



# 中华人民共和国石油天然气行业标准

**SY/T 4103—2006**

代替 SY/T 4103—1995

---

## 钢质管道焊接及验收

**Welding and acceptance standard for steel pipings and pipelines**

(API Std 1104; 1999, Welding of pipelines and related facilities, MOD)

2006—07—10 发布

2007—01—01 实施

---

国家发展和改革委员会 发布

## 目 次

前 言 .....	IV
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	2
4 焊接一般规定 .....	3
4.1 设备 .....	3
4.2 材料 .....	4
5 焊接工艺评定 .....	5
5.1 工艺评定 .....	5
5.2 记录 .....	5
5.3 工艺规程 .....	5
5.4 焊接工艺规程的变更 .....	8
5.5 试验管接头的焊接——对接焊 .....	10
5.6 焊接接头的试验——对接焊 .....	10
5.7 试验管接头的焊接——角焊 .....	15
5.8 焊接接头的试验——角焊 .....	16
6 焊工资格 .....	16
6.1 概述 .....	16
6.2 单项资格 .....	17
6.3 全项资格 .....	17
6.4 外观检查 .....	18
6.5 破坏性试验 .....	18
6.6 射线照像检测（简称射线检测）——只用于对接焊 .....	20
6.7 补考 .....	20
6.8 记录 .....	20
7 管口的焊接 .....	20
7.1 概述 .....	20
7.2 管口组对 .....	20
7.3 对接焊时对口器的使用 .....	20
7.4 坡口 .....	21
7.5 气候条件 .....	21
7.6 作业空间 .....	21
7.7 层间清理 .....	21
7.8 固定焊 .....	21
7.9 旋转焊 .....	21
7.10 标记 .....	21
7.11 预热及焊后热处理 .....	21
8 焊缝的检查与试验 .....	22

8.1 检验权限..... 22

8.2 检验方法..... 22

8.3 检测人员的资格审定..... 22

8.4 无损检测人员的资格证书..... 22

9 无损检测验收标准..... 22

9.1 概述..... 22

9.2 验收权..... 22

9.3 射线检测..... 22

9.4 磁粉检测..... 28

9.5 液体渗透检测..... 28

9.6 超声波检测..... 29

9.7 咬边的外观检查标准..... 30

10 缺陷的清除和返修 ..... 30

10.1 返修权限 ..... 30

10.2 返修规程 ..... 30

10.3 验收标准 ..... 31

10.4 监督 ..... 31

10.5 焊工 ..... 31

11 无损检测规程 ..... 31

11.1 射线检测方法 ..... 31

11.2 磁粉检测方法 ..... 36

11.3 液体渗透检测方法 ..... 36

11.4 超声波检测方法 ..... 36

12 有填充金属的自动焊接 ..... 39

12.1 适用的焊接方法 ..... 39

12.2 工艺评定 ..... 40

12.3 记录 ..... 40

12.4 工艺规程 ..... 40

12.5 焊接工艺规程的变更 ..... 41

12.6 焊接设备和操作人员的审定 ..... 42

12.7 记录 ..... 42

12.8 焊缝的检查和试验 ..... 42

12.9 无损检测验收标准 ..... 42

12.10 缺陷的清除和返修..... 42

12.11 射线检测..... 42

13 无填充金属的自动焊接 ..... 43

13.1 适用的焊接方法 ..... 43

13.2 工艺评定 ..... 43

13.3 记录 ..... 45

13.4 工艺规程 ..... 45

13.5 焊接工艺规程的变更 ..... 46

13.6 焊接设备和操作人员的审定 ..... 47

13.7 记录 ..... 47

13.8 工程焊接质量保证 ..... 47

13.9 无损检测验收标准 ..... 47

13.10 缺陷的清除和返修..... 48

13.11 射线检测..... 48

附录 A（规范性附录） 环焊缝的附加验收标准 ..... 49

A.1 概述 ..... 49

A.2 应力分析的附加要求 ..... 49

A.3 焊接工艺 ..... 50

A.4 焊工资格 ..... 53

A.5 检测及验收标准 ..... 53

A.6 记录 ..... 55

A.7 实例 ..... 55

A.8 返修 ..... 59

A.9 术语 ..... 59

附录 B（规范性附录） 管道不停输焊接技术 ..... 60

B.1 概述 ..... 60

B.2 不停输管道系统的焊接工艺评定 ..... 60

B.3 焊工资格 ..... 64

B.4 不停输管道系统焊接的推荐操作 ..... 65

B.5 焊缝的检查与试验 ..... 65

B.6 无损检测验收标准（包括外观检查） ..... 66

B.7 缺欠的清除和返修 ..... 66

附录 C（资料性附录） 本标准与 API Std 1104：1999 技术性差异及其原因 ..... 69

附录 D（资料性附录） 焊工考试记录 ..... 73

附录 E（资料性附录） 参考文献 ..... 75



## 前 言

本标准代替 SY/T 4103—1995《钢质管道焊接及验收》。

本标准修改采用 API Std 1104: 1999《管道焊接及有关设施的焊接》(英文版)。

本标准与 API Std 1104: 1999 相比,标准正文部分的结构没有变化,但在附录部分增加了三个资料性附录,即附录 C、附录 D 和附录 E。

有关技术差异已编入本标准附录 C,并在它们所涉及的条款的页边空白处用垂直单线标识。

为便于使用,对于 API Std 1104: 1999,本标准还作了下列编辑性修改:

- 第 2 章引用标准改为规范性引用文件;
- 删除了 API Std 1104: 1999 的前言,并重新编写了本标准的前言;
- 删除了 API Std 1104: 1999 的图、表目次。

本标准与 SY/T 4103—1995 相比,主要变化如下:

- 增加了气保护焊;
- 修改了缺陷的清除和返修;
- 修改了原超声波检测验收标准;
- 增加了超声波手工及自动检测方法;
- 增加了有填充金属的自动焊接;
- 增加了无填充金属的自动焊接。

本标准的附录 A、附录 B 是规范性附录,附录 C、附录 D、附录 E 是资料性附录。

本标准由石油工程建设专业标准化委员会提出并归口。

本标准起草单位:中国石油天然气管道局职业教育培训中心焊接培训中心、中国石油集团工程技术研究院。

本标准主要起草人:李建军、高泽涛、孙冬梅、韩德辉、王乐生、于英姿、续理、王伟、魏国昌、张玉芝、马佳、张占辉、吕向阳、米秋占、田丽。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为:

- SY/T 4103—1995。

## 钢质管道焊接及验收

### 1 范围

本标准规定了对管道安装焊接接头进行破坏性试验的验收要求以及射线检测、超声波检测、磁粉检测及渗透检测的验收要求。

本标准适用于使用碳钢钢管、低合金钢钢管及其管件，输送原油、成品油及气体燃料等介质的长输管道、压气站管网和泵站管网的安装焊接。适用的焊接接头型式为对接接头、角接接头和搭接接头。适用的焊接方法为焊条电弧焊、埋弧焊、熔化极及非熔化极气保护电弧焊、药芯焊丝自保护焊、气焊和闪光对焊，以及上述方法之间相互组合的焊接方法。适用的焊接位置为固定焊、旋转焊，或者两种位置的结合。

### 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

- GB/T 3091 低压流体输送用焊接钢管 (neq ISO 559)
- GB/T 3375 焊接术语
- GB/T 5117 碳钢焊条 (eqv ANSI/AWS A5. 1)
- GB/T 5118 低合金钢焊条 (neq ANSI/AWS A5. 5)
- GB/T 5293 埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂 (eqv ANSI/AWS A5. 17)
- GB/T 8110 气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝 (neq ANSI/AWS A5. 18)
- GB/T 8163 输送流体用无缝钢管 (neq ISO 559)
- GB/T 9711. 1 石油天然气工业 输送钢管交货技术条件 第 1 部分: A 级钢管 (eqv ISO 3183 - 1)
- GB/T 10045 碳钢药芯焊丝 (eqv ANSI/AWS A5. 20)
- GB/T 12470 埋弧焊用低合金钢焊丝和焊剂
- GB/T 13793 直缝电焊钢管 (neq JIS G3444)
- GB/T 14957 熔化焊用钢丝
- GB/T 14958 气体保护焊用钢丝
- GB/T 17493 低合金钢药芯焊丝 (eqv ANSI/AWS A5. 29)
- SY/T 0327 石油天然气钢质管道对接环焊缝全自动超声波检测 (neq ASTM E1961, API Std 1104)
- SY/T 5037 低压流体输送管道用螺旋缝埋弧焊钢管
- SY/T 5038 普通流体输送管道用螺旋缝高频焊钢管 (neq API Spec 5L)
- JB/T 7902 线型像质计
- 特种设备无损检测人员考核与监督管理规则 国质检锅 [2003] 248 号 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
- API Spec 5L 管线管规范 (*Specification for line pipe*)
- API Std 1104 管道及相关设施的焊接 (*Welding of pipelines and related facilities*)

- ASTM E92 金属材料维氏硬度的测试方法 (*Standard test method for vickers hardness of metallic materials E*)
- ASTM E165 液体渗透剂检验的标准试验方法 (*Standard test method for liquid penetrant examination*)
- ASTM E709 磁粉检验指南 (*Guide for magnetic particle examination*)
- ASTM E747 用金属丝透度计进行射线实验的质量控制标准方法 (*Standard practice for design, manufacture and material grouping classification of wire image quality indicators (IQI) used for radiology*)
- ASTM E1025 用于放射学的孔型像质指示计的设计、制造 (*Standard practice for design, manufacture, and material grouping classification of hole-type image quality indicators (IQI) used for radiology*)
- AWS A5.1 碳钢药皮电弧焊焊条 (*Covered carbon steel arc welding electrodes*)
- AWS A5.2 铸铁和钢质气焊焊丝 (*Iron and steel oxyfuel gas welding rods*)
- AWS A5.5 低合金钢药皮电弧焊焊条 (*Low alloy steel covered arc welding electrodes*)
- AWS A5.17 埋弧焊碳钢焊丝及焊剂 (*Carbon steel electrodes and fluxes for submerged-arc welding*)
- AWS A5.18 气体保护电弧焊碳钢填充金属 (*Carbon steel filler metals for gas shielded arc welding*)
- AWS A5.20 碳钢药芯电弧焊焊丝 (*Carbon steel electrodes for flux cored arc welding*)
- AWS A5.28 气体保护电弧焊低合金钢填充金属 (*Low-alloy steel filler metals for gas shielded arc welding*)
- AWS A5.29 低合金钢药芯电弧焊焊丝 (*Low-alloy steel electrodes for flux cored arc welding*)
- BS 7448 断裂韧性试验 第二部分 焊缝金属  $K_{IC}$  临界 CTOD 及临界  $J$  积分取值方法

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

#### 3.1

**业主** company

工程的主管单位或建设单位, 或由其委派或授权的单位或代表。

#### 3.2

**承包者** contractor

负责本标准中所述工程任务的承包单位和施工单位。

#### 3.3

**焊缝** weld

焊件焊接后所形成的结合部分。

#### 3.4

**焊接工艺规程** qualified welding procedure

用经过评定合格的焊接工艺编制的用于工程施工的一整套详细的焊接技术规定和程序。按照此规程焊接可以保证焊缝具有合格的焊接质量和合格的力学性能。

#### 3.5

**合格焊工** qualified welder

按照第5章或第6章的要求考试合格的焊工。

#### 3.6

**根焊** root bead

根焊为管与管、管与管件或管件与管件之间焊接时的第一层焊道。

## 3.7

**热焊 hot welding**

根焊完成后，立即进行的第二层焊道。

## 3.8

**填充焊 filling welding**

根焊或热焊完成后，盖面焊之前的焊道。

## 3.9

**盖面焊 covering welding**

最外面一层的成型焊道。

## 3.10

**固定焊 position welding**

焊接时被焊的管或管件固定不动。

## 3.11

**旋转焊 roll welding**

焊接时焊接热源位置固定，并位于或接近其顶部中心，被焊管或管件旋转。

## 3.12

**自动焊 automatic welding**

借助设备进行电弧焊，全部焊接过程无须焊工对电弧或焊丝（焊条）进行操作，焊工只起引导和调节作用。

## 3.13

**半自动焊 semiautomatic welding**

设备进行电弧焊，但设备只控制填充金属的给进，焊接速度由人工控制。

## 3.14

**凹坑 pit**

焊后在焊缝表面或焊缝背面形成的低于母材表面的局部低洼部分。

## 3.15

**缺欠 imperfection**

按本标准中的检测方法检测出的焊缝的不连续性或不规则性。

## 3.16

**缺陷 defect**

达到本标准拒收要求的缺欠。

## 3.17

**返修 repair**

对经外观检查或无损检测发现的超标缺陷进行的修补焊接。

## 3.18

**焊工 welder**

实施焊接工作的人

**4 焊接一般规定****4.1 设备**

焊接所用设备应能满足焊接工艺要求，具有良好的工作状态和安全性。凡不符合这些要求的焊接设备应予修复或更换。



## 4.2 材料

### 4.2.1 管材及管件

本标准适用于焊接符合下列最新版本的规范中的管材和管件：

GB/T 3091 低压流体输送用焊接钢管

GB/T 8163 输送流体用无缝钢管

GB/T 9711.1 石油天然气工业 输送钢管交货技术条件 第1部分：A级钢管

GB/T 13793 直缝电焊钢管

SY/T 5037 低压流体输送管道用螺旋缝埋弧焊钢管

SY/T 5038 普通流体输送管道用螺旋缝高频焊钢管

API Spec 5L 管线管规范

适用的 ASTM 标准

本标准也适用于未按照上述规范制造，但其化学成分和力学性能满足上述标准规定的材料。

### 4.2.2 填充金属

#### 4.2.2.1 类型和规格

所有填充金属应符合下列任一标准，使用本标准的各方应探讨使用下列标准的最新版本。

GB/T 5117 碳钢焊条

GB/T 5118 低合金钢焊条

GB/T 5293 埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂

GB/T 8110 气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝

GB/T 10045 碳钢药芯焊丝

GB/T 12470 埋弧焊用低合金钢焊丝和焊剂

GB/T 14957 熔化焊用钢丝

GB/T 14958 气体保护焊用钢丝

GB/T 17493 低合金钢药芯焊丝

AWS A5.1 碳钢药皮电弧焊焊条

AWS A5.2 铸铁和钢质气焊焊丝

AWS A5.5 低合金钢药皮电弧焊焊条

AWS A5.17 埋弧焊碳钢焊丝及焊剂

AWS A5.18 气体保护电弧焊碳钢填充金属

AWS A5.20 碳钢药芯电弧焊焊丝

AWS A5.28 气体保护电弧焊低合金钢填充金属

AWS A5.29 低合金钢药芯电弧焊焊丝

不符合上述标准要求的填充金属，如经过焊接工艺评定合格后也可使用。

#### 4.2.2.2 填充金属及焊剂的保管和搬运

填充金属及焊剂在保管和搬运时，应符合生产厂家的规定，并应避免损坏填充金属和焊剂及其包装。包装开启后，应保护其不致变质，药皮焊条应避免受潮。凡有损坏或变质迹象的填充金属和焊剂不应使用。

### 4.2.3 保护气体

#### 4.2.3.1 类型

保护气体分为惰性气体、活性气体及惰性气体和活性气体的组合。保护气体的纯度和干燥度应满足焊接工艺规程的要求。

#### 4.2.3.2 保管和使用

保护气体应存放在容器中，并应远离高温环境，其他气体不应混入容器中。若保护气体的质量存



在问题，则不应使用。

## 5 焊接工艺评定

### 5.1 工艺评定

在焊接生产开始之前，应制定详细的焊接工艺指导书，并对此焊接工艺进行评定。工艺评定的目的在于验证用此工艺能否得到具有合格力学性能（如强度、塑性和硬度）的完好焊接接头。

