公差要求。

将  $\bar{X}$  图与公差界限放在一起是没有意义的,因为一个超出上公差界限的样品的特性值与另一个超出下公差界限的样品的特性值加起来平均可以得到一个正好位于上下公差界限之内的  $\bar{X}$  值。在所有休图中只有单值( $X$ )控制图才能与公差界限放在一起,参见图 9.4-6。

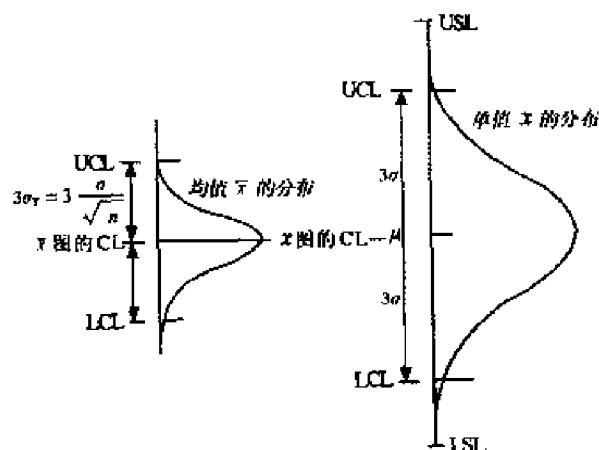


图 9.4-6 控制界限与公差界限

### 9.4.7 p 控制图

#### 1. p 控制图的控制状态

p 控制图的控制状态指过程的不合格品率为一常数  $P$ , 且各个产品的生产是独立的。

#### 2. p 控制图的统计基础

p 图的统计基础为二项分布。设样本不合格品率为  $p$ , 则从数理统计知

$$\mu_p = P$$

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{P(1-P)}{n}}$$

#### 3. p 图的控制界限

若过程的参数  $P$  已知, 则 p 图的控制线为

$$\begin{aligned} UCL_p &= \mu_p + 3\sigma_p = P + 3\sqrt{\frac{P(1-P)}{n}} \\ CL_p &= \mu_p = P \end{aligned} \quad (9.4-10)$$

$$LCL_p = \mu_p - 3\sigma_p = P - 3\sqrt{\frac{P(1-P)}{n}}$$

若过程的参数  $P$  未知, 则需对其进行估计。由数理统计知, 参数  $P$  的估计值为

$$\hat{P} \approx \bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{\sum_{i=1}^n n_i} \quad (9.4-11)$$

注意, 若样量小  $n$  是变动的, 则不能按照下式简单地求平均值的方法来估计  $P$  即

$$\hat{P} \neq \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m n_i$$

式中,  $m$  为样本组数。于是  $p$  图的控制线为

$$\begin{aligned} UCL_p &\approx \bar{P} + 3\sqrt{\frac{\bar{P}(1-\bar{P})}{n}} \\ CL_p &\approx \bar{P} \\ LCL_p &\approx \bar{P} - 3\sqrt{\frac{\bar{P}(1-\bar{P})}{n}} \end{aligned} \quad (9.4-12)$$

#### 4. 建立 $p$ 图的步骤

建立  $p$  图的步骤基本与  $\bar{X}-R$  图类似。现说明下列几点:

(1) 若  $P$  很小, 则需选样本量  $n$  充分大, 使得  $nP \geq 1$ , 通常取

$$\frac{1}{P} < n < \frac{5}{P} \quad \text{或} \quad \frac{1}{P} < n < \frac{5}{P} \quad (9.4-13)$$

从数学的观点来看, 样本量  $n$  要取到  $25/P$  方能认为二项分布是充分近似正态分布的。但这样做, 样本量要比  $5/P$  大 5 倍太不经济, 故休哈特控制图的国际标准规定按照式(9.4-13)进行。这又一次说明我们在现场要推行的是 SPC 与 SPD 工程, 而非 SPC 与 SPD 数学。

(2)  $p$  图的  $LCL_p$  有时为负, 若要  $LCL_p$  非负, 则需增大样本量  $n$ , 即若欲

$$LCL_p = P - K\sqrt{\frac{P(1-P)}{n}} > 0$$

$$\text{即} \quad P > K\sqrt{\frac{P(1-P)}{n}}$$

$$n > K^2 \frac{1-P}{P} \approx \frac{K^2}{P}$$

当  $K=3$ , 代入上面末一个不等式, 有

$$n > 9/P > 5/P$$

可见, 若要求  $LCL$  非负, 则必须付出代价, 多投入样品。

(3) 当  $n$  变化时,  $p$  图的  $UCL$ 、 $LCL$  成凹凸状。作图不便, 也无法判稳、判异。解决办法就是采用第 9.5 节的通用图。

#### 5. $p$ 控制图示例

[实例 9.4-3] 某半导体器件厂 2 月份某种产品的数据如表 9.4-7 中的第 (2)、(3) 栏所示。根据以往记录已知, 稳态下的过程平均不合格品率  $\bar{P}=0.0389$ , 试作  $p$  控制图对其进行控制。

表 9.4-7 例 9.4-2 的数据与 p 图计算表

组号 (1)	样本大小 n (2)	不合格品数 d (3)	不合格品率 p (4)	p 图的 UCL (5)
1	85	2	0.024	0.102
2	83	5	0.060	0.103
3	63	1	0.016	0.112
4	60	3	0.050	0.114
5	90	2	0.022	0.100
6	80	1	0.013	0.104
7	97	3	0.031	0.098
8	91	1	0.011	0.100
9	94	2	0.021	0.099
10	85	1	0.012	0.102
11	55	0	0	0.117
12	92	1	0.011	0.099
13	94	0	0	0.099
14	95	3	0.032	0.098
15	81	0	0	0.103
16	82	7	0.085	0.103
17	75	3	0.040	0.106
18	57	1	0.018	0.116
19	91	6	0.066	0.100
20	67	2	0.030	0.110
21	86	3	0.035	0.101
22	99	8	0.080	0.097
23	76	1	0.013	0.105
24	93	8	0.086	0.099
25	72	5	0.069	0.107
26	97	9	0.093	0.098
27	99	10	0.100	0.097
28	76	2	0.026	0.105
小计	2315	90		

[解] 我们按下列步骤进行：

步骤 1:预备数据的取得。已给定数据如表 9.4-7 所示。

步骤 2:计算样本不合格品率。从表 9.4-7 中第(2)、(3)栏数据,算得第一个样本的不合格品率为

$$p_1 = 2/85 = 0.024$$

其余类推。

步骤 3:计算 p 图的控制线。将  $\bar{p}=0.0389$  代入式(9.4-12)得到 p 图的控制线为:

$$\left. \begin{aligned} UCL &= 0.0389 + 3 \sqrt{0.0389(1 - 0.0389)/n_i} = 0.0389 + 0.58/\sqrt{n_i} \\ CL &= 0.0389 \\ LCL &= 0.0389 - 3 \sqrt{0.0389(1 - 0.0389)/n_i} = 0.0389 - 0.58/\sqrt{n_i} \end{aligned} \right\} \quad (9.4-14)$$

由于本例各个样本的样本量 n 不相等,所以必须对各个样本分别求出其控制界限。如对于第一个样本,在式(9.4-6)中代入  $n_1 = 85$  后,得到

$$UCL = 0.0389 + 0.58/\sqrt{85} = 0.102$$

$$CL = 0.0389$$

$$LCL = 0.0389 - 0.58/\sqrt{85} = -0.024$$

这里, LCL 为负值, 由于  $p$  不可能为负, 故取 0 作为  $p$  的自然下界, 并记以  $LCL = -$ 。

其余各个样本以此类推, 参见图 9.4-7。注意, 图中的 X 轴就是取为 0 的自然下界。下控界 LCL 与自然下界是不同的, 例如, 判异准则 5:3 点中有 2 点在同一侧的 A 区判异, 这就是针对控制界限而言的, 若为自然下界, 则不能判异。

步骤 4: 为了判断过程是否处于稳定状态, 将各个样本不合格品率点绘在图 9.4-7 中。

步骤 5: 判稳。由于第 27 个样本的点子出界, 所以过程失控, 需要执行第 9.2 节的“20 字方针”, 找出异常因素并采取措施保证它不再出现。由于图 9.4-7 中, UCL 呈凹凸状, 故对界内点不能判异、判稳, 必须采用通用不合格品数 ( $np_T$ ) 控制图方能进行判异、判稳, 参见第 9.5 节通用控制图。

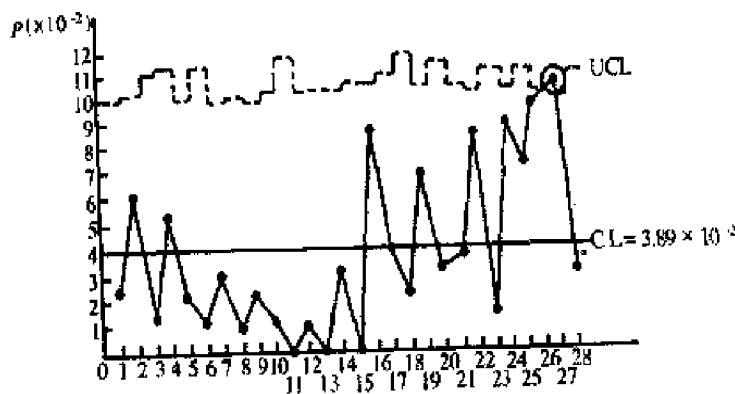


图 9.4-7 例 9.4-3 的  $p$  图

### 9.4.8 计量控制图与计数控制图的比较

1. 计量控制图的最大优点是灵敏度高, 往往在真正造成不合格品之前已经及时发现异常, 采取纠正措施。其次, 计量控制图所需要的样本量要比计数控制图小得多, 这点对于破坏性检验场合尤其重要。参见图 9.4-8。

2. 在有些场合, 例如毛皮的手感, 现在还无法定量, 这时只能应用计数控制图。另外, 在有多种判据的场合, 若有任何一个判据不满足, 就认为产品不合格, 这时应用计数控制图处理比较简单; 若应用计量控制图, 则需应用计量多元控制图, 在数据的收集与处理方面都比较复杂。

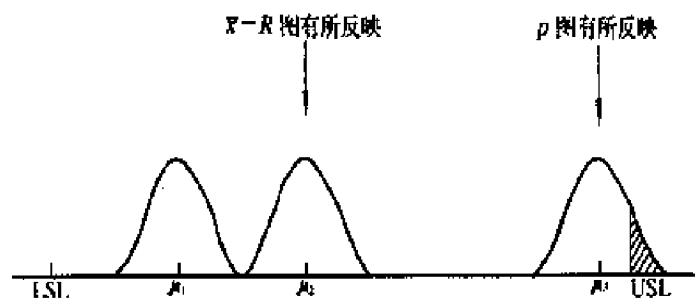


图 9.4-8 计量控制图与计数控制图在检出能力方面的比较

#### 9.4.9 本节参考文献

- [9.4-1] GB/T 4091—2001 常规控制图, 中国标准出版社, 2001。
- [9.4-2] GB 6381—86 通用控制图, 中国标准出版社, 1986。
- [9.4-3] 孙静、张公绪:《常规控制图标准及其应用》, 中国标准出版社, 2000, 定价 22 元。读者如欲购买本书, 请与下列单位联系: 北京 100045 复兴门外三里河北街 16 号中国标准出版社朱晓滨女士, 电话: 010-68523906。
- [9.4-4] 张公绪主编、孙静副主编:《现代质量管理学》, 中国财政经济出版社, 第二次印刷, 2000 年, 定价 25 元。本书出版后, 读者好评如潮, 认为本书取材新颖, 内容精练, 是一本不可多得的好书。读者如欲购买本书可与下列单位联系: 北京市 100036 海淀区阜成路甲 28 号新知大厦 9 层 904 房间中国财政经济出版社伍景华女士联系, 电话: 010-88190940。
- [9.4-5] 孙静、张公绪:《常用控制图标准及其原理》, 台湾品质学会, 2002 年 1 月出版。

#### 本节思考题

- [9.4-1] 为什么  $\bar{X}-R$  控制图是计量数据最重要、最常见的控制图?
- [9.4-2] 对成组控制图而言, 合理子组原则的重要性何在?
- [9.4-3] 计量控制图与计数控制图各有什么优缺点?

#### 思考题题解

- [9.4-1] 由于  $\bar{X}$  图适用范围广、灵敏度高, 而  $R$  图也适用范围广, 故  $\bar{X}-R$  控制图是计量数据最重要、最常见的控制图。
- [9.4-2] 只有贯彻合理分组原则, 才能保证控制图上、下控制界限的间隔距离为最小, 否则在最坏情况下, 控制图可以失去控制作用。
- [9.4-3] 计量控制图的优点是灵敏度高、样本量小, 这点对于破坏性检验尤其重要, 但其缺点是要求有计量数据。对于计数数据而言, 计量控制图不可用, 这时必须采用计数控制图。

## 9.5 通用控制图与小批量控制图

### 9.5.1 计数型控制图的缺点

1. 当样本量  $n$  变化时,计数控制图: $p$  图、 $u$  图的缺点为  $UCL$ 、 $LCL$  呈凹凸状,像似两道万里长城,作图不便,更无法判异与判稳。至于  $np$  图、 $c$  图,则  $UCL$ 、 $CL$ 、 $LCL$  三者均呈凹凸状,像似三道万里长城,作图更不便,更无法判异与判稳。

2. 国外采用  $\bar{n}$  的近似方法缺点甚多

当  $n$  变化不太大时,国外采用  $\bar{n}$  来代替  $n$ ,使得计数控制图的  $UCL$ 、 $LCL$  成为直线。但当描点接近  $UCL$  或  $LCL$  时,点子的位置仍须按照精确公式重新计算,这是个严重的缺点。

我国张公绪与阎育苏教授在 1981 年创造的通用控制图于 1986 年发布为国标 GB 6381 解决了上述问题,通用图的控制线为直线,且其判断也是精确的。

### 9.5.2 通用控制图的标准变换

#### 1. 标准变换

设统计量为  $y$ ,则定义  $y$  的标准变换为

$$y_T = \frac{y - \mu}{\sigma} \quad (9.5-1)$$

式中,下标  $T$  表示通用的“通”或“变换(transformation)”的“ $T$ ”。

在式(9.5-1)中分子为什么要减去“ $\mu$ ”? 分母为什么要“除以  $\sigma$ ”? 通过下列数例就可以得到解释:

数例:设统计量  $x$  的取值为:0.5,1,1.5

于是其

$$\text{样本平均值: } \bar{X} = \frac{0.5 + 1 + 1.5}{3} = 1$$

样本标准差:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} = \sqrt{\frac{1}{3-1} [(0.5-1)^2 + (1-1)^2 + (1.5-1)^2]} = 0.5$$

变换后,统计量  $y_T$  的取值为:

$$\frac{0.5-1}{0.5} = -1, \frac{1-1}{0.5} = 0, \frac{1.5-1}{0.5} = 1$$

故

$$y_T \text{ 的平均值: } \bar{y} = \frac{-1+0+1}{3} = 0$$

$$Y_T \text{ 的标准差: } \sigma_y = \sqrt{\frac{1}{3-1} [(-1)^2 + 0 + 1^2]} = 1$$



实际上,后者从物理概念也可以直接理解这一点。如果不除以 $\sigma$ ,即除以1,也就是以1作为尺度,现在除以 $\sigma$ ,即改为用长为 $\sigma$ 的尺度,用此 $\sigma$ 尺去度量原来的 $\sigma$ ,自然度量的结果为1。

由于标准变换后其平均值为0,标准差为1,故标准变换也称为0,1变换,它有一个很大的优点,即不论对任何分布0,1变换都成立。

### 9.5.3 $3\sigma$ 方式的标准变换

现在将 $3\sigma$ 方式进行标准变换,于是有

$$\begin{aligned} UCL_T &= \frac{UCL - \mu}{\sigma} = \frac{\mu + 3\sigma - \mu}{\sigma} = 3 \\ CL_T &= \frac{CL - \mu}{\sigma} = \frac{\mu - \mu}{\sigma} = 0, \sigma > 0 \\ LCL_T &= \frac{LCL - \mu}{\sigma} = \frac{\mu - 3\sigma - \mu}{\sigma} = -3 \end{aligned} \quad (9.5-2)$$

由此得到通用控制图(Universal Control Chart)如下:

$$\begin{aligned} UCL_T &= 3 \\ CL_T &= 0 \\ LCL_T &= -3 \end{aligned} \quad (9.5-3)$$

通用图的优点是:所有的休图都统一成为一种图,可事先印好,节省大量管理费用;控制线为直线,便于作图,可以判异与判稳。好处甚多。

通用图的缺点为:所有进入通用图的数据都必须先作标准变换(这点通过后文第9.5.5节的直接打点法可以解决)。

通用图的优点远大于其缺点,故通用图值得大力推广。

### 9.5.4 在通用图上 $p$ 图与 $np$ 图恒等、 $u$ 图与 $c$ 图恒等

#### 1. 在通用图上 $p$ 图与 $np$ 图恒等

易证

$$P \approx \frac{P - \bar{P}}{\sqrt{\bar{P}(1 - \bar{P})/n}} \quad (9.5-4) = \frac{np - n\bar{p}}{\sqrt{n\bar{p}(1 - \bar{P})}} = \frac{d - n\bar{p}}{\sqrt{n\bar{p}(1 - \bar{p})}} \approx np_T$$

式中, $d$ 为样本不合格数,上式即

$$p_T \equiv np_T$$

故在通用图上, $p_T$ 图与 $np_T$ 图恒等,所以对休哈特 $p$ 图与 $pn$ 图而言,在 $p_T$ 图与 $np_T$ 图中应选哪一个来作?应选 $np_T$ 图来作,这样可直接利用现场的不合格品数据,不需要再去计算不合格品率。

#### 2. 在通用图上 $u$ 图与 $c$ 图恒等

与上述类似地可证:

$$u_T \equiv c_T$$

(9.5-5)

故对休哈特  $u$  图与  $c$  图而言,在  $u_T$  与  $c_T$  应选哪一个来作? 应选  $c_T$  图来作。这样可直接利用现场的不合格数数据,不需要再去计算平均单位不合格数。

### 3. 通用图在理论上的优点

通用图在理论上的优点如下:

(1) 在通用图上,将休图由 8 种减为 6 种。

(2) 若样本量  $n$  变化,则休图中的  $np$  图、 $c$  图的控制线由于像似具有三道万里长城,实际上不可用。而在通用图上却主要是采用  $np_T$  图与  $c_T$  图,这样就扩大了休图的应用范围。

## 9.5.5 通用图的直接打点法

### 1. 通用图直接打点法(Direct-Plotting Method)的思路

(1) 判异准则有两类:

① 点出界就判异,这就要求点子的位置精确,

② 界内点排列不随机(如连续 3 点中有 2 点接近控制界限、链、趋势等),这些只要求点子的位置相对精确。

(2) 上述②就启发我们在通用图上除去原有的三根控制线(UCL、CL、LCL)以外,再添加 4 根线,每个  $\sigma$  一根。这 7 根线称为标杆线:

$$K = -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3$$

这样,7 根标杆线就将整个通用图分成 I, II, ..., VIII 共 8 个区域,也即相当于为了绘制通用图将通用图打上了 8 个格子。

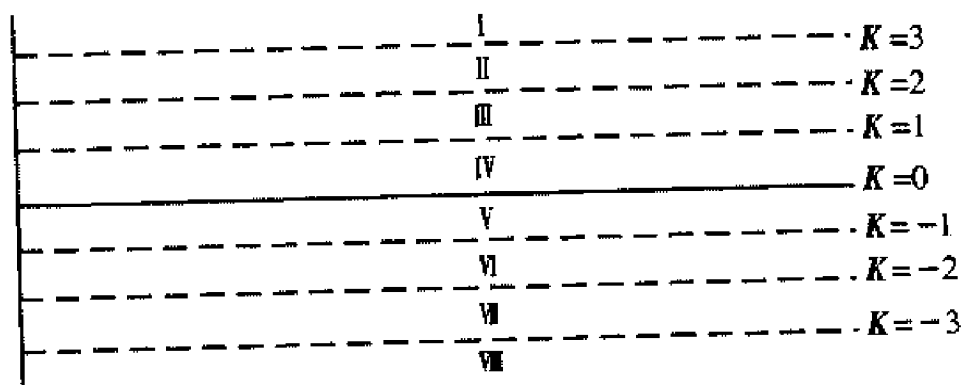


图 9.5-1 通用控制图

在通用图上打点,只需要知道点子落在哪个区域(即哪两条标杆线之间的格子)就可以了。因此,需要求出与通用图上七根标杆线相对应的七个现场标杆数据。应用标准变换公式即可得出。

2. 与标杆线对应的现场标杆数据(简称现标数,记为  $d_{n,k}$ ,它实质上是样本不合格品数。)可由下式求出:

$$K = \frac{d_{n,k} - \mu}{\sigma} \quad (9.5-6)$$

于是得到下列直接打点公式:

$$dn, k = \mu + K\sigma, K = -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3 \quad (9.5-7)$$

3. 应用直接打点公式需要采取下列步骤:

- (1) 结合具体问题, 将直接打点公式具体化。
- (2) 对直接打点公式中的总体参数进行估计。
- (3) 计算直接打点表。此表可由工程技术人员或管理人员应用电脑事先计算好。
- (4) 根据现场数据查直接打点表即可在通用图上直接打点。

4. 实例

[实例 9.5-1] 某半导体器件厂 2 月份产品数据如表 9.5-1 所示, 已知  $\bar{p} = 0.0389$ , 试作  $p$  控制图与  $np_T$  通用控制图并进行比较。

[解]:

1. 作  $p$  图(即 9.4 节的实例 9.4-3。为便于读者查阅, 这里作简单的回忆):

- (1) 计算各组的不合格品率, 见表 9.5-1 中第(4)栏。
- (2) 计算,  $UCL_p = \bar{p} + 3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n} = 0.0389 + 0.580/\sqrt{n}$  见表 9.5-1 中第(4)栏。
- (3) 作  $p$  图如图 9.5-1 所示。

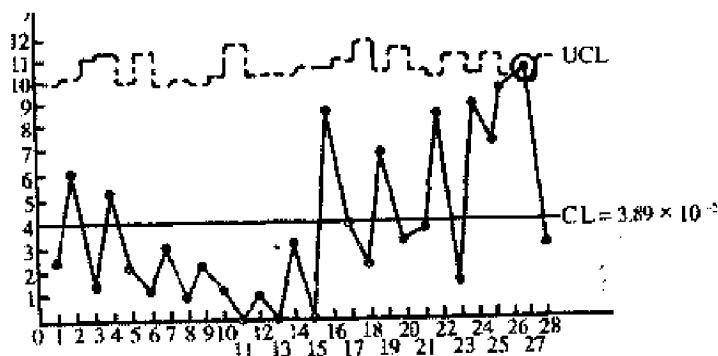


图 9.5-1 本例的  $p$  控制图

表 9.5-1 例 9.5-1 的数据与  $p$  图计算表(即表 9.4-7)

组号 (1)	样本大小 $n$ (2)	不合格品数 $d$ (3)	不合格品率 $p$ (4)	$p$ 图的 UCL (5)
1	85	2	0.024	0.102
2	83	5	0.060	0.103
3	63	1	0.016	0.112
4	60	3	0.050	0.114
5	90	2	0.022	0.100
6	80	1	0.013	0.104
7	97	3	0.031	0.098
8	91	1	0.011	0.100
9	94	2	0.021	0.099
10	85	1	0.012	0.102
11	55	0	0	0.117

续表 9.5-1 例 9.5-1 的数据与 p 图计算表(即表 9.4-7)

组号 (1)	样本大小 n (2)	不合格品数 d (3)	不合格品率 p (4)	p 图的 UCL (5)
12	92	1	0.011	0.099
13	94	0	0	0.099
14	95	3	0.032	0.098
15	81	0	0	0.103
16	82	7	0.085	0.103
17	75	3	0.040	0.106
18	57	1	0.018	0.116
19	91	6	0.066	0.100
20	67	2	0.030	0.110
21	86	3	0.035	0.101
22	99	8	0.080	0.097
23	76	1	0.013	0.105
24	93	8	0.086	0.099
25	72	5	0.069	0.107
26	97	9	0.093	0.098
27	99	10	0.100	0.097
28	76	2	0.026	0.105
小计	2315	90		

## 2. 作 np<sub>T</sub> 图

(1) 将直接打点公式具体化为 np<sub>T</sub> 图, 即

$$d_{s,k} = \mu_{np} + K\sigma_{np} = n\bar{p} + K\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})} \approx n\bar{p} + \sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})} \quad (9.5-8)$$

式中,

①  $K = -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3$ 。

② 由题设,  $\bar{p} = 0.0389$

③ 在本例, 样本量 n 的最小值为 55, 最大值为 99, 故取 n 的范围为 50, 55, ..., 100, 105 (为了使得直接打点表能够用得时间长一些, 故将样本量 n 的范围适当扩展一点。注意, n 不能扩展很多, 否则得出的结果将不准确。为了使得直接打点表不要太庞大, 故样本量 n 每隔 5 取一个。)

(2) 根据上式计算 np<sub>T</sub> 图的直接打点表, 见表 9.5-2。

表 9.5-2 实例的直接打点表  $D_{n,k}$ 

K	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105
3	6.0	6.4	6.8	7.2	7.6	7.9	8.3	8.7	9.0	9.3	9.7	10.0
2	4.7	5.0	5.3	5.6	6.0	6.3	6.6	6.9	7.2	7.5	7.8	8.0
1	3.3	3.6	3.8	4.1	4.3	4.6	4.8	5.1	5.3	5.6	5.8	6.1
K	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105
0	1.9	2.1	2.3	2.5	2.7	2.9	3.1	3.3	3.5	3.7	5.5	4.1
-1	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1	1.2	1.4	1.5	1.7	1.8	2.0	2.1
-2	-0.8	-0.7	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1	0.0	0.1
-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-1.9	-1.9

注:由于  $d_{n,k}$  不可能为负,故表中每列只列出第一个负数以作估计打点之用。

(3) 根据现场数据直接查表打点。请读者动手作通用图。

① 例如,在表 9.5-1 的第 1 行中,样本大小为 85,不合格品数为 2。于是查直接打点表表 9.5-2 中 85 这一列,查得不合格品数 2 位于 1.5(对应左侧的  $K = -1$ )与 3.3(对应左侧的  $K = 0$ )之间。因此,在通用图中组号 1 的位置,将点子描在  $K = -1$  与  $K = 0$  的格子中的任何位置,参见图 9.5-2。

② 例如,在表 9.5-1 的第 2 行中,样本大小为 83,不合格品数为 5。于是查直接打点表表 9.5-2 中 85(最接近 83)这一列,查得不合格品数 5 位于 3.3(对应左侧的  $K = 0$ )与 5.1(对应左侧的  $K = 1$ )之间,而靠近 5.1。因此,在通用图中组号 #2 的位置,将点子描在  $K = 0$  与  $K = 1$  的格子中的任何位置,参见图 9.5-2。若想精确点,可以靠近  $K = 1$ ,但这无必要。

③ 例如,在表 9.5-1 的第 3 行中,样本大小为 63,不合格品数为 1。于是查直接打点表表 9.5-2 中 65(最接近 63)这一列,查得不合格品数 1 正好位于 1.0(对应左侧的  $K = -1$ )的位置上。因此,在通用图中组号 #3 的位置,将点子描在  $K = -1$  的标杆线上,参见图 9.5-2。

④ 再如,在表 9.5-1 的第 27 行中,样本大小为 99,不合格品数为 10。于是查直接打点表表 9.5-2 中 100(最接近 99)这一列,查得不合格品数 10 超出 9.7(对应左侧的  $K = 3$ ),即打点出界,参见图 9.5-2。

(4) 将本例  $p$  图与  $np_r$  图对比,见图 9.5-2。可见二者的性态是相同的,判稳、判异将得出相同的结论。但应用通用图要方便得多。

从图 9.5-2(b),可看出下列判异之处:①第 27 点出界,见判异准则 1:1 点落在 A 区以外,②第 22、24 点在 A 区,第 24、26 点在 A 区,见判异准则 5:连续 3 点中 2 点在 A 区,③第 5 至第 15 点为 11 点链,见判异准则 2:连续 9 点在中心线一侧,④第 9 至第 13 点,见判异准则 6:连续 5 点中 4 点在 B 区。

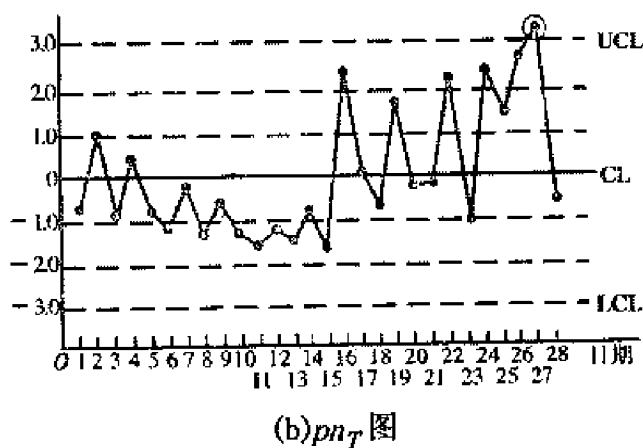
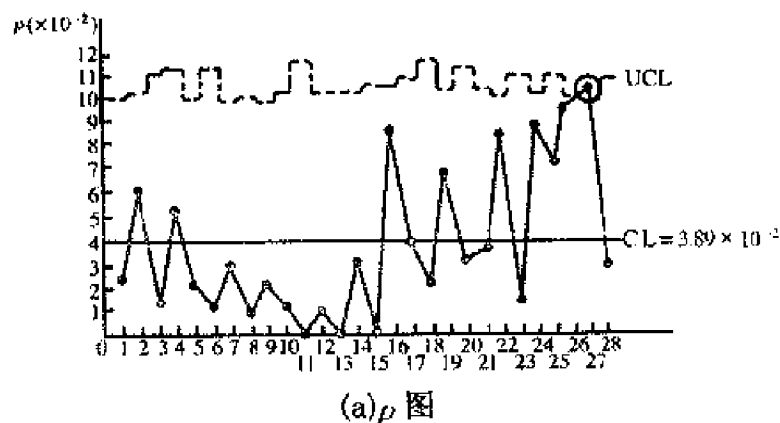


图 9.5-2 本例  $p$  图与  $np_T$  图的对比

### 9.5.6 多品种、小批量生产的控制

#### 1. 多品种、小批量生产

(1) 全国加工制造业 50% 以上属于多品种、小批量生产,尤其是机械制造业约 95% 属于多品种、小批量生产。近年来又有柔性生产的发展趋势,故多品种、小批量生产更为普遍。

(2) 多品种、小批量关键在于小批量。小批量意味着产品数量少,数据少,但控制图是统计方法,需要大量数据,这是难点。解决方法有下列几条途径:

① 从控制对象—统计量的精确分布着手。

1969 年美国希利尔(F. S. Hilier)与新加坡杨中浩提出小样本的  $\bar{X}-R$  控制图。20 世纪 90 年代美国久森伯瑞(C. P. Quesenberry)将希利尔的成果由  $\bar{X}-R$  图推广到  $X-R_L$  图,并将各种休图做了标准化(其实,这后者就是我国通用图的内容)。但由于数据少,控制界限的间隔一定较宽, $\sigma$  一定较大,检出力一定较低。久森伯瑞应用电脑模拟试验方法证实如此得到的小批量控制图检出异常的能力远低于参数已知时的控制图,故实际上不可行。

② 1997 年张公绪教授的学生卜祥民博士根据贝叶斯(Bayes)方法与序贯分析(sequential analysis)相结合的思路充分利用当前小样本和历史信息得到产品质量特性值分布参数的优良估计,然后在参数已知的条件下作控制图,实现小批量质量控制与诊断。

③ 将相似工序的数据,即同类型分布的数据,经过数学变换成为同一分布的数据,积少成多,在同一张控制图上进行控制。这类方法有通用图法,相对公差法,固定样本量法等。目前国内应用较多的是这类方法。

2. 相似工序

相似工序指下列六个方面的相似:

- (1) 同一类型的质量指标;
- (2) 同一台或同型号设备;
- (3) 同一类型的加工件;
- (4) 同一组操作人员;
- (5) 同一类型的操作;
- (6) 在同一个车间内,即同一个环境内。

3. 通用图法

应用标准变换使  $N(\mu_i, \sigma_i)$ , 对所有  $i$  变换成  $N(0, 1)$ , 然后在通用图上统一控制。本法的缺点是:要求对每个零件  $i$  的参数  $\mu_i, \sigma_i$  进行估计。

[通用图法例题] 6 种不同的零件在同一架车床上加工,其公差如表 9.5-3 所示。试应用通用  $x$  图(即  $x_T$  图)来进行控制。

表 9.5-3 6 种零件的公差

零件号码	1	2	3	4	5	6
公差	$\varnothing110^{+0.026}_{+0.003}$	$\varnothing245^{-0.075}_{-0.195}$	$\varnothing200^{+0.20}_{+0.12}$	$\varnothing180^{-0.125}_{-0.255}$	$\varnothing95 + 0.035$	$\varnothing190 - 0.10$

[解]:

步骤 1:收集数据。对每种零件我们已收集到 5 个样本,参见表 9.5-4。

表 9.5-4 6 种零件的数据(一)

$x_{1j}$	$y_{1j}$	$x_{2j}$	$y_{2j}$	$x_{3j}$	$y_{3j}$
$\varnothing110 + 0.01$	-0.857	$\varnothing245 - 0.12$	0.586	$\varnothing200 + 0.145$	-0.605
$\varnothing110 + 0.015$	0.117	$\varnothing245 - 0.14$	-0.391	$\varnothing200 + 0.17$	0.559
$\varnothing110 + 0.02$	1.091	$\varnothing245 - 0.11$	1.075	$\varnothing200 + 0.13$	-1.304
$\varnothing110 + 0.018$	0.701	$\varnothing245 - 0.16$	-1.368	$\varnothing200 + 0.165$	0.326
$\varnothing110 + 0.009$	-1.051	$\varnothing245 - 0.13$	0.098	$\varnothing200 + 0.18$	1.024
$\hat{\mu}_1 = 100.0144$ $\hat{\sigma}_1 = 0.005135114$		$\hat{\mu}_2 = 245 - 0.132$ $\hat{\sigma}_2 = 0.020463175$		$\hat{\mu}_3 = 200.158$ $\hat{\sigma}_3 = 0.021475173$	

表 9.5-5 6 种零件的数据(二)

$x_{4j}$	$y_{4j}$	$x_{5j}$	$y_{5j}$	$x_{6j}$	$y_{6j}$
Ø180 - 0.185	-0.071	Ø95 + 0.023	0.202	Ø190 - 0.05	0.008
Ø180 - 0.21	-0.662	Ø95 + 0.02	-0.231	Ø190 - 0.0375	0.516
Ø180 - 0.15	0.756	Ø95 + 0.015	-0.954	Ø190 - 0.08	-1.211
Ø180 - 0.135	1.110	Ø95 + 0.018	-0.520	Ø190 - 0.0635	-0.541
Ø180 - 0.23	-1.134	Ø95 + 0.032	1.503	Ø190 - 0.02	1.228
$\hat{\mu}_4 = 180 - 0.182$ $\hat{\sigma}_4 = 0.042319839$		$\hat{\mu}_5 = 95.0216$ $\hat{\sigma}_5 = 0.006918984$		$\hat{\mu}_6 = 190 - 0.0502$ $\hat{\sigma}_6 = 0.024596679$	

步骤 2:应用下列公式,估计参数  $\sigma_i, \mu_i$ , 对所有  $i$ :

$$\hat{\mu}_i = \bar{X}_i = \frac{1}{5} \sum_{j=1}^5 X_{ij}, i = 1, 2, \dots, 6$$

$$\hat{\sigma}_i = \frac{s_i}{c_4}, s_i = \sqrt{\frac{1}{4} \sum_{j=1}^5 (X_{ij} - \bar{X}_i)^2}, c_4 = 0.9400$$

例如,对于 # 1 零件,其估计值为

$$\hat{\mu}_1 = \bar{x}_1 = \frac{1}{5} (110.01 + 110.015 + 110.02 + 110.018 + 110.009) = 110.0144$$

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^5 (X_{1j} - \bar{X}_1)^2 &= (110.01 - 110.0144)^2 + (110.015 - 110.0144)^2 + \\ & (110.02 - 110.0144)^2 + (110.018 - 110.0144)^2 + (110.009 - 110.0144)^2 \\ &= 0.0000932 \end{aligned}$$

$$s_1 = \sqrt{\frac{1}{4} (0.0000932)} = 0.004827007354$$

$$\hat{\sigma}_1 = \frac{s_1}{c_4} = \frac{0.004827007354}{0.9400} = 0.005135114$$

其余零件的参数参见表 9.5-4 和 9.5-5。

步骤 3:应用标准变换测量值换为标准化值  $y_{ij}$ ; 计算

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - \hat{\mu}_i}{\hat{\sigma}_i}, j = 1, 2, \dots, 5; i = 1, 2, \dots, 6$$

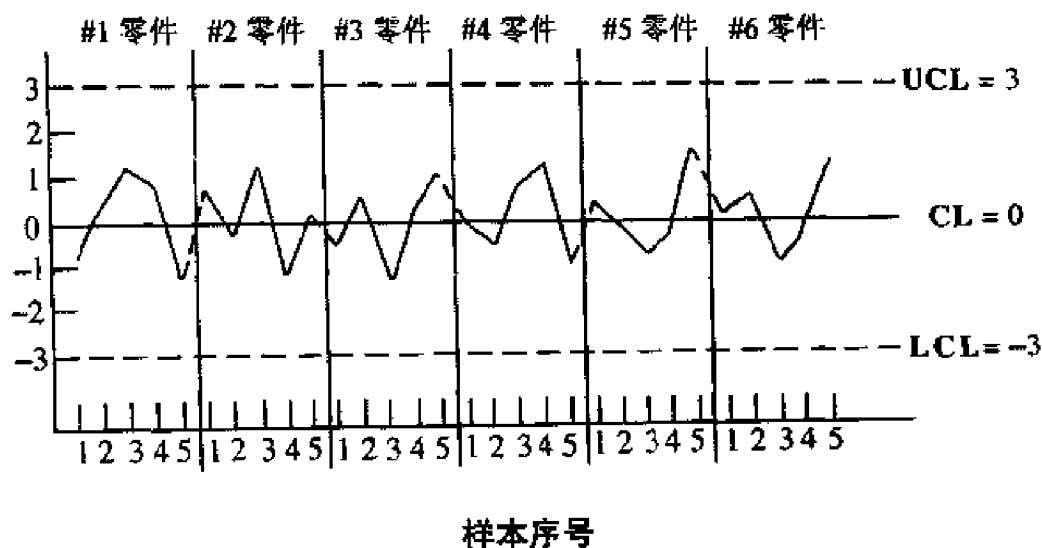
在本例,对于 # 1 零件的第 1 批数据,  $x_{11} = 110.01$ ,  $\hat{\mu}_1 = 110.0144$ ,  $\hat{\sigma}_1 = 0.005135114$ , 于是得

$$y_{11} = \frac{110.01 - 110.0144}{0.005135114} = -0.875$$

其余参见表 5.5.3-2。

步骤 4:作通用  $X_T$  图并打点进行统一控制,参见图 9.5-3。



图 9.5-3 应用通用图  $\bar{X}_T$  图对 6 种零件进行统一控制

由图可见,过程处于稳态。

#### 4. 相对公差法

##### (1) 什么是相对公差法?

在通用图法中要求  $\mu_i, \sigma_i$  已知,故有时也采用相对公差法。现以双侧公差为例加以说明。设共有  $N$  种产品,其中第  $i$  种小批量产品的第  $j$  个观测值为  $y_{ij}$ ,公差为

$T_i = T_{U_i} - T_{L_i}$ ,公差中心为,  $T_{M_i} = \frac{T_{U_i} + T_{L_i}}{2}$  下列变换:

$$Y_{R_{ij}} = \frac{Y_{ij} - T_{M_i}}{T_i}$$

称为相对公差变换。应用统计量  $Y_{R_{ij}}$  进行控制的方法称为相对公差法。

##### (2) $Y_{R_{ij}}$ 的分布

设  $Y_{ij} \sim N(\mu_i, \sigma_i)$ , 则  $Y_{R_{ij}} \sim N(\mu_{R_i}, \sigma_{R_i}) = N(\frac{\mu_i - T_{M_i}}{T_i}, \frac{\sigma_i}{T_i})$ 。欲使不同零件  $i$ , 对所有  $i$ , 具有同一分布, 则需

$$\frac{\mu_i - T_{M_i}}{T_i} = \text{常数 } K_1$$

$$\frac{\sigma_i}{T_i} = \text{常数 } K_2$$

① 欲实现常数  $K_1$ , 则要求加工时对准公差中心,

② 欲实现常数  $K_2$ , 则要求  $C_{P_i} = \frac{T_i}{6\sigma_i}$  对所有  $i$  相同, 也即要求在相似工序上加工。

上述第一点在现场一般都可以做到。至于上述第二点在现场不少场合是做不到的, 所以在应用本法前, 需要对这一点进行检查。

(3) 对于  $y_{Rj}$  可用正态分布的控制图,通常应用  $X-R_s$  图,进行控制。

(4) 可以证明:通用图法与相对公差法是等价的。

[相对公差法例题] 我们现在应用相对公差法对前述通用图法例题的数据,重新进行统一控制。

步骤 1:收集数据,参见表 9.5-4,9.5-5。

步骤 2:应用相对公差变换将测量值进行变换,即计算

$$Y_{Rij} = \frac{X_{ij} - T_m}{T_i}, \quad j = 1, 2, \dots, 5, \quad i = 1, 2, \dots, 6$$

例如,对于 #1 零件,  $T_m = (110.026 + 110.003)/2 = 110.0145$ ,  $T_i = 0.026 - 0.003 = 0.023$ , 于是

$$y_{R1j} = \frac{X_{1j} - 110.0145}{0.023}, \quad j = 1, 2, \dots, 5$$

$y_{R1j}$  的数值参见表 9.5-6。

表 9.5-6 相对公差法应用  $X-R_s$  图的计算表

$x_{ij}$	$y_{Rij}$	$R_{ij}$	$x_{ij}$	$y_{Rij}$	$R_{ij}$	$X_{ij}$	$y_{ij}$	$R_{ij}$
$\Phi 110 + 0.01$	-0.915		$\Phi 200 + 0.145$	-0.187	0.229	$\Phi 95 + 0.023$	0.157	0.464
$\Phi 110 + 0.015$	0.021	0.216	$\Phi 200 + 0.17$	0.125	0.312	$\Phi 95 + 0.02$	0.071	0.086
$\Phi 110 + 0.02$	0.239	0.218	$\Phi 200 + 0.13$	0.375	0.250	$\Phi 95 + 0.015$	-0.071	0.142
$\Phi 110 + 0.018$	0.152	0.087	$\Phi 200 + 0.165$	0.062	0.313	$\Phi 95 + 0.018$	0.014	0.085
$\Phi 110 + 0.009$	-0.239	0.391	$\Phi 200 + 0.18$	0.250	0.188	$\Phi 95 + 0.032$	0.414	0.400
$\Phi 245 - 0.12$	0.125	0.364	$\Phi 180 - 0.185$	0.038	0.212	$\Phi 190 - 0.05$	0.00	0.414
$\Phi 245 - 0.14$	-0.042	0.167	$\Phi 180 - 0.21$	0.154	0.192	$\Phi 190 - 0.0375$	0.125	0.125
$\Phi 245 - 0.11$	0.208	0.250	$\Phi 180 - 0.15$	0.308	0.462	$\Phi 190 - 0.08$	-0.30	0.425
$\Phi 245 - 0.16$	-0.208	0.416	$\Phi 180 - 0.135$	0.423	0.115	$\Phi 190 - 0.0635$	-0.135	0.165
$\Phi 245 - 0.13$	0.042	0.250	$\Phi 180 - 0.23$	-0.307	0.730	$\Phi 190 - 0.02$	0.30	0.453

令,  $y_{R11}, \dots, y_{R15}, y_{R21}, \dots, y_{R25}, \dots, y_{R61}, \dots, y_{R65}$  记以  $y_1, y_2, \dots, y_{30}$ 。

步骤 3:计算  $\bar{y}$  与  $\bar{R}_s$ 。在本例,从表 9.5-6 知

$$\sum_{i=1}^{30} y_i = 1.8, \quad \sum_{i=1}^{29} R_{si} = 7.569$$

$$\bar{y} = \frac{1}{30} \sum_{i=1}^{30} y_i = \frac{1}{30} \times 1.8 = 0.06$$

$$\bar{R}_s = \frac{1}{29} \sum_{i=1}^{29} R_{si} = \frac{1}{29} \times 7.569 = 0.261$$

步骤 4:计算  $X-R_s$  图。

$X$  图:

$$UCL_X = \bar{y} + 2.66\bar{R}_s = 0.06 + 2.66 \times 0.261 = 0.754$$

$$CL_X = \bar{y} = 0.06$$

$$LCL_X = \bar{y} - 2.66\bar{R}_s = 0.06 - 2.66 \times 0.261 = -0.634$$

R 图:

$$UCL_{R_s} = 3.27\bar{R}_s = 3.27 \times 0.261 = 0.835$$

$$CL_{R_s} = \bar{R}_s = 0.261$$

$$LCL_{R_s} = -$$

步骤 5: 作  $R_s - X$  图。参见图 9.5-4。由图 9.5-4 可见, 过程处于稳态, 与通用图法结论相同。

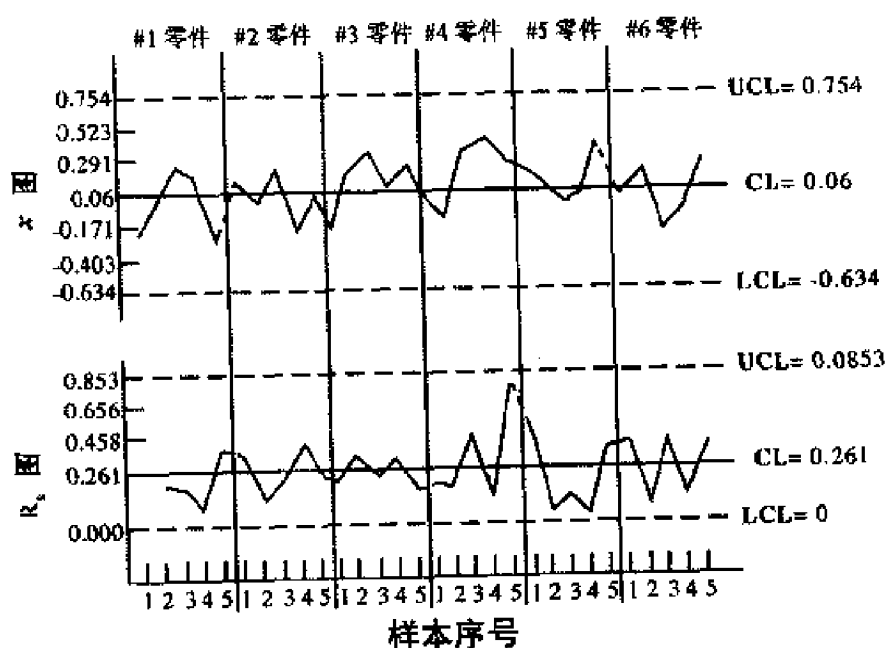


图 9.5-4 应用相对公差法与  $X - R_s$  图对 6 种零件进行统一控制

### 5. 固定样本量法

(1) 固定样本量法是美军小批量 SPC 文件中规定的方法 (AMCCOM 合同号 DAAA08-88-M-7649)。

(2) 现结合  $\bar{X} - R$  控制图进行介绍。

对于 R 图: 若生产正常, 则

$$LCL < R < UCL$$

即

$$D_3(n)\bar{R} < R < D_4(n)\bar{R}$$

$$D_3(n) < \frac{R}{\bar{R}} < D_4(n)$$

式中,  $D_3(n)$ ,  $D_4(n)$  为与样本量  $n$  有关的常数。若我们取  $n$  为一固定值  $n_0$ , 则有

$$D_3(n_0)\bar{R} < \frac{R}{\bar{R}} < D_4(n_0)$$

式中,  $\frac{R}{\bar{R}}$  为统计量  $R$  的数据变换。令变换后的数据为  $R_{sv}$ , 下标“SV (small volume)”表示小批量, 则

$$R_{sv} = \frac{R}{\bar{R}} = \frac{R}{\text{目标值}}$$

这里, 目标值  $\bar{R}$  与具体零件有关。而  $R_{sv}$  的控制图为

$$UCL_{R_{sv}} = D_4(n_0)$$

$$CL_{R_{sv}} = 1$$

$$LCL_{R_{sv}} = D_3(n_0)$$

类似地, 对于  $\bar{X}$  图, 若生产正常, 则

$$LCL_{\bar{X}} < \bar{X} < UCL_{\bar{X}}$$

即

$$\begin{aligned} & \bar{X} - A_2(n_0) \bar{R} < \bar{X} < \bar{X} + A_2(n_0) \\ & - A_2(n_0) < \frac{\bar{X} - \bar{X}}{\bar{R}} < A_2(n_0) \end{aligned}$$

令统计量  $\bar{X}$  的数据变换为

$$\bar{X}_{sv} = \frac{\bar{X} - \bar{X}}{\bar{R}} = \frac{\bar{X} - \text{目标值 } \bar{X}}{\text{目标值 } \bar{R}}$$

式中, 目标值  $\bar{X}$  与目标值  $\bar{R}$  与具体零件有关。于是统计量  $\bar{X}_{sv}$  的控制图为:

$$UCL_{\bar{X}_{sv}} = A_2(n_0)$$

$$CL_{\bar{X}_{sv}} = 0$$

$$LCL_{\bar{X}_{sv}} = -A_2(n_0)$$

#### 6. 通用图法、相对公差法与固定样本量法的比较

(1) 通用图法与相对公差法是等价的, 而固定样本量法仅是通用图法的一个特例。通用图法还可用于多元情况, 并已获得成功, 这是一个很大的优点。

(2) 通用图法与固定样本量法都需要对总体参数进行估计, 但它们的控制界限是预知的, 而相对公差法的控制界限则不能预知。

(3) 相对公差法不需要对总体参数进行估计, 最实用, 但此法要求各个零件的过程能力指数相等, 这点却不是都能满足的。

#### 9.5.7 本章参考文献

- [9.5-1] GB6381—86 通用控制图, 中国标准出版社, 1986。
- [9.5-2] 孙静、张公绪:《常规控制图标准及其应用》, 中国标准出版社, 2000。
- [9.5-3] 孙静、张公绪:《常用管制图原理及标准》, 台湾品质学会, 2002 年 1 月出版。

### 本节思考题

- [9.5-1] 通用图有何优点?有何缺点?  
[9.5-2] 直接打点法的思路是什么?

### 思考题题解

- [9.5-1] 通用图的优点是将8种常规控制图统一成通用图,尤其是对于计数控制图而言,在通用图上,即使是当样本大小 $n$ 变化时,控制线也都是直线,不但作图容易,而且更便于判异、判稳。通用图的缺点是:现场数据也要经过标准变换后方能进入通用图描点,计算比较复杂,但是直接打点法解决了这个问题。
- [9.5-2] 直接打点法的思路如下:
- (1) 判异准则有两类:① 点出界就判异,② 界内点排列不随机判异。根据上述②可知,界内点的位置不要求那么精确,因此利用7根标杆线把通用图分成8大块,也即分成8个格子。
  - (2) 求出与7根标杆线对应的现场标杆数据,构造直接打点表。
  - (3) 然后,根据现场数据查直接打点表,在通用图上可直接打点,在现场不需要计算。

## 9.6 两种质量诊断理论

### 9.6.1 两种质量的概念是两种质量诊断理论的基础

1. 什么是两种质量诊断理论?所谓两种质量诊断理论(Diagnostic Theory with Two Kinds of Quality)是以总质量与分质量两种质量的概念为基础,然后将两种质量加以度量和比较从而进行诊断的一种理论。因此,两种质量的概念是本理论的基础,十分重要,首先必须搞清楚。

2. 两种质量的理念 两种质量的理念是张公绪1981年在指导桂林制药厂土霉素生产中诞生的。当时为了分清上、下道工序的责任,终于发现通常的质量概念实质上是下列两部分:

- (1) 当前工序本身的固有加工质量,
- (2) 上道工序对下道工序的影响(简称上影),

二者的综合,正由于上影将上、下道工序扯在一起,才分不清上、下道工序的责任,所以这就促使我们提出两种质量的新概念。张公绪将当前工序本身的固有加工质量称为分质量(partial quality)或称工序固有质量,而将通常的质量,即分质量与上影二者的综合称为总质量(total quality)或称工序综合质量。

总质量是原有的质量概念。这里不过是加个“总”字,表明它与所有上道工序都有关而已。分质量是新的质量概念,但它却是客观存在的。分质量与上影无关,

这点是解决问题的关键,是两种质量诊断理论解决问题的核心。总质量的特点是为用户直接感受到;分质量的特点是反映了该工序的工作质量(working quality)。事实上,从质量因素:人、机、料(它反映了上影,与分质量无关)、法、测、环(在很多情况下,整个生产线在在同一个环境里,故此因素也不必考虑)来分析,分质量只与人、机、法、测有关,而这四者都与人的因素密切相关,故分质量反映了该工序的工作质量。

### 3. 两种质量之间的关系

从生产过程可以很清晰地看出分质量与总质量二者之间的关系。我们设想,现在上道工序将半成品,它反映了上影,传送到本道工序,本道工序在其上加工,加工的好坏即分质量,最后加工完毕,就形成了半成品或成品,它反映了总质量,再传送给下一道工序。由此过程可看出,分质量只是总质量的一部分,参见图 9.6-1。

$$\text{总质量} \begin{cases} \text{分质量} \\ \text{上影} \end{cases}$$

图 9.6-1 分质量与总质量之间的关系

### 4. 两种质量概念的重要性

两种质量概念的重要性表现在以下几点:

(1) 道道工序都存在两种质量。根据上述生产过程,可见道道工序都存在着两种质量。只是在下列情况,两种质量相等:

① 在上、下道工序技术上无联系的场合,这时上影为零,故分质量等于总质量。

② 在第一道工序,若原材料、零部件等的供应稳定,有时为了分析简单,就不考虑生产线的输入的影响,这时在第一道工序两种质量也相等。

(2) 两种质量的概念不仅存在于生产过程,而且存在于一切服务过程与管理过程。这时相应地有两种服务质量与两种管理质量。

现在对于服务过程举个医院的例子来说明问题。医院是个服务部门,无实物产品。按照我国卫生部的规定,对于医院中的各个医疗科室,医院管理部门采用“治愈率”这个指标加以统一管理,所谓治愈率就是指每百个病人通过该医疗科室的治疗获得痊愈者所占的百分比。结果,在综合医院中妇产科的治愈率往往最高,肿瘤科则通常屈居殿军。这样,病种就对治愈率产生了显著影响,从而使其失去可比性。为此,张公绪教授在 1981 年提出一类新型评估法:选控评估法。此法是把影响治愈率的所有质量因素分成两类:

① 共性因素:指各个医疗科室所共有的质量因素,如医护人员的医疗水平、医德等反映人的主观努力的因素。

② 特殊性因素:指个别医疗科室所独有的因素,如病种、医疗设备的先进程度等反映客观条件的因素。这里,由于病种这个特殊性因素对于治愈率具有显著影响,故使得治愈率这个指标失去可比性。为此,有人提出设计一个选控治愈率指标,使它只与共性因素有关,而与特殊性因素无关(这个指标是应用选控图来实现

的。选控图参见本节后文。),在医院中应用选控治愈率指标来进行评比就合理了。

我们知道,在生产中有两种产品质量:总质量与分质量,现将医院中的两种服务质量:治愈率与选控治愈率与上述两种产品质量进行对比如下:

① 治愈率与所有共性因素和特殊性因素有关,正如总质量受到上影与分质量所有质量因素的影响;其次,总质量的特点是为用户直接感受到,而治愈率的特点也是为病人直接感受到(谁若认为感受不到治愈率的影响,就请他到肿瘤科去尝尝滋味,恐怕“壮士一去兮不复返!”)。从上述比较出发,治愈率也可更确切地称为“总治愈率”。

② 选控治愈率只与共性因素,即所有人的因素有关,这点正与分质量的特点一反映工作质量相当。因此,选控治愈率也可称为分治愈率。应用选控治愈率进行评比从逻辑上讲就是合理的。

### 9.6.2 两种质量的度量

分质量是总质量的一部分,故影响分质量的质量因素也只是影响总质量的质量因素的一部分。质量因素分为异常因素(简称异因)与偶然因素(简称偶因)两大类,由于偶因对质量影响微小,而异因对质量影响大,故我们主要是考虑异因对质量的影响。这样,影响分质量的异常因素也只是影响总质量的异常因素的一部分,至少要少一个上影。

我们知道休图的实质是区分两类质量因素,即异因与偶因。这里,异因指的是整个异因的集合,即异因的全体。故控制总质量必须应用全控图,即对所有异因都全部加以控制的控制图,休图只是全图的一种。全图不能用来控制分质量。控制分质量必须应用选图。全图和选图是一一对应的。有全图就可以构造出其对应的选图。

度量总质量与分质量时要有统一的标准,故必须应用同类型的控制图来度量,如休图与选控休图(参见表 9.6-1),CUSUM 图与选控 CUSUM 图(记为 CUSUMcs 图),EWMA 图与选控 EWMA 图(记为 EAMAcS 图),多元  $T_2$  图与选控多元  $T_2$  图(记为  $T_{2c}$  图)等。

### 9.6.3 两种质量诊断理论的思路

1. 一个发烧病人找医生看病,医生给病人体温表去测量他的体温。若病人的体温为  $39^{\circ}\text{C}$ ,则医生根据人类正常的体温为  $37^{\circ}\text{C}$ ,从而得出诊断结论:该病人发高烧。从医生诊断病人的例子可以得出下列启发:诊断总是通过两个数值:一为某种检验的测量值(如病人的体温  $39^{\circ}\text{C}$ ),另一为该检验的标准值(如人类的正常体温  $37^{\circ}\text{C}$ )的比较而得出。

2. 对于诊断上影而言,一道工序的总质量与分质量二者之中,何者可作为标准值?何者可作为为测量值?由于分质量只决定于人、机、法、测,而与上影无关,故可

作为与上影比较的起点,即标准值。又由于总质量包含上影在内,故可作为测量值。

3. 对于两种质量如何进行度量? 1981 年张公绪提出下列两种方法:

① 应用控制图进行度量:

总质量应用全控图(休图仅是全控图的一种)进行度量。

分质量应用选控图进行度量。

这里,选控图是张公绪在 1980 年提出的新型控制图系列。

通过两种控制图的比较来进行诊断称为两种控制图的诊断(Diagnosis with Two Kinds of Control Chart)。它是瞬时诊断,也称为实时诊断(real time diagnosis)。

② 应用过程能力指数进行度量:

总质量应用总过程能力指数(total process capability index) $C_{p\text{总}}$ 进行度量。

分质量应用分过程能力指数(partial process capability index) $C_{p\text{分}}$ 进行度量。

这里,分过程能力指数是张公绪在 1982 年提出的新型过程能力指数。

通过两种过程能力指数的比较而进行的诊断称为两种过程能力指数的诊断(Diagnosis with Two Kinds of Process Capability Index)。它是阶段诊断(diagnosis over time)。

③ 两种控制图的诊断与两种过程能力指数的诊断都是统计诊断,前者为实时诊断,后者为阶段诊断,二者相辅相成。

④ 技术诊断是最根本的,但它耗资费时;统计诊断是第二位的,但它省钱快速,故二者也相辅相成。应该指出,在有些情形,特别是在多因素场合,只凭人工分析找出导致异常的因素极其困难。这里,统计诊断有其特殊的优越性。例如,在合成橡胶工序有 36 个因素,在印刷电路板的沉铜工序有 27 个因素,现场工程技术人员反映这时仅仅依靠人工分析去找出异常因素几乎是不可能的,必须借助于张公绪的两种质量多元诊断理论或相关单因素多元诊断理论及其软件 DTTQ 2000 来进行诊断。

#### 9.6.4 两种控制图的诊断理论

##### 1. 总质量用全图描述

总质量包括分质量与上影两部分,故总质量受到全部异因的影响。而休图的实质是区分偶因与异因,后者是异因的集合,即包括全部异因。因此,从控制全部异因的角度来看,总质量必须采用休图(Shewhart charts)来度量,或者更一般地称之为全控图(all-control chart),注意,休图仅仅是全控图的一种,迄今的控制图除去张公绪所提出的选控图以外,其余的控制图都是全控图。

##### 2. 分质量用选图度量

(1) 分质量只是总质量的一部分:

$$\text{总质量} \begin{cases} \text{分质量} \\ \text{上影} \end{cases}$$

(2) 如何选择分质量加以控制? 从总质量直接选择分质量有困难,需要迂回



选择,即在总质量中消除上影,剩下的自然就是分质量。

(3) 选图的实质是区分三类因素:非控异因、欲控异因与偶因,参见图 9.6-2。

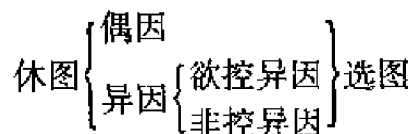


图 9.6-2 选控图区分三类因素

3. 选图的任务:选图的任务有二:

- (1) 消除非控异因,完成选控,
- (2) 区分偶因与欲控异因。

4. 选图如何完成它的任务?

(1) 选图如何完成它的第一个任务选控?

在正态分布情况下,设本工序质量指标为  $y$ ,  $y \sim N(\mu, \sigma^2)$ , 上工序影响用上工序质量指标  $x$  表示,则一般地有

$$\mu = F(x) \quad (9.6-1a)$$

$$\sigma = G(x) \quad (9.6-1b)$$

可见,  $\mu, \sigma$  为随  $x$  而变化的正态分布族,一般的控制图不适用。为了消除上影,达到选控,应用标准变换,于是,在大样本条件下,选控值

$$y_{cs} = \frac{y - \mu}{\sigma} \text{近似服从 } N(0, 1) \quad (9.6-2)$$

实现选控的方法并不是唯一的,如二项分布还可以用反正弦变换,泊松分布还可以用平方根变换去实现选控。

5. 选图如何完成它的第二个任务:区分偶因与欲控异因?

这点与一般控制图原理相同,不多赘言。

6. 选控图的重要特例

所谓“重要”是指这种情形很常见,所谓“特例”即指下列特殊条件:

①  $\sigma = G(x) = \sigma_0$  为一常数(这点可以这样理解,例如,工厂中往往有同类型但属不同规范的产品,这些产品大同小异,由于它们都是同一批人员、同一条生产线、同样的原材料加工出来的,故其质量特性值的分散程度也基本相同。这就是特殊条件①的工程解释。当然,这不是数学证明,不可能绝对正确),

②  $\mu = F(x)$  由回归方法求得(这点是由于下面的推导要用到)。这时,选控值可简化为:

$$y_{csi} = \frac{y_i - \mu_i}{\sigma_i} \approx \frac{y_i - \hat{\mu}_i}{\sigma_0} = \frac{y_i - \hat{y}_i}{\sigma_0} \quad (9.6-3a)$$

或

$$y'_{cs} = \sigma_0 y_{cs} = y_i - \mu_i \approx y_i - \hat{\mu}_i = y_i - \hat{y}_i \approx Y'_{cs} \sim N(0, \sigma_0^2) \quad (9.6-3b)$$

1987 年张公绪在丹麦担任客座教授期间,发现了上述重要特例的一个反例,

即中国环保问题——测量河水中砷化物含量的数据,其 $\sigma \neq \sigma_0$ ,这是很有意义的,因为西方国家的诊断理论都是从上述特例的假设条件出发的,显然,他们的诊断理论处理不了这个反例。而我们的诊断理论既有一般情形(9.6-2),又有特殊情形(9.6-3b),故能够应用一般情形(9.6-2)处理上述反例。

### 7. 选控图的控制界限

在正态分布大样本情况下,若 $\sigma$ 不为常数, $y_{cs} \sim N(0,1)$ ;若 $\sigma = \sigma_0$ 为一常数,则 $y'_{cs} \sim N(0, \sigma_0^2)$ 。因此可以应用正态分布的各种控制图对选控值 $y_{cs}$ 进行控制,从而得到选控休图,参见表9.6-1。

表 9.6-1 休哈特控制图与选控休哈特控制图

数据	分布	休哈特控制图	选控控制图 (下标“cs”表示选控)
计量值	正态分布	$\bar{X} - R_s$ 控制图	$\bar{X}_{cs} - R_{scs}$ (选控单值 - 选控移动极差)控制图
		$\bar{X} - R$ 控制图	$\bar{X}_{cs} - R_{cs}$ (选控均值 - 选控极差)控制图
		$\bar{X} - s$ 控制图	$\bar{X}_{cs} - s_{cs}$ (选控均值 - 选控标准差)控制图
计件值	二项分布	p 控制图	$p_{cs}$ (选控不合格品率)控制图
		np 控制图	$np_{cs}$ (选控不合格品数)控制图
计点值	泊松分布	u 控制图	$u_{cs}$ (选控单位不合格数)控制图
		c 控制图	$c_{cs}$ (选控不合格数)控制图

$\bar{X}_{cs} - R_{scs}$  (选控单值 - 选控移动极差)控制图的控制界限如下:

$\bar{X}_{cs}$  图:

$$\left. \begin{aligned} UCL &= \mu_{\bar{y}_{cs}} + 3\sigma_{\bar{y}_{cs}} \approx \hat{\mu}_{\bar{y}_{cs}} + 3\hat{\sigma}_{\bar{y}_{cs}} = \bar{y}_{cs} + 2.66\bar{R}_{scs} \\ CL &= \mu_{\bar{y}_{cs}} \approx \hat{\mu}_{\bar{y}_{cs}} = \bar{y}_{cs} \\ LCL &= \mu_{\bar{y}_{cs}} - 3\sigma_{\bar{y}_{cs}} \approx \hat{\mu}_{\bar{y}_{cs}} - 3\hat{\sigma}_{\bar{y}_{cs}} = \bar{y}_{cs} - 2.66\bar{R}_{scs} \end{aligned} \right\} \quad (9.6-4)$$

式中, $\mu_{\bar{y}_{cs}}$ 为选控值 $y_{cs}$ 的总体均值, $\sigma_{\bar{y}_{cs}}$ 为 $y_{cs}$ 的总体标准差, $\bar{y}_{cs}$ 为 $y_{cs}$ 的样本均值, $R_{scs}$ 为 $y_{cs}$ 的样本移动极差, $\bar{R}_{scs}$ 为其样本均值。

$R_{scs}$  图:

$$\left. \begin{aligned} UCL &= \mu_{R_{scs}} + 3\sigma_{R_{scs}} \approx \hat{\mu}_{R_{scs}} + 3\hat{\sigma}_{R_{scs}} = 3.267\bar{R}_{scs} \\ CL &= \mu_{R_{scs}} \approx \hat{\mu}_{R_{scs}} = \bar{R}_{scs} \\ LCL &= \mu_{R_{scs}} - 3\sigma_{R_{scs}} \approx \hat{\mu}_{R_{scs}} - 3\hat{\sigma}_{R_{scs}} = - \text{(负号表示以零为自然下界)} \end{aligned} \right\} \quad (9.6-5)$$

$\bar{X}_{cs} - R_{cs}$  (选控均值 - 选控极差)控制图的控制界限如下:

$\bar{X}_{cs}$  图:

$$\left. \begin{aligned} UCL_{\bar{y}_\alpha} &= \mu_{\bar{y}_\alpha} + 3\sigma_{\bar{y}_\alpha} \approx \hat{\mu}_{\bar{y}_\alpha} + 3\hat{\sigma}_{\bar{y}_\alpha} = \bar{\bar{y}}_\alpha + A_2 \bar{R}_\alpha \\ CL_{\bar{y}_\alpha} &= \mu_{\bar{y}_\alpha} \approx \hat{\mu}_{\bar{y}_\alpha} \approx \bar{\bar{y}}_\alpha \\ LCL_{\bar{y}_\alpha} &= \mu_{\bar{y}_\alpha} - 3\sigma_{\bar{y}_\alpha} \approx \hat{\mu}_{\bar{y}_\alpha} - 3\hat{\sigma}_{\bar{y}_\alpha} = \bar{\bar{y}}_\alpha - A_2 \bar{R}_\alpha \end{aligned} \right\} \quad (9.6-6)$$

式中,  $\mu_{\bar{y}_\alpha}$  为  $\bar{y}_\alpha$  的总体均值,  $\sigma_{\bar{y}_\alpha}$  为  $\bar{y}_\alpha$  的总体标准差,  $\bar{\bar{y}}_\alpha$  为  $\bar{y}_\alpha$  的样本均值, 即  $y_\alpha$  的样本总均值,  $R_\alpha$  为  $y_\alpha$  的样本极差,  $\bar{R}_\alpha$  为其均值。

$R_\alpha$  图:

$$\left. \begin{aligned} UCL &= \mu_{R_\alpha} + 3\sigma_{R_\alpha} \approx \hat{\mu}_{R_\alpha} + 3\hat{\sigma}_{R_\alpha} = D_4 \bar{R}_\alpha \\ CL &= \mu_{R_\alpha} \approx \hat{\mu}_{R_\alpha} = \bar{R}_\alpha \\ LCL &= \mu_{R_\alpha} - 3\sigma_{R_\alpha} \approx \hat{\mu}_{R_\alpha} - 3\hat{\sigma}_{R_\alpha} = D_3 \bar{R}_\alpha \end{aligned} \right\} \quad (9.6-7)$$

式中,  $\mu_{R_\alpha}$  为选控值  $R_\alpha$  的总体均值,  $\sigma_{R_\alpha}$  为  $R_\alpha$  的总体标准差。

对于二项分布与泊松分布情况, 选控图另有一系列作法。

### 8. 选控图实例

[选控图实例 9.6-1] 某制药厂抗生素车间为了分清过滤工序与脱色工序的质量责任, 决定在脱色工序建立选控图, 预备数据见表 9.6-2。表中  $x$  表示过滤液透光度,  $y$  表示脱色液透光度。

表 9.6-2 例 9.6-1 的预备数据与  $\bar{X}_\alpha - R_\alpha$  控制图计算表

批号 (1)	$x$ (2)	$y$ (3)	$\hat{y}$ (4)	$y_\alpha$ (5)	$R_\alpha$ (6)
1	76.8	92.1	92.847	-0.747	-
2	72.3	92.9	92.206	0.694	1.441
3	76.9	92.4	92.861	-0.461	1.155
4	78.8	93.4	93.131	0.269	0.730
5	77.2	93.0	92.904	0.096	0.173
6	81.1	93.4	93.459	-0.059	0.155
7	76.2	92.3	92.761	-0.461	0.402
8	80.3	94.0	93.345	0.655	1.116
9	79.0	92.3	93.160	-0.860	1.515
10	74.8	92.7	92.562	0.138	0.998
11	76.4	93.6	93.060	0.540	0.402
12	79.5	91.9	93.231	-1.331	1.871
13	80.3	92.8	93.345	-0.545	0.786
14	80.0	93.2	93.302	-0.102	0.443

续表

批号 (1)	$\bar{x}$ (2)	$y$ (3)	$\hat{y}$ (4)	$y_{cs}$ (5)	$R_{scs}$ (6)
15	76.0	93.3	92.733	0.567	0.669
16	76.7	95.6	93.103	2.497	1.930
17	79.8	94.0	93.244	0.726	1.771
18	77.7	92.4	92.975	-0.575	1.301
19	76.6	93.8	92.818	0.982	1.557
20	75.8	92.8	92.704	0.096	0.886
21	78.7	92.4	93.117	-0.717	0.813
22	76.9	93.2	92.861	0.339	1.056
23	77.5	92.8	92.946	-0.146	0.485
24	80.3	93.6	93.345	0.255	0.401
25	75.3	92.0	92.633	-0.633	0.888
26	77.5	90.9	92.946	-2.046	1.413
27	81.5	93.6	93.516	0.084	2.130
28	76.4	93.7	93.060	0.640	0.556
29	81.9	93.4	93.573	-0.173	0.813
30	76.0	92.7	92.733	-0.033	0.140
31	84.8	95.1	94.986	1.114	1.147
32	78.0	95.3	92.018	2.282	1.168
33	82.8	93.5	93.701	-0.201	2.483
34	80.5	92.6	93.374	-0.774	0.573
35	80.0	93.4	93.302	0.098	0.872
36	77.5	93.5	92.946	0.554	0.456
37	84.0	95.2	93.872	1.328	0.774
38	85.0	93.8	94.014	-0.214	1.542
39	76.9	92.4	92.861	-0.461	0.247
40	76.3	92.9	92.776	0.124	0.585
41	74.0	92.9	92.448	0.452	0.328
42	76.7	92.4	93.103	-0.703	1.155
43	78.7	91.5	93.117	-1.617	0.914
44	79.3	93.0	93.203	-0.203	1.414
45	77.0	94.6	92.875	1.725	1.928
46	81.0	91.9	93.445	-1.545	3.270
47	77.5	91.3	92.946	-1.646	0.101
小计				0.002	46.953

[解]: 由于透光度为计量值,应采用正态分布选控图。为便于说明问题,采用最简单的  $\bar{X}_{scs} - R_{scs}$  控制图,建立步骤如下:

步骤 1: 对于正态分布情况,需要检验质量特性值  $y$  的标准差  $\sigma = G(x)$  是否为

常数。若  $\sigma$  不为常数,应用式(9.6-2),若  $\sigma$  为常数,则应用式(9.6-4)求出选控值  $y_{cs}$ 。该厂根据以往经验知本例脱色液透光度  $y$  的  $\sigma$  为常数。而二项分布与泊松分布则不需要此步骤,因为此二分布的  $\sigma$  参数不为常数。

步骤2:求出函数  $\mu = F(x)$ 。此函数可根据技术分析或回归方法或经验公式得出。本例应用回归方法求出此函数。根据表 9.6-2 中数据作出的散点图(见图 9.6-3),选择回归模型:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x \quad (9.6-8)$$

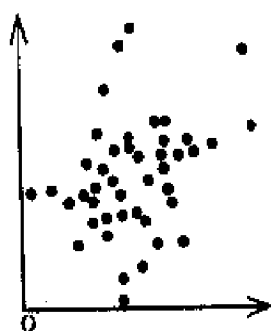


图 9.6-3 例 9.6-1 的散点图

再应用电脑或电子计算器算得式(9.6-9)中的回归系数

$$b_1 = 0.142237 \quad (9.6-9a)$$

$$b_0 = 81.91244 \quad (9.6-9b)$$

以及相关系数  $r=0.374$ ,查本书附录 I 表 I-6 相关系数检验表,当  $n=47, n-2=45$ ,取  $\alpha=1\%$ ,得检验数  $r_{\alpha}(n-2) = r_{0.01}(45) = 0.372$ ,故式(9.6-8)是有意义的。

步骤3:计算回归值  $\hat{y}$ 。应用式(9.6-8)进行计算,计算结果见表 9.6-2 中第(4)栏。例如,对于批号 1,  $x_1 = 76.8$ ,于是

$$\hat{y}_1 = b_0 + b_1 x_1 = 81.91244 + 0.142237(76.8) = 92.847$$

步骤4:计算选控值  $y_{cs}$ 。应用式(9.6-3b),计算结果见表 9.6-2 中第(5)栏。例如,对于批号 1,有

$$y_{cs1} = y_1 - \hat{y}_1 = 92.1 - 92.847 = -0.747$$

步骤5:计算  $R_{cs}$ 。计算结果见表 9.6-2 中第(6)栏。例如,对于批号 2,有

$$R_{cs1} = |y_{cs1} - y_{cs2}| = |-0.747 - 0.694| = 1.441$$

步骤6:计算  $\bar{y}$  与  $\bar{R}_{cs}$ 。从表 9.6-2 末行知

$$\sum_{i=1}^{47} y_{csi} = 0.002 \quad \sum_{i=1}^{46} y_{csi} = 46.953$$

则

$$\bar{y}_{cs} = \frac{1}{47} \sum_{i=1}^{47} y_{csi} = \frac{0.002}{47} = 0.00004 \approx 0.0000$$

$$\bar{R}_{scs} = \frac{1}{47-1} \sum_{i=1}^{46} R_{scs_i} = \frac{46.953}{46} = 1.0207$$

这里,  $\bar{y}_{cs}$  是  $x_{cs}$  图的中心线,  $\bar{R}_{scs}$  是  $R_{scs}$  图的中心线。

步骤 7: 作  $X_{cs} - R_{scs}$  图。先作  $R_{scs}$  图。根据式(9.6-5),  $R_{scs}$  图的控制线为

$$UCL = 3.27\bar{R}_{scs} = 3.267(1.0207) = 3.3346 \approx 3.34$$

$$CL = \bar{R}_{scs} = 1.0207 \approx 1.02$$

$$LCL = - \quad (\text{负号表示 } LCL \text{ 不存, 而以零为自然下界})$$

如图 9.6-3 所示。为了判断脱色工序分质量的分散是否处于稳定状态, 将表 9.6-2 中第(6)栏的  $R_{scs}$  数据点绘在  $R_{scs}$  图中。于是根据判稳准则(1)知脱色工序分质量的波动处于稳定状态。现在将  $\bar{y}_{cs} = 0.0000$  与  $\bar{R}_{scs} = 1.0207$  代入式(9.6-4), 得  $x_{cs}$  图的控制线为

$$UCL = \bar{y}_{cs} + 2.66\bar{R}_{scs} = 0.0000 + 2.66(1.0207) = 2.7151 \approx 2.72$$

$$CL = \bar{y}_{cs} = 0.0000 \approx 0.00$$

$$LCL = \bar{y}_{cs} - 2.66\bar{R}_{scs} = 0.0000 - 2.66(1.0207) = -2.7151 \approx -2.72$$

如图 9.6-4 所示。为了判断脱色工序分质量的均值是否处于稳定状态, 将表 9.6-2 中第(5)栏的  $y_{cs}$  数据点绘在  $x_{cs}$  图中。根据判稳准则(1)知脱色工序分质量的均值也处于稳定状态。因此, 脱色工序的分质量处于稳定状态。可以延长  $X_{cs} - R_{scs}$  图的控制线作为控制用控制图。

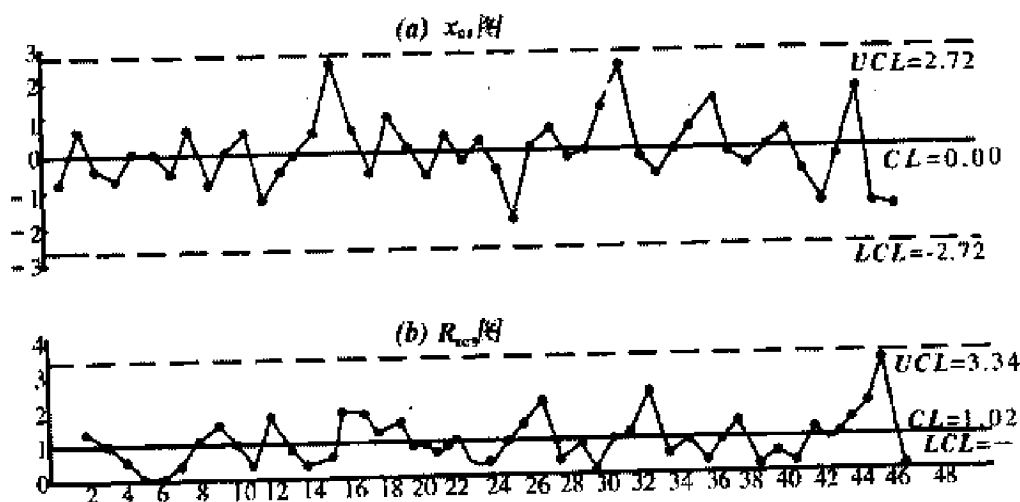


图 9.6-4 例 9.6-1 的  $X_{cs} - R_{scs}$  控制图

### 9.6.5 两种控制图诊断的典型情况

#### 1. 诊断的基本单元——三图诊断系统

一条生产线往往由若干道工序所组成, 我们若要诊断一条生产线, 首先需要将整个生产线分解成若干个基本单元, 然后针对每个基本单元进行诊断。

由于每道工序都要受到上道工序的影响,故这个基本单元应由相邻的两道工序所组成,参见图 9.6-5。在此图中,上道工序与下道工序的接口处是上道工序的总质量,由于受到上道工序总质量的影响,下道工序就存在两种质量,即总质量与分质量。总质量由全图度量,分质量由选图度量,参见图 9.6-5。这样就得到一个三图诊断系统,它就是诊断系统的基本单元。图中的全图采用了休图,而选图自然相应地应该采用选控休图。注意,在三图诊断系统中是以本道工序为中心来进行诊断的。

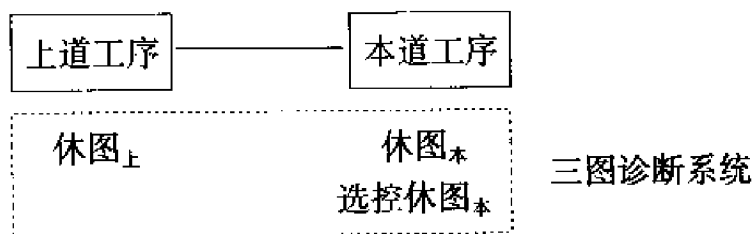


图 9.6-5 三图诊断系统

## 2. 三八表

在图 9.6-5 的三图诊断系统中,每张控制图都有两种状态,即正常状态与异常状态,于是图 9.6-5 中的三张图共有  $2^3 = 8$  种典型情况,参见表 9.6-3,为便于记忆,简称之谓三八(三张控制图、八种典型诊断情况)表。

现在对表 9.6-3 中的八种典型情况分别简单分析如下:

情况 I:分质量异常应在本道工序找出欲控异因,上影异常应在上道工序找出非控异因,并将二者消除。

情况 II:本道工序分质量正常,而上影异常,故应在上道工序找出非控异因并加以消除。

情况 III:分质量异常说明本道工序存在欲控异因,上影异常说明上道工序存在非控异因,但本道工序总质量正常说明欲控异因与非控异因作用方向相反,二者叠加而抵消。因此,此二者中必有一个是不利于改进工序质量的,故只需找出此异常因素并加以消除。

情况 IV:上影异常说明上道工序存在非控异因,但本道工序总质量正常,说明本道工序分质量正常且与上影作用方向相反,二者叠加而抵消,故应在二者中找出不利于工序改进的异常因素并加以消除。

情况 V:上影正常,而本道工序分质量异常说明存在欲控异因,故只需在本道工序中找出异常因素加以消除。

情况 VI:上影和分质量均正常,但二者作用方向相同而叠加,使本道工序总质量异常。这种情况的出现大多由于上影和分质量中有一个的质量特性值已经靠近控制图控制界限,而另一个的质量特性值与其同方向而叠加,结果造成本道工序全控图打点出界而显示异常。这种本身并未异常而仅仅由于方向相同叠加造成质量异常的因素称为致异因素,它扩大了异常因素的概念。

情况Ⅶ:分质量异常,上影正常且与分质量作用方向相反,叠加而抵消,使本道工序总质量正常,故应在二者中找出不利于工序改进的异常因素并加以消除。

情况Ⅷ:上、下道工序均正常,无需处理。

表 9.6-3 两种控制图诊断的三八表

典型情况	上工序全控图	下工序全控图	下工序选控图	诊 断
I	异常	异常	异常	分质量异常(存在欲控异因),上影也异常(存在非控异因)。
II	异常	异常	正常	分质量正常(无欲控异因),上影异常(存在非控异因)。
III	异常	正常	异常	分质量异常(存在欲控异因),上影也异常(存在非控异因),但二者方向相反,叠加而抵消,使总质量正常。
IV	异常	正常	正常	分质量正常(无欲控异因),上影异常(存在非控异因),但二者方向相反,叠加而抵消,使总质量正常。
V	正常	异常	异常	分质量异常(存在欲控异因),上影正常(无非控异因)。
VI	正常	异常	正常	分质量正常(无欲控异因),上影也正常(无非控异因),但二者方向相同而叠加,使总质量异常。
VII	正常	正常	异常	分质量异常(存在欲控异因),上影正常(无非控异因),但二者方向相反,叠加而抵消,使总质量正常。
VIII	正常	正常	正常	分质量、上影和总质量均正常。

注意,由表 9.6-3 可见,若无两种质量,即无两种质量诊断理论,而只有一种质量:总质量,则在生产线的各工序将只使用休图或全图,于是从表 9.6-3 中情况 II、III、IV、VII 可知,将发生虚报与漏报的错误,这已为工厂的实践所证实。注意,这并不是休图本身的错误,而是人们对休图理解的错误。休图只能用来反映总质量,从而包括上影在内。若我们认为休图能够反映分质量而与上影无关,那就是错误的。由此可见,虽然休哈特控制图是美国人休哈特创建的,但真正搞清楚休图的含义却是改革开放后的中国,这是我国对统计过程诊断理论的贡献。

根据两种控制图的诊断理论,我们知道:一条生产线若在道道工序都建立休图是要发生虚报或漏报的,那么如何建立控制图才是正确的呢?请参见图 9.6-6 的四工序生产线,图中以不同线段画出了三个三图诊断系统,这就是根据两种控制图诊断理论正确建立的控制图系统。应该强调说明,这里只要将生产线每道工序的现有数据(不需要额外提供数据)输入软件 SPCD 2000,即可自动计算每个诊断系统的三图并自动应用三八表进行判断,非常方便。



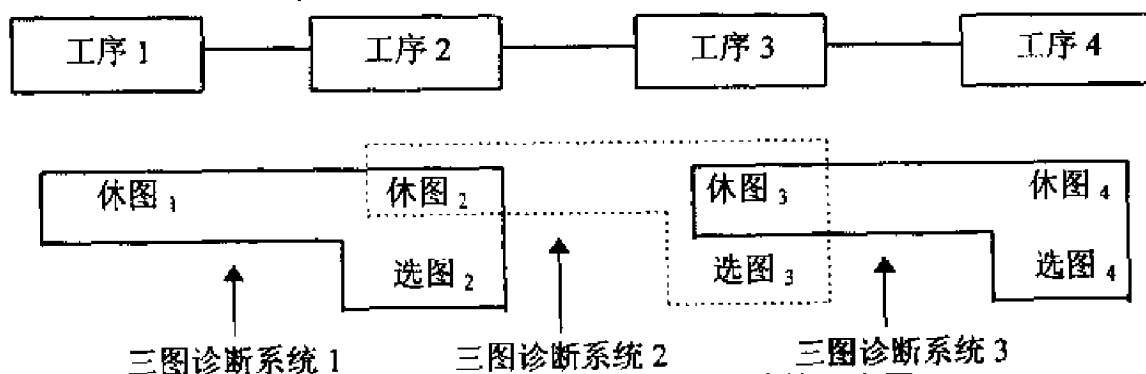


图 9.6-6 生产线建立三图诊断系统的示意图

三八表具有下列特点：

- (1) 三八表共有 8 种典型情形，这是全部可能的情形。
- (2) 三八表反映了上、下道工序的连接，这点十分重要。
- (3) 三八表的诊断应用的是直接逻辑推理，而非统计推理。因此，三八表本身不存在统计推理的两种错误。

(4) 根据不同的诊断需要，诊断系统基本单元以及相应的三八表可以选择不同类型的控制图。也即诊断思路保持不变，而度量两种质量的具体工具可以随着具体的诊断情况而更换。这是两种质量诊断理论的优越之处。国外的诊断理论并无这样的统一的理论。