应使用破坏性试验检验焊接接头的质量和性能。应依据评定合格的工艺编制焊接工艺规程。

除了业主特别通知变更 5.4 中所列的项目外，应遵守这些焊接工艺规程。

### 5.2 记录

应按图 1 和图 2 的表格记录评定的焊接工艺的各项细节和焊接工艺评定试验的各项结果。在该焊接工艺规程使用期间内应保存好这些记录。

### 5.3 工艺规程

#### 5.3.1 焊接方法

应指明所使用的焊接方法或它们的任何组合方法。

#### 5.3.2 管子及管件材料

应指明适用的管子材料和管件材料。

适用的管子和管件材料可分组（见 5.4.2.2），但评定试验应选择该组材料中具有最高规定屈服强度的材料进行。

#### 5.3.3 直径和壁厚

应确定焊接工艺规程适用的直径和壁厚范围，其分组见 6.2.2 中的 d) 和 e)。

#### 5.3.4 接头设计

应画出接头的简图。简图应指明接头型式、坡口型式、坡口角度、钝边尺寸和根部间隙等。填角焊缝应指明形状和尺寸。如使用垫板时，还需指明其形式和材质。

#### 5.3.5 填充金属和焊道数

应指明填充金属的种类和规格，焊缝最少层数及焊道顺序。

#### 5.3.6 电特性

应指明电流种类和极性，规定使用焊条或焊丝的电弧电压和焊接电流值的范围。

#### 5.3.7 火焰特性

应指明使用的火焰类型（中性焰、碳化焰或氧化焰）。规定每种规格焊丝适用的焊矩喷嘴的规格。

#### 5.3.8 焊接位置

应指明是旋转焊或是固定焊。固定焊应指明水平固定焊接位置（5G）、垂直焊接位置（2G）或 45° 倾斜固定管位置（6G）。

#### 5.3.9 焊接方向

应指明是上向焊或是下向焊。

#### 5.3.10 焊道之间的时间间隔

应规定完成根焊道之后至开始第二焊道之间的最长时间间隔。

#### 5.3.11 对口器的类型和拆移

应规定是否使用对口器，使用内对口器或外对口器。如果使用对口器，在拆移对口器时应规定完成根焊道长度的最小百分数。

#### 5.3.12 预热和焊后热处理

应规定预热和焊后热处理的加热方法，温度及温度控制方法，以及需预热和焊后热处理的环境温度的范围。

5.3.13 保护气体及流量

应规定保护气体的成分及流量范围。

5.3.14 保护焊剂

应规定保护焊剂的类型。

参考 5.2

焊接工艺评定记录

编号：\_\_\_\_\_

工程名称：\_\_\_\_\_ 业主名称：\_\_\_\_\_

焊接方法：\_\_\_\_\_

材料：\_\_\_\_\_

外径和壁厚：\_\_\_\_\_

焊接接头型式：\_\_\_\_\_

填充金属和焊道层数：\_\_\_\_\_

焊接位置：\_\_\_\_\_

焊接方向：\_\_\_\_\_

焊工数量：\_\_\_\_\_

焊道之间的时间间隔：\_\_\_\_\_

对口器类型及其拆卸：\_\_\_\_\_

清理和（或）打磨：\_\_\_\_\_

预热和应力消除：\_\_\_\_\_

保护气体和流量：\_\_\_\_\_

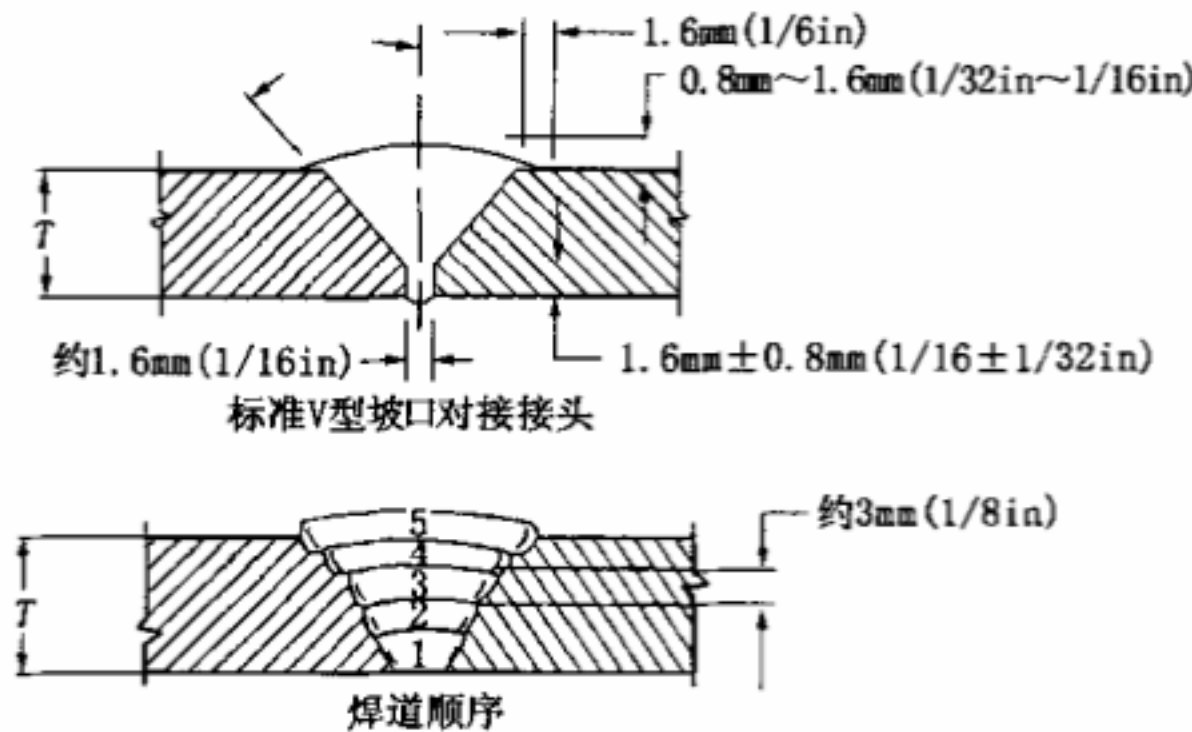
保护焊剂：\_\_\_\_\_

附图和附表：\_\_\_\_\_

试验：\_\_\_\_\_ 焊工：\_\_\_\_\_

批准：\_\_\_\_\_ 焊接主管：\_\_\_\_\_

采用：\_\_\_\_\_ 总工程师：\_\_\_\_\_



参考 5.2

注：尺寸仅供参考。

焊条规格和焊道层数				
焊 道	焊条规格和型号	电 弧 电 压	电 流 及 极 性	焊 接 速 度

图 1 焊接工艺评定记录表格式

焊接试样试验报告							
日期: _____ 试验编号: _____							
地点: _____							
状态: _____ 焊接位置: 旋转焊 <input type="checkbox"/> 定位焊 <input type="checkbox"/>							
焊工姓名: _____ 焊工代号: _____							
焊接所需时间: _____ 焊接时间: _____							
平均温度: _____ 所用风屏: _____							
气候条件: _____							
电弧电压: _____ 电流: _____							
焊机型号: _____ 焊机规格: _____							
填充金属: _____							
焊缝余高尺寸: _____							
管子类型和等级: _____ 外径: _____							
壁厚: _____							
项 目	1	2	3	4	5	6	7
试样编号							
试样原始尺寸							
试样原始面积							
最大载荷							
抗拉强度							
断裂位置							
<div><div><input type="checkbox"/>焊接工艺 <input type="checkbox"/>焊工考试</div><div><input type="checkbox"/>评定试验 <input type="checkbox"/>工程焊口试验</div><div><input type="checkbox"/>合格 <input type="checkbox"/>不合格</div></div>							
最大抗拉强度: _____ 最小抗拉强度: _____ 平均抗拉强度: _____							
拉伸试验结论: _____							
1. _____							
2. _____							
3. _____							
4. _____							
弯曲试验结论: _____							
1. _____							
2. _____							
3. _____							
4. _____							
刻槽锤断试验结论: _____							
1. _____							
2. _____							
3. _____							
4. _____							
试验单位: _____ 试验日期: _____							
试验人: _____ 主管人: _____							
其他评语可写在背面。本表可用于焊接工艺规程评定和焊工考试。							

图 2 试件试验报告表格式

5.3.15 焊接速度

应规定各焊道的焊接速度范围。

5.3.16 层间温度

应规定焊接时焊道（层）之间的温度范围。

5.4 焊接工艺规程的变更

5.4.1 概述

当焊接工艺规程有 5.4.2 中规定的基本要素变更时，应对焊接工艺重新评定。当焊接工艺规程有 5.4.2 中规定的基本要素以外的变更时，应修订焊接工艺规程，但不必对焊接工艺重新评定。

5.4.2 基本要素

5.4.2.1 焊接方法

焊接工艺规程中焊接方法的变更。

5.4.2.2 管材

焊接工艺规程中管材组别的变更。本标准将所有碳钢及低合金钢进行以下分组：

- a) 规定最小屈服强度小于或等于 290MPa。
- b) 规定最小屈服强度高于 290MPa，但小于 448MPa。
- c) 对最小屈服强度为 448MPa 或高于此值的各级碳钢及低合金钢均应进行单独的评定试验。

以上分组并不表示上述每组中所有的管材可任意代用，已做过焊接工艺评定的管材或填充材料，还应考虑管材和填充金属在冶金特性、力学性能以及对预热和焊后热处理的要求的不同。

5.4.2.3 接头设计

接头设计的重大变更（如 V 型坡口改为 U 型坡口，或反之）。坡口角度或钝边的变更不属于基本要素。

5.4.2.4 焊接位置

由旋转焊变为固定焊，或反之。固定焊应指明水平固定焊接位置（5G）、垂直焊接位置（2G）或 45°倾斜固定管位置（6G）。6G 位可替代 5G 位和 2G 位，其他不可相互替代。

5.4.2.5 壁厚

从一个壁厚分组到另一个壁厚分组的变更 [管壁厚分组见 6.2.2e)]。

5.4.2.6 填充金属

填充金属的下列变更：

- a) 从一组填充金属变为另一组填充金属（见表 1）。

表 1 填充金属分类

组 别	标准及规范	焊条（焊丝）	焊剂
1	GB/T 5117	E4310, E4311	—
	GB/T 5118	E5010, E5011	
	AWS A5.1	E6010, E6011	
	AWS A5.5	E7010, E7011	
2	GB/T 5118	E5510, E5511	—
	AWS A5.5	E8010, E8011, E9010	
3	GB/T 5117 或 GB/T 5118	E5015, E5016, E5018	—
	GB/T 5118	E5515, E5516, E5518	
	AWS A5.1 或 AWS A5.5	E7015, E7016, E7018	
	AWS A5.5	E8015, E8016, E8018, E9018	

表 1 (续)

组 别	标准及规范	焊条 (焊丝)	焊剂
4	GB/T 5293	H08	HJ401
	GB/T 12470	H10Mn2	HJ402
	AWS A5. 17	EL8	P6XZ
		EL8K	F6X0
		EL8	F6X2
		EM5K	F7XZ
		EM12K	F7X0
		EM13K	F7X2
		EM15K	—
5	GB/T 8110	H08 MnA H08 Mn2SiA H08 Mn2MoA	—
	AWS A5. 18	ER70S - 2 ER70S - 6	
	AWS A5. 28	ER80S - D2	
6	AWS A5. 2	RG60, RG65	—
7	AWS A5. 20	E61T - GS E71T - GS	—
8	GB/T 17493	E501T8 - K6	—
	AWS A5. 29	E71T8 - K6, E71T8 - Ni1	
9	AWS A5. 29	E91T8 - G	—
<p>注：其他型号的焊条、填充金属和焊剂也可以使用，但需要进行单独的焊接工艺评定。</p> <p>在 5 组、6 组中的焊丝应使用保护气体。</p> <p>在 4 组中可使用其他焊丝和焊剂的组合进行焊接工艺评定，此组合应用完整的 AWS 型号表示，如 F7A0 - EL12 或 F6A2 - EM12K。只有用同一 AWS 型号的材料允许不重新进行焊接工艺评定。国内材料亦同。</p> <p>7 组的焊丝仅用于根焊。</p> <p>4 组的 X 可以为 A 或 P。</p>			

b) 对于规定最小屈服强度大于或等于 448MPa 的管材（见 5.4.2.2）填充金属型号的变更。

可以在 5.4.2.2a) 和 b) 中规定的分组内变更填充金属，但应从力学性能的角度保持母材和填充金属的一致性。

5.4.2.7 电特性

直流焊接时焊条（焊丝）接正变更为接负或反之；将直流电变为交流电或反之。焊接电流和电压范围的变更。

5.4.2.8 焊道之间时间间隔

完成根焊和开始第二层焊之间允许最大时间间隔的增加。

5.4.2.9 焊接方向

从下向焊改为上向焊，或者反之。



5.4.2.10 保护气体和流量

一种气体换成另一种气体，或一种混合气体换成另一种混合气体，或保护气体流量范围较大地增加或减少。

5.4.2.11 保护焊剂

保护焊剂的变更参照表 1 中的第 2 段要求。

5.4.2.12 焊接速度

焊接速度范围的变更。

5.4.2.13 预热

降低焊接工艺规程的最低预热温度。

5.4.2.14 焊后热处理

增加或取消焊后热处理工艺或改变焊接工艺规程中焊后热处理的范围或温度。

5.5 试验管接头的焊接——对接焊

将两个管段按照焊接工艺指导书规定的要求组对和焊接。

5.6 焊接接头的试验——对接焊

5.6.1 准备

试样取样应按图 3 指定的位置进行，试样的最少数量及试验项目见表 2，试样应按照图 4、图 5、图 6 或图 7 的要求准备。对于外径小于 60.3mm 的管子，应焊接两个试验焊口以满足所需的试样数量。试样的试验应在试样空冷至室温后进行。对于外径小于或等于 33.4mm 的管子，可用一个完整管段（全尺寸）试样的拉伸试验代替两个刻槽锤断试样和两个背弯试样。全尺寸试样的试验应按照 5.6.2.2 的规定进行，且应符合 5.6.2.3 的要求。

表 2 焊接工艺评定试验的试样类型及数量

管外径 mm		试 样 数 量					
		拉伸	刻槽锤断	背弯	面弯	侧弯	总数
壁厚 ≤12.7mm	<60.3	0	2	2	0	0	4
	60.3~114.3	0	2	2	0	0	4
	>114.3~323.9	2	2	2	2	0	8
	>323.9	4	4	4	4	0	16
壁厚 >12.7mm	≤114.3	0	2	0	0	2	4
	>114.3~323.9	2	2	0	0	4	8
	>323.9	4	4	0	0	8	16
注：对外径小于 60.3mm 的管子焊接两个试验焊缝，各取一个刻槽锤断试样及一个背弯试样。对外径小于或等于 33.4 mm 的管子，应做一个全尺寸的拉伸试样。							

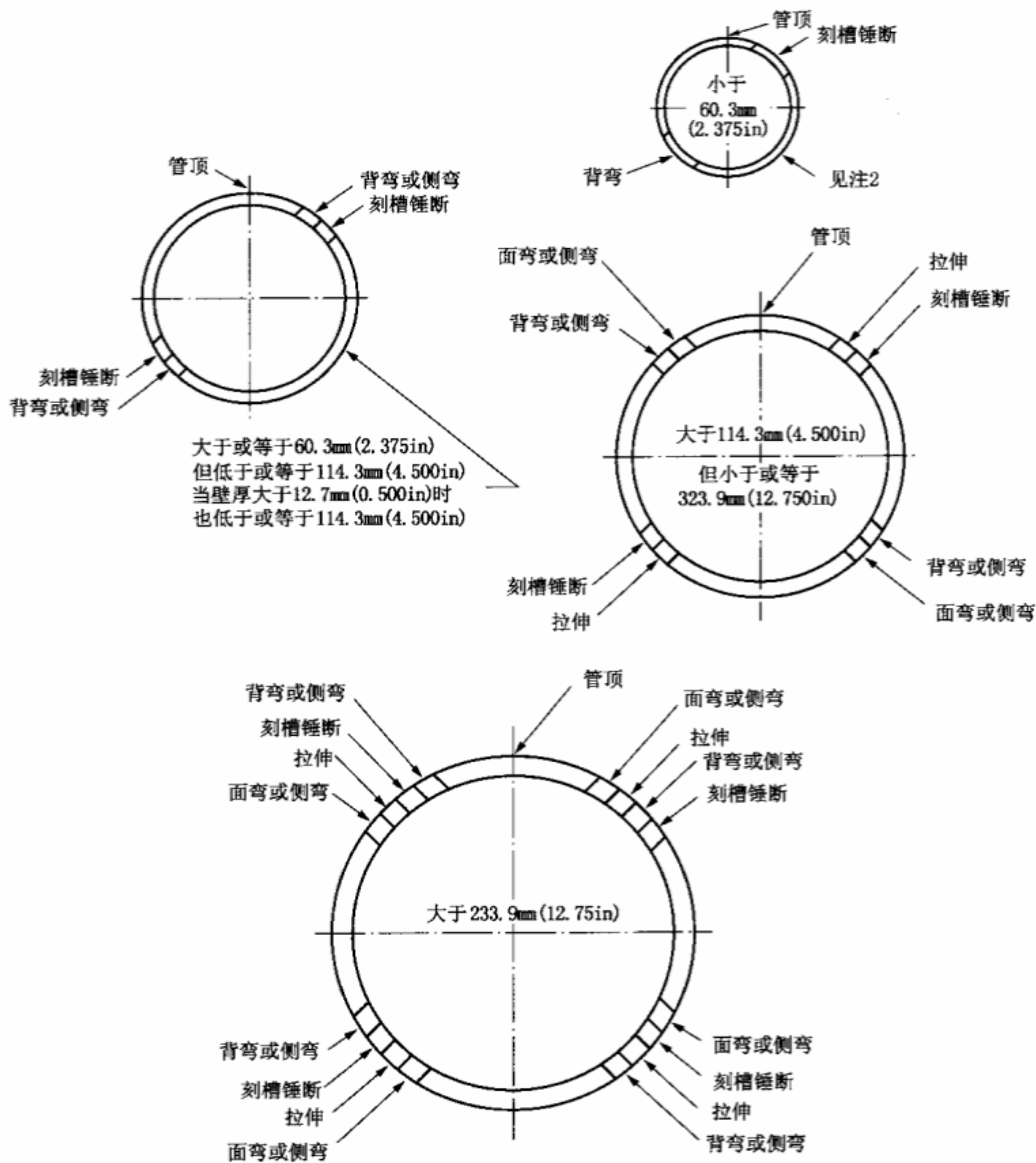
5.6.2 拉伸试验

5.6.2.1 准备

拉伸试样（如图 4 所示）约 230mm 长，25mm 宽，制样可通过机械切割或氧气切割的方法进行。除有缺口或不平行外，试样不要求进行其他加工。如有需要，应进行机加工处理使试样边缘光滑和平行。

5.6.2.2 方法

拉伸试样应在拉伸载荷下拉断。使用的拉伸机应能测量出拉伸试验时的最大载荷。以拉伸试验时最大载荷除以试样在拉伸前测定的最小截面积，就可计算出抗拉强度。



注 1：根据业主的意见，位置可以旋转，只要试样在圆周上间距相等即可。但试样不能含有纵向焊缝。

注 2：对于外径小于或等于 33.4mm (1.315in) 的管件可以使用一个全截面拉伸试件。

图 3 用于工艺评定试验的对接接头试件的位置

### 5.6.2.3 要求

每个试样的抗拉强度应大于或等于管材的规定最小抗拉强度，但不需要大于或等于管材的实际抗拉强度。

如果试样断在母材上，且抗拉强度大于或等于管材规定的最小抗拉强度时，则该试样合格。

如果试样断在焊缝或熔合区，其抗拉强度大于或等于管材规定的最小抗拉强度时，且断面缺陷符合 5.6.3.3 的要求，则该试样合格。

如果试样是在低于管材规定的最小抗拉强度下断裂，则该焊口不合格，应重新试验。

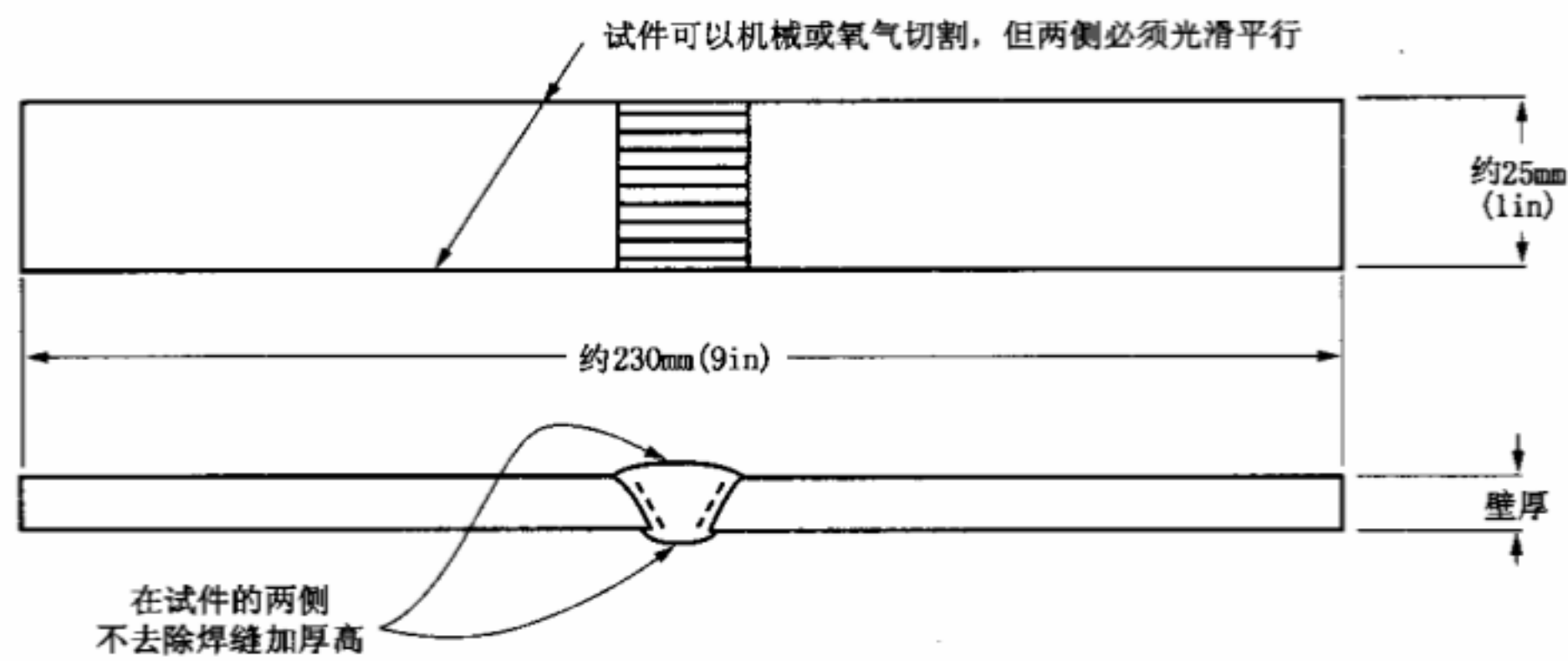


图 4 拉伸试样

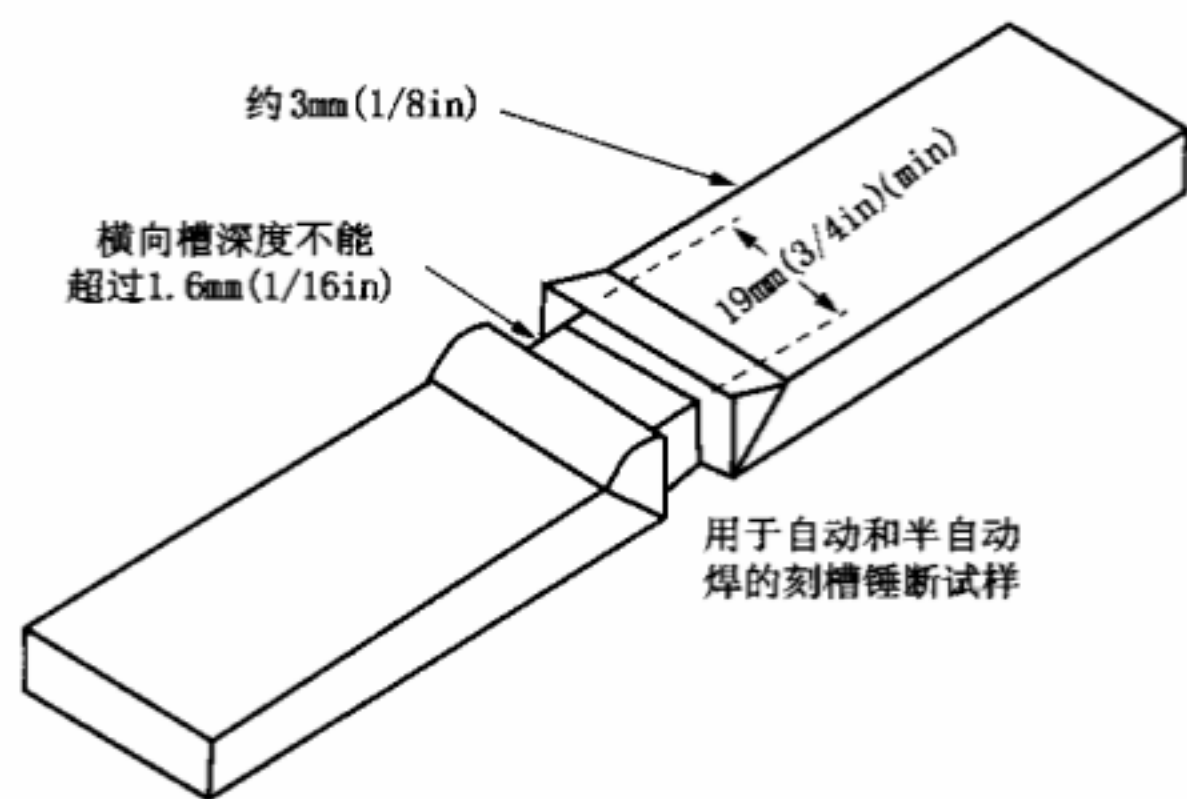
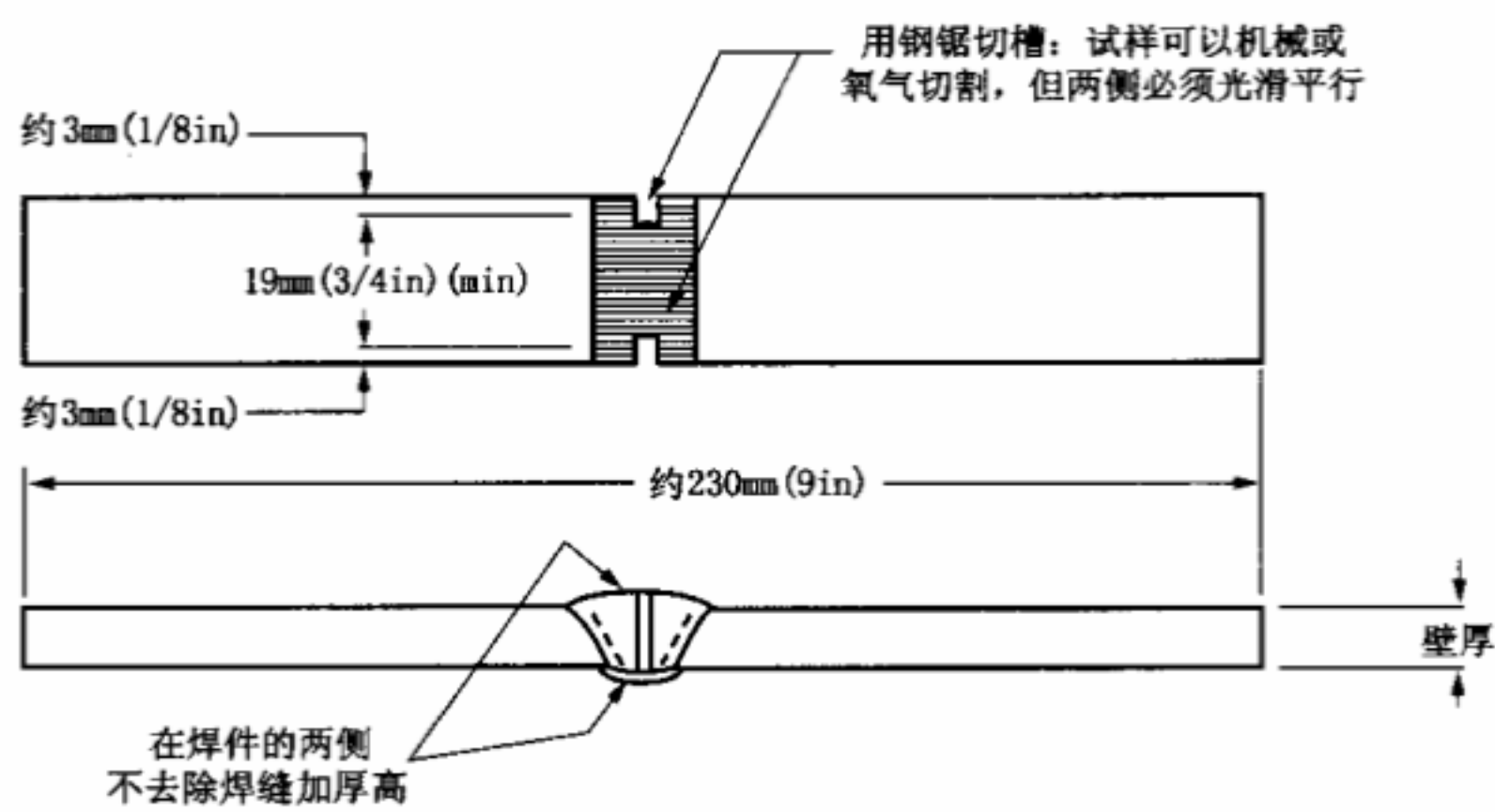
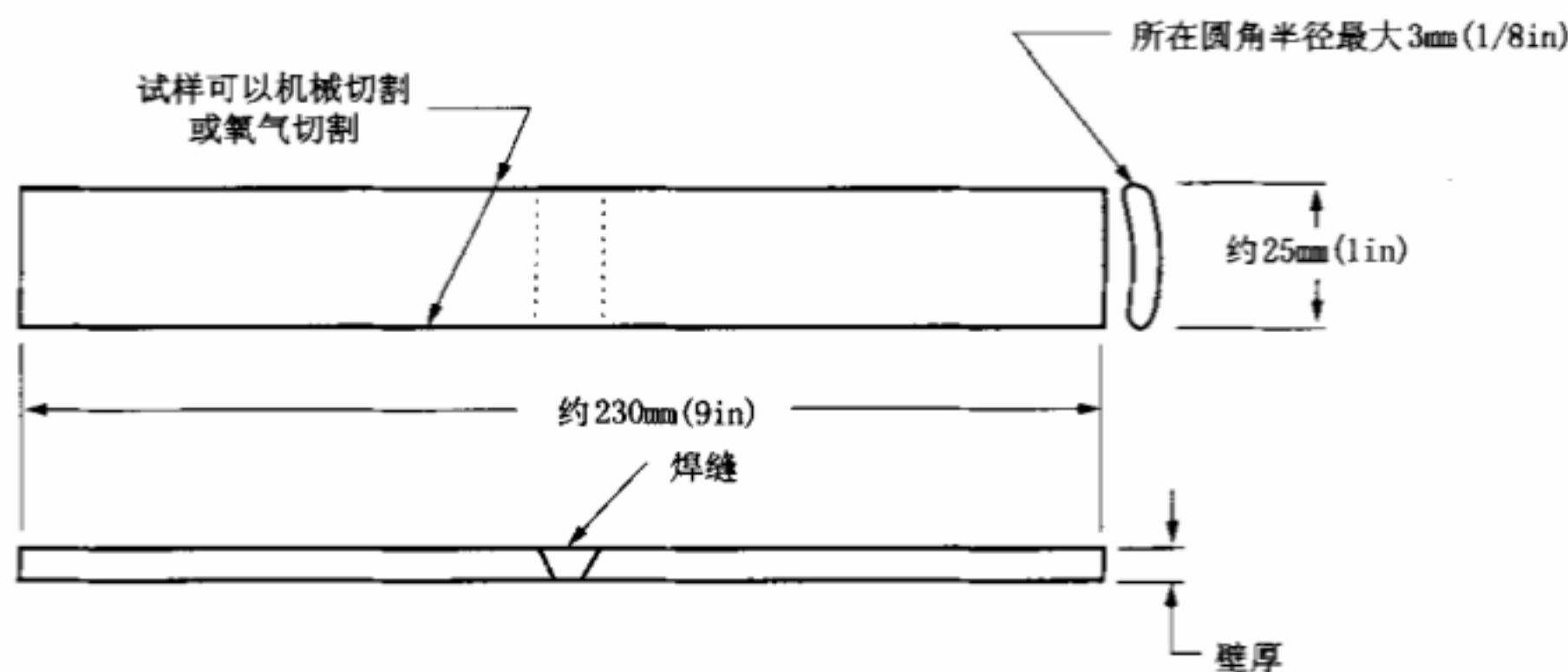
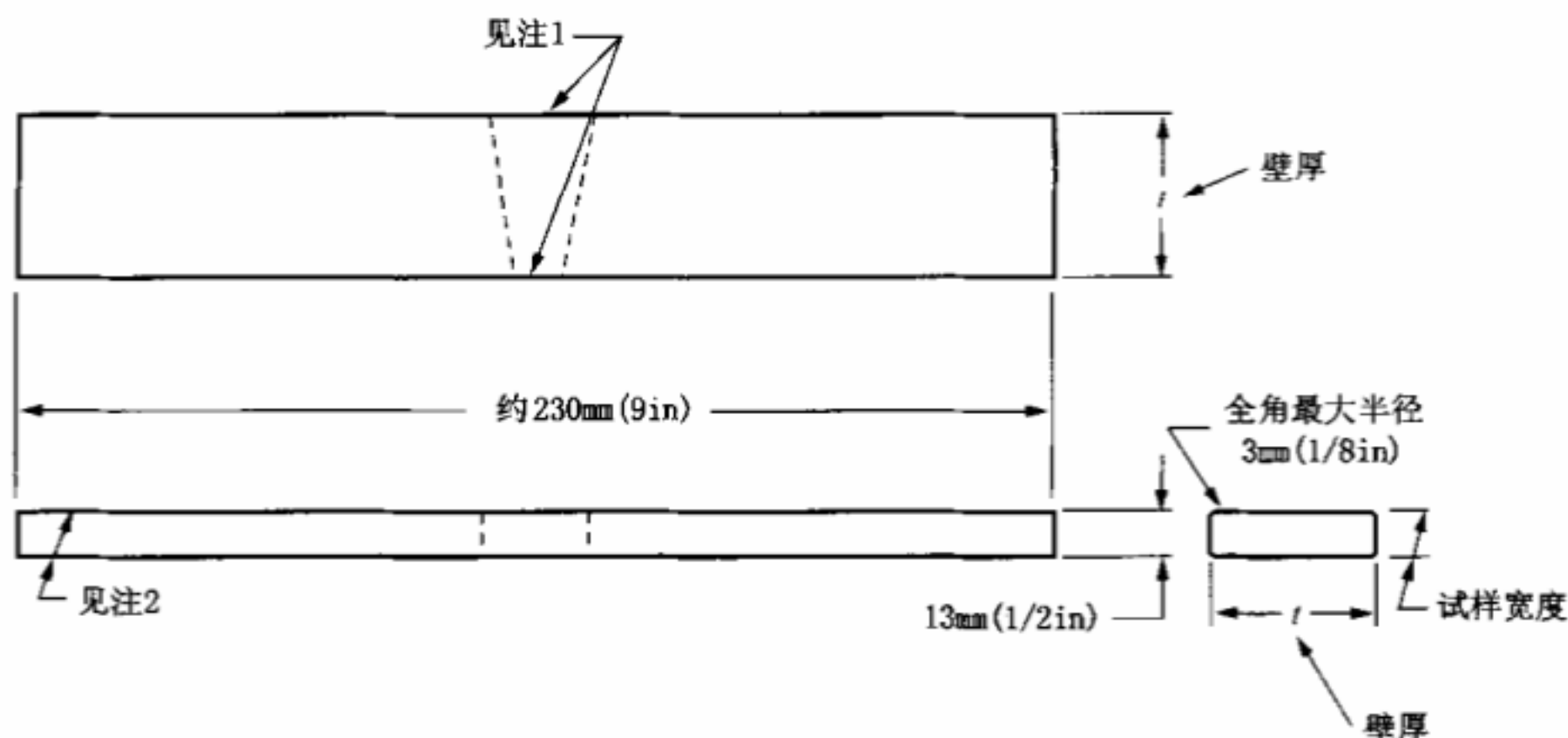


图 5 刻槽锤断试样



注：内外表面的焊缝余高应去除到与试样表面平齐。试样在试验前不应压平。

图6 背弯和面弯试样：壁厚小于或等于 12.7mm (0.500in)



注 1：内外表面的焊缝余高应去除到与试样表面平齐。

注 2：试样应机械切割到 13mm ( $\frac{1}{2}$ in) 宽或氧气切割到约 19mm ( $\frac{3}{4}$ in) 宽，然后再机加工或平滑打磨到 13mm ( $\frac{1}{2}$ in) 宽。切割表面应光滑和平行。

图7 侧弯试样：壁厚大于 13mm (0.500in)

### 5.6.3 刻槽锤断试验

#### 5.6.3.1 准备

刻槽锤断试样（如图 5 所示）约 230mm 长，25mm 宽，制样可通过机械切割或氧气切割的方法进行。用钢锯在试样两侧焊缝断面的中心（以根焊道为准）锯槽，每个刻槽深度约为 3mm。

用此方法准备的某些自动焊或半自动焊（有时也包括焊条电弧焊）的刻槽锤断试样，有可能断在母材上而不断在焊缝上。当前一次试验表明可能会在母材处断裂时，为保证断口断在焊缝上。则可在焊缝外表面余高上刻槽，但是深度从焊缝表面算起不得超过 1.6mm。

如果业主要求的话，可以对用半自动焊或自动焊方法进行工艺评定的刻槽锤断试样在刻槽前先进进行宏观腐蚀检查。

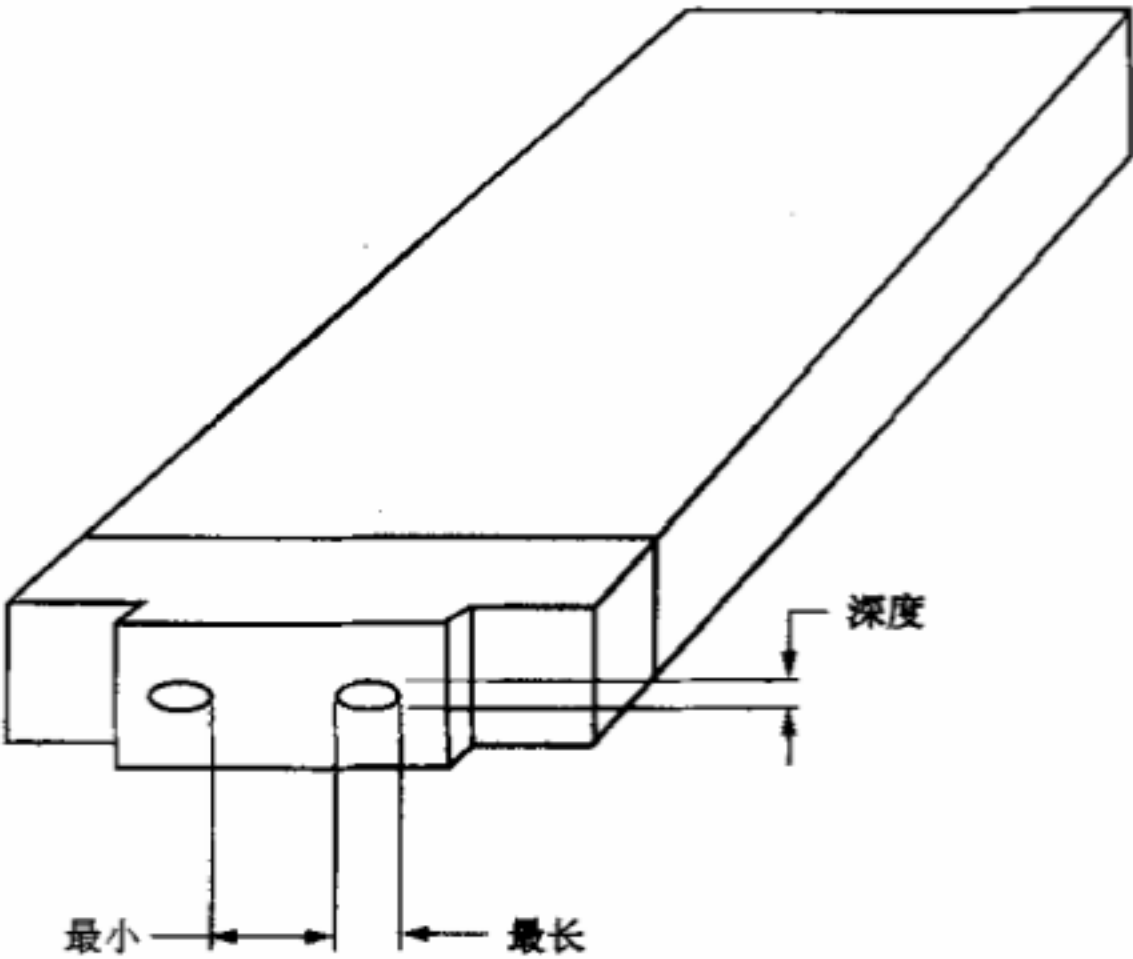
#### 5.6.3.2 方法

刻槽锤断试样可在拉伸机上拉断；或支承两端，打击中部锤断；或支承一端，打击另一端锤断。

焊缝暴露面宽至少 19mm。

5.6.3.3 要求

每个刻槽锤断试样的断裂面应完全焊透和熔合，任何气孔的最大尺寸应不大于 1.6mm，且所有气孔的累计面积应不大于断裂面积的 2%，夹渣深度（厚度方向尺寸）应小于 0.8mm，长度应不大于钢管公称壁厚的 1/2，且小于 3mm。相邻夹渣之间至少应有 13mm 无缺陷的焊缝金属，测量方法如图 8 所示。