根据上述，我们可以将两种控制图的诊断归纳成下列进行步骤：

步骤 1：对整个生产线分别建立三图诊断系统，

步骤 2：将每个三图诊断系统按照三八表进行诊断。

### 3. 两种控制图诊断的实例

[例 9.6-2] 我们仍用例 9.6-1。该厂抗生素车间的生产数据见表 9.6-2，日常生产数据见表 9.6-4，试用两种控制图的诊断理论进行诊断。

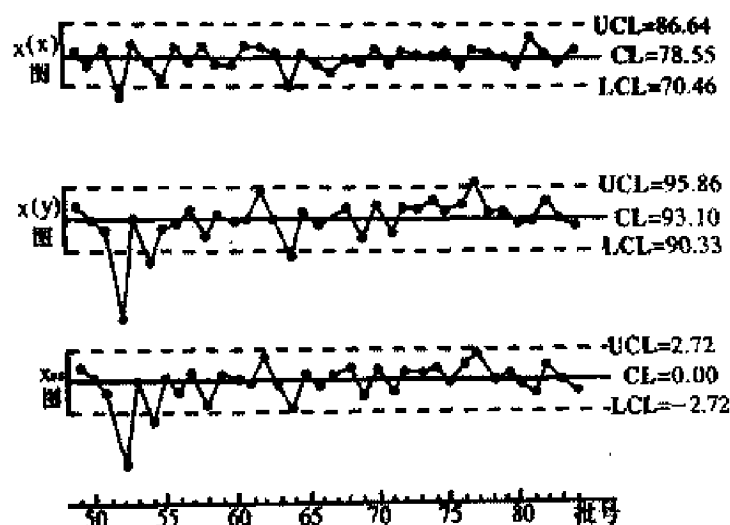
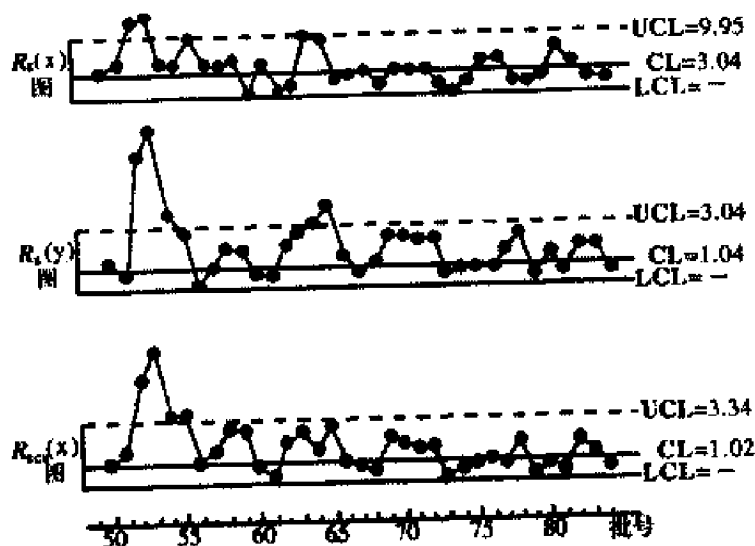
表 9.6-4 例 9.6-2 的日常生产数据与  $\bar{X}_n - R_n$  图的打点计算表

批号 (1)	$\bar{x}$ (2)	$R_n(x)$ (3)	$\bar{y}$ (4)	$R_n(y)$ (5)	$\hat{\bar{y}}$ (6)	$y_n$ (7)	$R_{nn}$ (8)
49	79.0	-	94.3	-	93.160	1.140	-
50	75.5	3.5	92.9	1.4	92.662	0.238	0.902
51	80.3	4.8	92.0	0.9	93.345	-1.345	1.385
52	67.8	12.5	84.3	7.7	91.565	-7.265	5.920
53	81.0	13.2	93.5	9.2	93.445	0.055	7.320
54	-79.6	4.4	89.3	4.2	92.818	-3.518	3.573
55	72.0	4.6	92.4	3.1	92.163	0.237	3.755
56	80.8	8.8	92.6	0.2	93.416	-0.816	1.053
57	-79.6	4.3	93.7	1.1	92.804	0.896	1.712
58	80.8	4.3	91.4	2.3	93.416	-2.016	2.912

续表

批号 (1)	$\bar{x}$ (2)	$R_s(\bar{x})$ (3)	$\bar{y}$ (4)	$R_s(\bar{y})$ (5)	$\hat{\lambda}$ $\bar{y}$ (6)	$y_{cs}$ (7)	$R_{wcs}$ (8)
59	75.6	5.2	93.5	2.1	92.676	0.824	2.840
60	75.7	0.1	92.8	0.7	92.690	0.110	0.714
61	80.3	4.6	93.3	0.5	93.345	-0.045	0.155
62	80.0	0.3	95.5	2.2	93.302	2.198	2.243
63	79.0	1.0	92.5	3.0	93.160	-0.660	2.858
64	69.3	9.7	89.2	3.3	91.779	-2.579	1.919
65	76.4	9.0	93.7	4.5	93.060	0.640	3.219
66	79.6	1.8	92.3	1.4	92.804	-0.504	1.144
67	74.0	2.5	93.0	0.7	92.448	0.552	1.056
68	77.0	3.0	94.1	1.1	92.875	1.225	0.673
69	76.0	1.0	91.4	2.7	92.733	-1.333	2.558
70	79.3	3.3	94.1	2.7	93.203	0.897	2.230
71	76.0	3.3	91.7	2.4	92.733	-1.033	1.930
72	79.5	3.5	94.2	2.5	93.231	0.969	2.002
73	76.6	1.0	93.8	0.4	93.089	0.711	0.258
74	76.4	0.2	94.5	0.7	93.060	1.440	0.729
75	79.8	1.5	93.7	0.8	93.274	0.426	1.014
76	75.0	4.8	94.3	0.6	92.590	1.710	1.284
77	80.5	5.5	96.0	1.7	93.374	2.626	0.916
78	79.0	1.5	93.4	2.6	93.160	0.240	2.386
79	78.0	1.0	93.7	0.3	93.018	0.682	0.442
80	76.0	2.0	92.4	1.3	92.733	-0.333	1.015
81	83.5	7.5	92.8	0.4	93.801	-1.001	0.668
82	79.0	4.5	94.5	1.7	93.160	1.340	2.341
83	76.9	2.1	92.6	1.9	92.861	-0.261	1.601
84	79.4	2.5	92.1	0.5	93.217	-1.117	0.856

[解]:为了应用三八表9.6-3进行诊断,除了本道工序的休图 $X(y) - R_s(y)$ 图与选控图 $X_{cs} - R_{wcs}$ 图外,还作出了上道工序的休图 $X(x) - R_s(x)$ 图,以建立相邻两工序的三图诊断系统。这里选控图的非控异因为上影,用上道工序过滤质量特性值 $x$ 表示。它们的日常打点数据参见表9.6-4中的第(2),(3),(4),(5),(7),(8)栏。上道工序的 $X(x) - R_s(x)$ 图与本道工序的 $X(y) - R_s(y)$ 图的计算过程略。于是得到图9.6-7与图9.6-8。

图 9.6-7 例 9.6-2 的各个  $\bar{x}$  图图 9.6-8 例 9.6-2 的各个  $R$  图

在图 9.6-8 上可以对本道工序脱色液透光度的波动(分散)性是否失控进行诊断,在图 9.6-7 上可以对本道工序脱色液透光度的均值是否失控进行诊断。从图 9.6-7 与图 9.6-8 可分别得出异常批及其诊断,如表 9.6-5 所示。现对表 9.6-5 中的各个异常批说明如下:

(1) 由于质量指标为计量值透光度,它一般服从或近似服从正态分布,故应从均值和波动性两个侧面(见图 9.6-7 与图 9.6-8)来观察其是否异常。

(2) 根据三八表表 9.6-3,很容易判断是否存在欲控异因(本道工序)和非控异因(上影)。这样就分清了上下道工序的质量责任。

(3) 第 52 批:无论从均值或波动性来看均属情况 I,即本道工序和上道工序均异常,需要在本道工序找出欲控异因和在上道工序找出异因,并加以消除。

(4) 第 53 批:从波动性来看属情况 I,但从均值看属正常。仔细分析图 9.6-8 各图中第 52 批至第 53 批的变化,可知这里波动性的变化反映了由异常批第 52 批恢复到正常批第 53 批的波动,而非上、下道工序异常。

表 9.6-5 异常批及其诊断

控制图 批号	$\bar{x}(x)$	$\bar{x}(y)$	$\bar{x}_{cs}$	$R_s(x)$	$R_s(y)$	$R_{s_{cs}}$	属于表 9.6-3 中的哪种情况
52	< LCL	< LCL	< LCL	> UCL	> UCL	> UCL	从均值看属情况 I, 从波动性看属情况 I。
53				> UCL	> UCL	> UCL	从波动性看属情况 I。
54		> UCL	< LCL		> UCL	> UCL	从均值看属情况 V, 从波动性看属情况 V。
55						> UCL	从波动性看属情况 VI。
64	< LCL	< LCL					从均值看属情况 II,
65					> UCL		从波动性看属情况 VI。
77		> UCL					从均值看属情况 VI。

(5) 第 54 批:无论从均值或波动性来看均属情况 V,需要在本道工序找出欲控异因,并加以消除。

(6) 第 55 批:从波动性来看属情况 VII,但从均值看属正常。仔细分析图 9.6-8 各图中第 54 批至第 55 批的变化,可知这里波动性的变化反映了由异常批第 54 批恢复到正常批第 55 批的波动,而非本道工序异常。

(7) 第 64 批:从均值看属情况 II,即上影异常,应在上道工序找出异因并加以消除。

(8) 第 65 批:从波动性看属情况 VI,但从均值看属正常。仔细分析图 9.6-8 各图中第 64 批至第 65 批的变化,可知这里波动性的变化反映了由异常批第 64 批恢复到正常批第 65 批的波动,而非上、下工序异常。

(9) 第 77 批:从均值看属情况 VI,但从波动性看属正常。情况 VI 指分质量正常,上影也正常,二者同方向叠加使总质量异常。不过,这里异常指的是脱色液透光度超出 UCL,表示异常好,应总结好经验。观察图 9.6-7,可见此次异常主要是在  $\bar{X}_{cs}$  图中  $y_{cs}$  值非常靠近其 UCL 而造成的,故应总结本道工序的好经验。

### 9.6.6 过程能力与过程能力指数

#### 1. 过程能力

过程能力(process capability)以往称为工序能力。过程能力是指过程的加工质量满足技术标准的能力,它是衡量过程加工内在一致性的,是稳态下的最小波动。而生产能力则指加工数量方面的能力,二者不可混淆。过程能力决定于质量因素:人、机、料、法、测、环而与公差无关。

当过程处于稳态时,产品的计量质量特性值有 99.73% 落在  $\mu \pm 3\sigma$  的范围内,其中  $\mu$  为质量特性值的总体均值, $\sigma$  为质量特性值的总体标准差,也即有 99.73%

的产品落在上述  $6\sigma$  范围内,这几乎包括了全部产品。故通常用 6 倍标准差( $6\sigma$ )表示过程能力,它的数值越小越好。

## 2. 过程能力指数

过程能力指数(process capability index)以往称为工序能力指数,现在根据 ISO 8402,一律将“process”译为“过程”。本节将介绍双侧公差情形的过程能力指数,单侧公差情形的过程能力指数以及有偏离情形的过程能力指数等内容。

### (1) 双侧公差情形的过程能力指数

对于双侧公差情况,过程能力指数  $C_p$  的计算公式如下:

$$C_p = \frac{T}{6\sigma} = \frac{T_U - T_L}{6\sigma} \approx \frac{T_U - T_L}{6\hat{\sigma}} \quad (9.6-10)$$

式中, $T$  为公差幅度, $T_U$ 、 $T_L$  分别为上、下公差界限, $\sigma$  为质量特性值分布的总体标准差,可用  $\hat{\sigma} = R/d_2$  或  $\hat{\sigma} = \bar{s}/c_4$  来估计,这里, $R$  为样本极差, $\bar{R}$  为其平均值, $s$  为样本标准差, $\bar{s}$  为其平均值, $d_2$ 、 $c_4$  为系数,可查第 9.4 节表 9.4-5。注意,由于  $\sigma$  为总体参数,故必须在稳态下进行估计,这点常规控制图的国标 GB/T 4091-2001 有明确的规定并再三强调,不可忽视。对于尚未推行 SPC 与 SPD 的企业而言,本来是没有条件去计算过程能力指数的,如果客户迫切要求给出  $C_p$  值,在这种不得已的情况,只好选择过程较为平稳阶段的数据计算一下  $C_p$  值,作为临时性的措施。最根本的作法还是赶上世界潮流,尽快推行 SPC 与 SPD。

在上述过程能力指数中, $T$  反映对产品的技术要求(也可以理解为客户的要求),而  $\sigma$  则反映过程加工的一致性(也即本企业的控制范围)所以在过程能力指数  $C_p$  中将  $6\sigma$  与  $T$  比较,就反映了过程加工质量满足产品技术要求的程度,也即企业产品的控制范围满足客户要求的程度。

根据  $T$  与  $6\sigma$  的相对大小可以得到图 9.6-9 的三种典型情况。 $C_p$  值越大,表明加工质量越高,但这时对设备和操作人员的要求也高,加工成本也越大。所以对于  $C_p$  值的选择应根据技术与经济的综合分析来决定。当  $T = 6\sigma$ ,  $C_p = 1$ ,从表面上看,似乎这是既满足技术要求又很经济的情况。但由于过程总是波动的,分布中心一有偏移,不合格品率就要增加,因此,通常取  $C_p$  大于 1。

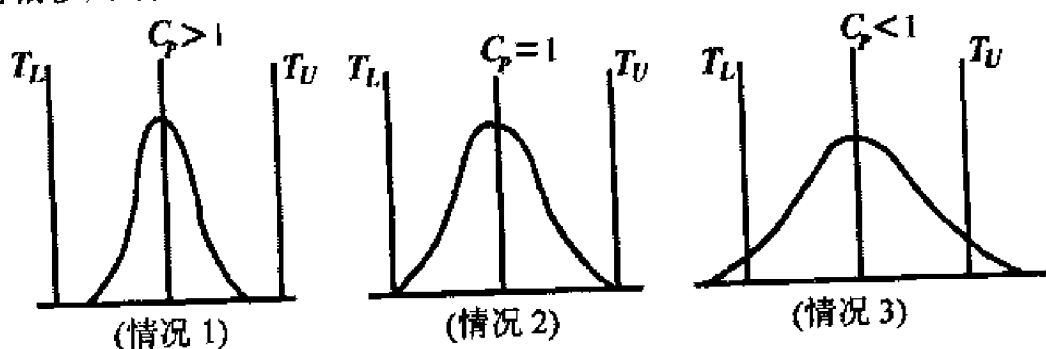


图 9.6-9 各种分布情况下的  $C_p$  值

一般,对于过程能力指数制定了如表 9.6-6 所示的评价参考。从式(9.6-10)可知,当  $C_p = 1.33$ ,  $T = 8\sigma$ , 这样整个质量指标值的分布基本上均在上下公差界限之内,且留有一定余地,见图 9.6-9 的情况 1。因此,可以说  $C_p \geq 1.33$  时工序能力充分满足质量要求。故体图的国标 GB/T 4091-2001 也要求  $C_p \geq 1.33$ 。需要说明的是,随着时代的进步,对于高质量、高可靠性的“6 $\sigma$  控制”情况,甚至要求  $C_p$  达到 2.0 以上,所以对  $C_p \geq 1.67$  时认为过程能力过高的说法应视具体情况而定。参见图 9.6-10。

表 9.6-6 过程能力指数  $C_p$  值的评价参考

$C_p$ 值的范围	级别	过程能力的评价参考
$C_p \geq 1.67$	I	过程能力过高(应视具体情况而定)。
$1.67 > C_p \geq 1.33$	II	过程能力充分,表示技术管理能力已很好,应继续维持。
$1.33 > C_p \geq 1.0$	III	过程能力较差,表示技术管理能力较勉强,应设法提高为 II 级。
$1.0 > C_p \geq 0.67$	IV	过程能力不足,表示技术管理能力已很差,应采取措施立即改善。
$0.67 > C_p$	V	过程能力严重不足,表示应采取紧急措施和全面检查,必要时可停工整顿。

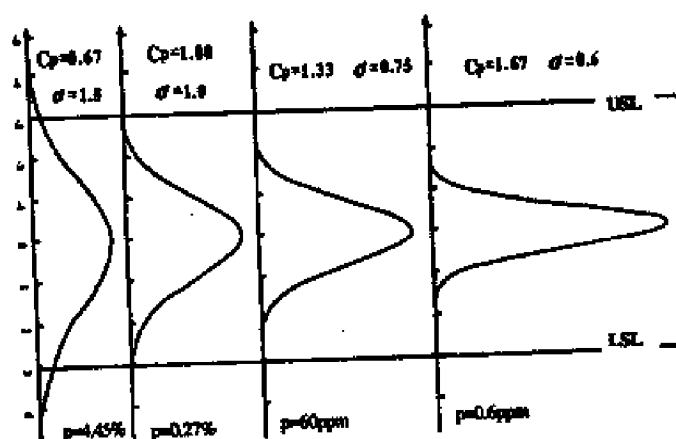


图 9.6-10 典型  $C_p$  值情况下质量特性值正态分布的图形

在图 9.6-10 中还应该补充下列情况,即  $C_p = 2$ ,  $\sigma = 0.5$ ,  $p = 2 \text{ ppb} = 2 \times 10^{-9}$ 。事实上,从  $C_p = 1$ ,  $\sigma = 1.0$ ,可得出: $C_p = 1 = T/6\sigma = T/6$ ,即  $T = 6$ ,于是  $\sigma = 1/C_p$ 。故对于

$C_p = 2, \sigma = 1/2 = 0.5$ 。注意,过程能力指数与不合格品率是一一对应的。

### (2) 单侧公差情况的过程能力指数

若只有上限要求,而对下限没有要求,则过程能力指数计算如下:

$$C_{pu} = \frac{T_U - \mu}{3\sigma} \approx \frac{T_U - \bar{X}}{3S}, \quad T_U > \bar{X}^1 \quad (9.6-11)$$

式中,  $C_{pu}$  为上单侧过程能力指数。这里不考虑  $\bar{X} \geq T_U$  的情况。

若只有下限要求,而对上限没有要求,则过程能力指数计算如下:

$$C_{pl} = \frac{\mu - T_L}{3\sigma} \approx \frac{\bar{X} - T_L}{3S}, \quad \bar{X} > T_L^2 \quad (9.6-12)$$

式中,  $C_{pl}$  为下单侧过程能力指数。这里不考虑  $\bar{X} \leq T_L$  的情况。

(3) 有偏移情况的过程能力指数当产品质量特性值分布的均值  $\mu$  与公差中心  $M$  不重合(即有偏移)时,显然不合格品率增大,也即  $C_p$  值降低,故式(9.6-10)所计算的过程能力指数不能反映有偏移的实际情况,需要加以修正(见图 9.6-11)。定义分布中心  $\mu$  与公差中心  $M$  的偏移为

$$\epsilon = |M - \mu|$$

以及  $\mu$  与  $M$  的偏移度  $K$  为

$$K = \frac{\epsilon}{T/2} = \frac{2\epsilon}{T}, \quad 0 < K < 1 \quad (9.6-13)$$

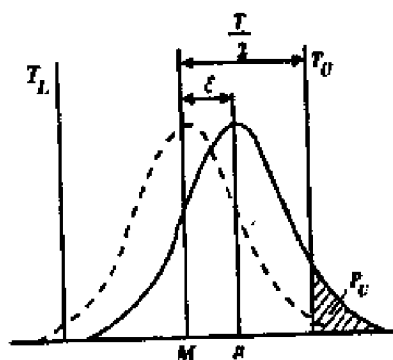


图 9.6-11 产品质量分布的均值  $\mu$  与公差中心  $M$  不重合的情况

则式(9.6-10)的过程能力指数修正如下:

$$C_{pk} = (1 - K)C_p = (1 - K)\frac{T}{6\sigma} \approx (1 - K)\frac{T}{6s} \quad 0 < K < 1^3, \quad (9.6-14)$$

这样,当  $\mu = M$ (即分布中心与公差中心重合无偏移)时,  $K = 0, C_{pk} = C_p$ , 即还原。

注意,  $C_{pk}$  也必须在稳态下求得。

### (4) $C_p$ 和 $C_{pk}$ 的比较与说明

<sup>1</sup> 参见日本木暮正夫:工程能力的理论及其应用,日科技连,第二版,第三次印刷,东京,1984  
<sup>2</sup> 同上注  
<sup>3</sup> 参见注1和注2

根据上述,简而言之,无偏移情况的  $C_p$  表示过程加工的一致性,即“质量能力”, $C_p$  越大,则质量特性值的分布越“苗条”,质量能力越强;而有偏移情况的  $C_{pk}$  表示过程中心  $\sigma$  与公差中心  $M$  的偏移情况, $C_{pk}$  越大,则二者偏离越小,也即过程中心对公差中心越“瞄准”。是过程的“质量能力”与“管理能力”二者综合的结果。故  $C_p$  与  $C_{pk}$  二者的着重点不同,需要同时加以考虑。

由于  $C_p$  与  $C_{pk}$  是无量纲的,故通过  $C_p$  与  $C_{pk}$  可以了解各个供应商的质量水平,也可以对本企业各个生产单位的质量进行评价比较。

将  $C_p$  与  $C_{pk}$  二数值联合使用,可对产品质量有更全面的了解,参见表 9.6-7。

表 9.6-7 联合应用  $C_p$  与  $C_{pk}$  所代表的合格品率

$C_{pk} \backslash C_p$	0.33	0.67	1.00	1.33	1.67	2.00
0.33	66.368%	84.000%	84.134%	84.134%	84.13447%	84.13447%
0.67		95.450%	97.722%	97.725%	97.72499%	97.72499%
1.00			99.730%	99.865%	99.86501%	99.86501%
1.33				99.994%	99.99683%	99.99683%
1.67					99.99994%	99.99997%
2.00						99.9999998%

从表 9.6-7 可见,若  $C_p = C_{pk} = 1.33$ ,则合格品率为 99.994%。猛一看,这种质量水平似乎过分严格了。其实,如果考虑到有些产品,例如多层电路板,工序可达 100 道以上,这时累计合格品率将降低为  $(99.994\%)^{100} = 99.96\%$ ,何况每道工序的过程能力指数都要达到 1.33 方才能够取得这样的结果,可见多层电路板的质量要求是非常严格的。

### 9.6.7 两种过程能力指数与两种过程能力指数的诊断

#### 1. 两种过程能力指数

任何一道工序都存在两种质量,即总质量与分质量,与此相应地也应该有两种过程能力指数,即

(1)综合过程能力指数,简称总过程能力指数,记以  $C_{p\text{总}}$ 。它就是通常意义下的过程能力指数,用以反映总质量的阶段情况。

(2)固有过程能力指数,简称分过程能力指数,记以  $C_{p\text{分}}$ ,用以反映分质量的阶段情况。由于分质量是一种新的质量概念,所以  $C_{p\text{分}}$  也是一种新的过程能力指数。

以双侧公差情况为例,由式(9.6-10)得

$$C_{p\text{总}} = \frac{T_{\text{总}}}{6\sigma_{\text{总}}} = \frac{T}{6\sigma_{\text{总}}} \quad (9.6-15)$$

式中,  $T_{\text{总}}$  为总质量的公差,也即通常的公差  $T = T_U - T_L$ ,  $\sigma_{\text{总}}$  可由相应的全控图得



出。

与此相应地,有

$$C_{p分} = \frac{T_{分}}{6\sigma_{分}} = \frac{T}{6\sigma_{分}} \quad (9.6-16)$$

式中,  $T_{分}$  为分质量的公差, 当无上影时,  $T_{总} = T_{分}$ , 故知  $T_{分} = T$ ;  $\sigma_{分}$  为分质量的标准差, 可由相应的选控图得出。

由于分质量是总质量的一部分, 影响分质量的因素个数总是少于影响总质量的因素个数, 故前者的波动小于后者, 即有  $\sigma_{分} \leq \sigma_{总}$ , 于是

$$C_{p总} \leq C_{p分} \quad (9.6-17)$$

上式说明  $C_{p分}$  是该工序的过程能力指数的上界, 只有当非控异因排除后, 方有  $C_{p总} = C_{p分}$ 。应用式(9.6-17), 可以进行质量预测, 即若排除非控异因, 则质量提高的最大幅度为

$$d = C_{p分} - C_{p总} \quad (9.6-18)$$

或相对幅度为

$$d_r = \frac{d}{C_{p分}} = \frac{C_{p分} - C_{p总}}{C_{p分}} = 1 - \frac{\sigma_{分}}{\sigma_{总}} \quad (9.6-19)$$

式(9.6-19)的最后一个等式表明, 即使规定的公差  $T$  未知, 同样可以计算出  $d_r$ 。

### 9.6.8 两种过程能力指数的诊断

应用两种过程能力指数进行诊断的步骤是:

步骤1: 根据  $d_r$  的数值大小判断上影是否严重。当  $d_r > 30\%$  时, 认为非控异因影响大; 当  $d_r < 10\%$  时, 认为非控异因影响小; 而当  $10\% \leq d_r \leq 30\%$  时, 认为非控异因影响中等。

步骤2: 根据本道工序的分过程能力指数  $C_{p分}$  判断本道工序的加工质量情况, 对照表9.6-6, 当  $C_{p分}$  值较低时, 例如低于1.33, 就需改进本道工序, 减少  $\sigma_{分}$ , 从而提高  $C_{p分}$  值。

[实例9.6-3] 某制药厂土霉素车间测得各道工序的两种过程能力指数如表9.6-8所示。现欲改进最终产品的质量, 试问哪几道工序是改进质量的关键?

表 9.6-8 土霉素车间各工序的两种工序能力指数

工 序 $C_p$ 值	发酵 (1)	酸化 (2)	脱色 (3)	结晶 (4)	成品 (5)
$C_{p总}$	0.9	1.0	1.0	0.9	0.8
$C_{p分}$	0.9	1.5	1.1	1.6	1.5
$d_r(\%)$	0	33.3	9.1	43.8	46.7

[解]: 现采取三种方法进行讨论:

(1) 由后往前,逐道工序进行诊断。先计算  $d_i$ , 根据  $d_i$  判断上影是否严重, 再根据  $C_{p\frac{分}{总}}$  判断分质量水平。例如:

第5道成品工序:  $d_i = 46.7\% > 30\%$ , 故上影严重; 其次  $C_{p\frac{分}{总}} = 1.5$ , 对于制药、化工等行业来说已经很高。因此, 只要上道工序解决了问题, 本道工序的  $C_{p\frac{总}{总}} = 0.8$  很低的问题自然迎刃而解。故本道工序非关键工序。

第4道结晶工序:  $d_i = 43.8\% > 30\%$ , 故上影严重; 其次  $C_{p\frac{分}{总}} = 1.6$ , 很高。因此, 只要上道工序解决了问题, 本道工序的  $C_{p\frac{总}{总}} = 0.9$  很低的问题自然迎刃而解。故本道工序也非关键工序。

第3道脱色工序:  $d_i = 9.1\% < 10\%$ , 故上影轻微; 其次  $C_{p\frac{分}{总}} = 1.1$ , 不高。因此, 本道工序是生产线技术改造的关键工序之一。

第2道酸化工序:  $d_i = 33.3\% > 30\%$ , 故上影严重; 其次  $C_{p\frac{分}{总}} = 1.5$ , 很高。因此, 只要上道工序解决了问题, 本道工序的  $C_{p\frac{总}{总}} = 1.0$  不高的问题自然迎刃而解。故本道工序也非关键工序。

第1道发酵工序: 由于原材料的供应比较稳定, 为了简化分析, 不考虑原材料的上影, 故两种质量相等, 于是  $C_{p\frac{总}{总}} = C_{p\frac{分}{分}} = 0.9$ ,  $d_i = 0$ ; 其次  $C_{p\frac{分}{分}} = 0.9$ , 很低。因此, 本道工序也是生产线技术改造的关键工序。

结论: 第1道和第3道工序是技术改造的关键工序。

(2) 只观察表 9.6-8 中的  $C_{p\frac{分}{分}}$  值, 选择  $C_{p\frac{分}{分}}$  值  $\leq 1.33$  的工序作为进行改造的关键工序。观察表各工序的  $C_{p\frac{分}{分}}$  值, 立即可发现第 1、3 两道工序的  $C_{p\frac{分}{分}}$  值最低, 都在 1.0 左右, 所以它们就是技术改造的关键。

(3) 只观察表 9.6-8 中的  $C_{p\frac{总}{总}}$  值, 选择小于等于 1.33 者。这是国内外现行的方法。可见各工序都有  $C_{p\frac{总}{总}} \leq 1.0$ , 所以每道工序都是技术改造的关键。但是, 现场的实际技术检查证明这个结论是错误的, 只有第 1、3 两道工序才是技术改造的关键。造成错误的原因就是由于  $C_{p\frac{总}{总}}$  与上道工序有关。与上道工序关系越密切, 即  $d_i$  值越大, 则  $C_{p\frac{总}{总}}$  所受的影响就越大, 造成错误的程度也就越大。例如, 上述第 2、4、5 道工序即如此。

必须强调指出, 目前的作法正是上述方法 (3), 这应该引起大家足够的重视。实例 9.6-3 再次证实了两种质量诊断理论的威力。

在现场常常听到人们反映, 我们的产品质量还不错, 但不知道为什么计算出来的过程能力指数  $C_p$  总是不高。其实在很多场合, 所计算的过程能力指数都是总过程能力指数  $C_{p\frac{总}{总}}$ , 由于受到上道工序的影响,  $C_{p\frac{总}{总}}$  的数值自然就不会很高。如果应用分过程能力指数  $C_{p\frac{分}{分}}$  来计算, 过程能力指数的数值就能反映出该工序的真实情况。当然, 最好的作法是采取措施消除上影, 使得  $C_{p\frac{总}{总}}$  的数值高起来。

### 9.6.9 多元统计过程诊断理论

#### 1. 多工序、多指标系统

在现场,多元情况普遍存在。严格讲,几乎每一个工厂的生产线都是一个多工序、多指标系统(multi-operation and multi-index system)。所谓多工序、多指标系统的含义是:

(1) 多工序系统是指产品经过多于一道工序的生产线加工的系统。产品只经过一道工序加工就完成了的情况是罕见的。

(2) 多指标系统是指至少有一道工序的指标数目多于一个的系统。这里,质量指标和技术参数统称指标。由于每道工序至少有一个技术参数和一个质量指标,故多指标系统总是成立的。

例如,某电路板生产线共有 17 道工序,每道工序的指标少则 2 个,多则 27 个;某安乃近生产线共有 6 道工序,每道工序的指标少则 2 个,多则 4 个;某合成橡胶生产线共有 3 道工序,每道工序的指标少则 4 个,多则 36 个;这样的例子比比皆是。

#### 2. 在多工序、多指标系统中进行质量控制与诊断所存在的问题

在多工序、多指标系统中进行质量控制与诊断(SPC与SPD)存在下列问题:

(1) 在多工序生产线存在上道工序影响下道工序的问题。在一条多工序的生产线中,通常,上道工序的加工会给下道工序带来影响(简称上影,preceding influence)。由于上影与本工序的加工是综合在一起的,如果不能加以区分,就分不清上、下道工序的质量责任,也就无法进行科学的质量控制与诊断。显然,多工序生产线需要对上影进行诊断。

(2) 多指标工序存在指标相关性的问题。在一道工序中若有多个指标,通常,指标之间具有相关性(correlation)。例如,在电路板生产线中,沉铜工序的质量指标沉铜速率、背光级数就与 25 个技术参数:  $\text{HCHO}$ (甲醛),  $\text{NaOH}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  等有关。当沉铜质量指标发生异常,需要诊断究竟是哪个或哪些技术参数致使沉铜质量指标异常。显然,多指标工序需要在指标相关的条件下诊断出引起异常的指标。

注意,上影是不可逆的,而相关则是互相的,二者的性质不同,因此,它们的诊断也需要应用不同的方法来解决。

(3) 在多工序、多指标体系中,既有纵的联系—上影,又有横的联系—指标相关性,这二者同时存在,就形成了纵横交错的复杂问题,无论对上影进行诊断或对相关指标进行诊断都更为复杂化。

#### 3. 以下将简单介绍解决上述问题的思路与方法。

##### (1) 在多工序生产线中如何诊断上影?

在多工序生产线中诊断上影需要应用两种控制图的诊断理论。这里不再赘述。

##### (2) 在多指标工序中如何诊断相关指标?

在多指标工序中诊断相关指标主要应用张公绪在 1996 年提出的两种质量多元诊断理论。两种质量多元诊断理论的思路与两种质量诊断理论基本上相同,只不过这里的多元情况应用了多元  $T^2$  控制图与选控多元  $T^2$  控制图(后者是张公绪

在1996年提出的一种新型 $T^2$ 控制图,代替了三图诊断系统图9.6-5中的休图与选控休图,参见图9.6-12。

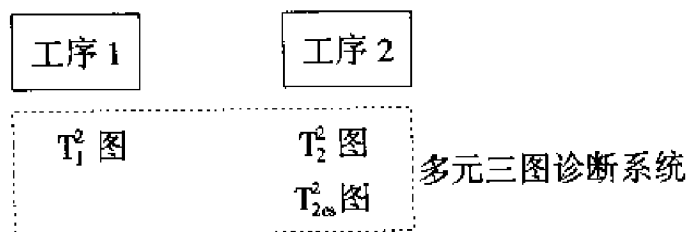


图 9.6-12 多元三图诊断系统,图中 $T_{2\text{选}}^2$ 图为工序2的选控 $T_{2\text{选}}^2$ 图

4. 多元情况与一元情况不同,引出新特点。

多指标生产线中至少有一道工序具有多指标,而多指标之间往往存在相关性。在指标相关的条件下进行科学管理(SPC与SPD)是相当复杂的。

在现场,技术人员极容易犯的一个错误就是把多元问题简单地分解为若干个一元问题来处理。例如,现场不少技术人员认为,我们把工序的每个指标都控制在其公差界限内,这已经是做到家了,还能进一步做什么?!其实,他们不明白,在多元情况下就产生了一个指标相关的新特点,这是以往一元情况所没有的。现场技术人员对于指标间的相关性通常不加以控制,而这是多元情况不容许的。为了说明这一点,参见例9.6-3。

[例9.6-3] 设某道工序,共有两个指标: $X_1, X_2$ ,它们的成组数据见表9.6-9。我们对指标: $X_1, X_2$ 分别作 $\bar{X}$ 控制图如图9.6-13(a)、(b)所示。由图可见,并未发现异常。但若仔细观察图9.6-13(a)、(b)或表9.6-9中的第(6)、(11)栏的数据,就可发现:两图点子的波动态势是基本相似的,同起同落。可是在图9.6-13(a)中第10个点子呈下降趋势,而在图9.6-13(b)中第10个点子则呈上升趋势,二者相反,与两图点子同起同落这一点相违背,换言之,也即二指标之间的相关性或相关关系在第10点处有异常的变化。对于多指标间具有相关性的这一事实,一元控制图是反映不了的,只有多元控制图才能加以反映。例如,本例的多元 $T^2$ 控制图,参见图9.6-14。由图可见,第10点超出上控界,正确地反映了变量间关系异常的客观事实。

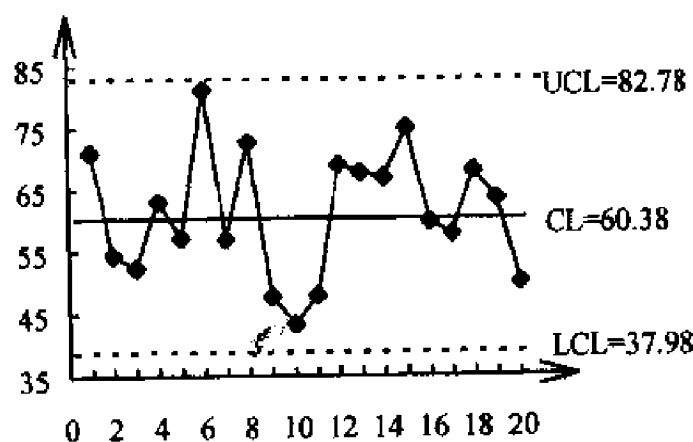
表 9.6-9 例 9.6-3 的数据及计算表

组号 (1)	$X_1$					$X_2$					$T^2$ (12)
	$X_{11}$ (2)	$X_{12}$ (3)	$X_{13}$ (4)	$X_{14}$ (5)	$\bar{X}_1$ (6)	$X_{21}$ (7)	$X_{22}$ (8)	$X_{23}$ (9)	$X_{24}$ (10)	$X_2$ (11)	
1	72	84	79	49	71.00	23	30	28	10	22.75	1.94
2	56	87	33	42	54.50	14	31	8	9	15.50	0.73
3	55	73	22	60	52.50	13	22	6	16	14.25	1.32

续表

组号 (1)	$X_1$					$X_2$					$T^2$ (12)
	$X_{11}$ (2)	$X_{12}$ (3)	$X_{13}$ (4)	$X_{14}$ (5)	$\bar{X}_1$ (6)	$X_{21}$ (7)	$X_{22}$ (8)	$X_{23}$ (9)	$X_{24}$ (10)	$\bar{X}_2$ (11)	
4	44	80	54	74	63.00	9	28	15	25	19.25	0.11
5	97	26	48	58	57.25	36	10	14	15	18.75	1.98
6	83	89	91	62	81.25	30	35	36	18	29.25	8.97
7	47	66	53	58	56.00	12	18	14	16	15.00	1.72
8	88	50	84	69	72.75	31	11	30	19	2.75	3.26
9	57	47	41	46	47.75	14	10	8	10	10.50	4.75
10	26	39	52	48	41.25	7	11	35	30	20.75	66.52
11	46	27	63	34	42.50	10	8	19	9	11.50	7.18
12	49	62	78	87	69.00	11	20	27	31	22.25	1.19
13	71	63	82	55	67.75	22	16	31	15	21.00	1.07
14	71	58	69	70	67.00	21	19	17	20	19.25	2.67
15	67	69	70	94	75.00	18	19	18	35	22.50	6.58
16	55	63	72	49	59.75	15	16	20	12	15.75	2.28
17	49	51	55	76	57.75	13	14	16	26	17.25	0.20
18	72	80	61	59	68.00	22	28	18	17	21.25	1.05
19	61	74	62	57	63.50	19	20	16	14	17.25	2.90
20	45	48	51	56	50.00	10	11	13	16	12.50	2.54

因此,在多元情况要考虑变量间的相关性,这是多元情况的一个重要特点,也是一元情况所没有的新特点。由此可知,将多元问题简单化地分解成为若干个一元问题来处理的作法没有考虑变量间的相关性,会导致错误的结论。这是现场极易犯的错误。

图 9.6-13(a)  $x_1$  的  $\bar{X}$  图

其

个  
中  
参

表

(  
1  
8  
7  
2  
0  
2  
2  
8  
9  
7  
7  
8  
8  
0  
2  
0  
4

时

对

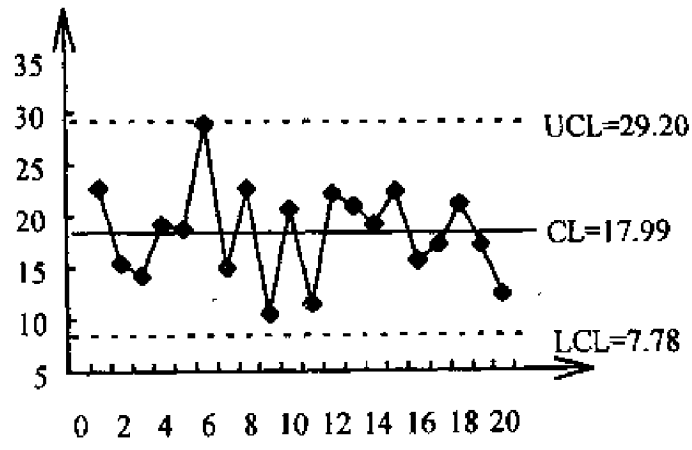


图 9.6-13(b)  $x_2$  的  $\bar{X}$  图

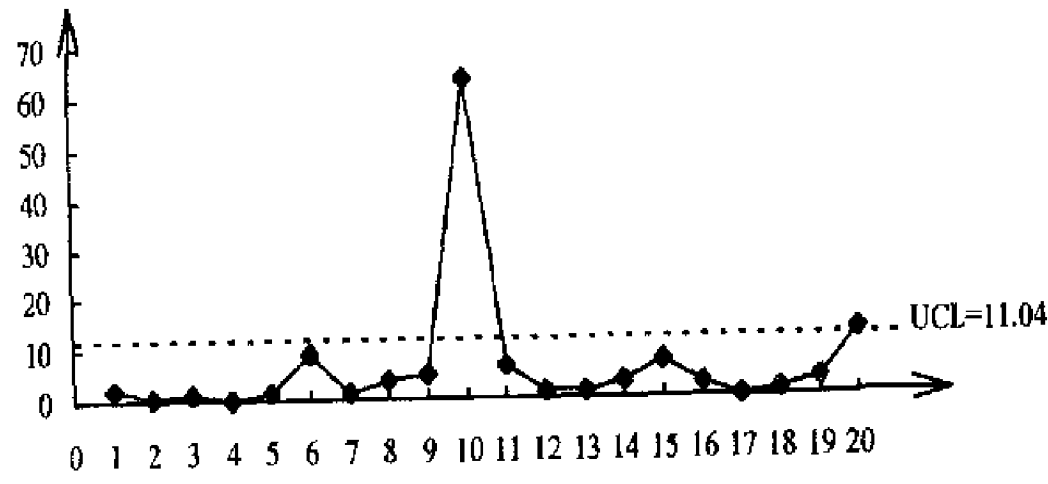


图 9.6-14 例 9.6-3 的  $T^2$  图

更具体点说,假定某工序共有 10 个指标,记以  $X_1, X_2, \dots, X_{10}$ 。现场人员把每个指标都控制在其公差界限内,这一点从统计角度看,不过是控制了 10 个均值  $\mu_i, i=1, \dots, 10$ 。而表示 10 个变量间相关关系的协方差矩阵(covariance matrix)为:

	$X_1$	$X_2$	...	$X_{10}$
$X_1$	$s_{11}$	$s_{12}$	...	$s_{110}$
$X_2$	$s_{21}$	$s_{22}$	...	$s_{210}$
...	...	...	...	...
$X_{10}$	$s_{101}$	$s_{102}$	...	$s_{1010}$

其中,  $s_{ii}$  为方差,在本例共有 10 个方差,即  $s_{ii}, i=1, 2, \dots, 10$ 。

$s_{ij}, i \neq j, i, j=1, 2, \dots, 10$  为协方差,由于  $s_{ij} = s_{ji}$ ,故在本例共有:

$$(10 \times 10 - 10)/2 = 45$$

个协方差。这样,在总共 10(个均值) + 10(个方差) + 45(个协方差) = 65 个参数中,现场人员只控制了其中 10 个均值,占全部 65 个参数的 15.4%,而占 84.6% 的参数并未被控制,尤其是占全部参数 69.2% 的反映相关关系的协方差一个也没有

被控制。因此,难怪现场人员经常反映:“不知怎么回事,过程一会儿变好了,一会儿又变坏了,莫名其妙”!其实奥妙就在这里:他们自以为把所有指标和参数都加以控制了,而事实上只控制了其中一小部分,大部分参数都未被控制,尤其是反映参数之间关系的协方差系数一个都没有加以控制,这就是问题之所在。难怪过程的表现经常出乎他们的意料之外。

要想在指标相关的条件下进行SPC与SPD,需要应用张公绪教授在1996年所提出的两种质量多元诊断理论(Multivariate Diagnostic Theory with Two Kinds of Quality)和在1998年提出的相关单因素多元诊断理论(Multivariate Diagnostic Theory of Correlative Uni-Factor)及其多元诊断软件DTTQ 2000,这样才能把所有参数都控制住。故我们必须强调多元情况下的一个重要事实,即多元问题不能简单地分解成为若干个一元问题来处理。这样做将会导致错误的结论。

5. 对多工序、多指标的生产线进行科学管理(SPC与SPD)需要考虑哪些问题

(1) 对于多工序生产线需要应用两种质量诊断理论去诊断上影。

(2) 对于多指标生产线需要应用两种质量多元诊断理论在指标相关的条件下去诊断引起过程异常的指标。

(3) 多元控制图

1947年美国侯铁林(H. Hotelling)提出多元 $T^2$ 控制图,在西方国家广泛应用 $T^2$ 分布实质上就是一元 $t$ 分布的多元对应式。我们知道,统计量

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{s/\sqrt{n}}$$

的分布称为 $t$ 分布。若所要检验的假设为 $\mu = \mu_0$ ,则我们有

$$t = \frac{\bar{X} - \mu_0}{s/\sqrt{n}}$$

于是  $t^2 = \frac{(\bar{X} - \mu_0)^2}{s^2/n} = n(\bar{X} - \mu_0)(s^2)^{-1}(\bar{X} - \mu_0)$

当上式推广到 $p$ 个变量时,成为

$$T^2 = n(\bar{X} - \mu_0)'S^{-1}(\bar{X} - \mu_0) \quad (9.6-20)$$

式中,

$$\bar{X} = \begin{bmatrix} \bar{X}_1 \\ \bar{X}_2 \\ \vdots \\ \bar{X}_p \end{bmatrix}, \mu_0 = \begin{bmatrix} \mu_{01} \\ \mu_{02} \\ \vdots \\ \mu_{0p} \end{bmatrix}$$

$S^{-1}$ 为样本协方差矩阵 $S$ 的逆矩阵, $n$ 为样本量, $\bar{X}_i = 1, 2, \dots, p$ ,是第 $i$ 个分量的 $n$ 个样本的均值。

在式(9.6-20)中考虑了总体参数的估计值后,我们有

$$T^2 = (X - \bar{X})' S^{-1} (X - \bar{X}), \quad (\text{单值数据}) \quad (9.6-21)$$

或

$$T^2 = n(\bar{X} - \bar{\bar{X}})' S^{-1} (\bar{X} - \bar{\bar{X}}), \quad (\text{成组数据}) \quad (9.6-22)$$

式中,  $x$  为观测值向量,  $\bar{x}$  为观测值均值的向量,  $\bar{\bar{x}}$  为观测值总均值向量,  $S$  为各个 (设有  $p$  个) 元的协方差矩阵:

其

中

的

协

方差

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_p \end{bmatrix}, \bar{X} = \begin{bmatrix} \bar{X}_1 \\ \bar{X}_2 \\ \vdots \\ \bar{X}_p \end{bmatrix}, \bar{\bar{X}} = \begin{bmatrix} \bar{\bar{X}}_1 \\ \bar{\bar{X}}_2 \\ \vdots \\ \bar{\bar{X}}_p \end{bmatrix}, S = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \cdots & s_{1p} \\ s_{21} & s_{22} & \cdots & s_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{p1} & s_{p2} & \cdots & s_{pp} \end{bmatrix},$$

这里,  $s_{ij}, i \neq j, i, j = 1, 2, \dots, p$ , 表示协方差, 故  $T^2$  控制图能够全面地考虑各元之间的相关性;  $S^{-1}$  为  $S$  的逆矩阵。

$T^2$  控制图的优点是能够全面地考虑各元之间的相关性, 并能在变量相关的条件下精确地给出第一类错误的概率  $\alpha$ , 但它最大的缺点就是不能诊断, 当  $T^2$  控制图显示异常后, 它不能告知是哪个或哪些变量引起的异常, 而正是在多元情况才更迫切需要进行诊断。另一方面, 两种质量诊断理论最大的优点则是能够进行诊断, 张公绪在 1996 年提出两种质量多元诊断理论将上述两种理论的优点集中, 同时又避开了它们的缺点, 居世界领先水平。

## 6. 一元控制图和多元控制图的控制与稳态。

### (1) 一元控制图的控制与稳态

什么叫稳态? 稳态即只有偶因 (没有异因) 造成的变异的状态。在稳态下, 分布及其分布参数稳定不变, 故国外称之为统计控制状态 (state in statistical control)。所谓统计控制状态就是指统计分布参数受到控制, 稳定于稳态这个基准。

一元控制图的控制就是以一元稳态为基准对未来进行控制。首先, 为了了解过程是否处于稳态, 作分析用控制图。若过程不是稳态, 则控制图将显示异常, 这时应贯彻本章第 9.2 节的“20 字方针”。逐步消除异因, 逐步改进质量, 最终一定能达到稳态 (或我们所要求的状态)。然后, 作控制用控制图, 进行日常管理。

### (2) 多元控制图的控制与稳态

与此相应地, 多元控制图的控制就是以多元稳态为基准对未来进行控制。这里, 所谓多元稳态是指所控制多个变量的多元分布的分布参数受到控制, 稳定于多元稳态这个基准。

与一元情况类似, 多元控制图也可分成: 分析用多元控制图与控制用多元控制图。若过程不处于稳态, 多元控制图将显示异常, 同样需要贯彻本书第 9.2 节的“20 字方针”。逐步消除异因, 逐步改进质量, 最终一定能达到多元稳态 (或我们所要求的状态)。然后, 作控制用多元控制图, 进行日常管理。

在一元正态分布情形, 均值与方差这两个参数是互相独立的, 故控制正态分布就



需要对于均值与方差分别应用相应的控制图进行控制。类似地,在多元正态分布的条件下,均值向量与多元协方差矩阵这两个参数也是互相独立的,故控制多元正态分布也需要分别应用相应的多元控制图对均值向量与多元协方差矩阵进行控制。

如同一元控制图在方差处于稳态的前提下讨论均值的控制问题才有意义一样,多元  $T^2$  图控制图也是在假定多元协方差矩阵保持不变的前提下讨论均值向量的控制才有意义。美国就是由于多元协方差矩阵的诊断这个理论问题尚未解决,故至今尚无多元诊断的软件。我国在 1998 年 2 月首先由张公绪教授的博士生解决了这个问题,以后张公绪于 1998 年 5 月又提出了相关单因素多元诊断理论,也解决了这个问题。

### 7. 一元控制图与多元控制图的判异

一元控制图的判异很简单,最基本的一条是:点出界就判异。多元控制图的判异则复杂得多,必须从整个系统看问题。例如,设变量:  $x_1, x_2, \dots, x_p$  构成一个系统,对此系统可应用多元控制图,例如  $T^2$  控制图,进行控制。其参数为:

- (1)  $\mu_i, i=1, 2, \dots, p,$
- (2)  $\sigma_i, i=1, 2, \dots, p,$
- (3)  $s_{ij}, i \neq j, i, j=1, 2, \dots, p.$

若所有上述参数全部异常,当然系统异常,但若在上述参数中只有部分参数异常,其余正常,则如何判异? 因此,与一元控制图的判异不同,多元控制图的判异必须从整个系统出发,应用一个综合评价指标对整个系统进行总评价。 $T^2$  控制图的统计量  $T^2$  值就是一个评价整个系统的科学的总评价价值。

### 8. 从式(9.6-21)的 $T^2$ 值表达式可见:

- (1)  $(X - \bar{X})$  反映了变量取值的波动;
- (2)  $(X - \bar{X})$  前后各乘一次,故  $T^2$  值为二次型,又由于协方差矩阵  $S$  是正定的,所以  $T^2$  值非负,故  $T^2$  控制图只有上控界,而以零为自然下界。

(3) 协方差矩阵  $S$  考虑了变量间的相关性。

(4) 由于多指标系统的指标通常都是随机波动的,所以一个综合评价指标的科学性决定于它能否反映客观的统计规律。根据侯铁林的研究知

$$T^2 \sim \frac{p(n-1)}{n-1} F(p, n-p)$$

式中;  $F(p, n-p)$  表示  $F$  分布,其中  $p, n-p$  为  $F$  分布的自由度。上式说明  $T^2$  值服从  $F$  分布,故  $T^2$  控制图的统计量  $T^2$  值就是一个评价整个系统的科学的总评价指标。

9. 在上述  $F$  分布中,若规定显著性水平  $\alpha$ ,则可由  $\alpha$  分位点求出  $T^2$  控制图的上控制界  $UCL_{T^2}$ 。这里,  $T^2$  控制图的下控制界不存在,而以 0 为  $T^2$  控制图的自然下界。由于  $F$  分布是从原点开始的左偏偏态分布,右侧有一条渐进趋于零的长尾,参见图 9.6-15,故其均值位于  $F$  分布最高点的右侧而靠近最高点处。因此,在稳态下,  $T^2$  控制图中的描点应在位于  $T^2$  控制图下侧的中心线上下波动,点子的波动

越接近  $UCL_{T^2}$  表明系统的稳定性越差,参见图 9.6-16。

$T^2$  控制图上显示异常,可以是指变量均值的异常变化,也可以是指变量间相关关系的异常变化,或者二者兼而有之。

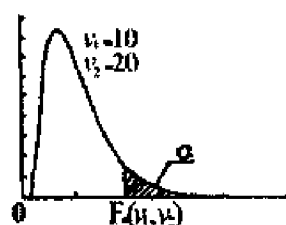


图 9.6-15 分布示意图

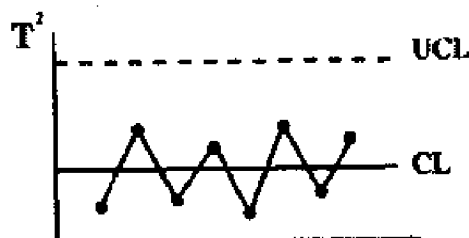


图 9.6-16 稳态下  $T^2$  控制图中的点子应在位于下侧的中心线上下波动

$T^2$  控制图的判异准则只有点出界就判异这一条。由于多元情况十分复杂,故至今尚未搞出来有关  $T^2$  图的界内点排列不随机判异的准则。

10. 多工序、多指标的生产线既有上影,又有指标间的相关性,情况就格外复杂。1998 年 5 月张公绪又提出相关单因素多元诊断理论,使得多元问题大为简化,许多多元诊断问题从而得解。

11. 在张公绪主持下,编制了软件 SPCD 2000 与 DTTQ 2000。

推行 SPC 与 SPD 必须应用电脑与相关软件,进行现场电脑实时控制与诊断。在张公绪主持下,编制了软件 SPCD 2000 与 DTTQ 2000,它们的功能如下:

(1) SPCD 2000 的功能为:数据分析(包括排列图,直方图,过程能力指数),计量控制图,计数控制图,通用图,选控图,两种控制图的诊断。

(2) DTTQ 2000 的主要功能为:多元诊断。包括两种多元诊断的方法,即两种质量多元诊断理论和相关单因素多元诊断理论。前者从整个系统出发,后者在相关条件下从单因素出发,二者互相印证,互为补充,构成完善的多元诊断体系。

注意,迄今世界上的质量软件中只有张公绪主持编制的软件 SPCD 2000 与 DTTQ 2000 方才具有诊断的功能。换言之,现今世界上所有的质量软件都是处于 SPC 的第一阶段的,只有张公绪主持编制的软件 SPCD 2000 与 DTTQ 2000 方才是处于第二阶段 SPD 的。

12. 应用软件 DTTQ 2000 具有什么好处?

山东新华制药股份有限公司从 1996 年 9 月起即开始应用软件 DTTQ 2000,在该公司 1997 年 12 月给软件 DTTQ 2000 进行科学评审的意见中,明确写出应用软件 DTTQ 2000 的三大优点:

(1) 在指标相关的条件下,靠人工找出异常因素几乎是不可能的。而应用电脑和软件 DTTQ 2000 在现场进行诊断,快速准确,诊断一次只需要一两分钟。

(2) 大大缩短了现场诊断人员的培养时间。

(3) 仅安乃近(Analgin)一种产品平均每年可创造效益人民币三十万元。

综观上述,可见:正确、先进的理论一定能够指导实践。

### 13. 两种质量多元诊断理论的应用实例

[流程型企业应用实例 9.6-4]

对某玻璃纤维布厂纺织车间上、下道工序进行多元诊断,该车间上、下道工序各有 7 个指标。应用两种  $T^2$  图多元诊断法进行诊断得到图 9.6-17 与表 9.6-10。如果应用相关单因素多元诊断法对同一数据进行诊断,所得结果(此处未列)与表 9.6-10 基本一致。注意,本例也具有普遍意义,所有流程型企业都有类似的问题,都可以应用本例的多元诊断软件 DTTQ 2000 进行诊断。

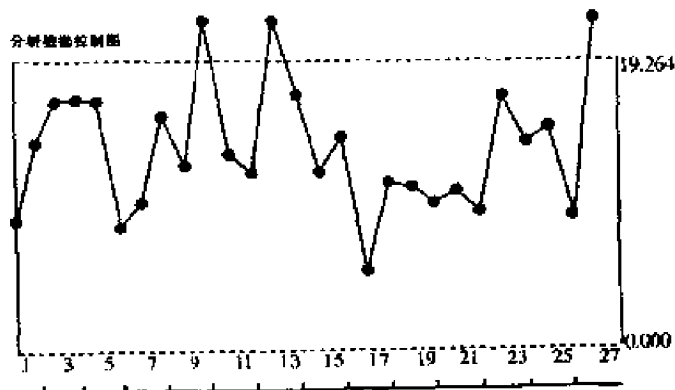


图 9.6-16 应用 DTTQ 2000 软件对某玻璃纤维布厂纺织工序数据的诊断

表 9.6-10 图 9.6-15 的诊断结果

异常批序号	# 10	# 13	# 27
异常批批号	970128	970208	970325
诊断异因	本工序第 6 因素为异因。	本工序第 3 因素为关系异因。	上道工序第 2 因素为关系异因。

注:表中的关系异因指该因素与其余因素间的相关关系异常。

[装配型企业典型应用实例 9.6-5]

某合资工厂生产电子开关,该开关共有 14 个参数,应用电脑自动测试并记录。由于产品质量优良,性能稳定,故十分畅销。该厂技术人员将该类型开关的每个参数单独进行检验,都未发现严重超过规范的产品。因此,这些出厂产品的毛病将来只会表现在用户身上,如果出了问题,索赔将是可观的,这就是该厂负责人认为可忧虑之处。经过我们应用多元诊断软件 DTTQ 2000 对该开关 98 台进行多元诊断(多元检验),检验结果发现其中有 6 台异常,参见图 9.6-18 的  $T^2$  图(图中有 6 个点超出上控制界,表示有 6 台开关异常),诊断异常的结果参见表 9.6-11,表中列出了引起每个出界点的异常因素。该厂技术工程师对表 9.6-11 的诊断结果进行了分析讨论,结果一致认为诊断确实有根据。为什么该厂技术工程师找不出开关

的毛病,而应用上述多元诊断软件就能够找出毛病?其根本原因在于:该厂技术工程师是将开关的 14 个参数逐个地单独来检验(可称之为“一元检验”,univariate check),他们看不见参数间的相关性,所以也就发现不了问题,而多元诊断(即多元检验,multivariate check)则是从开关 14 个参数相关的角度出发来检查各个产品。从统计角度看,在本例,一元检验只不过是检验了每个参数的均值,检验开关的 14 个参数,即检验了其 14 个均值。多元检验则除了检验这 14 个均值以外,还要另外检验 14 个方差和 91 个协方差(covariance,协方差反映了各元之间的相关性)。注意,多元检验共检查参数 119 个( $14 + 14 + 91 = 119$ )是一元检验所检查参数 14 个的 8.5 倍( $119 \div 14 = 8.5$ ),其中检查相关性参数的就占全部参数的 76.5% ( $91/119$ ),检查相关性参数是多元检验所独有的,这就是多元检验能够检查出问题的奥妙之所在。注意,本例具有普遍意义,可以说,所有装配型企业的产品,都有类似的问题,都可以应用本例的多元诊断软件 DTTQ 2000 对于成品或半成品进行必要的检验。

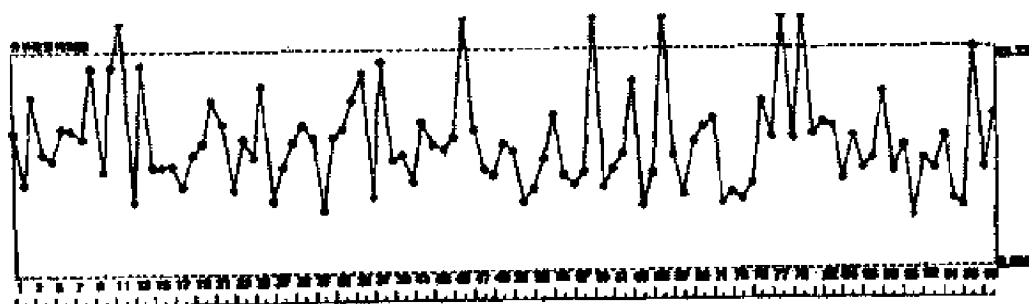


图 9.6-18 应用多元诊断软件 DTTQ 2000 诊断 98 台开关的 T2 图  
(图中有 6 个点超出上控制界,表示有 6 台开关异常)

14. 需要购买 SPCD 2000 与 DTTQ 2000 软件的请与张公绪教授或孙静博士联系(参见本书序言末的作者联系表)。

表 9.6-11 应用多元诊断软件 DTTQ2000 对 6 台异常开关诊断出异常因素

产品编号	诊断出构成异常因素的参数	备注
# 12	# 12	
# 46	# 2	
# 59	# 12	
# 66	# 11	属关系异因。
# 78	# 14、# 8	本产品同时具有两个关系异常因素。
# 80	# 7	

注:关系异常因素指该因素与其他因素的波动性不能保持稳态下各因素之间波动性的关系。

### 9.6.10 在六西格玛情形下的两种质量诊断理论

1. 在六西格玛情形下,过程可近似地看作稳态,于是偶因、偶波上升为主要矛盾。

在六西格玛情形下,过程的不合格率极低,当过程均值无偏移时,不合格品率为2ppb;当过程均值偏移 $1.5\sigma$ 时,不合格品率为3.4ppm。

在此极低的不合格品率的条件下,我们可以近似地将过程看成处于统计控制状态。这时,过程中只有偶因和偶波,而无异因和异波,也即过程的主要矛盾由异因、异波转化为偶因、偶波。我们知道,在休哈特 $3\sigma$ 控制方式里,偶波由参数 $\sigma$ 来反映,故减少偶波也就是减少 $\sigma$ 。

2. 各道工序偶波的大小是不同的。

对于每道工序而言,偶波是决定于该工序的质量因素:5M1E(人、机、料、法、测、环),所以各道工序偶波的大小是不同的。

3. 偶波之间也存在上影和相关性。

对于各道工序串联而成的生产线,上、下道工序的偶波之间也存在上影(上工序对下工序的影响)。

对于各道工序并联而成的生产线,各道工序的偶波之间也具有相关性。

对于各道工序串并联而成的生产线,则整个系统既存在上影,又存在相关性,构成一个复杂的偶波系统。

4. 本章第9.6节的诊断理论完全适用于偶波系统。

若欲对偶波系统进行诊断,例如,找出整个系统的最大的偶波波动源,则本章9.6节前述有关异因的各种诊断理论均可用,只要把偶波看作异波就可以了。实际上,每道工序本身的偶波(由 $\sigma$ 反映)可从该道工序的分质量求得,根据张公绪教授提出的相关单因素多元诊断理论及其软件DTTQ 2000 5.0版很容易得出每道工序的 $\sigma$ ,然后将所有的 $\sigma$ 排序即可。这里,最大的 $\sigma$ 即该偶波系统的最大的偶波波动源。

5. 在六西格玛情况下,接近零不合格过程质量控制的作法(参见本书第十章)是从异因、异波的角度出发,而这里,两种质量诊断理论用于偶波系统则是从偶因、偶波的角度出发,二者是相辅相成的。

### 9.6.11 本节小结

现将两种控制图的诊断和两种过程能力指数的诊断小结如图9.6-18所示。

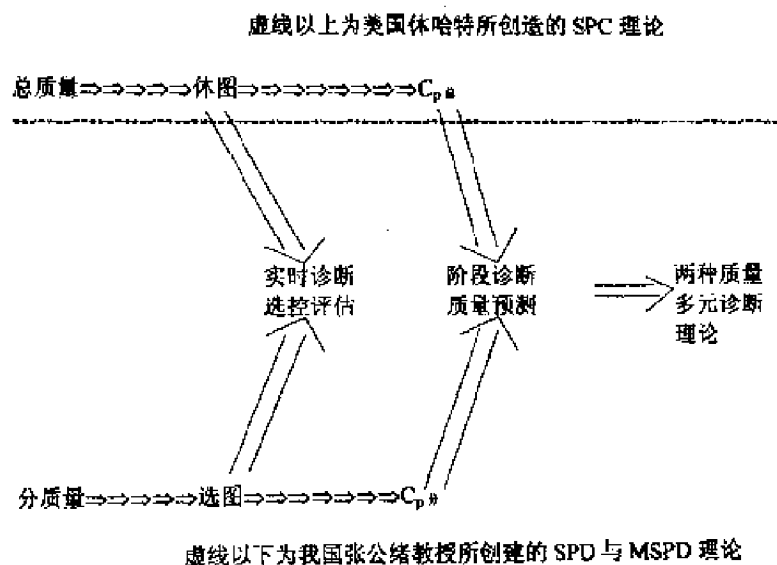


图 9.6-18 两种质量诊断理论的小结

### 9.6.12 本参考文献

- [9.6-1] 张公绪, 专著《选控图理论与实践》, 本书总结了作者一元两种质量诊断理论, 人民邮电出版社, 1984。
- [9.6-2] 张公绪, 专著《两种质量诊断理论及其应用》, 本书总结了多元两种质量诊断理论, 科学出版社, 2001。
- [9.6-3] 孙静, 专著《接近零不合格过程的质量控制》, 本书总结了作者在接近零不合格过程的科研成果, 清华大学出版社, 2001。

### 本节思考题

- [9.6-1] 与一元情况相比较, 多元情况有什么特点应该引起我们的注意?
- [9.6-2] 对于多工序系统, 应该注意诊断什么?
- [9.6-3] 对于多指标系统, 应该注意诊断什么?
- [9.6-4] 在六西格玛情形, 如何应用两种质量诊断理论?

### 思考题题解

- [9.6-1] 与一元情况相比较, 多元情况就多了一个元与元之间的相关性, 这是一元所没有的新特点, 应该引起我们的重视。
- [9.6-2] 对于多工序系统, 应该注意诊断上道工序对下道工序的影响, 即上影。否则就分不清上、下道工序的责任。
- [9.6-3] 对于多指标系统, 应该注意在指标相关的条件下进行诊断。不能把相关的问题简单地分解成为若干个一元问题来处理。这是现场很常见的一种错误。
- [9.6-4] 在六西格玛情形, 偶因和偶波上升为主要矛盾, 这时可将过程近似地看作处于稳态。于是只要将偶波看作一般情形下的异波, 则两种质量诊断理论和多元两种质量诊断理论仍可用, 故应用张公绪的多元诊断软件 DTTQ 2000 可以求出该偶波系统的最大偶波波动源。

## 第十章 接近零不合格品过程的质量控制

### 10.1 接近零不合格品过程

本章选用了“零不合格品 (Zero Non - Conformity)”来定义企业中的理想质量保证状态,达到这种理想状态的生产过程称为“零不合格品过程 (Zero Non - Conformity Process)”,而不合格品率极低,大量产品为合格品,偶尔有不合格品出现的生产过程,则称为“接近零不合格品过程 (Near Zero Non - Conformity Process)”。

### 10.2 计数控制图的改进

1. 传统计数控制图存在下列问题:

(1) 传统计数控制图以正态近似为假设前提

传统控制图的理论都是以正态分布为基础的。传统的计数控制图以正态近似为假设前提,换言之,即通过二项分布、泊松分布的近似正态分布来建立休哈特计数控制图。而这种近似带来以下问题:

① 正态分布是连续分布,二项分布、泊松分布是离散分布

鉴于离散数据的特点, $p$ 图、 $pn$ 图在确定样本大小 $n$ 时需要考虑下列要求:若过程不合格品率 $P$ 较小,则必须选定样本大小 $n$ 充分大,使得样本中至少包含一个不合格品的概率足够大,否则,若 $P$ 较小而 $n$ 又不够大,则在 $p$ 图、 $pn$ 图中只要样本中出现一个不合格品就会点子出界,判断过程异常。例如设 $P = 1\%$ , $n = 9$ ,于是

$$UCL = P + 3\sqrt{P(1-P)/n} = 0.01 + 3\sqrt{0.01 \times 0.99} = 0.1095$$

而样本中出现一个不合格品的样本不合格品率为 $p = 1/9 = 0.111$ ,故在控制图上,只要出现一个不合格品,就会打点出界。因此,要选择充分大的 $n$ 使得样本中至少包含一个不合格品的概率不低于个常值。通常 $nP$ 在1到5的范围内取值。

$c$ 图、 $u$ 图也有类似的问题,同样要求其检查单位具有一定的大小,以使它至少包含一个不合格。

② 正态分布是对称分布,二项分布、泊松分布是偏态分布

根据 $3\sigma$ 控制原则,对于正态分布数据,稳态下点子落在控制线以外的概率是0.0027,落在单侧控制线外的概率是0.00135。而二项分布、泊松分布则不然,稳态下点子落在 $p$ 图、 $pn$ 图 $UCL$ 外的概率大于0.00135,而落在 $LCL$ 外的概率则小于0.00135。根据上述,正态分布下的判异、判稳准则也需要重新论证。

(2) 计数控制图统计量的物理意义要求: $LCL$ 不为负

$p$  图、 $pn$  图的统计量是不合格品率、不合格品数,  $c$  图、 $u$  图的统计量为不合格数、单位不合格数。它们的取值都不能为负。故欲使下控制界限有意义,  $LCL$  就必须大于零。这将要求投入更多的样品。事实上, 对于  $p$  图、 $pn$  图, 欲使,

$$LCL = P - 3\sqrt{P(1-P)/n} > 0, \text{ 则须 } n > 9 - \frac{1-P}{P} \approx \frac{9}{P}, P \ll 1,$$

也即近似地有:  $nP > 9$ 。对于  $c$  图、 $u$  图, 欲使  $LCL = \lambda - 3\sqrt{\lambda} > 0$ , 则要求检查单位内的平均不合格数  $\lambda > 9$ 。二者都要求样本容量更大。

(3) 样本大小  $n$  的变化, 导致控制线凹凸起伏

$p$  图、 $pn$  图与  $c$  图、 $u$  图的控制线都要受样本大小  $n$  的影响, 呈凹凸状, 参见通用图。总之, 传统计数控制图存在下列问题:

- 传统计数控制图以正态近似为假设前提。
- 计数控制图统计量的物理意义要求:  $LCL$  不为负。
- 样本大小  $n$  的变化, 导致控制线凹凸起伏。

2. 改进计数控制图的途径有二:

- (1) 对原始离散数据进行数学变换, 使变换后的数据近似服从正态分布。
- (2) 保持原始数据不变, 而采取调整控制线的设定方法。

## 10.3 接近零不合格品过程的质量控制

我们讨论下列各点:

1. 选取相邻不合格品间的连续合格品数作为接近零不合格品过程的控制对象, 代替传统的统计量“不合格品率”。

前面详细分析了传统计数控制图的不足: 要求样本中平均不合格品数在 1 到 5 之间, 若要保证  $LCL$  不为负, 则要求样本中平均至少具有 9 个不合格品。故样本容量大。统计量样本不合格品率必须等到采样过程结束方能计算, 不能及时控制。每组样本只能提供样本不合格品率这样一个有限的信息, 而大量的产品信息都被浪费, 未能有效利用。

接近零不合格品过程的特点是: 不合格品率极低, 大量产品为合格品, 偶然有不合格品出现。因而对于接近零不合格品过程, 把控制对象从不合格品率改为相邻不合格品之间的连续合格品数就是一种合乎逻辑的自然选择。

2. 接近零不合格品过程的判异准则



表 10-1 判异准则的临界值  $n_1, n_2, n_3$ 

$P \backslash S$	95%			99%			99.5%		
	$n_1$ (1)	$n_2$ (2)	$n_3$ (3)	$n_1$ (4)	$n_2$ (5)	$n_3$ (6)	$n_1$ (7)	$n_2$ (8)	$n_3$ (9)
0.00001	5129	35535	81767	1005	14854	43603	501	10348	33786
0.00002	2564	17767	40883	502	7427	21801	250	5174	16892
0.00003	1709	11844	27254	335	4951	1453	167	3449	11260
0.00004	1282	8883	20440	251	3713	10899	125	2586	8445
0.00005	1025	7106	16352	201	2970	8719	100	2069	6756
0.00006	854	5922	13626	167	2475	7266	83	1724	5629
0.00007	732	5075	11679	143	2121	6227	71	1477	4825
0.00008	641	4441	10219	125	1856	5449	62	1293	4222
0.00009	569	3947	9084	111	1650	4843	55	1149	3752
0.0001	512	3553	8175	100	1484	4359	50	1034	3377
0.0002	256	1776	4087	50	742	2180	25	516	1688
0.0003	170	1183	2724	33	494	1452	16	344	1125
0.0004	128	887	2042	25	370	1088	12	258	843
0.0005	102	710	1633	20	296	870	10	206	674
0.0006	85	519	1361	16	247	725	8	171	561
0.0007	73	506	1166	14	211	621	7	147	481
0.0008	64	443	1020	12	185	543	6	128	421
0.0009	56	395	907	11	164	483	5	114	374
0.0010	51	354	816	10	147	434	5	102	336
0.0015	34	236	543	6	98	289	3	68	224
0.0020	25	177	407	5	73	216	2	51	167
0.0025	20	141	325	4	58	173	2	40	133
0.0030	17	117	271	3	48	144	1	33	111
0.0035	14	100	232	2	41	123	1	29	95
0.0040	12	88	203	2	36	107	1	25	83
0.0045	11	78	180	2	32	95	1	22	73
0.0050	10	70	162	2	29	85	1	20	66
0.0055	9	63	147	1	26	78	0	18	60
0.0060	8	58	134	1	24	71	0	16	55
0.0065	7	53	124	1	22	65	0	15	50
0.0070	7	50	115	1	20	61	0	14	47
0.0075	6	46	107	1	19	56	0	13	43
0.0080	6	43	100	1	18	53	0	12	41
0.0085	6	41	94	1	16	50	0	11	38
0.0090	5	38	89	1	15	47	0	10	36
0.0095	5	36	84	1	15	44	0	10	34
0.01	5	34	80	1	14	42	0	9	32

常规情况的判异准则有两条:(1)点出界就判异;(2)界内点排列不随机判异。在接近零不合格品过程的情况下,由于控制对象由不合格品率转化为连续合格品数,故上述两条判异准则内容都将作相应的变化。

常规判异准则(1)点出界就判异,以  $p$  图为例,这里“点”就是不合格品率,控制界限是不合格品率的上控制界。而对于接近零不合格品过程,“点”转化为连续

合格品数,控制界限转化为连续合格品数的下控制界(即准则1中的 $n_1$ )。于是有下列接近零不合格品过程的判异准则①。

常规判异准则(2)界内点排列不随机判异,这里考虑了连续出现的点的排列。与此对应地,对于接近零不合格品过程也要考虑接连出现的连续合格品数,于是提出下列接近零不合格品过程的判异准则②与判异准则③。

接近零不合格品过程的判异准则如下:

- ① 若相邻不合格品之间的连续合格品数不大于 $n_1$ ,则判断过程异常。
- ② 若接连出现的两个连续合格品数之和不大于 $n_2$ ,则判断过程异常。
- ③ 若接连出现的三个连续合格品数之和不大于 $n_3$ ,则判断过程异常。

### 3. 接近零不合格品过程的判稳准则

常规判稳准则有三条:

- (1) 连续25点,出界点数为0。
- (2) 连续35点,出界点数小于等于1。
- (3) 连续100点,出界点数小于等于2。

在接近零不合格品过程的情况下,由于控制对象由不合格品率转化为连续合格品数,故上述三条判稳准则的内容都将作相应的变化。

在接近零不合格品过程的情况下,“出界点”的涵义转化为判断过程异常的连续合格品数,从而提出了接近零不合格品过程的下列判稳准则(1)、(2)、(3):

(1) 若根据判异准则,接连出现的 $m_1$ 个不合格品的连续合格品数都不能判断过程异常,则判断过程处于稳态。

(2) 若接连出现的 $m_2$ 个不合格品中,判断过程异常的相邻不合格品之间的连续合格品数不多于1个,则判断过程处于稳态。

(3) 若接连出现的 $m_3$ 个不合格品中,判断过程异常的相邻不合格品之间的连续合格品数不多于2个,则判断过程处于稳态。

上述参数 $m_1$ 、 $m_2$ 、 $m_3$ 参见表10-2。

建立接近零不合格品过程的判异准则与判稳准则,是接近零不合格品过程进行质量控制的一项基础工作。

表 10-2 判稳准则的参考值  $m_1, m_2, m_3$

$1 - \alpha_1$ $m$	95% (1)		99% (2)		99.5% (3)	
$m_1$	2	$\alpha_s = 9.750\%$	6	$\alpha_s = 5.852\%$	12	$\alpha_s = 5.837\%$
$m_2$	7	$\alpha_s = 4.438\%$	15	$\alpha_s = 0.963\%$	21	$\alpha_s = 0.439\%$
$m_3$	16	$\alpha_s = 4.294\%$	44	$\alpha_s = 0.967\%$	68	$\alpha_s = 0.492\%$

注:(A的下标“A(Abnormal)”表示是判异准则的显著性水准, $\alpha_s$ 的下标“S(Stable)”表示是判稳准则的显著性水准。

## 10.4 案例分析

某厂对其产品进行检验,得到一系列连续合格品数的原始数据。利用接近零不合格品过程的质量分析方法进行处理后,得到表 10-3。

表 10-3 质量分析表

第 $i$ 个 不合格品	累积合格 品数	$k_i$	$k_i + k_{i-1}$	$k_i + k_{i-1} + k_{i-2}$	判异诊断
1	25928	—	—	—	—
2	4896	30824	—	—	—
3	1012	5908	31836	—	—
4	26393	27405	32301	—	—
5	1163	32556	33568	—	—
6	3566	9726	36122	—	—
7	30574	34140	40303	—	—
8	17225	47799	51365	—	—
9	22729	39954	70528	—	—
10	7239	29968	47193	—	—
11	7871	15110	37839	—	—
12	25729	33600	40839	—	—
13	4355	30084	37955	—	—
14	3953	8308	34037	—	—
15	3586	7539	11894	—	—
16	3054	6640	10593	—	—
17	22035	25089	28675	—	—
18	2181	24216	27270	—	—
19	6849	9030	31065	—	—
20	6456	13305	15486	—	—
21	3685	10414	16990	—	—
22	7256	10941	17397	—	—
23	2039	9295	12980	—	—
24	1365	3404	10660	—	—
25	18356	19721	21760	—	—
26	20250	38612	39977	—	—
27	166	20422	38779	—	—
28	5116	5282	25538	—	—

续表

第 i 个 不合格品 \ 累积合格 品 数	$k_i$	$k_i + k_{i-1}$	$k_i + k_{i-1} + k_{i-2}$	判异诊断
29	10274	15390	15556	-
30	2664	12938	18054	-
31	1497	4161	14435	-
32	19854	21351	24015	-
33	10664	30518	32015	-
34	579	11273	31097	-
35	4531	5110	15774	-
36	383	4914	5493	-
37	4849	5232	9763	-
38	4990	9839	10222	-
39	3218	3208	13057	-
40	6837	10055	15045	-
41	31279	38116	41334	-
42	19017	50296	57133	-
43	13970	32987	64266	-
44	14536	28506	47523	-

不合格率  $p = 0.0001$ , 令  $\alpha_A = 1\%$ , 判异参数依次为 100、1484、4359。

注:在本表第 4 栏中,符号“-”表示正常,符号“+”表示异常。

表 10-4 质量控制表

第 i 个 不合格品 \ 累积合格 品 数	$k_i$	$k_i + k_{i-1}$	$k_i + k_{i-1} + k_{i-2}$	判异诊断
1	1632	—	—	-
2	337	1969	—	-
3	8796	9133	10765	-
4	2054	10850	11187	-
5	1188	3242	12038	-
6	10190	11378	13432	-
7	5741	15931	17119	-
8	7575	13316	23506	-
9	2413	9988	15729	-
10	2623	5036	12611	-

续表

第 $i$ 个 不合格品 \ 累积合格品数	$k_i$	$k_i + k_{i-1}$	$k_i + k_{i-1} + k_{i-2}$	判异诊断
11	1575	11198	13611	-
12	1451	10026	12649	-
13	1317	2768	11343	-
14	1195	2512	3963	+
15	1617	2212	3529	+
不合格品率 $P = 0.0001$ , 判异参数依次为 100、1484、4359。				

注:在本表第四栏中,符号“-”表示正常,符号“+”表示异常。

设判异准则显著性水平为  $\alpha_A = 1\%$ , 若对连续 44 个不合格品都不能判断过程异常, 则判断过程是稳态的, 这里过程的不合格品率  $P$  为 0.0001。进入日常控制阶段后, 若其日常管理数据如表 10-4 所示, 通过应用接近零不合格品过程的质量控制方法, 在第 14 个点判断过程出现了异常。

## 10.5 本章参考文献

- [10-1] 孙静, 专著《接近零不合格过程的质量控制》, 清华大学出版社, 2001。
- [10-2] Jing Sun et al, *Control Charts Based on the Number of Consecutive Conforming Items between Two Successive Nonconforming Items for the Near Zero - Nonconformity Processes*, Total Quality Management, 2000, Vol.11, pp.235-250.

## 本章思考题

- [10-1] 在常规控制图我们的控制对象为不合格品率, 为什么在接近零不合格过程将控制对象改换为: 连续不合格品之间的合格品数?

## 思考题题解

- [10-1] 在接近零不合格过程, 不合格品率极低, 大量为合格品, 偶而出现不合格品, 应该充分利用合格品的信息。故将通常情形下的统计量不合格品率改变为连续不合格品之间的合格品数完全是一种合乎逻辑的扩展。

# 第十一章 质量改进常用方法

质量改进是 2000 版 ISO 9000 的八项原则之一,由此可见其重要性。本章将分别介绍质量改进中的各种常用方法。

## 11.1 因果图

### 1. 因果图的概念

因果图(cause and effect diagram)是一种用于分析质量特性(结果)与影响质量特性的因素(原因)之间关系的图,其形状如鱼刺,故又称鱼刺图(fishbone diagram),通过对影响质量特性的因素进行全面系统地观察和分析,可以找出质量因素与质量特性的因果关系,最终找出解决问题的办法。

### 2. 因果图的结构

因果图的结构参见图 11.1-1。

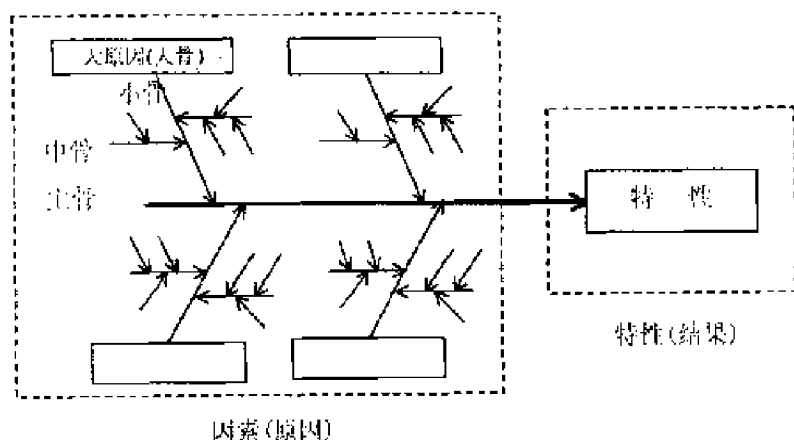


图 11.1-1 因果图的结构

### 3. 因果图的绘制

(1) 选题,分析对象,确定质量特性(结果),因果图中的“结果”可根据具体需要选择。

(2) 组织讨论,尽可能找出可能会影响结果的所有因素。由于因果图实质上是一种枚举法,为了能够把所有重要因素都能列举上,故在构造因果图时,强调通过开诸葛亮会,畅所欲言,集思广益。

(3) 找出各因素之间的因果关系,在图上以因果关系的箭头表示出来。将质量特性(结果)写在纸的右侧,从左至右画一箭头(主骨),将结果用方框框上。接下

来,列出影响结果的主要原因作为大骨,也用方框框上。列出影响大骨(主要原因)的原因,也就是第二层次原因,作为中骨;再用小骨列出影响中骨的第三层次的原因,如此类推,一直展开到可以制定具体对策为止。

(4) 根据对结果影响的程度,将对结果有显著影响的重要原因用明显的符号标示出来。

(5) 在因果图上标出有关信息。例如标题、绘制人、绘制时间等等。

最后在因果图上标明有关资料,如产品、工序或小组的名称、参加人员、日期等等。

#### 4. 因果图示例

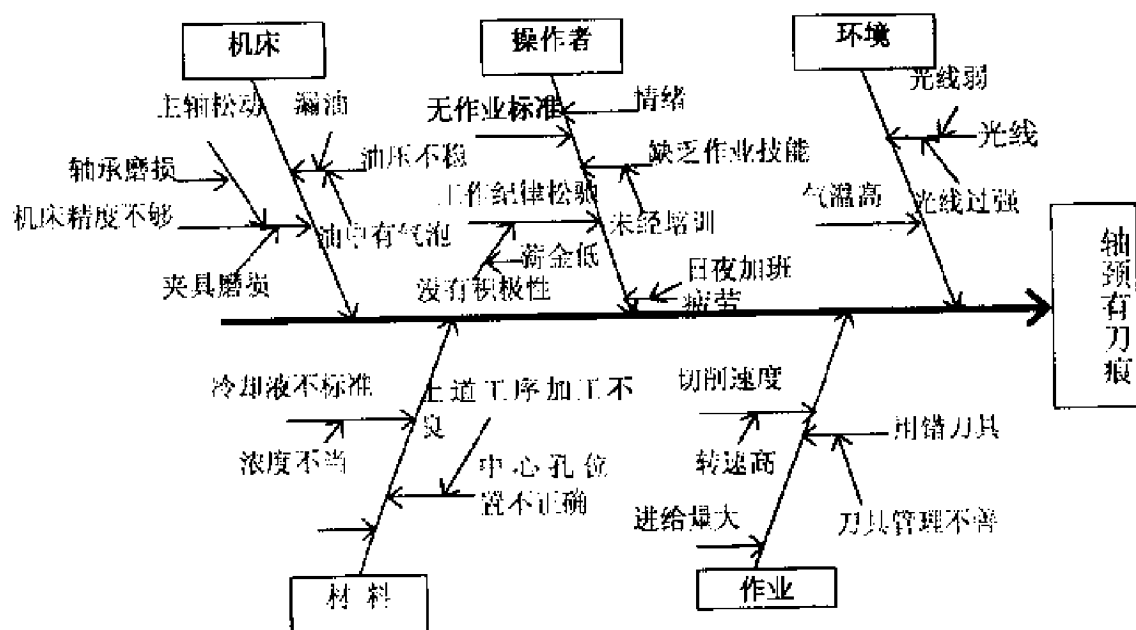


图 11.1-2 轴颈有刀痕的因果图

#### 5. 因果图方法注意事项

- (1) 确定原因时应通过大家集思广益,充分发扬民主。
- (2) 确定原因,应尽可能具体。
- (3) 质量问题有多少个,就要绘制多少张因果图。

### 11.2 排列图

#### 1. 排列图的概念

排列图也称为巴雷特图(Pareto diagram),由于质量问题常可以用质量损失的形式表现出来,大多数损失往往是由少数质量问题引起的,而这些质量问题又由少数原因引起。因此,明确了“关键的少数”,就可集中资源解决这些少数原因,避免由此所引起的损失。用排列图法,我们可以有效地展现出这些关键少数。

## 2. 作排列图的步骤

步骤 1: 确定所要调查的问题和收集数据。

步骤 2: 设计一张数据记录表, 将数据填入表中, 并计算合计栏。

步骤 3: 作排列图用数据表, 表中列有各项不合格的数据, 累计不合格数, 各项不合格所占百分比以及累计百分比。

步骤 4: 按数量从大到小顺序, 将数据填入数据表中。“其它”项的数据由许多数据很小的项目合并在一起, 将其列在最后, 而不必考虑其它项的数据是多大。参见表 11.2-1。

步骤 5: 画两根纵轴和一根横轴。

左边纵轴, 标上件数(频数)的刻度, 最大刻度为总件数(总频数)。右边纵轴, 标上比率(频率)的刻度, 最大刻度为 100%。

在横轴上按频数大小从大到小依次列出各项。

步骤 6: 在横轴上按频数大小画出直方柱。

步骤 7: 在每个直方柱右侧上方, 标上累计值(累计频数和累计频率百分数), 描点并用直线连接, 画累计频数折线(巴雷特曲线)。根据表 11.2-1 的数据做出排列图参见图 11.2-1。

表 11.2-1 排列图数据表

不合格类型	不合格数	累计不合格数	比率(%)	累计比率(%)
断裂	104	104	52	52
擦伤	42	146	21	73
污染	20	166	10	83
弯曲	10	176	5	88
裂纹	6	182	3	91
砂眼	4	186	2	93
其它	14	200	7	100
合计	200		100	



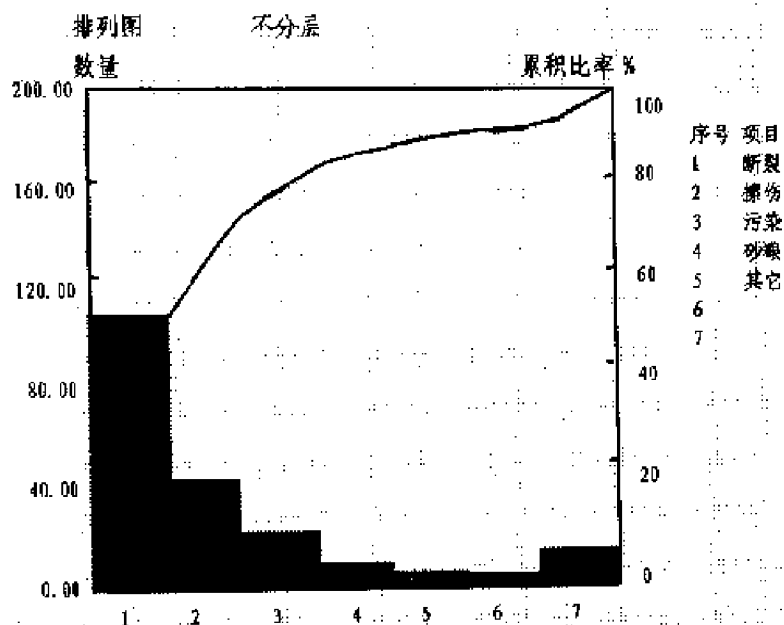


图 11.2-1 根据表 11.2-1 所作的排列图

### 3. 排列图法注意事项

- (1) 分类方法不同,得到的排列图也不同。
- (2) 为了抓住“关键的少数”,在排列图上通常把累计比率在 0~80%间的因素为 A 类因素;在 80~90%间的因素为 B 类因素;在 90~100%间的因素为 C 类因素。
- (3) 如果其它项所占的百分比很大,则分类不够理想。
- (4) 如果数据可以用金额来表示,画排列图时金额最好在纵轴上表示。
- (5) 排列图可用来确定采取措施的顺序。
- (6) 对照采取措施前后的排列图,研究各个项目的变化,可对措施的效果进行鉴定。

## 11.3 直 方 图

### 1. 直方图的概念

直方图(histogram)法是从总体中随机抽取样本,将从样本中获得的数据进行整理,从而找出数据变化的规律,以便预测工序质量的好坏等。直方图是常用的 QC 工具。

### 2. 直方图的作用

- (1) 显示各种数值出现的相对频率;
- (2) 揭示数据的中心、散布及形状;
- (3) 快速阐明数据的潜在分布;

- (4) 为预测过程提供有用信息;
- (5) 可以判断“过程是否能够满足顾客的要求”。

### 3. 直方图的作图步骤

通过事例加以说明。已知车削某零件外圆尺寸  $\Phi 10^{+0.035}_{-0.035}$  mm, 为调查车削某零件外圆尺寸的分布情况, 从加工过程中取 100 个零件, 测得尺寸  $\Phi 10^{+0.035}_{-0.035}$  的  $x$  值如表 11.3-1 所示。

表 11.3-1 直方图原始数据表(单位:mm)

2.510	2.517	2.522	2.522	2.510	2.511	2.519	2.532	2.543	2.525
2.527	2.536	2.506	2.541	2.512	2.515	2.521	2.536	2.529	2.524
2.529	2.523	2.523	2.523	2.519	2.528	2.543	2.538	2.518	2.534
2.520	2.514	2.512	2.534	2.526	2.530	2.532	2.526	2.523	2.520
2.535	2.523	2.526	2.525	2.523	2.522	2.502	2.530	2.522	2.514
2.533	2.510	2.542	2.524	2.530	2.521	2.522	2.535	2.540	2.528
2.525	2.515	2.520	2.519	2.526	2.527	2.522	2.542	2.540	2.528
2.531	2.545	2.524	2.522	2.520	2.519	2.519	2.529	2.522	2.513
2.518	2.527	2.511	2.519	2.531	2.527	2.529	2.528	2.519	2.521

直方图的作图步骤如下:

步骤 1: 求极差  $R$ 。

原始数据中最大值  $x_{\max}$  和最小值  $x_{\min}$ , 计算二者的差值, 即极差。

步骤 2: 确定分组的组数和组距。

一批数据究竟分多少组, 通常根据数据的多少而定, 可参考表 11.3-2。

表 11.3-2 数据数量与分组数的对应表

数据个数	分组数 $K$
50 - 100	6 - 10
100 - 250	7 - 12
250 以上	10 - 20

分组数  $K$  确定后, 组距  $h$  也就确定如下:

$$h = \frac{R}{K} = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{K}$$

步骤 3: 确定各组界限。

先从第一组起, 第一组的上下界限值为  $x_{\min} \pm (h/2)$  第二组的上界限值就是第二组的下界限值, 第二组下界限值加上组距就是第二组上界限值, 依此类推, 可确定出各组的组界。

步骤4:作频数分布表。

统计各组的数据个数,即频数 $f_i$ 。

步骤5:画直方图。以横坐标表示质量特性,纵坐标为频数(或频率),在横轴上标明各组组界,以组距为底,频数为高,画出一系列直方柱就得到直方图。

步骤6:在直方图的空白区域,记上有关数据的资料,如收集数据的时间、数据个数 $n$ 、平均值 $\bar{X}$ 、标准差 $s$ 等等。如图11.3-1。

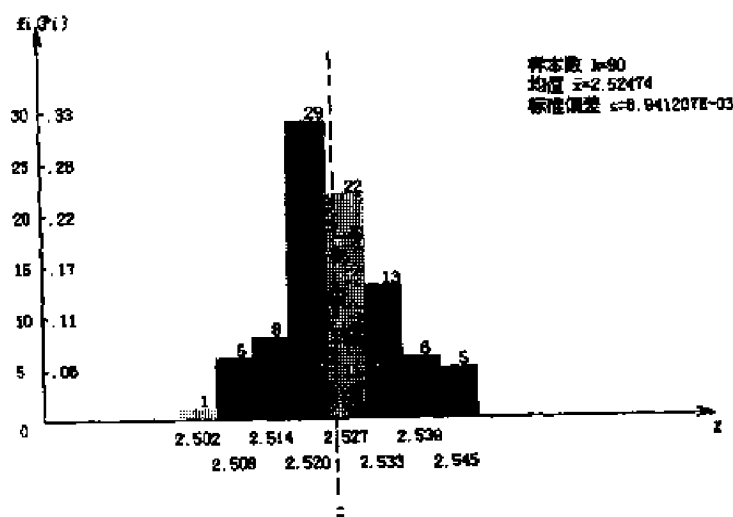


图 11.3-1 直方图

#### 4. 如何看直方图

##### (1) 直方图的常见类型

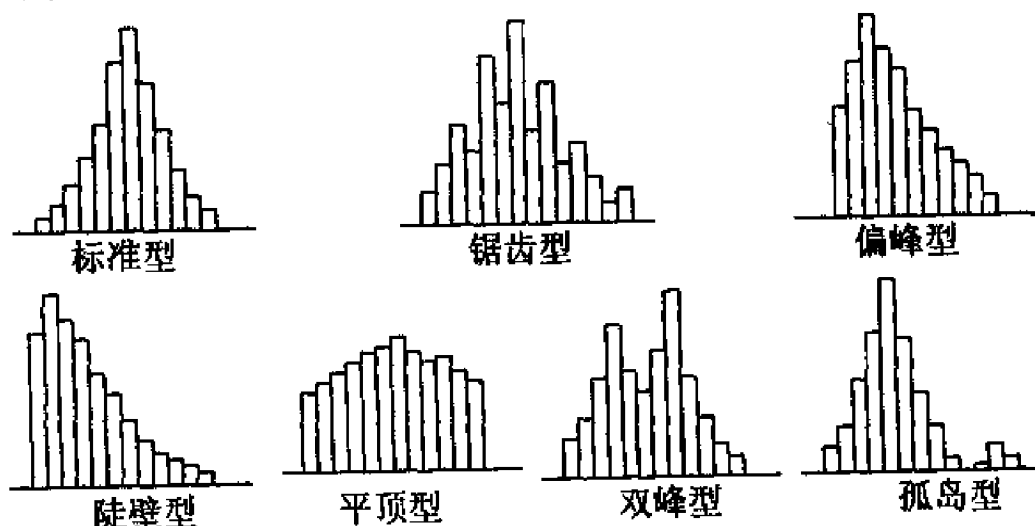


图 11.3-2 不同形状的直方图

· 标准型:左右对称,这是正常情况下的形状。

- 锯齿型:数据分组过多,或测量读数错误。
- 偏峰型:产品尺寸受公差影响。
- 陡壁型:工序能力不足,进行了全数检验后的形状。
- 双峰型:均值相差较大的两种分布混在一起。
- 孤岛型:数据中混有另一分布的少量数据。

## (2) 直方图与公差限的比较

加工零件时,有公差规定,将公差限用两条线在直方图上表示出来,并与直方图的分布进行比较。图 11.3-3 所示的是五种典型情况。评价总体时可予以参考。

- (1) 现在的状况不需要调整,因为直方图充分满足公差要求。
- (2) 直方图能满足公差要求,但不充分。这种情况下,最好少许减少波动。
- (3) 必须采取措施,使平均值接近公差中心。
- (4) 要求采取措施,以减少变差(波动)。
- (6) 要同时采取(3)和(4)的措施,即既要使平均值接近公差中心,又要减少波动。

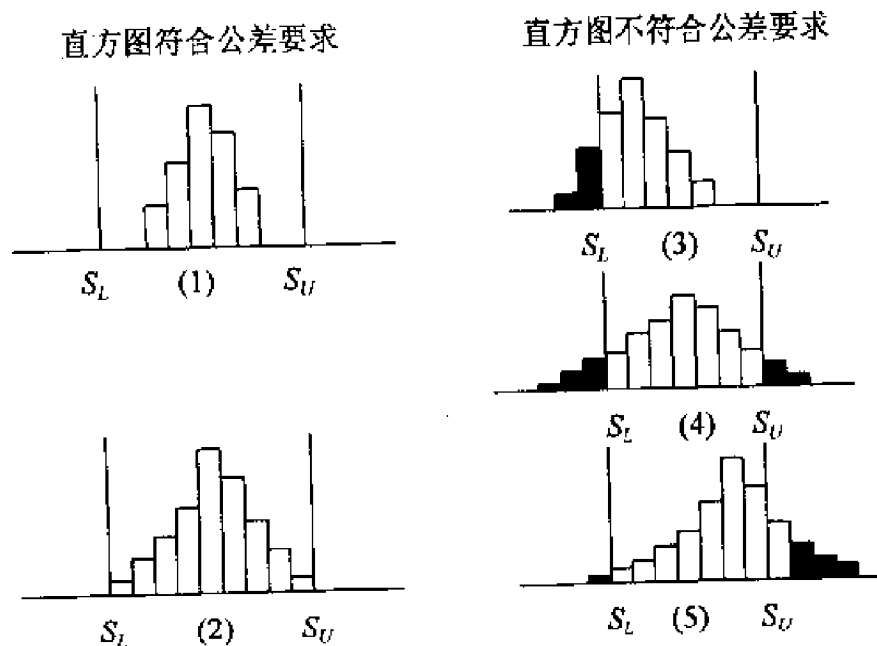


图 11.3-3 直方图与公差之间的关系

## 11.4 检 查 表

在质量管理中,强调“用数据说话”,因此,需要收集数据。实际收集数据时,方法要简单,数据处理要比较方便。检查表经常用于该目的。一般常用的检查表有以下几种。

## 1. 不合格项检查表

表 11.4-1 是某产品最终检验的检查表。每发现一个不合格,检验员就画一个标记。通过不合格项检查表,可获得有关质量改进的重要线索。

表 11.4-1 不合格项检查表

品名: _____		时间: _____ 年 月 日
工序: 最终检验		工厂: _____
不良种类: 缺陷		班组: _____
加工不良		检验员: _____
形状不良等		批号: 82~8~8
检验总数: 2630		合同号: 82~5~3
备注: 全数检查		
不良种类	检 验	小 计
表面缺陷	正正正正正正正	32
砂 眼	正正正正正	28
加工不良	正正正正正正正正正正	48
形状不良	正	4
其 他	正正	8
	总 计	116

## 2. 不合格位置检查表

不合格位置检查表对解决这类问题很有效。一般地,许多这种类型的检查表,常在检查表所附产品草图上标记不合格位置,参见图 11.4-2。


车 型		检查部位	车号
工 序		检查人	日期 年 月 日
检查目的	喷漆缺陷	检查件数	872
<div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>• 色斑</p> <p>× 划痕</p> <p>△ 尘粒</p> </div> </div>			

图 11.4-2 汽车车身喷漆质量不合格位置检查表

## 11.5 分 层 法

### 1. 分层法的概念

分层法是根据产生数据的特征(何人、何处、何种方法、何种设备等)而将数据划分成若干组的方法。通俗地说,分层就是分门别类。

### 2. 常见的分层依据

- (1) 按操作者或作业方法分层。
- (2) 按机器设备分层。
- (3) 按原料分层。
- (4) 按时间分层。
- (5) 按作业环境状况分层。

### 3. 分层法的应用步骤

- 步骤 1: 收集数据;
- 步骤 2: 根据不同的目的, 选择分层标志;
- 步骤 3: 根据不同分层标志对数据进行分层;
- 步骤 4: 按层归类统计;
- 步骤 5: 画分层统计图表或分层进行统计分析。

### 4. 分层法示例

例如, 在图 11.5-1 中, 如果不分层, 很难看出各点的分布规律, 但按因素 A、B 分层后, 因素 A 呈现出正相关趋势, 而因素 B 则呈现出负相关趋势。

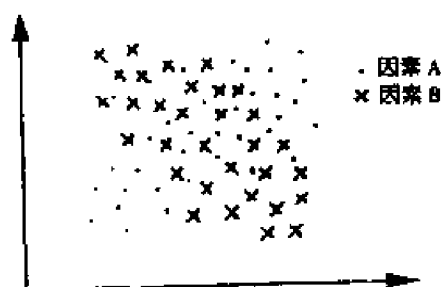


图 11.5-1 因素 A 与 B 的分层

## 11.6 头脑风暴法

### 1. 头脑风暴法的概念

头脑风暴法(brain-storming),又叫畅谈法、集思法等。它是采用会议的方式,引导每个参加会议的人围绕某个中心议题(如质量问题),广开言路,激发灵感,在自己的头脑中掀起风暴,毫无顾忌、畅所欲言地发表独立见解的一种创造思维的方法。

### 2. 头脑风暴法的用途

头脑风暴法可以用来识别存在的质量问题并寻求其解决办法,还可用来识别潜在质量改进的机会,在质量改进活动中的用途很广。

### 3. 头脑风暴法的应用步骤

头脑风暴法的应用步骤可分为三个阶段:

(1) 准备阶段。确定头脑风暴会议的组织者,明确阐述会议的目的。

(2) 引发和产生创造思维的阶段。在这个阶段,首先质量管理的领导者、推进者,应熟悉并重温头脑风暴法的意义、实质和作法。在这个阶段,要注意下列几点:

- ① 与会者都是平等的,无领导和被领导之分;
- ② 与会成员依次发表意见;
- ③ 成员可以相互补充各自的观点,但不能评论、更不能批驳别人的观点;
- ④ 要当场把每个人的观点毫无遗漏地记录下来;
- ⑤ 持续到无人发表意见为止;
- ⑥ 将每个人的意见重复一遍。

(3) 整理阶段

将每个人的观点重述一遍,以使每个成员都知道全部观点的内容;去掉重复的、无关的观点;对各种见解进行评价、论证。最后进行集思广益,按问题进行归纳。

## 11.7 树 图

### 1. 树图的概念

树图是把要实现的目的与需要采取的措施或手段,系统地展开,并绘制成图,以明确问题的重点,寻找最佳手段或措施。

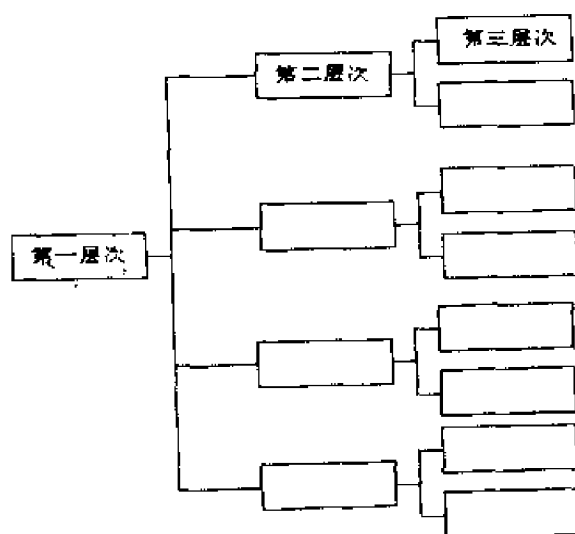


图 11.7-1 树图概念图

## 2. 树图的主要用途

- (1) 新产品研制过程中设计质量的展开；
- (2) 制订质量保证计划,对质量保证活动进行展开；
- (3) 目标、方针、实施事项的展开；
- (4) 明确部门职能、管理职能；
- (5) 对解决企业有关质量、成本、交货期等问题的创意进行展开。

## 3. 绘制树图的一般步骤

- (1) 确定具体的目的或目标。
- (2) 提出手段和措施。

为了达到预定的目的、目标,召开会议,集思广益,提出必要的手段、措施,并依次记录下来。

- (3) 进行评价。

要对提出的手段、措施进行评价,每项手段、措施是否适当,可行或是否需要经过调查才能确认。在有限制事项时,也要对该限制事项进行评价。

- (4) 绘制手段、措施卡片。

把经过评价后提出的手段、措施,用通俗易懂的语言写在一张张卡片上。

- (5) 形成目标手段的系统展开图。

在树图绘制过程中,往往不等绘制手段、措施的卡片工作做完,又会发现一些新的必要的手段、措施,必须一个个补充上去。

- (6) 确认目标是否能够充分的实现。

- (7) 制定实施计划。



## 11.8 过程决策程序图(PDPC)

### 1. PDPC 法的概念

PDPC(Process Decision Program Chart)法也称为过程决策程序图法,是运筹学中的一种方法,其工具就是 PDPC 图。所谓 PDPC 法,是为了完成某个任务或达到某个目标,在制定行动计划或进行方案设计时,预测可能出现的障碍和结果,并相应地提出多种应变计划的一种方法。这样在计划执行过程中遇到不利情况时,仍能按第二、第三或其它计划方案进行,以便达到预定的计划目标。

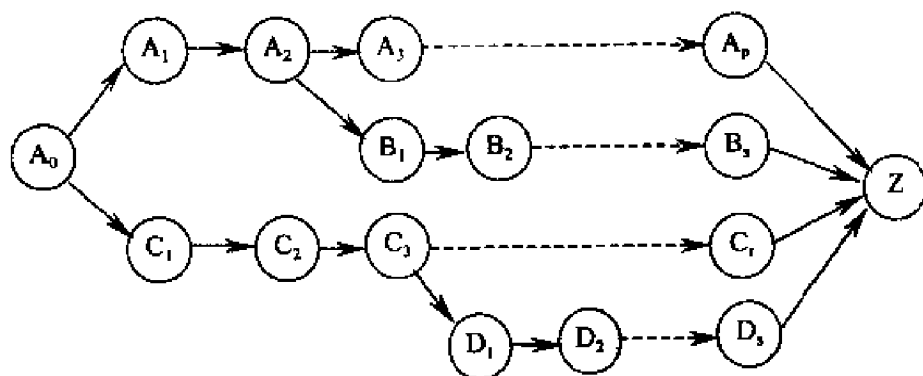


图 11.8-1 PDPC 法的概念

PDPC 法具有如下特征:

- (1) PDPC 法不是从局部,而是从全局、整体掌握系统的状态,因而可作全局性判断。
- (2) 可按时间先后顺序掌握系统的进展情况。
- (3) 可密切注意系统进程的动向,列出“非理想状态”,也能掌握产生非理想状态的原因。同时,从某一输入出发,依次追踪系统的运转,也能找出“非理想状态”。
- (4) 情况及时,计划措施可被不断补充、修订。

### 2. 使用 PDPC 法的步骤

步骤 1: 召集所有有关人员(要求尽可能地广泛地参加)讨论所要解决的课题。

步骤 2: 从自由讨论中提出达到理想状态的手段、措施。

步骤 3: 对提出的手段和措施,要列举出预测的结果,以及提出的措施方案行不通,或难以实施时,应采取的措施和方案。

步骤 4: 将各研究措施按紧迫程度、所需工时、实施的可能性及难易程度予以分类,特别是对当前要着手进行的措施,应根据预测的结果,明确首先应该做什么,并用箭条向理想的状态方向连接起来。

步骤 5: 进一步决定各项措施实施的先后顺序,从一条线路得到的情况,要研究它对其它线路是否有影响。

步骤6:落实实施负责人及实施期限。

步骤7:不断修订 PDPC 图。按绘制的 PDPC 进行实施,在实施过程中可能会出现新的情况和问题,需要这定期召开有关人员会议,检查 PDPC 的执行情况,并按照新的情况和问题,重新修改 PDPC 图。

### 3. PDPC 法的用途

- (1) 制订目标管理中的实施计划。
- (2) 制订科研项目的实施计划。
- (3) 对整个系统的重大事故进行预测。
- (4) 制订控制工序的措施。

## 11.9 网络图

### 1. 网络图的概念

网络图法又称为网络计划技术,我国称为统筹法,它是安排和编制最佳日程计划,有效地实施管理进度的一种科学管理方法。

### 2. 网络图的组成

网络图是一张有向无环图,由节点、作业活动组成。

#### ① 节点

在网络图中,节点是表示某一项作业的开始或结束,在图中用  $\oplus$  表示,也叫事件。节点不消耗资源,也不占用时间,只是时间的一个“交接点”。其中 1(或 2,3,…)表示节点顺序号, $t_E$ 、 $t_L$  分别表示节点最早开工时间和最晚完工时间。

#### ② 作业

在网络图中,作业活动用箭条表示,箭条所指的方向为作业前进的方向,网络图上方的文字表示作业名称,箭条下方的数字表示作业活动所需的时间。

还有一种虚作业,指作业时间为零,以虚箭条表示,表明它们之间的逻辑关系。

### 3. 网络图绘制规则

- ① 网络图中每一项作业都应有自己的节点编号,编号从小到大,不能重复;
- ② 网络图中不能出现闭环。也就是说,箭条不能从某一节点出发,又回到节点上去;
- ③ 两个节点之间,只能有一项作业,也就是,只能有一个箭条;
- ④ 网络图只能有一个起始节点和一个终点节点;
- ⑤ 网络图绘制时,不能有缺口。

以上是画网络图必须遵循的基本规则,违背了这些规则,就不可能应用网络图

法正确地解决问题。

#### 4. 网络图中时间值的计算

##### (1) 计算的目的

- ① 确定整个工程的工期；
- ② 确定关键线路,便于控制工程进度；

关键工序是在完成该工序的时间上没有富裕时间,将关键工序连接起来,就是关键路线。

##### ③ 计算非关键工序的时差

所谓时差,就是完成工序的时间上有富裕,有机动时间。

##### (2) 节点时间值的计算方法

以某工程项目网络图为例,根据网络图计算节点时间值。各工序的作业时间已标示于图中,求各节点最早开工时间和最晚完工时间。

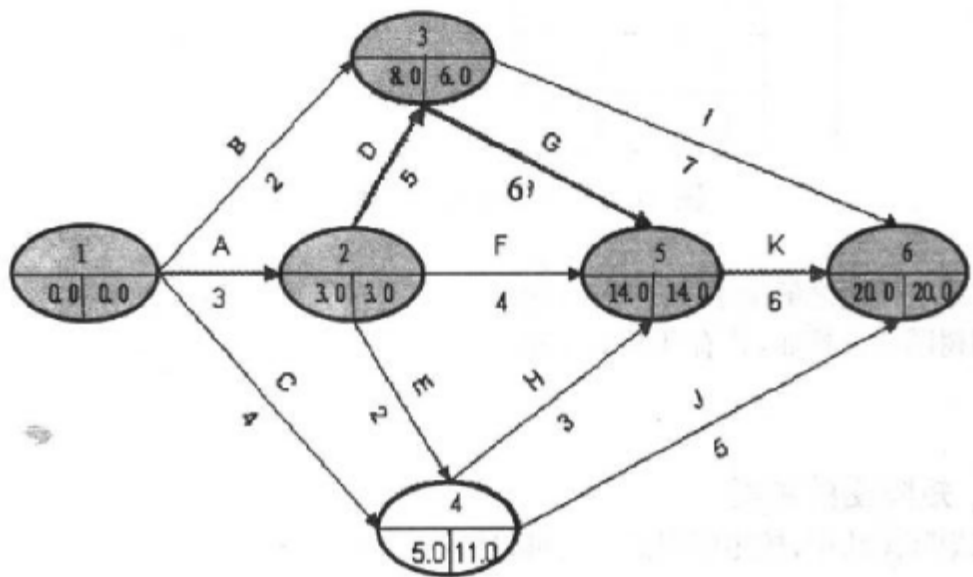


图 11.9-1 节点时间值计算示例


#### 4. 关键路线的确定

由时差为零的工序构成的路线称为关键路线。换句话说,该线路上的任何作业有所变化都会影响到总工期的变化。

## 11.10 矩 阵 图

### 1. 矩阵图的概念

所谓矩阵图法,是一种利用多维思考去逐步明确问题的方法。其工具是矩阵图。就是从问题的各种关系中找出成对要素  $L_1, L_2, \dots, L_i, \dots, L_n$  和  $R_1, R_2, \dots, R_j, \dots, R_m$ , 在其交点上标示出 L 和 R 各因素之间的相互关系,用  $\odot$ 、 $\circ$  或  $\triangle$  不同的符号表示它们之间关系的强弱,从中确定关键点的方法。

		R					
		$R_1$	$R_2$	$\dots$	$R_j$	$\dots$	$R_m$
L	$L_1$						
	$L_2$						
	$\vdots$						
	$L_i$						
	$\vdots$						
	$L_n$						

着眼点

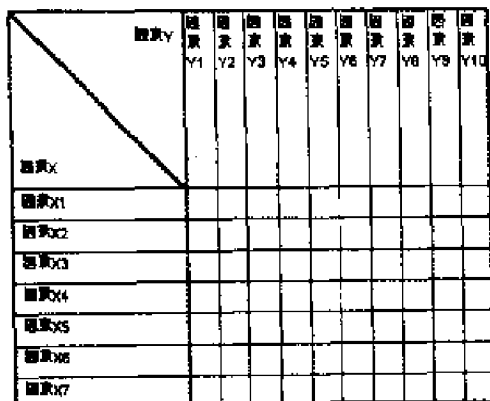
图 11.10-1 矩阵图的概念图

在寻求问题之解决手段时,若目的(或结果)能够展开为一元性手段(或原因),则可用树图法。然而,若有两种以上的目的(或结果),则其展开用矩阵图法较为合适。

### 2. 矩阵图的种类

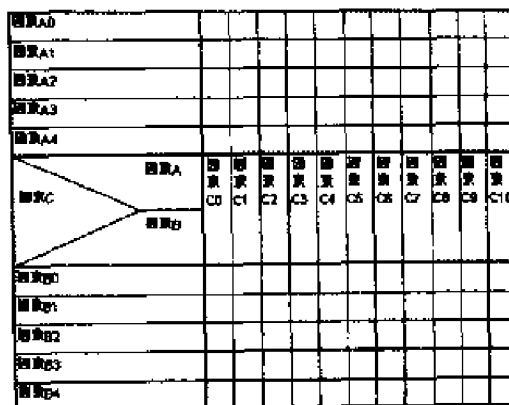
在矩阵图法中,按矩阵图的型式可将矩阵图分为 L 型、T 型、X 型和 Y 型四种。

L型矩阵图



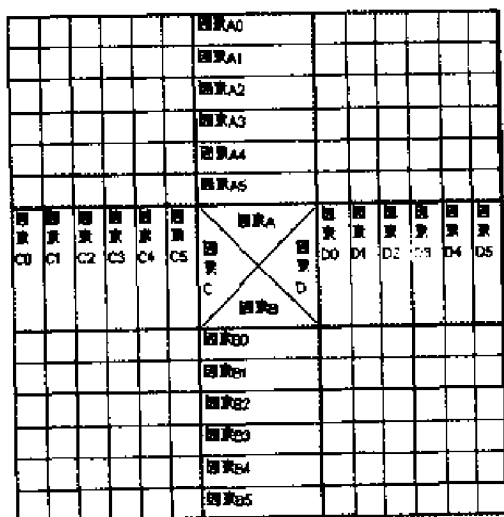
(a)

T型矩阵图



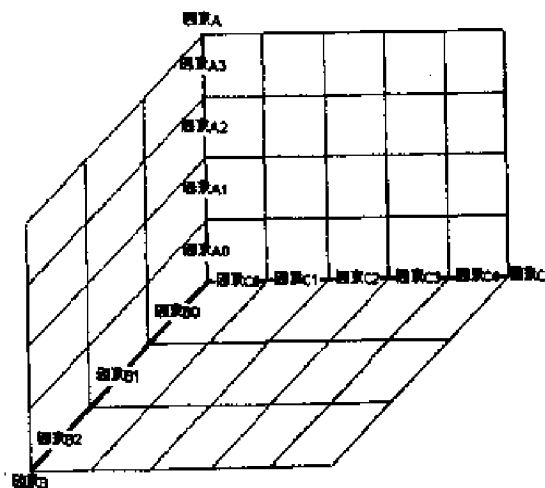
(b)

X型矩阵图



(c)

Y型矩阵图



(d)

图 11.10-2 矩阵图的类型

## 2. 矩阵图的主要用途

矩阵图的主要用途如下：

- (1) 设定系统产品开发、改进的着眼点；
- (2) 产品的质量展开以及其它展开，这点在质量机能展开(QFD)中有广泛的应用；
- (3) 系统核实产品的质量与各项操作乃至管理活动的关系，从而对工作质量进行全面管理；
- (4) 发现制造过程不良品的原因；
- (5) 了解市场与产品的关联性分析，制订市场产品发展战略；
- (6) 明确一系列项目与相关技术之间的关系；

(7) 探讨现有材料、元器件、技术的应用新领域。

## 11.11 亲和图

### 1. 亲和图的概念

所谓亲和图法是针对某一问题,充分收集各种经验知识、想法和意见等语言、文学资料,通过 A 型图解进行汇总,并按其相互亲和性归纳整理这些资料,使问题明确起来,求得统一认识和协调工作,以利于问题解决的一种方法。

### 2. 亲和图的主要用途

- (1) 归纳思想,认识事物。
- (2) 打破现状,提出新的方针。
- (3) 计划组织。
- (4) 贯彻方针。

### 3. A 型图解的绘制步骤

步骤 1:确定课题。

步骤 2:按照客观事实,找出原始资料 and 思想火花,收集语言文字资料。收集方法有:直接观察法、文献调查法和面谈阅读法、头脑风暴法、回忆法和内省法。

步骤 3:将语言资料制成卡片。注意不要用抽象化的语言表述,而应尽量采用形象生动的、让大家都能理解的语言表示。否则,这些卡片在下一阶段就会失去作用。

步骤 4:整理综合卡片。卡片汇在一起以后,将卡片逐张展开,用一定的时间,反复阅读几遍。在阅读卡片的过程中,要将那些内容相似或比较接近的卡片汇总在一起,编成一组。整理卡片时,对无法归入任何一组的卡片,另编为一组。

步骤 5:制图。卡片编组整理后,将它们的总体结构用容易理解的 A 型图解来表示。

步骤 6:使用。通过大家讨论,反复观察,专题发言,通过不断讨论,达到使用目的。



图 11.11-1 亲和图应用实例

## 11.12 流程图

### 1. 流程图的概念

流程图,就是将一个过程(如工艺过程、检验过程、质量改进过程等)的步骤用图的形式表示出来的一种图示技术。通过一个过程中各步骤之间的关系的研究,一般能发现故障存在的潜在原因,知道哪些环节需要进行质量改进。一般使用的标志如图 11.12-1 所示。

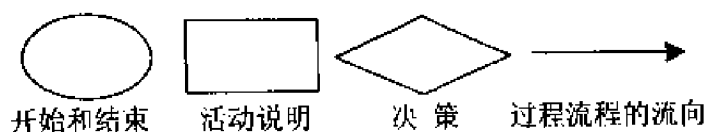


图 11.12-1 流程图的符号

## 2. 流程图应用程序

- (1) 判别过程的开始和结束;
- (2) 观察或设想从开始到结束的整个过程;
- (3) 规定在该过程中的步骤(输入活动、判断、决定、输出);
- (4) 画出表示该过程的一张流程图的草图;
- (5) 与该过程中所涉及的有关人员共同评审该草图;
- (6) 根据评审结果,改进流程图草图;
- (7) 与实际过程比较,验证改进后的流程图;
- (8) 注明正式流程图的形成日期,以备将来使用和参考。

## 3. 流程图应用实例

图 11.12-2 为复印一份文件的流程图。

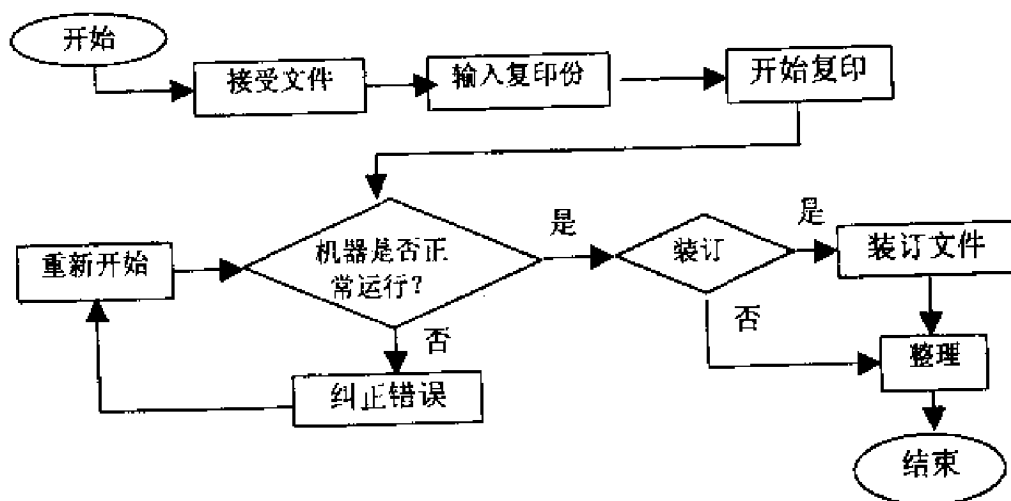


图 11.12-2 复印文件的流程图

## 11.13 本章参考文献

- [11-1] (日)水野滋主编,孔清礼译,《新 QC 七种工具》,中国质量管理协会,1981。
- [11-2] 中国现场统计会编写组,《质量管理统计方法》,机械工业出版社,1984。
- [11-3] 中国质量管理协会编著,《全面质量管理基本知识》,新一版,中国经济出版社,2001。
- [11-4] 北京科立特企业管理咨询公司编制:“质量改进常用工具软件”和“QC 新七种工具”软件。联系方法见本书序言末的作者联系表。



## 本章思考题

- [11-1] 绘制因果图应注意哪些事项?
- [11-2] 排列图中所提到的 A、B、C 类因素是指什么? 这样分类有什么意义?
- [11-3] 未超出公差界限的直方图是否可以认为没有问题?
- [11-4] 关联图和因果图的关系是什么?

## 思考题题解

- [11-1] 绘制因果图时应注意下列事项:
  - (1) 提出假设时,不要遗漏主要的原因,所以强调集思广益,充分发扬民主;确定原因时,不要将主要原因去除掉;
  - (2) 要展开到能够采取措施的程度,确定措施应尽可能具体;
  - (3) 质量特性有多少个,就应画多少张图。
- [11-2] 为了抓住“关键的少数”,在排列图上通常把累计比率分为三类:在 080% 间的因素为 A 类因素,即主要因素;在 8090% 间的因素为 B 类因素,也即次要因素;在 90100% 间的因素为 C 类因素,也即一般因素。故我们应该优先解决的是 A 类因素所引起的质量问题,或称 A 类问题。
- [11-3] 不一定。因为过程是否有问题,不仅要看过程是否满足公差的要求,也即直方图是否超出公差界限,而且还要看直方图的形状。如果形状异常,说明过程还处于失控状态,应进一步查找其原因,并加以消除。
- [11-4] 关联图和因果图都是用来描述因果关系的,二者都是质量管理中常用的方法。因果图简单明了,但它仅仅反映线形的因果关系,即一个因素导致一个结果。而关联图则不然,它可以描绘出一种原因导致两种以上的结果的逻辑关系。可以说,因果图是关联图的特例。

## 第十二章 质量机能展开

### 12.1 质量机能展开的历史与现状

#### 12.1.1 质量机能展开的产生与发展

日本质量管理发展到了 TQC 阶段后,出现了这样一个疑问,即:为了保证设计质量,能否在产品未生产出来前,就对制造过程的质量控制做出指示。设计质量确定后,在后续工序中相关的质量控制的重点就客观存在了,为什么还要以大量的试行错误为代价呢? 解决这个问题就成为质量机能展开出现的最初原因。

1978 年 6 月,水野滋、赤尾洋二教授编写的《质量机能展开》由日本科技连出版。该书从全公司质量管理的角度介绍了该方法的主要内容。

1988 年,质量机能展开经过 10 年推广应用,从制造业发展到建筑业、医院、软件生产、服务业。在总结各行业企业应用质量机能展开经验的基础上,出版发行了由赤尾洋二教授编写的《灵活应用质量展开的实践》。1990 ~ 1994 年,陆续出版了赤尾洋二教授以及大藤正、小野道照等质量管理专家编写的《质量展开入门》、《质量展开法——质量表的制作和练习》、《质量展开法——包括技术、可靠性、成本的综合展开》,从而,建立起质量机能展开的理论框架和方法论体系。

#### 12.1.2 质量机能展开在其他国家和地区的应用

质量机能展开不仅在日本,在欧美、南美、澳大利亚和亚洲的一些国家和地区也得到了广泛地应用,并收到显著效果。

##### (1) 质量机能展开在美国的应用

1983 年,福特汽车公司邀请石川馨带领的日本科技连成员,对公司的全面质量管理进行指导。同年,木暮正夫教授和赤尾洋二教授在美国质量管理协会(ASQC)发行的杂志《Quality Progress》第 10 期上,发表了题为《日本的 QFD 和 CWQC》的论文。当月下旬,由当时剑桥研究公司的今井正明在芝加哥召开了为期四天的题为“全公司质量管理和质量展开”的研讨会,赤尾洋二、木暮正夫和布留川靖教授出席了研讨会。大多数美国的工商企业是通过《哈佛工商周刊》(《Harvard Business Review》)的题为《质量屋》(The House of Quality)的论文了解到质量机能展开的。质量机能展开就这样进入了美国。

##### (2) 质量机能展开在欧洲、南美和亚洲

除了美国之外,世界其他国家和地区也都开始注意质量机能展开,着手应用,并取得了显著成果。其中包括同为发展中国家的巴西和我国台湾。

##### ① 质量机能展开在欧洲

欧洲于 1981 年开始注意到设计质量管理,但直到 80 年代末,总体上都没有对

攻关,对症下药。同时,对有效地培养起具有相当水平的新产品开发和老产品改造的设计生产人员起到关键作用。

(3) 可以强化企业的贯标工作

采用 ISO 9000 标准的过程中,可以将 ISO 9000 标准与狭义的质量机能展开对应,以系统的技术展开为中介,找出必须改善和亟待解决的各项具体问题。

(4) 可以积累企业的无形资产

质量机能展开通过一系列展开表和管理图表,将企业产品的大量信息记录下来,从而促进企业内信息的不断积累和共享,为企业进一步发展积蓄后劲。

## 12.2 质量机能展开简介

### 12.2.1 什么是质量机能展开

质量机能展开的英文名称为“Quality Function Deployment”,欧美国家也称之为质量屋(The House of Quality),形式上以大量的系统展开表和矩阵图为特征,集合价值工程或价值分析(VE 或 VA)、FMEA 的思路,在生产中可能出现的问题尽量提前予以揭示,以期达到多元设计、多元改善和多元保证的目的。

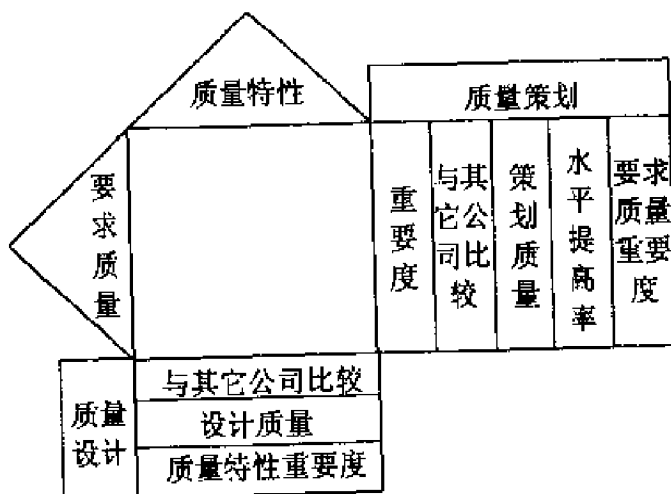


图 12.2-1

(1) 质量机能展开的定义从全面质量管理的视角出发,质量要素中包括理化特性和外观要素、机械要素、人的要素、时间要素、经济要素、生产要素和市场及环境要素。将这些要素组合成一个有机的系统,并明确产品从设计开发到最终报废全过程的质量职能,并使各质量机能得以切实完成,是质量机能展开的目的。

质量机能展开(QFD)包括综合的质量展开和狭义的质量机能展开(也可称作质量职能展开),而综合的质量展开又包括质量展开(质量表的绘制)、技术展开、

可靠性展开和成本展开。其关系见图 12.2-2。

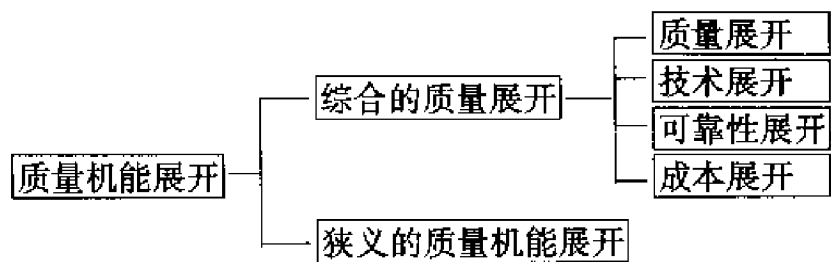


图 12.2-2 质量机能展开的基本构成

赤尾洋二教授对综合的质量展开(QD)的定义如下:“将用户的要求变换成代用特性,确定产品的设计质量,然后经过各功能部件的质量,从而至各部分的质量和工序要素,对其中的关系进行系统地展开。”

国内有些场合将 QFD 译成了质量功能展开,但 QFD 在日本发展的过程中已经出现了下列术语:“品质机能展开”与“功能展开”,而且后者概念只是前者概念的一小部分。故为了避免引起混乱,QFD 的中文译名只能译成“质量机能展开”,而不能译成“质量功能展开”。

(2) 质量机能展开的性质

它本身原理简单,但包括了大量管理技术的应用,例如:价值工程和价值分析、FMEA、FTA、KJ 法、矩阵图法、系统图法、层次分析法(AHP)、市场调查和用户访问技术等。它通过系统对应地展开,并将大量的管理技术有机地融为一体。质量机能展开与其说是一种方法,倒不如说它是一种系统管理的思想在新产品开发中的体现更为贴切。

12.2.2 综合的质量展开与狭义的质量机能展开

质量机能展开由综合的质量展开和狭义的质量机能展开组成。综合的质量展开中质量的含义是多方面的。它包括质量、成本和可靠性,体现了日本质量管理的特点。它以用户需求为依据,从质量表出发,横向经过技术展开、可靠性展开、成本展开,纵向经过以技术展开为中介,进行零部件展开。

狭义的质量机能展开(质量职能展开)就是有关质量保证的业务职能的展开。是继质量展开之后,经过工序展开、绘制工序计划表、进而展开至工序质量保证项目一览表和作业标准,同时进行协作企业的展开。通过展开,明确要解决的问题 并反馈到有关部门,成为质量改进的出发点和突破口,也成为改变设计的依据。

根据乔治 R. 佩瑞在第 25 届美国质量管理协会汽车分会上的论文, 介绍质量机能展开的有效性包括以下若干方面。

(1) 有形的效益

- 大大减少研制时间;
- 有效地减少后期的设计更改;
- 在早期进行低成本设计;
- 提高设计可靠性;
- 降低企业的管理费用。

(2) 无形的效益

- 使顾客更加满意;
- 健全企业质量保证;
- QFD 数据库;
- 改进产品策划的基础。

(3) 积累的价值

- 强化了当前的研制过程;
- 在市场和经营需求的基础上, 尽早明确目标;
- 同时注意产品和工艺技法;
- 使主要问题一目了然, 以便优化资源分配;
- 改进部门间的协作与联系;
- 提高了企业开发设计人员的水平;
- 有效地获得了用户真正所需的产品;
- 更好地满足了顾客的需求;
- 产品更具竞争优势;

## 12.2.4 质量机能展开的应用步骤

### 第一步: 确定对象产品

设定质量以前, 须明确对象属于哪类产品。是全新产品还是现有改进型产品; 是计划生产型产品还是订货生产型产品; 是有形产品还是无形产品; 是整机还是零部件。根据产品类型不同, 质量展开也会有细微的区别。以下步骤以第一种情况 (全新产品、计划生产型……) 为前提介绍。

### 第二步: 把握市场要求, 绘制要求质量展开表

- (1) 明确是哪些用户?
- (2) 用户对产品基本功能的要求
- (3) 用户的特殊要求或偏好

### 第三步: 与其他公司比较, 确定卖点 (sales point)

### 第四步: 绘制质量特性展开表

### 第五步: 就质量特性和可靠性与其他公司比较

**第六步:绘制质量表****第七步:用户投诉和意见的分析**

这是传统的设计过程中也要考虑的问题。

**第八步:确定策划质量**

这是企业对所生产产品的总体设想和设计的根据。

**第九步:决定开发前的评价**

进入设计阶段之前,必须在以上探讨的各种资料和结果的基础上,对策划质量进行评价,也就是通常所说的第一次设计评审。

**第十步:制作功能展开表**

从这一步开始,就进入了技术展开的范围。

虽然,已经明确了对最终产品的质量要求及其质量特性值,但用什么样的技术来达到要求,这是重要的专业技术问题。产品开发一直都是以技术部门为中心进行的,而时刻围绕质量,为达到质量目标,如何发挥专业技术的作用是非常重要的。

价值分析中,功能展开是其中的重要内容。功能展开起着向专业技术过渡桥梁的作用。

**第十一步:制作子系统展开表**

很多产品是由许多功能部件组成的,这些功能部件又是由一系列零部件组成的。对它们进行树状展开,并与质量特性展开表、功能展开表形成矩阵图。

**第十二步:质量投诉、质量特性、可靠性及成本分析**

结合第七步的分析,并对现有的数据进行分析,把握生产工序现有的工序能力,对各零部件进行可靠性分析,掌握各种零部件的可靠性数据并进行分析。同时,根据要求质量成本设定目标成本。积累了以上资料,可以作为设计时的参考。

**第十三步:设定设计质量,选定重要的安全部件和功能部件**

到此为止,对第八步的策划质量进行了纠正,确定了产品设计质量,进而确定了子系统和零部件的质量特性。这里还必须考虑工序能力、制造的容易度和经济性。同时,确定安全部件和功能部件,分别注上相应的标志。将能力不足的工序或可靠性低的部件作为改进的对象。

**第十四步:应用 VE、FMEA 实施改进****第十五步:设定质量评价项目**

即便是已经具有产品质量评价项目乃至实验项目体系的企业,其内容往往也是从技术角度考虑的,没有充分反映用户使用方法的可能性很大。

**第十六步:设计评审**

经过以上的探讨,进入了确立基本设计的阶段,结合 VE、FMEA 的审查结果,开展设计评审。如果发现问题,必须反馈到相应步骤再进行探讨。决定所开发的新产品是否能够成立的工作主要在该阶段进行,设计变更尽可能在该阶段彻底地完成。进入详细设计阶段后,不要再去反复改变基本设计的内容。而且,从此要开始考虑与协作厂家的共同探讨的内容。

**第十七步:绘制零部件展开表**

首先围绕在第十二步明确的子系统展开以及第十三或十四步中确定的重点零部件绘制展开表,也就是重要的零部件先进行展开,逐渐地层层展开,形成一个零部件展开系统。最好把 FMEA 分析的结果与此表结合起来一并考虑。到此为止,质量展开才算告一段落。

**第十八步:作业方法研究和展开**

对企业内实现用户要求的手段进行的展开就是作业方法展开。以最小的成本和最容易的操作实现设计质量目标,达到质量和成本的最优化。

对我国企业来说,此时应注意的有两点:

- (1)注意设计部门和生产技术准备部门的信息沟通和通力协作;
- (2)要结合具体设计妥当性的探讨,开展工序能力研究。

**第十九步:工序展开**

到目前为止,已经将用户要求转换成产品质量特性,又确定了合适的装置和功能来实现这些质量特性,进而展开到了零部件的质量特性,而将各零部件的质量特性进一步展开到各道工序的各项具体操作指令或管理项目中去。

**第二十步:质量标准、作业标准、检验标准的制定**

产品、半成品、零部件质量标准的制定要参照工序能力的结果进行。为确保符合质量标准,要制订作业标准;再与十五步的质量评价项目结合起来,确定适当的检验方法,制订相应的检验标准。

**第二十一部:设计评审和试制品评价**

反复进行评审、改进,是将质量隐患消除在批量生产以前的必由之路。这时应该再次整理出《问题或缺陷一览表》,再次利用企业现有的所有质量信息进行探讨,查找原因,解决问题。

**第二十二步:编制作业指导书**

将与用户关心的项目密切相关的各项作业作为重点,编写详细的指导、说明、注意事项、出现问题如何处理或通知谁等等,而不是仅提出工艺要求。

## 12.3 质量展开

### 12.3.1 质量展开概要

赤尾洋二教授对综合的质量展开的定义是:“将用户的要求变换成代用特性,确定产品的设计质量,然后经过各功能部件的质量,进而至各个部分的质量和工序要素,对其中的关系进行系统地展开”。

其中,质量展开的结果就是质量表或称为质量展开表。质量表承担着从用户世界向技术世界转换的作用。具体见图 12.3-1。

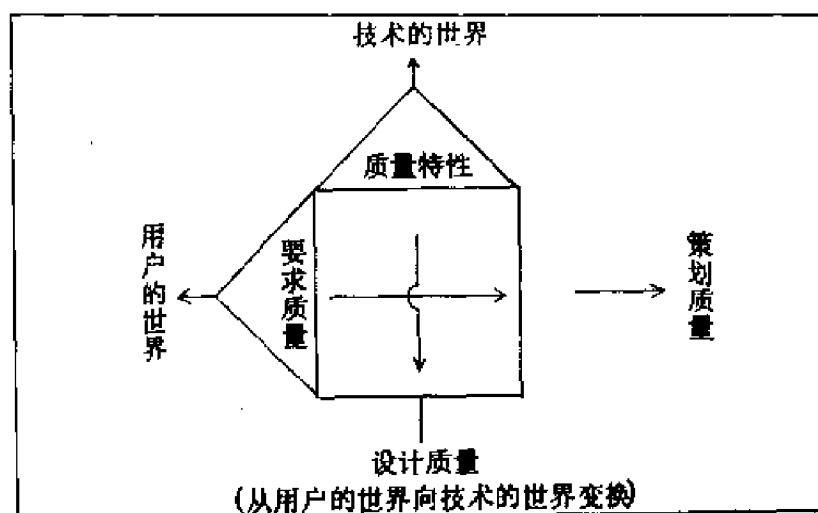


图 12.3-1 质量表的示意图

### 12.3.2 质量展开的步骤与方法

实施质量展开时,首先要组成一个质量展开小组,然后在明确产品分类的基础上(是全新产品还是现有改良型产品;是计划生产型产品还是订货生产型产品;是有形产品还是无形产品;是整机还是零部件),实施不同重点的质量展开。如图 12.3-2 所示。

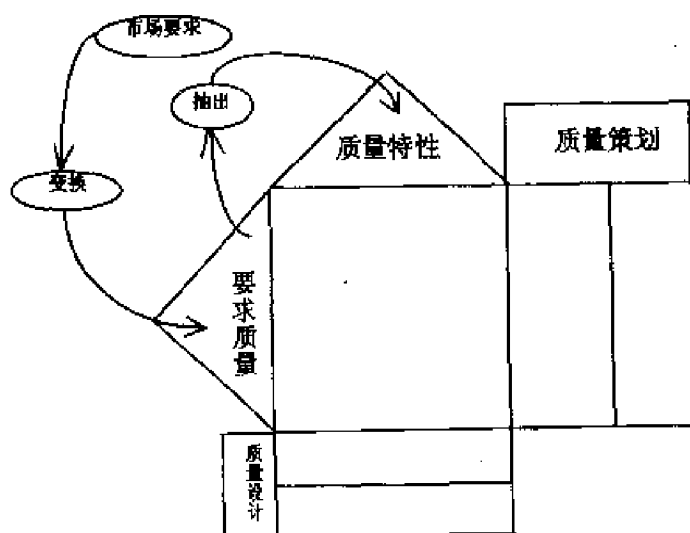


图 12.3-2 质量表绘制程序示意图

#### (1) 质量展开的步骤

质量展开的步骤实际上就是绘制质量表的过程。如图 12.3-3 所示



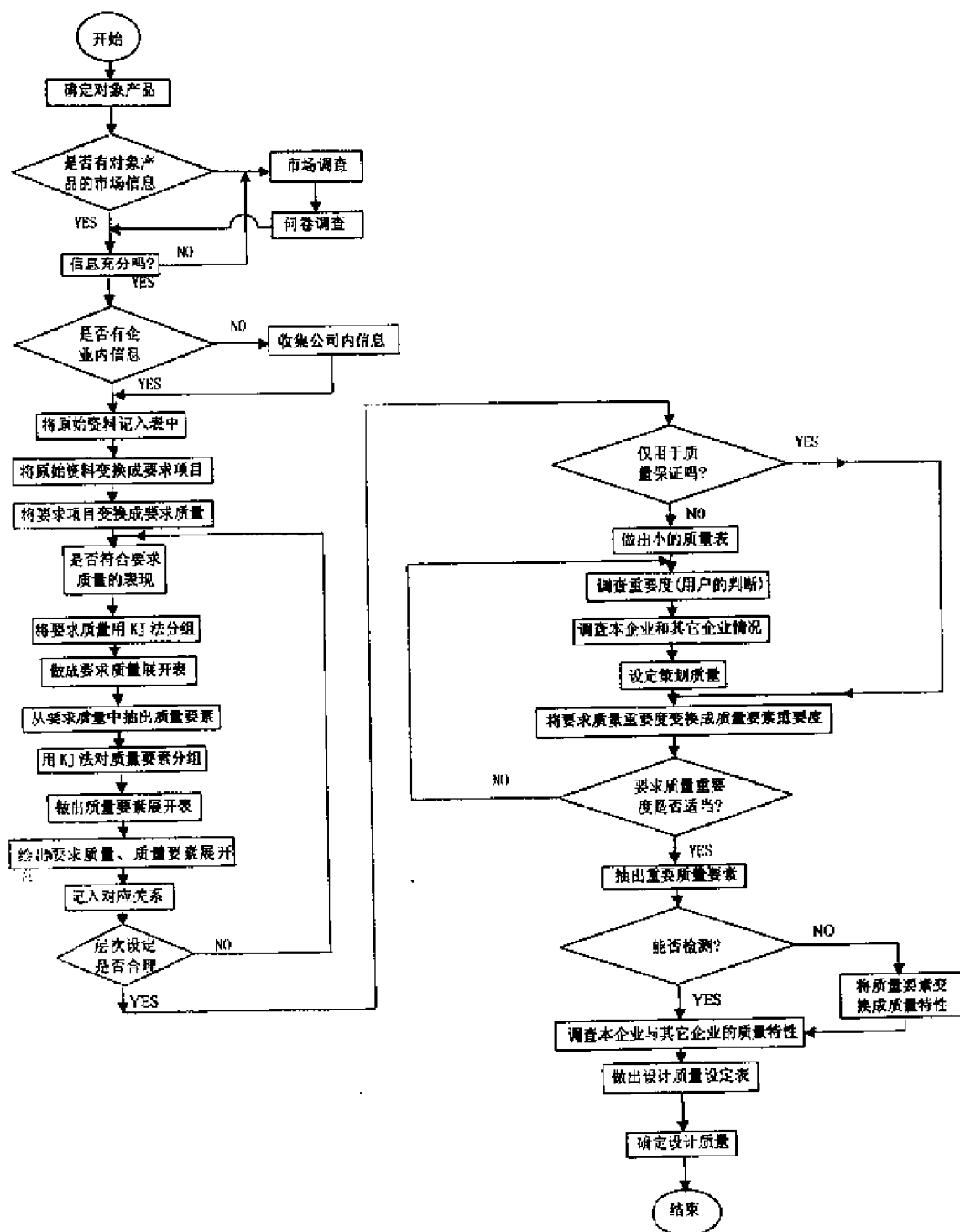


图 12.3-3 绘制质量表的详细程序图

## (2) 实施质量展开的小组组成

将质量展开作为整个企业的一项活动来系统的开展比较容易获得理想的效果。刚开始导入该方法时,必须所有部门都参加。然后以营销部门为中心,掌握顾客真正的要求质量,分析用户的信息、企业质量发展战略和竞争对手的数据,设定

策划质量。再以设计部门为中心,将策划质量转换成质量特性,确定设计质量。这一系列工作必须有组织地进行。

根据国外实践的经验,在导入质量展开的初期,制作质量表的小组人数在 5~6 位为好。参加人数超过 7 位后,议论过多,工作进展缓慢;少于 4 位却又会因为思考时间过长,缺乏相互启发,进度也不会令人满意。

随着质量展开的进行,不能始终都由一个部门进行,要由相应的部门分别承担。

### (3) 对象产品的分类

质量展开也可以说是一种新产品开发的质量保证方法,它从掌握顾客需求开始。这里首先应该考虑的是如何来确定对象产品。

#### A. 现有改进型产品和新开发的产品

确定对象产品时,调查用户对该产品的要求是可以办到的,因为这种产品是现存的产品,如果调查用户对世上根本不存在的产品有什么质量要求就困难了。目前人们经常提到的新产品,实际上绝大多数都是在原有模型的基础上改良的。新牌号的汽车投放市场,往往都是现存汽车的改进版。从往复式发动机到旋转式发动机是否是改进可能有一些疑问;但从整个汽车的角度来看,还是可以认为它是一种改进型产品。

#### B. 计划生产型产品和订货生产型产品

根据企业的生产形态,存在着计划生产型产品和订货生产型产品的两种形态。计划生产型产品就是企业自主地开发设计、生产制造出产品后,投入市场进行销售的产品。这种情况下,企业将产品投放市场后,用户根据自己的喜好决定是否购买。订货生产型产品是企业接受用户的订单,根据用户对产品质量性能以及价格等一系列的要求组织设计、生产和制造。这种情况下,订货方和生产方要充分地进行信息交换,生产出产品直接交给用户。

质量展开对这两种情况都适用,只是实施的程序有所不同。订货生产型产品的情况下,按理说只要按照用户提供的产品要求说明书制造就可以了。而计划生产型产品就必须确切地把握用户的需求,开发出符合用户需要的产品。实际上在日本,即便是从事订货型生产型产品的企业,也在开展质量展开。因此这两种生产形态的企业都要对产品实施质量展开。

#### C. 有形产品和无形产品

有形产品是可以看得见,摸得着的,例如通常的家电产品就是典型的有形产品;而无形产品却与之相反,看不见,摸不着(尽管知识或者信息可以保存在书籍、磁带、计算机软盘或光盘中)。人们购买无形产品时,是购买知识或信息,而不是去买那些磁带、光盘本身。无形产品有时以单独的形态出现,有时随着有形产品一起出现,例如个人电脑中的软件。

质量展开的程序随产品是有形还是无形也有所不同。

从目前为止的应用事例来看,总体上,用的最多的当数现有改进型的计划生产型的有形产品的生产企业。不过,服务业应用的事例也经常在国外资料中可以看

见,最近,软件的质量展开表以及大学教育的质量展开表也发表在了杂志上。

书中多次使用的案例是一次性打火机。而实际上正如前面提到的,它已应用到各个行业,例如通信器械、显像管、计算机、纸浆、粘合剂、食品、计算机软件、大学、政府机关、宾馆、大众浴室、超级市场、连锁店……。

### 12.3.3 各种质量展开

#### (1) 订单生产型产品的质量展开

订单生产型的情况下,其特征是用户的要求往往是产品的质量特性值,一般在产品要求说明书或图纸上表明具体要求。这种情况下,要从绘制质量特性展开表开始,对用户提出的质量特性或特性值从“为什么要提这样要求”的角度出发,倒过来变换成要求质量,做成要求质量展开表。再绘制出二元表,设定设计质量。

这似乎给我们造成一种多此一举的感觉。通常认为,按照订单要求生产出来就已经不错了。然而,这正反映了我们没有真正树立为用户服务的思想,国外的这种做法是通过长期的市场竞争产生的。企业为了牢牢地掌握住用户,提高市场占有率,使企业获得更好地发展。

当产品是订单生产型产品时,尤其要注意的是将质量特性与要求质量区分开,不是简单地认可用户提出的质量特性值,而是要把握用户真正的质量要求。

#### (2) 零部件制造的质量展开

零部件制造企业(典型的像汽车零部件行业)只生产最终产品的一部分,订货者是它们的直接用户,而真正的用户是产品的最终用户,这就存在购买零部件的1次用户和最终消费者的2次用户。说起把握用户的质量要求,应该把握的是谁的质量要求,有没有必要分别收集两者的质量要求。但常常从最终用户那里可以了解到对最终产品的质量要求,而对零部件的质量要求往往无法从最终用户那里获得。以汽车零部件生产企业为例,如果生产汽车座椅,就可以从最终用户那里同时了解到对作为最终产品的汽车和对作为零部件的座椅的要求。但如果生产的是引擎的活塞环,去询问最终用户对该零部件的质量要求,结果往往也是无功而返。对于第二种情况可以参考前一部分,这里主要探讨第一种情况。

这种情况下,要分别收集1次和2次用户的质量要求,分别做成两个质量表,表中的要求有时会是矛盾的。本来是应该满足最终用户质量要求的,然而1次用户肯定存在如何提高生产效率的要求,所以要考虑应满足谁的要求,如何解决这个矛盾,不能解决的情况下,就作为瓶颈技术问题提出来是很必要的。

#### (3) 服务行业的质量展开

服务业向顾客提供的产品是服务,具有无形性、不可储存性、不可逆的特点,有着与顾客在同一空间里生产出来,在生产的同时就被消费的性质。因此也就可以针对所提供的服务,直接从顾客那里收集质量要求,但同时也存在着用于评价顾客的质量要求是否得到了满足的代用特性(质量特性)难以确定的问题。服务行业质量展开的基本构想如图12.3-4所示。

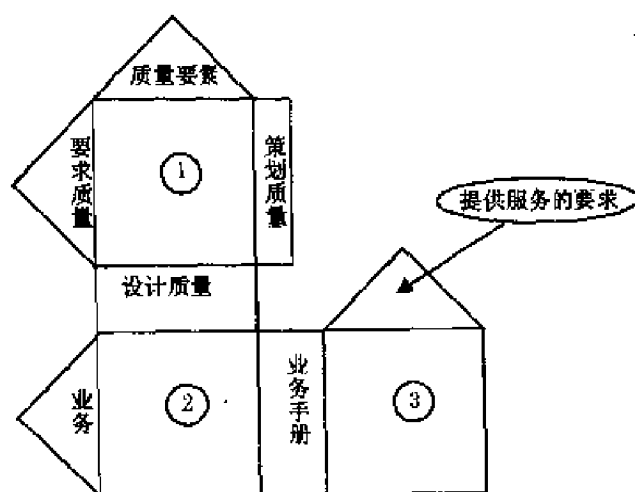


图 12.3-4 服务业质量展开结构图

调查顾客对提供服务的质量要求时,可以利用一般的调查方法,此外还可以通过直接观察收集信息。另外,抽出能够计量的质量特性常常很困难,所以抽出质量要素就可以。

作好质量表后,对提供的服务进行业务展开。从业务展开表和质量要素展开表中抽出重要业务,并检查这些重要业务是否切实地让顾客感到满意,或者考察为让顾客满意必须采用什么样的方法和程序。所以,提供服务的过程分析也十分重要。

另外,必须抽出重要的技术,把握技术现状,设定满足顾客要求的必要技术水平。

#### (4) 原材料行业(装置工业)的质量展开

原材料生产企业的情况下,要求质量展开表和质量要素展开表组成的质量表是必要的,但在这以前,必须做成反映该原材料有哪些用途的用途展开表。然后绘制出用途展开表与质量要素展开表和用途展开表与要求质量展开表的两张二元表,具有什么样特性的原材料被用作什么用途,不同用途对质量有什么要求。

## 12.4 质量展开表的制作

### 12.4.1 要求质量展开表的制作

这里以计划生产、现有改进、有形的产品为中心,介绍如何把握市场要求。

#### 1. 原始信息的收集方法

收集原始信息和属性资料的方法有两大类:

① 向用户了解。通常包括:问卷调查、访谈研究。

② 企业现有信息的灵活应用。用户意见或投诉、企业内信息、行业信息等。

#### (1) 问卷调查和访谈研究

企业决定开发新产品时,关心的是该产品能否让用户接受,所以首先必须了解

掌握用户的需求。在考虑关于对象产品的质量要求时,要详细观察实际使用时的状况。问卷调查和访谈调查主要是面对个人进行的,获得的信息和资料对今后的设计将起到重要作用。

## (2) 利用行业信息和专业杂志

要善于利用行业信息和专业杂志,找出大量感性的形容词组,将它们与要求质量的项目进行不同的组合,这样会为我们提供大量的新思路,带来许多启发。

## (3) 绘制原始信息一览表

使用以上介绍的方法收集到的各种原始信息,需要整理成便于质量展开时使用的形式。这可以根据企业的习惯或企业自己的考虑,设计一览表。

## 2. 变换成要求质量

带到企业来的信息是各种各样的,有意见、抱怨、评价、希望,有关于质量的,也有涉及功能的,还有价格的。所以,必须对从用户那里收集到的信息进行分类、整理。原始信息是用户本来的声音,要对用户发出的信息进行翻译,将其变换成规范的质量要求。通常对原始信息直接变换比较困难,要引入要求项目的范畴,使得要求质量的变换容易进行。也就是分两步进行,首先转化成要求项目,然后再转换成要求质量。

### (1) 变换成要求项目

变换表通常包括原始资料、使用场面和要求项目等内容。要求项目是根据原始信息想到的,不拘形式,可以是功能,可以是否定的形式,也可以直接将用户的原始信息转记过去。变换的中介是使用场景,分别从 5W1H 入手,引出不同的要求项目,每一行只能填写一个要求项目。

### (2) 要求项目变换成要求质量

从要求项目中找出不含有两项内容的有关质量的简洁语言就是要求质量。由于是要求质量,所以要尽量回避质量特性值、方针策略似的语言,要力求使用形象的、具体语言。同时再结合原始信息,尽量多的抽出要求质量,有时可以从一项要求项目中抽出几条要求质量,例如从“外观可爱”的要求项目中可以抽出“颜色可爱”和“造型可爱”。在变换的过程中,要从不同的视角反复分析、联想、概括,要站在用户的立场上充分考虑,同时也要考虑到个人的局限性,也许有些人认为是常识的事,对其他人来说却可能是特殊的事。下面是变换过程中应该注意的事项。

- 对要求质量的表现形式有一系列要求:
- 不包括两个以上意思的简洁表现、例如:“能在雨中持久地经受大强度地冲击”。
- 采用质量的表现形式。动词加名词是功能的表现形式,例如:“能改变颜色”。而质量的表现形式是加上修饰语,例如:“能简单地改变颜色”、“能很快地改变颜色”、“能均匀地改变颜色”等。
- 不包含像“~性”、“~度”等质量特性指标描述质量要求。例如:“可靠性好”、“抗拉强度高”。
- 不包含对策、手段的表现形式。“用电子打火机”、“对服务员进行针对性训练”。

• 尽量避免用否定形式,因为否定只是 0、1 式地判断,它制约了下一步质量特性的抽出。例如:“在雨中也不会灭”应改成“在雨中也能点着”、“在雨中火焰也能安定”和“雨中火焰也不易灭”。

• 不要仅使用名词性词汇(名词、代词和数词)。

• 对象要明确。例如从打火机“一下就能打着”的要求项目应抽出“能稳定地将火点着”,而不是“能稳定地点着”。

• 语言表现必须具体化,不能太抽象。

• 要表现出用户的真正要求。要求项目“小型化”中应抽出“能拿在手中”或“能装进口袋”等。

• 应表现成状态,而不是希望的形式。“携带时别把包搞脏了”应变换成“容器结实”、“包装密封好”。

• 不是说明文章,而是简洁的文字。这是下一步利用 KJ 法进行分类的要求。然后,将变换出的要求质量填进转换表 12.4-1 中。

表 12.4-1 将要求项目转换成要求质量的转换表

序号	资料属性		原始资料	情 景	要求项目
	性别	年龄		5W1H	
1	男	21	即使在大风中火也不会熄灭	在高尔夫球场上休息	即使风很大火也不会熄灭
2				去爬山时	即使在山上也能点着
3					在山上火也很稳定
4				雨中在车站等车	即使在雨中也不会熄
5					确实能点着
6					火焰很稳定
7	男	21	带着觉得可爱	在宴会上	有颜色
8					可爱的设计
9	男	21	质量好	可放在口袋里带走	小型
10				边听爵士乐边喝酒	有品位
11				一面沉思一面喝酒	点火声音好
12					关上盖时的声音好听
13	男	21	电子点火		一点就着
14	男	21	有耐久性	掉落	耐久性
15				掉在雪地上	不会坏掉
16				气体用完了随手扔掉	用完即可丢掉

### 3. 绘制要求质量展开表

#### (1) 填写质量要求标签

将质量要求逐条填写到纸条上,再利用 KJ 法进行分组。

#### (2) 分组

对质量要求的分组实际上就是对变换表中的质量要求按照不同层次的抽象水平,用 KJ 法把细化了的、内容相近的质量要求汇集起来。具体做法是:

- 将内容相同的标签去掉,避免重复,并使所有标签能一览无余,通常是将所有标签排在大纸或板(白板、黑板)上。
- 将意思相近的标签分成若干个“小岛”,每组 4~5 张。
- 为各“小岛”命名。小岛的名称应该是质量要求,要符合相应的要求,避免出现小岛名称与岛中标签的质量要求相同。
- 将小岛名称的标签汇集在一起,内容接近的放在一起,形成新层次的小岛,然后命名。
- 命名,要求同上。

加上必须要具有的质量要求,用户往往会忽视对最基本的质量要求。例如:对房屋质量的用户访谈过程中,用户会对采光、空间利用、墙壁隔音、居住起来的感觉,可眺望的眼界等,都是对居住性方面提出要求,而对房屋基础这一重要的质量却很少有人提出来(尽管对基础的质量谁都认为很重要)。

### (3) 绘制质量要求展开表

从 KJ 法分类的大表中,将相应的内容转记到质量要求展开表中。以打火机为例,绘出的要求质量展开表如图 12.4-1 所示。

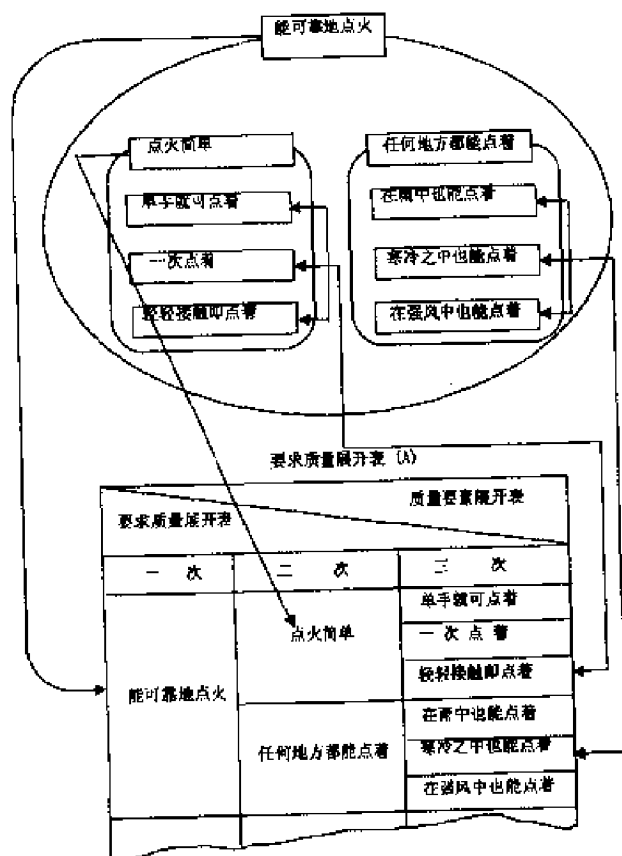


图 12.4-1 用 KJ 法整理用户意见和建议

然后绘制成表 12.4-2 的形式,就是打火机的要求质量展开表。

表 12.4-2 打火机的要求质量展开表

一 次	二 次	三 次
能可靠地点着火	简单地点着	能单手点着
		一次就能点着
		轻轻地就能点着
	在哪儿都能点着	雨中也能点着
		寒冷的地方也能点着
		大风中也能点着
容易使用	能安心使用	火焰能够调整
		火苗安定
		能够长时间地点火
		放在哪儿都能安心
	容易处理	扔到哪儿都没事
能够安心携带	拿着放心	仅在必要的时候才能点着
		能够确切地将火苗熄灭
		只有打火时才往外排气
	能够知道何时更换	能够知道气体剩余量
		能够一直用到气体没有
能用很长时间	结实	能经受强烈地冲击
		掉到地上也能用
		掉到过水中也能用
	拿起来方便	能拿在手中
		重量适度
		能放在衣服口袋里
外观设计漂亮	袖珍的外形	外形有点圆
		比较薄
	颜色明快	使用亮色
		颜色时髦漂亮
		使用单纯朴素的颜色
让人爱不释手	引人注目	点着火时有声音
		火苗的颜色在变
		能够换外套
		点火时声音好听
	看起来昂贵	瘦削的外形



## 12.4.2 制作质量要素展开表

质量要素展开表的制作步骤如下:

1. 抽出质量要素。
2. 利用 KJ 法对质量要素进行分类。
3. 绘制质量要素展开表。

### 1. 抽出质量要素

把以用户的语言写出的要求质量变换成用技术语言表达的质量特性,可以将用户的要求转化成产品特性。而将用户的世界变换成技术的世界,就必须将要求质量变换成质量特性。所谓质量特性就是成为质量评价对象的性质和性能,是用户质量要求的代用特性。对于有形产品,如果拥有相应的技术,就可准确地抽出很多质量特性,但现实中有许多感性的特性,尤其是服务业,要抽出能够计量的质量特性常常很困难,所以先抽出质量要素,其中能计量的质量要素先变换成为质量特性。

#### (1) 抽出质量要素的思路

从用户的世界向技术的世界变换的第一步就是抽出质量要素,要围绕下列中心问题,即对于质量要求是否得到满足如何加以计量。这个阶段没有必要考虑产品零部件的质量特性,用比较抽象的、高层次的术语表现也行。应该尽可能地抽出能够计量的质量特性,如果不行,也要抽出质量要素。待到后来,确定该质量要素为重要的质量要素时,再一次从更广泛地范围内,考虑怎样计量该质量要素,考虑相应的计量手段。

#### (2) 质量要素的示例

##### • 物性的要素

外观特性(大小、长度、重量、厚度)

力学性能(速度、牵引力、强度、脆性)

光学性能(透明度、遮光性、夜光性、照度)

物性(透气性、保温性、耐热性、伸缩性)

声学性能(音色、隔音性、S/N 比、音响输出功率、分贝)

有关信息的(冗长度、信息量、正确率)

化学性能(耐腐蚀性、易燃性、防爆性、耐盐雾性)

电气性能(绝缘性、导电性、防静电性)……

##### • 功能要素

效率(能源效率、易操作度、自动化程度)

安全性(无害性、防误设计)

功能多样化(多用途产品、多种功能的组合)

携带性(手提式、固定安装型、袖珍型)

使用者的范围(面向外行、适用于专家)……

##### • 人的要素

形象(高级品、知名度)

稀少性(订做品、进口产品、纯天然性、文物古董)

习惯(传统、新产品、民族用品)

感官特性(触感、外观、味道、气味、居住性、舒适感)

充实度(知识的充实感、情感上的充实感)

服务性(笑颜度、关心度、语言艺术、礼貌度、服装整、洁度)……

• 时间的要素

耐候性(耐寒性、耐湿性、耐热性、抗紫外线性、防老化性)

时间(效果的持续性、速效性)

耐久·保存性(耐用年数、故障率、易修性)

废弃容易性

• 经济要素

有利性(使用费用低、电耗、修理费低)

互换性(零部件的交换性)

• 生产的要素

作业性(工时省、纠正少、不需要特殊技能、作业标准的弹性)

原材料(容易库存、易检性、符合工序能力)

收率(收率高、修改容易、容易向其它品种转换)

• 市场的要素

适时性(流行性、时髦度、古典性、季节性)

品种多样性(广泛的可选择性)

决定购买的契机(依据各自的基准选择、著名评论家的决定)

寿命周期(寿命周期长、短但有好处)……

## (2) 绘制原始数据变换表

原始数据变换表如表 12.4-3 所示,该表只是变换表的左半部分,右边还有大量抽出的特性。首先记入要求质量,然后抽出质量要素,如果能够计量就标明计量单位。如果从其他要求质量也抽出了同样的质量要素也不要介意,最好就不同的质量要求分别抽出质量要素。

表 12.4-3 抽出质量要素的示例(部分)

	资料	要求质量	抽出的特性			
	性别		对应	特 性	对应	特 性
1	男	在强风中也能点着		熄火风力		瞬间风压
		在强风中火焰好很稳定		熄火风力		瞬间风压
		在寒冷之处也能点着		气压		外气温
		在寒冷之处火焰也很稳定		气压		外气温
		在雨中也能点着		温度		点火压力
		在雨中火焰也很稳定		温度		点火压力
		能可靠地点着		点火压力		点火次数
		火焰稳定		连续使用时间		火焰稳定性
2	男	可选择自己所喜好的颜色		机身色数		外观互换性
		可爱的颜色		女性感动度		淡色使用率
		可爱的设计		高度尺寸		宽度尺寸
		可拿在手里		重量		体积
		可放在口袋里		重量		高度尺寸
3	男	颜色时髦漂亮		使用色数		淡色使用率
		单纯朴素的颜色		使用色数		淡色使用率
		点着时的声音非常舒服		点火声音		
		关盖子时的声音非常舒服		点火声音		发生时间
4	男	可以单手来点火		重量		体积
		轻轻一接触就可点着		重量		体积
5	男	即使摔落仍可使用		落下强度		耐久性
		可承受强烈的冲击		落下强度		变形压力
		可长期使用		使用时间		使用次数
		掉落水中仍可使用		回转磨擦力		耐久性
		可扔到垃圾箱中		内部压力		落下强度

### (3) 利用 KJ 法进行分组

具体作法与要求质量的分组相同。质量要素展开表的高次项目容易写成工序、零部件。如果对现有产品实施质量保证,因为生产方法或生产的产品是确定的,按照不同工序展开质量要素是可以考虑的。那种情况下,绘制不同工序的质量要素展开表也可以。而新产品开发的情况下,标明零部件的名称会妨碍创造性思维的延续。

### 12.4.3 质量表的绘制

#### 1. 质量表的思路

绘制质量表就是将要求质量展开表和质量要素展开表形成矩阵表,用◎、○和△表示对应关系。通常用◎表示有很强的对应,○表示有对应关系,△表示估计有对应关系。将要求质量重要度变换成质量要素重要度时,利用不同的配点法进行变换,对不同的对应关系,要对◎、○和△赋值,通常是5:3:1,也可以利用4:2:1或者3:2:1。

#### 2. 绘制质量表

通常是将要求质量展开表放在左侧,质量要素展开表放在上方。一般情况下,质量表是很大的一张表,通常展开到三次要素即可,即便很大也必须作出来。不过,在设定策划质量或把握总体情况时,就需要一张小的质量表(例如:展开至二次项目为止),不然抓不住重点。

#### 3. 质量表的检查

绘制出质量展开表后,要对质量表进行检查和修改,通常要注意以下几点:

(1) 对应关系的记号有没有几乎都出现在对角线上,见图12.4-2。这种情况是因为要求质量中混有很多质量要素。这种情况大多发生在订货生产型的企业里,企业将订货的质量特性当成了质量要求。

质量要素展开表			1次	X			Y			Z	.....			
			2次	X1	X2	X3	Y1	Y2	Y3	Z1	Z2	Z3		
1次	2次													
1 A	1.1 A1		◎	○										
	1.2 A2			○	○									
	1.3 A3					○								
2 B	2.1 B1						◎							
	2.2 B2						△	○						
	2.3 B3								○					
3 C	3.1 C1			○						○				
	3.2 C2										○			
	3.3 C3											○		

图12.4-2 质量表上对应关系的记号几乎都在对角线上

(2) 是否有某个要求质量的横向上记号过多,参见图12.4-3。这是由于该要求质量的层次高于其他要求质量,问题在分组时遗留下来的。

质量要素 展开表  要求 质量展开表		1次	X			Y			Z			.....			
		2次	X1	X2	X3	Y1	Y2	Y3	Z1	Z2	Z3				
1. A	1.1 A1			○						△					
	1.2 A2													○	
	1.3 A3									○					
2. B	2.1 B1		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
	2.2 B2										○				
	2.3 B3				○	○									
3. C	3.1 C1										○				
	3.2 C2		○							△					
	3.3 C3														

图 12.4-3 质量表某个要求质量的横向上记号过多

(3) 是否出现了记号“成团”的现象。这是低次要求质量中混进了高次的项  
目。见图 12.4-4。

质量要素 展开表  要求 质量展开表		1次	X			Y			Z			.....			
		2次	X1	X2	X3	Y1	Y2	Y3	Z1	Z2	Z3				
1. A	1.1 A1				⊙				○						
	1.2 A2				○										
	1.3 A3			△											
2. B	2.1 B1					⊙	⊙	⊙							
	2.2 B2					⊙	⊙	⊙						○	
	2.3 B3					⊙	⊙	⊙							
3. C	3.1 C1				○							△			
	3.2 C2								△						
	3.3 C3														

图 12.4-4 质量表中是否出现了记号“成团”的现象

(4) 不要绘制过于庞大的质量表, 可以就关键部分进行详细展开。

#### 12.4.4 确定策划质量

本阶段的主要任务为:

- (1) 算出要求质量重要度
- (2) 确定策划质量

现分别介绍如下:

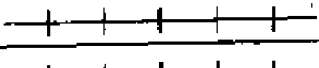
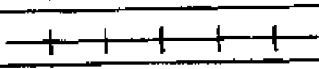
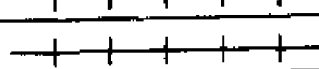
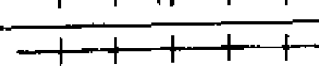
- (1) 算出要求质量重要度

要求质量重要度是市场对各个质量要求项目的重视程度, 也是定量地把握用户要求的方法。可直接或间接地从用户获得。常用的方法有:

##### ① 问卷调查。

问卷调查是直接从用户那里获得的信息, 所以要比层次分析法准确。问卷调查表可以采用表 12.4-4 的形式。

表 12.4-4 问卷调查示例

问题: 您购买 时, 决定商品或制造厂家的判断基准是哪些, 请填写左边的项目中。同时, 就各项对您购买动机的影响程度, 请在右边的标尺上划圈。	
成为判断基准的项目	完全没影响      一般      影响很大 
1 能可靠地点着	
2 容易使用	
3 可安心携带	
4 可长时间使用	
5 外观设计良好	
6 爱不释手的感觉	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	

在希望获得明确答复的情况下,经常将 5 段评价的中间项“无所谓”去掉。在计算调查结果时是取平均值,同时也要考虑到波动,也就是要计算标准偏差。

## ② 层次分析法

### (2) 确定策划质量

确定策划质量通常是在 2 次项目的基础上进行,也有的企业在 3 次项目上进行。

#### ① 质量策划的思路

总体上,要根据用户要求重要度与其他企业所达到的水平相比较的结果出发,确定卖点和策划质量。

对于重要度很高,本企业达到的水平也很高,而其他企业水平较低的要求质量,应成为卖点;某项质量要求的重要度高,但本企业的水平低,而其他企业的水平高,起码要将企业达到的水平定位在与其他企业持平,但不能成为卖点;

如果重要度高,本企业和其他企业达到的水平都很低的情况下,要将策划质量定位在高于其他企业,该要求质量也能成为卖点。

企业应基于这种考虑,再结合产品魅力的质量、一元的质量和当然的质量进行质量策划。这里给出的是一次性打火机的质量策划表(见表 12.4-5),但需要说明的是,企业在具体开展质量策划工作时,不必拘泥于该表的形式。

确定策划质量时,要与企业的技术和设备条件相结合,当然有时即便现有条件不可能达到,但尝试着设定一下,由此会联带出一系列问题,从而成为决定下一阶段工作重点的有力依据。

#### ② 填写策划质量设定表

在依照前面介绍的基本思路,确定了策划质量后,要算出水平提高率、绝对重要度和要求质量重要度。水平提高率以及企业的质量发展战略对下一步设定重要质量特性提高率具有重要的作用。至此,质量策划的工作告一段落。

表 12.4-5 一次性打火机的质量策划表

质量要素 展开表	形状 尺寸	重量	耐久性	点火性	操作性	设计性	话题性	策 划 质 量							重 要 度		
								重 要 度	比 较				策 划 质 量	水 平 提 高 率	销 售 重 点	绝 对 重 要 度	要 求 质 量 重 要 度
									自 己 公 司	其 它 公 司							
										X 公 司	Y 公 司	Z 公 司					
要求质量 展开表								5	4	5	3	4	5	1.2	◎	6.0	17.1
能可靠地点燃			○	◎	○			5	4	5	3	4	5	1.6		12.0	34.2
容易使用	◎	◎			○			5	3	4	3	3	5	1.6		12.0	34.2
可安心使用	○	△	◎	○				4	4	4	4	4	4	1.0		4.0	11.4
可长期使用			◎	○	○	△		3	3	3	3	3	3	1.0		3.0	8.5
可长期使用			◎	○	○	△		3	3	3	3	3	3	1.0		3.0	8.5
可长期使用			◎	○	○	△		3	3	3	3	3	3	1.0		3.0	8.5
可长期使用			◎	○	○	△		3	3	3	3	3	3	1.0		3.0	8.5
外观设计良好	○	○				◎	○	4	3	4	2	3	4	1.3	○	6.2	17.7
外观设计良好	○	○				◎	○	4	3	4	2	3	4	1.3	○	6.2	17.7
爱不释手			△		△	○	◎	3	3	4	3	4	4	1.3		3.9	11.1
爱不释手			△		△	○	◎	3	3	4	3	4	4	1.3		3.9	11.1
															合 计	35.1	

### 12.4.5 设计质量的确定

在确定策划质量后,就将市场的要求变换成质量要素重要度,确定重要的质量要素,以确定设计重点。根据算出的重点质量要素,同时考虑竞争对手企业的产品质量特性值的水平,比较本企业的现状水平,结合企业内产品策略设定设计质量。

要想调查竞争对手产品的低次的质量要素的水平是比较困难的,灵活应用积蓄的有关质量特性值的信息比较现实。这也说明了平时积累产品质量信息的重要性。

#### (1) 重要度的变换

##### ① 独立配点法

该方法先将要求质量重要度与◎、○、△的值(经常用的值是◎5、○3、△1,也用4:2:1和3:2:1)相乘,然后,纵向将这些值相加,得出质量要素重要度。本书采用的是第一种配点法,即:◎5、○3、△1。见表12.4-6。

表 12.4-6 用独立配点法求出质量要素重要度

质量要素展开表 要求质量展开表	形状尺寸	重量	耐久性	点火性	操作性	设计性	话题性	要求质量重要度
能可靠地点燃			○/51.3	◎/85.5	○/51.3			17.1
容易使用	◎/171	◎/171	○/102.6		○/102.6			34.2
可安心使用	○/34.2	△/11.4	◎/57.0	○/34.2				11.4
可长期使用			◎/42.5	○/25.5	○/25.5	△/8.5		8.5
外观设计良好	○/53.1	○/53.1				◎/88.5	○/53.1	17.7
爱不释手			△/11.1		△/11.1	○/33.3	◎/55.5	11.1
要求质量重要度	258.3	235.5	161.9	145.2	190.5	130.3	108.6	

##### ② 比例配点法

该方法将要求质量重要度按横向的各个记号(◎、○、△)得点占该行记号得点之和的比例分配,然后纵向相加得出质量要素重要度。

独立配点法的要求质量重要度的总和与质量要素重要度的总和不相等,质量要素重要度之和大于后者,所以往往要对得点再进行百分比变换。比例配点法虽然不存在这个问题,但由于是按比例分配,容易出现横向◎○△较多时,纵向评价过小的问题。如果横向只有一个记号,那么质量重要度就全部变换成了质量要素重要度。一般倾向于使用独立配点法进行变换。

#### (2) 设计质量的确定

##### ① 抽出重要的质量要素

由于设定策划质量用的质量表常常是小质量表,得出的质量要素也是高次的



质量要素,当确定了重要的质量要素后,必须再回到大质量表中去,进一步确定具体的质量要素。

## ② 确定设计质量

当确定了重要的质量要素后,将竞争对手企业的产品现有质量特性值与本企业的相比,确定本企业的设计质量。当没有竞争对手企业方面的有关数据时,可以购买对手企业的产品,最少要调查清楚前5位重点质量要素的情况,为比较分析提供数据。确定了设计质量后,下一步的工作内容随企业性质的不同而相应有所不同。

到目前为止,我们仅仅介绍了质量展开中的质量表如何绘制,质量机能展开除了以上介绍的内容之外,还有很多其它的展开表。因为,除了质量展开,还有技术展开、成本展开、可靠性展开和质量职能展开,这些展开中还包括许多展开表,例如:功能展开、零部件展开、工序展开、装置展开……。当然,这也是质量机能展开中最重要的一张展开表,没有这张展开表,其它展开表都将成为无本之木。由于篇幅有限,这里就将最重要的展开表详细地给读者进行了介绍,其它内容如果读者有兴趣,可以查阅有关出版物。

## 12.5 本章参考文献

- [12-1] 张晓东,安景文,濮津编著,《质量机能展开》,中国计量出版社,1997。
- [12-2] 日本大藤正,小野道照,赤尾洋二等著,《品质展开法——品质表の作成と演习》,日科技连,1990。

## 本章思考题

- [12-1] 质量机能展开是如何实现缩短开发周期的?
- [12-2] 质量机能展开是如何实现从用户的世界向技术的世界的转换的?