注：已示出了断裂的刻槽锤断试样，但此种测量方法也适用于断裂拉伸和角焊试样。

图 8 外露焊缝表面的缺陷尺寸测量

5.6.4 背弯和面弯试验

5.6.4.1 准备

背弯和面弯试验试样约 230mm 长，25mm 宽，且其长边缘应磨成圆角（如图 6 所示）。制样可通过机械切割或氧气切割的方法进行。焊缝内外表面余高应去除至少与试样母材表面平齐。加工的表面应光滑，加工痕迹应轻微并垂直于焊缝轴线。

5.6.4.2 方法

背弯和面弯试样应在导向弯曲试验模具上弯曲，模具如图 9 所示。试样以焊缝为中心放置于下模上。面弯试验以焊缝外表面朝向下模，背弯试验以焊缝内表面朝向下模，施给上模压力，将试样压入下模内，直到试样弯曲成近似 U 形。

5.6.4.3 要求

弯曲后，试样拉伸弯曲表面上的焊缝和熔合线区域所发现的任何方向上的任一裂纹或其他缺陷尺寸应不大于公称壁厚的 1/2，且不大于 3mm。除非发现其他缺陷，由试样边缘上产生的裂纹长度在任何方向上应不大于 6 mm。弯曲试验中每个试样均应满足评定要求。

5.6.5 侧弯试验

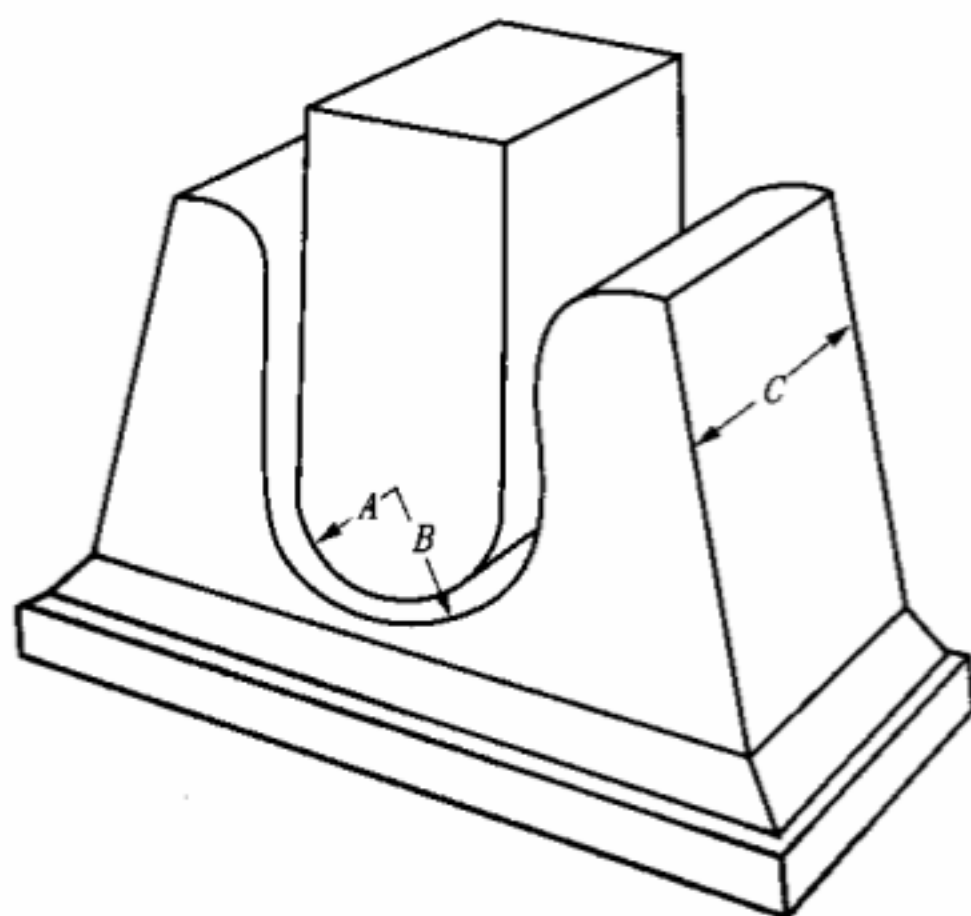
5.6.5.1 准备

侧弯试样约 230mm 长，13mm 宽，且其长边缘应磨成圆角（如图 7 所示）。试样可以通过机械切割或氧气切割的方法制成宽度约 19mm 的粗样，然后用机加工或磨削制成 13mm 宽的试验试样。试样各表面应光滑平行。焊缝的内外表面余高应去除至与试件表面平齐。

5.6.5.2 方法

侧弯试样应在类似于图 9 所示的导向弯曲试验模具上弯曲。将试样以焊缝为中心放在下模上，焊缝表面与模具呈 90°。施给上模压力，将试样压入下模内，直到试样弯曲成近似 U 形。





注：此图无比例，冲头半径  $A = 45\text{mm}$  ( $1\frac{3}{4}\text{in}$ )；胎具半径  $B = 60\text{mm}$  ( $2\frac{5}{16}\text{in}$ )；胎具宽度  $C = 50\text{mm}$  ( $2\text{in}$ )。

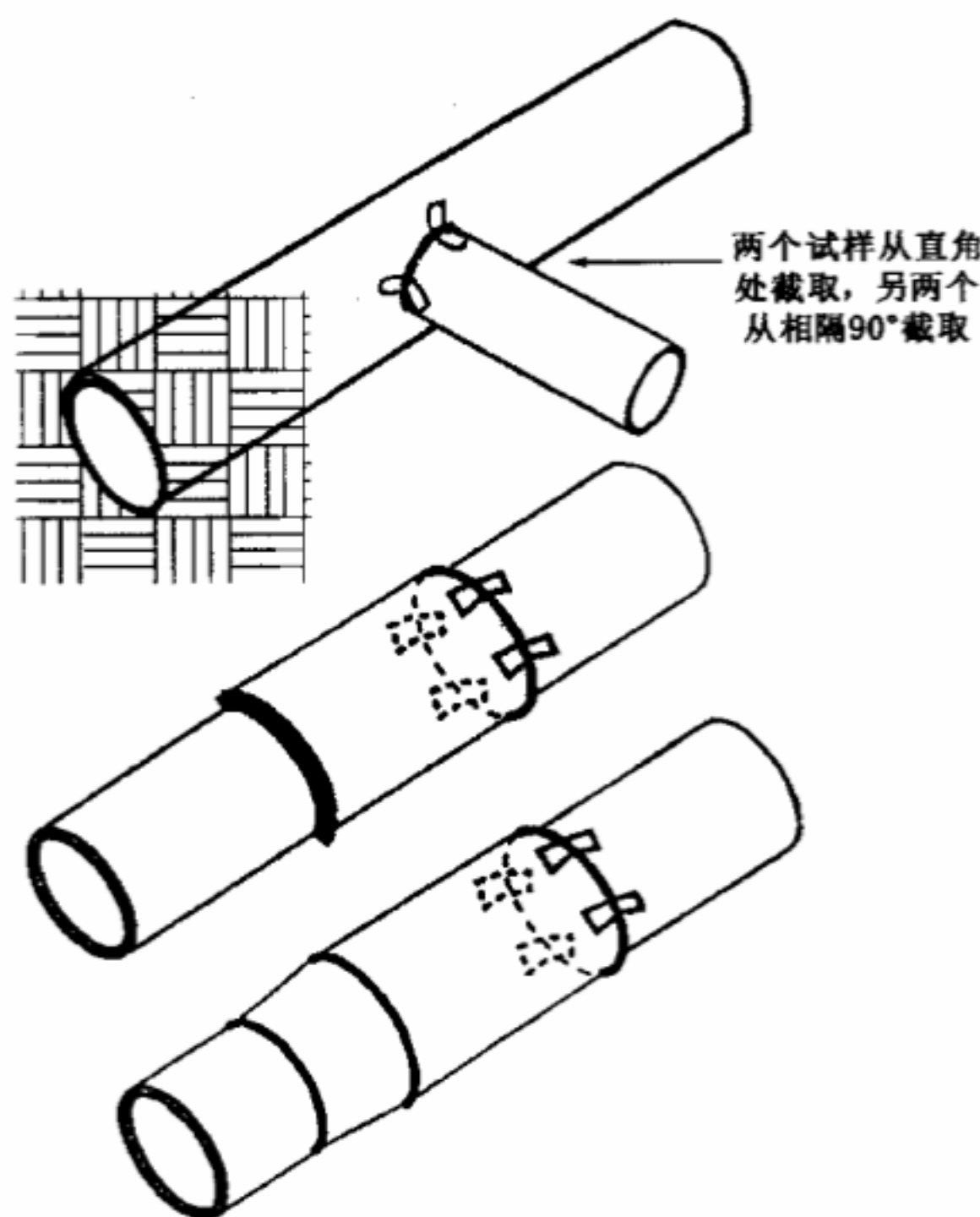
图9 导向弯曲试验胎具

5.6.5.3 要求

每个侧弯试样应符合 5.6.4.3 的规定。

5.7 试验管接头的焊接——角焊

按照焊接工艺指导书中焊接图（如图 10 所示）的任一结构进行角焊。



注：图中所示的试样位置适用于直径大于或等于  $60.3\text{mm}$  ( $2.375\text{in}$ ) 的接头。对于外径小于  $60.3\text{mm}$  ( $2.375\text{in}$ ) 的接头，试样应从大致相同的位置切取，但应从两个试验焊口上各截取两个试样。

图10 刻槽锤断试样的位置：角焊焊接工艺及焊工资格考试

5.8 焊接接头的试验——角焊

5.8.1 准备

试样取样应按图 10 指定的位置进行。试样应至少 4 件，并按图 11 进行准备。制样可通过机械切割或氧气切割的方法进行。试样应至少 25mm 宽，并有足够的长度使之能在焊缝处断裂。对于直径小于 60.3mm 的管子，为满足所需的试样数量，应焊接两个试验焊口。试样应在空冷至室温后进行试验。

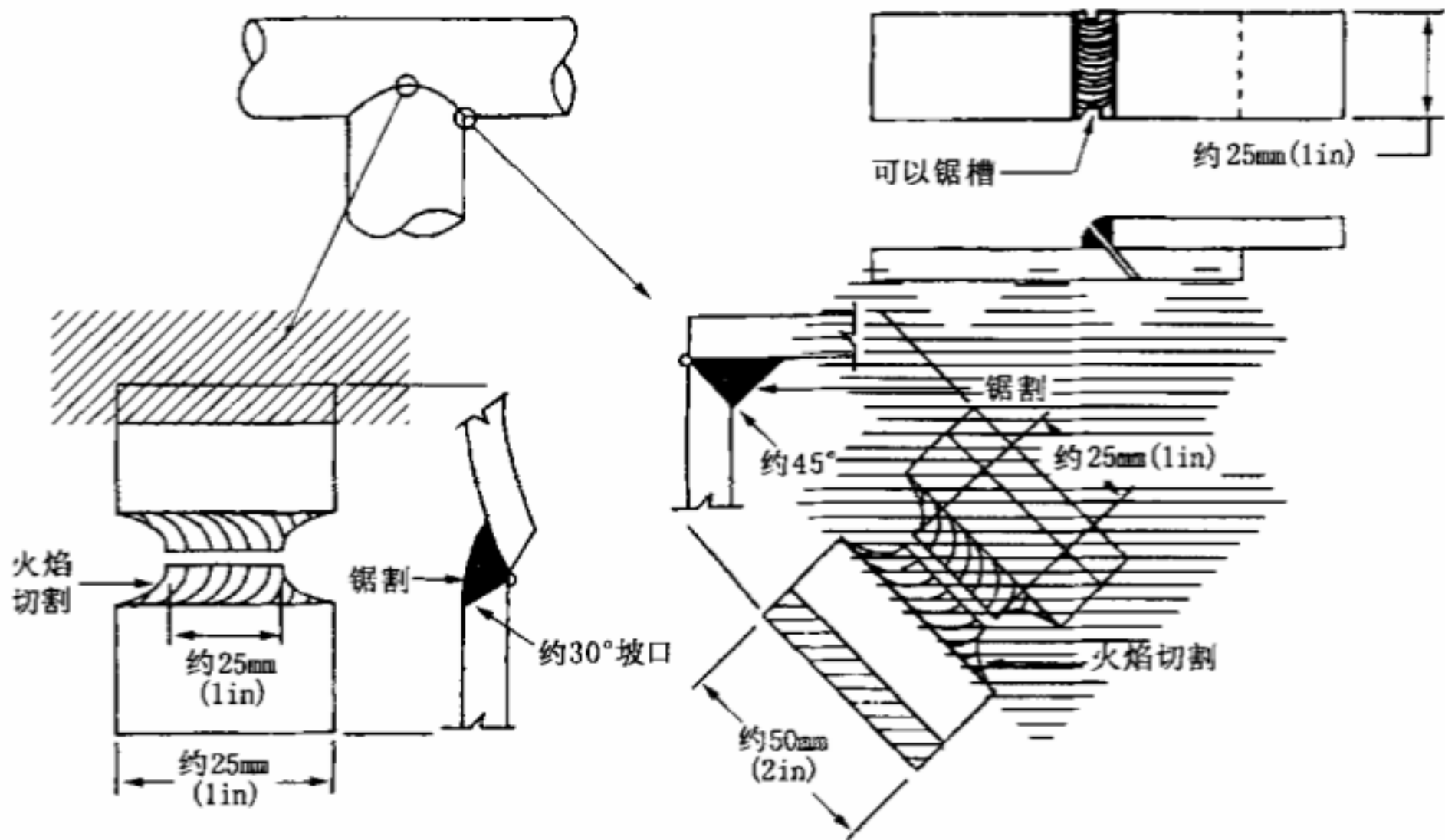


图 11 刻槽锤断试样的位置；角焊焊接工艺评定及其焊工资格考试  
(包括支管连接焊工资格考试)

5.8.2 方法

可用任何一种适当的方法使角焊试样在焊缝处断裂。

5.8.3 要求

每个角焊试样的断裂表面应完全焊透和熔合，且满足以下要求：

- a) 最大气孔尺寸不得超过 1.6mm。
- b) 所有气孔的累计面积不大于断裂面积的 2%。
- c) 夹渣深度不大于 0.8mm，长度不大于公称壁厚厚的 1/2，且不大于 3mm。
- d) 相邻夹渣之间应至少有 12mm 的无缺陷焊缝金属，测量方法如图 8 所示。

6 焊工资格

6.1 概述

焊工资格考试的目的是检验焊工能否使用经过评定合格的焊接工艺规程焊接出合格的对接或角接管焊缝。在进行管道安装焊接之前应按照 6.2 或 6.3 中的规定对焊工进行资格考试。

某一焊接工艺评定合格后，焊接试验管焊缝的焊工自然具有该焊接工艺规定的相应焊接资格。

在资格考试前，应给焊工一定的时间熟悉和调整考试用焊接设备。

焊工在资格考试时，应使用和管道安装焊接时相同的焊接技术和焊接速度。焊工资格的考试工作应在业主代表在场的情况下进行。

焊工应按照 6.2.1 的要求焊接一个完整的管接头或管接头的扇形段。当焊接管接头扇形段时，应

将其支承在具有典型的平焊、立焊和仰焊的位置。

当焊接工艺规程中有 6.2.2 和 6.3.2 中规定的基本要素变更时，应重新对焊工进行资格考试。需重新进行焊工资格考试的基本要素与焊接工艺评定的基本要素相同。

## 6.2 单项资格

### 6.2.1 概述

取单项资格时，每个焊工应使用评定合格的焊接工艺规程，焊接一个完整的管接头或一个管接头的扇形段作为考试焊口。

当取对接管资格时，应选择旋转焊接位置或固定焊接位置进行。当选择固定焊接位置时，管轴线应平行于水平线（代号 5G），垂直于水平线（代号 2G），或是倾斜于水平线约  $45^\circ$ （代号 6G）。

当取支管联接资格、角焊接头资格或其他类型接头的单项资格时，应按照专用的焊接工艺规程进行。取得的资格范围应限定在该工艺规程规定的范围内。

当使用的焊接工艺规程有 6.2.2 中所述的基本要素变更时，应重新对焊工资格进行考试。

若考试焊口经检验和试验符合 6.4 和 6.5 或 6.6 的要求，则应给焊工颁发相应的单项资格证。

### 6.2.2 资格范围

除了焊接工艺规程有以下基本要素的变更外，按照 6.2.1 的规定取得资格的焊工可以进行规定范围内的焊接工作。当焊接工艺规程有下列基本要素变更时，焊工应重新进行资格考试。

- a) 由一种焊接方法变为另一种焊接方法或其他焊接方法的组合。
- b) 焊接方向由上向焊变为下向焊，或反之。
- c) 填充金属组别从 1 组或 2 组变为 3 组，或从 3 组变为 1 组或 2 组（见表 1）。
- d) 从一种管外径分组变为另一种管外径分组，管外径的分组如下：
  - 1) 外径小于 60.3mm。
  - 2) 外径从 60.3mm 至 323.9mm。
  - 3) 外径大于 323.9mm。
- e) 从一种管壁厚分组变为另一种管壁厚分组，管壁厚分组如下：
  - 1) 公称管壁厚小于 4.8mm。
  - 2) 公称管壁厚从 4.8mm 至 19.1mm。
  - 3) 公称管壁厚大于 19.1mm。
- f) 焊接位置的变更 [如从旋转焊变为固定焊；或从垂直焊接位置（2G）变为水平焊接位置（5G），或反之]。若焊工已取得  $45^\circ$  倾斜固定管资格（6G），则可焊接任意焊接位置的对接焊和角焊。
- g) 接头设计的变更（如由无垫板变为有垫板；或由 V 型坡口变为 U 型坡口，或反之）。

## 6.3 全项资格

### 6.3.1 概述

取全项资格时，焊工应使用批准的焊接工艺进行下述两项考试：

第一，固定焊接位置对接焊。管位置可以是水平固定（5G），或是倾斜固定（6G）。管外径应不小于 168.3mm，公称管壁厚不小于 6.4mm，焊口内表面无条形垫板。考试焊口的试样应从图 12 所示的位置上取样或按图 12 所示的顺序，在相对位置上取样。对于各种直径的管子，相邻试样试验类型的顺序应与图 12 中所示的顺序相同。若考试焊口经检验和试验符合 6.4 和 6.5 或 6.6 的要求，则焊接该焊口的焊工通过第一项考试。

第二，支管连接。考试用管的外径应不小于 168.3mm，公称管壁厚应不小于 6.4mm。在主管上切割一全尺寸孔。焊接时，应使主管管轴线在水平位置，支管管轴线与主管管轴线垂直，支管在主管下方。焊接完成后，焊缝外观应整齐均匀。

在整个圆周上，焊缝应完全焊透。根焊道不得有任何超过 6mm 的烧穿。在焊缝任何 300mm 的



连续长度中，未经修补的烧穿，其最大尺寸的累积长度应不超过 13mm。

按照图 10 所示位置从管接头上切取 4 块刻槽锤断试样。试样应按照 5.8.1 和 5.8.2 的规定进行准备和试验，其断裂面上缺陷应符合 5.8.3 的要求。