## 思考题题解

- [12-1] 质量机能展开存在着一系列的展开表和矩阵图,将各种关系和重要度进行分解和分配,将开发设计过程的许多环节和设计重点的转换,将顾客质量要求,质量特性,功能,装置,零部件,关键技术,成本分配,可靠性等之间的关系,利用可视化了的图表一一展示出来。  
另一方面,由于绝大部分新产品都是改进型产品,在充分利用原有设计的各种思路和创意的基础上,只要对改造部分进行调整,就可以避免大量的重复的工作。同时,由于实现了设计开发过程的可视化,为设计评审和设计更改提供了非常便利的平台。因此,对应用过质量机能展开的

产品,当再次开发设计时,开发周期就会大幅度缩短。

- [12-2] 质量机能展开中包括各种展开表,其中非常重要的一张展开表就是质量表。绘制质量表的过程,从了解顾客的质量要求开始。首先,通过调查分析,将用户的各种质量要求经过整理,分解,变换,形成要求质量展开表。然后,从中抽出质量要素。最后,形成质量特性展开表。再后,经过调查分析,在综合顾客的要求质量重要度,在利用要求质量和质量特性之间的关联性分析和重要度的变换,从而完成用户的世界向技术的世界的转换。参见本书第 324 页的示意图,图 12.3-2。

## 第十三章 质量评估方法

### 13.1 概 述

质量管理工作中,经常需要进行质量评估,以便对于一系列对象进行统一的管理或确定最合理的方案。例如,优质产品的评审,QC小组成果的评比,工艺参数的优选,工厂如何对其各个车间进行统一的评价,医院如何对其各个医疗科室进行统一的管理,国家轻工业局如何对全国制糖厂的经济效益与管理水平进行统一的衡量等。这里都存在一个对于一系列对象如何进行科学评估的问题。

评判质量优劣的准则即质量指标。若质量指标只有一个,这就是单指标问题,若质量指标多于一个,则是多指标问题。无论是单指标问题还是多指标问题,有时都会遇到指标不可比的困难。以单指标为例,综合性医院通常具有内科、外科、妇产科、小儿科等许多原料科室。医院对这些医疗科室进行统一管理的重要指标之一是治愈率,即该医疗科室治愈病人数占全部就诊病人数的百分比。实际调查表明,妇产科的治愈率往往最高,独占鳌头,可以达到97%以上,而肿瘤科的治愈率则很低,屈居殿军。由于各医疗科室的病种殊异,病情的轻重不同,对治愈率的数值大小有显著影响,也即从治愈率的角度看,各医疗科室无可比性。至于多指标问题,由于各指标间的矛盾使方案不可比较,决策也会遇到困难。

解决上述不可比性的困难,通常有下列两条途径:

1. 全面考虑各方面的因素,建立综合评估准则。从不同角度提出不同的准则就产生了各种综合评估法,如优序法(13.2节)、AHP方法(13.3节)、模糊综合评价法(13.4节)等。
2. 在不可比的指标中,排除不可比因素的影响,而只保留可比因素,建立起新的可比指标,然后再进行统一评估。如选控评估法(13.5节)。

### 13.2 优 序 法

优序法是金良超研究员在1984年提出的,参见本章参考文献[13-1]。

#### 1. 试验方案与结果

在现场,我们经常会遇到具有多个指标的有限个方案的评价与决策问题。有的问题要求从中选择一个好的方案,有的问题则要求从中选出几个较满意的方案,也有的问题并不着眼于选出一个满意的方案,而是更关心于将所有方案进行优劣排队。优序法是基于排序思想的一种方法,特别是对于定性指标或包括有定性指标的多指标问题,非常实用方便。

现结合一个例子介绍优序法的基本方法。例如,有一项工艺试验,已按确定的

8个试验方案进行了试验,考核的指标有5项,得到的试验结果见表13.2-1。指标值都要求越小越好。现要求对所有方案进行综合评价,选择一个较优的方案,或进一步对综合评价结果进行统计分析,寻找更好的工艺条件。

表 13.2-1 试验方案与结果

指标 方 案	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$
①	0.6	0.3	34	23	8
②	1.0	1.0	6	15	65
③	0.5	2.6	48	130	80
④	1.5	0.95	32	120	131
⑤	0.2	0.45	146	78	44
⑥	2.25	1.85	62	121	140
⑦	1.0	0.1	41	7	31
⑧	1.5	1.5	55	65	44

## 2. 排序

假定我们只考虑一个指标,就成为一个单指标问题了,于是可比较各个方案的优劣并可排列出这8个方案的优劣次序如下:

⑤—③—①—②—⑦—④—⑧—⑥

从排序中可看出,方案①比其中的5个方案为优,而比其中的两个方案为劣。这时就说方案①关于 $f_1$ 的优序数为5,劣序数为2。若对某个方案 $i$ ,算出每个指标的优序数,则它们的和就是该方案的优序数,记为 $K_i$ 。显然,如果有某个方案 $e$ ,它的各项指标都为最优,则它的优序数 $K_e$ 在所有方案中也最大。因此,我们可以根据优序数的大小来评价方案的优劣,也即可以按照优序数的大小来排列方案的优劣次序。

## 3. 同名次的处理

还需要考虑的是,当各方案在某指标的排序中出现相同名次,也即指标值或评价价值相同时,就不能说哪个优、哪个劣。这时,规定名次相同的两个方案比较时,优序数和劣序数各算0.5。例如,在指标 $f_1$ 的排序中,假定②、⑦名次相同,则②与⑦的比较时,优序数算0.5,劣序数也算0.5;当⑦与②比较时,也同样计算。所以②的优序数为3.5,⑦的优序数也为3.5。为了便于计算优序数,设计了一种计算表格见表13.2-2。此表的第一行为优序号,左边一列为指标列。然后按各指标进行方案排序。名次相同的排在同一位置上,如有 $S$ 个名次相同的方案排在同一位置上则随后要空出 $(S-1)$ 个位置,再继续排列,直到所有方案排完为止。经这样排

列后,每个方案所在位置对应的优序号就是该指标的优序数。但要注意,当有  $S$  个名次相同的方案排在同一位置上时,则它们的实际优序数是它们的优序号减去  $0.5(S-1)$ 。

表 13.2-2 优序数计算表

方案号 指标	优序号	7	6	5	4	3	2	1	0
$f_1$		⑤	③	①	② ⑦	/	④ ⑧	/	⑥
$f_2$		⑦	①	⑤	④	②	⑧	⑥	③
$f_3$		②	④	①	⑦	③	⑧	⑥	⑤
$f_4$		⑦	②	①	⑧	⑤	④	⑥	③
$f_5$		①	⑦	⑤ ⑧	/	②	③	④	⑥

现可按表 13.2-2 来计算各方案的优序数。方案①在  $f_1$  排序中位置对应的优序号是 5,在  $f_2$  排序中位置对应的优序号是 6,在  $f_3$  和  $f_4$  排序中位置对应的优序号是 5,在  $f_5$  排序中位置对应的优序号是 7,所以方案①的优序数为

$$K_1 = 5 + 6 + 5 + 5 + 7 = 28$$

对于方案②,它在指标  $f_1$  排序中,和方案⑦排在同一位置上,对应的优序号是 4,则它的实际优序号是:  $4 - 0.5(2-1) = 3.5$ ,所以方案②的优序数为

$$K_2 = 3.5 + 3 + 7 + 6 + 3 = 22.5$$

同理,可得:

$$K_3 = 6 + 0 + 3 + 0 + 2 = 11$$

$$K_4 = 1.5 + 4 + 6 + 2 + 1 = 14.5$$

$$K_5 = 7 + 5 + 0 + 3 + 4.5 = 19.5$$

$$K_6 = 0 + 1 + 1 + 1 + 0 = 3$$

$$K_7 = 3.5 + 7 + 4 + 7 + 6 = 27.5$$

$$K_8 = 1.5 + 2 + 2 + 4 + 4.5 = 14$$

则可得到方案的优劣排序为:

$$\text{①} \rightarrow \text{⑦} \rightarrow \text{②} \rightarrow \text{⑤} \rightarrow \text{④} \rightarrow \text{⑧} \rightarrow \text{③} \rightarrow \text{⑥}$$

如果要对试验结果进行统计分析,可以用优序数作为综合评价值。

在实际中,还经常会遇到指标只能作定性比较的问题,如音质、图象、表面光洁度以及评比结果、技术考核等问题,对这些问题应用优序法处理也是很方便的。

#### 4. 重要性的加权

在有些问题中,往往还要考虑各指标的相对重要性,这时,可计算加权的优序

数,其计算公式为:

$$K_i = \sum_{l=1}^m W_l a_{li}, \quad I = 1, 2, \cdots, n \tag{13.2 - 1}$$

式中,m 为指标数,n 为方案数,i 为方案号, $a_{li}$  为第 i 个方案第 l 指标的优序数, $W_l$  为第 l 指标的权重

[例 13.2-1] 质量管理小组成果评比。

某部门已初评出 8 个优秀质量管理小组,现要从中再评选出 3 个小组参加全国质量管理小组代表会议。评审小组由具有较高水平且富有实际经验的 5 人组成。评价质量管理小组成果的指标有 5 项:选题、原因分析、措施方法、实际效果巩固措施,分别记作  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$ 、 $f_4$ 、 $f_5$ ,这些指标都是定性指标。

每个评判员按每个分指标分别对 8 个成果进行评价判断,给出各分指标的单排序。如评判员  $M_1$  的评价结果如表 13.2-3 所示。这样,5 个评判员给出 5 张评价表。然后,应用优序法,按每个分指标,对 5 个评价员的评价结果进行综合,得出该分指标下的成果单排序。如对  $f_1$  这个指标,其单排序的计算列成 13.2-4 的格式。

表 13.2-3 的评价结果

成果 排序 指 标	名 次	1	2	3	4	5	6	7	8
$f_1$		⑧	⑤ ②	⑥	③	① ⑦	④		
$f_2$		⑧	⑤	⑥	③ ②	⑦ ④	①		
$f_3$		②	⑥	⑤	③	⑧	①	④ ⑦	
$f_4$		③	⑤	②	⑧	⑥	⑦	④	①
$f_5$		⑧	③	⑥ ②	④ ⑤	①	⑦		

表 13.2-4 指标单排序的计算

成果 排序 指 标	名次	7	6	5	4	3	2	1	0
$M_1$		⑧	⑤ ②	/	⑥	③	① ⑦	/	④
$M_2$		⑧	⑤	⑥	② ③	/	④ ①	/	⑦
$M_3$		⑤	① ③	/	⑦ ⑧	/	⑥	②	④
$M_4$		⑤	③	⑧	②	① ⑦	/	⑥	④
$M_5$		③	⑤ ⑧	/	⑥	④	②	⑦	①

根据表 13.2-4 计算每个成果的优序数:

$$K_1 = 1.5 + 1.5 + 5.5 + 2.5 + 0 = 11$$

$$K_2 = 5.5 + 3.5 + 1 + 4 + 2 = 16$$

同理有

$$K_3 = 25, K_4 = 4.5, K_5 = 31, K_6 = 16, K_7 = 8.5, K_8 = 28.$$

于是,根据优序数的大小,可得出关于  $f_1$  这个指标各成果的排序为:

$$\textcircled{5} - \textcircled{8} - \textcircled{3} - \textcircled{2} \textcircled{6} - \textcircled{1} - \textcircled{7} - \textcircled{4}$$

类似地,可得到其它指标各成果的排序。其结果见表 13.2-5。然后,再应用优序法,对各分指标的单排序进行综合,就可得到成果的总排序。在本例中,还要考虑各指标的相对重要性,则要按公式(13.2-1)计算各成果的加权优序数。各指标的相对权重列在表 13.2-5 的最右列中。

表 13.2-5 各成果总排序的计算格式表

成果排序 评判员 \ 优 序 号	7	6	5	4	3	2	1	0	权 重
$f_1$	⑤	⑧	③	② ⑥	/	①	⑦	④	0.10
$f_2$	⑧	⑥	③	②	①	④ ⑤	/	⑦	0.15
$f_3$	⑥	②	③ ⑤ ⑧	/	/	④	①	⑦	0.30
$f_4$	⑥	⑧	② ③ ⑤	/	/	④ ⑦	/	①	0.30
	②	⑧	⑥	④	③	⑤ ⑦	/	①	0.15

现按公式(13.2-1)计算每个成果的加权优序数:

$$K_1 = 2 \times 0.10 + 3 \times 0.15 + 1 \times 0.30 + 0 \times 0.30 + 0 \times 0.15 = 0.95$$

$$K_2 = 3.5 \times 0.10 + 4 \times 0.15 + 6 \times 0.30 + 4 \times 0.30 + 7 \times 0.15 = 0.95$$

同理,有

$$K_3 = 4.1, K_4 = 1.88, K_5 = 3.55, K_6 = 6.2, K_7 = 0.78, K_8 = 5.55。$$

于是可得成果的总排序为:

$$\begin{array}{cccccccc} \textcircled{6} & \textcircled{8} & \textcircled{2} & \textcircled{3} & \textcircled{5} & \textcircled{4} & \textcircled{1} & \textcircled{7} \\ 6.2 & 5.55 & 5.0 & 4.1 & 3.55 & 1.88 & 0.95 & 0.78 \end{array}$$

由于要求推选三名,根据上述评比结果,应该推选第⑥、⑧、②号成果的质量管理小组出席全国质量管理小组代表大会。

有兴趣的读者可进一步参阅本章末的参考文献[13-1]~[13-6]。

### 13.3 AHP 方法

AHP方法又称为层次分析法(Analytic Hierarchy Process)。它是由美国著名运筹学家萨惕(T. L. Satty)在70年代提出的,近年来在我国得到广泛的应用。它是一种定性评价与定量评价相结合的综合评价方法。

AHP方法的步骤如下:

#### 1. 明确问题

为了应用AHP方法,首先要弄清楚所评价对象的范围、目的、要求和所能掌握



的原始信息。

## 2. 建立层次结构

根据所评价的对象,将所包含的因素分组,每一组作为一个层次。按照最高层,若干有关的中间层和最低层的形式排列起来。例如,最简单的层次结构可分为三层,如图 13.3-1 所示。

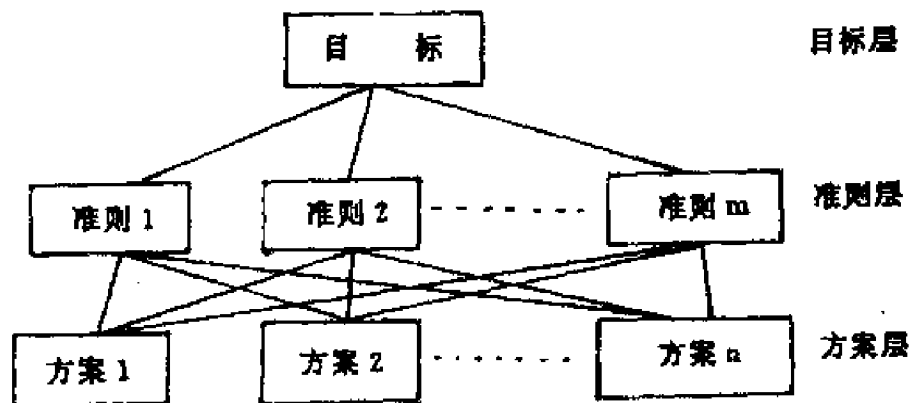


图 13.3-1 层次结构图

最上层是目标层,一般情况是只有一个目标,如有多个目标时,可以在下一层设立一个分目标层。中间一层是准则层,准则层的内容是横向排出衡量达到目标的各项准则。第三层是方案措施层,其中排列了各种可能采取的方案或措施。

由于考虑是否达到目标要用各个准则来衡量,所以准则层各单元和目标用直线相连,各方案也均需用各准则来检查,因而方案层的各个方案与准则层的各准则也用直线相连。

## 3. 建立判断矩阵

判断矩阵表示针对上一层某元素,本层次有关元素间相对重要性的状况。假定 A 层次中元素  $a_k$  与下一层次  $B_1, B_2, \dots, B_n$  有联系,则有判断矩阵形式如下:

$a_k$	$B_1$	$B_2$	...	$B_n$
$B_1$	$b_{11}$	$b_{12}$	...	$b_{1n}$
$B_2$	$b_{21}$	$b_{22}$	...	$b_{2n}$
...	...	...	...	...
$B_n$	$b_{n1}$	$b_{n2}$	...	$b_{nn}$

其中,  $b_{ij}$  表示对  $a_k$  而言,  $B_i$  对  $B_j$  相对重要性的标度。通常  $b_{ij}$  取 1, 3, 5, ..., 9 及其倒数,其涵义如下:

- 1 表示  $B_i$  与  $B_j$  二者同等重要;
- 3 表示  $B_i$  比  $B_j$  稍重要;
- 5 表示  $B_i$  比  $B_j$  重要;
- 7 表示  $B_i$  比  $B_j$  重要得多;
- 9 表示  $B_i$  比  $B_j$  极端重要。

从心理学角度来看,分为五个等级是合乎人们的判断能力的。若为了更细,也

可取 2, 4, 6, 8。其涵义与上述有相应的类似意义。

由上可见:

$$b_{ji} = 1, b_{ij} = \frac{1}{b_{ji}} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n)$$

故对  $n$  阶阵, 仅需对  $n(n-1)/2$  个元素给出判断。

#### 4. 层次单排序

根据判断矩阵计算对于上一层某元素而言, 本层次与之有联系的元素重要性的权值。层次单排序可以归结为计算判断矩阵的特征值和特征向量问题, 即对判断矩阵  $B$ , 计算满足

$$Bw = \lambda_{\max} w$$

的特征根与特征向量。式中  $\lambda_{\max}$  为  $B$  的最大特征根,  $w$  为对应于  $\lambda_{\max}$  的正规化特征向量,  $w$  的分量  $w_i$  即相应元素单排序的权值。

为了检验判断矩阵的一致性。需要计算它的一致性指标  $CI$ , 其定义为:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

显然, 当判断矩阵具有完全一致性时,  $CI = 0$ 。 $\lambda_{\max} - n$  越大, 矩阵的一致性越差。为了考虑判断矩阵不同阶数对一致性的影响, 还需要引进随机一致性指标  $RI$ 。不同阶数的随机一致性指标的取值如表 13.3-1 所示。

表 13.3-1 随机一致性指标的取值

矩阵阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
平均随机一致性指标 $RI$	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

令  $CR = CI/RI$ , 当  $CR < 0.10$  时, 判断矩阵具有满意的一致性, 否则就需要对判断矩阵进行调整。

#### 5. 层次总排序

利用同一层次中所有层次单排序的结果, 便可以计算针对上一层次而言本层次所有元素重要性的权值, 即层次总排序。假定上一层次所有元素  $A_1, A_2, \dots, A_m$  的总排序已完成, 得到的权值分别为  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m$ 。与  $\alpha_i$  对应的本层次元素  $B_1, B_2, \dots, B_n$  单排序的结果为

$$b_1^i, b_2^i, \dots, b_n^i, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

这里, 若  $B_i$  与  $A_i$  无关, 则  $b_i^i = 0$ , 则有层次总排序表 13.3-2。

表 13.3-2 层次总排序表

层次 A 层次 B	层次 A				层次总排序
	$A_1$	$A_2$	...	$A_m$	
	$\alpha_1$	$\alpha_2$	...	$\alpha_m$	
$B_1$	$b_1^1$	$b_1^2$	...	$b_1^m$	$\sum_{i=1}^m \alpha_i b_1^i$
$B_2$	$b_2^1$	$b_2^2$	...	$b_2^m$	$\sum_{i=1}^m \alpha_i b_2^i$
...	...	...	...	...	...
$B_m$	$b_m^1$	$b_m^2$	...	$b_m^m$	$\sum_{i=1}^m \alpha_i b_m^i$

### 6. 一致性检验

为评价层次总排序的计算结果的一致性如何,需要计算与层次单排序类似的检验量。

CI:层次总排序一致性指标。

RI:层次总排序随机一致性指标。

$$CR = \frac{CI}{RI}, CI = \sum_{i=1}^m \alpha_i CI_i,$$

式中, $CI_i$  为与  $\alpha_i$  对应的 B 层次中判断矩阵的一致性指标

$$RI = \sum_{i=1}^m \alpha_i RI_i$$

式中, $RI_i$  为与  $\alpha_i$  对应的 B 层次中判断矩阵的随机一致性指标。同理,当  $CR < 0.10$  时认为满意。

对于判断矩阵计算最大特征根和对应特征向量,可以利用一般线性代数的计算方法将它们算出,但是从实用角度看,有些近似方法计算更为简便。这类方法很多,这里介绍方根法与和积法。

#### (1) 方根法

已知  $n$  阶方阵  $A = (b_{ij})$

$$\text{计算 } \bar{W}_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n b_{ij}} \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

将其规范化

$$W_i = \frac{\bar{W}_i}{\sum_{j=1}^n \bar{W}_j}$$

$W_i$  就是特征向量  $W$  的第  $i$  个分量。然后计算最大特征根

$$\lambda_{\max} = \sum_{j=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i}$$

## (2) 和积法

首先规范化

$$\bar{a}_{ij} = \frac{b_{ij}}{\sum_{k=1}^n b_{ki}} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n)$$

计算按行相加,其和数为

$$W_i = \sum_{j=1}^n \bar{a}_{ij}$$

规范后的  $W_i$  为

$$\bar{W}_i = \frac{W_i}{\sum_{j=1}^n W_j}$$

计算最大特征根  $\lambda_{\max}$ 

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i}$$

[例 13.3-1] 某厂拟增添一台新设备,现有五种设备可供选择。要求从性能、价格、维护性三个因素(指标)来评价其设备的质量,并给出这五种设备的优劣排序。

[解]: 设性能、价格、维护性三个因素(指标)分别为  $f_1, f_2, f_3$ , 备选的五种设备分别为  $x^1, x^2, x^3, x^4, x^5$ , 则上述问题的层次结构如图 13.3-2。其中,最顶层为目标层,中间层为准则层,最下一层为方案层。

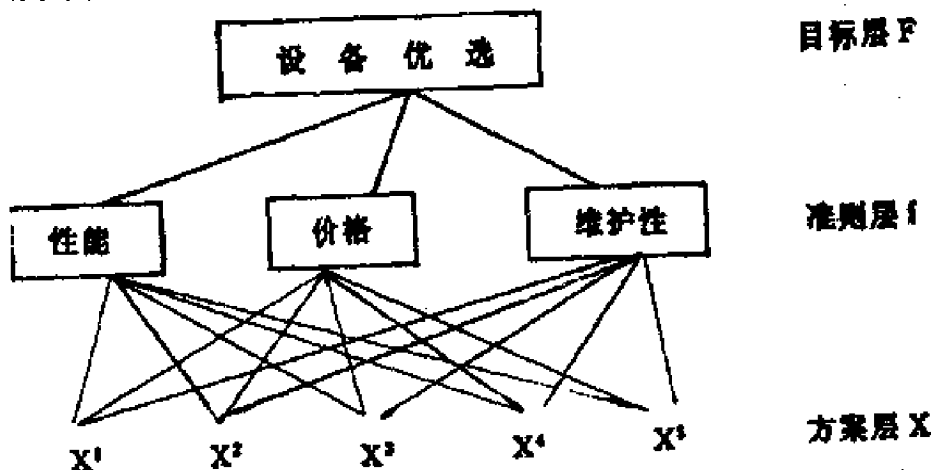


图 13.3-2 层次结构

根据该厂的实际情况,首先对性能要求强,其次是维护性,再次是价格,这样便有判断矩阵如下:

F	$f_1$	$f_2$	$f_3$
$f_1$	1	3	2
$f_2$	1/3	1	1/2
$f_3$	1/2	2	1

按方根法计算,首先计算各行元素乘积的立方根:

$$\sqrt[3]{1 \times 3 \times 2} = 1.8171$$

$$\sqrt[3]{\frac{1}{3} \times 1 \times \frac{1}{2}} = 0.5503$$

$$\sqrt[3]{\frac{1}{2} \times 2 \times 1} = 1.0$$

将其规范化,于是,首先将上述结果相加:

$$1.8171 + 0.5503 + 1.0 = 3.3674$$

然后,再用此数去除上述每一个数,得到:

$$W_1 = 1.8171/3.3674 = 0.5396$$

$$W_2 = 0.5503/3.3674 = 0.1634$$

$$W_3 = 1.0/3.3674 = 0.2970$$

即  $W = (0.5396, 0.1634, 0.2970)^T$

下面进行一致性检验,计算:

$$AW = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 2 \\ 1/3 & 1 & 1/2 \\ 1/2 & 2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.5396 \\ 0.1634 \\ 0.2970 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.6238 \\ 0.4917 \\ 0.8936 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (AW_1) \\ (AW_2) \\ (AW_3) \end{bmatrix}$$

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{3} \left( \frac{1.6238}{0.5396} + \frac{0.4917}{0.1634} + \frac{0.8936}{0.2970} \right) = 3.0091$$

$$CI = \frac{3.0091 - 3}{3 - 1} = 0.0045$$

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.0045}{0.58} = 0.008 < 0.10$$

因此,满足一致性要求。

同理,对于性能  $f_1$  这个因素,有判断矩阵及计算的相应权重为:

$f_1$	$x^1$	$x^2$	$x^3$	$x^4$	$x^5$	$W$
$x^1$	1	1/3	1/3	3	3	0.1607
$x^2$	3	1	1	5	7	0.3621
$x^3$	3	1	1	5	7	0.3621
$x^4$	1/3	1/5	1/5	1	1	0.0762
$x^5$	1/3	1/7	1/7	1	1	0.0389

$$CI = 0.0340$$

对于价格  $f_2$  这个因素的判断矩阵及权重为:

$f_2$	$x^1$	$x^2$	$x^3$	$x^4$	$x^5$	W
$x^1$	1	1/2	1/3	1/4	1/5	0.0667
$x^2$	2	1	1/2	1/3	1/4	0.0972
$x^3$	3	2	1	1/2	1/3	0.1600
$x^4$	4	3	2	1	1/2	0.2625
$x^5$	5	4	3	2	1	0.4185

$$CI = 0.017$$

对于维护性  $f_3$  这个因素的判断矩阵及权重为:

$f_3$	$x^1$	$x^2$	$x^3$	$x^4$	$x^5$	W
$x^1$	1	1/5	1/7	1/9	1/9	0.0287
$x^2$	5	1	1/3	1/5	1/5	0.0818
$x^3$	7	3	1	1/3	1/3	0.1640
$x^4$	9	5	3	1	1	0.3627
$x^5$	9	5	3	1	1	0.3627

$$CI = 0.0489$$

层次总排序见表 13.3-3。

表 13.3-3 层次总排序

F	$f_1$	$f_2$	$f_3$	总排序
W	0.5396	0.1634	0.2970	
方 案				
$x^1$	0.1607	0.0667	0.0287	0.1061
$x^2$	0.3621	0.0972	0.0818	0.2355
$x^3$	0.3621	0.1600	0.1640	0.2702
$x^4$	0.0762	0.2625	0.3627	0.1917
$x^5$	0.0389	0.4158	0.3627	0.1970

总体一致性用总体相对一致性指标 CR 来度量。通过计算,  $CR = 0.031 < 0.10$ , 因此, 认为满足一致性条件。由表 13.3-3 中总排序的结果, 可以看出  $X^3$  设备为首选设备, 其次是  $X^2$  设备。

AHP 方法的层次划分不一定仅局限于上述介绍的目标、准则、方案这样三个层次, 在目标层的总目标下还可增加一个或多个分目标层。层数虽然增多, 但计算和处理方法仍和前面一样, 只是增加重复计算的次数, 详见本章参考文献[13-2]、[13-7]、[13-8]。

## 13.4 模糊综合评价法

在日常生活和实际工作中,经常会遇到这样一类问题,当我们要区分客观事物的差异时,往往很难明确地划定界限。例如,“高个与矮个”、“美与丑”、质量的“优与劣”等。对于这些难以明确地划分界限,即没有明确的内涵和外延的概念,叫做模糊概念。处理这类具有“模糊性”现象的数学,称为模糊数学。

### 13.4.1 模糊数学的有关概念

设有三种不同牌号的电视机,采用打分法对它们的显象效果进行评价,显象最好的打100分。设  $U = \{u_1, u_2, u_3\}$ , 打分后得分情况为

$$u_1 = 85 \text{ 分}, u_2 = 75 \text{ 分}, u_3 = 98 \text{ 分}$$

将其分别除以100,得到  $u_1, u_2, u_3$ , 对“显象效果好”的隶属程度为:

$$\mu_A(u_1) = 0.85, \mu_A(u_2) = 0.75, \mu_A(u_3) = 0.98$$

记

$$A = (0.85, 0.75, 0.98)$$

则称  $A$  为论域  $U$  上的模糊子集,  $\mu_A$  称为  $A$  的隶属函数。这就是给出论域  $U$ , 用隶属函数表示不同牌号电视机对“显象效果好”的隶属程度的问题。

用来表示界限(边界)不分明的事物的集合称为模糊集合,有时也称其为模糊子集,用大写英文字母下面加双波浪线表示,如  $\underline{A}, \underline{B}, \underline{C}$  等。

所谓  $\underline{A}$  是  $U$  上的模糊子集,是指给定论域  $U$  及  $U$  到闭区间  $[0, 1]$  中的一个映射  $\mu_{\underline{A}}$ :

$$\mu_{\underline{A}}: U \rightarrow [0, 1]$$

$$u \rightarrow \mu_{\underline{A}}(u)$$

这里,  $\mu_{\underline{A}}$  称为  $\underline{A}$  的隶属函数。上述定义说明,论域  $U$  的一个模糊子集  $\underline{A}$  完全由其隶属函数所刻画,隶属函数把  $U$  中每个元素  $u$  和区间  $[0, 1]$  中的一个数  $\mu_{\underline{A}}(u)$  结合起来。 $\mu_{\underline{A}}$  称作隶属度,它表示  $u$  在  $\underline{A}$  中的资格,即元素对模糊集合的隶属程度。当  $\mu_{\underline{A}}(u)$  值越接近于1时,则  $u$  隶属于  $\underline{A}$  的资格就越高。

通常,模糊子集记作:

$$\underline{A} = (\mu_{\underline{A}}(u_1), \mu_{\underline{A}}(u_2), \dots, \mu_{\underline{A}}(u_n))$$

### 13.4.2 隶属函数的确定

用模糊数学处理具有“模糊性”现象的问题时,选择适当的隶属函数是很重要的。如选取不当,则会远离实际情况,从而影响效果。确定隶属函数的方法有很多

种,如模糊统计试验法、二元对比排序法、逐级估量法、中值法等。这里不作具体介绍,请详见本章参考文献[13-8]、[13-9]。下面介绍几种常用类型的隶属函数。

(1) 正态分布型

$$\mu(X) = e^{-\left(\frac{x-a}{b}\right)^2} \quad (b > 0)$$

这是最常见的一种分布,见图 13.4-1。

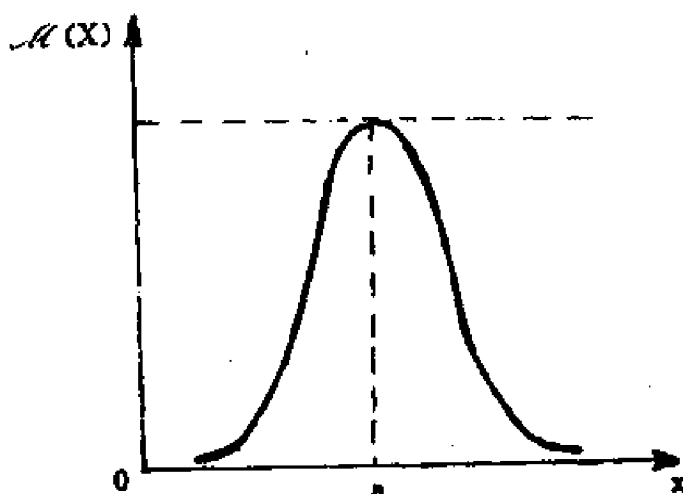


图 13.4-1 正态分布型

(2) 戒上型

$$\mu(X) = \begin{cases} \frac{1}{1 + [a(x-c)]^b} & (x > c) \\ 1 & (x \leq c) \end{cases}$$

其中,  $a > 0, b > 0$ , 见图 13.4-2。

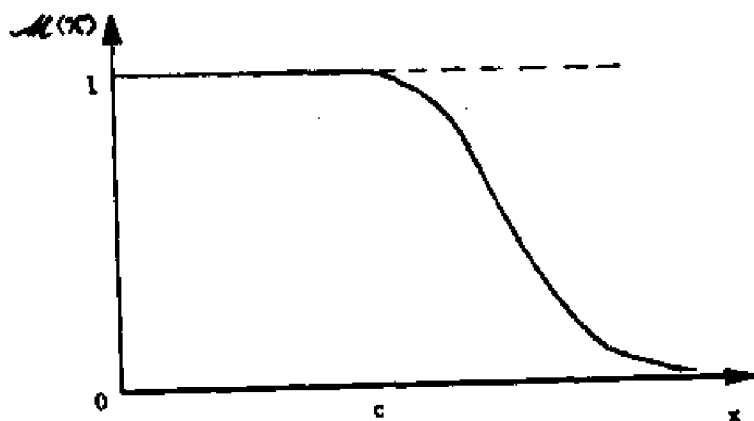


图 13.4-2 戒上型

(2) 戒下型



$$\mu(X) = \begin{cases} 0 & (X < C) \\ \frac{1}{1 + [a(x - c)]^b} & (x \geq c) \end{cases}$$

其中,  $a > 0, b < 0$ , 见图 13.4-3。

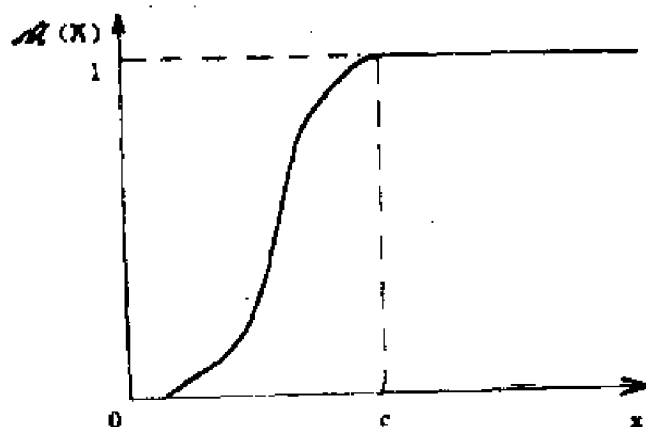


图 13.4-3 戒下型

(3)  $\Gamma$  型

$$\mu(X) = \begin{cases} 0 & (X < 0) \\ \left(\frac{X}{\lambda}\right)^\nu \cdot e^{-\frac{X}{\lambda}} & (x \geq 0) \end{cases}$$

其中,  $\lambda > 0, \nu > 0$ , 当  $\nu - \frac{X}{\lambda} = 0$ , 即  $X = \lambda\nu$  时, 隶属度为 1, 见图 13.4-4。

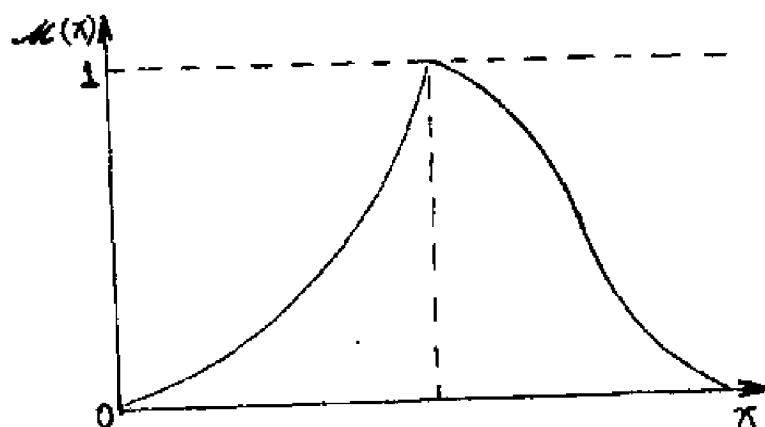


图 13.4-4  $\Gamma$  型

### 13.4.3 模糊综合评价

评价一项产品的质量, 往往要同时考虑若干个因素(指标或属性), 例如, 对电视机的评价, 可以从显象效果、音质、价格等因素进行考虑。这类问题称为综合评价问题。

在评判时, 对每个因素, 可以分几个等级进行判断, 例如, “很好”、“较好”、“可

以”、“不好”,或者“一等”、“二等”、“三等”、“四等”等。记

$$U = \{\text{图象}(u_1), \text{音质}(u_2), \text{价格}(u_3)\}$$

$$V = \{\text{很好}(V_1), \text{较好}(V_2), \text{可以}(V_3), \text{不好}(V_4)\}$$

称  $U$  为因素论域,  $V$  为评语论域。

现有一台电视机,请一些专门人员进行评价。单就图象这个因素来说,有 50% 的人认为“很好”,有 40% 的人认为“较好”,有 10% 的人认为“可以”,没有人认为“不好”,则的图象的评价结果为:

$$(0.5, 0.4, 0.1, 0)$$

类似地,对音质、价格的评价结果为:

$$(0.4, 0.3, 0.2, 0.1)$$

$$(0, 0.1, 0.3, 0.6)$$

记

$$R = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.4 & 0.1 & 0 \\ 0.4 & 0.3 & 0.2 & 0.1 \\ 0 & 0.1 & 0.3 & 0.6 \end{bmatrix}$$

称  $R$  为模糊矩阵。假定顾客在选购电视机时,主要要求是图象清楚,其次是要价格便宜,音质稍差不要紧,则可设

$$A = (0.5, 0.2, 0.3)$$

这就是顾客对电视机三个评价因素的权数分配,称  $A$  为模糊权向量,则评价结果为:

$$B = A \circ R$$

$$= (0.5, 0.2, 0.3) \cdot \begin{bmatrix} 0.5 & 0.4 & 0.1 & 0 \\ 0.4 & 0.3 & 0.2 & 0.1 \\ 0 & 0.1 & 0.3 & 0.6 \end{bmatrix}$$

$$= (0.5, 0.2, 0.3, 0.3)$$

这是根据最大、最小运算而得到的。再经归一化处理,即用  $0.5 + 0.2 + 0.3 + 0.3 = 1.5$  去除各个项,得到

$$(0.33, 0.27, 0.20, 0.20)$$

这就是顾客对该电视机的评价结果。从此评价结果可看出,把图象、音质、价格等因素同时考虑时,仍是“很好”占的比重最大。

一般地,设评价因素论域为  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ , 评语论域为  $V = \{V_1, V_2, \dots, V_n\}$ , 则有  $m$  个模糊评价向量,构成一个  $m \times n$  阶的模糊矩阵:

$$\underline{\tilde{R}} = \begin{bmatrix} r_{11} \\ r_{12} \\ \vdots \\ r_{1n} \\ r_{21} \\ r_{22} \\ \vdots \\ r_{2n} \\ \vdots \\ r_{m1} \\ r_{m2} \\ \vdots \\ r_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

设评价因素的模糊权向量  $\underline{\tilde{A}} = \{\alpha_1, \alpha_2, \cdots, \alpha_m\}$ , 则经合成运算可得综合评价结果:

$$\underline{\tilde{A}} \cdot \underline{\tilde{R}} = \underline{\tilde{B}}$$

式中,  $\underline{\tilde{B}} = \{b_1, b_2, \cdots, b_n\}$  是评价集上一个模糊子集, 它的各个元素是各因子对于评价等级的隶属度。

把模糊关系  $\underline{\tilde{R}}$  看成“模糊变换器”,  $\underline{\tilde{A}}$  为输入,  $\underline{\tilde{B}}$  为输出, 则综合评价问题就是已知输入  $\underline{\tilde{A}}$  和变换器  $\underline{\tilde{R}}$  求输出  $\underline{\tilde{B}}$ , 实际上就是模糊变换问题。

“ $\cdot$ ”是模糊合成运算符号, 它的具体意义在不同的合成类型中是不同的。合成运算在综合评价中一般有以下几种类型:

(1)  $M(\wedge, V)$  型

$$b_j = \max[\min(\alpha_1, r_{1j}), \min(\alpha_2, r_{2j}), \cdots, \min(\alpha_m, r_{mj})], j = 1, 2, \cdots, n$$

$\min$  表示取最小, 记作“ $\wedge$ ”,  $\max$  表示取最大, 记作“ $V$ ”。

(2)  $M(\cdot, V)$  型

$$b_j = \max(\alpha_1 r_{1j}, \alpha_2 r_{2j}, \cdots, \alpha_m r_{mj}), j = 1, 2, \cdots, n$$

(3)  $M(\wedge, \oplus)$  型

$$b_j = \min[\min(\alpha_1, r_{1j}) + \min(\alpha_2, r_{2j}) + \cdots + \min(\alpha_m, r_{mj}), 1], j = 1, 2, \cdots, n$$

(4)  $M(\cdot, +)$  型

$$b_j = \alpha_1 r_{1j} + \alpha_2 r_{2j} + \cdots + \alpha_m r_{mj}, j = 1, 2, \cdots, n$$

(5)  $M(\cdot, \oplus)$  型

$$b_j = \min(\alpha_1 r_{1j} + \alpha_2 r_{2j} + \cdots + \alpha_m r_{mj}, 1), j = 1, 2, \cdots, n$$

其中,  $M(\wedge, V)$  称为主因素决定型, 其结果只由指标值最大者决定;  $M(\cdot, V)$  和  $M(\wedge, \oplus)$  称为主因素突出型, 与  $M(\wedge, V)$  接近, 但评价结果多少反映一些非主要因素;  $M(\cdot, +)$  和  $M(\cdot, \oplus)$  称为加权平均型, 它兼顾了全部因素, 充分反映了每个指标的作用。

模糊综合评价还可以根据问题指标的类别和层次分级地进行。

#### 13.4.4 应用实例

设某种产品的质量因素定义为: 耐用性, 美观度, 经济效果, 则其因素集为:

$$\underline{U} = (u_1, u_2, u_3)$$

又设因素集中各元素的权重分别为:

$$\underline{A} = (0.3, 0.3, 0.4)$$

关于质量的评级可按国家标准、部颁标准或企业制定的规范作为依据,假设共分四级,则评分集为:

$$V = \{V_1, V_2, V_3, V_4\}$$

对某班组 10 名工人的产品质量检验统计见表 13.4-1。

表 13.4-1 产品质量检验统计

工人 代号	U	V			
		$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_4$
1	$u_1$	0.10	0.60	0.28	0.02
	$u_2$	0.34	0.54	0.10	0.02
	$u_3$	0.40	0.30	0	0.30
2	$u_1$	0.15	0.26	0.51	0.08
	$u_2$	0.31	0.38	0.24	0.07
	$u_3$	0.40	0	0.30	0.30
3	$u_1$	0.30	0.45	0.21	0.04
	$u_2$	0.46	0.38	0.04	0.12
	$u_3$	0	0.50	0.50	0
4	$u_1$	0.48	0.36	0.12	0.04
	$u_2$	0.20	0.46	0.24	0.10
	$u_3$	0.20	0.30	0.50	0
5	$u_1$	0.41	0.32	0.20	0.07
	$u_2$	0.15	0.12	0.29	0.44
	$u_3$	0.30	0.20	0.10	0.40
6	$u_1$	0.46	0.38	0.12	0.04
	$u_2$	0.34	0.54	0.10	0.02
	$u_3$	0.70	0.10	0.20	0
7	$u_1$	0.42	0.36	0.21	0.01
	$u_2$	0.41	0.35	0.17	0.07
	$u_3$	0.30	0.20	0.40	0.10
8	$u_1$	0.30	0.45	0.25	0
	$u_2$	0	0.09	0.37	0.54
	$u_3$	0.40	0.30	0	0.30
9	$u_1$	0.15	0.61	0.22	0.02
	$u_2$	0.54	0.32	0.10	0.04
	$u_3$	0.10	0.70	0	0.20
10	$u_1$	0.28	0.57	0.12	0.03
	$u_2$	0.48	0.32	0.15	0.05
	$u_3$	0.20	0.10	0.40	0.30

综合评价的模糊算子采用  $M(\cdot, \oplus)$  型,则有:

$$B_1 = (0.3, 0.3, 0.4) \begin{bmatrix} 0.10 & 0.60 & 0.28 & 0.02 \\ 0.34 & 0.54 & 0.10 & 0.02 \\ 0.40 & 0.30 & 0 & 0.30 \end{bmatrix}$$

$$= (0.292, 0.462, 0.114, 0.132)$$

同理,可得

$$B_2 = (0.298, 0.192, 0.345, 0.165)$$

$$B_3 = (0.228, 0.449, 0.275, 0.048)$$

$$B_4 = (0.284, 0.336, 0.308, 0.042)$$

$$B_5 = (0.228, 0.212, 0.187, 0.313)$$

$$B_6 = (0.520, 0.316, 0.146, 0.018)$$

$$B_7 = (0.369, 0.293, 0.274, 0.064)$$

$$B_8 = (0.250, 0.282, 0.186, 0.282)$$

$$B_9 = (0.247, 0.559, 0.096, 0.098)$$

$$B_{10} = (0.308, 0.307, 0.241, 0.144)$$

对,  $B_i = \{b_{i1}, b_{i2}, b_{i3}, b_{i4}\}$ ,  $i = 1, 2, \dots, 10$ , 先按最大隶属原则确定等级, 然后再作如下调整: 设  $b_{ik_0}$  为  $\{b_{ik}\}$  中的最大值,  $k = 1, 2, 3, 4$ , 若有

$$\sum_{k=1}^{k_0-1} b_{ik} \geq \frac{1}{2} \sum_{k=1}^4 b_{ik} > \sum_{k=k_0+1}^4 b_{ik}$$

$$\left( \sum_{k=k_0+1}^4 b_{ik} \geq \frac{1}{2} \sum_{k=1}^4 b_{ik} > \sum_{k=1}^{k_0-1} b_{ik} \right)$$

则将所确定的等级向下(上)移动一级如上所示。这样得到该班组成员的产品质量等级如表 13.4-2。

表 13.4-2 班组成员的产品质量等级

成员	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
等级	$u_2$	$u_3$	$u_2$	$u_2$	$u_3$	$u_1$	$u_2$	$u_3$	$u_2$	$u_2$

班组成员之间产品质量的评比, 原则上同类等级按数值大小排序, 但属于上级下移的情况应排在前列, 属于下级上移的情况应排在后列。这样, 该班组各名工人生产的产品质量的名次如下:

$$6 \rightarrow 7 \rightarrow 10 \rightarrow 9 \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 8 \rightarrow 2 \rightarrow 5$$

本例说明, 同等级的产品质量存在着差异, 这种差别, 由于多因素的复杂性通常很难合理地加以评定, 但采用模糊综合评价法就能迎刃而解。

### 13.5 选控评估法

选控评估法是张公绪教授在 1984 年提出的,参见本章文献[13-10]。

我们仍结合医院应用治愈率指标对各医疗科室进行统一管理的实例加以说明。

治愈率指标与许多因素都有关,我们可以将这些指标分成两类,即共性因素与特殊性因素。所谓共性因素是指各医疗科室共有的因素,如医疗水平、医疗责任心等所有与人的主观努力有关的因素;所谓特殊性因素是指各医疗科室特有的因素,如病种殊异、病情轻重、医疗设备的先进程度等属于客观条件的因素。

若特殊性因素与治愈率指标显著相关,则治愈率作为统一管理各医疗科室的指标无可比性。这时,需要在治愈率指标中排除特殊性因素的影响,而构造一个只由共性因素所确定的新治愈率指标,称之为固有治愈率或分治愈率,而原有的治愈率则称为综合治愈率或总治愈率。固有治愈率的涵义是:若无特殊性因素的影响,该医疗科室本来应该具有的治愈率水平。由于共性因素都是人的因素,所以由共性因素确定的固有治愈率指标反映了工作质量,从而用固有治愈率指标去评估各医疗科室是合乎逻辑的。根据本手册第九章中的两种质量诊断理论,上述综合治愈率或总治愈率即总服务质量指标,而固有治愈率或分治愈率即分服务质量指标,它们分别与两种质量,即总质量与分质量相对应。固有治愈率就是选择共性因素加以控制的选控治愈率,应用选控单值( $\bar{X}_n$ )控制图可以求出。应用选控指标对一系列对象进行评估的方法就称为选控评估法。运用两种质量诊断理论,我们还可以对各医疗科室治愈率的异常进行诊断,即这种异常是由共性因素(人的因素)造成的,还是由特殊性因素(客观条件)造成的,或是由二者共同造成的。

有些指标,如诊断符合率,其特殊性因素与之不相关,即无显著影响。于是综合诊断符合率与固有诊断符合率二者相等。这时,可应用综合诊断符合率直接去统一管理各医疗科室,而不存在不可比的问题。

[例 13.6-1] 某医院 1993 年度各医疗科室的治愈率与重危病例率数据如表 13.5-1 所示。应用选控评估法对该医院各医疗科室的治愈率水平进行评估和分析。

表 13.5-1 治愈率与重危病例率

医疗科室 (1)	重危病例率 (2)	治愈率(%) (3)
内 科	18.19	50.45
外 科	7.61	84.71
妇产科	2.64	97.65
小儿科	3.19	98.20
五官科	9.91	90.09
传染科	10.96	82.96
神经科	16.04	81.13

[解] 在本例,治愈率的特殊性因素:病情的轻重由重危病例率表示。我们按下列

步骤进行:

步骤 1: 检验特殊性因素—重危病例率与(综合)治愈率指标间的相关性是否显著。对表 13.5-1 第(2)、(3)栏数据作回归分析,结果得:

$$\hat{y} = a + bx$$

$$a = 106.5418548, b = -2.34320081, |r| = 0.861$$

式中, $y$  为治愈率, $\hat{y}$  为治愈率的回归值, $x$  为重危病例率, $r$  为相关系数。由于  $|r| = 0.861$  大于检验数  $r_{0.05} = 0.754$ ,说明治愈率与重危病例率二者显著相关。由于  $b$  为负数,故重危病例率高的医疗科室会受其影响而使治愈率降低;反之亦反。这样,应用治愈率去评价各医疗科室的医疗质量就无可比性。我们需要在总治愈率中排除特殊性因素—重危病例率的影响,去构造一个新的指标—固有治愈率或分治愈率。

步骤 2: 应用选控单值( $X_{cs}$ )控制图求出分治愈率。

应用表 13.5-1 的数据可作出表 13.5-2 和图 13.5-1(计算过程略)。表 13.5-2 中的选控值  $y_{cs}$  反映了分治愈率。

表 13.5-2 选控单值( $X_{cs}$ )控制图的计算

医疗科室 (1)	重危病例率 $x(\%)$ (2)	治愈率 $y(\%)$ (3)	回归值 $\hat{y}$ (4)	分治愈率 $y_{cs} = y - \hat{y}$ (5)	移动极差 $R_{cs}$ (6)
内科	18.19	50.15	63.92	-13.37	-
外科	7.61	84.71	88.71	-4.00	9.47
妇产科	2.64	97.65	100.36	-2.71	1.29
小儿科	3.19	98.20	99.07	-0.87	1.84
五官科	9.91	90.09	83.32	6.77	7.46
传染科	10.96	82.96	80.86	2.10	4.67
神经科	16.01	81.13	68.96	12.17	10.07
小计				-0.01	34.98
均值				$y_{cs} = -0.0014$	$R_{cs} = 5.83$

为了分析方便,在图 13.5-1 中还画出了重危病例率与治愈率的  $X$  控制图。这里,(总)治愈率是用休哈特控制图来描述的。

表 13.5-3 按治愈率排序 表 13.5-4 按重危病例率排序 表 13.5-5 按分治愈率排序

排序名次	医疗科室	排序名次	医疗科室	排序名次	医疗科室
1	小儿科	1	内科	1	神经科
2	妇产科	2	神经科	2	五官科
3	五官科	3	传染科	3	伟染科
4	外科	4	五官科	4	小儿科
5	传染科	5	外科	5	妇产科
6	神经科	6	小儿科	6	外科
7	内科	7	妇产科	7	内科

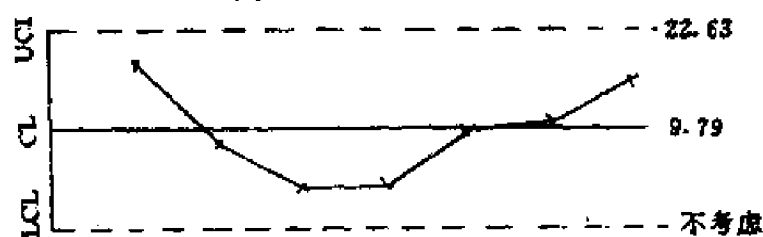
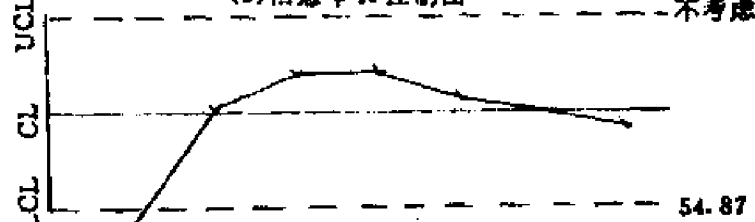
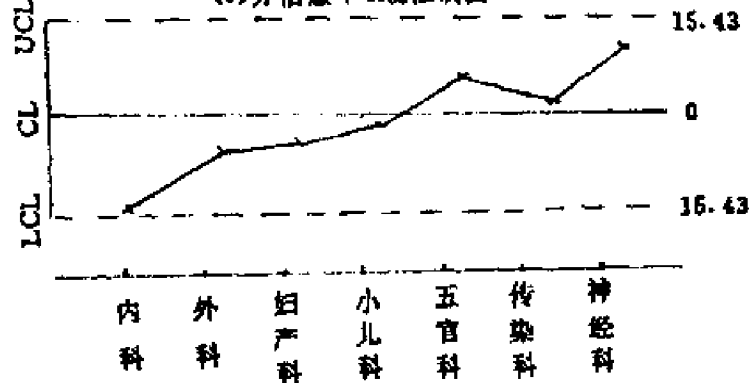
(a)重危病例率  $\bar{X}$  控制图(b)治愈率  $\bar{X}$  控制图(c)分治愈率  $\bar{X}_{CS}$  控制图

图 13.5-1 例 13.5-1 的三图

步骤 3: 分析和诊断。

根据表 13.5-2 的数据, 将治愈率、重危病例率和分治愈率的数值由大到小分别排序如表 13.5-3、表 13.5-4 和表 13.5-5。现对上述三表及图 13.5-1 分析如下:

1. 在表 13.5-3 中按治愈率排序, 小儿科和妇产科最高, 而内科和神经科最低; 但在表 13.5-4 中, 按重危病例率排序却相反, 内科和神经科最高, 而小儿科和



妇产科最低。说明重危病例率确实对治愈率有显著影响。

2. 在图 13.5-1(b)的治愈率  $\bar{X}$  图中,内科超出下控制界限,说明内科治愈率异常低;但在图 13.5-1(c)的分治愈率  $\bar{X}_i$  图中,内科并未超出下控制界限,说明内科的固有治愈率还算正常,主要是由于特殊性因素—重危病例率太高,从而使治愈率异常低。

3. 在表 13.5-5 中按分治愈率排序,神经科最高,而内科最低,所以神经科应予以表扬,而内科虽未出界,但也接近下控制界,应注意改进医疗质量,提高治愈率。

应该强调指出,对于一些不可计量或目前尚难计量的因素,例如人的因素,即使应用上述第一类综合评估方法也难于准确地加以评估。但选控评估方法则不然,它是通过计量数据间接地对不可计量因素进行评估的(参见本例),所以比较准确。因此,选控评估方法有其特殊的优越性。

## 13.6 本章参考文献

- [13-1] Jin Liang-Chao, Gu Ji-Fa and Shu Guang-Fu, "Order Methods for MC-DM", 系统科学与数学, 4(4):1984, 281-293。
- [13-2] 金良超, 遇今, 《质量评估支持系统, 多目标决策进展》, 万国学术出版社, 1993。
- [13-3] 金良超, 顾基发, 《广义优选法》, 优选与管理科学, 4(1985)。
- [13-4] 遇今, 金良超, 《多层次、多目标决策问题的两种算法》, 《系统工程》, 2(1990)。
- [13-5] 金良超, 《优化试验》, 国防工业出版社, 1988。
- [13-6] 金良超, 《正交设计与多指标分析》, 中国铁道出版社, 1988。
- [13-7] Satty, T. L., The Analytic Hierarchy Process, McGraw Hill Company, 1980。
- [13-8] 贺仲雄, 《模糊数学及其应用》, 天津科技出版社, 1983。
- [13-9] 付雁鹏等, 《模糊数学在水质评价中的应用》, 华中工学院出版社, 1986。
- [13-10] 张公绪, 专著《选控图理论与实践》, 人民邮电出版社, 1984。
- [13-11] 张公绪, 专著《两种质量诊断理论及其应用》, 科学出版社, 2001。
- [13-12] 郭恕恕, "医疗质量的科学评价与质量控制图在医院管理中的应用", 《铁道医学》, 1993, 21(1)。

## 本章思考题

- [13-1] 本章所介绍的质量评估方法有许多种, 试比较它们的特点。

## 思考题题解

[13-1] 在日常工作中经常要运用到质量评估,以便对一系列对象进行统一的评判。评判质量的优劣即质量指标。质量指标有单指标与多指标之分。无论单指标或多指标问题都有可能遇到指标不可比的困难。解决这一困难,通常有以下两条途径:

1. 全面考虑各方面的因素,建立综合评估准则,如优序法、功效系数法、AHP法、模糊综合评价法等。

2. 在不可比的指标中,排除不可比因素对指标的影响,而只保留可比因素,建立起新的可比指标,然后再进行统一的评估,如选控评估法。

这里,应该强调指出,对于一些不可计量或目前尚难计量的因素,例如人的因素,即使应用上述第1类综合评估方法也难于准确地加以评估。但选控评估方法出不然,它是通过计量数据间接地对不可计量因素进行评估的,所以比较准确。因此,选控评估方法有其特殊的优越性。

## 第十四章 顾客满意导向与顾客满意度

### 14.1 顾客满意导向

从八十年代以来,质量的概念发生了极大的变化,过去质量由生产确定,应用技术术语来定义,现在则改为由市场确定,应用顾客满意(Customer Satisfaction)的有关术语来定义。在质量管理方面也产生了以顾客满意为导向的新动向。顾客满意导向的出现是市场经济高度发展的必然结果,它的出现经历了一个很长的时期。

在二次世界大战以前,工业发达国家从经济萧条时期恢复不久,消费者的购买力还不足,在这种条件下,生产导向(production oriented)的方针应运而生。企业为了在竞争中取胜,就要极力提高劳动生产率,降低产品成本。当时美国福特汽车公司流水线生产方式的成功就是个典型的例子。到了二次世界大战之后,随着经济的发展,工业发达国家人们的购买力迅速提高,市场上的商品日益丰富,人们对商品的要求越来越高。在这种环境下,生产导向已经不符合潮流了,而代之以产品导向(product oriented)的方针。这就要求企业设计和生产出多种多样的和性能优越的产品。随着经济的进一步发展,柔性生产的出现,企业界越来越认识到产品质量的好坏归根结底要由顾客来决定,而不是由标准、由企业来决定。以顾客为导向(customer oriented)的指导思想逐渐抬头,尤其是从八十年代以来,愈演愈烈。

以顾客为导向这样一种变化带来了一系列深刻的影响,就连质量的度量也必须加以改变。例如,仅仅数一数产品缺陷数目的做法是不够的,现在代替的做法是走向市场去问问顾客他们对于某个工厂的整体产品和服务的印象。不但如此,甚至还提出顾客满意度的指标,进行全国范围的大规模调查测算。例如,美国从1994年10月起开始公布美国顾客满意度(The American Customer Satisfaction Index,简称ACSI)。每年公布一次。瑞典在1989年、德国在1992年都有类似的顾客满意度出现,根据调查得到的顾客满意度对全国的工业与服务行业进行宏观指导和改进,当然,企业也可以根据顾客满意度的结果进行质量改进。

1999年12月我国国务院发布了《关于进一步加强产品质量工作若干问题的规定》,第一次明确提出要研究和探索顾客满意度指数的评价方法。在国家质量检验检疫总局的领导下,清华大学经管学院有关课题的研究已经取得很大的进展,中质协全国用户委员会以及上海质协也在积极开展这方面的工作并取得显著的成绩,参见本章参考文献[14-12]。

## 14.2 顾客满意度与美国顾客满意度 ACSI<sup>1</sup>

顾客满意度是一种宏观经济指标。

美国顾客满意度 ACSI(American Customer Satisfaction Index)是在 1994 年 10 月首次公布的。它是对在美国可以购买到的产品与服务的顾客满意程度的一种度量。这些产品与服务是由在美国市场上占有一定份额的美国国内与国外的公司所提供的。这种指标是美国测量 200 家指定公司产品与服务的顾客满意程度的第一个跨行业基准。ACSI 涉及到七大经济部类(非耐用品制造业、耐用品制造业、运输业 / 通讯业 / 公用事业、零售业、金融业 / 保险业、服务行业、公共事业管理 / 政府部门)与 35 个行业(略)。ACSI 在滚动的基础上每年公布一次。ACSI 的取值在 0 与 100 之间。

1997 年 ACSI 的数据参见表 14.2-1。

表 14.2-1 1997 年美国顾客满意度 ACSI 排行榜

排名 榜	公 司 名 称	1997 年度 评分	与 96 年 对比的 变化率
1	Mercedes - Benz (本茨汽车)	87	无变化
2	H. J. Heinz food processing	86	-4.4%
3	Colgate - Palmolive pet foods	85	不适用
4	H. J. Heinz pet foods	85	不适用
5	Mars food processing	85	-1.2%
6	Maytag	85	2.4%
7	Quaker Oats	85	3.7%
8	Cadillac <sup>1</sup> (凯迪拉克汽车)	84	-4.5%
9	Hershey Foods	84	-4.5%
10	Coca - Cola (可口可乐)	84	-3.4%
11	Toyota (丰田汽车)	84	无变化
12	Volvo (富豪汽车)	84	无变化
13	Zenith Electronics	84	无变化
14	Buick (别克汽车)	83	-1.2%
15	Cadbury Schweppens	83	-3.5%
16	Colgate - Palmolive personal - care products	83	1.2%
17	Nestle food processing (雀巢食品加工)	83	1.2%
18	Nestle pet foods	83	不适用
19	Panasonic (松下)	83	3.8%

1. 本节主要参考本章参考文献[14-1]。此外,本节 1997 年的美国顾客满意度主要引自本章参考文献[14-2],特此说明。

(续表)

排名 榜	公 司 名 称	1997 年度 评分	与 96 年 对 比 的 变化率
20	PepsiCo (百事可乐公司)	83	-3.5%
21	Clorox	83	-1.2%
22	Dial	83	-2.4%
23	FedEx	82	-4.7%
24	Honda Motor (本田汽车)	82	-1.2%
25	Kraft Foods	82	-3.5%
26	Nordstrom	82	-1.2%
27	Oldsmobile	82	无变化
28	Philips Petroleum	82	3.8%
29	Pillsbury	82	-5.7%
30	Ralston Purina pet foods	82	不适用
31	Sanyo Fisher	82	1.2%
32	Saturn	82	1.2%
33	Unilever	82	-1.2%
34	United Parcel Service	82	-5.7%
35	Whirlpool (惠尔浦)	82	-3.5%
36	Anheuser - Busch	81	2.5%
37	Campbell Soup	81	-3.6%
38	General Mills	81	-5.8%
39	Kellogg	81	-4.7%
40	Levi Strauss	81	1.3%
41	Lincoln Mercury (林肯牌汽车)	81	1.3%
42	Mars pet foods	81	不适用
43	Miller Brewing	81	3.8%
44	Mitsubishi Electric (三菱电气)	81	-2.4
45	Sara Lee food processing	81	8.0% S
46	Shell (壳牌汽油)	81	5.2%
47	Sony (索尼)	81	无变化
48	Procter & Gamble	81	-4.7%
49	VF	81	1.3%
50	Adolph Coors	80	1.3%

(续表)

排名 榜	公 司 名 称	1997 年度 评分	与96年 对比的 变化率
51	AT&T(美国电话、电报公司)	80	-3.6%
52	BMW(宝马汽车)	80	-1.2%
53	Chrysler(克莱斯勒汽车)	80	无变化
54	ConAgra	80	-2.4%
55	GMC	80	不适用
56	Publix Super Markets	80	-2.4%
57	RJR Nabisco	80	-5.9%
58	Sara Lee apparel	80	-4.8%
59	Tyson Foods	80	1.3%
60	Amoco	79	-1.3%
61	Dole Food	79	-7.1%
62	Duke Power	79	-4.8%
63	JVC America	79	-1.3%
64	Nissan(日产汽车)	79	-1.3%
65	Philips	79	-3.7%
66	RCA	79	无变化
67	RJR Reynolds Tobacco	79	-6.0%
69	Volkswagen(大众汽车)	79	3.9%
70	BellSouth	78	-6.0%
71	Central & South West	78	无变化
72	Chevrolet	78	-
73	Edison International	78	1.3%
74	Exxon	78	-1.3%
75	General Electric(通用电气)	78	-3.7%
76	J. C. Penney	78	1.3%
77	Mobil(美孚汽油)	78	无变化
78	Pontiac	78	无变化
79	Albertson's	77	无变化
80	American Electric Power	77	-6.1%
81	Chevron	77	-1.3%
82	Dayton Hudson <sup>3</sup> Target/Mervyn's	77	1.3%

(续表)

排名 榜	公 司 名 称	1997 年度 评分	与 96 年 对比的 变化率
83	Dodge Plymouth (道奇汽车)	77	无变化
84	Ford (福特汽车)	77	-1.3%
85	Fruit of the Loom	77	-1.3%
86	GTE <sup>1</sup> long distance	77	-5.6%
87	Hyatt	77	无变化
88	Liz Claiborne	77	-4.9%
89	Meijer grocery stores	77	-1.3%
90	Philip Morris	77	-2.5%
91	Promus	77	-7.2%
92	Solid - waste disposal suburban	77	1.3%
93	State Farm Insurance	77	-2.5%
94	Texaco (德士古汽油)	77	-6.1%
95	Southern	77	1.3%
96	Marriott hotels	76	-1.3%
97	Southwest Airlines	76	无变化
98	Sprint	76	-5.0%
99	CMS Energy	75	-2.6%
100	DTE Energy	75	-3.8%
101	Hewlett - Packard (惠普公司)	75	-2.6%
102	Hilton Hotels (希尔顿饭店)	75	无变化
103	Meijer discount stores	75	-2.5%
104	New York Life Insurance	75	不适用
105	Public Service Enterprise Group	75	-2.6%
106	Supervalu	75	-2.6%
107	May Department Stores	75	无变化
108	Wal - Mart Stores Sam's Club	75	-8.6%
109	Winn Dixie Stores	75	无变化
110	Allstate	74	1.4%
111	American Stores	74	1.4%

(续表)

排名 榜	公 司 名 称	1997 年度 评分	与 96 年 对比的 变化率
112	Atlantic Richfield	74	2.8%
113	Dayton Hudson 3 department stores	74	-2.6%
114	Dillard Department Stores	74	无变化
115	Dominion Resources	74	2.8%
116	Jeep Eagle	74	-2.6%
117	Mazda (马自达汽车)	74	-1.3%
118	Metropolitan Life Insurance	74	1.4%
119	Nike (耐克鞋)	74	-3.9%
120	Reebok International	74	-3.9%
121	Sears Roebuck	74	-1.3%
122	Kroger	74	-2.6%
123	Wal-Mart Stores discount stores	74	不适用
124	Aetna Life & Casualty	73	无变化
125	Ameritech	73	-5.2%
126	Federated Department Stores	73	2.8%
127	Food Lion	73	-3.9%
128	Montgomery Ward	73	1.4%
129	Safeway	73	无变化
130	Solid - waste disposal central cities	73	-3.9%
131	Bell Atlantic	72	-11.1%
132	Dell Computer (戴尔电脑)	72	不适用
133	Farmers Insurance Group	72	1.4%
134	Kmart	72	无变化
135	MCI Communications	72	-7.7%
136	Pacific Telesis Group	72	-10.0%
137	Consolidated Edison of New York	71	-4.1%
138	First Union	71	-2.7%
139	International Business Machines (国际商业机器)	71	-4.1%
140	Norwest	71	-6.6%



(续表)

排名 榜	公 司 名 称	1997 年度 评分	与 96 年 对比的 变化率
141	PG&E	71	-1.4%
142	SBC Communications	71	-7.8%
143	US West	71	-4.1%
144	Wendy's International	71	-2.7%
145	Apple Computer (苹果电脑)	70	-7.9%
146	Entergy	70	-6.7%
147	First Chicago NBD	70	不适用
148	KeyCorp	70	-7.9%
149	Texas Utilities	70	-9.1%
150	U.S. Postal Service packages, express mail	70	-5.4%
151	Army & Air Force Exchange Service	69	不适用
152	Banc One	69	-6.8%
153	Delta Air Lines	69	3.0%
154	FPL Group	69	-6.8%
155	General Public Utilities	69	-14.7%
156	KFC	69	1.5%
157	Little Caesars	69	无变化
158	PNC Bank	69	不适用
159	U.S. Postal Service mail, counter services	69	-6.8%
160	Chase Manhattan	68	不适用
161	Citicorp	68	-2.9%
162	Domino's Pizza	68	-2.9%
163	Great Atlantic & Pacific Tea	68	1.5%
164	GTE <sup>d</sup> local service	68	不适用
165	Houston Industries	68	不适用
166	Hyundai Motor (现代汽车)	68	-1.4%
167	NationsBank	68	-6.8%
168	Prudential Insurance of America	68	-8.1%
169	United Airlines	68	-2.9%

(续表)

排名 榜	公 司 名 称	1997 年度 评分	与 96 年 对比的 变化率
170	US Airways	68	3.0%
171	Burger King	67	3.1%
172	Compaq Computer (康柏电脑)	67	-9.5%
173	Northeast Utilities	67	-6.9%
174	Police suburban (警察/郊区)	67	6.3%
175	Nynex	66	-14.0%
176	Packard Bell	66	-7.0%
177	Taco Bell	66	无变化
178	BankAmerica	65	-3.0%
179	Niagara Mohawk Power	65	1.6%
180	PECO Energy	65	-7.1%
181	Wells Fargo	65	-8.5%
182	Continental Airlines	64	-3.0%
183	Northwest Airlines	64	-4.5%
184	Ramada	64	-8.6%
185	Pizza Hut (比萨饼屋)	63	-4.5%
186	Police central cities (警察/市区)	63	6.8%
187	American Airlines	62	-14.7%
188	Unicom	62	-8.8%
189	McDonald's	60	-4.8%
190	Internal Revenue Service (国内收入署)	54	8.0%

- 注: 1. Buick, Oldsmobile 与 cadillac 品牌的汽车在 1994、1995 年是作为同一个组进行调查顾客满意度的,而在 1996 年与 1997 年则分开进行调查。
2. 本表是在 1997 年罢工之前进行度量的。
3. Dayton Hudson 商店(stores)在 1996 年分为公寓商店与廉价商店两部分进行度量。
4. 在 1997 年,市内电话与长途电话合并成一个行业进行度量。只有 GTE 横跨美国提供这两种服务并对其顾客满意度分别进行度量。

1997 年的美国顾客满意度 ACSI 给了著名品牌以高分,而对于美国服务行业的可悲状态则给了低分。1997 年的第一名是本茨汽车,这种汽车很昂贵,也包含有许多容易损坏的零件,但顾客就是很爱这种车。1997 年最大的赢家是美国警

察,由于犯罪率的降低,市区警察的 ACSI 较 1996 年增加了 6.8%,郊区警察的 ACSI 较 1996 年增加了 6.3%,平均增加了大约 6.6%。1997 年最大的输家是美国航空公司(American Airlines),它票价较贵而且机内过分拥挤招致许多意见,因而其 ACSI 较 1996 年降低了 14.7%。1997 年的最末一名与前几年一样仍然是美国国内收入署。研究工作者已经发现:在满意的顾客与超过平均水平的股票市场回报之间具有某种相关性,但是仔细研读了表 14.2.1-3 的排行榜之后,不禁会发现这种相关性有许多例外。例如,许多得分很高的名牌如 Nordstrom(排行榜第 26 名),Whirlpool(排行榜第 35 名),它们的制造厂商的财务状况却不佳。还有某些航空公司、银行与公用事业,如美国西北航空公司(Northwest Airlines,排行榜第 183 位)与 Wells Fargo(排行榜第 181 位)越来越让顾客不满意,但却在赚钱。

一个很明显的问题是:美国顾客满意度,概而言之,顾客满意度这个指标到底有多大用处?经理们应该给予顾客满意度多大的注意力?我们的回答是:顾客满意度是很重要的,应给予充分的重视。虽然顾客满意度这个指标也免不了有局限性,但我们不能忽视它的潜力。

因为顾客的满意程度最终会影响顾客的保留态度,从而影响到企业的赢利与竞争力。顾客满意度可用来回答下列问题:

1. 对于国家出口的货物和服务而言,顾客的满意程度以及对质量的评估是提高了还是降低了?
2. 对于个别经济部类,或个别产业,乃至个别公司而言,顾客的满意程度以及对质量的评估是提高了还是降低了?