若考试焊口满足上述要求，则焊接该焊口的焊工通过第二项考试。

6.3.2 资格范围

如果焊工已按 6.3.1 中所述的方法通过两项考试，且考试用管的外径大于或等于 323.9mm，则该焊工取得全项资格，可以焊接所有焊接位置、管壁厚、管外径，接头型式和管件的焊口。

如果焊工已按 6.3.1 中所述的方法通过两项考试，且考试用管的外径小于 323.9mm；则该焊工取得全项资格，可以焊接所有焊接位置、管壁厚、接头型式和管件的焊口，管外径应小于或等于其考试用管的外径。

如果焊接工艺规程中有下列基本要素的任一变更，焊工应重新进行资格考试：

- a) 从一种焊接方法变为另一种焊接方法或其他焊接方法的组合。
- b) 焊接方向由上向焊变为下向焊，或反之。
- c) 填充金属类别由 1 组或 2 组变为 3 组，或从 3 组变为 1 组或 2 组（见表 1）。

6.4 外观检查

考试焊口的焊缝，除盖面焊道的咬边外，应无裂纹、未焊透、烧穿及其他缺陷。焊缝应整齐均匀，盖面焊道的咬边深度应不大于管壁厚的 12.5%，且不超过 0.8mm。在焊缝任何 300mm 的连续长度中，累计咬边长度应不大于 50mm。

如果考试焊口不符合本节要求，则该焊口不再做其他的试验和检验。

6.5 破坏性试验

6.5.1 对接焊试样

当考试焊口是完整管接头时，应按照图 12 中所示的位置在每个考试焊口上取样；当考试焊口是管接头的扇形段时，则应从每一扇形段上截取数量相等的试样。试验项目和试样数量要求见表 3。试样应空冷至室温后试验。

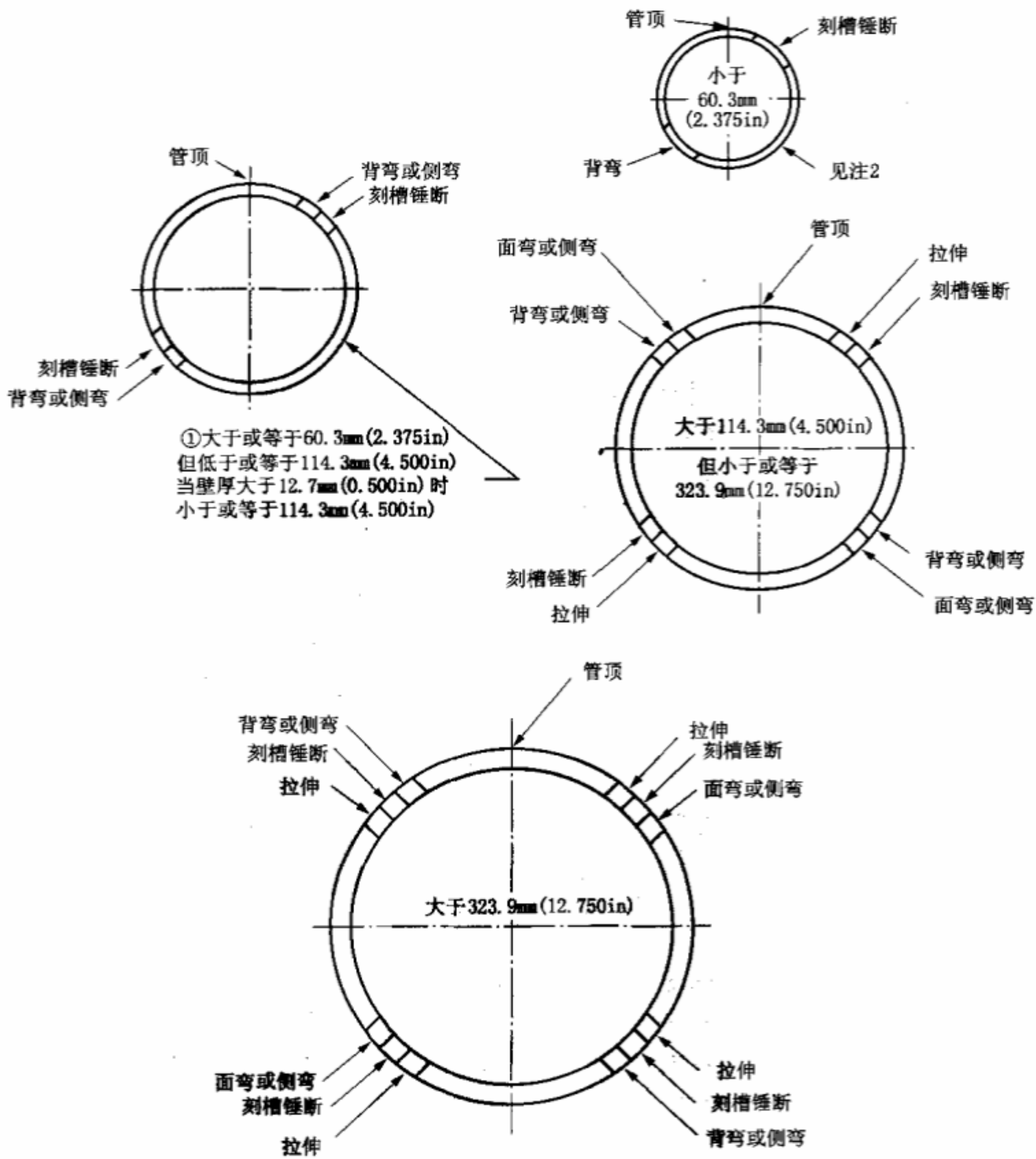
表 3 试验项目和试样数量

管外径 mm		试 样 数 量					
		拉伸	刻槽锤断	背弯	面弯	侧弯	总数
壁厚 ≤12.7mm	<60.3	0	2	2	0	0	4
	60.3~114.3	0	2	2	0	0	4
	>114.3~323.9	2	2	2	0	0	6
	>323.9	4	4	2	2	0	12
壁厚 >12.7mm	≤114.3	0	2	0	0	2	4
	>114~323.9	2	2	0	0	2	6
	>323.9	4	4	0	0	4	12

注 1：外径小于 60.3 mm 的管子应焊接两个试验焊缝，各取一个刻槽锤断试样及一个背弯试样。对外径小于或等于 33.4mm 的管子，应做一个全尺寸试样的拉伸试验。

注 2：该表适用于对接管资格考试和工程焊接要求的破坏性试验。

当考试用管外径小于或等于 33.4mm 时，可以用一个全尺寸管试样的拉伸试验代替背弯和刻槽锤断试验。拉伸试验应按照 5.6.2.2 的要求进行，并符合 5.6.3 的要求。



注 1：根据业主意见，位置可以旋转，只要试件在圆周上间距相等即可，但试件上不能含有纵向焊缝。  
注 2：对于外径小于或等于 33.4mm (1.315in) 的管件，可以使用全断面拉伸试样。

图 12 对接焊焊工资格考核试验的试件位置

6.5.2 对接焊的拉伸、刻槽锤断和弯曲试验

试样的准备及试验应按 5.6 的规定进行，对于焊工资格考核而言，没有必要计算出抗拉强度。用于拉伸试验的试样可改作刻槽锤断试验。

6.5.3 对接焊拉伸试验验收要求

如果有拉伸试样或全尺寸管试样拉伸断口在焊缝处或熔合线处，且该断口的缺陷不符合 5.6.3.3 的要求，则该焊工不合格。

6.5.4 对接焊的刻槽锤断试验验收要求

如果任一刻槽锤断试样断口的缺陷 [不包括白点 (fish eye)] 不符合 5.6.3.3 的要求，则该焊工



不合格。

#### 6.5.5 对接焊的弯曲试验验收要求

如果任一弯曲试样拉伸弯曲面的缺陷不符合 5.6.4.3 或 5.6.5.3 的要求,则该焊工不合格。

对级别较高的钢管焊口的弯曲试样允许不弯曲到完全的 U 型。如果试样从裂纹处断裂,且其断面符合 5.6.3.3 的要求,则该试样合格。

如果只有一个弯曲试样因缺欠引起不合格,且业主同意该试样中的缺欠不是该焊口焊缝的典型缺陷,允许在紧靠该试样的地方再取一个替换试样试验,如果替换试样仍不合格,则该焊工不合格。

#### 6.5.6 角焊缝试样

应从每个考试焊口上取样。

当考试焊口是一个完整的管接头时,应按照图 10 所示位置取样;如果考试焊口是管接头的扇形段时,则应从每个扇形段上截取数量相等的试样。试样在试验前应空冷至室温。

#### 6.5.7 角焊缝试样的试验方法和要求

角焊缝试样应按照 5.8 的规定进行准备和试验。

### 6.6 射线照像检测(简称射线检测)——只用于对接焊

#### 6.6.1 概述

按业主的选择,在对接管资格考试时,可以用射线检测代替 6.5 中规定的试验。

#### 6.6.2 检测要求

应对每个焊工的全部考试焊口进行射线检测,如果任何一段焊缝不符合 9.3 的要求,则该焊工不合格。

用破坏性试验考试焊工时,不得用射线检测挑选取样位置。

#### 6.7 补考

如果不合格的原因是焊工不能控制的条件或环境所造成的,经业主和承包者代表同意,可给该焊工一次补考机会。

其他不合格的焊工在未经业主认可的培训前,不允许补考。

#### 6.8 记录

应使用附录 D 所示的表格(该表格可进行修改以适合不同业主的要求,但其记录内容应满足本标准对焊工考试的要求),将每个焊工的试验和每次试验的详细结果进行记录。

合格焊工的名单和考试使用的焊接工艺规程应存档。如果对某个合格焊工的能力有疑问时,可要求他重新进行资格考试。

## 7 管口的焊接

### 7.1 概述

管道工程的焊接应使用评定合格的焊接工艺规程,焊工应取得相应资格。管口表面在焊接前应均匀光滑,无起鳞、裂纹、锈皮、夹渣、油脂、油漆和其他影响焊接质量的物质。接头设计及对口间隙应符合所采用的焊接工艺规程的要求。

### 7.2 管口组对

应尽量减少管口组对后的错边量。组对同一公称壁厚的管口时,其错边量应不大于 3mm。如果由于尺寸偏差造成一个较大的集中错边,应沿管口圆周均匀地将其分布。应避免直接用锤击法校正错口。

### 7.3 对接焊时对口器的使用

按照焊接工艺规程的要求,应使用对口器进行对接焊。当允许在根焊道焊完前撤离对口器时,则在卸下对口器前,完成的根焊道应均匀分布于管口圆周,且每段焊道长度和间距近似相等。如果撤离内对口器时,焊完的部分焊道难于制止管子位移或受力过大,则应在卸去内对口器的张力前,焊完全

部根焊道。在外对口器撤离前，完成的根焊道应均匀分布于管口圆周，焊道累计长度不少于管周长的50%，焊道间距近似相等。

## 7.4 坡口

### 7.4.1 工厂加工

所有管端坡口应符合焊接工艺规程的要求。

### 7.4.2 现场加工

管端坡口现场加工宜用坡口机或自动氧气切割机进行。经业主同意，也可用手工氧气切割方法进行。坡口加工后应光滑均匀，尺寸应符合焊接工艺规程要求。

## 7.5 气候条件

当恶劣气候条件影响焊接质量时，应停止焊接。恶劣气候条件包括（但不仅限于）大气潮湿、风沙或大风。如有条件，可使用防风棚焊接。焊接工艺规程应规定适于焊接的气候条件。

## 7.6 作业空间

当管道在沟上焊接时，管口周围焊接作业空间距离应大于400mm。当在沟下焊接时，焊接工作坑的大小应使焊工操作容易。

## 7.7 层间清理

坡口和每层焊道上的锈皮及焊渣，在下一步焊接前应清理干净。清理工具可使用无动力工具或动力工具。若焊接工艺规程规定使用动力工具，则应使用动力工具。

当采用自动焊或半自动焊时，在下一焊道焊接前，应用砂轮磨除已完成焊道表面的密集气孔、引弧处及高凸处。

## 7.8 固定焊

### 7.8.1 工艺

管道在焊接时应可靠固定，并在管口周围有足够的焊接作业空间。

### 7.8.2 填充焊和盖面焊

填充足够的焊层，经盖面焊后，完成焊缝的横断面应在整个焊口上均匀一致。焊缝表面任何一点应不低于管外表面。焊缝余高应不大于2.0mm，局部不大于3mm。

相邻焊层引弧点应相互错开。焊缝表面单侧宽度应大于坡口表面宽度0.5mm~2mm。焊口完成后应将表面彻底清理干净。

## 7.9 旋转焊

### 7.9.1 管口组对

按照业主的选择，可采用旋转焊接。在旋转滚架上，应使用足够的支撑滚轮使组对的管道在旋转焊接时保持平直稳定。

### 7.9.2 填充焊和盖面焊

填充足够的焊层，经盖面焊后，完成焊缝的横断面应在整个焊口上均匀一致。焊缝表面任何一点应不低于管外表面，焊缝余高应不大于2.0mm，局部不大于3mm。

相邻焊层引弧点应相互错开。焊缝单侧表面宽度应大于坡口表面宽度的0.5mm~2mm。应在旋转管子管顶或管顶附近位置进行焊接，焊口完成后应将表面彻底清理干净。

## 7.10 标记

每个焊工应在自己完成的焊口上按业主规定的方法标记。

## 7.11 预热及焊后热处理

当使用的材料或气候条件要求焊前预热或焊后热处理时，焊接工艺规程中应规定焊前预热或焊后热处理的工艺。

## 8 焊缝的检查与试验

### 8.1 检验权限

业主有对全部焊缝进行无损检测或对焊缝进行破坏性试验的权力。检验可以在焊口焊接中或焊完后进行。检验的比例按业主的规定执行。

### 8.2 检验方法

无损检测包括射线检测或业主规定的其他检测方法。使用的检测方法应能检出焊缝缺陷，并便于对缺陷进行准确定性和定量。

对焊缝质量评定应按照第9章的要求进行。

破坏性试验包括截取一个完整焊口、在该焊口上切取试样和对试样进行试验及检验。试样的准备应符合6.5的要求。

对任何不合格的焊口，业主有权验收或不验收。对焊接不合格焊口的焊工（焊工组），可取消他（他们）的焊接资格。

对无损检测人员可要求进行现场操作考试，以检验他们的技术水平及其使用的检测规程的准确性。

不准采用穿孔试验法（即自焊缝处锯取柱状试样以检验焊口的方法）。

### 8.3 检测人员的资格审定

应对检测人员的培训经历和同类型检测经验进行资格审定。他们的资格应被业主认可。

业主应保存用于资格审定的文件，至少应包括：

- a) 学历和检测经历。
- b) 培训情况。
- c) 资格考试的成绩和结论。

### 8.4 无损检测人员的资格证书

#### 8.4.1 规定

无损检测人员应按照国家质量监督检验检疫总局《特种设备无损检测人员考核与监督管理规则》规定的方法考取所使用的检测方法的资格证书，只有Ⅱ级（中级）或Ⅲ级（高级）检验员有权评定检测结果。

#### 8.4.2 记录

业主应保存无损检测人员的取证记录。该记录应包括取证考试的结果、发证机构、签证人和签证日期。在工程开始前，当业主对持证人员的能力有疑问时，可要求其重新取证。无损检测人员如按《特种设备无损检测人员考核与监督管理规则》的规定取得资格证书，应至少每四年复验一次。

## 9 无损检测验收标准

### 9.1 概述

本章验收标准适于用射线检测、磁粉检测、液体渗透检测和超声波检测等方法发现的缺陷。该标准也可用于外观检查。

上述检测方法也可按业主指定的标准执行。

不得使用无损检测方法选择焊缝进行8.1要求的破坏性试验。

### 9.2 验收权

任何无损检测均有一定的局限性。如果业主认为某一缺陷位置及深度可能对接头性能有害，可以拒绝验收，尽管该缺陷符合本验收标准。

### 9.3 射线检测

注：9.3.1~9.3.12的黑度是指射线照相底片（负片）的黑度。

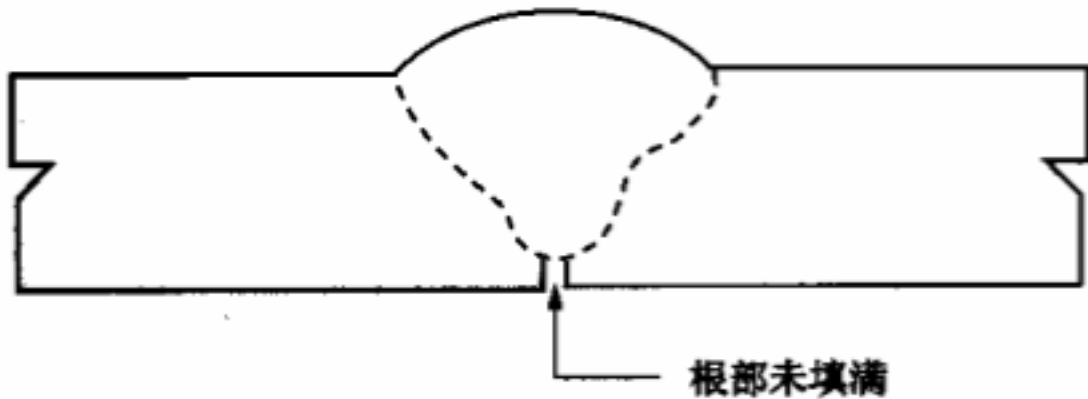


9.3.1 根部未焊透 (IP)

根部未焊透是指不是由于错边引起的未焊透，如图 13 所示。

当根部未焊透符合下列任一条件时，则不合格。

- a) 单个长度超过 25mm。
- b) 在焊缝任何 300mm 连续长度中，其累积长度超过 25 mm。
- c) 当焊缝长度小于 300mm 时，其累计长度超过焊缝长度的 8%。



注：在根部的一边未填满或两边未填满。

图 13 根部未焊透 (IP)

9.3.2 错边未焊透 (IPD)

错边未焊透是指由于错口而引起的单边根部未焊透，如图 14 所示。

当错边未焊透符合下列任一条件时，则不合格。

- a) 单个长度超过 50mm。
- b) 在焊缝任何 300mm 连续长度中，其累积长度超过 75mm。

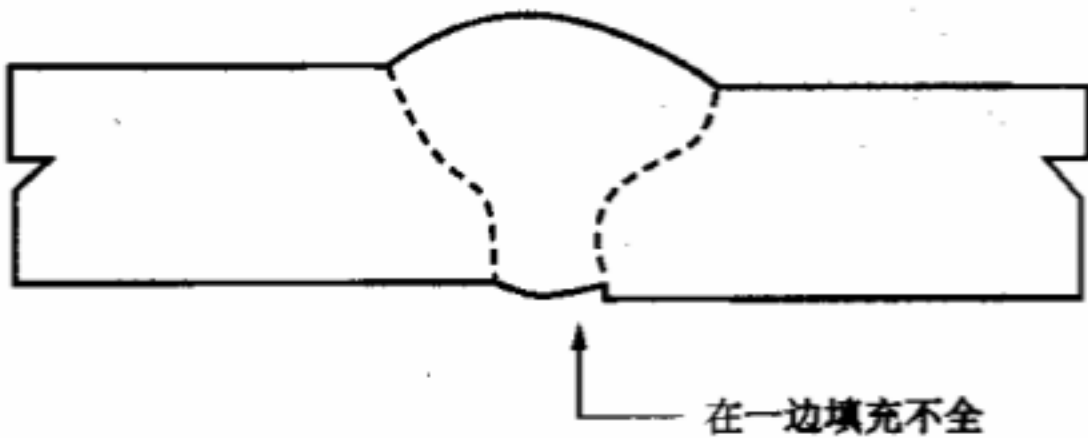


图 14 错边未焊透

9.3.3 中间未焊透 (ICP)