因此,顾客满意度既可以起到宏观指导的作用,也能促进个别产品或服务的改进。

对于顾客而言,顾客满意度反映了顾客的呼声。对于企业而言,可以应用顾客满意度去评估顾客的忠诚度,可用以确定进入市场的潜在的障碍,也可以用以预测投资的回报率,还可确定顾客不满意之处。

如果将国产产品与进口产品的顾客满意度进行比较,则可了解国外竞争者的情况。

ACSI 是利用电话询问进行调查的,全国共抽查了 50000 个以上的顾客。平均每个公司调查 250 个顾客。所调查顾客满意度的置信度为:公司层次的顾客满意度 90% 置信区间为  $\pm 1.8$ ,国家层次的顾客满意度 90% 置信区间为  $\pm 0.2$ 。

ACSI 是由美国密契根大学工商管理学院国家质量研究中心(National Quality Research Center at the University of Michigan, Business School)建立的。ACSI 研究组的学术领导人是美国国家质量研究中心主任、工商管理教授佛乃尔(Claes Fornell)。

### 14.3 顾客满意度的度量

关于顾客满意度的具体度量方法,美国密契根大学工商管理学院国家质量研究中心设计了度量顾客满意度的模型,编制了一整套的软件,但售价高昂,每套软件售价三百万美元。这当然不是发展中国家所能问津的。本节介绍了一家丹麦著名大公司实施顾客满意度的案例,包括理论研究与实际进行结果,以飨读者。

#### 14.3.1 理论研究

本节内容见参考文献[14-5]。假定此公司由  $N$  个重要度参数以及参数质量均不同的顾客进行评价。令第  $i$  个参数的重要度(权数)为  $w_i$ ,并令  $c_i$  为范围在 0 到 100 之间的个别质量得分。于是定义顾客满意度(CSI, Customer Satisfaction Index)如下:

$$CSI = \sum_{i=1}^N w_i c_i \quad (14.3-1)$$

CSI 的期望值为

$$E(CSI) = \sum_{i=1}^N \tilde{w}_i \tilde{c}_i = \overline{CSI} \quad (14.3-2)$$

式中,  $\tilde{w}_i$ 、 $\tilde{c}_i$  分别为  $w_i$ 、 $c_i$  的期望值,这里假定权数与得分分别为独立的随机变量。

我们假定从顾客满意获得的总收入为 CSI 的期望值  $\overline{CSI}$  的某个函数  $\Phi(\overline{CSI})$ 。而且根据田口理论,我们还假定获得顾客满意的费用为一个具有费用参数为  $k$  的二次项。于是得到期望利润值为

$$\Pi = \Phi\left(\sum_{i=1}^N \tilde{w}_i \tilde{c}_i\right) - \sum_{i=1}^N k_i \tilde{c}_i^2 \quad (14.3-3)$$

为了平衡该公司的质量投入,这里存在的管理问题就是使得与个别质量参数均值有关的利润最大化。最大化的一阶条件等于

$$\frac{\delta \Pi}{\delta \tilde{c}_i} = \Phi(\overline{CSI}) \tilde{w}_i - 2k_i \tilde{c}_i, \quad i = 1, \dots, N \quad (14.3-4)$$

这些条件可有若干种写法,譬如

$$\frac{\tilde{c}_i}{\tilde{w}_i} = \frac{\Phi(\overline{CSI})}{2k_i}, \quad i = 1, \dots, N \quad (14.3-5)$$

上述结果的实际应用决定于该公司可得到的信息。权数与得分可由市场中的抽样数值进行估计,通常个别费用因子的信息更难得到。有时对于费用比值可作粗略的估计,但在许多情况下需要假定费用是相等的。

这些考虑导致我们提出下列建议,即公司应该按照下列规则对质量投入进行平衡:

$$\frac{\tilde{c}_i}{\tilde{W}_i} = \frac{\tilde{c}_j}{\tilde{W}_j} \quad \forall i, j \quad x \quad (14.3-6)$$

根据这个在实际中很容易实施的简单规则,我们知道加权的顾客满意应对公司中的所有质量参数相等。

所有上述结果都是根据这样一个假设条件得到的,即公司中的各个金融条件未考虑其重要度。若费用受到某种约束条件,这点不难加入到上述结果中,而且所得结果不会有很大的改变。

### 14.3.2 实 施

这里选择的公司是丹麦最大的国际公司之一,在 1989 年推行了 TQM。本项目实施阶段为 1990 年与 1991 年的上半年。具体实施内容如下:

对此公司而言,顾客满意是十分重要的,故必须定期度量顾客满意度。

为了开始此项研究,将属于此公司丹麦部分的七个公司之一作为试点。该公司主要为一销售清洁机械与清洁材料的公司,它也兼做关于各种领域清洁工作的咨询事项。典型的顾客为其他公司与公共事业部门。

实施时我们决定采取下列七个步骤:

- (1) 定义有关质量特性,即判断顾客是否满意的整个特性集合。
- (2) 定义有关顾客总体并定义报告结果时所用到的有关阶层。
- (3) 确定抽样方案。
- (4) 拟订问卷调查表并确定度量顾客满意的规模。
- (5) 实施调查。
- (6) 统计有关结果。
- (7) 将所得结果进行通报。

步骤(1)

与该公司的最高领导合作,将质量特性分为五大组,每组包含特殊的特性。最后所得 10 个特性如下:

行政管理

- ① 总机接线
- ② 定单安排的服务

发货

- ① 剩余定单数
- ② 差错数

产品

- ① 花色品种
- ② 产品质量与产品资料说明

咨询

- ① 产品知识
- ② 协议的遵守
- 维修
  - ① 维修质量
  - ② 等待时间

与步骤1有关的主要问题是保持特性目录单,使之达到便于管理的规模。原来此目录单有75项,后来经过长期讨论,各部门终于同意上述特性目录单。

对质量特性目录单取得意见一致,这点非常重要。否则,在以后的阶段人们可能拒绝所得到的结果。而且准备这张目录单要非常谨慎,因为一旦通过了这张目录单,就不应该再行更改。我们的基本要求之一就是将一个时期的结果与下一个时期的结果进行比较。关于目录单上各个特性的信息可以从公司内部也可以从市场得到。在大多数情况,可能令问题小组与顾客直接会晤以获得顾客之声的不偏不倚的直接印象。

#### 步骤(2)

在步骤(2),你首先必须确定是否对现有的(已知的)顾客或者对整个潜在市场进行抽样。后者当然是我们情愿采取的,但在许多情况下,由于抽样费用很高而致使总费用高昂。就由于这点,一个好办法是:首先从已知顾客出发,然后在转向最终目标,即全面市场测量之前,将进行程序优化。

在本例,决定从以往的与现今的已知顾客群进行抽样。这一方面是出自费用的考虑,另一方面也出自这样的假定,即在此特殊案例,从从来没有与该公司打过交道的人群中获得有效的信息是太困难了。

当提出CSI调研结果报告时,所得结果应分解成若干个目的明确、需要分别处理的环节。在本例,确定了下列环节:(1)顾客与该公司发生关系的年头数目,(2)经营行业,(3)地点,(4)在财务方面的重要性。

#### 步骤(3)

抽样方案当然取决于所选择的顾客群。在本例,该公司具有两年的所有以往与现有顾客的记录。这些记录就用作抽样方案,由于对以往的顾客未根据最新情况加以修正,故此抽样方案的结果也只能说是还过得去的。

一个特殊的问题是选择所接触的顾客。选择正确的人选来回答你的问题是十分重要的。所谓正确的人选即对于你的产品作出决策的人。在本例,该公司的上述记录并未包含这一点的充分信息。因此,花了很大力气去整理这些记录,以便于进行抽样。

#### 步骤(4)

设计问卷调查表并没什么困难。我们采用了一般问卷调查表的设计原则,关于打分范围,对于重要度及个别质量打分,我们都采用了五点打分制。在抽样以后,我们将所有质量度量都重新变换为一个0与100间的数字。

#### 步骤(5)与(6)

这次调查是用传统电话调查方式来进行的,样本大小约为 300。一个独立的市场研究局进行了会晤调查,而且在顾客回答个别质量特性的相对重要度之前,顾客的姓名是不透露的。经过统计得到表 14.3-1 的结果,并按步骤(2)所列环节进行分解: $c_i$ ,  $w_i$ ,  $\gamma_i = c_i/Nw_i$  与  $CSI_i$ 。

注意,加权  $c_i$  值与权数一样是除以  $N$  的。这样作的理由是:在本例, $\gamma_i$  的加权平均值将等于  $c_i$  值的算术平均值,而且这样作不会影响优化准则。

表 14.3-1 加权与未加权  $c_i$  值

质 量 特 性	$c_i$ 值	加权 $c_i$ 值
总机接线	87.3	144.2(10)
定单的安排	90.0	111.2(9)
剩余定单数目	83.9	104.9(8)
发货错误	87.4	103.9(7)
花色品种	85.4	87.7(6)
产品质量与产品说明资料	90.1	83.7(3)
产品知识	86.8	82.3(2)
协议的遵守	91.3	86.8(5)
维修质量	85.8	79.9(1)
维修等待时间	85.2	85.1(4)
总顾客满意指数	89.1	

注:未加权  $c_i$  值限于在 0 到 100 的范围内。而加权  $c_i$  值则无此限制。

步骤(7)

表 14.3-1 给出了质量打分的主要结果,包括加权的与未加权的  $c_i$  值。对于加权的  $c_i$  值进行了排序。排序越低者在此部门中应该越优先加以改进。根据公式(14.3-6),为了获得最优配置,各种资源原则上应该从高加权  $c_i$  值部门转移到低加权  $c_i$  值部门。

这两个指数具有不同的目的。未加权指数应该通知到个别部门并用来作为个人的激励,而加权  $c_i$  值应被管理部门用来将资源分配到各个部门。在实际工作中,全部资源重新调配当然是不可能的;但这些数字表明了质量改进应该遵行的顺序。

加权  $c_i$  值只用于分配资源的目的,这点是重要的。这些数字不能用于个别部门,因为这些部门的人对于权数不能加以控制。

在本例,总的 CSI 值为 89.1;这个数字在进行某种可能的比较之前没有多大意义。当抽样是在规范的基础上进行的就可以进行比较,并且这点已为该公司所决定。将来每两年就进行一次顾客满意度与雇员满意度的测量。于是总 CSI 值可用来对总公司内的个别公司进行逐年比较,并激励这些公司不断进行质量改进。

与总的 CSI 值相反,个别的度量会导致立即采取行动。这些  $c_i$  值已经公开,并在一系列会议上进行了详细讨论,这些材料都按照前述各个环节进行了适当的分类。而且在每个部门组织了力量以便讨论与提出质量改进办法。

如所建议的,加权  $c_i$  值未通知个别部门,而是被管理部门用来选择出需要采取高层领导紧急措施的部门。已经决定维修部门应加以改进。由于这个部门的明显的重要性,不但通过所组织的力量而且通过将资源增加后所带来的力量来加以改进。此外,还决定开展一个信息项目以改进产品知识与改进产品说明书。

本节提出的度量顾客满意度的系统在所实施的公司里看来运行得很好。如所预期的,它已经提高了工作的积极性,并且准备将来也这么做。已经找出来应该改进的部门,并已采取了必要的措施。

总公司的高层领导对试点公司的结果非常满意,已决定对所属其他公司推广这一成果,并要求于 1992 年年底前完成。

#### 14.4 本章参考文献

- [14-1] ASQ & University of Michigan Business School(1995), "American Customer Satisfaction Index".
- [14-2] Flanagan, T. A. & Fredericks, J. O. (1993), Improving company performance through customer - satisfaction measurement and management, National Productivity Review, 12, pp. 59 - 70.
- [14-3] FORTUNE(1998), "Now Are You Satisfied? The 1998 American Customer Satisfaction, Index", Fortune, February 16, 1998, pp. 161 - 164.
- [14-4] Hallowell, Roger(1996), "The relationship of customer satisfaction, customer loyalty, and profitability: an empirical study", International Journal of Service Industry Management, Vol. 7, No. 4, pp. 27 - 42.
- [14-5] Kristensen, Kai, Kanji, Gopal & Dahlgaard, Jens Jom (1992), "On measurement of customer satisfaction", Total Quality Management, Vol. 3, No. 2, pp. 123 - 128.
- [14-6] Tse, D. K. and Wilton, P. C. (1988), "Models of Customer Satisfaction Formation: An Extension", Journal of Marketing Research, Vol. XXV(May 1988), pp. 204 - 214.
- [14-7] 任世杰(1996), "用户满意工程开始启动",中国质量,1996 年第 7 期,第



23 页。

- [14-8] 谢赞、赵平、杜晖(1998),“用户满意度指数模型结构分析”,中国质量,第9期,第22-24页。
- [14-9] 沈云交(1998),“美国顾客满意度指数的意义与启示”,上海质量,1998年第12期第13-15页。
- [14-10] 龚益鸣(1998),“用户满意度指数及其在中国的应用”,上海质量,1998年第12期第16-17页。
- [14-11] 上海质量管理科学研究院编著,《顾客满意度测评》,上海科学技术出版社,2001。
- [14-12] 柯惠新、丁立宏,《市场调查与分析》,中国统计出版社,2000。

## 本章思考题

- [14-1] 顾客满意度这个指标有何重要意义?
- [14-2] 对于你单位试拟一个简单的调查顾客满意度的问卷。

## 思考题题解

- [14-1] 简言之,顾客满意度这个指标对于提高国家经济运行质量,改善企业产品或服务质量以及提高国民的生活质量等方面都具有重要意义。  
顾客满意度既可以起到宏观指导的作用,也能促进个别产品或服务的改进。  
对于顾客而言,顾客满意度反映了顾客的呼声。对于企业而言,可以应用顾客满意度去评估顾客的忠诚度,可用以确定进入市场的潜在的障碍,也可以用以预测投资的回报率,还可确定顾客不满意之处。  
如果将国产产品与进口产品的顾客满意度进行比较,则还可了解国外竞争者的情况。

# 第十五章 可靠性、维修性及产品安全性

## 15.1 概 述

### 15.1.1 可靠性、维修性的基本概念

产品质量反映产品满足规定和潜在需要能力的特性之总和。针对某产品特性,将需要用一组定量的或定性的要求来表达,以使其能实现和检查,这叫质量要求。

传统的质量含义中,需要主要是性能,而质量合格指的是符合制造规范。新的质量观念比起传统的观念已大发展了。质量应融合并贯穿于项目的所有要素和活动中。质量合格不限于规定正在生产的系统符合其制造规范,其内涵要宽得多。质量定义中的需要包括:性能、实用性、可信性、可用性、可靠性、维修性、安全性、环境要求、经济性和美学功能。现分别介绍于下。

产品在规定的条件下和规定的时间内、完成规定功能的能力叫产品的**可靠性**(reliability)。可靠性的概率度量亦称**可靠度**。产品或产品的一部分不能或将不能完成规定功能的事件或状态叫出**故障**,对某些产品如电子元器件等亦称**失效**。故障中,使产品不能完成规定任务的或可能导致人或物重大损失的故障或故障组合叫**致命性故障**。由某一固有因素引起,以特定形式出现的故障叫**系统性故障**,它只能通过修改设计、制造工艺、操作程序或其它关联因素来消除。在研制阶段原则上应基本消除系统性故障。产品由于偶然因素引起的故障叫**偶然故障**,它只能通过概率或统计方法来预测。产品使用持续期叫**寿命**,对它的度量如工作小时、公里、次数等叫寿命单位。由于故障的偶然性,在一批产品中,每个产品的寿命不尽相同。从而产品的寿命  $T$  是一个随机变量。寿命  $T$  超过时间  $t$  的概率即产品工作时间超过  $t$  的可靠度  $R$ ,它与  $T$  的概率密度函数  $f(t)$  的关系为

$$R(t) = P(T \geq t) = \int_t^{\infty} f(t) dt.$$

$T$  的累积分布函数为

$$F(t) = P(T \leq t) = \int_0^t f(t) dt.$$

故  $R(t) = 1 - F(t)$

显然,于  $t=0$  时,  $R(0) = 1$ ;  $t = \infty$  时,  $R(\infty) = 0$ 。

一批批量为  $N$  的产品于  $t=0$  时投入工作,到  $t$  时刻的可靠度为  $R = 1 - F(t)$ ,即有  $N(1 - F(t))$  个产品还在工作。在这些还在工作的产品中,在  $(t, t + \Delta t)$  时间区间内出故障的概率为

$$R(t) - R(t + \Delta t) = F(t + \Delta t) - F(t) = \int_0^{t+\Delta t} f(t) dt - \int_0^t f(t) dt$$

$$= \int_t^{t+\Delta t} f(t) dt = f(t)\Delta t,$$

即有  $Nf(t)\Delta t$  个产品会在  $(t, t + \Delta t)$  间出故障。

在  $t$  时刻还在工作的产品中,在其后单位时间内出故障的百分比率叫产品在  $t$  时刻的**故障率**,它是时间的函数,记为  $\lambda(t)$ 。按上述的推导取  $\Delta t = 1$  (即单位时间),则

$$\lambda(t) = Nf(t)/N(1 - F(t)) = f(t)/(1 - F(t))$$

多数电子产品的寿命为指数分布,即

$$R(t) = e^{-\lambda t}, f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

此时

$$\lambda(t) = \lambda$$

即正好  $\lambda(t)$  是个常数  $\lambda$ 。这是一种特殊情况。当产品的寿命  $T$  不是指数分布时,  $\lambda(t)$  不为常数。

为使产品保持或恢复到规定状态所进行的全部活动叫**维修**。如果维修后能恢复产品的特性,则叫**修复**,即“修后如新”。有不少产品是可修复的,叫**可修复产品**。可修复产品可靠性的一种基本参数是“**平均故障间隔时间** (Mean Time Between Failures 简写成 **MTBF**)”,其度量方法为:在规定的条件下和规定的时间内,产品的寿命单位总数与故障总次数之比。例如产品在累计十万小时内出了一百次故障,则它的 MTBF 即  $100000/100 = 1000$  (小时)。这定义中的规定时间应该相当长。在批量为  $N$  的一批产品中,寿命在  $(t, t + \Delta t)$  之间的概率为  $f(t)\Delta t$ ,即有  $Nf(t)\Delta t$  个产品的寿命为  $t$ 。取规定的时间为  $\infty$ ,将  $(0, \infty)$  以区间  $\Delta t$  划分为一系列小区间,则产品的寿命单位总数为  $\sum tNf(t)\Delta t$ ,到  $t = \infty$  时,全部产品都出故障,故障总次数为  $N$ ,于是 MTBF 为  $\sum tNf(t)\Delta t/N = \sum tf(t)\Delta t$ ,即

$$MTBF = \int_0^{\infty} tf(t) dt$$

这就是 MTBF 的一般公式。对多数电子产品来说,寿命为指数分布,故障率为  $\lambda$ ,  $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$ ,此时

$$\theta = MTBF = \int_0^{\infty} t(\lambda e^{-\lambda t}) dt = 1/\lambda$$

即平均故障间隔时间  $\theta$  正好是故障率的倒数。例如,设故障率为每 1000 小时一次,即  $10^{-3}/h$ ,则平均寿命  $\theta$  为 1000 小时。这是一种特殊情况。当产品的寿命  $T$  不是指数分布时,此倒数关系不成立。

有些产品是不可修复的,或从经济上说是不值得修复从而不予修复,这叫**不修复产品**。不修复产品可靠性的一种基本参数是**平均故障前时间** (Mean Time To Failure 简写成 **MTTF**)。其度量方法为:在规定的条件下和规定的时间内、产品寿命单位总数与故障产品总数之比,其数学表达式与 MTBF 一样。

产品从制造完成到出现不修复的故障或不能接受的故障率时的寿命单位数叫产品的**使用寿命**。“**耐久性**” (durability) 是产品在规定的使用 and 维修条件下,其使用寿命的一种度量。它是可靠性的另一种特殊情况。产品在规定的条件下储存

时,仍能满足规定质量要求的时间长度叫**储存寿命**。

可靠性定义下的规定条件包括“环境条件”,即所有外部和内部的条件,如温度、湿度、辐射、磁场、电场、冲击、振动等或其组合。这些条件是自然的、人为的或产品自身引起的,它们影响产品的可靠性。不同环境条件下产品的可靠性是不同的。为此,要选定有代表性的典型环境条件。产品在完成规定任务这段时间内所经历的事件和环境的时序描述叫**任务剖面**。其中,包括任务成功或致命性故障的判断准则。产品从制造到寿命终结或退出使用这段时间内所经历的全部事件和环境的时序描述叫**寿命剖面**。它包括一个或几个任务剖面。产品的可靠性通常是对给定的任务剖面、寿命剖面而言的。

可靠性定义中的规定条件还包括使用及保障条件。

假设使用及保障条件是理想的,则产品的可靠性只取决于产品的设计及制造。这样的可靠性叫**固有可靠性**。在实际使用中,产品的可靠性是设计、制造、安装、质量、环境、使用、维修的综合影响决定的,这叫**使用可靠性**。

描述产品可靠性的量叫产品可靠性参数。产品可靠性参数要求的量值叫产品可靠性指标。产品的可靠性指标一般不止一个,而是一个指标体系,包括若干个指标。例如:MTBF 或 MTTF,致命故障的 MTBT 或 MTTF,使用寿命,储存寿命,……,等等。

为了达到产品的可靠性要求而进行的一套设计、研制、生产和试验工作叫**可靠性工程**。很多可靠性要求是定量的。因此可靠性工程中有相当的可靠性核计工作量。但是,可靠性工程是工程,不是数学。数学在可靠性工程中是不可缺少的工具,但也只是工具,不能喧宾夺主。可靠性核计的工作量一般只占可靠性工程工作量的 10% 以下。

随着可靠性工程的发展,维修问题愈来愈突出,现在已发展到从可靠性工程分离出来成为一门独立学科:维修性工程。

产品在规定的条件下和规定的时间内,按规定的程序和方法进行维修时,保持或恢复到规定状态的能力叫**维修性**(Maintainability)。维修性的概率度量亦称维修度。其中,产品在规定的任务剖面中,经维修能保持或恢复到规定状态的能力叫**任务维修性**。维修通常分为预防性维修与修复性维修。通过对产品的系统检查、检测和发现故障征兆以防止故障发生,使其保持在规定状态所进行的全部活动叫**预防性维修**。它可以包括:调整、润滑、定期检查和必要的修理等。在产品发生故障后,使其恢复到规定状态所进行的全部活动叫**修复性维修**。它可以包括下述一个或全部步骤:确定故障大体部位的过程——故障定位;把故障部分确定到必须进行修理范围的过程——故障隔离;分解;更换;再装;调准;检测等。由于不同故障需要的维修时间不同,因此维修时间  $M$  是一个随机变量,根据美军大量数据的分析结果, $M$  服从对数正态分布,其概率密度函数  $f(t)$  为

$$f(t) = \frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right)^2}, t \geq 0$$

式中  $\mu, \sigma$  是参数。但对数正态分布的有关统计分析比较繁难。因此 IEC 建议以  $\Gamma$  分布代替对数正态分布, 此时

$$f(t) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} t^{\alpha-1} e^{-\beta t}, t \geq 0$$

式中  $\alpha, \beta$  是参数, 产品维修性的一种基本参数为**平均修复时间**(Mean Time To Repair 简写成**MTTR**)。其度量方法为: 在规定的条件下和规定的时间内, 产品在任意规定的维修级别(按产品维修时所处场所划分的等级, 如: 基层级、中继级和基地级)上, 修复性维修总时间与在该级别上被修复产品的故障总数之比。设维修时间的概率密度函数为  $f(t)$ , 则

$$MTTR = \int_0^{\infty} t f(t) dt$$

设维修时间随机变量  $M$  为对数正态分布, 则

$$MTTR = e^{\mu + \frac{1}{2}\sigma^2}$$

设  $M$  为  $\Gamma$  分布, 则

$$MTTR = \frac{\alpha}{\beta}$$

只有在  $M$  为指数分布的时候,  $f(t) = \mu e^{-\mu t}$ 。此时,

$$MTTR = 1/\mu$$

必须指出, 不少理论研究报告假设  $M$  为指数分布, 这种假设不符合多数实际情况。因此, 其结论不宜随便引用。

由上可见, 对数正态分布及  $\Gamma$  分布都有两个参数, 只根据  $MTTR$  一个值是确定不了两个参数的, 因此还需要一个值。

随机变量  $X$  的分位数  $X_p$  的定义是

$$P(X \leq X_p) = p$$

即  $X$  不超过  $X_p$  概率为  $p$

$M_{95\%}$  叫**最大维修时间**, 即 95% 的维修时间不超过  $M_{95\%}$ 。当然, 这“最大”是不恰当的, 因为还有 5% 的维修时间比“最大”维修时间还大, 但习惯这么称呼多年了, 因此也不必改正了。 $M_{95\%}$  就是确定分布参数的第二个值。

根据故障规律及维修时间规律, 可以得出与维修人力有关的**维修工时率**。其度量方法为: 在规定的条件下和规定的时间内, 产品直接维修工时总数与该产品寿命单位总数之比。描述产品维修性的量叫产品维修性参数, 对产品维修性参数要求的量值叫“维修性指标”。产品的维修性指标一般不止一个。而是一个指标体系, 包括若干个指标。例如  $MTTR$ 、 $M_{95\%}$ , 维修工时率, 还有如**维修事件的平均直接维修工时**(Direct Maintenance ManHour Per Maintenance Event 简称为  $DMMH/ME$ ) 等。

产品在任务开始时可使用或可工作的情况下, 在规定的任务面的任一随机时刻, 能够使用且能完成规定功能的能力叫产品的**可信性**(dependability), 一般用符号  $D$  表示。产品在执行任务中的状态取决于与任务有关的产品可靠性及维修性的综合影响。

产品在任一随机时刻需要和开始执行任务时,处于可工作或可使用状态的程度叫产品的**可用性**(availability),可用性的概率度量  $A$  亦称**可用度**。把产品的时间分为**工作时间**及**不能工作时间**,不能工作是由于出了故障需要维修造成的。不能工作时间包括维修时间  $M$  及延误时间  $t_d$  即由于保障资源补给或管理原因未能及时对产品进行维修所延误的时间。与平均修复时间一样可定义**平均延误时间 MDT** (Mean Delay Time)。在理想情况下,  $MDT = 0$ , 则产品在全部时间中可以工作时间比率即  $MTBF/(MTBF + MTTR)$ , 这即理想情况下的产品可用性,叫**固有可用性**  $A_i$ , 即

$$A_i = MTBF/(MTBF + MTTR)$$

一般情况下使用时,  $MDT \neq 0$ , 此时叫**使用可用性**  $A_0$

$$A_0 = MTBF/(MTBF + MTTR + MDT)$$

由此可见:产品的可用性取决于可靠性、维修性参数及  $MDT$ , 如果  $MDT$  过大, 可用性就不大, 从而在维修性工程中技术保障问题愈来愈重要。

产品的设计特性和计划的保障资源能满足使用要求的能力叫产品的“**保障性**”(Supportability)。 $MDT$  就是一种保障性参数, 保障性已经从维修性工程中独立出来成为保障性工程。可靠性本来是质量的一个重要组成部分, 可靠性工程已独立于质量工程。我们现在谈**可靠性**指的不仅是狭义的可靠性, 而且包括**维修性及保障性**, 即 **RMS** (Reliability—Maintainability—Supportability)。

产品的出现伤害或损坏的风险限制在可接收的水平之内的特性叫产品的“**安全性**”(safety), 也即产品不发生恶性事故的能力。不安全首先是出现故障, 因此安全性与可靠性密切相关, 但安全性还有一个后果防护问题, 所以也独立发展成为一门安全性工程。广义的**可靠性**也包括**安全性**, 即 **RMSS**。

产品在给定的内在条件下, 满足给定的定量特性要求的自身能力叫产品的**固有能力**(capability)  $C$ 。传统的产品性能就属于固有能力, 固有能力参数指标也是一个体系, 不同产品可能有较大差别。例如, 炮弹的固有能力包括: 射程、系统误差、密集度、杀伤威力、…等等, 与电视机的固有能力完全不同。

产品在规定的条件下满足给定定量特征和服务要求的能力叫产品的**效能**(effectiveness)  $E$ 。它是产品可用性、可信性及固有能力的综合反映。一种效能的简单表达式为

$$E = ADC。$$

产品从提出任务起到退出服务的整个寿命叫**产品寿命周期**。一般情况分为: 论证阶段、方案设计阶段、研制阶段、生产阶段、使用阶段。使用阶段结束就是退出服务。

在产品寿命周期或有效寿命期内, 在产品的设计、研究和研制、投资、使用、维修及产品保障种种发生的或可能发生的一切直接的、间接的、派生的或非派生的与它有关费用的总和叫**寿命周期费用**(Life Cycle Cost, 简称 **LCC**)。LCC 与产品的性

能、可信性、进度是领导部门对产品进行决策时予以权衡的四个首要因素。效能—费用比简称**效费比**,是领导部门从几个产品的可行方案中进行优选的重要依据。

### 15.1.2 产品策划

组织根据市场的需求,选定研制、开发生产一种产品,满足社会的需要,又能给组织带来适当的利润,这叫市场策划。市场策划的基本原则是:“需求牵引,系统工程,预防为主,一次成功”。

1. “需求牵引”是以顾客的需求为中心。只有满足顾客的需求,产品才能占有较大的市场份额,取得较大利润。

2. “系统工程”的含义是按系统工程的指导思想,组织开发产品。其主要内容为:

(1) 根据科学规律,按阶段进行产品的研制、开发、生产。一般情况下顺序划分为如下阶段:项目论证(即可行性论证)阶段、系统设计阶段、开发阶段、试生产阶段、小批量及批量生产阶段。不要超越阶段开发。

(2) 拟定一个以上的可行方案,分析可达到的性能、可信性、需要的进度、成本(包括可生产性),通过综合权衡,选定最佳方案。

(3) 把传统的以“性能为中心”的串行设计思想,转到以“效能为中心”的,把性能、可信性、进度、成本(包括可生产性)一起设计到产品中去的并行设计思想。一开始就组织综合产品开发小组(IPDT),进行并行设计。

(4) 进行规范化的研制、开发、生产。产品是一个大过程的输出,这个大过程是由若干小过程构成的过程网络。每个过程规定其输入、输出,从输入转化到输出应遵从的流程、技术及管理规范,如何验证输出满足输入要求的办法,对过程的监督及评审(包括定量评价),以及技术状态管理,确定过程间的顺序及接口。

(5) 在系统设计中,把产品的性能、可信性、进度、成本适当地分配给产品工作分解结构(WBS work breakdown structure)的下一层次或下一二层次的单元。按此要求,进行开发、设计、测试及综合联调。

(6) 科学地计划管理,及时掌握研制、开发、生产的进度及资源支出,组织设计评审,控制关键节点的设计质量。必要时经规定的批准手续予以调整。

(7) 严格进行**技术状态管理**(configuration management)。技术状态是指在技术文件中规定的、在产品中达到的产品功能特性和物理特性。

(8) 建立产品的质量信息系统。及时收集、汇总、分析、研制、开发、生产及现场的产品质量信息。包括内外顾客的满意度及投诉信息,归纳后转发给有关责任部门,及时改进处理,并跟踪解决。

(9) 建立以团队精神为中心的企业文化。各部门各项工作人员都以组织的整体利益大局为重,主动合作共事。

3. “预防为主”的含义是:尽可能在研制、开发、生产、售后服务的早期阶段,发现及查出产品及过程的缺陷,以便及早采取措施予以解决。有资料表明:缺陷在晚一个阶段发现、解决,所消耗的费用大体上会增加一个数量级。其主要内容有:

(1) 抓可行性论证的质量。可行性论证在技术(性能及可信性)上的可行是:产品所需的关键技术是已成熟的,或在预研中有把握在规定时期内取得的。在进度上的可行是:按科学的阶段开发,留有适当的周转余量,在规定周期内是可完成的。不要倒排进度。倒排进度必然导致仓促从事,留下不少缺陷,最后还是要回过头来补救,欲速不达。反而成为胡子工程。在成本上可行是:实事求是地估计固定成本及变动成本,为了要争取立项,对成本估计不足是开发的大忌。其后果首先是变成钓鱼工程,经费一次次追加,其后果是成本高昂,没有市场。

(2) 抓系统分析的质量。系统分析是把产品的技术需求分配到组成部分。技术需求应该全面,不应有漏项。一般情况下,技术需求包括:性能需求,环境需求(包括:温度、湿度范围、振动、冲击范围、盐雾、霉菌、沙尘即三防需求等等),可靠性需求(包括 MTBF 的规定值、使用寿命、在最高容许环境温度下,设备内部最高温度点的温度上限值的热设计需求,等等),维修性需求(包括 MTTR,平均维修工时,维修级别设计及各维修级别的资源需求等),保障性需求(包括培训、备件供应等),测试性需求(包括生产线测试、现场测试、返修测试及 BIT 等),电磁兼容性(EMC)需求(包括 ESD 即静电放电抗扰性、浪涌及雷击抗扰性、电源波动瞬间跌落抗扰性、无线发射干扰需求,射频电磁场辐射抗扰性等)。软件可靠性测试性需求,安全性需求等等,不要有漏项。系统分析还要把诸功能按轻重缓急作 ABC 分析,安排计划。

(3) 严格控制元器件、原材料、外购件、外协件的质量。要对供应商的质量保证体系严格考核,不只是从质量手册等文件上考核,更重要的是文件上规定的是否在实践中真做到了。不少单位只用几天时间进行认证就予通过,往往是不深入的,表面通过认证而产品质量仍不能保证。要掌握供应商批产品的一致性及稳定性是否合格,其实际的平均质量水平(AQL)能否满足组织系统设计的不合格率要求(注意:自己主观确定的 AQL 值不能保证接收的批产品不合格率是确定的值)。对外购、外协件的质量严格要求及严格检验,必要时派出专门的检验人员在关键外购件生产时监督生产。

(4) 在设计中,进行故障模式影响分析(FMEA)(包括设计 FMEA、生产工艺 FMEA、售后服务 FMEA...等)及故障树分析(FTA),尽早发现潜在缺陷及故障,提前解决。

(5) 严格控制设计的过程质量。(例如软件一定要按软件工程开发。软件开发的管理尽可能按美国军方委托软件工程研究所(SEI)起草的“软件能力成熟度模型 CMM”的五个等级规定,改进过程,上等级。ISO 即将以 CMM 为基础发布国际标准;软件要有较充分的测试;...等等),严格控制生产过程的人、机、料、法、环质量,包括 5S(以五个日文汉字的第一个发音音符为名:整理 seiri、整顿 seiton、清扫 seiso、清洁 seiketsu、素养 shitsuke)管理等等。

4. “一次成功”的含义是:进行工作要考虑周到,尽可能减少缺陷与疏漏,以免以后返工。其主要内容有:(1) 把传统的先出性能样机,解决有无问题,转为:从研



制开发起,就把性能、可信性、成本(包括可生产性)、进度一起设计到产品中去的并行设计。

(2) 该做的工作不要漏项(美军的 WBS 标准可供参考)。

(3) 进行可靠性试验及高效应力摸底试验(即在不产生新的失效机理条件下,加大应力,使产品设计的薄弱环节得以较快暴露,加以改进。当应力已超过实际应力较多还不出现故障时,说明设计已有较大余量,可靠性就相当高了)。

(4) 进行风险(risk)分析。特别是市场风险及从研制开发到生产的转移中的风险。

(5) 设计控制(design control)是控制设计开发流程的质量,有效及高效率地得到产品。用系统工程的思想策划设计开发流程。整个管理体系(包括市场及营销、研制开发、生产、售后服务、人力资源管理、信息管理、财务管理等体系)要协同运作。技术条件(包括工作场地、库房、研制开发设备、生产及维修的人、机、料、法、环等等)的适当配置。有效的计划及对关键过程的监督(例如使用统筹法 PERT 及 CPM(critical path method,关键路法)技术),根据过程运作中的缺陷及质量效能的评价、度量,改进及优化过程。形成一个精练的、设计与开发周期短、费用低、风险低的通过质量信息(特别是顾客的投诉及意见)反馈,持续改进、有效运作的管理体系。

低成本是开发研制过程的一个重要目标。在设计开发一启动,就要对产品的费用进行预估;并随设计开发的进展对成本不断细化及优化。产品的费用有一个目标值。对好的设计,到设计定型时,实际费用应不超过目标值的 10%。要根据费用目标值进行设计开发,这叫“按费用设计”(Design To Cost, DTC)。美国国防部在 1995 年提出:在研制、开发中,费用应作为独立变量(Cost Asan Independent Variable CAIV)。于 1996 年 3 月发布的 DOD5000-2-R 文件正式明确。

在竞争激烈的市场中,除新产品有所谓“撇奶油”价格外。一般产品的利润并不太高。去掉增值税、所得税等之后的纯利润就算 10% 吧。则节省成本 100 元就相当于多增产 1000 元。因此从元器件、原材料起就要精打细算。首先是“货比三家”,采用独家供货往往价高且不易保证。因此,在设计时,就应考虑元器件原材料的通用性(不能采用例如:74 系列 IC 只能用 TI 产品,不能采用其它公司同样型号的产品)。另外,对元器件要关心新器件的发展。半导体器件的发展可以说是日新月异,IC 的芯片集成度愈来愈高。几年前  $0.5\mu$  已算很先进的产品,现在  $0.25\mu$  的芯片已大量上市,芯片集成度高了,成本就低了。几年后,同样功能的新芯片就比旧的降低价格 2-3 倍,及时以新代旧(设计上略作修改)就可大幅度节省成本。

降低成本要开展价值分析(Value Analysis, VA),也称价值工程(Value Engineering, VE)。这是一种对产品/服务的系统性功能分析,以价值作为功能与成本间进行权衡优化的准则。其目的是:提出建议采取措施改进产品,使产品具有同样功能而成本降低。这是二次大战后,美国通用电气公司的 L.D. Miles 创建的学科。Miles 总结了十二条指导原则:其中最主要的是“要打破框框,敢于创新”(例如用电子表

代机械表)及“我是否这样花自己的钱?”。聚沙成塔,即使改进一米导线设计只省几角钱,大批量生产时就可能省若干万元。成本意识不强的人不能当领导。

要提高设计开发效率。其中一种重要的手段是利用计算机辅助开发设计、管理、制造。例如:产品有若干部分组成,每个组成部分的设计特性都有容许公差限,上公差与下公差之差,叫变异(variation)。分析产品特性的变异如何取决于组成部分特性的变异,这叫“容差分析”。如何减小产品特性的变异是一个重要的设计问题。美国国防部在军工企业推广“降低变异计划”(VRP, Variation Reduction Program)。变异分析一般要靠设计软件,例如 SPICE。但当产品参数已定。变异能减少的程度也有限了。如果在产品参数设计时,就考虑到让其可能的变异尽可能小,则达到的变异减少就往往很可观。用正交试验可以有助于较快进行产品参数的降低变异的优化设计,这就是“田口玄一方法”。除此之外,华罗庚推广的优选法、梯度法等,都有助于参数的优选。

软件的思维逻辑化及自动化编程都有明显减低差错、减少软件缺陷的功能。对若干典型的信息交换流程而言,SDL(软件描述语言)是一种有效的开发手段;应用面更广一些的有 UML(标准建模语言),它是一种可视化面向对象的建模技术。

其它,大如计算机辅助的 PCB 设计软件 cadence,热设计软件  $\beta$ -soft, EMC 设计软件...,小如散热器设计软件等,都可以提高开发效率,减少差错。但一个组织内,最好统一软件,以便于交流及引用。

### 15.1.3 产品寿命周期各阶段的可靠性工作

在产品的论证阶段就应该提出产品的可靠性(与维修性,下同)的定量、定性要求,纳入产品的“技术指标”。产品技术指标的论证报告包括:可靠性指标的依据及科学性、可行性分析;国内外同类产品的可靠性分析,寿命剖面、任务剖面及其它约束条件,指标考核方案的设想,可靠性经费需求分析。

在产品的方案阶段应该确定产品可靠性方案和相应的保证措施,列入产品的“研制任务书”。产品研制方案的论证报告包括:达到可靠性指标必须采取的技术方案分析、相应的可靠性工作项目,可靠性经费预算的依据。订购方在合同的“工作说明书”中,应明确“可靠性大纲要求”。

在产品的工程研制阶段应该实施可靠性大纲,制定可靠性计划,明确可靠性工作项目、任务、进度、保证条件资源等列入产品研制计划。设计人员应根据选定的可靠性计划规范、标识,指定的可靠性设计准则以“一次成功、预防为主,系统工程、实行法治”的指导思想,把可靠性设计到产品中去。

在产品定型阶段。定型试验中应包括可靠性鉴定试验(维修性验证试验)。

在产品的生产阶段应该保证产品在批生产中的可靠性、批生产应有可靠性验收要求。生产部门应全面实施产品质量保证大纲,其质量保证体系应切实有效地保证质量及其可靠性。要重点跟踪及控制关键件、重要件及关键工序。在使用过程中,发现产品的缺陷需要对零部件、加工工序、工艺装备等技术状态作更改时。

必须分析其对可靠性的影响,并履行按技术状态更改文件规定的审批手续。现场使用的质量可靠性信息应按规定由产品的质量可靠性信息系统收集、分析及由有关领导或部门处理。

按计划规定进行各种评审时,应包括(或专门组织)可靠性内容的评审,评审的内容细节见可靠性设计评审有关标准所附的审核表。

## 15.2 可靠性管理及设计

### 15.2.1 可靠性大纲及可靠性计划

为使人们确信产品满足给定的可靠性(广义的)要求所必须进行的、有计划、有组织、有系统的全部活动叫**可靠性保证**。为了保证产品满足规定的可靠性要求而制定的一套文件叫“**可靠性保证大纲**”。它包括按进度安排的必要的可靠性组织机构及其职责、要求实施的工作项目、工作程序和需要的资源等,简称“**可靠性大纲**”。产品可靠性大纲的最终目标是为产品的效能,减少对维修人力和后勤保障的要求,提供管理信息。提高费用效益比。产品使用方应向承制方提出具体的产品可靠性保证大纲要求、包括可靠性定性、定量要求,试验项目要求和基本的工作项目要求。这些要求经双方商定后,纳入合同或研制任务书。承制方则应根据合同或任务书要求,制定具体产品的可靠性大纲。

产品可靠性大纲包括:可靠性管理、可靠性工程和可靠性核计诸项目。**可靠性管理**是确定和满足产品可靠性要求所必须进行的一系列组织、计划、协调、监督等工作。**可靠性工程**是为了达到产品可靠性要求而进行的有关设计、试验和生产等一系列工作。其重点是预防、发现和纠正设计、工艺、元器件、原材料等方面的缺陷。要重视在研制早期对可靠性工程的投资,以免后期暴露缺陷追加更多的费用,甚至延误进度。**可靠性核计**是为确定和分配产品的定量可靠性要求而进行的预计和评估产品可靠性量值的一系列计算工作。这些工作项目应统一纳入产品的设计、试验和生产计划,保证必需的资源、进度、管理措施,密切协调,全面完成,产品可靠性大纲必须从一开始就与产品的性能、进度、费用等工作综合权衡,以达到最佳费用效益比。

根据可靠性保证大纲的要求作出具体安排的文件叫**可靠性计划**。为保证可靠性大纲的实施,承制方应制定可靠性计划,明确详细的工作任务、进度、保障条件、评审点及要求等,并列入产品研制计划。主要内容为:

- (1) 实施产品可靠性大纲的指导思想。
- (2) 各阶段的可靠性工作项目的实施细则,如工作项目要求,工作内容,完成状况,检查方法等等。
- (3) 负责可靠性工作的组织机构,人员及其职责。
- (4) 可靠性工作进度表(或 PERT 网路图)。
- (5) 可靠性大纲的评审点。

(6) 可靠性信息的收集、传递、分析、处理、使用的程序及办法。承制方应按计划对可靠性大纲规定的工作项目进行评审。以确保可靠性工作按预定计划进行,并保证产品的可靠性达到定量要求。承制方要建立“故障报告、分析和纠正措施系统(FRACAS)”。产品出现故障,进行分析后,为消除故障采取的纠正措施包括:改正设计缺陷,对设计、制造工艺、程序或材料进行变更。这些变更不能轻率进行。必须经确认及成文。承制方要组织“故障审查机构”,由设计、生产以及可靠性(包括维修性、保障性、安全性)质量保证等方面的人员参加(使用方必要时亦可派代表参加),来审查重大故障、故障趋势,采取有效纠正措施,并记录在案。

承制方对转承制方的可靠性应进行监督与控制,必要时采取相应的措施。

### 15.2.2 可靠性目标

可靠性目标要在项目早期确定。它包括定量要求及定性要求,它们是从产品的使用要求、主要是效能及全寿命周期费用要求派生出来的,并直接保证产品的效能及全寿命费用达到要求。定量的可靠性指标是一个完整的指标体系,它涉及到产品的所有要素,包括保障及培训设备在内。例如,它涉及任务可靠性(如产品可靠度等等)及后勤可靠性(如产品的基本可靠性、维修要求,供应保障要求),涉及保养、预防维修、修复性维修(对武器还有战场维修)的允许延误停机时间、要求的人力、技术素质,测试设备及诊断能力等等。

产品使用的定量可靠性要求应提出目标值与门限值。目标值在投入使用时能实际达到,门限值在使用时可以接受,但不能再降低。所以,实质上门限值是一种“极限质量”的概念。在研制合同中,使用的目标值应转换成研制合同的规定值,使用的门限值应转换成研制合同的最低可接收值。最低可接收值是制定产品可靠性鉴定试验方案的依据。

仅有定量指标要求而无适当的考核鉴定方案是没有意义的。为此,在考虑定量要求的同时应有考核方案设想、包括可行的试验及需要的资源。产品的合同或研制任务书应包括定量、定性的可靠性要求,可靠性指标考核验证方法及相应条件或安排及资源。在某些情况下,在鉴定试验时没有足够多的产品,此时可以用低层次的(分系统的、分机的…等等)可靠性试验结果或工程分析结果配合产品的协调性试验对产品可靠性进行评估。但最终还需使用中的实际结果来验证。在某些情况下,使用方及承制方同意时,用成功的可靠性增长试验可以代替可靠性鉴定试验。

在通过鉴定试验时。产品达到了可靠性的最低可接收值,但不一定已达到了规定值。一般情况是,还需要一段时间给予经费、人力、物力的支持,使产品可靠性尽快增长到规定值。

### 15.2.3 可靠性设计与可靠性分配

可靠性分配、预计和设计分析是不断进行反复评定和改进设计过程的一部分。首先要拟定恰当的包括功能和环境条件在内的任务剖面,作为可靠性设计的

依据,其工作内容是:

(1) 确定功能及环境条件(如:开机/关机、高电压/低电压,高低温循环,振动等)的包络线。

(2) 提供包络线内典型活动的时间序列,(即在某一段时间区间内,有什么样的功能状态及环境条件。

(3) 确定不同情况(如:贮存、维修、运输、使用等等)下的约束条件。

一个典型的任务剖面图见图 15.2-1。

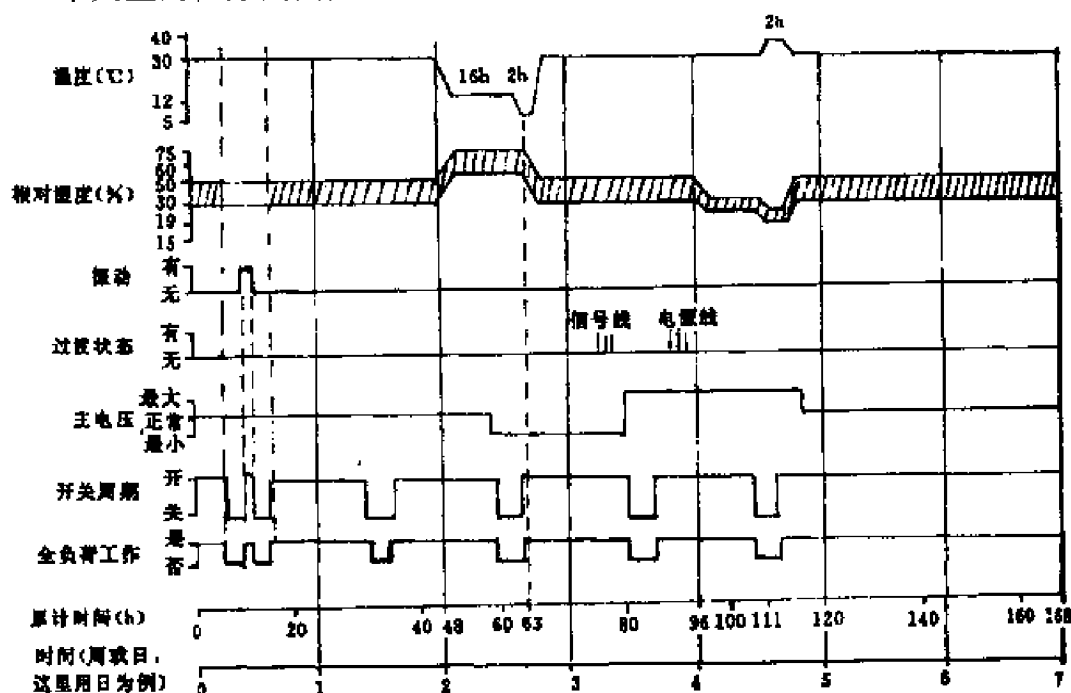


图 15.2-1 任务剖面

为了把产品的可靠性定量要求按照给定的准则分配给各组成部分而进行的工作叫**可靠性分配**。一般先建立产品的可靠性框图,即对于复杂产品的一个或一个以上的功能模式,用方框表示的各组成部分的故障或它们的组合如何导致产品故障的逻辑图。根据框图,可以得到产品各组成部分可靠性与产品可靠性之间的关系,即数学模型,叫可靠性模型。它是分配及预计或估算产品可靠性的基础。

如果产品 A 出故障的可能性与产品 B 出故障的可能性无关,则 A、B 叫可靠性互相独立。设一个产品有  $n$  个组成部分,设诸组成成分是可靠性互相独立的、设诸组成成分中只要有一个不可靠时,产品就不可靠,则产品称为是由这  $n$  个组成部分构成的**可靠性串联系统**。其可靠性框图参见图 15.2-2:

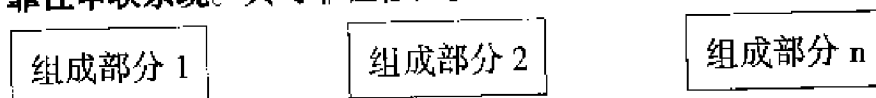


图 15.2-2 可靠性串联系统

设第  $i$  个组成部分的可靠性为  $q_i$ ,不可靠性为  $p_i$ , ( $p_i = 1 - q_i$ ),产品的可靠性为  $q$ ,

不可靠性为  $p(p=1-q)$ , 则

$$q = q_1 q_2 \cdots q_n = \prod_{i=1}^n q_i$$

$$p = 1 - q = 1 - (1 - p_1)(1 - p_2) \cdots (1 - p_n) \approx p_1 + p_2 + \cdots + p_n$$

可见,  $n$  愈大, 产品的不可靠性  $p$  一般就愈大。可靠性  $q$  就愈低。

必须根据组成部分可靠性的以往数据, 薄弱环节, 提高可靠性到一定水平所需要的资源进行综合权衡后, 才能协调出合理的分配值。因此, 可靠性分配是一个工程而不是数学问题。

以电子为主的产品可靠性可以通过电子产品寿命的指数分布规则转化为故障率。设产品的任务周期为  $T$ , 第  $i$  个组成部分的寿命  $T_i$  为指数分布, 故障率为  $\lambda_i$ , 则第  $i$  个组成部分的可靠性  $q_i = e^{-\lambda_i T}$ 。于是  $q = q_1 q_2 \cdots q_n = e^{-\lambda_1 T} \cdot e^{-\lambda_2 T} \cdots e^{-\lambda_n T} = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \cdots + \lambda_n)T}$ , 即产品的寿命亦为指数分布, 其故障率为  $\lambda$ ,

$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \cdots + \lambda_n = \sum_{i=1}^n \lambda_i, q = e^{-\lambda T}.$$

于是可靠性分配也等价于故障率的分配。

由于对新设计或需要改进部分分配的可靠性不一定能必定实现, 并且还可能有一些分配时未想到的不可靠因素, 因此要留有一些余量。故障率分配时的余裕因子  $\alpha$  一般取 20% 到 100%。

[例 15.2-1] 某警戒雷达有六个组成部分, 其故障率数据如表 15.2-1 所示:

表 15.2-1 某雷达故障率数据

组成部分号	内 容	故障率符号	值( /h)
1	电源	$\lambda_1$	0.0006797
2	发射机	$\lambda_2$	0.0033607
3	接收机	$\lambda_3$	0.005204
4	天线系统	$\lambda_4$	0.0003448
5	伺服机构	$\lambda_5$	0.0010869
6	显示系统	$\lambda_6$	0.001333

总故障率  $\lambda = 0.0226092/h$ 。今要求新警戒雷达的  $\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5 + \lambda_6 = 0.005/h$ , 比老雷达差不多降低四、五倍。问如何作可靠性分配?

[解] 可靠性分配不能采取平均分配的简单数学方法, 要具体情况具体分析。例如, 老雷达的天线系统的故障率只有  $0.0003448/h$ , 已经比较低, 即使花很大力气把故障率降低四、五倍, 对降低整个雷达故障率方面起不了太大作用, 从费效比来看是不值得的。仿此, 决定天线系统、伺服机构、电源三个组成部分沿用老雷达的设计产品, 这三个组成部分故障率总和为

$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_4 + \lambda_5 = 0.0021114/h$$

要求新雷达的  $\lambda = 0.005/h$ , 扣除这三个不变部分, 还剩下

$$\lambda - (\lambda_1 + \lambda_4 + \lambda_5) = 0.005/h - 0.0021114/h = 0.0028886/h$$

留下  $\alpha = 30\%$  的余裕因子,即可予分配的故障率:

$$\lambda_1 = 0.0028886/h(1 + 30\%) = 0.002222/h$$

根据发射机( $\lambda_2$ )、接收机( $\lambda_3$ )、显示系统( $\lambda_6$ )的复杂性、环境因素、标准化因素、维修性因素、元器件材料可靠性因素,给组成部分以不同的权  $K_2$ 、 $K_3$ 、 $K_6$ ,愈难实现的权值愈大,  $\sum K_i = 1$ 。

设通过评定(通过专家评议),得到:  $K_2 = 0.84$ 、 $K_3 = 0.11$ 、 $K_6 = 0.05$ 。

于是,

$$\text{分配给发射机的 } \lambda_2^* = K_2 \lambda_1 = 0.84 \times 0.002222/h = 0.001886/h$$

$$\text{分配给接收机的 } \lambda_3^* = K_3 \lambda_1 = 0.11 \times 0.002222/h = 0.000246/h$$

$$\text{分配给显示系统的 } \lambda_6^* = K_6 \lambda_1 = 0.05 \times 0.002222/h = 0.000110/h$$

#### 15.2.4 可靠性预计

预计(prediction)是获得某个量的预计值的计算过程。**可靠性预计**(reliability prediction)是为了估计产品在给定的工作条件下的可靠性而进行的工作。估计时,应考虑到产品各组成部分的可靠性、设计水平、工艺条件及系统协调性等因素。

当设计早期,一般采用计数可靠性预计法。

设产品由  $m$  种零、组、部件组成,第  $i$  种部件的用量为  $n_i$ ,在产品的工作环境下,其故障率为  $\lambda_i$ ,则产品的总故障  $\lambda$  的预计为:

$$\lambda = \sum_{i=1}^m n_i \lambda_i$$

如部件是电子元器件,设第  $i$  种电子元器件的质量等级相应的质量系数为  $\pi_{i0}$ ,设工作环境下的通用故障率为  $\lambda_g$ ,则:

$$\lambda_i = \lambda_g \pi_{i0}$$

[例 15.2-2]: 某产品选用的元器件种类、数量、质量等级、价格如表 15.2-2 所示,工作环境为地面固定。

表 15.2-2 某产品元器件预计表

元器件种类及参数	数量 $n$	$\pi_{i0}$	$\lambda_g (10^{-6}/h)$	$n(\lambda_g \pi_{i0}) (10^{-6})$	价格 (元)
CMOS 数字电路 10 门	3	10	0.024	0.72	3 × 3
CMOS 数字电路 101 ~ 1000 门	2	10	0.074	1.48	10 × 2
金属膜电阻	8	4	0.035	1.12	0.1 × 8
铝电解电容	16	4	0.47	30.08	0.2 × 16
陶瓷电容	20	4	0.18	14.4	0.16 × 20
继电器	4	4	1.87	29.92	8 × 4
双面印制板 (200 个金属化孔)	1	2.5	0.008	0.02	50 × 1

于是算得

$$\lambda = \sum_{i=1}^{n_i} \lambda_i = 77.74$$

元器件成本  $C = 118.2$  元。参见“质量与可靠性”98年第3期,侯利:用可靠性预计优化产品可靠性设计

一个简便的在系统设计阶段可用的初估公式为:

$$\lambda_s = \lambda_0 k_1 k_2 k_3 k_4 k_5 N$$

其中  $\lambda_s$  为系统故障率预计,  $\lambda_0$  为元器件的平均基本故障率,  $k_1$  为降额设计的效果因子,  $k_2$  为环境应力筛选因子,  $k_3$  为环境因子,  $k_4$  为机械结构因子,  $k_5$  为制造工艺因子,  $N$  为系统的元器件总个数。

在良好的降额设计及热设计条件下,有经验的可靠性人员可以给出较近似的预估。

[例 15.2-3] 设  $\lambda_0 = 10^{-7}$ ,  $k_1 = 10^{-1}$ ,  $k_2 = 0.5$ ,  $k_3 = 5$ ,  $k_4 = 1.5$ ,  $k_5 = 2$ ,

$N = 400$ , 则产品的预计故障率为

$$\lambda_s = 10^{-7} \times 10^{-1} \times 0.5 \times 5 \times 1.5 \times 2 \times 400 = 3 \times 10^{-5}$$

即  $MTBF_s = 1/\lambda_s = 33000h$

[注]此简便方法是王锡吉提供的。

到产品的详细设计阶段,已有元器件清单及元器件的应力(如温度、电压……)数据,此时可用元器件应力分析法对电子元器件从而对产品的可靠性作出较精确的预计。进口元器件可查阅 MIL-HDBK-217F, 国产元器件可查阅 GJB299-B, 非工作状态下的预计由原电子部五所相家铨等编出,已作为军标发布。某些企业,有更适应于自己产品的预计软件,例如 Bell 就有这样专利。

必须指出,预计毕竟是预计,实际情况中有不少因素不可能全部考虑进去,所以预计与投入市场的实际产品故障率相比,相差在一倍以内算是效果很好的。但预计用在方案间的对比从而进行优选以及发现薄弱环节的作用是明显的。以计数可靠性预计的例子为例,可见产品的主要故障来自铝电解电容器及继电器,它们是薄弱环节,改进它们的故障率,可使产品可靠性得以提高。对可靠性预计提出过份精确的要求是不现实的。

可靠性设计还与成本等密切相关。在计数可靠性预计例 15.2-2 中,如果规定约束条件为成本  $C \leq 150$  元,故障率  $\lambda \leq 25 \times 10^{-6}/h$ 。则例中  $\lambda$  未达到要求,  $C$  超过了要求,能不能把各个元器件的故障率统统缩小三倍来分配呢? 不行! 因为没有这种适当的元器件。实际的作法是用不同方案得出不同的故障率及成本的方案来决策。

例如,(方案一)提高元器件质量等级:

电阻由 C 级  $\rightarrow$  B<sub>2</sub> 级,质量系数  $\pi_0$  从 4  $\rightarrow$  1,成本从 0.1 元  $\rightarrow$  0.2 元;

铝电解电容由 C 级  $\rightarrow$  B<sub>2</sub> 级,质量系数  $\pi_0$  从 4  $\rightarrow$  1,成本从 0.2 元  $\rightarrow$  0.4 元;

陶瓷电容由 C 级  $\rightarrow$  B<sub>2</sub> 级,质量系数  $\pi_0$  从 4  $\rightarrow$  1,成本从 0.16 元  $\rightarrow$  0.3 元;



继电器由 B2 级→B<sub>1</sub> 级,质量系数  $\pi_0$  从 4→1.5,成本从 8 元→20 元;

IC 不变;

此时,总故障率  $\lambda = 24.84 \times 10^{-6}/h$ ,成本  $C = 173$  元,成本超差。

(方案二)改选故障率低的元器件:

铝电解电容→钽电解电容,  $\lambda_c$  从 0.47→0.17( $10^{-6}/h$ ),成本从 0.2→0.4 元;

陶瓷电容→进口陶瓷电容,  $\lambda_c$  从 0.18→0.017( $10^{-6}/h$ ),成本从 0.16→0.25 元;

继电器→进口继电器,  $\lambda_g$  从 1.87→0.28( $10^{-6}/h$ ),成本从 0.8→12 元;

IC 不变

此时,总故障率  $\lambda = 22.448(10^{-6}/h)$ ,成本  $C = 139.2$  元,可满足要求。

### 15.2.5 可靠性设计—冗余技术

设一个产品由  $n$  个组成部分组成,其中任一个组成部分不出故障就可以使产品不出故障,只有所有组成部分都出故障时才使产品出故障,则这个产品叫做由这  $n$  个组成部分构成的**可靠性并联系统**。它的可靠性模型参见图 15.2-3。设第  $i$  个组成部分的可靠性为  $q_i$ ,不可靠性  $p_i = 1 - q_i$ ,所有组成部分都不可靠的概率为

$(1 - q_1)(1 - q_2) \cdots (1 - q_n) = \prod_{i=1}^n (1 - q_i)$ ,于是产品可靠性  $q$  为

$$q = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - q_i) = 1 - (1 - q_1)(1 - q_2) \cdots (1 - q_n) = 1 - p_1 p_2 \cdots p_n$$

当  $n$  个组成部分中有一个在正常工作时,其它组成部分的工作实质上是多余的,从而那些组成部分叫“冗余”组成部分。这就是“冗余技术”名称的来源。如果当一个组成部分工作时,其它组成部分亦工作,这叫“工作冗余”,原名**热储备**。如果当一个组成部分工作时,其它组成部分不工作;当工作的组成部分出故障时,由其它组成部分一次递补,这叫**非工作冗余**,亦叫**冷储备**。

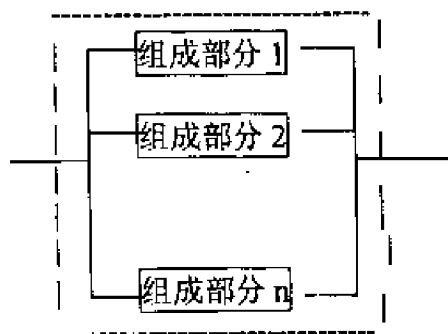


图 15.2-3 可靠性并联系统

[例 15.2—4] 飞机在正常情况下由自动导航系统导航,自动导航系统的可靠性为  $q_1 = 98\%$ 。由于自动导航系统较贵,故用一套较廉的半自动导航系统作冷

储备,其可靠性  $q_2 = 93\%$ 。必要时还可由驾驶员用目视操纵,其可靠性  $q_3 = 90\%$ 。这样飞机导航可靠性  $q$  就是由自动导航系统、半自动导航系统及目视操纵构成的并联系统的可靠性。试求飞机导航系统可靠性。

$$\begin{aligned} [\text{解}] \quad q &= 1 - \prod_{i=1}^3 (1 - q_i) = 1 - (1 - q_1)(1 - q_2)(1 - q_3) \\ &= 1 - (1 - 98\%)(1 - 93\%)(1 - 90\%) = 99.986\% \end{aligned}$$

可见,一般情况下,可靠性并联可以提高可靠性。

如果第  $i$  个组成部分的寿命为指数分布,则

$$\begin{aligned} q &= 1 - (1 - q_1)(1 - q_2) \cdots (1 - q_n) \\ \frac{1}{\lambda} = \theta &\approx \left( \frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} + \cdots + \frac{1}{\lambda_k} - \left( \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2} + \frac{1}{\lambda_2 + \lambda_3} + \cdots \right) + \cdots + (-1)^{k+1} / \right. \\ &\quad \left. \sum_{i=1}^k \lambda_i \right) \end{aligned}$$

可以算出:当  $\lambda_1 = \lambda_2$   $k=2$  时,此时产品的平均故障间隔时间

$$1/\lambda \approx \theta = 1.5/\lambda_1 = 1.5\theta_1$$

也即两个故障率为  $\lambda_1$  的并联单元的平均故障间隔时间为单个单元的 1.5 倍。必须注意这是无修复情况下的可靠性。如果采取一种 (BIT) 机内自动检测切换装置,当一工作单元工作时,另一单元备用。在工作单元出故障时,备用单元立即接替工作,系统仍不会失效。

维修时间  $M$  的分布往往很复杂,一种简单的假设是指数分布,概率密度函数为  $1 - \mu e^{-\mu t}$ , 这里,  $\mu$  为维修率,平均维修时间  $MTTR = 1/\mu$  ( $M$  的实际情况往往不是指数分布,但指数分布可以看成是初步近似)。

在指数故障及指数维修假设下,在两单元并联的冗余系统中,如一个单元工作时,另一单元亦在工作,这叫热备份;如一个单元在工作,另一单元不工作,待工作单元出故障时接替,这叫冷备份。当工作单元的故障率为  $\lambda$  时,上述由维修处送来新单元的系统的,

$$MTBF_s = \frac{3\lambda + \mu}{2\lambda^2}, \quad \text{热备份系统}$$

$$MTBF_s = \frac{2\lambda + \mu}{2\lambda^2}, \quad \text{冷备份系统}$$

例如设:  $1/\lambda = 1650\text{hr}$ ,  $1/\mu = 24\text{hr}$ , 则在热备份情况  $MTBF_s = 59194\text{hr} = 6.76$  年; 冷备份情况  $MTBF_s = 116738\text{hr} = 13.3$  年。

### 15.2.6 可靠性设计—降额设计

产品的应力  $Y$  一般是随机变量,产品的强度  $Z$  也是随机变量。当应力  $Y$  超过强度  $Z$  时,产品就出故障。所以产品的可靠性

$$q = P(Y < Z)$$

由于 Y 与 Z 都是随机变量,所以传统的作法是:使 Z 的均值  $\mu_z$  与 Y 的均值  $\mu_y$  之比高到一定程度以保证有较大的  $q_0$ 。  $f = \mu_z/\mu_y$ , 通常称为安全系数(此概念严格说是不完整的,因为 Z 及 Y 的标准偏差  $\sigma_z$ 、 $\sigma_y$  对可靠性亦有影响,当 f 不大时,更为明显),设计有一定的 f 以保证可靠性。

正因为如此,使产品的运行下应力低于额定应力,相当于让 f 有更大的值,可保证更为可靠。这叫“**降额设计**”。

以电容器为例,电容器的基本失效率:

$$\lambda_b = A \left[ \left( \frac{S}{N_s} \right)^H + 1 \right] \exp \left[ B \left( \frac{T + 273}{N_T} \right)^G \right]$$

这里  $s$  = 工作电压/额定电压,  $T$  为温度。

以纸和薄膜电容器为例,在额定温度  $65^\circ\text{C}$  下,  $A = 6.74 \times 10^{-3}$ ,  $B = 2.5$ ,  $N_T = 338$ ,  $G = 18$ ,  $N_s = 0.4$ ,  $H = 5$ , 可见当  $S = 1$ , 即以额定电压工作时  $\left( \frac{S}{N_s} \right)^H + 1 = 97.7$ ; 而如  $S = 0.6$ , 即降额为 60% 工作, 则  $\left( \frac{S}{N_s} \right)^H + 1 = 7.59$ , 故障率只有  $S = 1$  时的 7.77%, 从而降额使用纸与薄膜电容器可以大大降低故障率。纸和薄膜电容器的  $H = 5$ , 故在 20 世纪 50 年代曾经称之为电容器的五次幂法则。但后来发展的玻璃釉电容器的  $H = 4$ , 而陶瓷电容钽电容、铝电解电容的  $H = 3$ , 所以五次幂法则不成立。不过降电压使用效果是明显的。

由此,各种电子元件都规定了要降额使用以提高可靠性。美国 RADC 的“可靠性工程师手册”规定了三种情况的降额规定。工业品一般用 II 级或 III 级。

### 15.2.7 可靠性设计—热设计

一般情况下,环境温度升高对产品的可靠性是不利的。19 世纪时,化学家阿列尼荷斯从实践中总结出所谓阿列尼荷斯方程:

$$\frac{dx}{dt} = Ae^{-\triangle E/KK}$$

这里的 X 为特性值,  $\frac{dx}{dt}$  表示蜕化速度,  $\triangle E$  为激活能,  $K$  为绝对温度,  $k$  为波尔茨曼气体常数,  $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ 。由此可推得产品的寿命  $T$  满足:  $\ln T = A + B/K$ 。

在 20 世纪 60 年代,美国 Bell 公司的大量研究证明,电子元器件的寿命满足阿列尼荷斯方程。A、B 是与元器件的材料、工艺、设计...有关的参数。例如:温度对微电路的故障率的影响反映在温度系数  $\pi_T$  上。对硅器件:

$$\pi_T = 0.1 \exp \left[ \frac{-E_a}{8.617 \times 10^{-5} \left( \frac{1}{T_j + 273} - \frac{1}{298} \right)} \right]$$

式中,  $E_a$  是激活能(eV),不同品种电路的激活能不同。例如 TTL 为 0.4, 数字 MOS 为 0.35 等等。  $T_j$  是最坏情况下的结温。  $T_j = T_c + Q_{jc}P$ ,  $T_c$  是管壳温,  $Q_{jc}$  为热阻,  $P$

为最大功耗。因此管壳温度即外界直接影响微电路的故障率。

为此,需要对功率管等热源作适当的导热及散热设计。要考虑到热源元器件的布局。根据情况设计好风道,用自然风,强迫风降温等等,使在规定的工作温度下,设备内最高温升的温度不超过系统设计规定的上限值,这叫**热设计**。但是为散热而在机框上打孔要与 EMC 设计协调,孔大了对降低辐射与抗电磁干扰不利。

[注]电磁兼容性(EMC)设计是电子产品可靠性设计的重要内容,但 EMC 设计已成为一门专门科目,发展很快,由于篇幅所限,本章从略。

### 15.2.8 可靠性设计——FMEA

FMEA 是英文“Failure Mode Effect Analysis”的简写。

故障表现的形式叫“**故障模式**”(failure mode),如短路、开路、断裂、过渡耗损等。故障模式对产品的使用、功能或状态所导致的结果叫“**故障影响**”(failure effect)。故障影响一般分为局部的、高一层次的和最终影响三级。

直接导致故障或引起性能降低并进一步发展成故障的那些物理化学过程、设计缺陷、工艺缺陷、零件使用不当或其它过程等因素叫“**故障原因**”。引起故障(失效)的物理、化学和生物等变化的内在原因叫**故障(失效)机理**(failure mechanism)。在故障发生后,通过对产品及其结构、使用和技术分析等进行逻辑、系统的研究,以鉴别故障模式,确定故障原因和失效机理的过程叫“**故障分析**”(failure analysis)。故障模式所产生后果的严重程度叫**严酷度**(severity),严酷度要考虑到故障造成的最坏的潜在后果,并应根据最终可能出现的人员伤亡、系统损失或经济损失的程度来确定。严酷度通常划分为表 15.2-3 规定的 4 类。

表 15.2-3 严酷度分类表

类 别	后 果 说 明
I 类(灾难的)	人员死亡,系统损坏
II 类(致命的)	人员严重伤害,系统严重损坏
III 类(一般的)	人员轻度伤害,系统轻度损坏
IV 类(轻度的)	比 III 类轻,系统需要进行非计划维修

**故障模式与影响分析(FMEA)**是一种可靠性分析的重要定性方法,它是分析产品中每一个潜在的故障模式,确定其对产品所产生的故障影响,并把每一个潜在的故障模式按它的严酷度予以分类。根据故障分析,进一步针对故障原因和失效机理采取预防和纠正措施,从而提高产品的可靠性。

FMEA 的作用主要是:

- (1) 检验系统设计的正确性;
- (2) 确定故障模式的原因;
- (3) 系统可靠性及安全性评价;

- 进行 FMEA 工作的基本程序如下。

- 包括系统内部及接口功能,各约定层次的预期性能,系统的约束条件等。

- 这些规则包括:方法、故障定义、可接收的性能下降极限、分析级别等。

- 这种框图应该用图形表示出哪些产品(元器件、电路板、分系统等)对下一更高层次的组件的运行是需要的。

- (4) 确定产品及接口设备最低层次硬(软)件开始的所有潜在故障模式。确定它们对上一层、更高约定层次以及对产品的影响。

- (5) 这种分析应该从工作说明(SOW)中规定的最低层次开始(如:元器件、电路板、分系统等)。

- (6) 按最坏的潜在后果评估每一故障模式、确定其严酷度。

- (7) 如有可能,确定故障模式的检测方法。

- (8) 确定为排除故障或控制风险所需的设计更改或其它的补偿措施。

- (9) 以 FMEA 报告形式汇总报告。

FMEA 报告的典型表格如表 15.2-4 所示。

表 15.2-4 故障模式及影响分析

## 任务

审核人

共 页

分析人员

批准人

[illegible][illegible]

〔例 15.2-5〕 金属膜电阻器可以分为六个组成单元,参见图 15.2-4,其功能如下:

- (1) 载棍:它是金属膜电阻的基体;
- (2) 金属膜:电阻体(绕在载棍上);
- (3) 导电材料:包在金属膜端部,将金属膜电阻体与导电材料端的引线导通;
- (4) 保护涂料:保护金属膜电阻体。
- (5) 引线:与外部电路连结;
- (6) 外涂树脂:保护金属膜电阻,起防潮、防尘、防机械损害等作用。

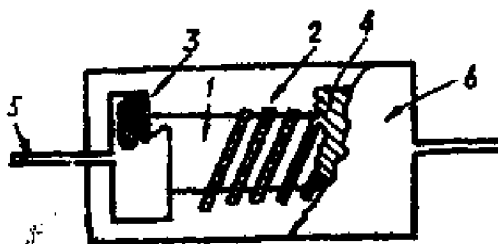


图 15.2-4 金属膜电阻器结构图

图中,1—载棍,2—金属膜,  
3—导电材料,4—保护涂料,  
5—引线,6—外涂树脂。

金属膜电阻器的六个基本组成单元的故障模式列举如下:

1. 载棍:破损,表面沾污;
2. 金属膜:断线,有瑕疵;
3. 导电材料:剥落,有杂质;
4. 保护涂料:金属膜切割沟间出现导电桥路,浓度不当;
5. 引线:引线折坏,焊接、嵌合不好,沾污;
6. 外涂树脂:气密性、外观不好。

选出金属膜电阻器的六个主要故障模式:

1. 载棍:破损;
2. 金属膜:断线,有瑕疵;
3. 导电材料:剥落;
4. 保护涂料:沟间出现导电桥路;
5. 引线:嵌合、焊接不好;
6. 外涂树脂:气密性不好。

分析故障模式的原因。分析结果见表 15.2-5。

表 15.2-5 故障模式原因分析表

编号	基本组成单元	功 能	故障模式	原 因	影 响	故障等级	建 议
1	载棍	电阻器	损坏	机械应力	开路	I	研究材料 加工工艺 研究切割 机工作不正常
2	金属膜	基体电阻体	断线	热应力	开路	I	
3	导电材料	导通引线及电阻体	有瑕疵	切割机不正常	出现不同程度杂音	II	
			剥落	金属膜不均匀	同程度杂音	II	
			桥路	切割机不正常	开路	II	
4	保护涂料	保护电阻	嵌合不好	膜厚不均匀	短路阻值降低	I	
5	引线	与外电路连结	焊接不好	涂料中有杂质	短路	I	研究材料质量 保证 研究嵌合工艺
6	外涂树脂	保护	气密性不好	加工不稳定	短路	II	
				焊接不稳定	组织变化	III	
				机械应力引起裂缝	组织有些变化		

与 FMEA 表格一起,还应列出下述清单:

(1) 严酷度为 I 类、II 类的单点故障(即该故障单独出现,就可使产品出故障)清单。

(2) 不能通过目视监测及 BIT 检测的故障清单。

(3) 改进措施建议清单。

危害性分析(Criticality Analysis),简称为 CA。

CA 是把 FMEA 中确定的每一项故障模式按其严重程度及其出现概率的综合影响加以分类。把 FMEA 与 CA 结合起来叫 **FMECA**。

FMEA 随使用对象的不同而又不同的附加名称。如设计 FMEA(d—FMEA),生产工艺 FMEA(P—FMEA),使用 FMEA(U—FMEA),服务 FMEA(S—FMEA)等。

一般对属于故障等级 I、II 的故障模式进行危害度分析。设某基本组成单元有若干种,如 j 种故障模式。在标准工作条件及环境条件下,该基本组成单元的故障率为  $\lambda_c$ ,它的第 n 种故障模式的出现概率是基本组成单元故障出现概率的一个百分数,记为  $\alpha$ 。于是第 n 种故障模式的基本故障率为  $\alpha\lambda_c$ 。当工作条件不标准时,故障率要乘以工作条件系数  $k_A$ ;当环境条件不标准时,故障率要乘以环境系数  $k_E$ 。另外,某故障模式出现时,产品不一定出现致命后果,令当某故障模式出现时,产品出现致命后果的概率为  $\beta$ ,则在完成一次任务的 t 时间内,产品由于某种故障模式出现导致致命后果的概率为 **危害度指数**。

$$C_r = \alpha\beta k_A k_E \lambda_c t$$

把这些分析列成表格即危害度分析表。

FMEA 的主要用途列举如下:

分析出可能导致严重后果的基本单元的故障模式。

(1) 对薄弱环节心中有数,以便采取补救措施,例如选用较可靠的元件、材料,采取冗余技术等。

(2) 揭示在生产、检测、测试等环节应予重点控制的环节。

(3) 对设计及布置产品的检测项目及检测点提供依据。

(4) 它是安全性设计中不可缺少的工序。

(5) 为维修提供基本资料。

我国已制定了 FMEA 及 FMECA 的国家标准,上级机关在检查设计部门工作时,要检查在产品设计中 FMEA 的进行情况。

### 15.2.9 元器件大纲

这里的元器件是广义的。既包括电子的、电气的,也包括机械的。为了控制标准元器件和非标准元器件的选用,需要制定**元器件大纲**。其主要内容为:

(1) 选用元器件、零部件的管理机构的组成、职责及权限。

(2) 元器件、零部件控制方案。

(3) 元器件、零部件优选手册(包括:名称、型号、规格、生产厂点、性能特性、适用范围、限制使用范围、质量等级等内容)。优选手册是强制性文件。如必须使用非手册内的元器件、零部件,则必须按规定程序提供足够的质量资料呈请批准,经审核,补入手册后才能使用。

(4) 对转承制方的元器件、零部件选用要求。

(5) 元器件的检验及筛选。

必须对采购来的元器件、零部件进行检验。

为选择具有一定特性的产品或剔除早期失效而进行的试验叫筛选试验。不论生产过程如何严格控制,总有一定百分比的元器件存在一些缺陷。如果把这些有缺陷的元器件装上设备,则工作不太久就会出故障,即所谓早期失效。因此对元器件在装机以前就应适当地施加一段时间的强应力,暴露这些具有缺陷的元器件,从而加以剔除。但一批元器件中被剔除的比率所谓筛选淘汰率如过高(例如超过 15%—20%),说明批产品的固有质量不高,一般不能选用。当必须使用进口元器件时,应优先选用经美军认证鉴定通过列入鉴定(合格)产品名单(QPL, Qualified Parts List)中的元器件(北京航空航天大学的可信性所已将 QPL 汉化,录成软盘,供购用查询)。

能影响元器件失效率的电、热、机械等负荷叫元器件受到的应力。对某一特定参数而言,元器件设计允许承受的应力值叫该参数的额定值。通常这些参数是:“温度、电压、电流”。元器件使用中承受的应力低于其设计的额定值叫降额,通常用应力比和环境温度表示。元器件的降额一般可提高可靠性,具体方法见 GJB《元



器件降额准则》。

### 15.2.10 可信性试验

产品的**可靠性试验**包括实验室可靠性试验及现场可靠性试验。**实验室可靠性试验**是在规定的受控条件下进行的,其工作环境可以模拟现场条件,也可比现场条件更为苛刻以加速暴露产品缺陷。**现场可靠性试验**则是在使用现场进行的。

按可靠性试验的性质分,主要有(1)**可靠性工程试验**。包括环境应力筛选及可靠性增长试验,近年又发展了高效应力试验。其目的在于发现产品可靠性薄弱环节加以改进。(2)**可靠性统计试验**。包括可靠性验证试验(又分鉴定试验及验收试验)及可靠性测定试验。目的是验证产品是否达到规定的可靠性要求及确定产品的可靠性水平。

#### 1. 筛选

筛选是一种通过试验,剔除不能满足性能需求或可靠性需求的产品的办法。

对电子元器件的筛选,可大体分为下列四类:

(1) 检查筛选。如镜检(显微镜或扫描电镜),X线检查,红外扫描检查(用于观测腔体内或芯片表面热缺陷严重的故障)。

(2) 应力筛选。如高温贮存、温度循环(美军的 MIL-M-38510 推荐为  $-65^{\circ}\text{C} \rightarrow 150^{\circ}\text{C}$ , 循环 10 次)。机械振动、冲击、高速离心加速(主要剔除键合不当),颗粒碰撞噪声检测(particle impact noise detection, PIND, 主要检出腔体内的松散粒子多余物)。

(3) 密封筛选。如用氦质谱仪进行细检漏(漏速低于  $5.0\text{Pacm}^3/\text{s}$ );用加压氟化物进行气泡粗检漏(漏速大于  $5.0\text{Pacm}^3/\text{s}$ )。

(4) 电应力筛选。如功率老练,电性能测试(包括高温  $125^{\circ}\text{C}$  及低温  $-55^{\circ}\text{C}$  测试)。

#### 2. 环境应力筛选(Environment Stress Screening ESS)

ESS 是通过向电子产品施加有效的环境应力及工作应力,将产品潜在的缺陷激发成早期故障暴露,予以剔除或排除的过程。它是制造过程中的一道工序。

实践证明,温度循环及随机振动两种应力的筛选效果较好。通常的 ESS 即以这两种应力为主。某种筛选方法能将针对性的缺陷激发出来的概率叫“筛选度”(screening strength)简称 S.S。温度循环的筛选度为:

$$S.S = 1 - \exp(-0.0017(R + 0.6)^{0.6} [\ln(e + V)]^3 N)$$

这里的 R 为温度循环的变化范围,单位  $^{\circ}\text{C}$ , V 为温变率,单位  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ; N 为温循次数。国内“可靠性工程与管理”电视讲座之“可靠性试验”中推荐的硅管为:

$$-55^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C} \rightarrow 125^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}, 5 \text{ 次}, V = 12^{\circ}/\text{min}, \text{ 于是 } R = 125 - (-55) =$$

$$180, N = 5,$$

$$\text{可算出: } S.S = 97.61\%$$

但如把 N 改为 10 次,则可得  $S.S = 99.94\%$ 。

从振动效果来考虑。随机振动远远高于扫描振动,比起定额正弦振动更高很多倍。随机振动的筛选度为:

$$S.S = 1 - \exp \left[ -0.004 \left( \frac{G_{rms}}{N} \right)^{1.75} t \right]$$

这里的  $G_{rms}$  是振动加速度的均方根值,  $t$  为振动时间。

美军及国军标推荐的随机振动功率谱如图 15.2-5。

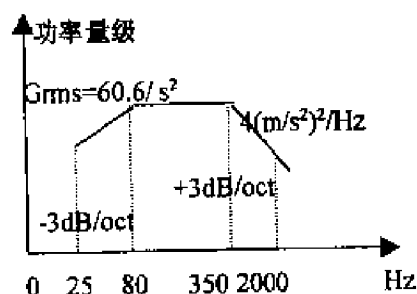


图 15.2-5 随机振动功率谱

### 3. 可靠性增长试验(Reliability GrowthTest, RGT)

RGT 是把产品置于模拟其工作环境条件下进行试验,使其故障暴露出来,进而分析故障机理,改进设计,并验证改进措施的有效性,从而提高产品的固有可靠性。一般称为试验—分析—改进。RGT 的理想试验是综合试验。一般用温度循环及随机振动的两综合试验箱。(再加上温度为三综合试验箱;如再加上低气压,则为四综合试验箱)。可靠性增长试验的时间大约为  $5\theta_1 \sim 25\theta_1$ 。据国外经验,产品经过 RGT,发现缺陷改进后,MTBF 可增长几倍。

但对相当多产品而言,试验时间  $5\theta_1 \sim 25\theta_1$  是不现实的。。因此在研制阶段,发展了高效应力试验(HALT)。即在不产生新的故障机理条件下,尽量提高应力水平。例如:把随机振动的功率谱从  $0.04g^2/Hz \approx 4(m/s^2)^2/Hz$  逐步提高,到一定应力时(例如  $0.08g^2/Hz$ )产品出现故障。找出缺陷解决后,再提高应力试验,直到相对较高的水平(例如  $0.16g^2/Hz$ ),都未出现故障,则尽管不一定估算出产品可靠性(因为加速因子不易估算),产品耐随机振动的可靠性从工程判断来看是很高了。

在此条件下,可以用高于增长试验的应力水平(例如用  $0.08g^2/Hz$ )作 100% 的应力筛选,可缩短很多时间。

### 4. 可靠性测定试验

可靠性测定试验的目的是测定产品的可靠性。电子产品的寿命多为指数分布。其测定试验是:是从  $t=0$  时刻起,投入若干产品做寿命试验。有两种停止试验的准则:

(1)到累计试验时间为指定的  $T^*$  时停止;

(2)到出现指定的  $r$  个故障时停止;

上述(1)叫定时截尾试验,上述(2)叫定数截尾试验。于是:

MTBF 的估计值  $\hat{\theta} = T^* / r$

给定置信水平  $\gamma, \theta$  的相应置信下限  $\theta_L$  为

$$\theta_L = \frac{2r}{x_\gamma^2(2r)} \hat{\theta}, \text{定数截尾情况;}$$

$$\theta_L = \frac{2r}{x_\gamma^2(2r+2)} \hat{\theta}, \text{定时截尾情况}$$

如  $r=0$ , 则  $\theta_L = T^* / \ln(1 - \gamma)$ , 再如设  $\gamma = 90\%$ ,  $\theta_L = T^* / 2.303$ ;  $\gamma = 95\%$ ,  $\theta_L = T^* / 2.996$ 。

[例 15.2-5] 某产品作累计试验时间 3 万小时的定时截尾试验, 共出现 5 个故障。给定  $\gamma = 95\%$ , 求  $\theta_L$ ?

$$[\text{解}]: \hat{\theta} = T^* / r = 3000h / 5 = 6000h$$

$$\text{给定 } \gamma = 95\%, \text{查, } x_\gamma^2 = (2r+2) = x_{0.95}^2(12) = 21.026,$$

$$\text{故 } \theta_L = \frac{2r}{x_\gamma^2(2r+2)} \hat{\theta} = \frac{10}{21.026} = 2853.6h$$

### 5. 可靠性鉴定及验收试验

产品可靠性鉴定试验(Reliability Qualification Testing, RQT)的目的是为了验证产品的设计是否符合规定的可靠性要求。用具有代表性的产品在规定条件下所作试验,并以此作为是否批准定型的依据。对于寿命为指数分布的产品,目的是验证 MTBF 是否达到规定指标。RQT 通常用作设计定型的鉴定试验。产品在投入试验前,通过环境适应性试验及 ESS 等预处理,剔除了早期故障再进行 RQT。

寿命为指数分布的一次抽样方案的国际标准为 MIL-STD-781D,我国国军标 GJB899 等效采用。为管理方便,采取定时截尾试验方案。当受试产品的累计试验时间达到方案规定时间  $T^*$  时,即停止试验。把试验中出现的故障数  $r$  与方案中的接收数  $A_c$ 、拒收数  $R_c$  相比,作出接收还是拒收的判断。

表 15.2-6 定时截尾试验方案

方 案 号	决策风险 %				鉴别比 $d = \theta_0/\theta_1$	试验时间 ( $\theta_1$ 的倍数)	判决标准	
	标称值		实际值				拒收( $\geq$ )	接收( $\leq$ )
	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$				
1	10	10	12.0	9.9	1.5	45.0	37	36
2	10	20	10.9	21.4	1.5	29.9	26	25
3	20	20	19.7	19.6	1.5	21.5	18	17
4	10	10	9.6	10.6	2.0	18.8	14	13
5	10	20	9.8	20.9	2.0	12.4	10	9
6	20	20	19.9	21.0	2.0	7.8	6	5
7	10	10	9.4	9.9	3.0	9.3	6	5
8	10	20	10.9	21.3	3.0	5.4	4	3
9	20	20	17.5	19.7	3.0	5.4	4	3
10	30	30	20.8	30.1	1.5	8.1	7	6
11	30	30	28.3	28.5	2.0	3.7	3	2
12	30	30	30.7	33.3	3.0	1.1	1	0

注:如果需要短时间内作出判断,而且生产方和使用方都愿意承担比较高的风险时,采用高风险试验方案(即  $\alpha, \beta$  为 30%)。

例如方案 3,  $\alpha, \beta$  近似于 20%,  $d = 1.5$ , 试验时间为  $21.5\theta_1$ 。累计试验到  $21.5\theta_1$  时停止,如果故障数  $r \leq 17$ ,接收; $r \geq 18$ ,拒收。

这类试验只要求累计试验时间,投入试验的产品数自定。一般抽 3 个产品以上,以便核对故障率的一致性。

可靠性验收试验用于生产过程的批生产验收。是用已交付的产品在规定条件下所做的试验,以验证产品的可靠性不随生产而降低,目的是确定产品是否符合规定的可靠性要求。其前提是:在严格的质量管理下,生产的人、机、料、法、环基本与鉴定试验产品的生产条件一致。等效于有较好的 Bayes 验前分布。为此,验收试验的  $\alpha, \beta$  可以选得较大。其统计方案可直接引用鉴定试验的试验方案。

设在条件甲之下产品的故障率为  $\lambda_{\text{甲}}$ ,在恶劣得多但未产生新的故障机理的条件乙之下,产品的故障率为  $\lambda_{\text{乙}}$ ,则  $A_{\text{乙} \rightarrow \text{甲}} = \lambda_{\text{乙}}/\lambda_{\text{甲}}$  叫对产品而言条件乙对甲的加速系数。当加速系数是可信时,可用条件乙进行可靠性试验以缩短试验时间。一种取得加速系数的办法是对产品作可靠性预计。例如设某电子设备在正常工作条件  $25^\circ\text{C}$  时的预计故障率为  $\lambda_1$ ,  $\theta_1 = 10222\text{hr}$ ,在  $40^\circ\text{C}$  时的预计故障为  $\lambda_2$ ,  $\theta_2 = 5825\text{hr}$ ,则  $A_{2 \rightarrow 1} = \lambda_2/\lambda_1 = \theta_1/\theta_2 = 10222/5825 = 1.75$ ,即加速系数为 1.75。此时,如果在  $40^\circ\text{C}$  下试验一周即 168 小时,即相当于在  $25^\circ\text{C}$  下试验  $168 \times 1.75 = 294$  小时。

### 15.2.11 可靠性设计规范

规范化设计是提高可靠性设计水平的重要手段,企业或部门必须明确:在本单位要执行哪些设计规范、标准、手册?一般说来,只要有条件,就应该执行国际先进标准,还需要汇总国内外特别是总结本单位的成功、失败的经验编写成设计准则(设计准则包括了本单位付出了学费总结出来的经验,因此是单位内部资料,一般对外是保密的)。

我国国军标基本上是以美军标为基础编制的,应作为可靠性设计的依据。此外,未转成 GJB 而有重大参考价值的还有 MIL-HDBK-338《可靠性设计手册》。

## 15.3 维修性管理及设计

维修性本来是可靠性的一个组成部分,由于它的重要性愈来愈突出,已发展独立成一门学科。但是它与可靠性仍然有极为密切的联系。

产品的维修性目标应与可靠性目标一样,基于使用要求,并以使用术语定量表示(注意:不仅对产品本体,而且对产品系统的全部单元包括保障、训练设施等也要规定可靠性维修性目标)。产品的可靠性目标分为任务可靠性和保障可靠性(即维修要求、供应保障要求)。维修性目标涉及到:维护、预防性(计划)维修、修复性(非计划)维修、用停机时间或周转时间表示的损坏修理、要求的人力及技术等级、专用设备工具、测试设备与故障诊断能力。要把维修性目标转换为合同规定的一组维修性定量指标体系。这些定量指标要求要按设计层次一层层分配下去。

### 15.3.1 维修性设计

维修性设计的总原则是:尽可能减少维修工作量及维修费用以提高产品的可用性。大体上可归为:

#### (1) 维修性的简化。

降低维修频率及维修的复杂性。减少大、中、小修及预防性维修的次数及所需时间。降低对维修人员的技术水平、熟练程度及人员数量的要求。设计上应减少因故障维修而使产品不能工作的时间,减少维修所需测试设备维修工具的规格、品种、数量,并尽量用通用标准件。尽可能减少备份零组部件、元器件的规格、品种、数量。选用易于维修的常用件(例如,可快速装拆的紧固件等)。尽可能采用单元化设计(如模块设计)。需更换的同种零组件应有良好的互换性,……等等。

#### (2) 进行可达性设计。

对一个出故障的零、组、部件与元器件进行修理更新、或者对其需要维护的部分进行维护的容易程度,称为“可达性”。争取不拆下设备的构件、部件就能进行故障检测及定位。需要检测及维修的部位应有足够的检测空间及维修空间。

#### (3) 进行维修的安全性设计。产品设计一定要保证操作安全及维修安全。对

可能严重危及安全的设备部分都必须有安全防护措施。在可能出现不安全的部位,应给出明显的色、光、音、文字警告标志。设备的电气、电子系统必须防止操作或维修人员被电击。对超过容许限的电磁辐射必须加以防护。要有防火、防爆、防毒设计的考虑。

(4) 进行耐用性设计。提高产品的耐用性也即减少产品寿命周期内的维修频率。对于使用不长的组成部分(特别是油漆、油膏、橡胶、塑料等),应通过现场历史数据分析或摸底试验,弄清它们的使用寿命。选用使用寿命较长的。并确定它们的更新期。选用耐磨损的零件,不易老化及开裂的动力线绝缘材料,不易老化及适应环境温度及工作湿度的润滑剂等等。必要时,给产品创造一些微环境。延长产品的使用寿命(例如,给某些模块以气密封装)。

(5) 进行提高维修效率的设计。

对常发、多见故障的维修项目进行“时间研究”,定出标准维修程序及所需工作时间。培训维修人员按标准程序及时间维修。产品要设计得易于维护。维修某一部位时尽可能不拆卸其它部位。尽量采用可快速装拆的零、组、部件。

(6) 进行防错设计。

根据墨菲(Murphy)定律:如果存在着搞错的可能性时,就肯定将会有某个人搞错。因此最好是设计得不可能搞错。例如,可能出现安装错位的零、组、部件应有定位装置;对外形相近而功能不同的零部件,应从结构上保证不能互换安装。其次是给出标记指示等标志,尽可能减少出差错的频率。日本人给它取了个名词“巴卡一约基”,意为傻子也不会弄错的设计。

(7) 按人机工程设计。

维修应保证有充分的维修空间,操作应保证有充分的操作空间,操作、维修人员应有比较合理的姿势进行操作维修。尽可能减少跪、蹲、卧、趴等易于疲劳的姿势。操作、维修场所的温度、湿度应控制在规定范围之内。操作、维修部位应有足够的照明度。减少操作、维修工作点的振动。环境噪声应控制在容许限之下。在需要用体力进行操作及维修时。应考虑到体力的限度及人工操作与人工维修的方便(例如,在需要搬运较重部件时。部件上应有便于人工搬运的握把,等等)。

(8) 特殊的维修性设计要求。对于电子电路,在设计、制造、包装、装卸和修理规程中应包括静电放电控制程序。如果经费容许,应研究非破坏性的检查方法,以便在不用拆除、分解或破坏受检产品的情况下进行产品状态分析。应当利用自动、半自动和手动的最有效的组合在规定时间内并在规定的维修级别上,检测、鉴别并明确地隔离故障。对武器而言,还应确定战斗损坏修理办法。

(9) 设计要提高故障的可检测性。

在设计过程中,要不断地完善 FMEA 工作,例如,作出故障树图,提供故障的逻辑判断系列表。根据此表,针对出现的故障模式,通过一系列的检测就能进行故障定位。在产品中、根据故障的逻辑判断系列表的需要,集中或分片集中设计好检测点。检测点及检测参数的选定原则是:让常发故障、多见故障的故障检测定位时间

尽可能短。检测点有明显的标志,重要的检测参数最好能自动监控。检测设备的可靠性原则上不应低于产品可靠性,否则易于出现虚警,增加了不必要的维修。

### 15.3.2 测试性

产品能及时并准确地确定其状态(可工作、不可工作或性能下降),并隔离其内部故障的一种设计特性叫产品的**测试性**(testability)。它是维修性工程的重要内容。近年来发展很快,有独立成为一门工程分支的趋势。

产品的测试性直接影响故障定位、隔离等时间,即直接影响产品的 MTTR。

测试性是产品的一种设计特性。例如,飞机仪表板上的综合告警器,当发动机过热时会发出告警信号(但不能确定发动机冷却系统中哪一个零、部件出现了故障)。注意:测试性与诊断不同。诊断是在确定和隔离故障原因时所执行的功能和采用的技术,是一种检测和隔离故障的活动。一般,是对产品加以物理激励(通常是电气激励),测量其响应,判断产品是否出故障及查明故障原因。有效的诊断将减少故障定位的时间。诊断能力是与检测和隔离故障有关的所有能力。它与产品的测试性设计水平、维修部署、维修人力及其素质、保障条件等有关,即使有素质高的维修人员,但如果产品测试性设计不好,没有适当的检测点,没有适当的检测设备或备件供应,诊断能力也会大大受到限制,甚至有的故障可能检测不出来。在一定条件下,可能发生的故障可以被检测出来的百分率叫**故障覆盖率**,这是诊断能力的一个重要指标。

长期以来,产品设计师往往把测试、维修和保障作为产品批生产后再予考虑的问题。这就使得很多产品的测试性差,诊断能力不高。为此,自七十年代起,开展了**机内测试**(BIT)的研究及实践。BIT 是产品内部所提供的自动检测和诊断或隔离故障的综合能力,大体分为下述类型:

(1) 按对主产品的影响分类:

**主动 BIT**:暂时中断主产品工作,将物理激励送入产品进行检测及隔离故障。

**被动 BIT**:不中断主产品工作,对主产品工作不影响的检测及隔离故障活动。

(2) 按检测时间分类:

**连续 BIT**:连续监控产品工作状态的 BIT。

**周期性 BIT**:以某一周期执行检测的 BIT。

**启动 BIT**:在外部信号下才执行检测的 BIT。其中一种特例是产品每次通电时就执行一次检测的 BIT。

设计进产品电路中的用来执行检测和隔离故障的硬件/软件叫**机内测试设备**(BITE)。由于设计进产品电路的 BITE 的诊断能力一般毕竟有限,从而一般是只能覆盖关键和重大故障。为此,需要设计产品外部的覆盖率高的自动测试设备(ATE)。ATE 一般也不可能达到 100% 的故障覆盖率,可能还需人工测试辅助。如何在 BITE, ATE, 人工测试设备之间进行分工是一个总体设计要权衡的问题。

BIT 是一个新生事物,它的完善当然需要一个过程。目前一个 BIT 普遍存在

的问题是虚警率太高。例如,美国空军试验和评价中心对战斗机 F—15A, F—16A 和 FA—18A 的 BIT 分析表明, BIT 的覆盖能力为 50—70%, 虚警率为 85%。因 BIT 报警而卸下的单元复测结果为 70% 无故障。为此, 虚警使 F—16A 的维修时间增加, 可用性降低 10%。解决这一问题当然要提高 BITE 的可靠性, 但看来很有希望的一条途径是采用综合诊断。

**综合诊断**是把测试性、自动测试、人工测试、培训、维修辅助设备、维修经验及有关技术文件各要素综合在一起, 引入人工智能、专家系统的技术, 得到高诊断能力(争取故障覆盖率达 100%)的一种规范化设计及管理过程。这是测试性目前很活跃的方面。

### 15.3.3 维修性分配及预计

以平均修理时间  $M$  为例说明维修性分配的基本方法如下: 设产品由  $k$  种部件组成, 第  $i$  种部件使用  $n_i$  个。

情况 1: 产品的组成部分都是老的设计, 要求产品平均修理时间不超过  $M$ 。有维修性的历史数据, 已知第  $i$  种部件的数量为  $n_i$ 、故障率为  $\lambda_i$ , 一次故障的平均修理时间为  $M_i$ 。

此时, 产品的总故障率为  $\lambda = \sum_{i=1}^k n_i \lambda_i$ , 即单位时间内出故障  $\lambda$  次。在单位时间内第  $i$  种部件出故障平均为  $n_i \lambda_i$  次, 需要修理时间平均为  $M_i n_i \lambda_i$ , 故单位时间内产品总修理时间平均为  $\sum_{i=1}^k M_i n_i \lambda_i$ 。对每一次产品故障而言, 产品平均修理时间为

$$\bar{M} = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^k M_i n_i \lambda_i$$

只要  $\bar{M}$  低于预定的分配的产品平均修理时间  $M$ , 选用这些老设计的部件从维修性这一点看是可行的。

情况 2: 产品的组成部分都是新设计的, 对产品平均修理时间要求不超过  $M_0$ 。

由于没有历史数据, 只能根据设计资料对部件的复杂性作估计。据此, 估计部件的故障率为  $\lambda_i$ 。于是产品的总故障率将为  $\sum_{i=1}^k n_i \lambda_i$ 。一种初步分配方法是把总的平均维修时间平均地分给各种部件。每一种部件分得  $M_0/k$ 。在产品总故障率中, 第  $i$  种部件的故障率是  $n_i \lambda_i$  所占百分数为  $n_i \lambda_i / \sum_{i=1}^k n_i \lambda_i$ , 因此第  $i$  种部件分得的平均维修时间为

$$M_i = \frac{M_0}{k} \cdot \frac{n_i \lambda_i}{\sum_{i=1}^k n_i \lambda_i} = \frac{M_0 \sum_{i=1}^k n_i \lambda_i}{k n_i \lambda_i}$$



当然,这种初步的平均分配只是“初步”的,还需视实际情况加以调整,并应留有一些余量。

情况3:产品的组成部分有老设计,亦有新设计,要求产品平均修理时间不超过  $M_0$ 。

设第  $1 \sim L$  种部件是老设计,  $n_i, \lambda_i, M_0$  为已知 ( $i = 1, 2, \dots, L$ )。第  $L+1 \sim k$  种部件是新设计的,估计出故障率为  $\lambda_i$  ( $i = L+1, \dots, k$ )。则产品总故障率为

$\sum_{i=1}^k n_i \lambda_i$ , 其中老设计组成部分的总故障率为  $\sum_{i=1}^L n_i \lambda_i$ , 占用单位时间内平均维修时

间为  $\sum_{i=1}^L M_i n_i \lambda_i$ 。剩下可供分给新设计组成部分的单位时间内平均维修时间为

$M'_0 = M_0 \sum_{i=1}^k n_i \lambda_i - \sum_{i=1}^L M_i n_i \lambda_i$ 。平均分给  $k-L$  种新设计组成部件,每种分得单位时间内平均维修时间  $M'_0 / (k-L)$ , 每个第  $i$  种新设计组成部件分得单位时间内平均维修时间  $M'_0 / (k-L) n_i$ , 于是第  $i$  种新设计部件每个故障的平均维修时间分得

$$M_i = \frac{M'_0}{(k-L)n_i \lambda_i} = \frac{M_0 \sum_{i=1}^k n_i \lambda_i - \sum_{i=1}^L M_i n_i \lambda_i}{(k-L)n_i \lambda_i}, i = L+1, \dots, k$$

[例 15.3-1] 设产品由 A、B、C 三个部件组成。部件 B、C 是老设计。  $n_B = 2, n_C = 1; \lambda_B = 0.48, \lambda_C = 0.06; M_B = 0.5, M_C = 1.0$ 。部件 A 是新设计的,  $n_A = 1$ 。产品的平均修理时间要求为  $M_0 = 0.5$ , 问如何分配部件 A 的平均修理时间?

[解] 先估计部件 A 的故障率, 设估为  $\lambda_A = 1.71$ ,

则

$$\sum_{i=1}^3 n_i \lambda_i = n_A \lambda_A + n_B \lambda_B + n_C \lambda_C = 2.73$$

老设计部件单位时间内的总平均修理时间为

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^2 M_i n_i \lambda_i &= M_B n_B \lambda_B + M_C n_C \lambda_C \\ &= 0.5 \times 2 \times 0.48 + 1.0 \times 1 \times 0.06 \\ &= 0.54 \end{aligned}$$

故新设计部件 A 的平均维修时间分配值为

$$M_A = \frac{M_0 \sum_{i=1}^3 n_i \lambda_i - \sum_{i=1}^2 M_i n_i \lambda_i}{(k-L)n_i \lambda_i} = \frac{0.5 \times 2.73 - 0.54}{(3-2) \times 1 \times 1.71} = 0.48$$

维修性预计有很多方法。不少方法需要从大量实际数据中用回归分析来预计。我国目前这类数据还不多, 不便使用。比较适合我国实际的是**综合预计法**。

其基本思想是:根据产品各组成部分的故障特性,估计出产品可能发生几种故障。每一种故障需要的维修时间是组成维修的七种维修作业的时间的总和。这七种维修作业是:故障定位(即确定故障大体部位的过程)、故障隔离(即把故障部分确定到必须进行修理范围的过程)、分解、更换、再装、调准及检测,每一种维修作业是由一系列已分解到最基本的维修动作单元组成的。每一种动作单元的时间已经大量统计得出。由此,可综合起来算出每一种维修作业的时间,从而得出每一种故障需要的维修时间。

例如,更换一个电阻器是一种维修作业。该电阻器有两个焊接点,用两个螺钉、两个螺母及两个垫圈固定在底板上。则更换由如下十二个维修动作单元组成:焊开接点、拉开引线、松开螺母、取下垫圈、取出螺钉、取下失效的电阻器、放置新的电阻器、重装螺钉、重安垫圈、重装螺母、连接引线、焊接接点。每一个动作单元的时间是已知的。例如,取下垫圈需  $0.0018h$ 。这样,可总算出更换电阻器这一维修作业需  $0.1266h$ 。仿此,可算出每种故障需要的实际维修时间。

#### 15.3.4 维修性验证

应利用预计的和验证的故障率及修理时间对产品的可靠性、维修性进行评估。

维修性验证中最普遍使用的是平均维修时间的验证。设维修时间  $X$  为正态分布,均值  $\mu_X = \exp(\mu + \frac{1}{2}\sigma^2)$ , 方差  $\sigma_X^2 = \mu_X^2(e^{\sigma^2} - 1)$ 。

设平均修复时间的  $\mu_X$  的 AQL 值为  $\mu_0$ , 极限质量(LQ)为  $\mu_1$ , 生产方风险为  $\alpha$ , 使用方风险为  $\beta$ 。设  $\sigma^2$  从历史数据为已知或由近期稳定的 10~20 组历史数据得出,则检验需要的样本大小  $n$  为

$$n = \left( \frac{u_{1-\alpha} + u_{1-\beta}}{1 - \frac{\mu_1}{\mu_0}} \right)^2 \sigma^2$$

这里的  $u_p$  为标准正态分布  $U$  的  $p$  分位数。

设维修时间样本观测值为  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , 计算统计量  $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln x_i$

设  $\bar{y} \leq \ln \mu_0 - \frac{\sigma^2}{2} + \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \mu_{1-\alpha}$ , 则通过验证;

$\bar{y} > \ln \mu_0 - \frac{\sigma^2}{2} + \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \mu_{1-\alpha}$ , 不通过验证。

[例 15.3-2] 设产品的平均修复时间协定为  $\mu_0 = 30$ ,  $\mu_1 = 45$  (单位:分);  $\alpha = 20\%$ 。  $\beta = 20\%$ ,  $\sigma^2 = 0.40$ , 问如何验证?

[解] 今  $\alpha = \beta = 20\%$ , 则  $\mu_{1-\alpha} = \mu_{1-\beta} = \mu_{80\%} = 0.84$ ,

故

$$n = \left( \frac{0.84 + 0.84}{\ln 45/30} \right)^2 0.40 = 6.867 \approx 7$$

即样本大小  $n$  为 7。

取 7 个样本观测值,得

26, 28, 19, 16, 14, 43, 16。

$$\text{计算统计量} \quad \bar{y} = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^7 \ln x_i = 2.9257$$

判决用的标准量为

$$\ln \mu_0 - \frac{\sigma^2}{2} + \frac{\sigma}{\sqrt{n}} u_{1-\alpha} = \ln 30 - \frac{0.40}{2} + \frac{\sqrt{0.40}}{\sqrt{7}} 0.84 = 3.40$$

$$\bar{y} = 2.9257 \leq \ln \mu_0 - \frac{\sigma^2}{2} + \frac{\sigma}{\sqrt{n}} u_{1-\alpha} = 3.40$$

故通过验证。

本验证方案的样本量  $n$  最少应为 30。上例的  $n = 7$  只是一个示例。如算出的  $n < 30$ , 则应取  $n = 30$ 。

如对数正态分布的  $\sigma^2$  未知, 则样本量的估计要先估出较精确的  $\sigma^2$  值。

更多种的维修性验证方案可参见 GJB368。

## 15.4 安全管理及设计

### 15.4.1 安全性大纲及安全性计划

造成人员伤亡、职业病、设备损坏或财产损失的一个或一系列的意外事件叫**事故**。可能导致事故的状态叫**危险**。产生危险的事态叫**危险事件**。对某种危险可能引起的、可信的最严重事故的估计叫**危险严重性**。危险严重性一般分为四级:

I级(灾难的)。人员死亡或产品报废。

II级(严重的)。人员严重受伤,严重职业病,或产品严重损坏。

III级(轻度的)。人员轻度受伤,轻度职业病、或产品轻度损坏。

IV级(轻微的)。

产生某一种危险的危险事件发生的总可能性叫**危险可能性**。用危险严重性和危险可能性表示的发生事故的可能性叫**风险**。不发生事故的能力叫**安全性**。安全性工程是:在产品寿命周期内所有阶段以效能、费用为约束条件,运用工程和管理学的原理、准则和技术使产品获得最佳安全程度的学科。

产品承制方应该按 GJB900 制定和实施产品的**安全性大纲**。安全性大纲的任务是:及时地、经济地进行符合任务要求的安全性设计;在产品寿命周期内识别、评价和消除产品中的危险或将其风险减少到可以容许的水平;考虑并应用过去积累的安全性资料、经验、教训;考虑安全的要求,尽量避免到产品交付使用时才发现安全性有重大漏项要返工补救;在设计、生产工艺更改时,要控制住带来的风险变化;

在论证时就要考虑与产品有关的所有危险器材在寿命周期終了时的处理问题。有关安全性的数据、资料、文件等安全性信息要建立一个收集、传递、反馈、分析、处理的闭环系统(它可以是 FRACAS 的一部分)。安全性信息要建数据库,为今后工作提供依据。

产品的设计中要贯彻下述安全性设计的基本要求:通过设计(包括器材选用及代用)消除已判定的危险或减少有关风险;危险的物质、零、部件和操作应与其它活动、区域、人员及不相容的器材隔离;产品的设计应使得工作人员在操作、保养、维修或调整过程中免受危险的化学药品、高压、尖锐部分、刃口、电磁辐射等的伤害;尽量减少高低温、压力、噪音、加速度、振动、冲击、雷击等恶劣环境条件所导致的危险;设计时要尽量减少产品使用和维修人为差错所导致的风险;对不能完全消除的危险要考虑补偿措施,使风险降低。例如,消防器材、故障安全设计等;对不能消除的危险应给出指示,并在危险零、部件、器材、设备及设施上标出醒目的标记,尽量减少出事故后人及产品、设备的损失。

产品采取安全性措施的优先次序为:最小风险设计,采用安全装置,采用报警装置,制定专门的安全规程并进行培训。

承制方应根据安全性大纲制定产品安全性工作计划,实现大纲规定的任务。它包括:实施安全性大纲的指导思想,安全性工作项目(包括:内容、要求、完成形式、检查方法等);安全性工作组织、人员及其资料审核规定;安全性工作项目进度表(PERT图);大纲的评审点;安全性工作计划与可靠性计划、维修性计划等的协调;安全性信息的管理及使用要求;安全性培训等。安全性大纲应组织评审。对转承制方的安全性(包括安全性大纲及计划)应进行监督,建立危险报告、分析和纠正措施、跟踪系统(可与 FRACAS 合并)。

安全性设计中的重要项目是危险分析。在设计初期,就要编出初步的危险清单,叫初步危险表。然后进行初步危险分析。确定安全性的关键部位、评价各种危险,并确定要采取的安全性设计准则,进而进行分系统的危险分析及产品的危险分析、确定故障模式及接口间的危险分析;分系统及产品的安全性设计是否达到要求?最后要进行产品的安全性验证。通过试验、演示或模拟与分析,证明对产品安全起关键作用的硬件、软件、规程满足安全性要求。最终对产品作出安全性评价。

#### 15.4.2 故障树分析

**故障树(fault tree)**是一种特殊的倒立树状的逻辑因果关系图。它用一系列符号描述各种事件之间的因果关系。在产品的设计过程中,通过对造成产品故障的各种可能因素(包括:硬件、软件、环境、人为因素等)的分析,画出故障树,从而确定造成产品故障原因的各种可能组合方式,在有条件掌握故障原因发生概率的情况下,计算产品故障率。据此,采取相应的纠正措施,以提高产品的可靠性。上述分析方法叫**故障树分析(Fault Tree Analysis, FTA)**,简称**FTA**。

故障树分析是系统安全性和可靠性分析的工具之一,在产品的设计阶段,故障树

分析可帮助判明潜在的系统故障模式和灾难性危险因素,发现可靠性和安全性薄弱环节,以便改进设计。在生产、使用阶段可帮助故障诊断,改进使用维修方案。故障分析也是事故调查的一种有效手段。

在故障树分析中各种故障状态或不正常情况皆称**故障事件**,各种完好状态或正常情况皆称**成功事件**,两者均可简称为“事件”。

“**底事件**”是故障树分析中仅导致其它事件的原因事件,它位于所讨论的故障树底端,总是某个逻辑门的输入事件而不是输出事件。

底事件分为“基本事件”与“未探明事件(未展开事件)”。

“**结果事件**”是故障数分析中由其它事件或事件组合所导致的事件,它位于某个逻辑门的输出端。结果事件分为“顶事件”与“中间事件”。

顶事件是故障树分析中所关心的最后结果事件。它位于故障树的顶端,总是所讨论故障树中逻辑门的输出事件而不是输入事件。

**中间事件**是位于底事件和顶事件之间的结果事件。它既是某个逻辑门的输出事件,同时又是别的逻辑门的输入事件。

在故障数分析中,逻辑门只描述事件间的因果关系。逻辑门的输入事件是输出事件的因,逻辑门的输出事件是输入事件的果。表 15.4-1 是故障树诸事件及逻辑门的符号表。

表 15.4-1 IEC—1025 推荐的故障树符号表(国际标准)

IEC —1025 推荐符号	使用符号	功能	说明
		与门	全部输入存在时才有输出
		或门	至少一个输入存在时即有输出
		异或门	当且仅当一个输入存在时才有输出
		非门	输出等于输入的逆事件
		禁止门	若禁止条件成立,即使有输入也无输出
		表决门	n 个输入中至少有 m 个存在时则有输出
		事件说明	低事件(基本事件和未展开事件)以外的其它事件(包括顶事件和中间事件)的说明
		基本事件	不能再分的事件,代表元部件失效或人为失误
		未展开事件 (未探明事件)	其输入无需进一步分析或无法进一步分析的事件
		房形事件	已经发生后必定发生的事件
		转入符号	已在本故障数另外地方定义了的事件
		转出符号	用于另外地方的重复事件

注:如果故障树的底事件刻画一种状态,而其对立事件也只刻画一种状态,则称为两状态故障树。

[例 15.4] 造船工人坠落死亡事故分析的故障树。参见图 15.4-1。

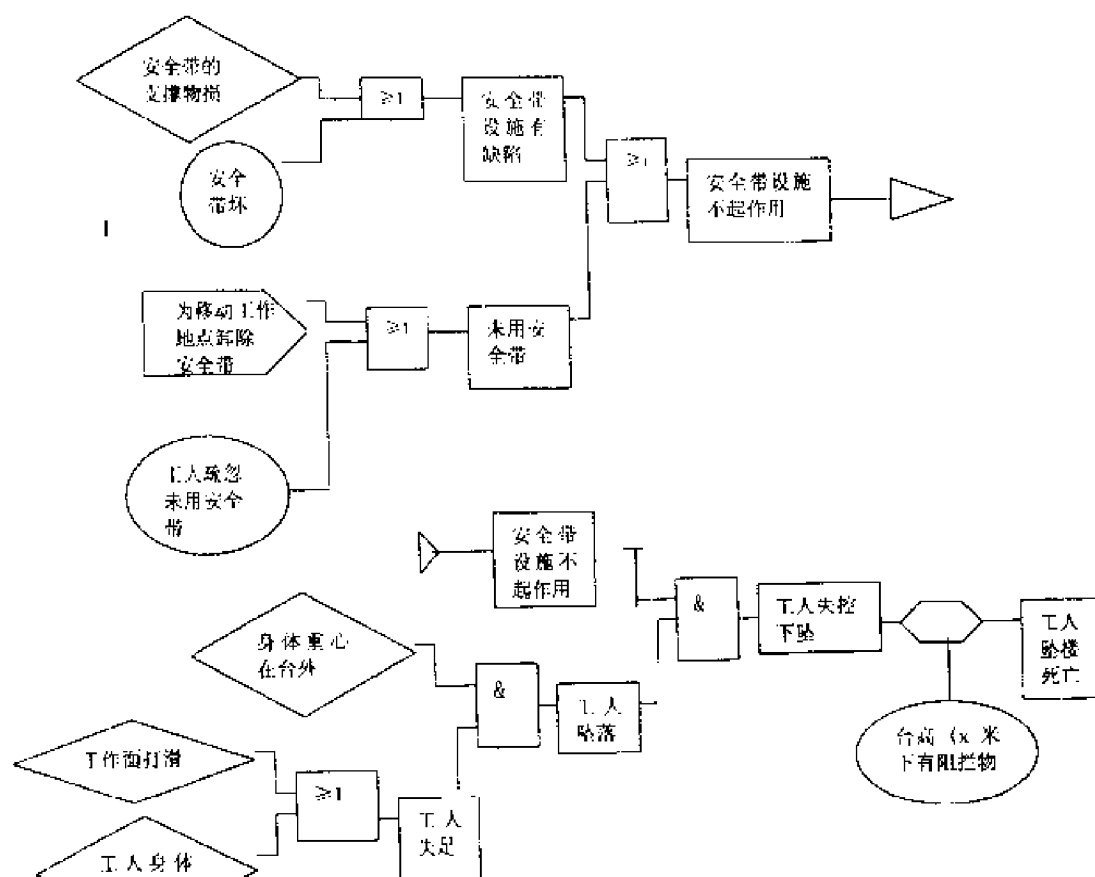


图 15.4-1 造船工人坠落死亡事故分析的故障树

## 15.5 软件可靠性

我国的软件生产目前大多数还处于所谓“自编、自导、自演”的“前工业革命时代”(即个体生产及作坊生产时代)的生产组织方式。

人在工作中不可能不出差错。人依靠自我检查一般不可能 100% 纠正自己的差错,这是客观规律。正因为如此,在科学管理的第一阶段的三大特征是创始人泰勒(F.W.Taylor)提出的定额、奖金及建立专职检验机构、配备专职检验人员的检验体系。目前,软件生产部门绝大多数还没有建立这样的(软件)检验体系。在鉴定会上,往往是对几个预定的测试用例进行一下表演,起不到测试检验应起的作用,也从而给交付的软件留下了不少有时是很严重的隐患。

硬件的生产自 20 世纪世纪初开展科学管理以来,已经工业化了,其特征之一是设计、生产、检验(现在发展为质量保证)三权分立。设计人员出图纸,工人按图纸生产产品、检验人员检查产品质量是否符合要求(现在的质保体系则扩展到抓市场调查、产品论证、产品研制等工作质量)。在需要修改、扩展产品时,先修改设计图纸,修改工作完全不必要由原设计者来进行。硬件有设计图纸,它的设计思想

细节是“透明”的。但在我国软件生产中,很多软件没有相当于硬件设计图纸这样的文档资料,只有一本源代码。从源代码来读软件确实像读天书。于是只有原编者才能对软件加以维护、扩展。时间一久,原编者自己也弄不清当时怎么编了,只能推倒重来,造成严重的返工浪费。这样的软件不能算是工业品,只能算工艺品,而且质量不高,进不了国际市场。

硬件的工业化生产的另一根本特征是生产的规范化。只有按照规范进行设计与生产,检验部门才能通过检验判定产品是否合格。软件生产也需把多数情况下行之有效的设计方法形成规范、设计准则。较完善的设计规范、准则以及相应的设计评审的审核表是保证软件质量及可靠性的基本法规。较完整的测试是尽可能发现软件中的缺陷,从而提高交付软件可靠性(及维修性)的基本手段。

软件的规范化管理首先要按科学的规律顺序地按阶段地开发软件。美国国防部 DOD—STD—2167A 规定按(改造的)瀑布模型(water-fall model)开发,即:系统需求分析→软件需求分析→概要设计→详细设计→编程及单元(CSU)测试→模块(CSC)组装及测试→软件配置项目(CSCI)测试→系统综合和试验。这也是国外绝大多数软件工厂的开发模式。实践已充分证明:超越科学规律的阶段顺序开发软件,易于带来混乱,往往事倍功半。

为了使软件与硬件一样透明,软件要像硬件图纸那样提供全套文档资料。按国军标 GJB438—88《军用软件文档编制规范》列出了十三种文档,它们是:可行性研究报告、项目开发计划、软件需求说明、数据需求说明、概要设计说明、详细设计说明、数据库设计说明、用户手册、操作手册、程序维护手册、测试计划、测试分析报告、安装实施过程(上述的某些文档对规模不太大的软件而言可以适当合并)。这些文档的编制增加了不少工作量,但这是为了提高软件质量,便于使用中维护及扩展所必须的。

软件主要是人们头脑的产物,把住软件质量可靠性关的重要方法是严格进行设计评审。在系统要求分析(功能分析及功能分配)后进行系统需求评审(SPR),在系统设计后进行系统设计评审(SDR),在软件需求分析阶段未了进行软件规范评审(SSR)(包括软件验证及确认计划评审),在软件概要设计阶段未了进行概要设计评审(PDR),在详细设计阶段未了进行关键设计评审(CDR),在正式验收测试前进行测试准备状态评审(TRR)。对硬、软件的技术状态项目(软件叫配置管理项目)(CI)都必须进行功能技术状态审核(FCA)及物理技术状态审核(PCA)。最终是正式合格鉴定评审(FQR)。未经评审通过不能进入下一阶段。此外还应对软件的质量保证计划进行定期评审。这属于管理评审的内容。

软件开发的规范化管理重要内容之一是制定开发过程中应贯彻执行的保证软件质量可靠性的标准、条例、规范、准则及监督措施。特别是要将总结本单位在软件开发中的经验教训列入设计准则。设计规范一旦为项目总师批准,就是强制性的。例如 GJB437—88 参照美军标规定:“必须用系统的自顶向下方法将软件需求转成软件设计。”规定了结构化编程:“必须使用五种基本结构进行程序设计和编



码”,“即顺序结构(Sequence),条件转移结构(if then else),当循环结构(do while),直到循环结构(do until),分情况结构(case)。”有些设计方法并非无争议,但只要多数情况有效,也就可列为准则。例如,“go-to 语句原则上应不用”。因为它容易出错,且大大增加了检测的困难。

硬件的技术状态管理是保证产品质量可靠性的又一种重要手段。软件一般说来比硬件好改,因此软件的配置管理应比硬件还要严格。

和硬件的质量可靠性管理一样,对软件子承包商的质量可靠性管理原则上应与主承包单位一致并互相协调。

软件也需要一个质量保证系统,各单位都应以 ISO9000 为标准展开工作。

同样,还有一个工具问题。硬件需要 CAD、CAM、CAT 等计算机辅助开发工具及配套的检测设备仪表。软件也需要例如编软件文档的软件、各种检测软件的软件等软件工具。这些工具需要有组织地引进(可能还需加以汉化)或自行开发。

标准件在硬件设计中占有重要地位。硬件的标准化系数愈高,一般说来,它的质量可靠性亦较高。软件亦需要发展标准件。例如,炮弹的弹道计算就可以构成一个标准软件。如果能达到美国国防部要求的军用软件标准化系数规定的 50%—60%以上,软件的质量可靠性显然会有明显的增长。

据统计,我国多数软件目前处于早期开发状态(非结构性编程、从软件试验及使用中改进,…)。在开发阶段,每千行代码大体有 50—60 个缺陷,交付后平均为 15—18 个。如果按上述原则实行软件工业化工程化开发,则在开发阶段每千行代码平均可降到 20—40 个缺陷,而交付后降为 2—4 个。但这还不能满足高可靠性的需要。故必须进一步抓软件可靠性。一些在硬件可靠性中行之有效的可靠性设计方法已经很快移植到软件设计中来。例如,软件的故障模式影响分析(SFMEA)及软件故障树分析(SFTA)。有一些硬件可靠性设计的思想可用于软件,但具体作法上则应根据软件的特点进行。例如,硬件的冗余设计可以将几个相同的部件作可靠性并联以提高可靠性。但对软件来说是无效的。因为相同的软件有相同的缺陷,一错都错,起不到补救的作用。从而软件的冗余必须采用所谓“多版本”技术,即冗余的软件之间必须是互相独立的,多版本技术就有很多专门的设计技巧。

在硬件可靠性设计中有一条基本原则:“简单就是可靠。”软件中亦是如此。例如,软件设计的结构化、模块化就是两种简单化的途径。美国的哈尔斯太德(Halstead)于 1970 年首先企图将软件的复杂性予以定量度量,用以控制软件的“简单”性。他提出的“软件科学度量法”是最早的一种软件度量,但现已不再广泛使用。在近二十年的实践中已经根据不同设计阶段、不同设计对象提出了种种软件复杂性度量法。可根据需要在设计中选用几种,提高设计质量。例如,“真璧”(McCabe)定义以图的基本路径数为“圈复杂性”,对模块要求它的圈复杂性 $\leq 10$ 等等。

在软件可靠性设计中,要注意到:“不仅对正确的输入得出正确的输出”,还应做到:“对不正确的输入能有正确的响应”。这就是所谓软件的稳定性。例如“输入三角形的三边,输出三角形的三角”。如果输入的三边中,两边之和不大于第三边,则计算

机不应停机,而应显示输入有错、错在哪里?当然,上述所谓“不正确输入”应该有一个指定的范围。在对软件的需求中应予明确。否则软件设计是难于应付的。

硬件、软件是一个整体。硬件可能出错,软件也可能出错。这样就需要把硬件与软件结合起来考虑。某些硬件出现的故障可能由软件来帮助补救更为方便。例如在信息论中早就发展了可以检错、纠错的代码技术。在宇宙空间工作的计算机,在宇宙重粒子轰击下,可能使寄存器、存储器内出现突发性错码,此时可以考虑由软件来检出错码及予以纠正。某些软件故障则可以考虑由硬件来纠正。这类防错、纠错设计已愈来愈重要。

很多软件的缺陷要通过测试来暴露及纠正。某些软件的缺陷只对一定的输入集反映出来。如果不采用这特定输入集的测试用例,某些软件的缺陷就不能被发现。但软件的可能的输入点(每一种可能输入看成一个“点”)构成的空间是极高维的,企图测遍所有的“点”是不可能的。这样,人们就探索有效的测试方法,也已总结出若干有一定作用的技术。

为了评估软件的可靠性,首先要选定软件可靠性的数学模型。由于研究人员的背景不同,近年来出现了几十种软件可靠性数学模型、形成了所谓“模型大战”。实际上,每种模型都有其工程背景条件。只要分析软件工厂(不是软件个体户)的软件开发及一段时间的历史数据。大体上可用哪些模型是可以作出判定的。美国1993年公布的国家标准推荐了在软件工程化基础上的软件可靠性模型及评估办法可供我们参考使用。

高可靠的软件需要高可靠的管理。目前可以作为典范的是美国航天飞机上用的机上软件。它有50万行源代码,是IBM公司全力开发的。在开发阶段,每千行源代码平均有6—12个缺陷,到交付时降为0.1个,试运行一段后,缺陷已全部消除。这是目前世界上公认为最可靠的软件。IBM公司总结了软件管理上的成功与失败经验。提出并实行了“CleanRoom”(洁净室)开发方法,进行了极严格的管理及反复测试。投入费用达五亿美元。合每行源代码一千美元,相当于美国普通民用软件成本每行不到十美元的一百倍,大体相当于用于宇航的S级电子器件与用于民用的电子器件的价格比。据此,我们应建立一个概念:高可靠的电子元器件是很化钱的(这一点,绝大多数领导及技术管理、工程人员都已接受了),而高可靠的软件也是很化钱的(这一点还未被广泛理解)。

美国国防部在卡内基——梅隆(Carnegie - Mellon)大学的软件工程研究所(SEI)把软件工厂分为五个等级,从I到V级,制定了软件工厂的分级考核项目及办法。到1990年10月为止,考核的美国软件工厂中,74%是I级、22%是II级、4%是III级。例如,美国航天界有名的休斯公司经几年的努力才从II级升为III级。IBM公司的航天飞机机上软件一个项目达到V级,美国国防部规定承担一定级别军用软件软件工厂必须达到某一经考核认证的级别。这个决定大大促进了美国软件工厂为上等级而努力。软件工程研究所选定的考核项目条款及评分标准,当前是CMM1.1,即将发布CMM2.0。显然可供我国软件工厂评定等级作为借鉴。我

国的软件部门应首先工业化,按软件工程要求生产软件,再为上等级而努力。

## 15.6 产品质量与可信性信息管理及故障报告、分析和纠正措施系统

产品的质量信息管理是产品质量保证工作的一个组成部分。因此,应该在传统的质量信息管理中加强可信性内容,称为质量与可信性信息管理(Quality and Dependability Data Management,简称为 QDDM)。

故障报告、分析和纠正措施系统(FRACAS 即 Failure Reporting, Analysis and Corrective Action Systems)是一个故障报告的闭环系统,其目的是及时报告产品的故障,分析故障原因,制定和实施有效的纠正措施,以防止故障再现,改善产品的可靠性和维修性,承制方在研制阶段的早期就应建立 FRACAS,在使用阶段,使用方产品使用中的有关故障信息及时反馈给 FRACAS。FRACAS 工作流程图如表 15.6-1

表 15.6-1 FRACAS 工作流程图

事件	工作人员	功 能
故障或正常 ↓	使用者 维修人员 质量人员	识别问题,请求维修,解释事件发生 纠正问题,记录故障 检验纠正结果
故障报告 ↓	维修人员 质量人员	产生带有故障数据(事件、地点、设备、产品等)的故障报告 保证故障产品的完整性,对故障产品设置运送标志以便进行检验控制
记录数据 ↓	R&M 人员	记录所有的故障报告,核实故障数及表格记录,对故障进行分类(固有的、从属的、虚警)
故障评审 ↓	R&M 人员 设计人员	确定故障趋势(如:想同或类似零件的几种故障)对工作程序中的错误进行评审
故障分析 ↓	R&M 人员 故障物理人员 质量人员	决定哪种零件、元器件将进行破坏性分析 进行故障分析以确定故障原因(例如:元器件、零件本身的或外部的) 检验零件的人厂检验数据
故障纠正 ↓	设计人员 供应商	必要的话,重新设计 新的零件或新的试验程序
试验后数据评审 ↓	质量人员 R&M 人员	评价入厂检验程序,检验重新设计 通过收集和评价试验后数据而形成闭环控制

## 15.7 本章参考文献

- [15-1] 罗姆航空发展中心(美),《可靠性与维修性管理指南》。
- [15-2] 全国军事技术装备可靠性标准化委员会,《装备研制与生产的可靠性通用大纲实施指南》。
- [15-3] 美国国防系统管理学院,《系统工程管理指南》,国防工业出版社,1991。
- [15-4] 何国伟,《可靠性设计》,机械工业出版社,1993。
- [15-5] 何国伟,《可信性概述》,北京工业大学出版社,1997。

## 本章思考题

- [15-1] 企业应该如何重视可靠性?

## 思考题题解

- [15-1] 可靠性是质量的重要内容。这里,可靠性是指包括狭义的可靠性、维修性、保障性、安全性在内的广义可靠性,即通常称为的 RMSS。  
当前,从各级领导到具体的工程技术及管理人员都面临一个重要的观念大转变,要把过去长期追求单一的性能指标转变到综合效能的观念上去,要把 LCC(寿命周期费用)、进度、性能、可靠性作为产品项目管理决策的四大指标,把产品的可靠性放到与产品性能同等重要的地位。  
可靠性必须在研制过程中设计到产品中去,通过设计、工艺、管理予以实现,并确实得到验证。在每一设计阶段的末了作设计评审时,必须评审可靠性,经评审合格后才允许转入下一阶段。

## 第十六章 计 量

### 16.1 基本概念

计量是实现单位统一和量值准确可靠的测量,通常也可称为测量(measurement)。作为一门学科,有关测量知识领域的学科称为计量学(metrology)。计量学是研究测量的科学,它以保证测量统一和准确为目的,涉及测量的整个知识领域,包括测量理论和实践的各个方面,不论其准确度及用于何种科学技术领域。

计量学研究可以测量的量、计量单位、计量基准、标准的建立、复现、保存及量值传递,测量原理、方法及其准确度,观测者进行测量的能力,以及计量的法制和管理等;其中还包括研究物理常数、标准物质以及材料特性的准确测定。

由于计量学的研究涉及法制管理,因此它在法制领域部分的研究称为法制计量学(legal metrology)。法制计量学主要研究法定计量单位、法定计量机构,建立法制计量基准和标准,制定和贯彻计量法律和法规,进行计量检查,对制造、修理、销售、进口和使用中的计量器具实行依法管理,以及保护国家、集体和公民免受不准确和不诚实测量的危害而进行的计量监督等。

在计量学发展的历史长河中,我国是最早在全国建立统一计量制度的极少数的几个国家之一。公元前二二一年,秦二十六年,秦始皇统一中国,决定把战国时混乱的度量衡制度统一起来,用颁布诏书的形式规定全国采用统一的度量衡制度,即统一了全国的计量单位。当时,把诏书的全文刻在砣码(秦权)上,以利遵照执行。

秦始皇统一的度量衡制度规定:

度制:1引=10丈      1丈=10尺      1尺=10寸      1寸=10分;

量制:1斛=10斗      1斗=10升      1升=10合;

衡制:1石=4钧      1钧=30斤      1斤=16两。

西方工业革命和物理学的研究,促进了计量科学的发展。十八世纪末,法国率先创立了一种计量单位制,它是以长度单位米为基础,因此称为“米制”。一米是用经过巴黎的地球子午线的四千万分之一定义的,后制成铂基准米尺;以一立方分米的纯水在4℃时的质量定义为1千克,制成铂基准千克,保存在法国巴黎档案局。

米制逐渐为许多国家认可和采用,1875年3月1日,法国政府召开了“米制外交会议”,有20多个国家派代表出席会议。1875年5月20日正式签署了“米制公约”,并决定成立国际计量委员会和国际计量局,组织制造铂铱合金米尺和千克原器。1889年,召开了第一届国际计量大会,将制成的米尺和砣码,称为米制的国际原器。我国于1977年8月20日正式参加了米制公约。

为了在国际上统一计量单位制,1960年第十一届国际计量大会通过了在国际

上普遍推广使用“国际单位制”。

1986年7月1日起,我国实施了《中华人民共和国计量法》,计量法规定的法定计量单位是以国际单位制单位为基础,并在全中国范围内推行,以保证单位的统一。

## 16.2 计量单位

### 1. 计量单位的概念

计量单位是约定采用的特定量,用以定量表示具有相同量纲的量。计量单位又称测量单位,是数值等于1的特定量。在不致混淆的情况下,均可简称为单位。计量单位具有约定的名称和符号,为了国际上的一致,国际计量大会(CGPM)对符号作了统一规定,通常将其称为国际符号。计量单位符号的形式一般有两种:一种由拉丁字母或希腊字母构成,多数为一个字母,例如长度单位的名称为“米”,其符号为“m”;另一种形式是符号,例如平面角度单位的名称为“度”,其符号为“°”等。在单位的定义中并未规定约定的范围,它可以是国际间的约定,例如国际米制公约组织、国际法制计量组织的约定。单位作为特定量当然会有量纲,但量纲相同的量尽管不一定是同种量,也可以有相同的名称和符号。例如:功和力矩并非同种量,其单位名称均可用牛顿米,符号均为“N·m”。当然,在表示功时除N·m外,还可用焦耳(J),而力矩却不能用J来表达。根据国际惯例,单位符号写成正体,量的符号写成斜体。量的符号的下角标和上角标写成正体,诸如人名或粒子名,如果上、下角标表示一个量、一个变量,或表示一个整数的指数,则写为斜体。

为给定量值按给定规则确定的一组基本单位和导出单位,称为测量单位制,又称计量单位制,例如国际单位制、CGS单位制。可由比例因数为1的基本单位幂的乘积表示的导出单位,称为一贯单位。例如:牛顿是力的一贯单位,焦耳是功、能、热量的一贯单位。国际单位制是由国际计量大会采纳和推荐的一种一贯单位制,它是我国法定计量单位的主体。

### 2. 法定计量单位和我国法定计量单位的构成

法定计量单位是指由国家法律承认、具有法定地位的计量单位。1985年9月6日,第六届全国人大常委会第十二次会议讨论通过了《中华人民共和国计量法》,1986年7月1日起施行。《计量法》第三条规定:“国家采用国际单位制。国际单位制计量单位和国家选定的其他计量单位,为国家法定计量单位。”国际单位制是在米制基础上发展起来的一种一贯单位制,其国际通用符号为“SI”。它由SI基本单位、SI导出单位、SI单位的倍数单位(包括SI单位的十进倍数单位和十进分数单位)三部分组成,并具有统一性、简明性、实用性、合理性和继承性等特点。SI单位是我国法定计量单位的主体,所有SI单位都是我国的法定计量单位;同时也选用了一些非SI的单位,作为国家法定计量单位。非国家法定计量单位应当废除,未经国务院计量行政部门批准,不得制造、销售和进口非法定计量单位的测量仪器。《计量法》的颁布是新中国成立后,国家第一次以法律的形式统一全国的计量单位。

制度。我国法定计量单位的构成如图 16-1 所示。

中华人民共和国法定计量单位	国际单位制(SI)的单位	SI 单位	SI 基本单位(见表 16.1),共 7 个	
			SI 导出单位	包括 SI 辅助单位在内的具有专门名称的 SI 导出单位(见表 16.2),共 21 个
				组合形式的 SI 导出单位
			SI 单位的倍数单位(包括 SI 单位的十进倍数单位和十进分数单位),构成其倍数单位的 SI 词头(见表 16.3),共 20 个。	
			国家选定的作为法定计量单位的 SI 单位(见表 16.4),共 16 个。	

图 16-1 中华人民共和国法定计量单位构成的示意图

表 16.1 SI 基 本 单 位

量的名称	单位名称	单位符号	单位定义
长度	米	m	米是光在真空中在 1/299 792 458 秒的时间间隔内的行程。
质量	千克(公斤)	kg	国际千克原器的质量。
时间	秒	s	秒是铯-133 原子基态两个超精细能级之间跃迁所对应的辐射的 9 192 631 770 周期的持续时间。
电流	安[培]	A	在真空中相距 1 米的两无限长而圆截面可忽略的平面直导线内通过一恒定电流,若这恒定电流使得这两条导线之间每米长度上产生的力等于 $2 \times 10^{-7}$ 牛顿,则这个恒定电流的电流强度就是 1 安培。
热力学温度	开[尔文]	K	开尔文是水三相点热力学温度的 1/273.16。
物质的量	摩[尔]	mol	摩尔是一系统的物质的量,该系统中所包含的基本单位与 0.012 千克碳-12 的原子数目相等。
发光强度	坎[德拉]	cd	坎德拉为一光源在给定方向的发光强度,该光源发出频率为 $540 \times 10^{12}$ 赫的单色辐射,且在此方向上的辐射强度为 1/683 瓦特每球面度。
注:1、圆括号中的名称,是它前面的名称的同义词。 2、无方括号的量的名称与单位名称均为全称,方括号中的字在不致引起混淆、误解的情况下,可以省略,去掉方括号中的字即为其名称的简称。 3、本表所称的符号,除特殊指明外,均指我国法定计量单位中所规定的符号以及国际符号。 4、人民生活 and 贸易中,质量习惯称为重量,但重量实际上是力的单位。			

表 16.2 包括 SI 辅助单位在内的具有专门名称的 SI 导出单位

量的名称	SI 导出单位			导出单位定义
	名称	符号	用 SI 基本单位和 SI 导出单位表示	
[平面]角	弧度	rad	$1\text{rad} = 1\text{m}/\text{m} = 1$	弧度是一个圆内两条半径之间的平面角,这两条半径在圆周上截取的弧长与半径相等。
立体角	球面度	sr	$1\text{sr} = 1\text{m}^2/\text{m}^2 = 1$	球面度是一个立体角,其顶点位于球心,而它在圆周上所截取的弧长与半径相等。
频率	赫[兹]	Hz	$1\text{Hz} = 1\text{s}^{-1}$	周期为 1 秒的周期现象的频率。
力	牛[顿]	N	$1\text{N} = 1\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$	使 1kg 质量产生 $1\text{m}/\text{s}^2$ 加速度的力。
压力, 压强, 应力	帕[斯卡]	Pa	$1\text{Pa} = 1\text{N}/\text{m}^2$	每平方米面积上 1N 的压力。
能[量], 功, 热量	焦[耳]	J	$1\text{J} = 1\text{N}\cdot\text{m}$	1N 力的作用点在力的方向上移动 1m 距离所作的功。
功率, 辐[射能]通量	瓦[特]	W	$1\text{W} = 1\text{J}/\text{s}$	1 秒内给出 1J 能量的功率。
电荷[量]	库[仑]	C	$1\text{C} = 1\text{A}\cdot\text{s}$	1A 电流在 1 秒内所运送的电量。
电压, 电动势, 电位, (电势)	伏[特]	V	$1\text{V} = 1\text{W}/\text{A}$	在流过 1A 恒定电流的导线内, 二点之间所消耗的功率若为 1W, 则两点之间的电位差为 1 伏特。
电容	法[拉]	F	$1\text{F} = 1\text{C}/\text{V}$	给电容器充 1 库仑电量时, 二板极之间出现 1 伏特的电位差, 则这个电容器的电容为 1 法拉。
电阻	欧[姆]	$\Omega$	$1\Omega = 1\text{V}/\text{A}$	在导体两点间加上 1V 的恒定电位差, 若导体内产生 1A 的恒定电流, 而且导体内不存在其他电动势, 则这两点之间的电阻为 1 欧姆。



续表 16.2 包括 SI 辅助单位在内的具有专门名称的 SI 导出单位

量的名称	SI 导出单位			导出单位定义
	名称	符号	用 SI 基本单位和 SI 导出单位表示	
电导	西[门子]	S	$1\text{S} = 1\Omega^{-1}$	欧姆的负一次方。
磁[通量]	韦[伯]	Wb	$1\text{Wb} = 1\text{V}\cdot\text{S}$	让只有一匝的环路中的磁通量在 1 秒钟内均匀地减小到零,如果因此在环路内产生 1 伏特的电动势,则环路中的磁通量为 1 韦伯。
磁通[量]密度, 磁感应强度	特[斯拉]	T	$1\text{T} = 1\text{Wb}/\text{m}^2$	每平方米内磁通量为 1 韦伯的磁通密度。
电感	亨[利]	H	$1\text{H} = \text{Wb}/\text{A}$	让流过一个闭合回路的电流以 $1\text{A}/\text{s}$ 的速率均匀变化,如果回路中产生 1V 的电动势,则这个回路的电感为 1 亨利。
摄氏温度	摄氏度	$^{\circ}\text{C}$	$1^{\circ}\text{C} = 1\text{K}$	
光通量	流[明]	lm	$1\text{lm} = 1\text{cd}\cdot\text{sr}$	发光强度为 1 坎德拉的均匀点光源向单位立体角(球面度内)发射出的光通量。
[光]照度	勒[斯克]	lx	$1\text{lx} = 1\text{lm}/\text{m}^2$	每平方米为 1 流明光通量的光照度。
[放射性]活度	贝可[勒尔]	Bq	$1\text{Bq} = \text{S}^{-1}$	1 秒内发生 1 次自发核转变或跃迁。
吸收剂量	戈[瑞]	Gy	$1\text{Gy} = 1\text{J}/\text{kg}$	授予 $1\text{kg}$ 受照物质以 $1\text{J}$ 能量的吸收剂量。
剂量当量	希[沃特]	Sv	$1\text{Sv} = 1\text{J}/\text{kg}$	

续表 16.4 可与国际单位制单位并用的我国法定计量单位

量的单位	单位名称	单位符号	与 SI 单位的关系
质 量	吨 原子质量单位	t u	$1\text{t} = 10^3\text{kg}$ $1\text{u} \approx 1.660\,540 \times 10^{-27}\text{kg}$
旋转速度	转每分	r/min	$1\text{r/min} = (1/60)\text{s}^{-1}$
长 度	海里	n mile	$1\text{n mile} = 1852\text{m}$ (只用于航行)
速 度	节	kn	$1\text{kn} = 1\text{n mile/h} = (1852/3600)\text{m/s}$ (只用于航行)
能 量	电子伏	eV	$1\text{eV} \approx 1.602\,177 \times 10^{-19}\text{J}$
级 差	分贝	dB	
线密度	特[克斯]	tex	$1\text{tex} = 10^{-6}\text{kg/m}$
面 积	公顷	hm <sup>2</sup>	$1\text{hm}^2 = 10^4\text{m}^2$
注:1、平面角单位度、分、秒的符号,在组合单位中应采用(°)、(′)、(″)的形式。 例如,不用°/s 而用(°)/s。 2、升的符号中,小写字母 l 为备用符号。 公顷的国外习用符号为 ha。			

### 3. 法定计量单位的基本使用方法

国家标准 GB 3100—1993《国际单位制及其应用》和 GB 3101—1993《有关量、单位和符号的一般原则》规范了国际单位制在我国的使用方法,它们与国际标准的规定基本一致。

(1) 法定计量单位的名称。法定计量单位的名称除特别说明外,一般指法定计量单位的中文名称,用于叙述性文字和口述中。名称中去掉方括号中的部分是单位的简称,简称和全称可任意选用,以表达清楚明了为原则。组合单位的中文名称原则上与其符号表示的顺序一致。单位符号中表示相除的斜线(/)称为“每”,且无论分母中有几个单位,“每”只在分母的前面出现一次,例如 J/(kg·K)的中文名称为焦耳每千克开尔文,而其简称为焦每千克开。单位符号中的相乘不对应任何名称,只要将单位名称连接读出即可。例如 N·m 的名称为牛顿米,其简称为牛米。如有单位带有幂,幂的名称在单位之前。二次幂,为二次方,如指面积则为平方;三次幂为三次方,如指体积则为立方。

(2) 法定计量单位和词头的符号。计量单位的符号采用国际通用符号,计量单位的名称及其简称,只在普通书刊和初中、小学课本中必要时采用。单位符号必须使用正体字体。一般为小写字母,只有来源于人名时,第一个字母大写(升的符号例外,可用 L)。当词头的因数大于 10<sup>3</sup> 时,其符号为大写。相乘的单位符号间可用乘点也可不用,但当中文符号相乘时必须用乘点。相除的单位符号间用斜线

表示或采用负指数。例如:密度单位符号可以是  $\text{kg}/\text{m}^3$  或  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , 其中文符号可以是千克/米<sup>3</sup> 或千克·米<sup>-3</sup>。单位中分子为 1 时, 只用负数幂。例如: 可用  $\text{m}^{-3}$  而不用  $1/\text{m}^3$ 。表示相除的斜线 (也可用水平线) 在一个单位中最多只有一条, 除非采用括号能澄清其含义。词头的符号与单位符号之间不得有间隙, 也不加相乘的符号。口述单位符号时应使用单位名称而非字母名称。

(3) 法定计量单位的词头的使用规则。单位和词头的名称用于口述, 一般也用于叙述性文字之中。符号可用于一切需要简单明了表示单位的地方, 也可用于叙述性文字之中。单位的名称与符号均是一个整体, 不得拆开, 例如不得把摄氏温度表达为“摄氏…度”。非十进制的单位不得使用词头构成倍数和分数单位。词头不得重叠使用, 例如不得使用毫微米、微微法拉。词头兆的含义为  $10^6$ 。亿 ( $10^8$ )、万 ( $10^4$ ) 不是词头, 只按一般数词使用。只通过相乘构成的组合单位, 通常词头加在分子之前。选用词头时, 一般应使量的数值处于 0.1 ~ 1000 范围内。土地面积单位平方公里的符号为  $\text{km}^2$ , 公顷的单位符号为  $\text{hm}^2$ , 而不采用国外习用符号  $\text{ha}$ 。

#### 4. 我国法定计量单位的主要特点

(1) 我国的法定计量单位是建立在单位制基础上的计量制度。国际单位制是我国法定计量单位的主体, 所有国际单位制单位都是我国的法定计量单位。实行法定计量单位是统一我国计量制度的重要决策, 它将彻底结束多种计量单位制在我国并存的现象, 并与国际主流相一致。

(2) 国际标准 ISO 1000 不但规定了国际单位制的构成, 也规定了国际单位制的使用方法。我国对使用法定计量单位规定的方法, 包括量及单位的名称、符号及其使用、书写规则, 也都与国际标准的规定基本一致, 各行业都应严格遵守、正确使用。

(3) 国家选定的作为法定计量单位的非 SI 单位, 是我国法定计量单位的重要组成部分, 它们具有同国际单位制单位同样的法定地位。

(4) 在国际标准或有关国际组织出版物中列出的非国际单位制单位 (选入我国法定计量单位的除外), 不得使用。在特殊领域、特殊场合下需要使用时, 应遵照有关规定执行。例如: 在个别科学技术领域中, 如有特殊需要, 可使用某些非法定计量单位, 也必须遵守与有关组织规定的名称、符号相一致的原则。

自 1984 年国务院发布《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》, 特别是自《中华人民共和国计量法》颁布以来, 我国在国民经济和科学技术各领域已普遍废除了市制, 旧杂制, 限制了英制单位的使用, 广泛、深入地推行了以国际单位制为基础的法定计量单位。经过十多年的努力工作, 到 1990 年底除个别特殊领域外, 一般不再使用非法定计量单位, 基本上完成了向法定计量单位的过渡。

## 16.3 校准和检定

### 1. 概述

在规定条件下,为确定测量仪器或测量(计量)仪器或测量(计量)系统的示值,或实物量具(参考物质)所代表的值,与相对应的被测量的已知值之间关系的一组操作,称为校准。

(1) 在规定的条件下,用参考标准对包括实物量具或参考物质在内的测量仪器的特性赋值,并确定其示值误差;

(2) 将测量仪器指示或代表的量值,按照比较链或校准链,将其溯源到测量标准复现的量值上。

校准的主要目的有四点,即

- (1) 确定示值误差,并确定其是否处于预期的允差范围之内;
- (2) 得出标称值偏差的报告值,并调整测量仪器或对示值加以修正;
- (3) 给标尺标记赋值或确定其他特性,或给参考物质的特性赋值;
- (4) 实现溯源性。

校准的依据是校准规范或校准方法,对它通常应作统一规定,特殊情况下也可自行制定。校准的结果可记录在校准证书或校准报告中,也可用校准因数或校准曲线等形式表示。

测量仪器的检定,是为评定测量仪器的测量特性,对所进行的全部工作确定其是否合格。它包括检查、加标记和(或)出具检定证书。检定具有法制性,其对象是法制管理范围内的测量仪器。一台被检定过的测量仪器,也就是根据检定结果,已被授予法制特性的测量仪器。

根据检定的必要程度和我国对其依法管理的形式,可将检定分为强制检定和非强制检定。所谓强制检定,是指由政府计量行政主管部门所属的法定计量检定机构或授权的计量检定机构,对某些测量仪器实行的一种定点定期的检定。鉴于各国的管理体制不同,法制计量管理的范围也不同。我国规定,用于贸易结算、安全防护、医疗卫生、环境监测四个方面的工作测量仪器,属于国家强制检定的管理范围。此外,我国对社会公用计量标准,部门和企业、事业单位的各项最高计量标准,也实行强制检定。强制检定的特点,是由政府计量行政部门统管,指定的法定或授权技术机构具体执行,固定检定关系,定点送检;检定周期由执行强检的技术机构按照计量检定规程,结合实际使用情况确定。

非强制检定是指由使用单位自己或委托具有社会公用计量标准或授权的计量检定机构,对强检以外的其他测量仪器依法进行的一种定期检定。其特点是使用单位依法自主管理,自由送检,自求溯源,自行确定检定周期。

强制检定与非强制检定均属于法制检定,是我国对测量仪器依法管理的两种形式,都要受法律的约束。不按规定进行周期检定的,要负法律责任。计量检定工作应当按照经济合理的原则,就近地进行。随着改革开放及经济发展,在强化检

定法制性的同时,对大量的非强制检定的测量仪器,为了达到统一量值的目的,应以校准为主。

检定的依据是按法定程序审批公布的计量检定规程。国家计量检定规程由国务院计量行政部门制定。没有国家计量检定规程的,由国务院有关主管部门和省、自治区、直辖市人民政府计量行政部门分别制定部门计量检定规程和地方计量检定规程,并向国务院计量行政部门备案。因此,任何企业和其它实体是无权制定检定规程的。

在检定结果中,必须有合格与否的结论,并出具证书或加盖印记。从事检定工作的人员必须经考核合格,并持有有关计量行政部门颁发的检定员证。

校准和检定的主要区别可归纳为如下五点,即:

(1) 校准不具法制性,是企业自愿的溯源行为;检定则具有法制性,属计量管理范畴的执法行为。

(2) 校准主要确定测量仪器的示值误差;检定则是对其计量特性及技术要求符合性的全面评定。

(3) 校准的依据是校准规范、校准方法,通常应作统一规定,有时也可自行制定;检定的依据则是检定规程。

(4) 校准通常不判断测量仪器合格与否,必要时也可确定其某一性能是否符合预期要求;检定则必须作出合格与否的结论。

(5) 校准结果通常是出具校准证书或校准报告;检定结果则是合格的发检定证书,不合格的发不合格通知书。

过去,一直没有把校准作为实现单位统一和量值准确可靠的主要方式,而常用检定取而代之。这一观念目前正在改变中,校准在量值溯源中的地位已经逐步确立。

## 2. 量值溯源性

### (1) 量值溯源体系

通过连续的比较链,使测量结果或测量标准的值能够与有关的计量标准(通常是国家计量标准或国际计量标准)联系起来的特性,称为量值溯源性。

这种特性使所有的同种量值,都可以按这条比较链通过校准向测量的源头追溯,也就是溯源到同一个计量基准(国家基准或国际基准),从而使计量的准确性和一致性得到技术保证。否则,量值出于多源或多头,必然会在技术上和管理上造成混乱。所谓“量值溯源”,是指自下而上通过不间断的校准而构成溯源体系;而“量值传递”,则是自上而下通过逐级检定而构成检定系统。

图 16.2 表示了我国的量值溯源体系,它是基于《计量法》建立起来的。

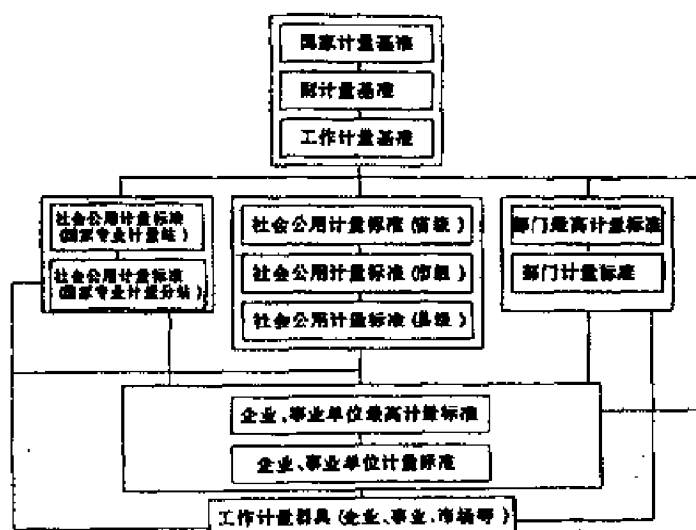


图 16.2 中国量值溯源体系

## (2) 溯源等级图

溯源等级图是一种代表等级顺序的框图,用以表明测量仪器的计量特性与给定的基准之间的关系。有时也称为溯源体系表。它是对定量或定性测量仪器所用的比较链的一种说明,以此作为其溯源性的证据。

建立溯源等级图的目的,是要对所进行的测量在其溯源到计量基准的途径中,尽可能减少环节和降低测量不确定度,并能给出适当的置信度。为实现溯源性,用等级图的方式应给出:

- (1) 不同等级测量标准的选择;
- (2) 等级间的连接及其平行分支;
- (3) 有关测量标准特性的重要信息,如测量范围、不确定度或准确度等级或最大允许误差等;
- (4) 溯源链中比较用的装置和方法。

等级图是逐级分等的:即用 $(n-1)$ 等级校准 $n$ 等级,或由 $n$ 等级向 $(n-1)$ 级溯源。试图固定两个等级间的不确定度之比是不现实的,根据被测量的具体情况,这个比率通常处于 $2 \sim 10$ 之间:对某些量,准确度提高 $2$ 倍也是可观的进步;但对另一些量,甚至可能达到 $10$ 倍。

在等级图中应注意区别测量标准本身复现量值的不确定度,以及经该测量标准校准所得测量结果的不确定度。要指明不确定度是标准、合成还是扩展;当表示为扩展不确定度时,不仅要给出包含因子或置信概率,还要指明其不能超过的不确定度限。对于普通等级的测量仪器,也可以指出其最大允许误差。等级图所反映的信息,应与有关法规、规程或规范的要求相一致。

对持有某一等级测量仪器的部门或企业,至少应按溯源等级图提供其上一等级测量标准特性的有关信息,以便实现其向国家基准的溯源。

## 3. 计量检定系统

根据溯源等级图的概念,不同国家可以采取不同形式的比较链(或校准链),并附有足够的文字信息,以保证不同国家建立的校准链有相当程度的一致性,便于溯源到国家基准,并与国际基准相联系。按我国《计量法》的规定,目前以国家计量检定系统表来代表国家溯源等级图,它是一种法定技术文件,由国务院计量行政部门组织制定并批准发布。这种系统表通常用图表结合文字的形式表达,其要求基本上与溯源等级图方式相一致。每一项国家计量基准都对应于一种检定系统表,并由该项基准的保存单位负责编制,经一定的审批手续,由国家计量行政部门批准发布。

国家计量检定系统表的代号为 JJF2×××-××××,其中 JJF 为计量技术规范的缩写,2×××为检定系统表颁布的序号,××××为其颁布的年号。目前,我国已颁布了近 100 个检定系统表。国家计量检定系统表具有一定的法律地位,它规定了我国量值传递(也可认为是量值溯源的逆过程)体系。按检定系统表进行检定,既可确保被检测量仪器的准确度,又可避免用过高准确度的测量标准检定低准确度的测量仪器,也可指导企业、事业单位实现测量仪器的量值溯源。

检定系统框图分三大部分——计量基准、计量标准及工作测量仪器(或计量器具)。图 16.2 所示是简化了的××测量仪器检定系统框图。在分割这三部分的点划线中说明其检定方法,比如是直接测量还是间接测量或比对;在每一部分内部各级标准器间,也以一定方式表示其相互关系及比较的方法。该框图的第一级应为国家基准。实际上,现有的国家计量检定系统表仅适用于目前属于检定范畴的、已经建立了国家基准的测量仪器的量值传递。对于大量的进行校准的测量仪器,尚需制定出相应的溯源等级图。

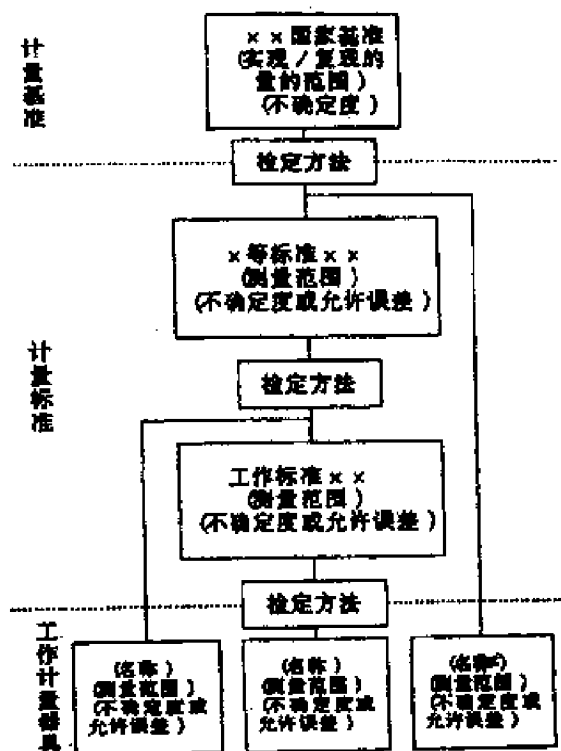


图 16.2 测量仪器检定系统框图

## 16.4 测量不确定度评定

### 1. 不确定度与误差的概念和区别

#### (1) 不确定度相关名词的定义和概念

##### ① 真值

一个量的真值是指该量客观存在的真实量值。由于对该量的测量时的各种影响,通常不能获得真值,因此它只具有理想的概念。

##### ② 约定真值

约定真值在实际中有时称为指定值、最佳估计值、约定值或参考值。在给定地点,取由参考标准复现而赋予该量的值作为约定真值。在实际测量中,通常以被测量的实际值、已修正的算术平均值、计量标准所复现的量值作为约定真值。

##### ③ 误差

测量结果减去被测量的真值称为误差。由于真值无法获得,故误差也无法准确得出。当用约定真值代替真值时,可以得到误差的估计值。误差按其性质可分为随机误差和系统误差两类。按定义,它们都是无穷多次测量情况下的理想值。



## ④ 修正值

修正值等于负的系统误差估计值。用代数法与未修正测量结果相加,就可以补偿系统误差的值。

## ⑤ 不确定度

不确定度是表征合理赋予被测量之值的分散性,与测量结果相联系的参数,是测量结果完整表述中的一个重要参数。

不确定度可以是标准差或其倍数,或是说明了置信水准的区间的半宽。以标准差表示的不确定度称为标准不确定度,以  $u$  表示。以标准差的倍数表示的不确定度称为扩展不确定度,以  $U$  表示。扩展不确定度表明了具有较大置信概率的区间的半宽度。不确定度通常由多个分量组成,每一分量均要评定其标准不确定度。评定方法分为 A、B 两类。A 类评定是用对观测列进行统计分析的方法,以实验标准差表征;B 类评定则用不同于 A 类的其他方法,以估计的标准差表征。各标准不确定度的合成称为合成标准不确定度,以  $u_c$  表示,它是测量结果标准差的估计值。

不确定度的表示形式有绝对、相对两种,绝对形式表示的不确定度与被测量的量纲相同,相对形式无量纲。

## (2) 误差与不确定度的区别

科技人员和工程技术人员对于测量结果或测量仪器的特性,经常会使用误差和不确定度这两个术语,现将它们的区别表述如下。

① 误差是指测量结果减去被测量的真值,是一个有确定正或负号的量值,而不确定度是一个无符号的参数,用标准差或其倍数,或置信区间半宽表示。

② 误差表明测量结果偏离真值的程度,而不确定度表明测量值的分散性。

③ 误差是客观存在的,不以人的认识程度而异;而不确定度与人们对被测量影响量及测量过程的认识有关。

④ 由于真值不可知,则误差往往不能准确得出,但在用约定真值代替真值时,可得其估计值;而不确定度可由人们根据实验、资料、经验等信息进行评定,评定方法有 A、B 两类。

⑤ 误差按其性质可分为随机和系统误差两类,按定义,这两类误差均为无穷多次测量情况下的理想值;不确定度在评定时,可分为由随机效应或系统效应引入的不确定度分量。

⑥ 已知系统误差的估计值可对测量结果进行修正,得出修正的测量结果;而不确定度不能对测量结果进行修正,在已作修正的测量结果中,应考虑修正不完善所引入的不确定度。

## 2. 测量不确定度

## 测量不确定度的来源

(1) 测量过程中有许多引起测量不确定度的来源,它们可能来自以下几个方面:

① 对被测量的定义不完整或不完善;

- ② 实现被测量的定义的方法不理想;
- ③ 取样的代表性不够,即被测量的取样不能代表所定义的被测量;
- ④ 对被测量过程受环境影响的认识不周全,或对环境条件的测量与控制不完善;

- ⑤ 对模拟仪器的读数存在人为偏差;
- ⑥ 测量仪器的分辨力或鉴别力不够;
- ⑦ 赋予计量标准的值和标准物质的值不准;
- ⑧ 引用于数据计算的常量和参量不准;
- ⑨ 测量方法和测量程度的近似性和假定性;
- ⑩ 在表面上看来完全相同的条件下,被测量重复观测值的变化。

下面举例说明上述各种情况下所引入的不确定度:

- ① 例如,定义被测量是一根标称值为 1m 长的金属尺的长度,要求测准至  $1\mu\text{m}$  量级。

上述定义不够完整,因金属尺的长度受温度和压力的变化而伸长或缩短。完整的定义应将标准温度和标准气压值包括在定义中。

- ② ①中定义在包括标准温度和压力值时,由于这两个量在测量时也会存在不确定度,使测量结果引入了附加的不确定度。

- ③ 例如,被测量是某种介质材料制成的样品,在测量中由于条件所限只能测量样品的一部分取样,而整块样品又存在不均匀性,则取样的部分就会引入测量不确定度。

- ④ 以①为例,测量中对金属尺的支撑方式不同,会引入不确定度。应采取必要措施,或估计所引入的不确定度。

- ⑤ 这类仪器的估读通常为最小分度值的 1%,由不同观测者带来的读数差异将计入不确定度。

- ⑥ 以称重仪器为例,设其最低位示值为 1g 时,按矩形概率分布计,装置分辨力的方差为  $u = \sqrt{(1/12)^2} = 0.29\text{g}$ 。

- ⑦ 测量中,标准或标准物质的不确定度直接引入测量结果中。例如上级标准砝码的不确定度,将引入下一级标准砝码的测量结果中。

- ⑧ 以①为例,金属尺随温度变化的线胀系数  $\alpha_t$ ,在通过查数据手册来获得该值时,该值的不确定度将引入测量结果中。

- ⑨ 被测量表达式的近似程度、自动测试程序的迭代程度、电测量中由于测量系统不完善引起的绝缘漏电、热电势、引线电阻上的压降等,均会引起不确定度。

- ⑩ 多次测量总会存在测量结果的分散性,这是一种客观存在,是由随机效应造成的。

## (2) 测量过程数学模型的建立

在测量不确定度评定中,所有的测量值均应是测量结果的最佳估计值(即对所有测量结果中系统效应的影响均应进行修正)。对各影响量产生的不确定度分量

不应有遗漏,也不能有重复。在所有的测量结果中,均不应存在由于读取、记录或数据分析失误或仪器不正确使用等因素引入的明显的异常数据。如果发现测量结果中有异常值,则应将其剔除。但在剔除数据前应对异常值依据适当的规则(例如,GB 4883-1995《正态分布中异常值的判断和处理》)进行检验,而不能仅凭经验或主观感觉作判断。

在有些情况下,系统效应引起的不确定度分量很小,对测量结果的合成不确定度影响也很小,这样的分量在评定不确定度时就可以忽略。如果修正值本身与合成不确定度相比也是很小的值时,则修正值也可以忽略不计。比如:用很高等级的标准器校准低等级的测量仪器时,标准器的修正值及标准器修正值引入的不确定度分量均可忽略不计。又如:在法制计量领域内,通常要求测量标准及测量方法和程序引入的测量不确定度应小到可忽略的程度,即要求标准装置的扩展不确定度为被测件允许误差的  $1/3 \sim 1/10$ 。这时,测量方法、过程及测量标准本身引起的不确定度,通常可以忽略不计。

在实际测量的很多情况下,被测量  $Y$ (输出量)不能直接测得,而是由  $N$  个其它量  $X_1, X_2, \dots, X_N$ (输入量)通过函数关系  $f$  来确定:

$$Y = F(X_1, X_2, \dots, X_N) \quad (16-1)$$

上式表示的这种函数关系,就称为测量模型或数学模型,或称为测量过程数学模型。

测量不确定度通常是由测量过程的数学模型和不确定度的传播率来评定。由于数学模型可能不完善,所有有关的量应充分地反映其实际情况的变化,以便可以根据尽可能多的观测数据来评定不确定度。在可能情况下,应采用按长期积累的数据建立起来的经验模型。

数学模型不是唯一的,如果采用不同的测量方法和不同的测量程序,就可能有不同的数学模型。例如:

一个随  $t$  变化的电阻器两端的电压为  $V$ , 在温度为  $t_0$  时的电阻为  $R_0$ , 电阻器的温度系数为  $\alpha$ , 则电阻器的损耗功率  $P$ (输出量或被测量)取决于  $V, R_0, \alpha$  和  $t$ (输入量), 即:

$$P = f(V, R_0, \alpha, t) = V^2 / R_0 [1 + \alpha(t - t_0)] \quad (16-2)$$

同样是测量该电阻器的损耗功率  $P$ , 我们也可采用测量其端电压和流经电阻的电流  $I$  来获得, 则  $P$  的数学模型就变成:

$$P = f(V, V, I) = VI \quad (16-3)$$

输出量  $Y$  的输入量  $X_1, X_2, \dots, X_N$  本身可看作被测量, 也可取决于其他量, 甚至包括具有系统效应的修正值, 从而可能导出一个十分复杂的函数关系式, 以至函数  $f$  不能明确地表示出来。有时输出量的数学模式也可能简单到  $Y = X$ , 如用一卡尺测量工件的尺寸时, 则工件的尺寸就等于卡尺的示值。

数学模型可用已知的物理公式求得, 也可用实验的方法确定, 甚至只用数值方

程给出(数值方程为物理方程的一种,用于表示在给定测量单位的条件下,数值之间的关系,而无物理量之间的关系)。

设式中被测量  $Y$  的估计值为  $y$ , 输入量  $X_i$  的估计值为  $x_i$ , 则有:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N) \quad (16-4)$$

$x_i$  的不确定度是  $y$  的不确定度的来源。寻找不确定度来源时,可以从测量仪器、测量环境、测量人员、测量方法、被测量等方面全面考虑,应做到不遗漏、不重复,特别应考虑对结果影响大的不确定度来源。遗漏会使  $y$  的不确定度过小,重复会使  $y$  的不确定度过大。

### (3) 不确定度传播率

由  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_N)$  可得到输出量(被测量)  $Y$  的估计值  $y$  (测量结果)的不确定度为:

$$u^2(y) = \left[ \frac{\partial f}{\partial x_1} \right]^2 u^2(x_1) + \left[ \frac{\partial f}{\partial x_2} \right]^2 u^2(x_2) + \dots + \left[ \frac{\partial f}{\partial x_N} \right]^2 u^2(x_N) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=1}^N \left[ \frac{\partial f}{\partial x_i} \right] \left[ \frac{\partial f}{\partial x_j} \right] u(x_i, x_j) \quad (16-5)$$

上式称为不确定度传播率,其中  $\partial f / \partial x$  称为灵敏系数,  $u(x_i)$  分别为输入量  $X_i$  的估计值  $x_i$  的标准不确定度,  $u(x_i, x_j)$  为任意两输入量估计值的协方差函数。

各输入估计值  $x_i$  及其标准不确定度  $u(x_i)$  得自输入量  $X_i$  可能值的概率分布。此概率分布可能是基于  $X_i$  的观测列的频率分布,也可能是基于经验和有用信息的先验分布。标准不确定度分量的 A 类评定基于频率分布, B 类评定基于先验分布。应认识到, A, B 两类评定只是评定方法的不同,其本质是相同的。

### 3. 标准不确定度和标准(偏)差

为了表征赋予被测量之值的分散性,测量不确定度往往用标准(偏)差表示。在实际使用中,由于人们往往希望知道测量结果的置信区间,因此测量不确定度也可用标准(偏)差的倍数或说明了置信水准的区间的半宽度表示。为了区分这两种不同的表示方法,分别称它们为标准不确定度和扩展不确定度。

以标准(偏)差表示的测量不确定度,称为标准不确定度。标准不确定度用符号  $u$  表示,它不是由测量标准引起的不确定度,而是指不确定度以标准(偏)差表示,来表征被测量之值的分散性。

当对同一被测量作  $n$  次测量,表征测量结果分散性的量  $s$  按下式算出时,称它为实验标准(偏)差:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (16-6)$$

式中  $x_i$  为第  $i$  次测量的结果;为所考虑的  $n$  次结果的算术平均值。

对同一被测量作有限的  $n$  次测量,其中任何一次的测量结果或观测值,都可

视作无穷多次测量结果或总体的一个样本。数理统计方法就是要通过这个样本所获得的信息(例如算术平均值和实验标准差  $s$  等),来推断总体的性质(例如,期望  $\mu$  和方差  $\sigma^2$  等)。期望是通过无穷多次测量所得的观测值的算术平均值或加权平均值,又称为总体均值  $\mu$ ,显然它只是在理论上存在并可表示为:

$$\mu = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (16-7)$$

方差  $\sigma^2$  则是无穷多次测量所得的观测值与期望之差的平方算术平均值,它也只是在理论上存在并可表示为:

$$\sigma^2 = \lim_{n \rightarrow \infty} \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2 \right] \quad (16-8)$$

方差的正平方根  $\sigma$ ,通常被称为标准(偏)差,又称为总体标准(偏)差或理论标准(偏)差。而通过有限次测量算得的实验标准(偏)差  $s$ ,又称为样本标准(偏)差,这个计算公式即为贝塞尔公式,算得的  $s$  是  $\sigma$  的估计值。

$s$  是单次观测值  $x_i$  的实验标准(偏)差,  $s/\sqrt{n}$  才是  $n$  次测量所得算术平均值的实验标准(偏)差,它是  $\bar{x}$  分布的标准(偏)差的估计值。为易于区别,前者用  $s(x)$  表示,后者用  $s(\bar{x})$  表示,故有  $s(\bar{x}) = s(x)/\sqrt{n}$ 。

通常用  $s(x)$  表征测量仪器的重复性,而用  $s(\bar{x})$  评价以此仪器进行  $n$  次测量所得测量结果的分散性。随着测量次数  $n$  的增加,测量结果的分散性  $s(\bar{x})$  即与成反比地减小,这是由于对多次观测值取平均后,正、负误差相互抵消所致。所以,当测量要求较高或希望测量结果的标准(偏)差较小时,应适当增加  $n$ ;但当  $n > 20$  时,随着  $n$  的增加,  $s(\bar{x})$  的减小速率减慢。因此,在选取  $n$  的多少时应予综合考虑或权衡利弊,因为增加测量次数就会拉长测量时间、加大测量成本。在通常情况下,取  $n \geq 3$ ,以  $n = 4 \sim 20$  为宜。另外,应当强调  $s(\bar{x})$  是平均值的实验标准(偏)差,而不能称它为平均值的标准误差。

#### 4. 不确定度的 A 类、B 类评定及其合成

##### (1) 不确定度的 A 类评定和 B 类评定

用对观测列进行统计分析方法来评定的标准不确定度,称为不确定度的 A 类评定,得到的结果称为 A 类不确定度分量,用符号  $u_A$  表示;而用统计方法之外的其他评定称为 B 类评定,得到的相应结果称为 B 类不确定度分量,用符号  $u_B$  表示。两者的区别在于, A 类评定是根据处理数据的任何固定统计方法作出的,而 B 类评定通常是根据所有可用的有关信息及有关量值假定的概率分布作出的。

这里的统计分析方法,是指根据随机取出的测量取样中所获得的信息,来推断关于总体性质方法。不确定度的 A 类评定通常比 B 类评定更为客观。因此原则上说不确定度都可以采用 A 类评定。以对量块的测量为例,可以选取不同厂家生产的量块进行测量,得出各自的线胀系数并计算出标准差。但也可用手册得到其相应值为  $(11.5 \pm 1) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$ , 由此估算出标准不确定度。

而用 B 类评定的信息来源可列出以下六项:

- ① 以前的观测数据;
- ② 对有关技术资料 and 测量仪器特性的了解和经验;
- ③ 生产部门提供的技术说明文件;
- ④ 校准证书、检定证书或其他文件提供的数据、准确度的等别或级别,包括目前仍在使用的极限误差、最大允许误差等;
- ⑤ 手册或某些资料给出的参考数据及其不确定度;
- ⑥ 规定实验方法的国家标准或类似技术文件中给出的重复性限或复现性限。

## (2) B 类不确定度评定的自由度及其意义

B 类不确定度分量的自由度与所得到的标准不确定度  $u(x_i)$  过的相对标准不确定度  $\sigma[u(x_i)]/u(x_i)$  有关,其关系为:

$$\nu_i \approx \frac{1}{2} \frac{u^2(x_i)}{\sigma^2[u(x_i)]} \approx \frac{1}{2} \left[ \frac{\Delta u(x_i)}{u(x_i)} \right]^{-2} \quad (16-9)$$

根据经验,按所依据的信息来源的可信程度来判断  $u(x_i)$  的标准不确定度,从而推算出比值  $\sigma[u(x_i)]/u(x_i)$ 。按式计算出的  $\nu_i$  列于表。

表 16.5  $\sigma[u(x_i)]/u(x_i)$  与  $\nu_i$  关系

$\sigma[u(x_i)]/u(x_i)$	$\nu_i$	$\sigma[u(x_i)]/u(x_i)$	$\nu_i$
0	$\infty$	0.30	6
0.10	50	0.40	3
0.20	12	0.50	2
0.25	8		

在式(16-9)中,  $\sigma[u(x_i)]$  是  $u(x_i)$  的标准差,即  $\sigma[u(x_i)]$  是标准差的标准差,不确定度的不确定度,式(16-9)同样适用于 A 类不确定度评定。下面结合 A 类不确定度的自由度问题加以说明,以进一步加深对  $\sigma[u(x_i)]$  的理解。

当被测量  $q$  的概率分布为正态,对被测量进行多组(组数为  $m$ )的  $n=10$  次测量,从每一组的 10 次测量可得到一个实验标准差  $u_j(q)$ ,第一组测量所得  $u_j(q)$  ( $j=1 \sim m$ ) 不完全相同,这样,由  $m$  个  $u_j(q)$  的实验标准差

$$S = \sqrt{\frac{\sum_j [u_j(q) - \bar{u}(q)]^2}{m-1}} \quad (16-10)$$

当  $m$  为无穷大(很多数测量)时,  $s$  表示为  $\sigma[u(q)]$ ,  $\sigma[u(q)]$  是  $u(q)$  的标准差。

当被测量  $q$  服从正态分布时,可得  $\sigma[u(q)]/u(q)$ ,即  $u(q)$  的标准差与  $u(q)$  之比近似为  $[2(n-1)]^{1/2}$ 。取  $\sigma[u(q)]$  为  $u(q)$  的不确定度,对  $n=10$  次观测,  $u(q)$  的相对不确定度为 24%。

$$\nu_i = \frac{1}{2} \frac{1}{\{\sigma[u(q)]/u(q)\}^2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{(24\%)^2} \approx 8.7 \approx 10 - 1 = n - 1 \quad (16-11)$$

当  $n = 50$  次观测,  $u_j(q)$  之间的数值比  $n = 10$  时更互相接近, 可得  $u(q)$  的相对不确定度  $\sigma[u(q)]/u(q)$  为 10%。

由式(16-11)得

$$\nu_i = \frac{1}{2} \frac{1}{\{\sigma[u(q)]/u(q)\}^2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{(10\%)^2} = 50 \approx 50 - 1 = n - 1 \quad (16-12)$$

所以, 无论 B 类评定还是 A 类评定, 自由度越大, 不确定度的可靠程度越高。不确定度是用来衡量测量结果的可靠程度。自由度则是用来衡量不确定度的可靠程度, 所以可以说自由度是一种二次或二阶不确定度。

应该说明的是: 公式  $\nu_i = \frac{1}{2} \left\{ \frac{u(x_i)}{\sigma[u(x_i)]} \right\}^2$  不仅仅适用于正态分布, 还适合于其他任何分布的情况。

所以, 不确定度的 B 类评定, 除了要设定其概率分布, 还要设定评定的可靠程度。这要靠经验并对有关知识有深刻的了解。这是一门技巧, 要靠实践积累。下面举一些例子予以说明。

当不确定度的评定有严格的数字关系, 如数显仪器量化误差和数据修约引起的不确定度计算, 自由度为  $\infty$ 。

两类标准不确定度的估算仅是方法不同, 并无本质差异, 它们均基于统计规律的概率分布, 均可用标准偏差来定量表达, 合成时应同等对待。

### (3) 合成标准不确定度

当测量结果是由若干个其他量的值求得时, 按其他各量的方差和协方差算得的标准不确定度, 称为合成标准不确定度。

在测量结果是由若干个其他量求得的情形下, 测量结果的标准不确定度, 等于这些其他量的方差和协方差适当和的正平方根, 它被称为合成标准不确定度。合成标准不确定度是测量结果标准(偏)差的估计值, 用符号  $u_c$  表示。

方差是标准(偏)差的平方, 协方差是相关性导致的方差。当两个被测量的估计值具有相同的不确定度来源, 特别是受到相同的系统效应的影响(例如, 使用了同一台标准器)时, 它们之间即存在着相关性。如果两个都偏大或都偏小, 称为正相关; 如果一个偏大而另一个偏小, 则称为负相关。由这种相关性所导致的方差, 即为协方差。显然, 计入协方差会扩大合成标准不确定度, 协方差的计算既有属于 A 类评定的, 也有属于 B 类评定的。人们往往通过改变测量程序来避免发生相关性, 或者使协方差减小到可以忽略不计的程度, 例如, 通过改变所使用的同一台标准器等。如果两个随机变量是独立的, 则它们的协方差和相关系数等于零, 但反之不一定成立。

合成标准不确定度仍然是标准(偏)差, 它表征了测量结果的分散性。合成标准不确定度的自由度称为有效自由度, 用  $\nu_{eff}$  表示, 它表明所评定的  $u_c$  的可靠程度。

## (4) 最小二乘法中的不确定度

当被测量  $X$  的估计值由实验数据用最小二乘法拟合的直线或曲线上得到时,任意预期的估计值或表征曲线拟合参数的标准不确定度,可以用已知的统计程序计算得到。

在计量工作中,常遇到寻求两个物理量的关系问题,如两估计值  $x, y$  有线性关系  $y = a + bx$ , 对其独立测得若干对数据  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ ,  $n > 2$ , 欲得到参数  $a, b$  及其标准不确定度,以及预期估计值及其标准不确定度,要用到最小二乘法。设  $y = a + bx$ , 误差方程为

$$\begin{aligned} v_1 &= y_1 - (a + bx_1) \\ v_2 &= y_2 - (a + bx_2) \\ &\dots \quad \dots \quad \dots \\ v_n &= y_n - (a + bx_n) \end{aligned} \quad (16-13)$$