中间未焊透是指内焊第一层与外焊第一层之间由于未焊透而引起的内部缺欠，如图 15 所示。

当中间未焊透符合下列任一条件时，则不合格。

- a) 单个长度超过 50mm。
- b) 在焊缝任何 300mm 连续长度中，其累积长度超过 50mm。

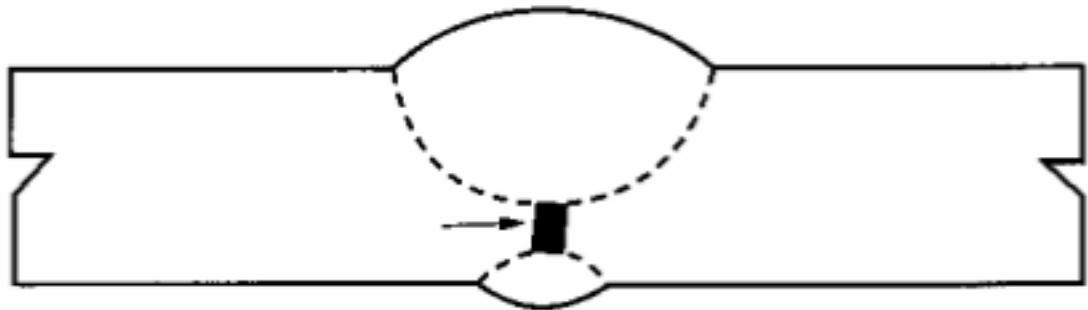


图 15 横断面未焊透



### 9.3.4 表面未熔合 (IF)

表面未熔合是指焊缝与母材之间未能完全熔化结合，且延续到表面，如图 16 所示。

当表面未熔合符合下列任一条件时，则不合格。

- a) 单个长度超过 25mm。
- b) 在焊缝任何 300mm 连续长度中，其累积长度超过 25mm。
- c) 当焊缝长度小于 300mm 时，其累计长度超过焊缝长度的 8%。

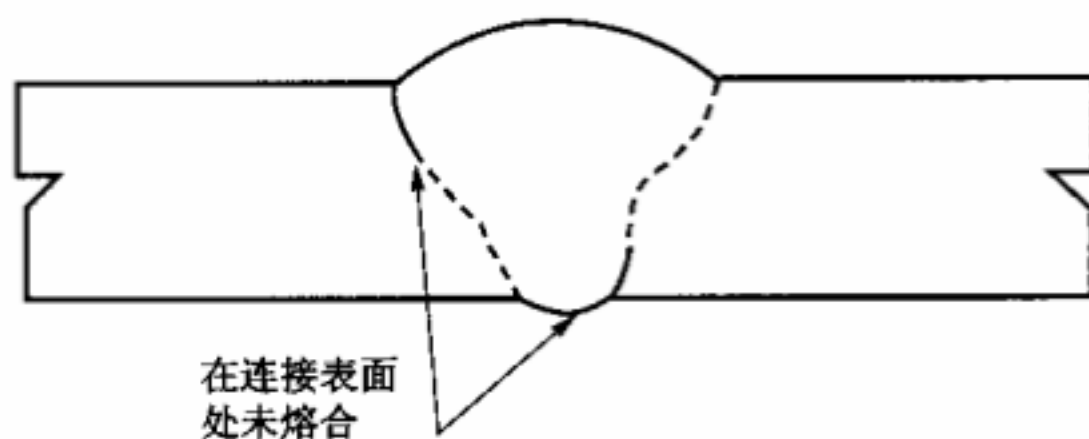


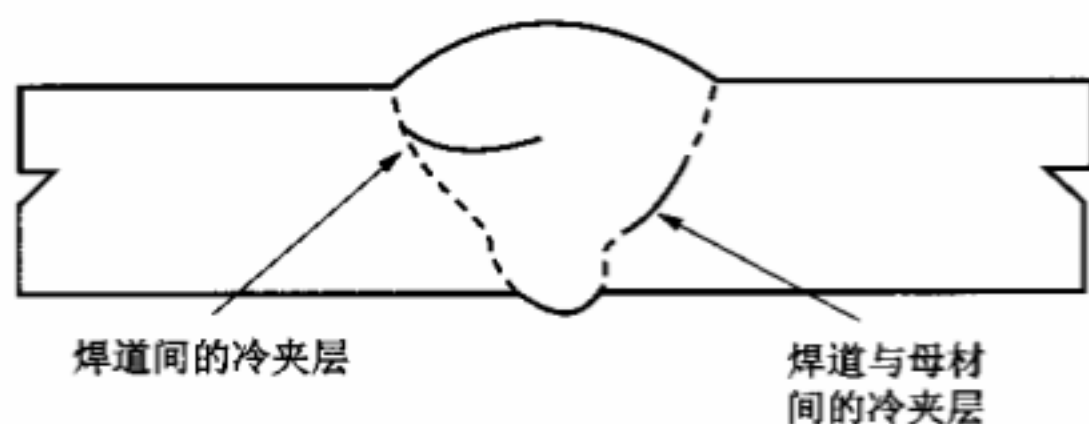
图 16 焊道根部或接头顶部表面未熔合

### 9.3.5 夹层未熔合 (IFD)

夹层未熔合是指焊道之间或焊缝与母材之间未能完全熔化结合，但不延续到表面，如图 17 所示。

当夹层未熔合符合下列任一条件时，则不合格。

- a) 单个长度超过 50mm。
- b) 在焊缝任何 300mm 连续长度中，其累积长度超过 50mm。
- c) 其累计长度超过焊缝长度的 8%。



注：冷夹层为夹层两面未熔合

图 17 夹层未熔合

### 9.3.6 根部内凹 (IC)

根部内凹是指焊道已经良好地熔合并已经完好渗入沿坡口两侧的管壁厚度，但焊道中部比管壁的内表面低，形成的内陷即为内凹。内凹的深度为管壁表面的轴向延伸线和该焊道表面最低点之间的垂直距离（如图 18 所示）。

当根部内凹处的射线底片黑度不超过相邻最薄母材的射线底片黑度时，任何长度均允许。

当根部内凹处的射线底片黑度超过相邻较薄母材的射线底片黑度时，按烧穿标准验收。

### 9.3.7 烧穿 (BT)

9.3.7.1 烧穿是指部分根焊道被熔穿。

9.3.7.2 当管外径大于或等于 60.3mm 时，如果烧穿符合下列任一条，则不合格。

- a) 烧穿处的射线底片黑度超过相邻较薄母材的射线底片黑度，且其最大长度超过 6mm。
- b) 烧穿处的射线底片黑度超过相邻较薄母材的射线底片黑度，且其最大长度超过较薄母材的公称壁厚。

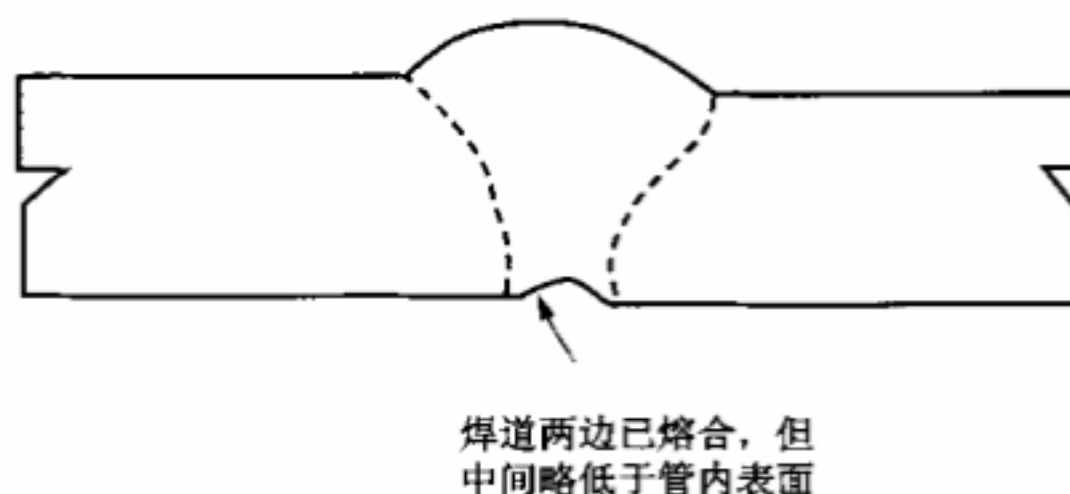


图 18 根部内凹

- c) 在焊缝任何 300mm 的连续长度中（当焊缝长度小于 300mm 时，取全部焊缝长度）射线底片黑度大于相邻较薄母材射线底片黑度的烧穿的最大长度的累积超过 13 mm。

### 9.3.7.3 当管外径小于 60.3mm 时，如果烧穿符合下列任一条，则不合格。

- 烧穿处的射线底片黑度大于相邻较薄母材的射线底片黑度，且其最大长度超过 6mm。
- 烧穿处的射线底片黑度大于相邻较薄母材的射线底片黑度，且其最大长度超过较薄母材的公称壁厚。
- 射线底片黑度大于相邻较薄母材射线底片黑度的烧穿多于一处。

### 9.3.8 夹渣

#### 9.3.8.1 夹渣定义为焊缝金属中或焊缝金属与母材金属之间的非金属固体夹杂物。

细长夹渣 (ESIs) 一般存在于熔合区。连续或断续的夹渣线和车轨线等均属细长夹渣。

独立夹渣 (ISIs) 形状不规则，且可能分布于焊缝的任何部位。

在评片时，把夹渣在射线底片上显示的最大长度作为夹渣的评定长度。

#### 9.3.8.2 当管外径大于或等于 60.3mm 时，如果夹渣符合下列任一条，则不合格。

- 单个细长夹渣 (ESI) 长度超过 50mm。

注：间隔宽度约为根焊道宽度的平行细长夹渣（车轨线），且其任一条宽度不大于 0.8mm，应按一个夹渣计算。  
当有一条宽度超过 0.8mm，则应分别计算。

- 在焊缝任何 300mm 连续长度中，细长夹渣 (ESI) 的累积长度超过 50mm。
- 细长夹渣 (ESI) 的宽度超过 1.6mm。
- 在焊缝任何 300 mm 连续长度中，独立夹渣 (ISI) 的累积长度超过 13mm。
- 独立夹渣 (ISI) 的宽度超过 3mm。
- 在焊缝任何 300mm 连续长度中，最大宽度为 3mm 的独立夹渣 (ISI) 超过 4 个。
- 细长夹渣 (ESI) 和独立夹渣 (ISI) 的累计长度超过焊缝长度的 8%。

#### 9.3.8.3 当管外径小于 60.3mm 时，如果夹渣符合下列任一条，则不合格。

- 单个细长夹渣 (ESI) 长度超过相邻较薄管公称壁厚的三倍。

注：间隔宽度约为根焊道宽度的平行细长夹渣（车轨线），且其任一条宽度不大于 0.8mm，应按一个夹渣计算。  
当有一条宽度超过 0.8mm，则应分别计算。

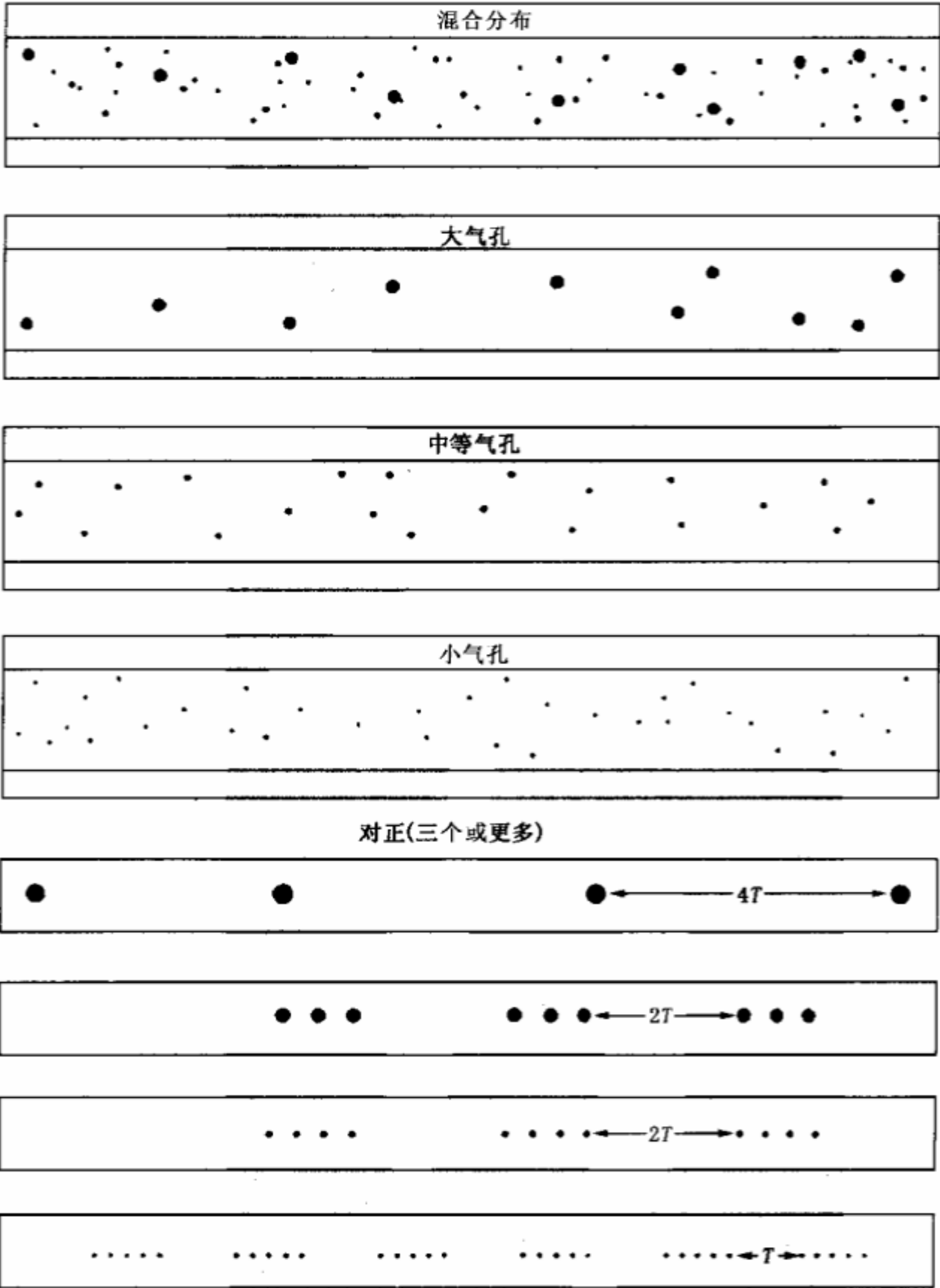
- 细长夹渣 (ESI) 的宽度超过 1.6mm。
- 宽度超过相邻较薄管公称壁厚一半的独立夹渣 (ISI) 的累计长度超过相邻较薄管公称壁厚的二倍。
- 细长夹渣 (ESI) 和独立夹渣 (ISI) 的累计长度超过焊缝长度的 8%。

### 9.3.9 气孔

#### 9.3.9.1 气孔定义见 GB/T 3375。气孔通常是球形的，但也有链状或不规则形状的，如管状（条虫状）气孔。当测量射线检测底片上气孔的尺寸时，缺陷的最大尺寸应符合 9.3.9.2 至 9.3.9.4 的规定。

9.3.9.2 单个或分散气孔 (P)：单个或分散气孔符合以下任意一条时，则不合格。

- a) 单个气孔的最大尺寸超过 3mm。
- b) 单个气孔的尺寸超过相邻较薄管公称壁厚的 25%。
- c) 分散气孔的分布超过图 19 或图 20 允许的分布。

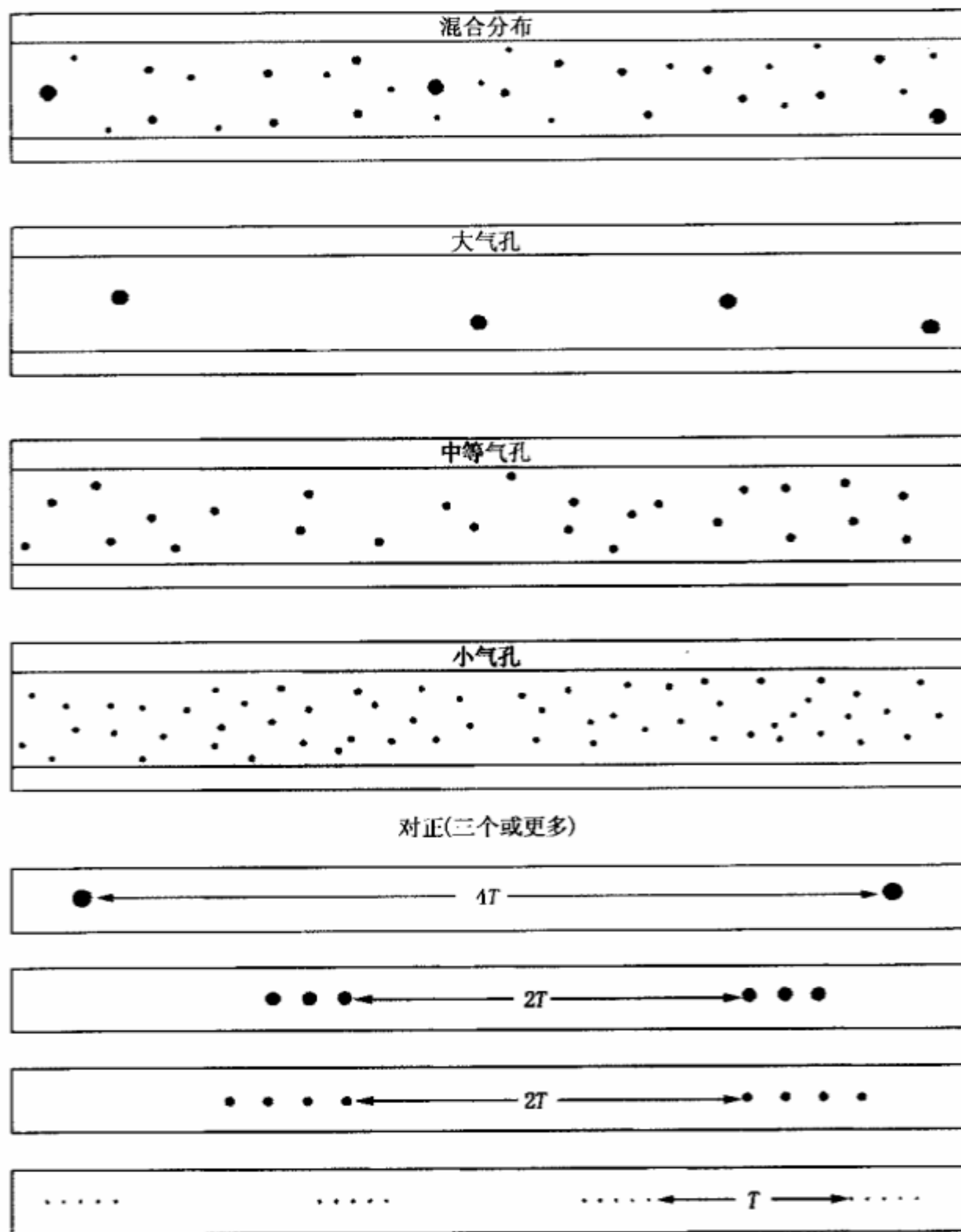


注：气孔尺寸没按比例绘制；尺寸参照 9.3.9。

图 19 气孔最大分布：壁厚小于或等于 12.7mm (0.500in)