式中  $v_i$  为残差。

残差平方和为

$$\sum v_i^2 = \sum [y - (a + bx)]^2 \quad (16-14)$$

要使

$$\sum v_i^2 = \min(\text{最小}) \quad (16-15)$$

只需

$$\frac{\partial \sum v_i^2}{\partial a} = 0 \quad \text{及} \quad \frac{\partial \sum v_i^2}{\partial b} = 0 \quad (16-16)$$

列方程求解,得

$$\begin{aligned} a &= \bar{y} - b \bar{x} \\ b &= \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \end{aligned} \quad (16-17)$$

式中

$$\begin{aligned} S_{xy} &= [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})] \\ S_{xx} &= [(x_i - \bar{x})(x_i - \bar{x})] \end{aligned} \quad (16-18)$$

上式的方括号  $[\ ]$  为求和符号。

将  $a, b$  代回误差方程,求得残差  $v_i$ , 实验标准差

$$S = \sqrt{\frac{[v_i^2]}{n-2}} \quad (16-19)$$

因此,参数  $a, b$  的标准不确定度为

$$\begin{aligned} u(a) &= S(a) = \sqrt{\frac{1}{nS_{xx}} S^2(x^2)} = S \sqrt{\frac{[x^2]}{nS_{xx}}} \\ u(b) &= S(b) = \sqrt{\frac{1}{S_{xx}} S^2} = S \sqrt{\frac{1}{S_{xx}}} \end{aligned} \quad (16-20)$$



[例] 已知两个量  $D, T$  关系为  $D = a + bT$ , 现测得  $(D_i, T_i)$  的数值如下

$D$	$T$
4 364	16
4 366	21
4 362	19
4 365	21
4 378	29
4 370	24

$$\bar{D} = 4\,368 \quad \bar{T} = 21 \quad (16-21)$$

由最小二乘法, 列出误差方程

$$D_i = a + bT_i + v_i \quad i = 1, 2, \dots, 6 \quad (16-22)$$

残差平方和为

$$\sum v_i^2 = \sum [D_i - (a + bT_i)]^2 \quad (16-23)$$

由  $\frac{\partial \sum v_i^2}{\partial a} = 0$  及  $\frac{\partial \sum v_i^2}{\partial b} = 0$  解得

$$\begin{aligned} a &= 4\,341.3 \\ b &= 1.208 \end{aligned} \quad (16-24)$$

代回误差方程, 求出残差  $v_i$ , 实验标准差  $s$  为

$$\begin{aligned} s &= \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n-2}} = 2.347 \\ s^2(a) &= \frac{1}{ns_{TT}} s^2 [T^2] = 0.009\,6 \times 2\,916 = 27.99 \\ s^2(b) &= \frac{1}{s_{TT}} s^2 = 0.058 \end{aligned} \quad (16-25)$$

式中  $s_{TT} = [(T_i - \bar{T})(T_i - \bar{T})]$ , 方括号  $[\ ]$  为求和符号。

因此, 参数  $a, b$  的标准不确定度为

$$\begin{aligned} u(a) &= s(a) = 5.29 \\ u(b) &= s(b) = 0.24 \end{aligned} \quad (16-26)$$

上面例子是用最小二乘法拟合直线。在实际工作中, 也有拟合二次、三次曲线以至其他曲线, 以降低曲线的不确定度或最大残差的数值。

## 16.5 信息时代的仪器、标准与计量体系的发展和展望

### 1. 一种信息时代的新型仪器——虚拟仪器

虚拟仪器是一种以软件为主体的新型仪器, 但它具有与传统硬件仪器相同的

功能,或具有更多的功能和更快的运行速度。这类仪器是以计算机为统一的硬件平台,对测试仪器的功能和控件进行建模,并根据建立的模型将这些功能和形象逼真的仪器面板控件形成相应的软件,以文件形式存放于计算机主机内的软件库中。同时在计算机的总线槽内插入对应的、可实现数据交换的模块化硬件接口卡,使库内仪器的测试功能和控件的软件以及接口卡输入到机内的数据,在计算机系统管理器的统一指挥和协调下运行,这样就构成了一台虚拟仪器。这类仪器也可称为“软件仪器”。在当前软件产业飞速发展的时代,这类新型仪器无疑是仪器行业的一场革命,它将享用计算机的运算、存储、显示、打印和管理等一系列功能,也会跟随计算机的发展,使仪器的功能不断进步和发展。

目前,虚拟仪器已有下列类型:波型显示器与数据记录仪,快速付里叶变换分析仪、小波变换信号分析仪、噪声测试分析仪、温度控制仪和测试仪等。

## 2. 新一代的标准与计量体系

标准与计量作为最基础的科学技术手段,是贯穿一切商品从研究、开发、设计、制造到流通、使用、维修、报废、回收等全过程的纽带,在知识经济时代和经济全球化的新世纪,其重要作用为国际社会所认同。

目前,国际上最重要的标准与计量体系之一称为“产品几何尺寸的规范与认证”,它被国际标准化组织 ISO/TC 213 简称为 GPS(Dimensional and Geometrical Product Specification and Verification)。GPS 不仅是设计人员、产品开发人员及计量测试人员等为了达到产品的功能要求而进行信息交流的基础,而且是国际经贸动作中唯一可靠的评估工具。据 ISO/TC 213 统计,产品成本的 80% 均与 GPS 有关。因而,新一代的 GPS 语言已应运而生。它是以计量数学为基础,应用物理学的镜象对应原理,把标准与计量用不确定度的传递关系联系起来,从而使产品的功能、规范与测量结果汇成一体。新一代的 GPS 将不确定度考虑为经济工具,以产品规范制定及认证范围内资源的高效益分配为原则,促进产品和程序的快速更新换代,从而将彻底替代长期困扰人们的基于几何学理论的传统技术标准,并解决由于测量方法不一致而使测量评估失控引起的纠纷问题。

由此可见,新一代的 GPS 是信息时代综合产品几何规范和计量认证为一体的新型国际标准,它的出现标志着标准和计量进入了一个新的时代。

第一代的 GPS 语言包括:产品毫米及微米级几何尺寸、公差、表面特性、测量原理、测量设备及仪器标准。它提供了产品设计、制造及检测的技术规范,但没有建立它们彼此之间的联系。而新一代的 GPS 语言包括:与计量有关的数学、计算机软件及与计量学理论有关的计算,其中有离散数据、连续数据及两者计算模型,满足计量要求的通用软件、仪器内置软件的检验、虚拟仪器的验证等。这项技术的全面实施,可使采用的计量软件在多样化、复杂化的情况下,减少人为干预的误差处理方法,使测量仪器在标定过程中实现自动化,并可使数据有交换和储存的功能。

新一代 GPS 系统可以实现纳米级表面形貌的测量和评估,使产品的三维表面粗糙度实现了软件化的自动测量。

新一代 GPS 系统,根据所涉及的定义、仪器、测量方法和定标过程,进行模块分类,并对模块进行组合描述及建模,制定模块之间的接口规范,定义和封装通用核心接口,以实现虚拟功能控件之间的无缝交互作用。然后建立标准与计量链中各种功能模块的虚拟功能控件,主要在于如何实现系统的赋予功能、接口通讯技术以及对流经各单元数据信息进行实时监控与分析,为系统集成提供交互式图形化虚拟功能控件。采用可视化图形编程方法,对已赋予功能的虚拟功能控件及部件框架实现结构布层、模块连接、集成以及任务仿真。

新一代 GPS 系统一旦成功实施,可以开辟 GPS 信息网站,直接为企业和社会服务。该系统具有一个以虚拟功能控件组合的 GPS 标准—计量信息集成体系智能知识库和软件系统。以计量数学为基础的 GPS 数学方法,包括数值逼近法、滤波法、关联分析法、模糊评判以及统计分析等。提供一套切实可行的以 IS GUM 及 ISO 14253 为准则的不确定度理论与技术。

## 16.6 计量测试工作的重要作用

在现代化的工业企业管理中,计量测试工作是必须具备的基本条件之一。通过对产品的计量测试,使它达到产品标准中规定的要求。这是依靠数据来指挥生产、监控工艺,以保证产品质量符合规范的科学方法。尤其是在我国。加入 WTO 后,在对进出口产品的检验中,是必不可少的一个重要环节。现代化的企业,只有在采用了最新的测试监督技术,严格质量管理,才能在激烈的市场竞争中取胜。没有准确的计量,就没有可靠的数据,因而无法准确控制工艺过程,最终不能生产出高质量的产品。因此,发达国家把计量检测、原材料和工艺装备列为现代化工业生产的三大支柱。

为了使企业完善计量检测体系的标准和要求,应做好以下几方面的工作。

在计量体系的标准方面,可根据企业的实际情况进行选择:

(1) 以产品质量为主要目标的企业,或申请 ISO 9000 认证的企业,可按 ISO 9000 标准中的计量要素建立计量体系;

(2) 以产品质量、节约能源和物料,提高企业效益为主要目标的企业,可以在原有计量定级升级的基础上,按完善计量检测系统的要求去建立计量体系;

(3) 测试和计量能力较强,并需要对社会开展测试和校准服务的企业、事业单位,可以按 ISO/IEC 指南 25 要求建立计量体系;

(4) 中小型企业,可以按计量法的要求建立体系,也可以按计量体系的要素建立计量体系;

(5) 需要申请环境认证的企业,或污染性较高的企业,可以按照 ISO 14000 标准中的测量要素建立计量体系;

(6) 流程性企业可以按照完善计量测试体系,或按企业对计量的要求建立计量体系。

## 1. 不确定度在质量监督中的应用

### (1) 通常采用的方法

在质量监督中,通常采用稳健性方法,在 ISO 导则 43 中,对此法极为重视。这种方法是使极端结果对平均值估计值和标准差估计值的影响减至最小的方法。下面举实例进行计算和说明。

例如,测量某一量的数值共得 10 个数据,按其大小为顺序可排列如下:

0.250670, 0.250670, 0.250670, 0.250670, 0.250671,

0.250671, 0.250673, 0.250673, 0.250675, 0.250675

取其中位数,即第 5 和第 6 个数据的平均值 0.250671,若用数据的修剪平均,则将一个最大值(0.250675)和一个最小值(0.250670)分别予以剪除,然后进行平均,可得其修剪平均值为 0.250672。

### 2. 复查中的重复现和再现性

为保证产品质量,按 GB/T 16306 - 1996《产品质量监督复查程序与抽样方案》对产品质量监督复查。

对样品进行重复性或再现性的测试称复验。在原监督总体中再次抽取样本进行检验,决定监督总体是否可通过称为复检。复检与复验统称复查。

复查中的测量重复性和再现性的差别在于,重复性是指在相同条件下的一组测量结果之间的一致性。其中的测量条件包括测量原理、测量方法、观测者、测量仪器、参考计量标准等。两者均用测量标准差表示。

## 16.7 测量器具及其特性

### 1. 概述

测量器具是量具、测量仪器和测量装置的总称。量具是实物量具的简称,它是一种在使用时具有固定形态,用以复现或提供给定量的一个或多个已知量值的器具。例如,砝码、标准电池、温度灯、电阻器、量块及标准信号发生器等。量具一般不带有指示器,而由被测对象本身形成指示器。

测量仪器是单独地或连同其它设备一起用以进行测量的器具,它将被测量进行直接观测得到示值或等效信息。例如,电流表、压力表、温度计、干涉仪、天平等都是测量仪器。为了达到测量的预定要求,测量仪器必须具有符合规范的计量学特性,特别是准确度等级或最大允许误差必须符合要求。

测量仪器按其计量学用途或在统一单位量值中的作用,又分为测量基准、测量标准和工作用测量仪器;按其结构和功能特点,测量仪器包括实物量具、测量用的仪器仪表、标准物质和测量装置。

测量装置是组装起来用以进行特定测量的全套测量仪器和其他设备,例如测量半导体材料电导率的装置、校准体温计的装置等。测量装置中可以包含实物量具和化学试剂。

测量设备则是指测量仪器、测量标准、标准物质、辅助设备以及进行测量所必需的资料的一种总称。测量设备不仅包含一般的测量仪器,而且包含了各等级的测量标准,各类标准物质和实物量具,还包含和测量设备连接的各种辅助设备,以及进行测量所必需的资料和软件。

由测量仪器或测量装置的系列单元所构成的、测量信号从输入到输出的通道,称为测量链。例如,由传声器、衰减器、滤波器、放大器和电压表组成的电声测量链。通常典型的测量仪器从总体上来看,由输入部分、中间变换部分和输出部分三个部分组成,通过对测量链的分析,有利于加深对测量仪器原理结构及性能的理解。

测量仪器或测量链中直接作用于被测量的量的器件,称为测量传感器。例如热电偶、电流互感器、应变计、PH 电极等。在实践中,某些被测量往往不能找到能将它与已知量值直接进行比较的测量仪器,或者测量准确度不高。例如温度、流量、加速度等,直接同它们的标准量比较是相当困难的。但可以将输入量变换成其他量,诸如电流、电压、电阻等易测的电学量;或变换成大小不同的同种量,如将大电流变换成较易测量的安培量级的电流,这种器件就称为测量传感器。通常测量传感器的输入量就是被测量。例如热电偶的输入量为温度,经变换后输出为热电动势,根据温度与其热电动势的对应关系,可从温度指示仪或电子电位差计上得到被测的温度值。因此,热电偶就是一种测温传感器。传感器的种类很多,按被测量分类,可分为温度传感器、力传感器、压力传感器、应变传感器、速度传感器等等;按测量原理分类,可分为电阻式、电感式、电容式、热电式、压电等、光电式等等。

## 2. 测量仪器、装置和设备的特性

测量范围也可称为工作范围,是指测量仪器的误差处在规定的极限范围内的一组被测量的值。也就是说,在这一规定的测量范围内使用,测量仪器的示值误差就应处在允许极限内。如超过测量范围使用,则示值误差将超出允许极限。有些测量仪器的测量范围与其标称范围相同,如体温计、电流表、压力表、密度计等。而有的测量仪器在下限附近的相对误差会急剧增大,如地秤等。此时应确定一个能确保其示值误差处于规定极限内的标称范围作为测量范围。可见测量范围通常要小于标称范围,测量范围就是在正常工作条件下,能确保测量仪器规定准确度的被测量值的范围。

注意必须正确区别示值范围、标称范围、测量范围和量程的概念。示值范围是指测量仪器标尺或显示装置所能指示的范围,可用标在标尺或显示器上的单位表示;标称范围是对测量仪器整体而言的,通常用被测量的单位表示;测量范围是指能保证规定准确度、满足误差在规定极限内的量值范围;量程是指标称范围上限值和下限值之差的模。

对给定的测量仪器,规范、规程等所允许的误差极限值,称为测量仪器的最大允许误差,有时也称测量仪器的允许误差限。这里规定的是误差极限值,所以实际上就是各计量性能所要求的最大允许误差值。

要区别和理解测量仪器的示值误差、最大允许误差和测量不确定度之间的关

系。示值误差和最大允许误差均是对测量仪器本身而言的。最大允许误差是指技术规范(如标准、检定规程)所规定的允许的误差极限值,是一个判定是否合格的要求。而示值误差是测量仪器某一示值的误差的实际大小,是通过检定、校准所得到的一个值,可以评价是否满足最大允许误差的要求,从而判断该测量仪器是否合格或根据实际需要提供修正值,以提高测量结果的准确度。测量不确定度是表征测量结果分散性的一个参数,它只能表述为一个区间或一个范围。按照测量仪器规定最大允许误差,通过检定、校准去确定示值误差是具有十分现实意义的。

测量仪器响应的变化除以对应的激励变化,称为灵敏度。它反映测量仪器被测量(输入)变化引起仪器示值(输出)变化的程度,用被观察变量的增量即响应(输出量)与相应被测量的增量即激励(输入量)之商来表示。如被测量变化很小,而引起的示值(输出量)改变很大,则该测量仪器的灵敏度很高。灵敏度是测量仪器重要的计量特性之一,有时灵敏度并不是越高越好,例如为了方便读数,使示值及时处于稳定状态,还需要特地降低灵敏度。

显示装置能有效辨别的最小的示值差,称为显示装置的分辨力。它是指显示装置中对其最小示值的辨别能力。通常模拟式显示装置的分辨力为标尺分度值的一半,即用肉眼可以分辨到一个分度值的 $1/10$ 。当然也可以采取其他工具,如放大镜、读数望远镜等提高其分辨力;对于数字式显示装置,其分辨力为末位数字的一个数码,对于半数字式的显示装置,其分辨力为末位数字的一个分度。高分辨力有助于减少读数不确定度而引起的对测量结果的影响。

稳定性通常是指测量仪器保持其计量特性随时间恒定的能力。若稳定性不是对时间而言,而是对其他量而言,则应该明确说明。稳定性可以定量地表示,通常用以下两种方式:用计量特性变化某个规定的量所需经过的时间,或用计量特性经过规定的时间所发生的变化量。例如:标准电池的长期稳定性以电动势的年变化幅度表示,而短期稳定性则以3~5天内电动势的变化幅度表示。又如:量块的稳定性以其规定的长度每年允许的最大变化量(微米/年)表示。

对于测量仪器,尤其是测量标准或某些实物量具,稳定性是重要的计量特性之一。测量仪器产生不稳定的因素很多,主要是元器件老化、零部件磨损,以及使用、储存、维护工作不仔细等所致。对测量仪器进行周期检定或校准,就是对其稳定性的一种考核。

漂移是测量仪器计量特性的慢变化,它反映了规定的条件下测量仪器计量特性随时间的慢变化。例如:在几分钟、几十分钟或几小时内,保持某计量特性恒定的能力一个术语。又如:测量传感器的零点漂移,线性测量仪器静态特性随时间变化的量程漂移。产生漂移的原因,往往是由于温度、压力、湿度等发生变化,或由于仪器本身性能不稳定。测量仪器使用前先进行预热,或者预先放置二段时间以便与室内同温,就是为了减少漂移。

## 16.8 基本物理常数

### 1. 引言

基本物理常数是指自然界中一些普遍适用的常数,它们不随时间、地点或环境条件的影响而变化。基本物理常数的发现和测量,在物理学的发展中起了很大的作用。纵观近代物理学史可以看到,一些重大物理现象的发现和物理新理论的创立,均与基本物理常数有着密切的关系。例如,电子的发现是通过测定电子的荷质比  $e/m$  而确定的;普朗克建立量子论的同时,出现了普朗克常数  $h$ ;狭义相对论的出发点之一是真空中光速  $c$  不变,等等。由此可见,基本物理常数出现于许多不同的物理现象之中,每一类物理现象的规律都同确定的物理常数相关。

基本物理常数是把物理学不同分支学科联系在一起的物理理论链条中的重要环节。人们常常认为,物理学的所有各分支虽有明显不同,但实际上却是相互密切地联系着。仔细研究从各个不同领域的实验所得到的基本常数值,可以给我们提供关于物理学基础理论的总体一致性和正确性的重要知识。因此,不断地以更高的准确度测量基本物理常数之所以重要,不仅是为了“增加一位或两位小数”,而是给我们提供一组更一致的可使用的常数值。因为这些准确的测量值,有可能引导我们发现对自然的物理描述中前所未知的不一致性,或消除已知的不一致性。

某一个常数可以从不同的途径得到它的测量值,因此可以得出一个推导某个常数的多个观测方程组。处理这类观测方程的最简捷而一致的方法称为最小二乘法。由此可以计算常数的“最佳”折衷值,近似地满足所有的有关方程。历史上曾进行过多次基本常数的最小二乘法平差,历时已有半个多世纪之久。由国际科学技术数据委员会(简称 CODATA)基本常数任务组主持的常数平差推荐值,第一次在 1973 年,第二次在 1986 年,最近的一次是在 1998 年底完成的,并于 1999 年正式发表,称为 1998 年 CODATA 推荐值。参见表 16.6。

表 1 CODATA 推荐的物理和化学基本常数 1998 年平差值简表

量	符号	数值	单位	相对标准 不确定度 $u_r$
真空中光速	$c, c_0$	299 792 458	$\text{m s}^{-1}$	准确
磁常数	$\mu_0$	$4\pi \times 10^{-7}$ $= 12.566\,370\,614\cdots \times 10^{-12}$	$\text{NA}^{-2}$	准确
电常数 $1/\mu_0 c^2$	$\epsilon_0$	$8.854\,187\,817\cdots \times 10^{-12}$		准确
牛顿引力常数	$G$	$6.673(10) \times 10^{-11}$	$\text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}$	$1.5 \times 10^{-5}$
普朗克常数	$h$	$6.626\,068\,76(52) \times 10^{-34}$	$\text{Js}$	$7.8 \times 10^{-8}$
$h/2\pi$	$\hbar$	$1.054\,571\,596(82) \times 10^{-34}$	$\text{Js}$	$7.8 \times 10^{-8}$
基本电荷	$e$	$1.602\,176\,462(63) \times 10^{-19}$	$\text{C}$	$3.9 \times 10^{-8}$
磁通量子 $h/2e$	$\Phi_0$	$2.067\,833\,636(81) \times 10^{-15}$	$\text{Wb}$	$3.9 \times 10^{-8}$
电导量子 $2e^2/h$	$G_0$	$7.748\,091\,696(28) \times 10^{-5}$	$\text{S}$	$3.7 \times 10^{-9}$

续表

量	符号	数值	单位	相对标准 不确定度 $u_r$
电子质量	$m_e$	$9.109\,381\,88(72) \times 10^{-31}$	kg	$7.9 \times 10^{-8}$
质子质量	$m_p$	$1.672\,621\,58(13) \times 10^{-27}$	kg	$7.9 \times 10^{-8}$
质子-电子质量比	$m_p/m_e$	1 836.152 667 5(39)		$2.1 \times 10^{-9}$
精细结构常数	$\alpha$	$7.297\,352\,533(27) \times 10^{-3}$		$3.7 \times 10^{-9}$
精细结构常数倒数	$\alpha^{-1}$	137.035 999 76(50)		$3.7 \times 10^{-9}$
里德伯常数	$R_\infty$	10 973 731.568 549(83)	$m^{-1}$	$7.6 \times 10^{-12}$
阿伏伽德罗常数	$N_A, L$	$6.022\,141\,99(47)05 \times 10^{23}$	$mol^{-1}$	$7.9 \times 10^{-8}$
法拉第常数 $N_{Ae}$	$F$	96 485.341 5(39)	$C\,mol^{-1}$	$4.0 \times 10^{-8}$
摩尔气体常数	$R$	8.314 472(15)	$J\,mol^{-1}\,K^{-1}$	$1.7 \times 10^{-6}$
玻尔兹曼常数 $R/N_A$	$k$	$1.380\,650\,3(24) \times 10^{-23}$	$JK^{-1}$	$1.7 \times 10^{-6}$
斯特藩-玻尔兹曼常数	$\sigma$	$5.670\,400(40) \times 10^{-8}$	$Wm^{-2}K^{-4}$	$7.0 \times 10^{-6}$
$(\pi^2/60)k^4/h^3c^2$		可与 SI 单位一起采用的非 SI 单位		
电子伏: $(e/C)J$				
(统一的)原子质量单位	eV	$1.602\,176\,462(63) \times 10^{-19}$	J	$3.9 \times 10^{-8}$
$1u = m_0 = (1/12)m(^{12}C)$				
$\approx 10^{-3}kg\,mol^{-1}/N_A$	u	$1.660\,538\,73(13) \times 10^{-27}$	kg	$7.9 \times 10^{-8}$

近年来,基本物理常数的重要性还表现在定义计量单位上,普朗克早在 20 世纪初就建议用基本物理常数来定义计量基本单位。由于当时的测量准确度还很低,这个愿望未能实现。1980 年后,随着常数准确度的不断提高,长度单位、电学量电压和电阻单位均先后采用有关基本物理常数进行定义。

目前由 CODATA 推荐的基本物理常数及其组合量已达 175 个,而在常用的常数简表中,包含 18 个常数和两个组合量,还有两个常用的非国际单位制的转换因子,共计 22 个数值,列于本节的表 16.6 中。

我们在常数推荐值中看到,前四个常数具有精确值,即其不确定度为零。它们是:真空中光速  $c$ 、磁常数  $\mu_0$ 、电常数  $\epsilon_0$  和真空中特征阻抗  $Z_0 = \sqrt{\mu_0/\epsilon_0} = \mu_0 c$ 。这些常数的数值与计量单位的定义有关,形成了它们的约定值。

## 16.9 本章参考文献

- [16-1] 鲁绍曾、施昌彦、沈乃澂等编,《现代计量学基础》计量出版社,1987 年第一版,2002 年将出修订版。
- [16-2] 刘智敏著,《不确定度及其实践》,中国标准出版社,2000。
- [16-3] 杜荷聪等编,《计量单位及其换算》,计量出版社,1982。



## 本章思考题

- [16-1] 什么是我国的法定计量单位,它与国际标准是如何接轨的?  
[16-2] 不确定度如何分类,它们是如何区分的?

## 思考题题解

- [16-1] 法定计量单位是指由国家在法律上确认并颁布使用的计量单位。我国在1984年和1985年后先后颁布了关于实行法定计量单位的国家计量法,广泛、深入地推行了以国际单位制为基础的法定计量单位。国际单位制有七个基本单位,它们的名称为:长度、质量、时间、电流、温度、物质的量和光度,相应的单位名称分别是:米、千克、秒、安[培]、开[尔文]、摩尔和坎[德拉],也可以用单位符号  $m$ ,  $kg$ ,  $s$ ,  $A$ ,  $K$ ,  $mol$  和  $cd$  表示。它们的倍数和分数单位,可用千、兆、吉、太和毫、微、纳、皮等表示,也可用  $k$ ,  $M$ ,  $G$ ,  $T$  和  $m$ ,  $\mu$ ,  $n$  和  $p$  等表示。由此可见,我国法定计量单位与国际单位制是完全一致的。由基本单位派生出的几十个导出单位也有其确定名称和单位符号。在计量、工农业和精密测量中已得到广泛的应用。
- [16-2] 不确定度分为 A 类和 B 类评定。A 类评定是指对观测列进行统计分析方法来评定的标准不确定度, B 类是指用统计方法之外的其他评定方法得到的不确定度分量。两者的区别在于, A 类是根据处理数据的任何固定统计方法作出的, 而 B 类评定通常是依据所有可用的有关信息及有关量值假定的概率分布作出的。

## 第十七章 测量系统分析(MSA)

### 17.1 概 论

“用数据说话”是质量管理的格言,要取得数据就必须测量。如同产品具有质量,测量数据也是有质量的。

#### 17.1.1 测量数据的质量

测量数据的质量用稳定条件下运行的某一测量系统得到的多次测量结果的统计特性来评价。例如,用在稳定条件下运行的测量系统得到某一特性的多次测量结果,若这些结果与其基准值(或真值)都很“接近”,则称这些数据的质量“高”,否则若“远离”其基准值(或真值),则称这些数据的质量“低”。

表征测量数据质量的统计特性是偏倚(偏移)和方差。所谓偏倚的特性,是指数据相对基准值的位置,而所谓方差的特性,是指数据的离散程度。后者就是第十六章计量中所说的测量不确定度。一组测量数据远离基准值,或其变差(Variation,也称波动)太大,则此测量系统的变差(噪音),可能会掩盖制造过程的变差(信号)。

#### 17.1.2 测量过程

赋值过程定义为测量过程,而赋予的值定义为测量值。

我们将测量过程看成制造过程,即测量过程是随机现象,它的输出是数据而不是硬件产品,仅此不同而已。这样,就可利用本书第九章 SPC 与 SPD 工程中的内容来分析测量过程的变差(波动)。

本章目的是介绍各种方法来评定测量系统,此处的测量系统主要是指用于制造过程控制的测量系统,当然这些方法也可应用于其他测量系统。本章分析的测量系统是可重复测量的测量系统,也就是说,其评定测量数据的方差特性是测量系统的 A 类不确定度。若要评定 B 类不确定度,或要评定不可重复测量的测量系统的不确定度,参见第十六章计量及其管理。

#### 17.1.3 术语

量具:任何用来获得测量结果的装置,包括用来测量合格/不合格的装置(如:塞规)。

测量系统:用来对被测特性赋值的操作、程序、量具、设备、软件以及操作人员的集合,用来获得测量结果的整个过程。根据此术语可以正确地理解测量变差的来源。

### 17.1.4 测量系统的统计特性

输出数据的质量差的测量系统是不能用于过程控制的,那么,更准确、更灵敏的测量系统,就一定好吗?从经济和方便使用的角度看,不一定好。用于输出数据制作控制图或计算过程能力的测量系统应具备如下的统计特性:

- (1) 测量系统必须处于统计控制状态。
- (2) 测量系统的变差必须小于制造过程的变差( $6\sigma$ )及公差带。
- (3) 测量系统的最小增量,一般说来应为制造过程变差( $6\sigma$ )或公差带两者中较窄者的十分之一(可视分辨率, Apparent Resolution)。
- (4) 制造过程的总变差相对测量系统的变差的分级数应大于 5(有效分辨率 Effective Resolution)。
- (5) 随着时间的推移或被测物改变时(即量程变化),也应满足上述要求。

### 17.1.5 测量系统分析的时机

测量系统分析分为两个阶段:第一阶段在测量系统投入使用前或即将投入使用时,目的是判断测量系统是否具有可接受的统计特性;第二阶段是在使用中,目的是判断测量系统的统计特性是否持续满足要求。两个阶段的间隔要视量具固有特性及使用的频繁程度而定。测量时,应采用盲测,以排除人为的干扰。盲测是指在实际测量环境下,在操作者事先不知正在对该测量系统进行评定的条件下,获得的测量结果。实际操作中大多只能实现部分盲测。

## 17.2 计量测量系统的分析

计量数据(Variable data)又称连续数据,输出计量数据的测量系统称为计量测量系统。

### 17.2.1 测量系统变差的描述

前文已提到,数据的质量,也即分布,用多次测量结果的偏倚和方差来评价。根据变差产生的来源,描述测量系统变差的分布又可分为表明分布位置的偏倚、稳定性和线性,以及表明分布离散程度的重复性和再现性。

### 17.2.2 术语

1. 偏倚(Bias):指测量结果的观测平均值与基准值的差值。基准值,也称为标准值,是充当测量值的一个一致认可的基准,一个基准值可以通过采用更高级别的测量设备(例如,计量实验室或全尺寸检验设备)进行多次测量,取其平均值来确定。

2. 稳定性(Stability, 或称飘移): 指测量系统在某持续时间内测量同一基准或零件的单一特性时获得的测量值总变差, 即偏倚随时间的增量。在研究稳定性时, 要注意区分两个稳定性, 一个是本术语讲的测量系统的稳定性, 另一个稳定性是指测量过程的统计稳定性, 两者都要求统计受控、无异因。但前者是定量概念, 后者是有无异因的定性概念。

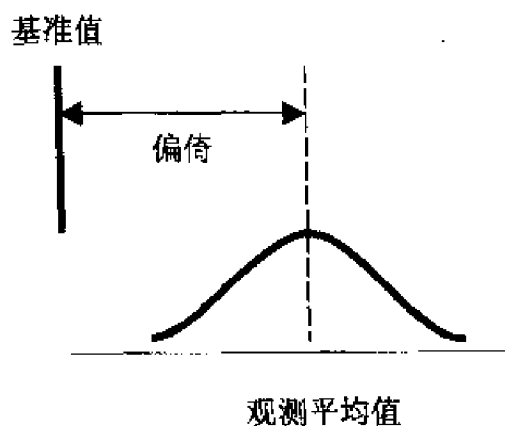


图 17.2-1 偏倚

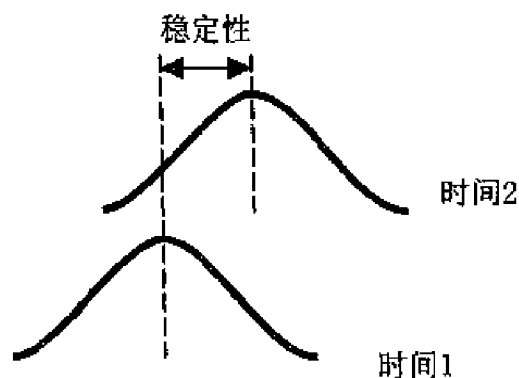


图 17.2-2 稳定性

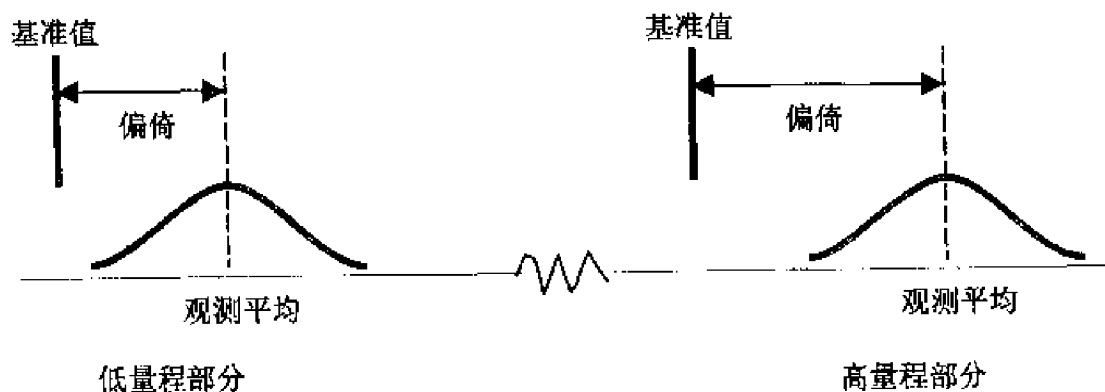


图 17.2-3 线性

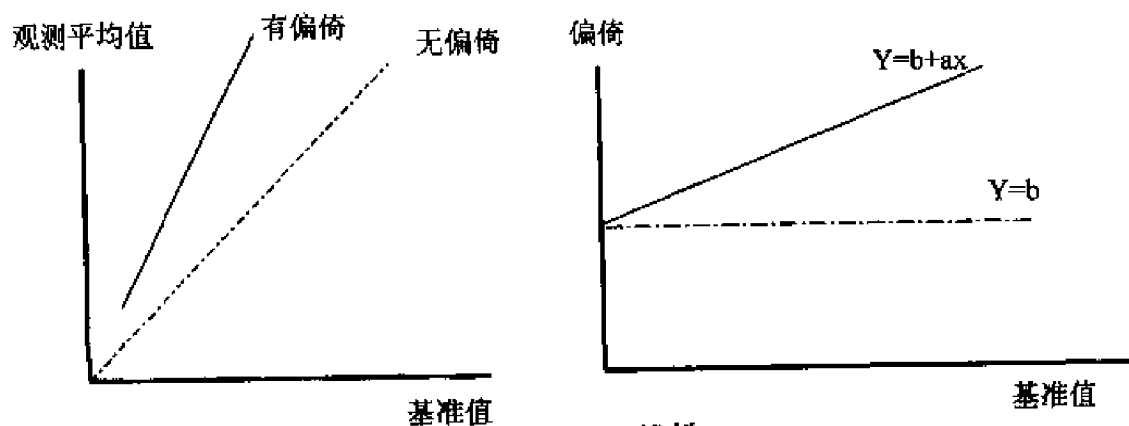


图 17.2-4 线性

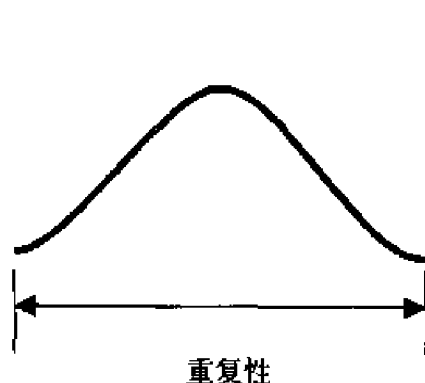


图 17.2-5 重复性

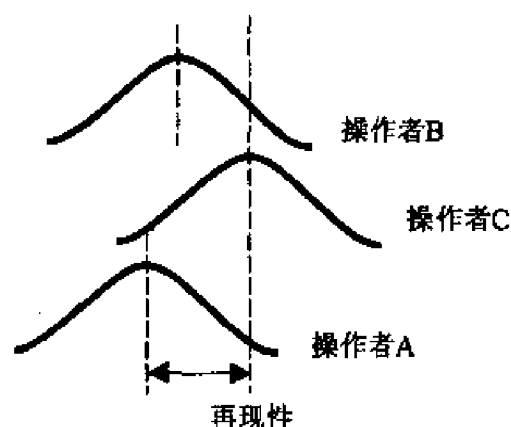


图 17.2-6 再现性

3. 线性(Linearity):指在量具预期的工作量程内,偏倚值的差值。
4. 重复性(Repeatability):指由一个评价人,采用同一个测量仪器,多次测量同一零件的同一特性时获得的测量值的变差。
5. 再现性(Reproducibility):指由不同的评价人,采用同一个测量仪器,测量同一零件的同一特性时测量平均值的变差。
6. 分辨率(Resolution):测量系统检出并如实指示被测特性中极小变化的能力。
7. 可视分辨率(Apparent Resolution):测量仪器的最小增量的大小。如:卡尺的可视分辨率为0.02mm。
8. 有效分辨率(Effective Resolution):考虑整个测量系统变差时的数据等级大小。用测量系统变差的置信区间长度将制造过程变差( $6\sigma$ )(或公差)划分的等级数量来表示。关于有效分辨率,在99%置信水平时其标准估计值为 $1.41PV/GR\&R$ 。
9. 分辨力(Discrimination):对于单个读数系统,它是可视和有效分辨率中较差的。如果不能测量出过程的变差,这样的分辨力用于过程分析是不可接受的,如果不能测量出异因导致的变差,这个测量系统用于过程控制也是不可接受的。否则,很多子组的极差为零,使得过程变差过窄,导致过程能力指数看起来很大。如某企业的过程能力指数竟然为12。

下列两组控制图是用具有不同分辨率的测量系统测量同一制造过程的结果,左面的控制图没有超限的点,而右图严重失控,这是因为对数据4舍5入而对数据进行错误分级的结果。

结果。

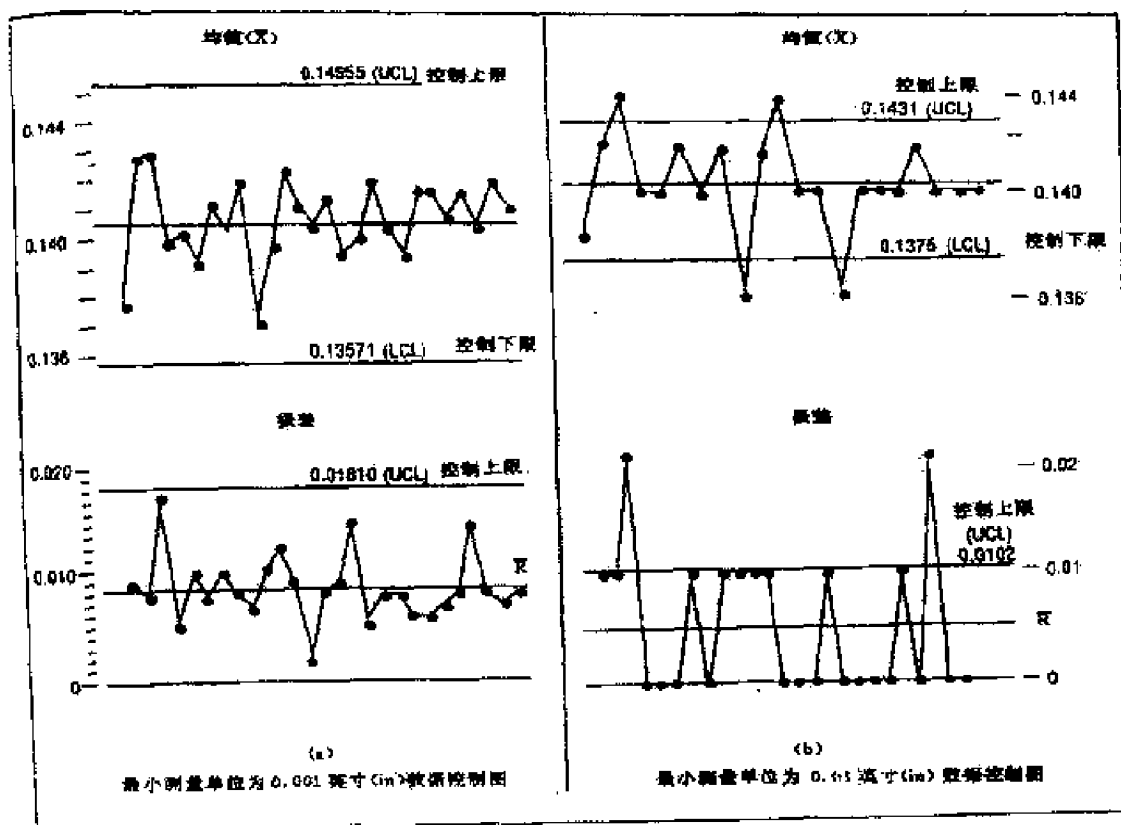


图 17.2-7 分辨率的影响

### 17.2.3 评定方法和程序

#### 1. 测量系统变差的接受准则

(1) 若数据用于计算过程能力或制作控制图, 双性变差 (GR&R) 的大小应和既包含制造系统变差与测量系统变差的总过程变差进行比较, 双性占总过程变差的百分比:

小于 10%——测量系统可接受;

10% 至 30%——根据应用的重要性, 量具的成本, 维修的费用等, 可能是可接受的;

大于 30%——不可接受。但能否用于判断零件合格与否, 需与产品公差进行比较。

(2) 偏倚、线性及稳定性变差的大小通常是可修复的, 应比双性变差小很多。

#### 2. 稳定性的评定程序

(1) 获取一样本并确定其相对于可追溯标准的基准值。如果不能得到, 则选择一个落在使用的量程中程数的产品零件, 并指定它作为标准样本进行稳定性分析。追踪测量系统的稳定性不需要一个已知基准值。

(2) 定期 (天, 周) 测量基准样品 3 至 5 次。样本容量和频率应基于对测量系统的了解。因素包括: 重新校准或维修的周期, 测量系统使用的频率, 以及操作条件的重要性。读数应在不同时间读取以代表测量系统实际使用的情况。这些还包

括:预热,环境或其它在一天内可能变化的因素。

(3) 在  $\bar{X}-R$  或  $\bar{X}-S$  控制图中标绘数据。

(4) 确定每个曲线的控制限并按标准曲线图判断失控或不稳定状态。

(5) 计算测量结果的标准差并与制造过程的标准差相比较,确定测量系统的稳定性是否适于应用,并进行分析。

[例 17.2-1] 此例是评价测量粘度的测量系统的稳定性。粘度的基准值不知,但这个样本可以保存。以每 3 天为一个测量周期,把样本分为三个子样,测量每部分的粘度,其结果参见图 17.2-8。

从均值图中看出,有一点出界,说明有异因存在。经查,是由于在测量中使用了三个不同的定时器所致。测量系统的稳定性可以由  $5.15\bar{R}/d_2$  计算得出,5.15 是 99% 的置信区间。将稳定性与制造过程变差(过程能力)进行比较以判断其大小。本例中  $d_2 = 1.693$ ,可从表 17.2-2 查出,其中测量次数  $m = 3$ ,极差数  $g = 25 > 15$ 。

若极差图中失控,表明不稳定的重复性(也许测量设备上的零件松动、气路阻塞、电压变化等)。若均值图中失控,表明偏倚已经改变。努力确定改变的原因并加以纠正。

### 3. 偏倚的评定程序

#### (1) 独立样本法

① 获取一样本并确定其相对可追溯标准的基准值。如果不能得到,则选择一个落在使用的量程中程数的产品零件,并指定它作为标准样本进行偏倚分析。在工具间测量该零件 10 次,并计算这 10 次读数的平均值。把这个平均值作为“基准值”。

② 让一位评价人以通常的方法测量该零件 10 次。

③ 计算这 10 次的平均值。

④ 用该平均值减去基准值计算偏倚,即

$$\text{偏倚} = \text{观测平均值} - \text{基准值} \quad (17.2-1)$$

制造过程变差(过程能力) =  $6\sigma$

$$\text{偏倚}\% = \text{偏倚}/\text{过程变差} \quad (17.2-2)$$

制造过程变差可以由以前的控制图得出,或从同时进行的过程能力研究得出,或预期值。

⑤ 对结果进行分析。偏倚大的可能的原因为:

- 基准的误差;
- 量具校准不当;
- 测量位置的变化,或零件在量具中位置的变化;
- 量具刻度不准;
- 评价人使用量具不当;
- 仪器测量了错误的特性;

#### (2) 图表法

用在稳定性研究中得出观测平均值求出偏倚。

计量型控制图																频率: 1组/每3天		上、下偏差:								
零件名称(产品): 溶液粘度																量具: 粘度仪		测量单位		零点值:						
操作者:				特性: 粘度																						
日期	9月1日	9月5日	9月6日	9月9日	9月12日	9月15日	9月18日	9月21日	9月24日	9月27日	9月30日	10月3日	10月5日	10月8日	10月9日	10月12日	10月15日	10月18日	10月21日	10月24日	10月27日	10月30日	10月31日	10月5日	10月8日	10月11日
时间	10:00	9:00	8:30	14:00	10:30	9:30	9:30	9:30	10:00	9:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	15:00	13:00	13:00	15:00	15:00
样品	1	48.6	48.4	48.7	48.2	48.9	48.5	48.4	48.7	47.8	47.9	49.1	48.2	48.1	49.3	48.0	47.9	48.1	48.3	48.1	48.0	48.2	47.9	48.0	48.1	47.9
品	2	48.7	48.8	48.6	47.9	50.1	48.0	48.2	48.0	48.6	48.3	48.6	48.5	48.7	48.9	48.7	48.3	48.4	48.6	48.6	48.6	48.4	48.3	48.4	48.6	48.3
测	3	48.3	48.0	48.7	48.0	49.2	49.0	48.3	47.7	48.7	48.4	48.7	48.9	48.5	48.6	48.6	48.7	48.7	48.5	48.7	48.7	48.9	48.7	48.8	48.9	48.4
量	4																									
值	5																									
总计	145.6	145.2	146.0	144.1	148.2	145.5	144.9	144.4	145.1	144.6	146.4	145.6	145.3	146.8	145.3	144.9	145.2	145.4	145.4	145.3	145.3	144.9	145.2	145.6	144.6	144.6
均值X	48.53	48.40	48.67	48.03	49.40	48.50	48.30	48.13	48.37	48.20	48.80	48.53	48.43	48.93	48.43	48.30	48.40	48.47	48.47	48.43	48.50	48.30	48.40	48.53	48.20	48.20
极差R	0.4	0.8	0.1	0.3	1.2	1.0	0.2	1.0	0.9	0.5	0.5	0.7	0.6	0.7	0.7	0.8	0.6	0.3	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.5
备注																										
	$\bar{X}=48.47$	$R=0.65$										$UCL_x=49.13$	$LCL_x=47.80$			$UCL_R=1.67$	$LCL_R=0$									

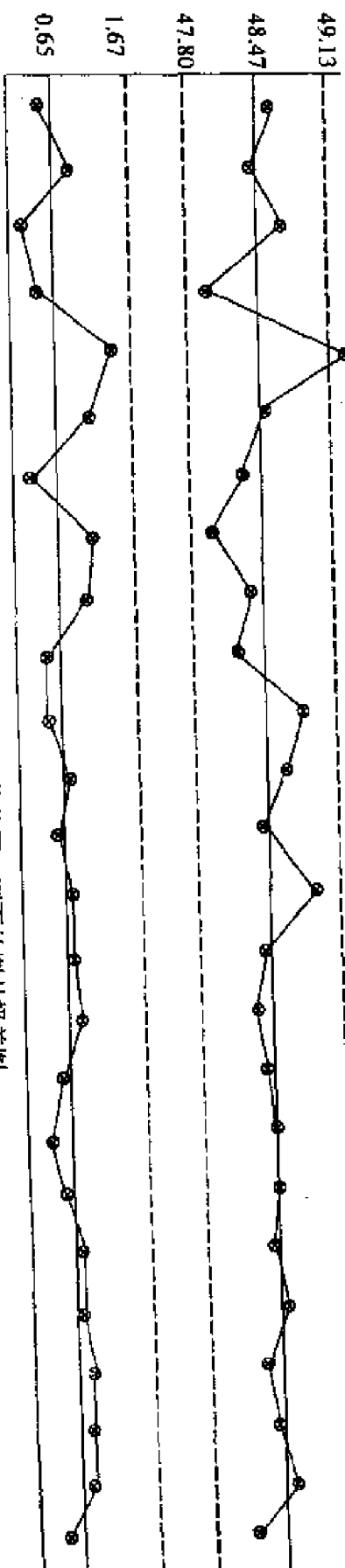


图 17.2-8 稳定性控制图



[例 17.2-2] 一个零件利用全尺寸检验设备测得其基准值为 20.10mm, 该零件的过程变差( $6\sigma$ )是 0.23mm, 一位评价人用卡尺对其测量 10 次, 结果如下:

$X_1 = 20.07$	$X_6 = 20.08$
$X_2 = 20.08$	$X_7 = 20.08$
$X_3 = 20.07$	$X_8 = 20.09$
$X_4 = 20.07$	$X_9 = 20.08$
$X_5 = 20.08$	$X_{10} = 20.07$
$\bar{X} = 20.08\text{mm}$	

于是

$$\text{偏倚} = 20.08 - 20.10 = -0.02\text{mm}$$

$$\text{偏倚}\% = 100|\text{偏倚}|/\text{过程变差} = 8.7\%$$

可见, 此偏倚还是比较大的, 应设法努力减小。

#### 4. 线性的评定程序

- (1) 选择 5 个零件, 这些零件的测量值要覆盖量具的工作量程。
- (2) 用全尺寸检验设备测量每个零件, 以便确定其基准值和确认包含了被检量具的工作量程。
- (3) 让通常情况下使用该量具的操作人员之一用该量具测量每个零件 12 次。
- (4) 计算每个零件观测平均值和偏倚。
- (5) 按图 17.2-4 将计算结果作图。
- (6) 使用以下公式计算最佳拟合这些点的回归直线方程和直线的线性相关系数  $R$ 。

$$y = b + ax \quad (17.2-3)$$

式中,  $x$  = 基准值,  $y$  = 偏倚,  $a$  = 斜率。

$$a = [\sum xy - \sum x \sum y/n] / [\sum x^2 - (\sum x)^2/n] \quad (17.2-4)$$

$$b = (\sum y - a \sum x) / n \quad (17.2-5)$$

$$R^2 = [\sum xy - \sum x \sum y/n]^2 / \{ [\sum x^2 - (\sum x)^2/n] \times [\sum y^2 - (\sum y)^2/n] \} \quad (17.2-6)$$

$$\text{线性} = \text{斜率} \times \text{制造过程变差} \quad (17.2-7)$$

$$\text{线性百分率} = 100 \times \text{线性} / \text{制造过程变差} \quad (17.2-8)$$

[例 17.2-3] 对某测量系统的线性进行研究。在测量系统的工作范围内选定 5 个零件, 通过全尺寸检验设备测量每个零件以确定它们的基准值。然后, 一位评价人对每个零件测量 12 次。已知过程变差(过程能力)为 6.00。每次测量, 零件要随机拿取。其结果如表 17.2-1 所示。

表 17.2-1 测量结果

零件基准值		2.00	4.00	6.00	8.00	10.00
试验次数	1	2.70	5.10	5.80	7.60	9.10
	2	2.50	3.90	5.70	7.70	9.30
	3	2.40	4.20	5.90	7.80	9.50
	4	2.50	5.00	5.90	7.70	9.30
	5	2.70	3.80	6.00	7.80	9.40
	6	2.30	3.90	6.10	7.80	9.50
	7	2.50	3.90	6.00	7.80	9.50
	8	2.50	3.90	6.10	7.70	9.50
	9	2.40	3.90	6.40	7.80	9.60
	10	2.40	4.00	6.30	7.50	9.20
	11	2.60	4.10	6.00	7.60	9.30
	12	2.40	3.80	6.10	7.70	9.40
	零件均值	2.49	4.13	6.03	7.71	9.38
偏倚		+0.49	+0.13	+0.03	-0.29	-0.62
极差		0.4	1.3	0.7	0.3	0.5

〔解〕 本例的线性回归方程为  $y = b + ax$ , 线性相关系数为  $R$ , 见式(17.2-3)至(17.2-6)。

经计算:  $a = -0.1317$ ,  $b = 0.7367$ ,  $R^2 = 0.98$ 。

线性 = |斜率|  $\times$  过程变差 =  $0.1317 \times 6.00 = 0.79$

%线性 =  $100(\text{线性}/\text{过程变差}) = 13.17\%$

线性百分比已超过 10%, 应查找原因, 并对量具进行校准。

#### 5. 重复性和再现性评定程序

造成测量数据波动的原因不外人、机、料、法、环。在进行测量系统分析时, 没有考虑环境的影响, 如温度和光线等; 假设被测零件或特性不因测量而改变或破坏; 测量方法的影响隐含在重复性和再现性中了, 因此“人”和“机”是造成数据波动的主要原因。重复性, 又称设备变差(Equipment Variation), 顾名思义, 主要是由于测量设备固有特性, 如游标卡尺的滑动间隙等, 导致测量数据的波动。因此, 在研究重复性时, 需由同一人, 用同一量具, 用相同的方法, 测量同一零件的同一特性, 用数据分布标准偏差的 5.15 倍表示, 即  $5.15\sigma_e$ 。在实际测量时, 零件在量具中的位置对结果也有影响。同理, 再现性, 又称评价人变差(Appraiser Variation), 用  $5.15\sigma_a$  表示。5.15 代表正态分布测量结果的 99%。在测量系统不存在异因的情况下, 测量系统变差主要由人、机造成, 将两者合成, 即为量具的双性(Gage Repeatability and Reproducibility, 缩写为 GR&R), 简称双性。

在进行测量时,应避免零件内变差,如圆度,锥度及平面度等,为此,可能需要在被测零件上画上記号。否则,在计算时须减去零件内变差的影响。

### (1) 极差法

典型的极差法使用2名评价人和5个零件进行分析

- ① 评价人A和B各测量零件一次;
- ② 计算零件测量的极差R,测量的极差为评价人A和B测量结果差的绝对值;
- ③ 计算零件测量的平均极差  $\bar{R} = \sum R_i / 5$ ;
- ④ 计算量具的双性(重复性和再现性的合成,简称双性),即测量过程变差;

$$GR \& R = 5.15\bar{R}/d_2 \quad (17.2-9)$$

式中:GR&R表示量具(Gage)重复性和再现性的合成,5.15表示99%的置信区间,即2个评价人用同一量具测量同一零件的同一特性的测量结果99%落在GR&R区间内,也即A类扩展不确定度(不确定度用置信区间的半宽表示)。 $d_2$ 可由表17.2-2查出。

表 17.2-2  $d_2$  值表

$\begin{smallmatrix} m \\ g \end{smallmatrix}$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	1.41	1.91	2.24	2.48	2.67	2.83	2.96	3.08	3.18	3.27	3.35	3.42	3.49
2	1.28	1.81	2.15	2.40	2.60	2.77	2.91	3.02	3.13	3.22	3.30	3.38	3.45
3	1.23	1.77	2.12	2.38	2.58	2.75	2.89	3.01	3.11	3.21	3.29	3.37	3.43
4	1.21	1.75	2.11	2.37	2.57	2.74	2.88	3.00	3.10	3.20	3.28	3.36	3.43
5	1.19	1.74	2.10	2.36	2.56	2.73	2.87	2.99	3.10	3.19	3.28	3.35	3.42
6	1.18	1.73	2.09	2.35	2.56	2.73	2.87	2.99	3.10	3.19	3.27	3.35	3.42
7	1.17	1.73	2.09	2.35	2.55	2.72	2.87	2.99	3.10	3.19	3.27	3.35	3.42
8	1.17	1.72	2.08	2.35	2.55	2.72	2.87	2.98	3.09	3.19	3.27	3.35	3.42
9	1.16	1.72	2.08	2.34	2.55	2.72	2.86	2.98	3.09	3.18	3.27	3.35	3.42
10	1.16	1.72	2.08	2.34	2.55	2.72	2.86	2.98	3.09	3.18	3.27	3.34	3.42
11	1.16	1.71	2.08	2.34	2.55	2.72	2.86	2.98	3.09	3.18	3.27	3.34	3.41
12	1.15	1.71	2.07	2.34	2.55	2.72	2.85	2.98	3.09	3.18	3.27	3.34	3.41
13	1.15	1.71	2.07	2.34	2.55	2.71	2.85	2.98	3.09	3.18	3.27	3.34	3.41
14	1.15	1.71	2.07	2.34	2.54	2.71	2.85	2.98	3.08	3.18	3.27	3.34	3.41
15	1.15	1.71	2.07	2.34	2.54	2.71	2.85	2.98	3.08	3.18	3.26	3.34	3.41
> 15	1.128	1.693	2.059	2.326	2.534	2.704	2.847	2.907	3.078	3.173	3.258	3.336	3.407

注:表中m代表所要研究的样本容量或试验次数,g代表极差的数量。

- ⑤ 计算双性占总过程变差的百分数;

$$\% GR\&R = 100(GR\&R/\text{过程变差})$$

(17.2-10)

[例 17.2-4] 极差法

选择2个评价人,5个零件,其测量结果见表17.2-3,已知过程变差为0.4。

此测量过程中每个零件被测量 2 次,即样本容量为  $m=2$ ,共有 5 个极差为,即  $g=5$ ,查表 17.2-2,  $d_2$  为 1.19。经计算量具的双性占过程变差为 75.5%,远大于 30%,说明此测量系统所测的数据不能用于制作控制图,或计算过程能力。

表 17.2-3 [例 17.2-4]极差法的测量结果

零件	评价人 A	评价人 B	极差(A-B)
1	0.85	0.80	0.05
2	0.75	0.70	0.05
3	1.00	0.95	0.05
4	0.45	0.55	0.10
5	0.50	0.60	0.10
平均极差 $= 0.35/5 = 0.07$ $GR\&R = 5.15 \times 0.07/1.19 = 0.30$ 过程变差 $= 0.40$ $\%GR\&R = 100 \times 0.30/0.40 = 75.5\%$			

## (2) 均值和极差法

在研究重复性和再现性时,通常采用 2 至 3 名评价人,在均值极差法中,先算出平均极差,再用平均极差算出极差和均值的控制限并做出均值极差图。首先分析重复测量的极差图,若无出限的点,说明无异因,则每个评价人重复测量的重复性是一致的,每个评价人重复测量的极差都可用来计算重复性。若有出限的点,应查明原因予以纠正。

① 获得包含 10 个零件的一个样本,此样本应代表过程变差的实际或预期范围,即用此样本计算出的制造过程变差(能力)与实际相当。若要实现此要求,可在不同时间随机凑足此样本。否则,不能用此样本计算制造过程变差,而应采用其它方式获得制造过程变差。

② 确定评价人(测量者)A、B 和 C,并按 1 至 10 给零件编号,评价人不能看到这些编号以实现盲测。

③ 评价人 A、B 和 C 按随机顺序测量此 10 个零件 2 至 3 次,并将结果记录在表格中。

④ 计算重复性、再现性、双性、零件间变差、总过程变差、双性占总过程变差的百分比以及分级数。

[例 17.2-5] 从生产过程中选择 5 个样品,确定 2 名经常使用该量具的评价人进行研究,每一位评价人对每个零件测量 3 次,结果记录如表 17.2-4 所示。

表 17.2-4 [例 17.2-5]的测量结果

评价人 A						评价人 B						
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	
1	217	220	217	214	216		216	216	216	216	220	
2	216	216	216	212	219		219	216	215	212	220	
3	216	218	216	212	220		220	220	216	212	220	
	$\bar{X}_A$						$\bar{X}_B$					
均值	216.3	218.0	216.3	212.7	218.3	216.3	218.3	217.3	215.7	213.3	220.0	216.9
极差	1.0	4.0	1.0	2.0	4.0		4.0	4.0	1.0	4.0	0.0	

① 平均极差  $= 25/10 = 2.5$

② 计算控制限

利用极差控制图判断测量过程是否统计受控,即每个评价人的重复性是否一致。

$$USL_R = \bar{R} \times D_4 = 2.5 \times 2.575 = 6.4, LSL_R = \bar{R} \times D_3 = 2.5 \times 0 = 0,$$

$$USL_{\bar{X}}, LSL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} \pm A_2 \bar{R} = (216.3 + 216.9)/2 \pm 1.023 \times 2.5,$$

$$\text{则 } USL_{\bar{X}} = 219.2, LSL_{\bar{X}} = 214.1$$

由于篇幅所限,  $D_3$ 、 $D_4$  及  $A_2$  的查法见第九章。

作出如图 17.2-9 和图 17.2-10 的控制图:

从图 17.2-9 极差图中可知测量过程是受控的,测量过程是一致的。而从图 17.2-10 均值图中可知有 30% 的点出界,这还不够,要求出界的点应在 50% 以上(不代表过程分布的样本除外,要么其过于分散,要么其过于接近),这并不表明有异因出现,5 个零件的差异是由制造过程造成的,而非测量过程,均值图控制限是测量过程的控制限,若测量过程无变差,其控制限应和均值重合,出限的点越多,说明有效分辨率越高。

③ 计算重复性(Equipment Variation)

$$\text{重复性的标准偏差 } \sigma_e = \bar{R}/d_2 = 2.5/1.72 = 1.45, \text{则重复性 } EV = 5.15 \times 1.45 = 7.5。$$

$d_2$  的查法:样本数为  $m=3$ ,极差数为  $g=10$ 。

④ 计算再现性(Appraiser Variation)

$$\text{再现性的标准偏差 } \sigma_a = \bar{R}/d_2 = (216.9 - 216.3)/1.41 = 0.4, \text{则再现性 } AV = 5.15 \times 0.4 = 2.2。$$

$d_2$  的查法:样本数为  $m=2$ ,2 人测量,极差数为  $g=1$ ,只有一个极差。

2 名评价人,3 次试验,5 个零件

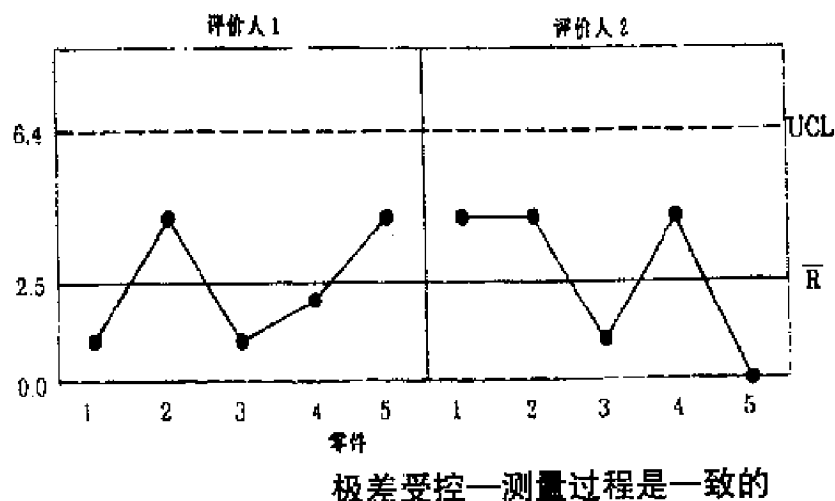


图 17.2-9 重复性极差控制图

2 名评价人, 3 次试验, 5 个零件

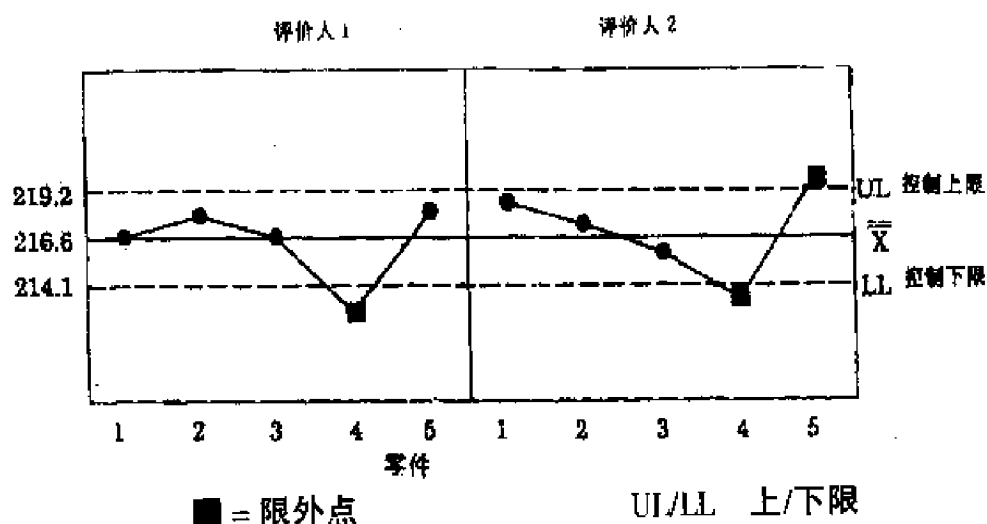


图 17.2-10 零件评价人均值

因为此再现性中含有重复性的影响, 需减去。

$$\text{校正后的再现性} = \sqrt{\text{再现性}^2 - \text{重复性}^2 / nr} = 1.0$$

式中,  $n$  = 零件数(5),  $r$  = 测量次数(3),  $nr = 15$ 。若根号内数为负, 则令再现性为 0。

#### ⑤ 计算零件间变差 PV

零件间变差反映了制造过程的变差, 对 2 人测量每个零件的均值再取平均, 就消除了重复性和再现性的影响。5 个零件的平均值为: 217.3, 217.7, 216.0, 213.0, 219.2, 其极差 = 6.2。

$$\text{零件间变差} = 5.15 \quad \bar{R}/d_2 = 5.15 \times 6.2 / 2.48 = 12.8$$

$d_2$  的查法: 样本数为  $m = 5$ , 5 个零件, 极差数为  $g = 1$ , 只有一个极差。

⑥ 计算总过程变差(制造变差和测量变差的合成, Total Variation)

测量系统变差  $GR\&R = \sqrt{\text{再现性}^2 + \text{重复性}^2} = 7.6$

$TV = \sqrt{GR\&R^2 + PV^2} = 14.9$

$\%GR\&R = 100 \times GR\&R / TV = 100 \times 7.6 / 14.9 = 50.7\%$ , 大于 30%。

⑦ 计算数据分级数

数据分级数  $= 1.41 \times PV / GR\&R = 1.41 \times 12.8 / 7.6 = 2$ , 小于 5 个分级。

由计算可知, 此测量系统输出的数据不能用于分析过程或用来制定控制图。

(3) 方差分析法(ANOVA)

在方差分析中, 将变差源分为 4 个: 零件、评价人、零件与评价人的交互作用、量具造成的重复性误差。

与均值和极差法相比, 方差分析法的优点是: 它适用于任何试验调试; 可以更精确地估计方差; 可以从试验数据中分离更多的信息。缺点是需要计算机来计算, 并要求使用者有一定的统计知识来解释结果。由于篇幅所限, 这里不多赘言。

## 17.3 计数测量系统的分析

计数数据(attribute data)由计件数据或计点数据构成, 输出计数数据的测量系统称为计数测量系统。

### 17.3.1 短期研究——小样法

1. 评定程序:

(1) 确定 2 个评价人, 20 个零件(其中一些零件稍许低于技术规范, 其余零件稍许高于规范, 若是双侧规范, 会有两个量具, 如通、止规, 则应分别选 20 个零件), 用数字 1 至 20 在每个零件暗处标上记号以实现盲测, 每人测量 2 次, 每次随机选取零件。

(2) 评定: 每个零件被测量 4 次, 结果一致则接受量具, 测量结果不一致, 则要分析改进和重新评价。

[例 17.3-1] 确定某测量孔径的通规是否可接受, 其测量结果见表 17.3-1。

从表中可看出, 其结果不一致, 故需要对测量过程进行分析, 可能此量具需要改进。

### 17.3.2 长期研究——大样法

1. 评定程序:

(1) 确定一个评价人, 选取 8 个零件, 用计量型量具获得其基准值, 尽可能等间隔选取,

表 17.3-1 [例 17.3-1]的测量结果

	A 评价人		B 评价人	
1	G	G	G	G
2	G	G	G	G
3	NG	G	G	G
4	NG	NG	NG	NG
5	G	G	G	G
6	G	G	G	G
7	NG	NG	NG	NG
8	NG	NG	G	G
9	G	G	G	G
10	G	G	G	G
11	G	G	G	G
12	G	G	G	G
13	G	NG	G	G
14	G	G	G	G
15	G	G	G	G
16	G	G	G	G
17	G	G	G	G
18	G	G	G	G
19	G	G	G	G
20	G	G	G	G

注:表中 G 表示通过,NG 表示没通过。

每件测量  $m=20$  次,记录接受的次数( $a$ ),如研究的是通规(通、止规中的一个),要求最小的零件必须,  $a=0$ , 即一次也通不过,最大的零件必须,  $a=20$ , 即 20 次全通过,其余 6 件的结果  $1 \leq a \leq 19$ 。如是止规,要求和通规正好相反。如果第一次选的 8 个零件不能满足此要求,再在间距中间增加新的零件,直到满足上述要求。

(2) 计算接收概率(如通规):

$$\begin{cases} \text{最小零件} & a=0; \\ \text{中间零件} & 1 < a < 19; \\ \text{最大零件} & a=20 \end{cases}$$

$$\text{接收概率: } P_a = \begin{cases} \frac{a+0.5}{m} & \text{若 } a/m < 0.5, \quad a \neq 0 \\ \frac{a-0.5}{m} & \text{若 } a/m > 0.5, \quad a \neq 20 \\ 0.5 & \text{若 } a/m = 0.5 \end{cases} \quad (17.3-1)$$

以上公式覆盖了  $1 \leq a \leq 19$  的情况。 $a=0$  时  $P_a=0$ , 除去  $a=0$  中的最大基准值, 此



时  $P_a = 0.025$ ;  $a = 20$  时则  $P_a = 1$ , 除去  $a = 20$  中的最小基准值, 此时其  $P_a = 0.975$ 。

(3) 在以接收概率为纵坐标, 产品特性  $X_T$  为横坐标的正态概率纸或在通常的直角坐标上做图, 画出最佳拟合直线, 或量具特性曲线。

(4) 计算偏倚

假设量具无偏倚, 此时接收概率  $P_a = 0.5$  的基准值应在规范限值处, 若  $P_a = 0.5$  时, 基准值不是规范限值, 那就有偏倚, 偏离的量就是偏倚。

$$\text{偏倚}(B) = X_T(P_a = 0.5) - \text{规范下限值} \quad (17.3-2)$$

(5) 计算重复性

重复性的置信区间是 99%, 也就是接收概率为  $P_a = 0.995$  和  $P_a = 0.005$  对应的零件基准值的差, 此时确定的宽度需进行调整, 再除以调整因子 1.08, 得到重复性, 即

$$\text{重复性}(R) = [X_T(P_a = 0.995) - X_T(P_a = 0.005)]/1.08 \quad (17.3-3)$$

(6) 将计算结果进行比较

根据下列公式:

$$t = 31.31 \text{ 偏倚} / \text{重复性} \quad (17.3-4)$$

如果  $t$  值大于 2.093, 则该偏倚明显偏离零。如需判断重复性的大小, 可将重复性与公差进行比较。

[例 17.3-2] 某计数型量具用于测量公差为  $\pm 0.010$  的一个尺寸。该量具是一个全量程自动检查量具, 它受重复性和偏倚影响。为完成这项研究, 8 个零件用该量具各测量 20 次, 这 8 个零件的基准值从  $-0.016$  至  $-0.002$ , 间隔 0.002。各零件接收次数见表 17.3-2。

表 17.3-2 例 17.3-2 的测量数据

$X_T$	$a$
-0.016	0
-0.014	3
-0.012	8
-0.010	20
-0.008	20
-0.006	20
-0.004	20
-0.002	20

由于只有 2 个零件的基准值满足  $1 \leq a \leq 19$ , 应至少再找 4 个零件。因此, 需要检查基准值在现有间隔的中间点处的零件, 它们基准值及接收次数见表 17.3-3。

表 17.3-3 基准值及接受次数

$X_T$	a
-0.015	1
-0.013	5
-0.011	16

现在还缺一个满足要求的零件,因此又增加了  $X_T = -0.0105$ ,其  $a = 18$ 。  
由于满足要求的数据已收集齐,下面计算接收概率,结果见表 17.3-4。

表 17.3-4 接受概率

$X_T$	a	$P_a$
-0.016	0	0.025
-0.015	1	0.075
-0.014	3	0.175
-0.013	5	0.275
-0.012	8	0.425
-0.011	16	0.775
-0.0105	18	0.875
-0.010	20	0.975
-0.008	20	1.00

将这些点绘制在正态概率纸上,如图 17.3-1。画出一条最佳拟合直线,从图上可确定偏倚和重复性。偏倚等于  $P_a = 0.5$  对应的测量基准值减去公差下限值,即

$$B = -0.0123 - (-0.010) = -0.0023$$

从图 17.3-1,可得到:

重复性的确定是通过找出  $P_a = 0.995$  和  $P_a = 0.005$  对应的测量基准值之差值再除以 1.08,即

$$R = [-0.0084 - (-0.0163)]/1.08 = 0.0073$$

如果重复性过大,应和公差进行比较,以确定量具是否可接受。

为了确定偏倚是否明显偏离零,计算  $t$  值:

$$t = 31.3 \times 0.0023/0.0073 = 9.86$$

由于 9.86 远大于 2.093,偏倚明显偏离零。

如果没有正态概率纸,也可画出量具特性曲线,见图 17.3-2。

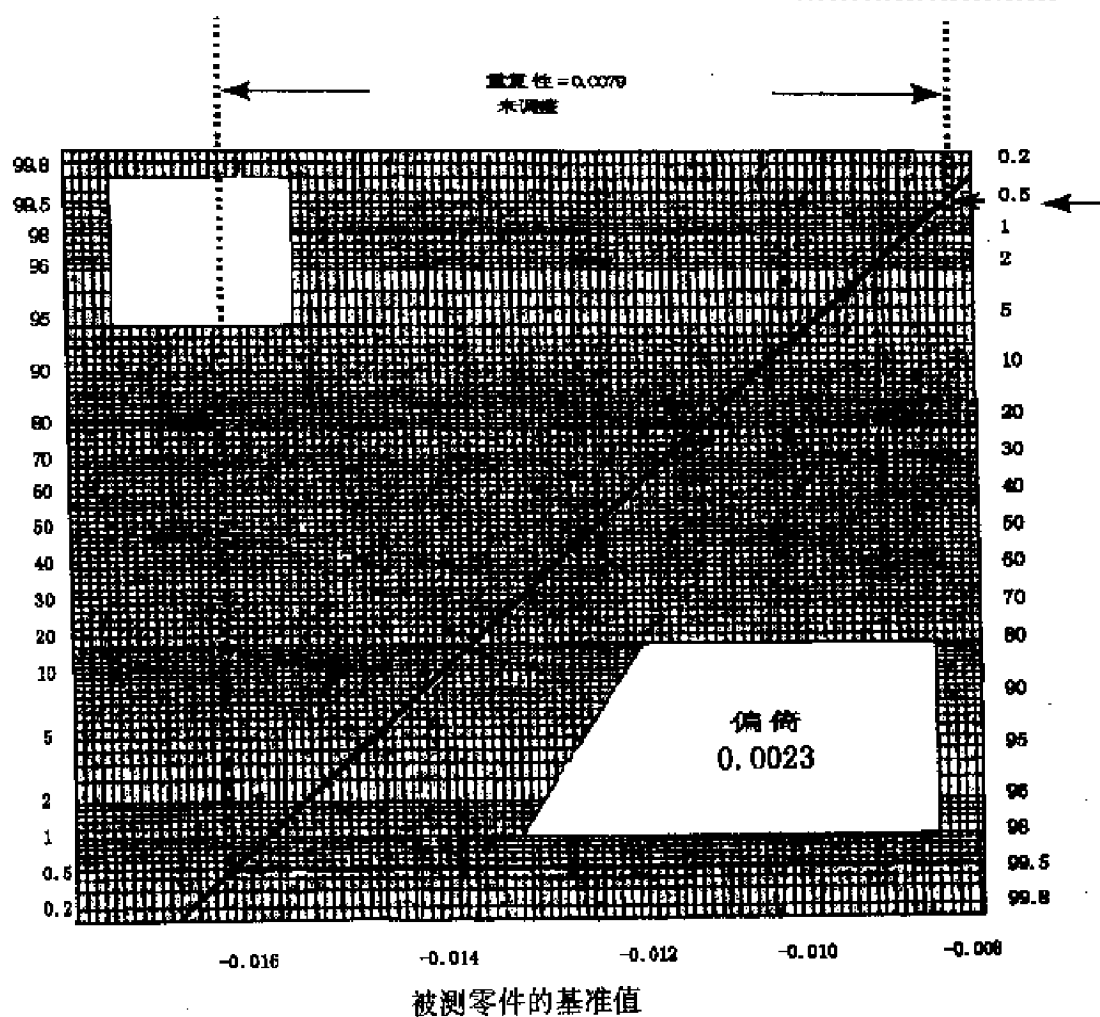


图 17.3-1 正态概率纸

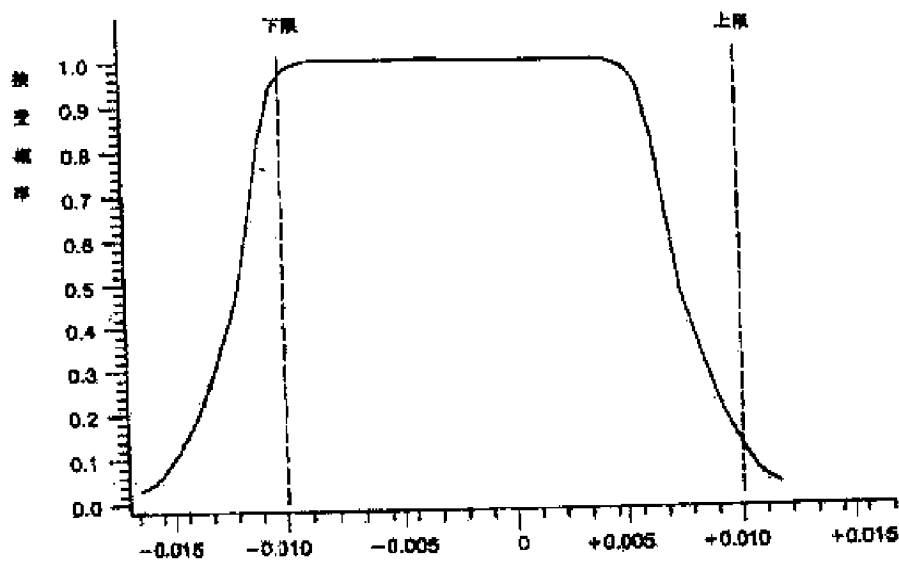


图 17.3-2 量具特性曲线

## 17.4 本章参考文献

- [17-1] 中国汽车技术研究中心译,测量系统分析,2000。

### 本章思考题

- [17-1] 测量数据是否有质量,用什么来评价?
- [17-2] 描述测量系统变差分布的统计特性有那些?
- [17-3] 为什么要做测量系统分析? 只做检定或校准行不行?
- [17-4] 测量系统分析的接收准则是什么?