9.3.9.3 密集气孔 (CP)：在非盖面焊道上存在的密集气孔应符合 9.3.9.2 的要求。盖面焊中的密集气孔符合以下任意一条时，则不合格。

- a) 密集气孔的分布区域的长径超过 13mm。
- b) 在焊缝任何 300mm 连续长度中，密集气孔的分布区域长径的累积长度超过 13mm。



注：气孔尺寸没有按比例绘制，尺寸参照 9.3.9。

图 20 气孔最大分布：壁厚大于 12.7mm (0.500in)

c) 任一密集气孔 (CP) 中的任何一个气孔的尺寸超过 2mm。

**9.3.9.4 空心焊道 (HB)：**空心焊道 (HB) 是指根部焊道中发生的线形气孔。当其符合以下任意一条时，则不合格。

- 单个长度超过 13mm。
- 在焊缝任何 300mm 连续长度中，累积长度超过 50mm。
- 长度大于 6mm 的单个空心焊道 (HB) 之间，完好焊缝金属长度小于 50mm。
- 所有空心焊道 (HB) 的累计长度超过焊缝长度的 8%。

#### 9.3.10 裂纹 (C)

当裂纹符合以下任意一条时，则不合格。

- 除弧坑裂纹以外的任何裂纹。
- 弧坑裂纹的长度超过 4mm。



注：弧坑裂纹是在焊道收弧处由于焊缝金属收缩凝固引起的。

### 9.3.11 咬边

咬边定义为在焊趾或焊根母材处，烧熔形成的凹陷或沟槽。

当表面咬边（EU）或内咬边（IU）符合以下任意一条时，则不合格。

- a) 在焊缝任何 300mm 连续长度中，任意组合的表面咬边（EU）和内咬边（IU）的累积长度超过 50mm。
- b) 任意组合的表面咬边（EU）和内咬边（IU）的累计长度超过焊缝长度的 1/6。

注：当用机械仪表测量检查外观时，咬边的验收标准见 9.7。

### 9.3.12 缺陷累积

除了咬边和错边未焊透外，当缺陷累积符合以下任意一条时，则不合格。

- a) 在焊缝任何 300 mm 连续长度中，缺陷累积长度超过 50mm。
- b) 缺陷累积长度超过焊缝长度的 8%。

### 9.3.13 管子和管件缺陷

当射线检测时，如在管子或管件上发现电弧烧伤、纵焊缝缺陷及其他缺陷，应向业主报告。对它们的修补或割除应按业主要求进行。

## 9.4 磁粉检测

### 9.4.1 磁痕分类

9.4.1.1 磁粉检测时应对显示的磁痕进行判别。磁导率或金相组织的变化均可产生伪磁痕。对显示的磁痕应按 9.4.1.2 和 9.4.1.3 的规定分类。

9.4.1.2 任何最大尺寸不大于 1.6mm 的磁痕为无关磁痕。任何大于 1.6mm 的磁痕，在未重新用磁粉检测或其他无损检测方法判别其是否是缺陷前，均为相关磁痕。

重新检测前，宜将检测表面磨光或进行其他处理。当一个磁痕确定为伪磁痕后，其他相同类型的伪磁痕可直接判定，而不需重新检测。

9.4.1.3 由缺陷引起的磁痕为相关磁痕。磁痕长度大于宽度三倍为线性缺陷。磁痕长度小于或等于宽度的三倍为圆形缺陷。

### 9.4.2 验收标准

当相关磁痕符合以下任何一条时，则不合格。

- a) 线性缺陷评定为弧坑裂纹或星形裂纹，其长度超过 4mm。
- b) 评定为非弧坑裂纹或非星形裂纹的其他裂纹的线性缺陷。
- c) 评定为未熔合的线性缺陷，在焊缝任何 300mm 连续长度中，缺陷累积长度超过 25 mm 或者超过焊缝长度的 8%。

圆形缺陷应根据 9.3.9.2 和 9.3.9.3 的规定评定。评定时，以圆形缺陷显示的最大磁痕尺寸作为评定尺寸。

注：当对显示的缺陷类型产生疑问时，应采用其他无损检测方法予以证明。

### 9.4.3 管子和管件缺陷

用磁粉检测查出的管子和管件中的夹层、电弧烧伤、纵焊缝缺陷及其他缺陷，应向业主报告。对它们的修补或割除必须按业主的规定进行。

## 9.5 液体渗透检测

### 9.5.1 显示分类

9.5.1.1 液体渗透检测所出现的显示不一定是由缺陷造成的。机加工痕迹、擦伤及表面状况均会产生类似于缺陷的伪显示，它与验收无关。对检测显示应按 9.5.1.2 和 9.5.1.3 的规定评定。

9.5.1.2 任何最大尺寸不大于 2mm 的显示为无关显示。任何大于 2mm 的显示，在未重新用渗透检测或其他无损检测方法判别其是否是缺陷前，均为相关显示。

重新检测前，宜将检测表面磨光或进行其他处理。当一个显示确定为伪显示后，其他相同类型的伪显示可直接判定，而不需重新检测。

**9.5.1.3** 由缺陷引起的显示为相关显示。显示长度大于宽度的三倍为线性缺陷。显示长度小于或等于宽度的三倍为圆形缺陷。

### 9.5.2 验收标准

当相关显示符合以下任何一条时，则不合格。

- a) 线性缺陷评定为弧坑裂纹或星形裂纹，其长度超过 4mm。
- b) 评定为非弧坑裂纹或非星形裂纹的其他裂纹的线性缺陷。
- c) 评定为未熔合的线性缺陷，在焊缝任何 300mm 连续长度中，缺陷累积长度超过 25mm 或者超过焊缝长度的 8%。

圆形缺陷应根据 9.3.9.2 和 9.3.9.3 的规定评定，评定时，以圆形缺陷显示的最大显示尺寸作为评定尺寸。

注：当对显示的缺陷类型产生疑问时，应采用其他无损检测方法予以证明。

### 9.5.3 管子和管件缺陷

用液体渗透检测查出的管子和管件中的夹层、电弧烧伤、纵焊缝缺陷及其他缺陷，应向业主报告。对它们的修补或割除应按业主的规定进行。

## 9.6 超声波检测

### 9.6.1 反射波分类

**9.6.1.1** 超声波检测时，出现的反射波不一定是由缺欠造成的。错边、余高、开坡口和超声波模式的改变均会产生类似于缺欠的反射波，但它们是不相关的反射波。

**9.6.1.2** 线型缺欠反射波是由焊缝纵向上尺寸最大的缺欠引起的。典型的线型缺欠反射波可能是根部未焊透 (IP)、错边未焊透 (IPD)、中间未焊透 (ICP)、表面未熔合 (IF)、夹层未熔合 (IFD)、夹渣 (ESI)、裂纹 (C)、外咬边 (EU)、内咬边 (IU) 或空心焊道 (HB) 等引起的，当然并不限于这些。

**9.6.1.3** 横向缺欠反射波是由焊缝横向上尺寸较大的缺欠引起的。典型的横向缺欠反射波可能是裂纹，独立夹渣，引弧、熄弧时的夹层未熔合等引起的，当然并不限于这些。

**9.6.1.4** 体积型缺欠反射波是由三维缺欠引起的，如单个或多个夹渣、缩孔或气孔。焊道引弧、熄弧处的缩孔、气孔或小夹渣，其在焊缝横向上的尺寸可能大于纵向。典型的体积型缺欠反射波可能是根部内凹 (IC)、烧穿 (BT)、独立夹渣 (ISI)、气孔 (P) 和密集气孔 (CP) 等引起的，当然并不限于这些。

**9.6.1.5** 由缺欠产生的相关反射波按 11.4.7 等级评价，验收标准采用 9.6.2。

注：若对焊缝内部缺欠类型有疑问，可采用其他无损检测方法。

### 9.6.2 验收标准

**9.6.2.1** 缺欠反射波确定为裂纹 (C) 时，应视为缺陷。

**9.6.2.2** 表面非裂纹线型缺欠 (LS) 是指在焊缝内、外表面的缺欠。当缺欠反射波符合以下任一条件时，则应视为缺陷：

- a) 表面非裂纹线型缺欠在焊缝任何 300mm (12in) 的连续长度中，累计长度超过 25mm (1in)。
- b) 表面非裂纹线型缺欠累计长度超过焊缝长度的 8%。

**9.6.2.3** 内部非裂纹线形缺欠 (LB) 是指在焊缝内部的缺陷。缺欠反射波符合以下任一条件时，则应视为缺陷：

- a) 内部非裂纹线形缺欠在焊缝任何 300mm (12in) 的连续长度中，累计长度超过 50mm (2in)。
- b) 内部非裂纹线形缺欠累计长度超过焊缝长度的 8%。

**9.6.2.4** 非裂纹横向缺欠 (T) 应作为体积型缺欠，使用体积型缺欠验收标准进行验收。所有横向

缺欠记录用字母 T 标记。

9.6.2.5 当密集体积型缺欠（VC）的最大尺寸超过 13mm 时，应视为缺陷。

9.6.2.6 当单个体积型缺欠（VI）的最大尺寸超过 6mm 时，应视为缺陷。

9.6.2.7 根部体积型缺欠（VR）是指在焊缝内表面的缺欠。当符合下列任一条，则应视为缺陷：

- a) 根部体积型缺欠最大尺寸超过 6mm。
- b) 根部体积型缺欠在任何 300mm 的连续长度中，累计长度超过 13mm。

9.6.2.8 当缺欠反射波（AR）的累计长度符合以下任一条件时，则应视为缺陷：

- a) 在任何 300mm 的连续长度中，超出评定线的缺欠反射波的累计长度超过 50mm。
- b) 超出评定线的缺欠反射波的累计长度超过焊缝长度的 8%。

9.6.3 管子或管件缺欠

超声波检测时，若在管子或管件中发现缺欠，应向业主报告。对它们的处理应按业主要求进行。

9.7 咬边的外观检查标准

9.7.1 概述

咬边定义见 9.3.11。在 9.7.2 中增补的验收标准，不得代替本标准中其他部分对外观检查的要求。

9.7.2 验收标准

当使用目视或机械方法确定咬边深度时，表面咬边或根部咬边应不超过表 4 中的规定。当机械方法和射线检测均可使用时，应采用机械方法。

表 4 咬边的最大尺寸

深 度	长 度
>0.8mm 或 >12.5%管壁厚，取两者中的较小值	任何长度均不合格
>6%~12.5%管壁厚或 >0.4mm，取两者中的较小值	在焊缝任何 300mm 连续长度中不超过 50mm 或者焊缝的 1/6，取两者中的较小值
≤0.4mm 或 ≤6%的管壁厚，取两者中的较小值	任何长度均合格

10 缺陷的清除和返修

10.1 返修权限

10.1.1 裂纹：

除非业主同意返修，否则所有带裂纹的焊口应按有关的规定从管线上切除。

当裂纹长度小于焊缝长度的 8%时，可以使用评定合格的返修焊接规程进行返修。

10.1.2 非裂纹性缺陷：

根焊道及填充焊道中出现的非裂纹性缺陷，经业主同意后方可返修。盖面焊道中出现的非裂纹性缺陷，可直接返修。若返修工艺不同于原始焊道的焊接工艺，或返修是在原来的返修位置进行时，应使用评定合格的返修焊接工艺规程。同一部位的返修不得超过两次。

10.2 返修规程

返修时应使用评定合格的、能够保证焊缝力学性能和韧性要求的返修焊接规程，这应通过力学性能试验确定。试验项目和数量应符合业主要求。返修规程应至少包括以下内容：

10.2.1 缺陷的检测方法。

10.2.2 缺陷的清除方法。

10.2.3 检查返修坡口，以证实缺陷完全清除。



10.2.4 预热和层间温度。

10.2.5 焊接方法其他细节说明, 见 5.3.2。

10.2.6 层间无损检测规定。

### 10.3 验收标准

10.3.1 返修区域应采用返修前使用的检测方法进行检测。业主可要求采用同样的检测方法复查包括返修区域的整个焊口 (见 8.1 和 8.2)。返修焊缝应满足第 9 章的规定。

### 10.4 监督

焊缝返修应在对返修技术有经验的技术人员的监督下进行。

### 10.5 焊工

应由有资格的焊工进行返修。

## 11 无损检测规程

### 11.1 射线检测方法

#### 11.1.1 概述

11.1 中规定了使用 X 射线或  $\gamma$  射线在胶片或其他介质上产生射线图像的要求。应按本章或业主指定的标准制定射线检测规程。采用该规程所得到的射线底片应达到本标准要求的底片黑度 (见 11.1.10)、清晰度和对比度。用其他系统得到的射线图像, 应达到要求的像质计灵敏度。

评定时, 应达到以下标准:

- a) 底片质量良好, 无过大灰雾, 无因暗室处理不当造成的影响评定的缺陷。
- b) 合同规定的灵敏度。
- c) 适当的识别系统。
- d) 合格的技术和装备。
- e) 满足验收标准。

应按照业主的规定, 进行射线检测及确定检测的百分率。

工程射线检测之前, 所用的射线检测规程应经业主批准。业主应要求检测单位验证其所用的射线检测规程的准确性。

#### 11.1.2 检测规程内容

##### 11.1.2.1 概述

应记录每个射线检测规程的细节。记录的副本应提供给业主备案。记录可以采用文字、图表或二者相结合的方法。每个规程应至少包括 11.1.2.2 和 11.1.2.3 中的项目。

##### 11.1.2.2 射线照相检测

射线照相检测规程至少应包括下列各项:

- a) 射线源——射线源类型、有效射线源或焦点尺寸, 以及 X 射线设备的额定电压。
- b) 增感屏——增感屏类型及位置; 如使用铅屏, 应规定其厚度。
- c) 胶片——胶片牌号、类型和暗袋中胶片数量; 若采用多次成像技术, 应规定底片的观片方法。
- d) 透照几何条件——应规定采用单壁单影法 (SWE/SWV)、双壁单影法 (DWE/SWV) 或双壁双影法 (DWE/DWV), 确定焦距, 规定胶片、焊缝、射线源、像质计, 搭接处或其他标志的相对位置, 规定透照一个焊口所需的曝光次数。
- e) 曝光量——使用毫安分 (mA·min) 或居里分 (Ci·min), 规定 X 射线的管电压、管电流及曝光时间。
- f) 处理过程——使用自动洗片或手工洗片, 规定显影时间、温度、停显或漂洗、定影、水洗时间以及干燥细节等。
- g) 材料——规程适用的材料类型及厚度范围。



- h) 像质计——对于孔型像质剂应规定类型、材质、编号、基孔，以及垫片的材料和厚度；对于线型像质剂应规定材料种类、编号以及必要的钢丝直径。
- i) 隔热屏——规定材料、厚度，以及从隔热屏的胶片侧道到管子的表面距离。

### 11.1.2.3 其他成像介质

检测规程至少包括下列各项：

- a) 射线源——射线源类型、有效射线源或焦点尺寸，以及 X 射线设备的额定电压。
- b) 所用的图像采集系统。
- c) 所用的图像处理系统。
- d) 所用的观像系统。
- e) 所用的图像存贮系统。
- f) 透照几何条件——应规定采用单壁单影法 (SWE/SWV)、双壁单影法 (DWE/SWV) 或双壁双影法 (DWE/DWV)，确定焦距，规定胶片、焊缝、射线源、像质计，搭接处或其他标志的相对位置，规定透照一个焊口所需的曝光次数。
- g) 曝光量——使用毫安分 (mA · min) 或居里分 (Ci · min)，规定 X 射线电压或输入电压及电流，以及曝光时间。
- h) 材料——规程适用的材料类型及厚度范围。
- i) 像质计——对于孔型像质剂应规定类型、材质、编号、基孔，以及垫片的材料和厚度；对于线型像质剂应规定材料种类、编号以及必要的钢丝直径。
- j) 隔热屏——规定材料、厚度，以及从隔热屏的胶片侧道到管子表面距离。

### 11.1.3 透照几何条件

#### 11.1.3.1 射线照相贴片

当射线源位于管中心时，一个完整焊口的检测只需一次曝光 (单壁单影法 SWE/SWV)。

当射线源位于管外，距焊缝表面不超过 13mm 时，一个完整焊口的检测，应至少进行三次相隔 120° 的曝光 (双壁单影法 DWE/SWV)。

当射线源位于管外，距焊缝表面大于 13mm 时，一个完整焊口的检测，应至少进行四次相隔 90° 的曝光 (双壁单影法 DWE/SWV)。

当管径小于或等于 89mm 时，可采用双壁双影法 (DWE/DWV)。采用这种方法时，应使射线束偏斜，使得靠射线源一侧和靠底片一侧的焊缝在底片评定区内不重叠。一个完整焊口检测应至少做两次间隔 90° 的曝光。当射线源一侧和靠底片一侧的焊缝在底片评定区内重叠时，一个完整焊口检测应至少做三次间隔 60° 的曝光。

当射线检测管径更小和壁厚较厚的管时，应增加曝光次数，以减少底片上焊缝图像在边缘上的畸变。

射线源或焦点与射线源一侧管表面之间的最小距离应按以下公式确定 (采用恒定的计量单位)：

$$D = St/k$$

式中：

$D$ ——射线源或焦点与射线源一侧管表面之间的最小距离；

$S$ ——有效射线源或焦点的尺寸；

$t$ ——焊缝高度，包括余高和胶片到胶片侧焊缝表面的距离；

$k$ ——与几何尺寸有关的参数。

当采用单壁单影法 (SWE/SWV) 和双壁单影法 (DWE/SWV) 时， $t$  为单一壁厚与焊缝余高的和；当采用双壁双影法 (DWE/DWV) 时， $t$  为焊口焊缝外径尺寸 (即管外径加上两倍的焊缝平均余高)，见表 5。

表 5 焊缝高度的计算

探 伤 方 法	t 值计算公式
单壁单影	t = 壁厚 + 焊缝余高
双壁单影	t = 壁厚 + 焊缝余高
双壁双影	t = 管外径 + 2 × 焊缝余高

当透照厚度小于或等于 50.8mm 时，一般 k 为 0.5mm，但应达到规定的像质计灵敏度。

11.1.3.2 其他成像介质

透照几何条件的基本原则：影像是否能达到所规定的像质计灵敏度。另外，要考虑运动引起的清晰度损失。对于运动过程中的成像，应用对全部焊缝进行射线检测期间使用的最大扫描速度来评价透照几何条件。

11.1.4 像质计类型

孔型像质计应符合 ASTM E1025 或本标准规定的像质计（如图 21 所示）。线形像质计符合 JB/T 7902 或 ASTM E747 的规定，业主应规定采用的类型。像质计应使用与被检材料类似的材料制作。

11.1.5 像质计型号选择

11.1.5.1 孔型像质计

应根据管壁厚或焊缝厚度选用像质计的最大厚度和像质计的编号。对于 ASTM E1025 如表 6 中所示，对于本标准图 21 像质计如表 7 中所示。如果根据焊缝厚度选择像质计，则应在该像质计下放