### 思考题题解

- [17-1] 测量数据是有质量的,其质量的高、低是用测量系统稳定运行下多次测量结果的偏倚和方差来评价。
- [17-2] 根据测量系统变差的来源,描述测量系统变差分布的统计特性有表明数据位置的偏倚、稳定性和线性,以及表明数据分散程度的重复性和再现性。
- [17-3] 检定或校准是确定或解决量具合格与否,测量系统分析是要确定测量系统的变差是否适于测量某过程或产品。所以要进行测量系统分析。
- [17-4] 用于分析过程或做控制图,测量系统的双性与总过程变差进行比较,双性占总过程变差的百分比:
  - 小于 10%——测量系统可接受;
  - 10%至 30%——根据应用的重要性,量具的成本,维修的费用等,可能是可接受的;
  - 大于 30%——不可接受。但能否用于判断零件合格与否,需与产品公差进行比较。

## 第十八章 业务流程重组

### 18.1 概 述

#### 18.1.1 业务流程重组的起源

二百多年前,亚当·史密斯在《国富论》中提出了分工论。二十世纪初福特汽车的亨利·福特率先将分工论应用在生产线上。随后,通用汽车的史隆将分工论运用在管理上,创造出层层上报的金字塔形组织,以管理日益庞大的官僚体系。在产品单一、供不应求的时代里,精密分工的确提高了产量的效率,但如今却面临三种力量带来的挑战,那就是竞争、变化、顾客。

流程重组的发起人 Hammer 在一次演讲中提到:“关注流程的时代已到来。从根本上来说,流程是我们组织价值创造的机制。过去,当竞争是温和的、变化是缓慢的、顾客是软弱的时候,我们注重于对职能部门的控制,问题还是不大的。但时代已变了:激烈的竞争、持续的变化、挑剔的顾客,我们已不能再以我们的方便来经营业务,我们必须转向为了顾客的方便而经营。这就意味着必须关注给顾客创造价值的职能交叉的流程。因为只有这样我们才能具有柔性和创新,才能够快速、低成本、高质量地提供良好服务。换句话说,就是快速、正确、便宜和容易。”

Hammer 与 Champy 在 1993 年“Reengineering The Corporation(改造企业)”一书中,首次较系统地提出了业务流程重组(BPR, Business Process Reengineering)的理念和方法,其中将 BPR 定义为:“业务流程重组就是对企业的业务流程进行根本性的再思考和彻底性的再设计,从而在成本、质量、服务和速度等方面的衡量业绩上获得戏剧性的成就”。业务流程重组是站在企业的战略高度进行的,并以减少不增值活动为原则。

BPR 首先在美国的企业中得到应用,有不少企业通过应用 BPR 提高了企业的竞争力,但也有不少企业因此失败。据一些资料显示 BPR 的失败率高达 60%。其实不少失败并不是流程重组的技术方案有什么问题,而是变革过程中复杂的组织和人际问题没有得到充分的关注和管理而导致失败。可见,实施 BPR 需要有科学的方法论来指导。在 1994 年,Hammer 在“The Reengineering Revolution - Handbook”书中进一步介绍了保证改造成功的指导原则,里面也列举了一些成功的和不成功的案例。

时至今日,BPR 得到了广泛的应用,并在与 IT 技术紧密相联,如软件包 ERP 的实施,就是以 IT 为工具,重组企业的流程,以提升企业的竞争力。

### 18.1.2 业务流程建设的三个层次

业务流程建设按变革的程度可以分为三个层次:业务流程建立和规范、业务流程改善、业务流程重组。

对于未建立流程的企业,流程意识会比较淡漠,此时,流程变革的准备度往往较低,不一定适合推行流程重组。对于这一类企业,更重要是首先根据现有的业务模式建立一套规范的流程体系,并树立员工按流程开展业务的意识。

对于已经建立流程体系的企业,需要对流程运行的有效性进行评估,并进行改善或重组。业务流程重组和改善在理念和方法上有很多共同点,但在程度和影响面上有较大的差别。重组关注于更大范围的、根本性的、全面的业务流程。重组需要重新审视组织战略和组织结构,并有可能做出结构性的变化,对组织的影响会很大。而流程改善是在现有的业务模式下作一些局部的改善。

## 18.2 业务流程设计

### 18.2.1 流程的概念

流程是将输入转化为输出的一系列相关联的活动过程。流程的一个重要特征是横跨组织中的部门,因此需要由不同的角色共同来承担。流程输出的对象我们称之为流程的客户,这里的客户是广义的,可以是外部的客户,也可以是内部的客户。

### 18.2.2 流程框架模型建立

在企业中流程可以大致分为核心业务流程和管理支持流程两类,如图 18.2.2-1。

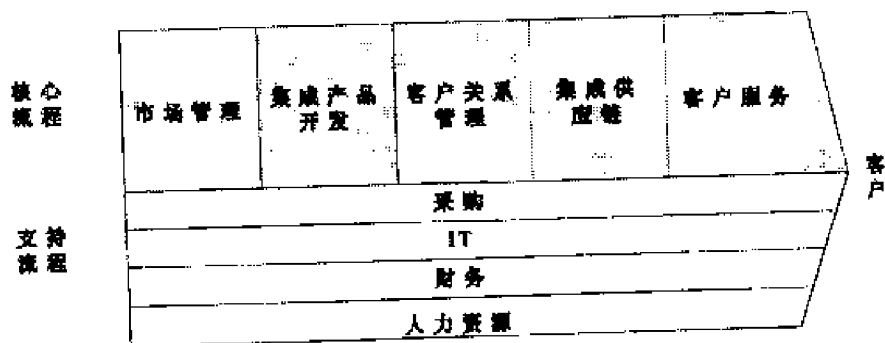


图 18.2.2-1 流程框架图例

企业的核心价值定位决定了其所需要的核心业务流程,有些企业最核心的业务流程是产品开发流程,有些企业则是供应链流程或客户服务流程。核心业务流程的绩效会影响企业的竞争能力。图 18.2.2-2 是一家高科技企业的核心业务流程

程模型。

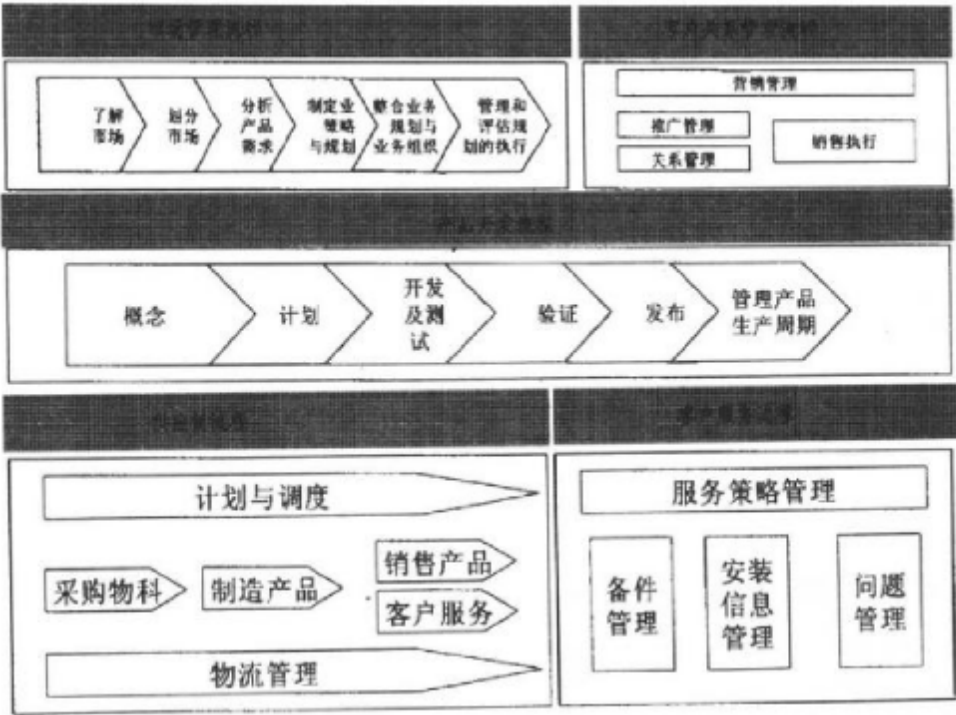


图 18.2.2-2 某高科技企业核心业务流程模型

企业若要建立业务流程体系,则需要先建立流程的框架和模型,然后从主流程到子流程层层细化。

18.2.3 流程描述的方法

描述流程首先要思考流程的输入、输出、关键活动、活动之间的逻辑关系、执行活动的角色、流程客户对流程能力的要求等。流程的描述一般采用图示化的形式,我们称为流程图。作者推荐国际上比较通用的一类横向的流程图,这种流程图更直观,并且突出对流程客户——流程输出对象的服务意识。

图 18.2.3-1 给出流程图的一种模板,图中横向中的方框中可以代表子流程,也可以代表活动,格式要求是“动名词”,即“做什么”,如“录入订单”、“核对发票”等;纵向则是执行活动的角色。图中的符号“Loop”表示循环,比如流程中如果有一个活动是审核点,则有通过和不通过两种可能,如果不通过,则要重新执行前面的活动,然后再进入审核点,这就是一种循环。

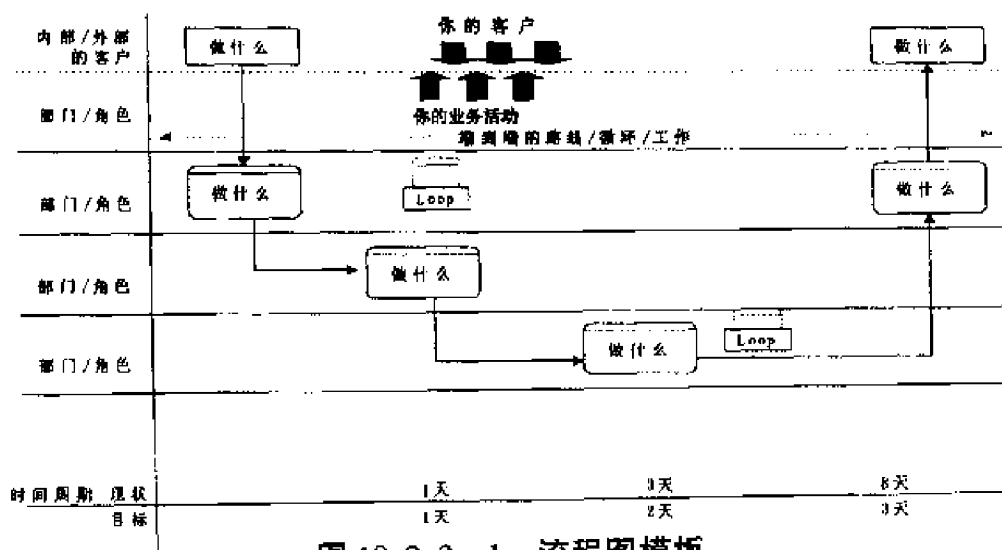


图 18.2.3-1 流程图模板

图 18.2.3-2 是一家设备制造供应商的差错货投诉管理流程的图例。

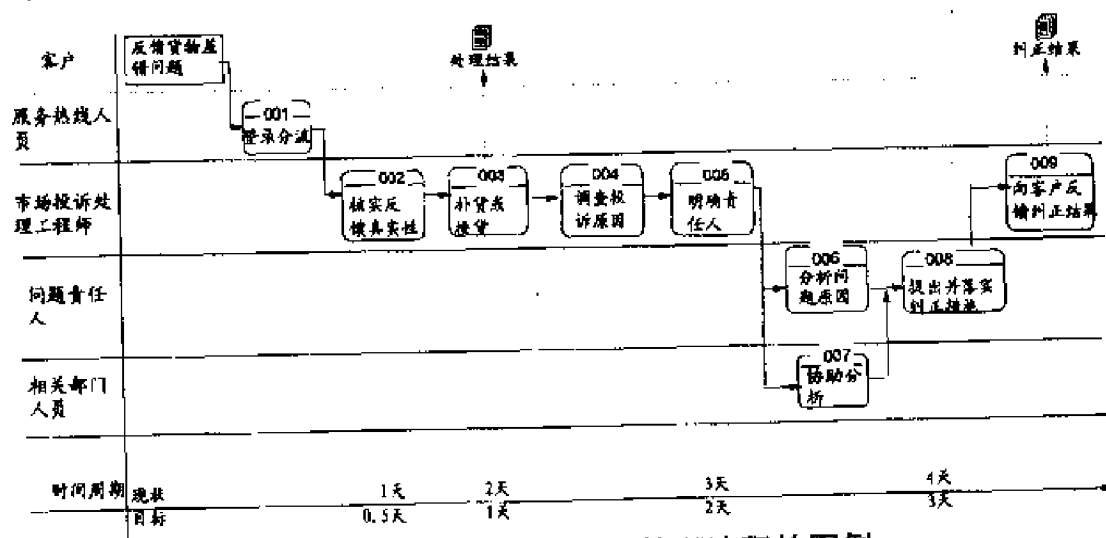


图 18.2.3-2 差错货投诉管理流程的图例

## 18.3 业务流程重组的实施

### 18.3.1 业务流程重组实施的步骤

业务流程重组既要关注到流程层面上的问题,又要关注到组织层面上的问题。国外权威专家通过调查和研究后,总结出成功实施 BPR 的基本步骤,按照这些步骤运行 BPR 项目,可以降低变革的风险,促进变革成功。表 18.3.1-1 列出了 BPR 实施的七个阶段及每个阶段的关键活动。



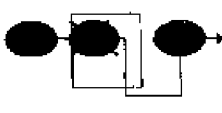
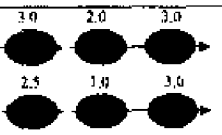



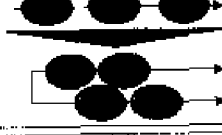
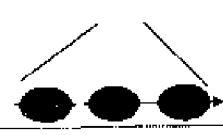
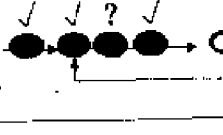
表 18.3.1-1 BPR 的实施阶段和关键活动

阶段	关键活动
第一阶段: 开始组织的转变	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 对组织现状进行评估</li> <li>• 说明变革的必要性</li> <li>• 举例说明理想的状态</li> <li>• 建立有关变革的交流活动</li> </ul>
第二阶段: 成立重组的组织	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 建立 BPR 的组织机构</li> <li>• 建立实施 BPR 的角色</li> <li>• 挑选参加重设计的人员</li> </ul>
第三阶段: 识别 BPR 的机会点	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 识别核心/高端流程</li> <li>• 收集行业内的绩效衡量标准</li> <li>• 收集行业外的绩效衡量标准</li> <li>• 选择需要重设计的流程</li> <li>• 对选择的流程进行优先级排序</li> <li>• 评估先行的业务策略</li> <li>• 询问客户的期望</li> <li>• 确定客户的实际需求</li> <li>• 制订新流程的绩效目标</li> <li>• 建立关键的流程特性</li> <li>• 识别实施变革的潜在障碍</li> </ul>
第四阶段: 了解现行的流程	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 将现行流程模型化</li> <li>• 诊断现行流程中的问题</li> <li>• 了解当前应用的信息技术</li> <li>• 了解现行的组织结构</li> <li>• 比较现行流程与新目标的差距</li> </ul>
第五阶段: 重设计流程	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 讯问当前流程运作中的假设</li> <li>• 运用 BPR 原则进行脑力激荡</li> <li>• 对新技术的影响力进行评估</li> <li>• 把客户价值作为关注的焦点</li> <li>• 定义新流程的模型</li> </ul>
第六阶段: 详细计划新的业务系统	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 细化定义新的工作流程</li> <li>• 将新的信息需求模型化</li> <li>• 将新的组织结构文件化</li> <li>• 明确新的人员管理系统</li> <li>• 描述需要的新价值及文化</li> </ul>
第七阶段: 实施转换	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 形成转换策略</li> <li>• 建立转换行动计划</li> <li>• 实施新的组织结构</li> <li>• 再分配生产力</li> <li>• 使受到影响的员工参与进来</li> <li>• 对员工进行新流程的训练</li> <li>• 对员工进行新技术应用的训练</li> <li>• 实施新的绩效测评标准</li> <li>• 反复执行</li> <li>• 建立流程持续改善机制</li> </ul>

### 18.3.2 流程重设计的常用技巧

下表列举了流程重设计中的常用技巧。

表 18.3.2-1 流程重设计中的常用技巧

减少流程步骤 	改善个别环节的效率(分钟) 
减少界面 	消除瓶颈 
消除闭环 	用并行流程取缔串行流程 
流程支配者有明确的职责/能力 	直接提出每个环节质量方面的问题 

下面对表中的技巧分别作简要的解释：

1. 减少流程中的步骤是指去掉一些不增值的活动，比如过多的检查和审核点、多余的操作活动等；
2. 减少界面是指合并一些环节，将分散在不同角色执行的活动归并成由一个角色进行，从而减少由于过多的接口造成的等待和传递时间；
3. 消除闭环往往是指对一些返工次数较多的环节进行分析和改进，比如评审环节、容易出错的环节等；
4. 流程支配者有明确的职责是指在流程中要充分授权，避免事事汇报，降低了效率；
5. 改善个别环节的效率是指在流程结构不变的情况改善局部活动的效率；
6. 消除瓶颈是指对影响流程运行周期和成本的关键环节进行分析和改善；
7. 用并行取缔串行流程是指将一些没有时间上先后逻辑关系的串行活动可以同时并行地展开，以减少不必要的等待的时间；
8. 直接提出每个环节的质量问题是指降低流程各环节活动的不良率。

## 18.4 业务流程重组的案例

### 18.4.1 某公司办公用品采购流程重组

基本信息：

流程名称：办公用品的采购流程

流程目的：办公用品提供给各部门，并分配给职员，这些用品可帮助职员提高工作效率

流程问题：办公用品到达时间慢；用品采购流程太过昂贵

#### 流程重组策略：

表 18.4.1-1 提供的信息表明，现行的办公用品采购策略与提议重组的策略有很大的区别。根据新策略制定的流程简化了一些不增值的中转环节，提高了速度，降低了流程的成本。

表 18.4.1-1 比较现行策略与提议重组的策略

	现行策略	提议重组的策略
1.	所有订单都要通过采购部门中转，采购部门审核后下单给供应商。	各部门负责将订单直接传真给由采购部门认证过的供应商，并通过电子邮件将复印件发给会计。
2.	仓库负责货物的收发	仓库将不再负责处理和发送货物。卖方直接将货物交付到各使用部门。
3.	各部门没有办公用品的预算	各部门要有办公用品的预算，对于超出预算的，要特别说明。

#### 重组前后的效果比较：

周期与成本

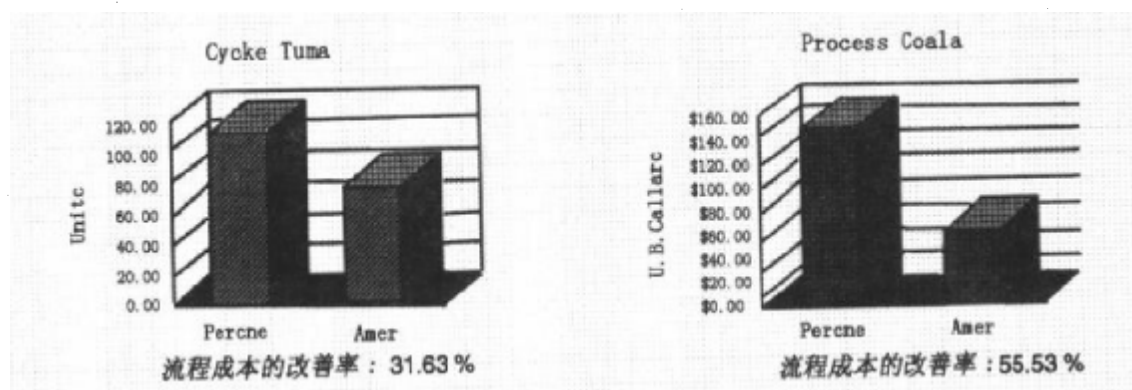


图 18.4.1-1 重组前后效果对比

## 18.5 本章参考文献

- [18-1] Michael Hammer and James Champy, "Reengineering The Corporation—

A Manifesto For Business Revolution”(Harper Business, 1993)

[18 - 2] Michael Hammer and Steven A. Stanton, "The Reengineering Revolution—A Handbook" (Harper Collins Publishers, Inc., 1994)

[18 - 3] Michael Covert, "Successfully Performing BPR" (Visible Systems Corporation, 1994)

## 本章思考题

- [18 - 1] 请用图 18.2.2 - 2 中的格式描述您所在企业的核心业务流程框架,并选择其中一个主流程或子流程,用图 18.2.3 - 1 给出的流程图模板进行详细描述。
- [18 - 2] 请在您所在的企业中选定一个问题较多的流程,应用表 18.3.2 - 1 给出的技巧进行重设计,要求至少应用其中的两种技巧。

## 思考题题解

请自行设计。

## 第十九章 网络时代的质量管理

“以知识为基础,以 Internet 为沟通,形成全球化的发展”是新时代的突出特点。“速度”在现在以及未来的企业竞争力方面,扮演着极为重要的角色。信息技术的蓬勃发展,使得市场变化的速度比以前快得多。同时,信息技术也为迅速调配资源适应市场的变化提供了可能性,信息技术给管理理论的发展以新的契机。

### 19.1 网络时代的管理

20 世纪末,信息技术突飞猛进。个人电脑(PC 机)进入家庭,企业普及计算机管理,信息自动处理水平日益提高。网络的发展更为迅速,电子商务不仅让消费者受益,也改变了长期的传统消费观念,加速了市场的变化,加快了全球经济一体化的进程。

信息技术的高速发展首先促进了企业计算机管理的实现。企业和其下属部门纷纷建立自己的管理信息系统。例如,财会部门的财务管理软件,生产部门的 MRP 及 MRPII 管理,等等。

如今,企业逐渐意识到各个部门孤立的信息共享不足以应对激烈的市场竞争,需要实现企业的信息集成,使得各个部门共享企业的信息资源。于是联想集团、海尔、康佳、长虹等优秀的国内企业开始率先采用企业资源计划 ERP(Enterprise Resource Planning)系统,国外的 ERP 系统供应商纷纷进入中国市场。如德国的 SAP 公司、Oracle 公司、Bann 公司等,国内的一些较大的软件供应商也开始涉足 ERP 系统。

ERP 系统实现了企业内部信息的高度集成,完成了财务、人事、采购、生产、销售等部门对内部资源的共享,在 ERP 系统的实施过程中优化了企业的运作流程,为企业内部适应市场变化,实现敏捷化管理迈出了一大步。

企业内部的日益完善与优化,对企业外部提出了种种要求。要求供应商保质、保量、按时提供所需的原材料,要求销售渠道畅通,迅速把产品送到顾客手中,并把顾客的反馈意见尽快地回馈到生产流程、设计部门甚至供应商。这时,企业内部的信息集成已经不能满足需要了。面对庞大的外部信息和信息的快速变化,必须从注重内部资源的集成与管理,转向注重外部资源的管理和利用。从企业内的业务集成,转向企业间的业务协同。供应链管理开始成为关注的焦点,企业需要寻求稳定的供应商,忠诚的顾客,实现整条供应链的信息共享。市场的竞争也从企业间的竞争发展为供应链间的竞争。

基于 Internet 的 B2B(Business to Business)开始成为企业界、软件业追逐的对象。SAP 公司将它的 ERP 系统放到了 mySAP.com 的网站上。2000 年 3 月 10 日,海尔

成立了海尔电子商务有限公司,采用了 mySAP.com 来建立海尔集团的 B2B 电子商务平台。众多从事电子商务的网站应运而生。

信息的快速传递加速了市场变化、加剧了全球竞争,顾客的选择余地不断增加、顾客需求的品位日益提高。正是在这种形势下,一种基于 Internet 的网络化生产组织方式正在悄然兴起,这就是虚拟企业(Virtual Organizations,又称为动态联盟)。虚拟企业是为了快捷响应市场变化、满足顾客需求而组成的多个企业或组织的联合。世界上许多知名企业正在积极尝试虚拟企业运作模式,并感受到由虚拟运作给企业带来的巨大市场成功和经济利益。同时越来越多的企业也正在积极地朝这个方向发展。虚拟企业一般有一个发起者(盟主),一般来讲,能抓住市场机遇的开发者为盟主。其中的每一个公司或企业(盟员)都具有自身的优势,都承担共同的风险和分享共同的利益。组建虚拟企业,可以使:

(1) 中小企业可以通过分享其它盟员的资源完成过去只有大企业才能完成的工作,而大企业也能通过转包(outsourcing)生产的方式,在不需大量投资的情况下,迅速扩大生产能力和市场占有率。

(2) 可以解决新产品的生产规模和市场开拓规模二者之间的矛盾,把风险降到最低。能快速响应市场机遇,推出价格合适的高性能产品。实现随着定单的增多,同步扩大生产规模。由于盟员有不同的专长,虚拟企业可以在经济和技术实力上超过它的所有竞争对手而在竞争中取胜。从而进一步降低了风险。

(3) 可以兼容企业之间的竞争和合作,做到既保存竞争的活力,又避免过度竞争。实现跨地区、跨国界的国际合作,使得每一个盟员都有机会进入更广阔的市场,而盟员各自的资源优势也得以充分利用。

网络时代的到来给人类的生产、生活方式带来了巨大的变革。企业的生产运作过程已经越来越离不开计算机和网络。电子商务、网络购物、网络通讯等正在构架着人类新型网络化生存模式。信息、知识和技术的交流在计算机网络的支持下,变得前所未有的方便和迅捷,同时对人类生产、生活的作用也变得越来越重要。在这种形式下,许多传统的观念、模式和方法都面临着新的挑战 and 机遇。一些新的观念、模式和方法在悄悄形成,并逐步改变着人类的生产、生活方式。

## 19.2 质量管理的发展

### 1. 人力资源与质量管理紧密结合

通用电器公司(GE)显示其高层管理者坚持质量决心的一个确切的标志是:通用电器公司经理奖金(高达 100 万美金)的 40%取决于其质量计划的执行程度。而此前,奖金仅是根据利润决定的。

通用电器公司的质量计划是借鉴摩托罗拉(Motorola)公司的,该计划包含为期四个月的统计学以及如何才能提高质量方面的课程,用于培训黑带(black belt)人员。培训以后,这些“黑带”们在公司所属的工厂内调查和了解质量情况,并确定质

量提高的具体项目。前任总裁约翰·F·韦尔奇(John F. Welch)曾告诫年轻的经理们,除非他们能够被选作黑带,否则他们将不会有太大的前途。

## 2. 设计决定质量

早先,人们认为质量是检验出来的,通过检验来保证产品的质量。以后,人们认识到质量不是检验部门的事,而是生产部门制造出来的,生产过程的质量水平决定了产品的质量。现在,人们意识到质量最终是由设计部门确定的,产品被设计出来的时候,产品的质量定位已经被决定了,制造部门只是在实现设计出来的产品质量。

进一步,产品的质量定位也不是在设计过程中决定的,而是根据市场调研、对顾客的需求分析,由企业的管理层拍板决定的。设计过程只是在实现企业对产品质量的定位,设计本身不应该是盲目的。

## 3. 质量管理与运作管理紧密集成

德国 SAP 公司是世界上最大的 ERP 供应商,在它的产品 R/3 系统中,物料管理(MM, material management)模块、生产计划(PP, production planning)模块、销售分销(SD, sales & distribution)模块与质量管理(QM, quality management)模块无缝地集成在一起,质量监控成为物料管理、生产计划和销售分销的日常工作的一部分,质量管理本身的职能被加强,强调了居中协调与制定标准规范的职责。

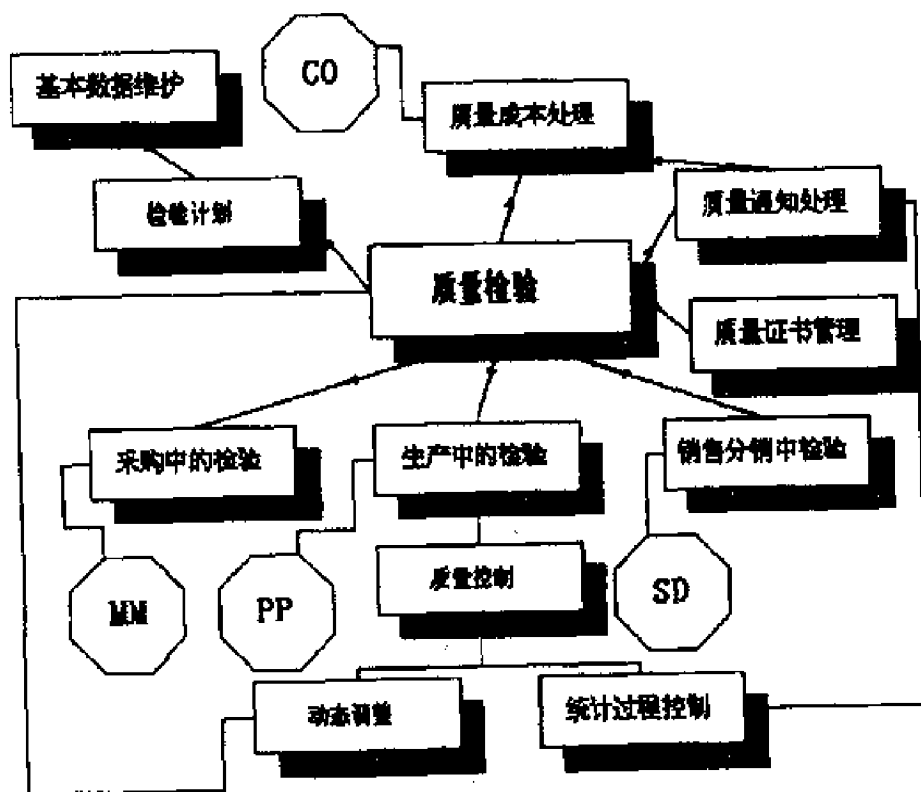


图 19-1 质量检验与 MM、PP、SD 模块的集成

图 19-1 以质量检验为例,显示了质量检验与 MM、PP、SD 模块的集成。图中还给出了对质量成本的处理,将质量管理与管理会计(CO, controlling)集成在一起。

#### 4. 质量与顾客满意

2000年新版的ISO 9000族标准进一步强调了顾客满意,顾客满意成为评价质量的标准。美国的波得里奇质量奖(Malcolm Baldrige Award),欧洲、澳洲的质量奖项都把顾客满意度(customer satisfaction)列为主要评定内容。

有些企业认为“顾客满意”只是在售后服务阶段,通过优质服务让顾客满意。实际上,让顾客满意的第一步是从市场调查了解顾客的需求开始。然后,在设计、制造、销售、服务的过程中,努力去满足顾客的需求,保证顾客满意的工作贯穿了产品质量形成的全过程。企业要努力实现顾客满意,但不能停留在顾客满意的水平上,而要继续改进,将顾客满意的目标提高到顾客忠诚。

“顾客忠诚(customer loyalty)”是指顾客在满意的基础上,对某品牌或企业作出长期购买的承诺,是顾客的一种意识与行为的结合。“顾客满意”一般是指一次性的。顾客对某品牌或企业由满意发展到忠诚后,他会再次购买同一品牌的产品。据美国有关机构调查得知,随着顾客忠诚度的提高,企业四分之三的销售成本会相应下降,而且顾客忠诚度提高5%,企业利润可增加25%~85%。

摩托罗拉(Motorola)公司更明确指出:企业内部员工满意是外部顾客满意的基础。

#### 5. 质量由整条供应链共同保证

追求质量,就要寻求稳定、可靠的供应商,努力培养和形成忠诚的顾客群。

高质量的产品与服务是由优质并及时供应的原材料、严格精确的设计、精密稳定的制造过程来共同构筑的。例如,轿车厂为控制轿车的零公里缺陷率,它要求自制零部件和各配套零部件具有很低的供货不合格品率,提出了 $25 \times 10^{-6}$ 和 $60 \times 10^{-6}$ 的质量要求。

市场的竞争从企业间的竞争发展为供应链(supply chain)间的竞争,质量是由整条供应链来共同保证的。

为了最终保证顾客对产品与服务的满意,必须对产品与服务形成的全过程进行严格的管理与控制,使得供应链中的每一个环节,即合作伙伴,明确其对质量的责任与义务,并保证加以实现。伙伴之间的质量协定可以通过契约的形式制订下来,并严格按照契约中的承诺,来检查合作伙伴的质量与服务。质量不仅仅通过最终的检查来进行控制,还必须要科学的方法来保证整个运作过程的实现,并有严格的质量管理来确保及时消除出现的问题,不断完善,努力实现合作伙伴间质量管理的无缝联接。

### 19.3 网络时代质量管理的挑战与机遇

网络时代加速了科学技术的发展,促进了产品质量的提升,一个明显的例证是:近年来,产品的不合格品率迅速降低。例如,电子产品的不合格品率,由过去的百分之一( $10^{-2}$ )、千分之一( $10^{-3}$ )数量级降低到百万分之一(ppm, parts per million,



$10^{-6}$ )、甚至十亿分之一(ppb, parts per billion,  $10^{-9}$ )的水平。因此,诞生了质量科学的最新分支——接近零不合格品过程的质量控制。目前在这一领域,作者已经取得了一系列的研究成果,并得到国际认可。

网络时代给顾客带来了更大的便利,可以足不出户就了解全球的同类产品,可以随时随地自如地选择个性化的商品与服务,可以更加快捷地获得所需要的商品与服务,可以以较低的成本去得到较高的收益。这就向质量管理提出了挑战,如何迅速满足顾客的需求,如何实现运作过程的敏捷化管理。对于这一问题,在动态联盟合作伙伴的质量管理中作了一定的研究,取得了初步的研究成果。

网络时代,质量管理的地位将有所提高,质量管理的职责会逐渐发生变化。质量检验、质量控制逐渐由采购部门、生产部门、销售部门来负责,成为它们日常工作的一部分,必须严格按照标准规范来完成。质量管理由企业的经营管理层来负责。侧重于组织管理体系的建设,以顾客满意为目标使质量成为习惯。进一步,再提升质量管理到由企业的决策经营层负责,从事质量文化的建设,从“Everyone is customer, everything is process. (凡人都是顾客,凡事均为过程)”的高度来对待“顾客满意”,实施过程控制。

网络时代,为质量界带来了空前的机遇。质量以顾客满意为标准。这意味着:企业的运作、经营、战略都将围绕着质量来展开,质量科学的发展达到了历史上前所未有的高度,必将受到认真的对待。这对质量本身的发展、质量管理的研究、质量工作者的成长都是难得的机遇。

网络时代,顾客的要求向多样化、个性化的方向发展,达到顾客满意日益困难,对质量的要求愈加严格,国际间的竞争日趋激烈,小企业可以由于抓住了市场机遇而迅速壮大,大企业可能因为微小的失误而彻底崩溃,生活的节奏不断加快。为了适应市场需要、提供顾客满意的产品与服务,企业只有不断强化自己的核心能力,提高适应变化的能力,努力实现敏捷化的管理,建立与长期的策略供应商协同工作的机制,形成强有力的供应链,并不断完善供应链管理,加强合作伙伴之间的联盟关系,提高应变能力,为提供顾客满意的商品与服务而不懈努力。网络时代,向质量界提出了严峻的挑战,持续改进与追求卓越将成为质量界的永恒目标,对网络时代质量管理理论的探索与研究必将对新时代企业的发展提供有力的支持。

## 19.4 本章小结

信息技术的飞速发展,尤其是网络无孔不入的渗透,对整个商业环境中企业运作的理念都带来新的冲击,在这样的背景下,质量管理也面临着巨大的机遇与挑战。顾客满意是衡量质量的唯一标准,质量工作围绕着顾客满意而展开,企业逐渐认识到质量是决定企业生存的关键。网络时代,信息传递的便捷既为企业寻找资源和优化资源配置带来了方便,也为企业保证顾客满意增加了困难。在网络时代迅猛发展的背景下,21 世纪的质量管理将有革命性的发展,对于网络时代质量管

理的探索具有巨大的理论意义和实际价值。

## 19.5 本章参考文献

- [19-1] Byrne, (1993), "The Virtual Corporation", Business Week, 1993, pp.36-41.
- [19-2] Ioannis Minis, Jeffrey W. Herrmann and Giang Lam, (1996) "A Generative Approach for Design Evaluation and Partner Selection for Agile Manufacturing", Working paper, Department of Mechanical Engineering and Institute for Systems Research, University of Maryland, 1996.
- [19-3] Daniel Whitney, Martin Anderson, etc. (1995), "Agile Pathfinders in the Aircraft and Automobile Industries—A Progress Report", MIT 1995.
- [19-4] 蒋新松(1997), "我国制造业面临的形势及可供选择的对策", 计算机集成制造系统 CIMS, 1997, 3(2):3-6.
- [19-5] 孙静(2000), "接近零不合格品过程的质量控制", 现场管理, 2000 年, 第 1 期, 第 33-37 页。
- [19-6] Jing Sun et al, (2000) "Control Charts Based on the Number of Consecutive Conforming Items between Two Successive Non-conforming Items for the Near Zero - Nonconformity Processes", *Total Quality Management* 2000, Vol.11, No.2, pp.235-250.
- [19-7] 孙静(2000), "探讨设计质量", 中国质量, 2000 年, No.8, pp.25-27.
- [19-8] 孙静(2000), "动态联盟合作伙伴的质量管理", 863 课题"动态联盟/广义企业与相关支撑技术研究及其在三个工程中的应用"之动态联盟运行模式分析, 清华大学内部研究报告, 2000 年。

## 本章思考题

- [19-1] 网络时代质量管理有什么特点?

## 思考题题解

- [19-1] 网络时代质量管理具有下列特点:
  - (1) 信息技术的高速发展首先促进了企业计算机管理的实现。为企业内部适应市场变化, 实现敏捷化管理迈出了一大步。
  - (2) 企业内部的日益完善与优化, 对企业外部提出了种种要求。市场的竞争也从企业间的竞争发展为供应链间的竞争。
  - (3) 信息的快速传递加速了市场变化、加剧了全球竞争, 一种基于 Inter-

net 的网络化生产组织方式正在悄然兴起,这就是虚拟企业。于是中小企业可以通过分享其它盟员的资源完成过去只有大企业才能完成的工作,而大企业也能通过转包(outsourcing)生产的方式,在不需要大量投资的情况下,迅速扩大生产能力和市场占有率。等等。

## 第二十章 六西格玛工程简介

### 20.1 六西格玛的缘起

“六西格玛”起源于美国摩托罗拉公司。

#### 1. 摩托罗拉公司简介

摩托罗拉(Motorola)公司是保罗 V·盖尔温(Paul V·Galvin)在 1929 年创建的。今天,摩托罗拉已发展成为一个生产电子设备和电子零部件的大型公司,年营业额超过 300 亿美元,员工近 13 万人。1956 年罗伯特 W·盖尔温(Robert W·Galvin)继其父成为公司总裁,并于 1964 年成为首席执行官(CEO, Chief Executive Officer)兼董事长。

#### 2. 六西格玛源自市场的激烈竞争

尽管摩托罗拉公司当时处于兴盛阶段,但在 20 世纪 70 年代末,他们发现日本同类产品的质量远优于摩托罗拉。例如,1985 年摩托罗拉通讯部门的质量水平为 4 西格玛水平(相当于每百万次机会不合格数为 6210 DPMO,参见本章表 20-2),而日本已经达到 5 西格玛水平(相当于每百万次机会不合格数为 233 DPMO,参见后文表 20-2)。为此,摩托罗拉领导人保罗 V·盖尔温及其高层管理人员曾经专门访问日本进行调查研究,对日本过程性能优于摩托罗拉大约一千倍的现实留下了深刻的印象,故决定改进摩托罗拉的过程性能至六西格玛(相当于每百万次机会不合格数为 3.4 DPMO,参见后文表 20-2)并期望在 5 年内弥补他们与日本的质量差距。

#### 3. 六西格玛名称的由来

从市场营销观点出发,盖尔温先生需要利用新奇事物来吸引人们的注意,所以他很喜欢“六西格玛”这个名称,认为它听起来很像是一辆日本新型小轿车。这就是“六西格玛”的由来。

#### 4. 六西格玛方案的提出

摩托罗拉的通讯部门首先于 1986 年启动了其六西格玛(Six Sigma)方案。1987 年摩托罗拉将这项新颖、具有远见的战略行动推广到公司的其他部门,盖尔温先生特别强调提出下列目标:

- (1) 到 1989 年改善产品和服务质量 10 倍;
- (2) 到 1991 年至少改进 100 倍;
- (3) 到 1992 年作到六西格玛。

“六西格玛质量(Six Sigma Quality)”是摩托罗拉命名的方案,与此同时还进行了与“顾客完全满意”密切相关的其他 4 项战略行动如下:

- (1) 全面减少周期时间(Cycle Time);

- (2) 领导生产和制造;
- (3) 增加利润;
- (4) 参与管理。

### 5. 重视培训建立摩托罗拉大学

为了实施上述目标,摩托罗拉公司内部专门建立了所谓“摩托罗拉大学(Motorola University)”,进行了大规模的六西格玛培训计划,对所有各级员工都分层进行培训,每年培训费用超过 5000 万美元。

### 6. 领导是关键

为了保证上述计划的实现,摩托罗拉十分重视高级管理层的表率作用,自上而下,说服公司员工严肃认真地推行六西格玛,真正体现了所谓“头 QM (TQM, Total Quality Management, ‘头’为 Total 的谐音)”。

### 7. 推行六西格玛成绩斐然

时间不长,在仅仅一年多以后,到 1988 年摩托罗拉公司推行六西格玛已取得下列可观的成绩:

- (1) 在 92 亿美元的营业额中通过六西格玛方案估计节约了 4.8 亿美元,而有些部门员工的六西格玛奖金竟达到工资的 20%;
- (2) 1988 年第一家获得美国国家质量奖——波多里奇奖(National Quality Malcolm Baldrige Award);
- (3) 接着于 1989 年又获得日本对制造业设立的日经奖(Nikkei Award);
- (4) 1991 年制造成本节约 7 亿美元。而从开始推行六西格玛以来,摩托罗拉共节约了 24 亿美元;
- (5) 截至 1992 年,摩托罗拉公司的大部分部门已达到六西格玛水平,现在制造业的质量大约是 5 西格玛水平左右,参见摩托罗拉首席执行官乔治 M·费舍(George M·Fisher)在 1993 年的讲话。

## 20.2 六西格玛工程

摩托罗拉六西格玛开创者之一:迈克尔·哈瑞(Mikel Harry)和理查德·施罗德(Richard Schroeder)将“六西格玛”称作是“改革世界顶级企业的突破性管理策略(The breakthrough management strategy revolutionizing the world's top corporation.)<sup>1</sup>”。

但是上述说法并没有讲清楚“突破性管理策略”究竟突破在何处?我们认为:“六西格玛”实质上是一项突出追求超严格质量(Super Strict Quality Requirements)的系统工程,故称之为“六西格玛工程(Six Sigma Engineering)”。六西格玛工程在统计

<sup>1</sup> 这种提法参见本章参考文献[4]。哈瑞与施罗德 20 世纪 80 年代在摩托罗拉公司工作,是早期设计六西格玛活动的人们之一,现在他们在六西格玛研究院(Six sigma Academy, Inc.)工作,施罗德为该研究院总裁。

方法上并无新内容,但它确实是达到超严格质量的一项系统工程的范例,故将六西格玛称为六西格玛工程似乎更为贴切。今天,六西格玛工程不仅在许多美国的顶级企

业如通用电气(GE)、联讯(Allied Signal)、德州仪表(Texas Instruments)、杜邦(DuPont)等获得应用,而且逐渐转移到欧洲和亚洲世界其他各地,如韩国三星(Samsung)、法国施耐德(Schneider)等公司都要求本系统所属各公司开展六西格玛活动。

### 20.3 企业引入六西格玛工程应具备的条件

这是个普遍引起关心的问题。根据作者的看法,不论是工厂、办公室或是服务部门,只要是具备下列条件的都可尝试引入六西格玛:

- (1) 已经奠定了传统管理(主要内容为劳动纪律和工艺纪律)坚实的基础;
- (2) 已经认真通过 ISO 9000 的认证,取得合格证书;
- (3) 已经成功推行了 SPC(统计过程控制)与 SPD(统计过程诊断)或其他统计方法,且其产品或服务的质量目前至少已经达到三西格玛水平(相当于 66807 DP-MO,参见后文表 20-2);
- (4) 第一把手及其高层领导对于六西格玛有足够的认识并有坚定的决心加以推广;
- (5) 具有可担任六西格玛过程负责人和黑带长(Master Black belt,或称六西格玛教练)的人才(即骨干中的骨干);
- (6) 具有足够启动六西格玛活动的资金。

### 20.4 推行六西格玛工程的步骤

企业推行六西格玛工程的步骤如下:

步骤 1:在充分研究推行六西格玛工程可行性的基础上,首先确定是否推行六西格玛工程的方针,然后由企业第一把手公开表态给予支持。

步骤 2:成立专门小组,选择技术骨干。

(1) 任命过程负责人(Process Owner)或称赞助人(Sponsor)或盟主(Champion)。一般,每一个事业部遴选一位盟主,每 30 个黑带(Black Belt)遴选一位黑带长;黑带长要作为教练(Coach)负责培训黑带;

(2) 盟主与黑带长确定第一阶段的工作,并遴选黑带人员;

(3) 黑带(black belt)人员的条件如下:

- ① 具有大学或大学以上的学历;
- ② 年轻有为、在群众中有威信,并允诺在公司继续工作几年;
- ③ 黑带必须是专职的;

④ 是否设立低一等的绿带(green belt)或更低的白带(white belt),则视具体情况而定;

⑤ 通常要求绿带完成一个至少增产节约 5 万元的改进项目;对黑带则要求完成 4 个改进项目,且其中至少有一个改进项目增产节约 20 万元。

(4) 一个黑带要带领 100 位员工,一个绿带要带领 20 位员工。

### 步骤 3:培训

(1) 培训是推行六西格玛工程的重要环节,需要花费大量资金;

表 20-1 培训课程内容

课 程 名 称	白带课程	绿带课程	黑带课程	工程课程	管理课程
黑带的作用与任务	X	X	X		X
质量管理的七种工具	X	X	X		X
质量管理的新七种工具			X		X
标杆比较法(benchmarking)	X	X	X		X
头脑风暴法(brainstorming)	X	X	X		X
质量成本分析	X	X	X		X
概率与统计	X	X	X		X
回归分析		X	X		X
方差分析			X		X
试验设计与田口方法			X		X
QFD (Quality Function Deployment, 质量机能展开)			X		X
统计过程控制(SPC)	X	X	X		X
统计过程诊断(SPD)			X		X
接近零不合格过程的质量控制			X		X
过程波动 - DPMO 及其度量与评估	X	X	X		X
六西格玛工程介绍及其案例	X	X	X		X
抽样		X	X		X
可靠性,维修性及产品安全性		X	X	X	
公差设计	X	X	X	X	

(2) 黑带培训内容,参见表 20-1。培训时间大约需要脱产学习 6 个月。学习教材可以采用作者主编的并由企业管理出版社出版的本手册。本手册是一本崭新的著作,非其他旧版质量工程师手册可比,不但内容新颖,与国际接轨,而且强调用物理概念进行解释和说明,尽量避免高深数学的推导,以满足企业现场的实际需要。

(3) 培训后,大多数推行六西格玛工程的公司都要求绿带每年至少完成一个改进项目,要求黑带每年至少完成四个改进项目,否则将撤消其黑带或绿带资格。当然,公司人员当选黑带、绿带后,其待遇也需要相应提高。通用电气(GE)公司的

总裁韦尔奇(John F. Welch)甚至曾告诫公司的年轻经理们,除非他们能够被选作黑带,否则在本公司不会有太大的前途。

步骤 4:过程性能评估(Process Performance Evaluation)。

应注意下列各点:

- ① 选择本单位最重要的产品(或服务)及其过程和统计量(Statistic);
- ② 上述统计量同时必须是对顾客重要的并且是便于度量的;
- ③ 过程性能评估是个综合性度量,内容包括:设计过程、制造过程、运输、售后服务以及供应商等的评估,并把上述度量结果综合到六西格玛度量体系中成为一个统一的数值以便于进行比较;
- ④ 在度量波动时,取 DPMO(Defects Per Million Opportunities,百万次机会不合格数)作为度量单位,参见后文。

步骤 5:确定改进目标并坚持得出其改进结果。

- ① 根据 DPMO 评估结果,提出 DPMO 的六西格玛长远目标及其分解到按年度的年改进率;
- ② 确定目标后,必须要有结果,决不可放任自流,对于这点高层领导需要亲自过问并加以坚持;
- ③ 所有六西格玛工程的成果都必须向整个单位通报以促进全单位六西格玛工程的推进。

步骤 6:持续改进(Sustainable Improvement)。

改进不可能一蹴而就,必须持续改进,持之有恒。在制造部门成功以后还要扩大到非制造部门。这里,第一把手和高层领导的决心与恒心具有举足轻重的作用。

## 20.5 百万次机会不合格数(DPMO)

在六西格玛工程中,通常采用下列统计单位:

1. 单位不合格数(Defects Per Unit, DPU)

在摩托罗拉,单位不合格数(DPU, Defects Per Unit)是个通用的度量单位,它是将不合格数除以单位数,其中每个数字都是从某个特定的检查点而来的。DPU 的公式如下:

$$DPU = \frac{\text{不合格数(在某个检查点发现的)}}{\text{单位数(经过该检查点处理的)}} \quad (20-1)$$

[例 20-1] 在某个检查点检查了 100 个产品,发现有 2 个不合格品,于是

$$DPU = \frac{2}{100} = 0.02$$

2. 百万次机会不合格数(DPMO)

摩托罗拉在 20 世纪 80 年代末采用了百万次机会不合格数(Defects Per Million Opportunities)作为标杆比较的指标,它的定义为:



$$\text{DPMO} = \frac{\text{DPU} \times 1,000,000}{\text{每单位出错机会数}} \quad (20-2)$$

将式(20-1) DPU 的定义代入式(20-2)中,立即可知上式的正确性。这里乘以 1,000,000 不过是为了去掉小数点。采用 DPMO 的优点是无论在生产部门、服务部门或一般办公室都可以加以应用,这是一个统一的指标。

[例 20-2] 求上述例 20-1 的 DPMO。由题设知,  $\text{DPU} = 0.02$ , 于是代入式(20-2)得到:

$$\frac{0.2 \times 1,000,000}{1} = 20,000 \text{ DPMO}$$

注意,不合格品率为 0.02, 在传统的管理中,似乎已经不错了,但将不合格品率 0.02 换算成 20000 DPMO 后,会使人有一种“改进空间”还很大的感觉,有利于改进。

### 3. 均值漂移以及将 DPMO 换算为西格玛

根据调查研究,在目前的科技水平下,过程均值平均有  $1.5\sigma$  的漂移,参见图 20-1。

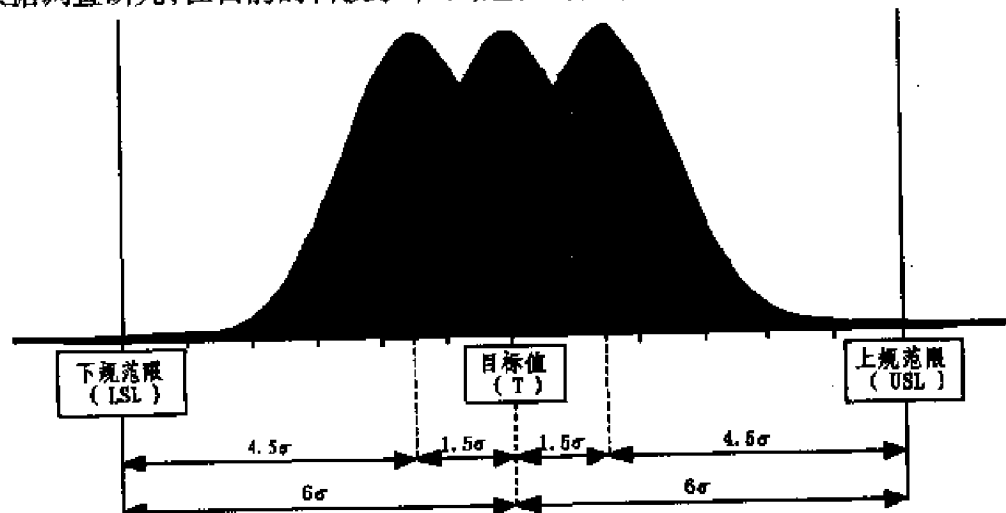


图 20-1 在六西格玛情况下均值平均有  $1.5\sigma$  的偏移

考虑图 20-1 的事实,于是在六西格玛情形,无论是左偏或右偏  $1.5\sigma$  (我们不妨以右偏  $1.5\sigma$  为例,参见图 20-1 中最右侧的正态分布曲线),都可得到其超出规范界限的部分,即其不合格品率  $P$  为:

$$P = P(4.5) + P(20.5) \approx P(4.5) = 3.4 \text{ DPMO}$$

式中,  $P(4.5)$  表示正态分布曲线右偏  $1.5\sigma$  超出上公差的概率,  $P(7.5)$  表示正态分布曲线右偏  $1.5\sigma$  超出下公差的概率;而在正态分布无偏移情况下的不合格品率为:

$$2 \times P(6) = 2 \times 10^{-9} = 0.002 \text{ DPMO}$$

式中,  $P(6)$  表示在六西格玛情形,正态分布曲线超出上公差或下公差的概率。故在摩托罗拉大学教材:《采用六步法达到六西格玛质量》的附录 C 中,将  $6\sigma$  换算为 3.4 DPMO,同样可将  $3\sigma$  换算为 66807 DPMO 等等。上述附录 C 就是在有  $1.5\sigma$  偏移的条件下加以换算的。参见表 20-2。

表 20-2 L 西格玛控制方式与均值偏移  $1.5\sigma$  情形的 DPMO 数的换算

L 西格玛控制方式	均值无偏移情形的不合格品率	均值偏移 $1.5\sigma$ 情形的 DPMO
1 西格玛	$31.7 \times 10^{-2}$	697670
2 西格玛	$4.55 \times 10^{-2}$	308770
3 西格玛	$2.70 \times 10^{-3}$	66807
4 西格玛	$63.3 \times 10^{-6} = 63.3 \text{ ppm}$	6210
5 西格玛	$0.573 \times 10^{-6} = 0.573 \text{ ppm}$	233
6 西格玛	$0.002 \times 10^{-6} = 2 \text{ ppb}$	3.4
7 西格玛	$0.0^{11}25596 \sim 0.003 \text{ ppb}$	0.019

## 20.6 三西格玛与六西格玛对于过程能力指数的要求

由于不合格品率与过程能力指数是一一对应的,故也可应用过程能力指数来反映质量的要求。

1. 三西格玛控制 (实际上为四西格玛控制) 提出下列质量要求:

$$\begin{aligned} C_p &\geq 1.33 \\ C_{pk} &\geq 0.833 \approx 0.9 \end{aligned} \quad (20-3)$$

事实上,常规控制图的国标 GB/T 4091—2001 对  $C_p$  提出下列要求<sup>1</sup>:

$$C_p \geq 1.33$$

于是从下式

$$C_p = 1.33 = \frac{4}{3} = \frac{8\sigma}{6\sigma} = \frac{T}{6\sigma}$$

知,  $T = 8\sigma$ , 这实际上是要求四西格玛控制。若通常均值的偏移为  $1.5\sigma$ , 则偏移度

$$K = \frac{1.5\sigma}{T/2} = \frac{1.5\sigma}{4\sigma} = \frac{3}{8}$$

故

$$C_{pk} = (1 - K)C_p = (1 - \frac{3}{8}) \times 1.33 = \frac{5}{8} \times \frac{4}{3} = \frac{5}{6} = 0.8333 \approx 0.9$$

从而有式(20-3)。

2. 六西格玛控制提出下列质量要求:

$$\begin{aligned} C_p &\geq 2.0 \\ C_{pk} &\geq 1.5 \end{aligned} \quad (20-4)$$

事实上,从下式

$$C_p = \frac{T}{6\sigma} = \frac{12\sigma}{6\sigma} = 2$$

<sup>1</sup> 最早提出这一要求的见朱兰主编的《质量控制手册》第三版,1976年出版。知,  $T = 12\sigma$ 。若通常均值的偏移为  $1.5\sigma$ , 则偏移度

$$K = \frac{1.5\sigma}{T/2} = \frac{1.5\sigma}{12\sigma/2} = \frac{1}{4}$$

故

$$C_{pk} = (1 - K)C_p = (1 - \frac{1}{4}) \times 2 = \frac{3}{2} = 1.5$$

从而有式(20-4)。

3. 七西格玛控制将提出下列质量要求:

$$C_p \geq 2.33$$

$$C_{pk} \geq 1.83 \approx 1.9 \quad (20-5)$$

事实上。从下式

$$C_p = \frac{T}{6\sigma} = \frac{14\sigma}{6\sigma} = \frac{7}{3} = 2.33$$

知,  $T = 14\sigma$ , 若通常均值的偏移为  $1.5\sigma$ , 则偏移度

$$K = \frac{1.5\sigma}{T/2} = \frac{1.5\sigma}{14\sigma/2} = \frac{1.5}{7} = \frac{3}{14}$$

故

$$C_{pk} = (1 - K)C_p = (1 - \frac{3}{14}) \times \frac{7}{3} = \frac{11}{6} = 1.83 \approx 1.9$$

从而有式(20-5)。

## 20.7 结 束 语

1. 推行六西格玛工程就是通过设计和监控过程, 将可能的失误减少到最低限度, 从而使企业可以作到质量与效率最高, 成本最低, 过程的周期最短, 利润最大, 全方位地使顾客满意。

要达到六西格玛的质量水平并非易事, 当今制造业大多只能作到二到三西格玛, 若能达到四西格玛水平, 那就是很出色的企业了。服务业通常只能达到一到二西格玛水平。

当企业的过程水平只达到三到四西格玛时, 由于操作不当而导致的浪费, 返工, 退货, 投诉和检验等原因, 不合格质量的成本可能占营业额的 25% 以上。而如企业能够适时引入六西格玛工程, 则过程的操作将接近完美, 不合格质量的成本可降至营业额的 1% 以下。

因此, 六西格玛工程是一种近乎完美的管理策略。

2. 六西格玛工程是下列三位一体的, 即统计度量、管理战略和质量文化。通过统计度量质量水平可以使我们了解产品、服务或过程的真实水平; 通过这种新的管理战略, 在高层领导下, 发起质量创新并使顾客全面满意; 六西格玛工程同时也是一种质量文化, 使得我们能够在第一次就把事情做对, 更好地利用数据与信息, 同时创造运用团队精神来解决关键质量问题的气氛。

## 20.8 本章参考文献

- [20-1] 瑞典科杰尔·麦格纳森,挪威戴格·克劳斯里德,瑞典鲍·伯格曼著,刘伟、石海峰译,《六西格马——通向卓越质量的务实之路》,中国标准出版社,2001。
- [20-2] Motorola University, SSG102, Utilizing The Six Steps to Six Sigma, Participant Guide, Version 6.0, 19920.
- [20-3] Peter S. Pande, Robert P. Neuman and Roland R. Cavanagh, The Sigma Way, McGraw-Hill, 2000.
- [20-4] Mikel Harry and Richard Schroeder, Six Sigma——The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World's Top Corporations, Doubleday, 2000.
- [20-5] Forrest W. Breyfogle III, Implementing Six Sigma, Smarter Solutions Using Statistical Methods, John Wiley & Sons, Inc., 1999.
- [20-6] 张公绪、孙静编,《SPC 与 SPD 工程高级讲座讲义》,培训班内部专用教材第三版,2001 年 6 月出版。

## 本章思考题

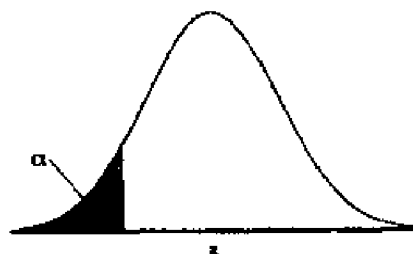
- [20-1] 什么样的企业才能推广六西格玛工程?
- [20-2] 推行六西格玛工程有什么好处?

## 思考题题解

- [20-1] 最重要的条件如下:
  - (1) 已经奠定了传统管理的坚实的基础,ISO 9000 认证通过,并且成功地推行了 SPC 与 SPD 或其他统计方法,即受过现代化管理的初步训练;
  - (2) 第一把手以及其他高层领导对于六西格玛工程有足够的认识并有足够的决心加以推广;
  - (3) 具有担任盟主和大黑带以及若干黑带人员的人才;
  - (4) 具有足够推动六西格玛工程的资金。否则侈谈六西格玛工程无益。
- [20-2] 推行六西格玛工程的好处甚多,如质量水平大幅度提高,质量成本大量降低,企业竞争力大为增加,全方位地满足顾客等。

## 附录 I 常用数表

表 I - 1 标准正态分布表



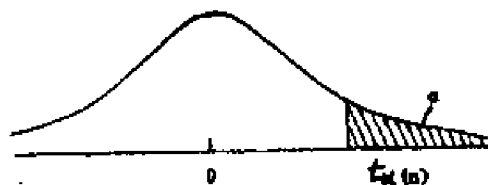
z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
-3.4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002
-3.3	0.0005	0.0005	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0003
-3.2	0.0007	0.0007	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0005	0.0005	0.0005
-3.1	0.0010	0.0009	0.0009	0.0009	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0007	0.0007
-3.0	0.0013	0.0013	0.0013	0.0012	0.0012	0.0011	0.0011	0.0011	0.0010	0.0010
-2.9	0.0019	0.0018	0.0018	0.0017	0.0016	0.0016	0.0015	0.0015	0.0014	0.0014
-2.8	0.0026	0.0025	0.0024	0.0023	0.0023	0.0022	0.0021	0.0021	0.0020	0.0019
-2.7	0.0035	0.0034	0.0033	0.0032	0.0031	0.0030	0.0029	0.0028	0.0027	0.0026
-2.6	0.0047	0.0045	0.0044	0.0043	0.0041	0.0040	0.0039	0.0038	0.0037	0.0036
-2.5	0.0062	0.0060	0.0059	0.0057	0.0055	0.0054	0.0052	0.0051	0.0049	0.0048
-2.4	0.0082	0.0080	0.0078	0.0075	0.0073	0.0071	0.0069	0.0068	0.0066	0.0064
-2.3	0.0107	0.0104	0.0102	0.0099	0.0096	0.0094	0.0091	0.0089	0.0087	0.0084
-2.2	0.0139	0.0136	0.0132	0.0129	0.0125	0.0122	0.0119	0.0116	0.0113	0.0110
-2.1	0.0179	0.0174	0.0170	0.0166	0.0162	0.0158	0.0154	0.0150	0.0146	0.0143
-2.0	0.0228	0.0222	0.0217	0.0212	0.0207	0.0202	0.0197	0.0192	0.0188	0.0183
-1.9	0.0287	0.0281	0.0274	0.0268	0.0262	0.0256	0.0250	0.0244	0.0239	0.0233
-1.8	0.0359	0.0351	0.0344	0.0336	0.0329	0.0322	0.0314	0.0307	0.0301	0.0294
-1.7	0.0446	0.0436	0.0427	0.0418	0.0409	0.0401	0.0392	0.0384	0.0375	0.0367
-1.6	0.0548	0.0537	0.0526	0.0516	0.0505	0.0495	0.0485	0.0475	0.0465	0.0455
-1.5	0.0668	0.0655	0.0643	0.0630	0.0618	0.0606	0.0594	0.0582	0.0571	0.0559
-1.4	0.0808	0.0793	0.0778	0.0764	0.0749	0.0735	0.0721	0.0708	0.0694	0.0681
-1.3	0.0968	0.0951	0.0934	0.0918	0.0901	0.0885	0.0869	0.0853	0.0838	0.0823
-1.2	0.1151	0.1131	0.1112	0.1093	0.1075	0.1056	0.1038	0.1020	0.1003	0.0985
-1.1	0.1357	0.1335	0.1314	0.1292	0.1271	0.1251	0.1230	0.1210	0.1190	0.1170
-1.0	0.1587	0.1562	0.1539	0.1515	0.1492	0.1469	0.1446	0.1423	0.1401	0.1379
-0.9	0.1841	0.1814	0.1788	0.1762	0.1736	0.1711	0.1685	0.1660	0.1635	0.1611
-0.8	0.2119	0.2090	0.2061	0.2033	0.2005	0.1977	0.1949	0.1922	0.1894	0.1867
-0.7	0.2420	0.2389	0.2358	0.2327	0.2296	0.2266	0.2236	0.2206	0.2177	0.2148
-0.6	0.2743	0.2709	0.2676	0.2643	0.2611	0.2578	0.2546	0.2514	0.2483	0.2451
-0.5	0.3085	0.3050	0.3015	0.2981	0.2946	0.2912	0.2877	0.2843	0.2810	0.2776
-0.4	0.3446	0.3409	0.3372	0.3336	0.3300	0.3264	0.3228	0.3192	0.3156	0.3121
-0.3	0.3821	0.3783	0.3745	0.3707	0.3669	0.3632	0.3594	0.3557	0.3520	0.3483
-0.2	0.4207	0.4168	0.4129	0.4090	0.4052	0.4013	0.3974	0.3936	0.3897	0.3859
-0.1	0.4602	0.4562	0.4522	0.4483	0.4443	0.4404	0.4364	0.4325	0.4286	0.4247
-0.0	0.5000	0.4960	0.4920	0.4880	0.4840	0.4801	0.4761	0.4721	0.4681	0.4641

续表

z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998

表 I-2 t 分布表

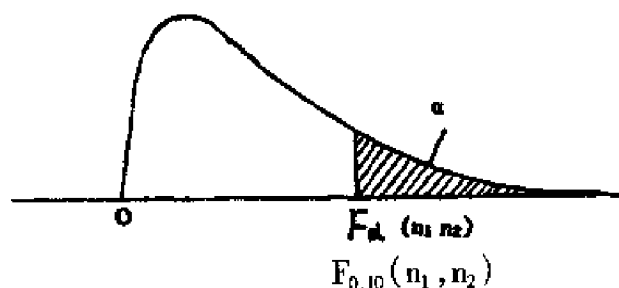
$$P(t(n) > t_{\alpha}(n)) = \alpha$$



$n \backslash \alpha$	0.40	0.30	0.20	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005
1	.325	.727	1.376	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	.289	.617	1.061	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	.277	.584	.978	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	.271	.569	.941	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	.267	.559	.920	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	.265	.553	.906	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	.263	.549	.896	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	.262	.546	.889	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	.261	.543	.883	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	.260	.542	.879	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	.260	.540	.876	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	.259	.539	.873	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	.259	.538	.870	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	.258	.537	.868	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	.258	.536	.866	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	.258	.535	.865	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	.257	.534	.863	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	.257	.534	.862	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	.257	.533	.861	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	.257	.533	.860	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	.257	.532	.859	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	.256	.532	.858	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	.256	.532	.858	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	.256	.531	.857	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	.256	.531	.856	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
26	.256	.531	.856	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	.256	.531	.855	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	.256	.530	.855	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
29	.256	.530	.854	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
30	.256	.530	.854	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750
40	.255	.529	.851	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704
60	.254	.527	.848	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660
120	.254	.526	.845	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617
$\infty$	.253	.524	.842	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576

表 I-3 F 分布表

$$P\{F(n_1, n_2) > F_\alpha(n_1, n_2)\} = \alpha$$



$n_1 \backslash n_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	$\infty$
1	39.86	49.50	53.59	55.83	57.24	58.20	58.91	59.44	59.86	60.19	60.71	61.22	61.74	62.00	62.26	62.53	62.79	63.06	63.33
2	8.53	9.00	9.16	9.24	9.29	9.33	9.35	9.37	9.38	9.39	9.41	9.42	9.44	9.45	9.46	9.47	9.47	9.48	9.49
3	5.54	5.46	5.39	5.34	5.31	5.28	5.27	5.25	5.24	5.23	5.22	5.20	5.18	5.18	5.17	5.16	5.15	5.14	5.13
4	4.54	4.32	4.19	4.11	4.05	4.01	3.98	3.95	3.94	3.92	3.90	3.87	3.84	3.83	3.82	3.80	3.79	3.78	3.76
5	4.06	3.78	3.62	3.52	3.45	3.40	3.37	3.34	3.32	3.30	3.27	3.24	3.21	3.19	3.17	3.16	3.14	3.12	3.10
6	3.78	3.46	3.29	3.18	3.11	3.05	3.01	2.98	2.96	2.94	2.90	2.87	2.84	2.82	2.80	2.78	2.76	2.74	2.72
7	3.59	3.26	3.07	2.96	2.88	2.83	2.78	2.75	2.72	2.70	2.67	2.63	2.59	2.58	2.56	2.54	2.51	2.49	2.47
8	3.46	3.11	2.92	2.81	2.73	2.67	2.62	2.59	2.56	2.50	2.50	2.46	2.42	2.40	2.38	2.36	2.34	2.32	2.29
9	3.36	3.01	2.81	2.69	2.61	2.55	2.51	2.47	2.44	2.42	2.38	2.34	2.30	2.28	2.25	2.23	2.21	2.18	2.16
10	3.29	2.92	2.73	2.61	2.52	2.46	2.41	2.38	2.35	2.32	2.28	2.24	2.20	2.18	2.16	2.13	2.11	2.08	2.06
11	3.23	2.86	2.65	2.54	2.45	2.39	2.34	2.30	2.27	2.25	2.21	2.17	2.12	2.10	2.08	2.06	2.03	2.00	1.97
12	3.18	2.81	2.61	2.48	2.39	2.33	2.28	2.24	2.21	2.19	2.15	2.10	2.06	2.04	2.01	1.99	1.96	1.93	1.90
13	3.14	2.76	2.56	2.43	2.35	2.28	2.23	2.20	2.16	2.14	2.10	2.05	2.01	1.98	1.96	1.93	1.90	1.88	1.85
14	3.10	2.73	2.52	2.39	2.31	2.24	2.19	2.15	2.12	2.10	2.05	2.01	1.96	1.94	1.91	1.89	1.86	1.83	1.80
15	3.07	2.70	2.49	2.36	2.27	2.21	2.16	2.12	2.09	2.06	2.02	1.97	1.92	1.90	1.87	1.85	1.82	1.79	1.76
16	3.05	2.67	2.46	2.33	2.24	2.18	2.13	2.09	2.06	2.03	1.99	1.94	1.89	1.87	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72
17	3.03	2.64	2.44	2.31	2.22	2.15	2.10	2.06	2.03	2.00	1.96	1.91	1.86	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72	1.69
18	3.01	2.62	2.42	2.29	2.20	2.13	2.08	2.04	2.00	1.96	1.93	1.89	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72	1.69	1.66
19	2.99	2.61	2.40	2.27	2.18	2.11	2.06	2.02	1.98	1.96	1.91	1.86	1.81	1.79	1.76	1.73	1.70	1.67	1.63
20	2.97	2.59	2.38	2.25	2.16	2.09	2.04	2.00	1.96	1.94	1.89	1.84	1.79	1.77	1.74	1.71	1.68	1.64	1.61
21	2.96	2.57	2.36	2.23	2.14	2.08	2.02	1.98	1.95	1.92	1.87	1.83	1.78	1.75	1.72	1.69	1.66	1.62	1.59
22	2.95	2.56	2.35	2.22	2.13	2.06	2.01	1.97	1.93	1.90	1.86	1.81	1.76	1.73	1.70	1.67	1.64	1.60	1.57
23	2.94	2.55	2.34	2.21	2.11	2.05	1.99	1.95	1.92	1.89	1.84	1.80	1.74	1.72	1.69	1.66	1.62	1.59	1.55
24	2.93	2.54	2.33	2.19	2.10	2.04	1.98	1.94	1.91	1.88	1.83	1.78	1.73	1.70	1.67	1.64	1.61	1.57	1.53
25	2.92	2.53	2.32	2.18	2.09	2.02	1.97	1.93	1.89	1.87	1.82	1.77	1.72	1.69	1.66	1.63	1.59	1.56	1.52
26	2.91	2.52	2.31	2.17	2.08	2.01	1.96	1.92	1.88	1.86	1.81	1.76	1.71	1.68	1.65	1.61	1.58	1.54	1.50
27	2.90	2.51	2.30	2.17	2.07	2.00	1.95	1.91	1.87	1.85	1.80	1.75	1.70	1.67	1.64	1.60	1.57	1.53	1.49
28	2.89	2.50	2.29	2.16	2.06	2.00	1.94	1.90	1.87	1.84	1.79	1.74	1.69	1.66	1.63	1.59	1.56	1.52	1.48
29	2.89	2.50	2.28	2.15	2.06	1.99	1.93	1.89	1.86	1.83	1.78	1.73	1.68	1.65	1.62	1.58	1.55	1.51	1.47
30	2.88	2.49	2.28	2.14	2.05	1.98	1.93	1.88	1.85	1.82	1.77	1.72	1.67	1.64	1.61	1.57	1.54	1.50	1.46
40	2.84	2.44	2.23	2.09	2.00	1.93	1.87	1.83	1.79	1.76	1.71	1.66	1.61	1.57	1.54	1.51	1.47	1.42	1.38
60	2.79	2.39	2.18	2.04	1.95	1.87	1.82	1.77	1.74	1.71	1.66	1.60	1.54	1.51	1.48	1.44	1.40	1.35	1.29
120	2.75	2.35	2.13	1.99	1.90	1.82	1.77	1.72	1.68	1.65	1.60	1.55	1.48	1.45	1.41	1.37	1.32	1.26	1.19
$\infty$	2.71	2.30	2.08	1.94	1.85	1.77	1.72	1.67	1.63	1.60	1.55	1.49	1.42	1.38	1.34	1.30	1.24	1.17	1.00



$F_{0.05}(n_1, n_2)$ 

续表

$n_1 \backslash n_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	$\infty$
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3	254.3
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.69
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70	1.64
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.50	1.43	1.35	1.25
$\infty$	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00

$F_{0.025}(n_1, n_2)$

续表

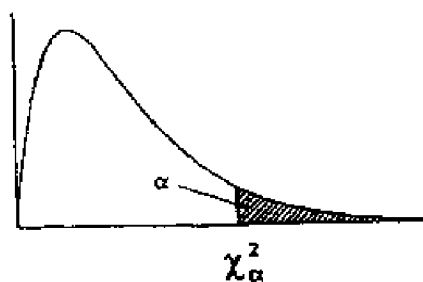
$n_1 \backslash n_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	$\infty$
1	647.8	759.5	854.2	899.6	921.8	937.1	948.2	955.7	963.3	968.6	976.7	984.9	988.1	997.2	1001	1006	1010	1014	1018
2	38.51	39.00	39.17	39.25	39.30	39.33	39.36	39.37	39.39	39.40	39.41	39.43	39.45	39.46	39.46	39.47	39.48	39.49	39.50
3	17.44	16.04	15.44	15.10	14.88	14.73	14.62	14.54	14.47	14.42	14.34	14.25	14.17	14.12	14.08	14.04	13.99	13.95	13.90
4	12.22	10.65	9.98	9.60	9.36	9.20	9.07	8.98	8.90	8.84	8.75	8.66	8.56	8.51	8.46	8.41	8.36	8.31	8.26
5	10.01	8.43	7.76	7.39	7.15	6.98	6.85	6.76	6.68	6.62	6.52	6.43	6.33	6.28	6.23	6.18	6.12	6.07	6.02
6	8.81	7.26	6.60	6.23	5.99	5.82	5.70	5.60	5.52	5.46	5.37	5.27	5.17	5.12	5.07	5.01	4.96	4.90	4.85
7	8.07	6.54	5.89	5.52	5.29	5.12	4.99	4.90	4.82	4.76	4.67	4.57	4.47	4.42	4.36	4.31	4.25	4.20	4.14
8	7.57	6.06	5.42	5.05	4.82	4.65	4.53	4.43	4.36	4.30	4.20	4.10	4.00	3.95	3.89	3.84	3.78	3.73	3.67
9	7.21	5.71	5.08	4.72	4.48	4.32	4.20	4.10	4.03	3.96	3.87	3.77	3.67	3.61	3.56	3.51	3.45	3.39	3.33
10	6.94	5.46	4.83	4.47	4.24	4.07	3.95	3.85	3.78	3.72	3.62	3.52	3.42	3.37	3.31	3.26	3.20	3.14	3.08
11	6.72	5.26	4.63	4.28	4.04	3.88	3.76	3.66	3.59	3.53	3.43	3.33	3.23	3.17	3.12	3.06	3.00	2.94	2.88
12	6.55	5.10	4.47	4.12	3.89	3.73	3.61	3.51	3.44	3.37	3.28	3.18	3.07	3.02	2.96	2.91	2.85	2.79	2.72
13	6.41	4.79	4.35	4.00	3.77	3.60	3.48	3.39	3.31	3.25	3.15	3.05	2.95	2.89	2.84	2.78	2.72	2.66	2.60
14	6.30	4.86	4.24	3.89	3.66	3.50	3.38	3.29	3.21	3.15	3.05	2.95	2.84	2.79	2.73	2.67	2.61	2.55	2.49
15	6.20	4.77	4.15	3.80	3.58	3.41	3.29	3.20	3.12	3.06	2.96	2.86	2.76	2.70	2.64	2.59	2.52	2.46	2.40
16	6.12	4.69	4.08	3.73	3.50	3.34	3.22	3.12	3.05	2.99	2.89	2.79	2.68	2.63	2.57	2.51	2.45	2.38	2.32
17	6.04	4.62	4.01	3.66	3.44	3.28	3.16	3.06	2.98	2.92	2.82	2.72	2.62	2.56	2.50	2.44	2.38	2.32	2.25
18	5.98	4.56	3.95	3.61	3.38	3.22	3.10	3.01	2.93	2.87	2.77	2.67	2.56	2.50	2.44	2.38	2.32	2.26	2.19
19	5.92	4.51	3.90	3.56	3.33	3.17	3.05	2.96	2.88	2.82	2.72	2.62	2.51	2.45	2.39	2.33	2.27	2.20	2.13
20	5.87	4.46	3.86	3.51	3.29	3.13	3.01	2.91	2.84	2.77	2.68	2.57	2.46	2.41	2.35	2.29	2.22	2.16	2.09
21	5.83	4.42	3.82	3.48	3.25	3.09	2.97	2.87	2.80	2.73	2.64	2.53	2.42	2.37	2.31	2.25	2.18	2.11	2.04
22	5.79	4.38	3.78	3.44	3.22	3.05	2.93	2.84	2.76	2.70	2.60	2.50	2.39	2.33	2.27	2.21	2.14	2.08	2.00
23	5.75	4.35	3.75	3.41	3.18	3.02	2.90	2.81	2.73	2.67	2.57	2.47	2.36	2.30	2.24	2.18	2.11	2.04	1.97
24	5.72	4.32	3.72	3.38	3.15	2.99	2.87	2.78	2.70	2.62	2.54	2.44	2.33	2.27	2.21	2.15	2.08	2.01	1.94
25	5.69	4.29	3.69	3.35	3.13	2.97	2.85	2.75	2.68	2.61	2.51	2.41	2.30	2.24	2.18	2.12	2.05	1.98	1.91
26	5.66	4.27	3.67	3.33	3.10	2.94	2.82	2.73	2.65	2.59	2.49	2.39	2.28	2.22	2.16	2.09	2.03	1.95	1.88
27	5.63	4.24	3.65	3.31	3.08	2.92	2.80	2.71	2.63	2.57	2.47	2.36	2.25	2.19	2.13	2.07	2.00	1.93	1.85
28	5.61	4.22	3.63	3.29	3.06	2.90	2.78	2.69	2.61	2.55	2.45	2.34	2.23	2.17	2.11	2.05	1.98	1.91	1.83
29	5.59	4.20	3.61	3.27	3.04	2.88	2.76	2.67	2.59	2.53	2.43	2.32	2.21	2.15	2.09	2.03	1.96	1.89	1.81
30	5.57	4.18	3.59	3.25	3.03	2.87	2.75	2.65	2.57	2.51	2.41	2.31	2.20	2.14	2.07	2.01	1.94	1.87	1.79
40	5.42	4.05	3.46	3.13	2.90	2.74	2.62	2.53	2.45	2.39	2.29	2.18	2.07	2.01	1.94	1.88	1.80	1.72	1.64
60	5.29	3.93	3.34	3.01	2.79	2.63	2.51	2.41	2.33	2.27	2.17	2.06	1.94	1.88	1.82	1.74	1.67	1.58	1.48
120	5.15	3.80	3.23	2.89	2.67	2.52	2.39	2.30	2.22	2.16	2.05	1.94	1.82	1.76	1.69	1.61	1.53	1.43	1.31
$\infty$	5.02	3.69	3.12	2.79	2.57	2.41	2.29	2.19	2.11	2.05	1.94	1.83	1.71	1.64	1.57	1.48	1.39	1.27	1.00

$F_{0.01}(n_1, n_2)$ 

续表

$\frac{n_1}{n_2}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	$\infty$
1	4052	4099.5	5403	5625	5764	5859	5928	5982	6022	6056	6106	6157	6209	6235	6261	6287	6313	6339	6366
2	98.50	99.00	99.17	99.25	99.30	99.33	99.36	99.37	99.39	99.40	99.42	99.43	99.45	99.46	99.47	99.47	99.48	99.49	99.50
3	34.12	30.82	29.46	28.71	28.24	27.91	27.67	27.49	27.35	27.23	27.05	26.87	26.69	26.60	26.50	26.41	26.32	26.22	26.13
4	21.20	18.00	16.69	15.98	15.52	15.21	14.98	14.80	14.66	14.55	14.37	14.20	14.02	13.93	13.84	13.75	13.65	13.56	13.46
5	16.26	13.27	12.06	11.39	10.97	10.67	10.46	10.29	10.16	10.05	9.89	9.72	9.55	9.47	9.38	9.29	9.20	9.11	9.02
6	13.75	10.92	9.78	9.15	8.75	8.47	8.26	8.10	7.98	7.87	7.72	7.56	7.40	7.31	7.23	7.14	7.06	6.97	6.88
7	12.25	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	6.99	6.84	6.72	6.62	6.47	6.31	6.16	6.07	5.99	5.91	5.82	5.74	5.65
8	11.26	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.18	6.03	5.91	5.81	5.67	5.52	5.36	5.28	5.20	5.12	5.03	4.95	4.86
9	10.56	8.02	6.99	6.42	6.06	5.80	5.61	5.47	5.35	5.26	5.11	4.96	4.81	4.73	4.65	4.57	4.48	4.40	4.31
10	10.04	7.56	6.55	5.99	5.64	5.39	5.20	5.06	4.94	4.85	4.71	4.56	4.41	4.33	4.25	4.17	4.08	4.00	3.91
11	9.65	7.21	6.22	5.67	5.32	5.07	4.89	4.74	4.63	4.54	4.40	4.25	4.10	4.02	3.94	3.86	3.78	3.69	3.60
12	9.33	6.93	5.95	5.41	5.06	4.82	4.64	4.50	4.39	4.30	4.16	4.01	3.86	3.78	3.70	3.62	3.54	3.45	3.36
13	9.07	6.70	5.74	5.21	4.86	4.62	4.44	4.30	4.19	4.10	3.96	3.82	3.66	3.59	3.51	3.43	3.34	3.25	3.17
14	8.86	6.51	5.56	5.04	4.69	4.46	4.28	4.14	4.03	3.94	3.80	3.66	3.51	3.43	3.35	3.27	3.18	3.09	3.00
15	8.68	6.36	5.42	4.89	4.56	4.32	4.14	4.00	3.89	3.80	3.67	3.52	3.37	3.29	3.21	3.13	3.05	2.96	2.87
16	8.53	6.23	5.29	4.77	4.44	4.20	4.03	3.89	3.78	3.69	3.55	3.41	3.26	3.18	3.10	3.02	2.93	2.84	2.75
17	8.40	6.11	5.18	4.67	4.34	4.10	3.93	3.79	3.68	3.59	3.46	3.31	3.16	3.08	3.00	2.92	2.83	2.75	2.65
18	8.29	6.01	5.09	4.58	4.25	4.01	3.84	3.71	3.60	3.51	3.37	3.23	3.08	3.00	2.92	2.84	2.75	2.66	2.57
19	8.18	5.93	5.01	4.50	4.17	3.94	3.77	3.63	3.52	3.43	3.30	3.15	3.00	2.92	2.84	2.76	2.67	2.58	2.49
20	8.10	5.85	4.94	4.43	4.10	3.87	3.70	3.56	3.46	3.37	3.23	3.09	2.94	2.86	2.78	2.69	2.61	2.52	2.42
21	8.02	5.78	4.87	4.37	4.04	3.81	3.64	3.51	3.40	3.31	3.17	3.03	2.88	2.80	2.72	2.64	2.55	2.46	2.36
22	7.95	5.72	4.82	4.31	3.99	3.76	3.59	3.45	3.35	3.26	3.12	2.98	2.83	2.75	2.67	2.58	2.50	2.40	2.31
23	7.88	5.66	4.76	4.26	3.94	3.71	3.54	3.41	3.30	3.21	3.07	2.93	2.78	2.70	2.62	2.54	2.45	2.35	2.26
24	7.82	5.61	4.72	4.22	3.90	3.67	3.50	3.36	3.26	3.17	3.03	2.98	2.74	2.66	2.58	2.49	2.40	2.31	2.21
25	7.77	5.57	4.68	4.18	3.85	3.63	3.46	3.32	3.22	3.13	2.99	2.85	2.70	2.62	2.54	2.45	2.36	2.27	2.17
26	7.72	5.53	4.64	4.14	3.82	3.59	3.42	3.29	3.18	3.09	2.96	2.81	2.66	2.58	2.50	2.42	2.33	2.23	2.13
27	7.68	5.49	4.60	4.11	3.78	3.56	3.39	3.26	3.15	3.06	2.93	2.78	2.63	2.55	2.47	2.38	2.29	2.20	2.10
28	7.64	5.45	4.57	4.07	3.75	3.53	3.36	3.23	3.12	3.03	2.90	2.75	2.60	2.52	2.44	2.35	2.26	2.17	2.06
29	7.60	5.42	4.54	4.04	3.73	3.50	3.33	3.20	3.09	3.00	2.87	2.73	2.57	2.49	2.41	2.33	2.23	2.14	2.03
30	7.56	5.39	4.51	4.02	3.70	3.47	3.30	3.17	3.07	2.98	2.84	2.70	2.55	2.47	2.39	2.30	2.21	2.11	2.01
40	7.31	5.18	4.31	3.83	3.51	3.29	3.12	2.99	2.89	2.80	2.66	2.52	2.37	2.29	2.20	2.11	2.02	1.92	1.80
60	7.08	4.98	4.13	3.65	3.34	3.12	2.95	2.82	2.72	2.63	2.50	2.35	2.20	2.12	2.03	1.94	1.84	1.73	1.60
120	6.85	4.79	3.95	3.48	3.17	2.96	2.79	2.66	2.56	2.47	2.34	2.19	2.03	1.95	1.86	1.76	1.66	1.53	1.38
$\infty$	6.63	4.61	3.78	3.32	3.02	2.80	2.64	2.51	2.41	2.32	2.18	2.04	1.88	1.79	1.70	1.59	1.47	1.32	1.00

表 I-4  $\chi^2$  分布表



$\gamma$	$\alpha$									
	0.995	0.99	0.98	0.975	0.95	0.90	0.80	0.75	0.70	0.50
2	0.00004	0.000	0.001	0.001	0.004	0.016	0.064	0.102	0.148	0.455
3	0.0100	0.020	0.040	0.051	0.103	0.211	0.446	0.575	0.713	1.386
4	0.0717	0.115	0.185	0.216	0.352	0.584	1.005	1.213	1.424	2.366
5	0.207	0.297	0.429	0.484	0.711	1.064	1.649	1.923	2.195	3.357
6	0.412	0.554	0.752	0.831	1.145	1.610	2.343	2.675	3.000	4.351
7	0.676	0.872	1.134	1.237	1.635	2.204	3.070	3.455	3.828	5.348
8	0.989	1.239	1.564	1.690	2.167	2.833	3.822	4.255	4.671	6.346
9	1.344	1.646	2.032	2.180	2.733	3.490	4.594	5.071	5.527	7.344
10	1.735	2.088	2.532	2.700	3.325	4.168	5.380	5.899	6.393	8.343
11	2.156	2.558	3.059	3.247	3.940	4.865	6.179	6.737	7.267	9.342
12	2.603	3.053	3.609	3.816	4.575	5.578	6.989	7.584	8.148	10.341
13	3.074	3.571	4.178	4.404	5.226	6.304	7.807	8.438	9.034	11.340
14	3.565	4.107	4.765	5.009	5.892	7.042	8.634	9.299	9.926	12.340
15	4.075	4.660	5.368	5.629	6.571	7.790	9.467	10.165	10.821	13.339
16	4.601	5.229	5.985	6.262	7.261	8.547	10.307	11.037	11.721	14.339
17	5.142	5.812	6.614	6.908	7.962	9.312	11.152	11.912	12.624	15.338
18	5.697	6.408	7.255	7.564	8.672	10.085	12.002	12.792	13.531	16.338
19	6.265	7.015	7.906	8.231	9.390	10.865	12.857	13.675	14.440	17.338
20	6.844	7.633	8.567	8.907	10.117	11.651	13.716	14.562	15.352	18.338
21	7.434	8.260	9.237	9.591	10.851	12.443	14.578	15.452	16.266	19.337
22	8.034	8.897	9.915	10.283	11.591	13.240	15.445	16.344	17.182	20.337
23	8.643	9.542	10.600	10.982	12.338	14.041	16.314	17.240	18.101	21.337
24	9.260	10.196	11.293	11.689	13.091	14.848	17.187	18.137	19.021	22.337
25	9.886	10.856	11.992	12.401	13.848	15.659	18.062	19.037	19.943	23.337
26	10.520	11.524	12.697	13.120	14.611	16.473	18.940	19.939	20.867	24.337
27	11.160	12.198	13.409	13.844	15.379	17.292	19.820	20.843	21.792	25.336
28	11.808	12.879	14.125	14.573	16.151	18.114	20.703	21.749	22.719	26.336
29	12.461	13.565	14.847	15.308	16.928	18.939	21.588	22.657	23.647	27.336
30	13.121	14.256	15.574	16.047	17.708	19.768	22.475	23.567	24.577	28.336
31	13.787	14.953	16.306	16.791	18.493	20.599	23.364	24.478	25.508	29.336

续表

$\gamma$	$\alpha$									
	0.30	0.25	0.20	0.10	0.05	0.025	0.02	0.01	0.005	0.001
1	1.074	1.323	1.642	2.706	3.841	5.024	5.412	6.635	7.879	10.828
2	2.408	2.773	3.219	4.605	5.991	7.378	7.824	9.210	10.597	13.816
3	3.665	4.108	4.642	6.251	7.815	9.348	9.837	11.345	12.838	16.266
4	4.878	5.385	5.989	7.779	9.488	11.143	11.668	13.277	14.860	18.467
5	6.064	6.626	7.289	9.236	11.070	12.833	13.388	15.086	16.750	20.515
6	7.231	7.841	8.558	10.645	12.592	14.449	15.033	16.812	18.548	22.458
7	8.383	9.037	9.803	12.017	14.067	16.013	16.622	18.475	20.278	24.322
8	9.524	10.219	11.030	13.362	15.507	17.535	18.168	20.090	21.955	26.124
9	10.656	11.389	12.242	14.684	16.919	19.023	19.679	21.666	23.589	27.877
10	11.781	12.549	13.442	15.987	18.307	20.483	21.161	23.209	25.188	29.588
11	12.899	13.701	14.631	17.275	19.675	21.920	22.618	24.725	26.757	31.264
12	14.011	14.845	15.812	18.549	21.026	23.337	24.054	26.217	28.300	32.909
13	15.119	15.984	16.985	19.812	22.362	24.736	25.472	27.688	29.819	34.528
14	16.222	17.117	18.151	21.064	23.685	26.119	26.873	29.141	31.319	36.123
15	17.322	18.245	19.311	22.307	24.996	27.488	28.259	30.578	32.801	37.697
16	18.418	19.369	20.465	23.542	26.296	28.845	29.633	32.000	34.267	39.252
17	19.511	20.489	21.615	24.769	27.587	30.191	30.995	33.409	35.718	40.790
18	20.601	21.605	22.760	25.989	28.869	31.526	32.346	34.805	37.156	42.312
19	21.689	22.718	23.900	27.204	30.144	32.852	33.687	36.191	38.582	43.820
20	22.775	23.828	25.038	28.412	31.410	34.170	35.020	37.566	39.997	45.315
21	23.858	24.935	26.171	29.615	32.671	35.479	36.343	38.932	41.401	46.797
22	24.939	26.039	27.301	30.813	33.924	36.781	37.659	40.289	42.796	48.268
23	26.018	27.141	28.429	32.007	35.172	38.076	38.968	41.638	44.181	49.728
24	27.096	28.241	29.553	33.196	36.415	39.364	40.270	42.980	45.559	51.197
25	28.172	29.339	30.675	34.382	37.652	40.646	41.566	44.314	46.928	52.620
26	29.246	30.435	31.795	35.563	38.885	41.923	42.856	45.642	48.290	54.052
27	30.319	31.528	32.912	36.741	40.113	43.195	44.140	46.963	49.645	55.476
28	31.391	32.620	34.027	37.916	41.337	44.461	45.419	48.278	50.993	56.892
29	32.461	33.711	35.139	39.087	42.557	45.722	46.693	49.588	52.336	58.301
30	33.530	34.800	36.250	40.256	43.773	46.979	47.962	50.892	53.672	59.703

表 I-5 泊松分布表

[illegible][illegible]

续表

[illegible]

续表

[illegible]



表 I-6 相关系数检验表

n-1	5%	1%	n-2	5%	1%	n-2	5%	1%
1	0.997	1.000	16	0.468	0.590	35	0.325	0.418
2	0.950	0.990	17	0.456	0.575	40	0.304	0.393
3	0.878	0.959	18	0.444	0.561	45	0.288	0.372
4	0.811	0.917	19	0.433	0.549	50	0.273	0.354
5	0.754	0.874	20	0.423	0.537	60	0.250	0.325
6	0.707	0.834	21	0.413	0.526	70	0.232	0.302
7	0.666	0.798	22	0.404	0.515	80	0.217	0.283
8	0.632	0.765	23	0.396	0.505	90	0.205	0.267
9	0.602	0.735	24	0.388	0.496	100	0.195	0.254
10	0.576	0.708	25	0.381	0.487	125	0.174	0.228
11	0.553	0.684	26	0.374	0.478	150	0.159	0.208
12	0.532	0.661	27	0.367	0.470	200	0.138	0.181
13	0.514	0.641	28	0.361	0.463	300	0.113	0.148
14	0.497	0.623	29	0.355	0.456	400	0.098	0.128
15	0.482	0.606	30	0.349	0.449	1000	0.062	0.081

## 附录 II 常用正交表与正交多项式表

附录 II-1 常用正交表

1.  $L_4(2^3)$

列号 试验号	1	2	3
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1
分 组	I	II	

注:任两列的交互作用为第三列

2.  $L_8(2^7)$

列号 试验号	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2
分 组	I	II		III			

$L_8(2^7)$  二列间的交互作用

1	2	3	4	5	6	7	列 号
(1)	3	2	5	4	7	6	1
	(2)	1	6	7	4	5	2
		(3)	7	6	5	4	3
			(4)	1	2	3	4
				(5)	3	2	5
					(6)	1	6
						(7)	7