表 6 管壁厚与 ASTM E1025 规定的像质计厚度的对比

管壁厚或焊缝厚度		最大像质计厚度		编号
in	mm	in	mm	
0~1/4	0~6.35	0.0125	0.317	12
>1/4~3/8	>6.35~9.52	0.015	0.381	15
>3/8~1/2	>9.52~12.70	0.0175	0.444	17
>1/2~3/4	>12.70~19.05	0.020	0.508	20
>3/4~1	>19.05~25.40	0.025	0.635	25
>1~2	>25.40~50.80	0.030	0.762	30

表 7 管壁厚与像质计厚度的对比

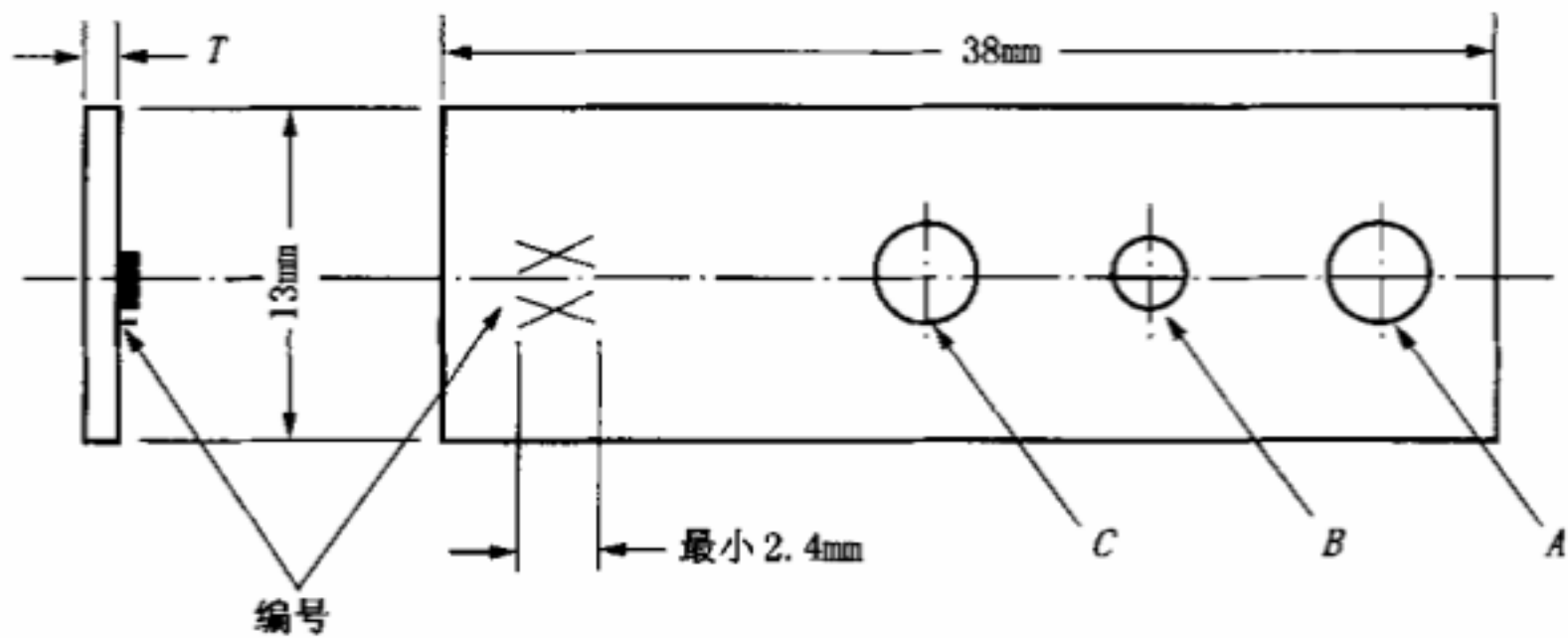
管壁厚或焊缝厚度		最大像质计厚度		编号
in	mm	in	mm	
0~1/4	0~6.35	0.005	0.127	5
>1/4~3/8	>6.35~9.52	0.0075	0.19	7
>3/8~1/2	>9.52~12.70	0.010	0.254	10
>1/2~5/8	>12.70~15.88	0.0125	0.317	12
>5/8~3/4	>15.88~19.05	0.015	0.381	15
>5/8~7/8	>19.05~22.22	0.0175	0.444	17
>7/8~1	>22.22~25.40	0.020	0.508	20
>1~1.25	>25.40~31.75	0.025	0.635	25
>1.25~1.50	>31.75~38.10	0.030	0.762	30
>1.50~2	>38.10~50.80	0.035	0.889	35

置垫片，垫片材料应与管材相近，厚度应等于平均焊缝余高。如果根据管的壁厚选择像质计，则不需加垫片。根据探伤单位的要求，如果已经达到规定的射线探伤灵敏度，则可采用比上述规定薄的孔型像质计。

像质计的轮廓、编号及基孔都应在射线底片上清晰地显示出来。ASTM E1025 和图 21 所示的像质计基孔为  $2T$ ，对图 21 的像质计， $2T$  孔不应小于 1.6mm 的直径。

11.1.5.2 线型像质计

对于 ASTM E747 线型像质计应如表 8 中所示或符合 JB/T 7902 的要求，应根据焊缝的厚度选用相应线径的像质计。根据检测单位的要求，如果已经达到规定的射线探伤灵敏度，则可以采用比上述规定小些的线型像质计。线型像质计的编号和 ASTM 设定字母都应在射线底片上清楚地显示出来。规定线径的图像也应清晰地显示出来。



- 注 1：孔应圆，钻孔应和表面垂直。孔边缘铁屑应清理干净，但不得损坏边缘。
- 注 2：每个像质计应带一个铅字。
- 注 3：像质计厚度和孔直径公差  $\pm 10\%$  或两个像质计壁厚差的  $1/2$  中较小者。
- 注 4： $T$  = 像质计厚度；直径  $A = 2T$ ；直径  $C = 4T$ 。
- 注 5：直径  $B = T$  或 1.6mm 中的较大者。

图 21 API 像质计

表 8 管壁厚与 ASTM E747 规定的线型像质计线径的对比

管壁厚或焊缝厚		要求的线径		ASTM 要求放置 的字母
in	mm	in	mm	
0~1/4	0~6.35	0.008	0.20	A
>1/4~3/8	>6.35~9.52	0.010	0.25	A 或 B
>3/8~1/2	>9.52~12.70	0.013	0.33	B
>1/2~3/4	>12.70~19.05	0.016	0.41	B
>3/4~1	>19.05~25.40	0.020	0.51	B
>1~2	>25.40~50.80	0.025	0.64	B

11.1.6 像质计的位置

11.1.6.1 射线照相

像质计的放置应贴紧管道焊缝。

- a) 孔型像质计——当使用管内射线源对整个焊口进行检测时，在整个圆周近似等距的位置应放置至少 4 个平行于焊缝的像质计。当采用双壁双影法 (DWE/DWV) 使用孔型像质计时，应



在射线源侧放置一个像质计，且靠近焊缝，但其影像不得与焊缝图像重叠。当采用 DWE/SWV 或 SWE/SWV 多次曝光法时，若有效评片长度大于 130mm，应在胶片侧放置两个平行于焊缝的像质计，其中一个应放置在距有效底片区端部 25mm 以内；若有效评片长度等于或小于 130mm，应在胶片侧胶片中心位置放置 1 个平行于焊缝的像质计。对返修焊缝进行射线检测时，应在每个返修区至少放置一个像质计。

- b) 线型像质计——线型像质计应横跨焊缝且垂直于焊缝长度方向放置，另外线型像质计放置的数量及位置与孔型像质计相同。
- c) 隔热屏：如果在工程射线检测之前已证明此种像质计放置合格，则可以放置在隔热屏上而不放在管件的焊缝上。

#### 11.1.6.2 其他成像介质

对于非胶片成像的其他射线检测方法，像质计放置的位置应按 11.1.6.1 执行。像质计可以放置在管表面上或放在管表面和成像介质之间有支撑的位置，成像介质装在夹具上或扫描装置上。

#### 11.1.7 工程射线检测

只有 II 级或 III 级资格的射线检测人员可以对工程焊缝的射线图像进行评定。除非业主要求报告所有观察到的缺欠，否则评定人员应报告观察到的所有不合格缺欠（即缺陷）。评定人员应按照第 9 章要求对焊口做出评定结论。业主应决定对焊口的最终处理。

#### 11.1.8 图像标记

应用铅号、铅字母、标识或其他方法进行标记，以便迅速和准确地识别良好焊缝和有缺陷的焊缝。业主可以规定所采用的标记方法。

当环焊缝采用多次曝光成像时，相邻图像应有重叠，每个图像均应有标记，并不得漏检任何一段焊缝。

#### 11.1.9 胶片及其他成像介质的储存

##### 11.1.9.1 胶片

所有未透照的胶片应储存在对感光乳胶膜无损害的清洁、干燥的地方。对储存条件有疑问时，应对每盒胶片的开头一张和最后一张，或从每一原卷胶片上取下等于周长的一段进行灰雾度试验。如果被检查的胶片灰雾度超标，则被检胶片所在的整盒或整卷胶片应报废。如经过第二次试验证明盒中或卷内剩余的胶片没有受到感光，则可继续使用。灰雾度标准为透明基胶片黑度不超过 0.3，不透明基胶片的反射黑度不超过 0.05。

##### 11.1.9.2 其他成像介质

其他成像介质的储存应严格执行生产厂家的规定。

#### 11.1.10 底片黑度

##### 11.1.10.1 底片黑度

除了局部小面积是由于不规则焊缝形状而造成的之外，焊缝部分的透明基底片黑度应不小于 1.8 也不应大于 4.0。不透明基底片的反射黑度应不小于 0.5 也不应大于 1.5。通过局部小面积的投射黑度可以超过这些限定值；但最小黑度不应低于 1.5，而最大黑度不应超过 4.2；反射黑度不应低于 0.25，不超过 1.8。

##### 11.1.10.2 底片观察设备

底片观察设备（光源）应具有可变的高强度形式并且应能够在 11.1.10.1 中规定的范围内观察底片黑度。它应配备有防止光线进入的设备，以防止来自于外部射线或低密度射线的光干扰试验结果。

##### 11.1.10.3 底片观察设施

观察设施应提供柔和亮度的背景光，以防止 X 光照片上的反射、盲区和眩目。

#### 11.1.11 后期处理

当业主有要求时，保存的图像应至少三年后仍达到评定要求。



#### 11.1.12 暗室或图像处理室

加工处理胶片或射线图像的房间及设施应保持清洁。

#### 11.1.13 辐射防护

射线检测操作人员应负责防护和监督使用或接近辐射源的每个人。防护和监督应符合政府的有关规定。

#### 11.2 磁粉检测方法

当业主规定使用磁粉检测时，应制定详细的书面磁粉检测规程，并应符合 ASTM E709 的要求。在进行产品的性能试验之前，业主和进行无损探伤的单位应就有关磁粉探伤的规程或方法进行协商。

业主应要求该单位证明此种推荐的方法将会得到满意的结果，并且要求该单位使用这种方法进行磁粉探伤工作。

#### 11.3 液体渗透检测方法

当业主规定使用液体渗透检测方法时，应制定详细的液体渗透检测规程，并应符合 ASTM E165 的要求。在检测前，液体渗透检测规程应经业主同意。

业主应要求该单位证明此种推荐的方法将会得到满意的结果，并且要求该单位使用这种方法进行渗透探伤工作。在检测前，渗透检测规程应经业主同意。

#### 11.4 超声波检测方法

##### 11.4.1 总则

如果业主规定采用超声波检测方法检查新的或在役的环焊接头，应执行本节规定。应建立和记录每个详细的超声检测工艺。业主有权选择是否使用超声检测方法和它的使用范围。在实施检测前，业主和无损检测承包商应都同意该超声检测规程。

业主应要求无损检测承包商演示其推荐的超声检测规程，以证明其检测结果满足要求，并要求其在检测工作中执行该规程。

应用超声波检测方法检测在役的焊接接头时，应注意母材和表面缺陷对超声检测结果的干扰。

需进行超声波检测的母材和焊缝表面都应没有防腐层。对新建工程，在管子涂敷前，应在管端预留必要长度的光管，该段部分的焊缝余高应打磨至和母材平齐，以便进行超声检测。

##### 11.4.2 规程内容

###### 11.4.2.1 总则

应记录所有超声检测规程的细节，并给业主一份记录拷贝，作为业主的留档。记录应以书面和记录纸两种方式保存。每个规程应至少包括 11.4.2.2 中规定的项目。

###### 11.4.2.2 超声检测规程

焊缝超声检测规程应至少包括以下项目：

- a) 被检的焊缝型式、接头准备尺寸和焊接工艺。
- b) 管材类型（如管材尺寸、钢级、制造方法）。
- c) 检测表面的条件和准备。
- d) 超声检测的验证时间范围。
- e) 超声检测设备/系统和探头（如制造商、类型、尺寸等）。
- f) 自动检测或人工检测。
- g) 耦合剂。
- h) 检测技术参数：
  - 1) 角度。
  - 2) 频率（MHz）。
  - 3) 温度和范围。
  - 4) 扫查方法和扫查速度。

- 5) 距离波幅曲线和参照缺陷位置坐标 (如面、根部和环缝位置)。
- i) 参考标准试件——用实际材料制作的试件的示意图应详细标明所有缺陷的平面和立体尺寸。
- j) 校准要求——检测仪或系统要求的校准间隔时间, 在焊缝检测前的调校程序, 包括所用的所有的标准试块, 使用的参考缺陷, 参考的评定线 (如 DAC 或 TCG), 以及设定的校准间隔时间。
- k) 扫查灵敏度值——扫查灵敏度是在参考灵敏度基础上增加的分贝值。
- l) 评定灵敏度值——评定过程要求的在扫查过程中发现的反射波高度或水平值, 以及在对缺陷进行验收的评定前做的任何灵敏度的调整。
- m) 结果记录——记录的形式 (如画图、热敏打印、或磁盘记录等) 和是否记录所有的缺陷, 还是只记录判废的缺陷。
- n) 超声检测报告——提供一个正规的超声检测报告。

#### 11.4.3 超声检测人员资格要求

应由无损检测超声Ⅲ级人员制定检测方法, 并编制和批准检测规程。只有取得Ⅱ级或Ⅲ级资质的人员才能调校设备和评判结果。无损检测超声Ⅱ级或Ⅲ级人员应根据标准执行超声检测操作和评判结果并出具报告。超声检测人员应根据经过评定的检测规程 (见 11.4.4) 进行超声检测。负责检测的人员应能够根据 9.6 列出的验收标准评判环型对接焊缝的检测结论。

业主在任何情况下有权要求检测人员证明其有执行经过评定的检测规程的能力。

#### 11.4.4 超声检测规程的评定

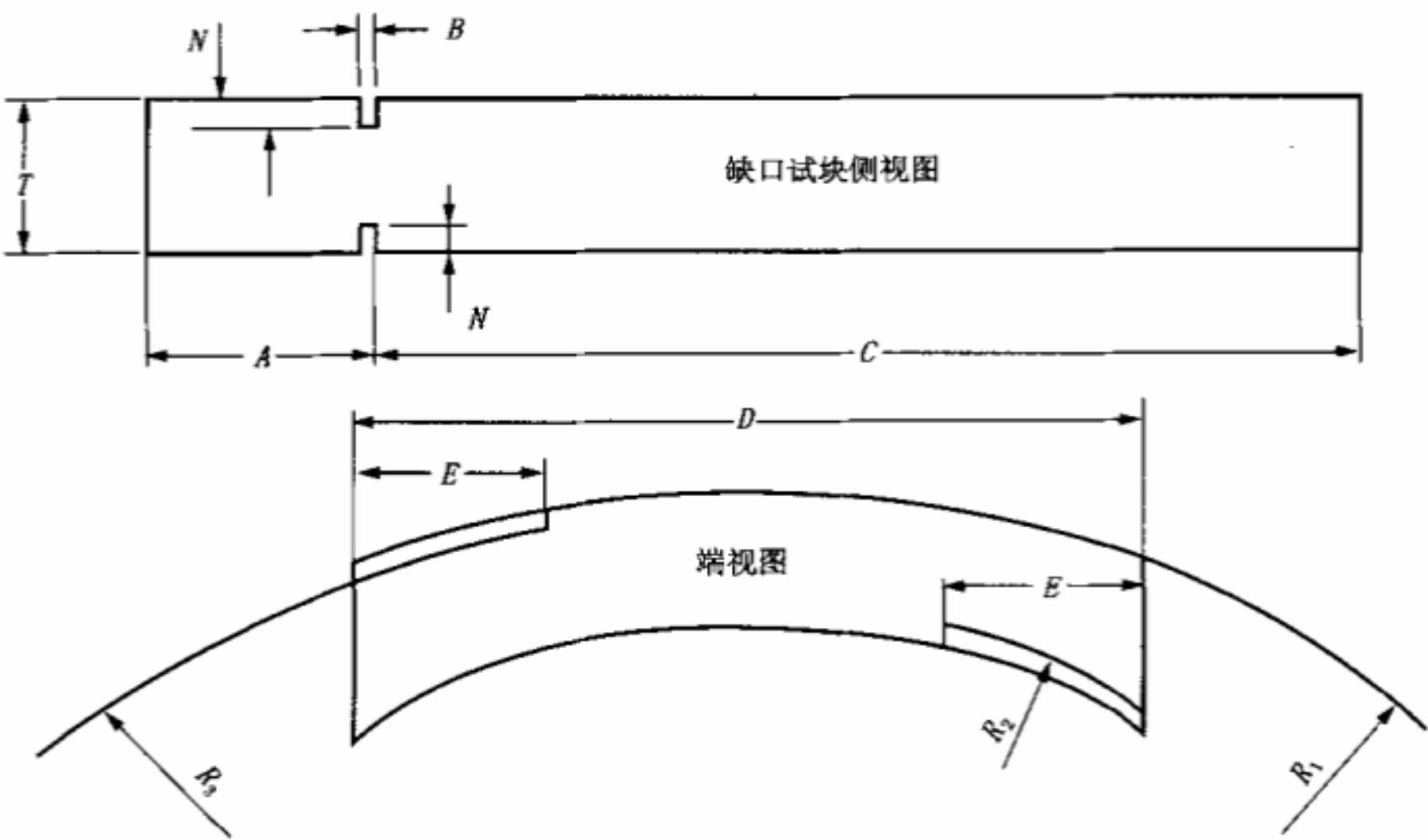
在签字同意前, 业主应要求检测承包商演示其超声检测系统和其制定的检测规程。在实际检测前, 应有书面的检测规程评定报告和评定结论。

评定的程序应包括以下内容:

- a) 带有不合格缺陷以及合格缺陷的实际焊缝试件 (每种评定合格的焊接工艺至少两个试件)。可使用焊工资格考试的试件。
- b) 试件应经过射线检测并有书面的检测报告。
- c) 在允许的温度范围内, 对试件按照规程进行超声检测, 写出检测报告, 并和射线检测报告对比。
- d) 应报告两个检测结果的差异 (应注明超声检测和射线检测的可探性差别和评判差别)。如果业主要求, 可对试件进行破坏性检验以验证结果。
- e) 将超声检测规程应用于实际工程焊缝检测时, 应根据以下条件限制来确定是否采用超声检测方法:
  - 1) 环向位置。
  - 2) 长度尺寸。
  - 3) 缺陷的埋深。
  - 4) 在检测实验中要求的缺陷轴向位置 (焊缝横断面)。另外, 该规程应能按照 9.6 和 11.4.7 的验收标准准确判定焊缝的合格与否。

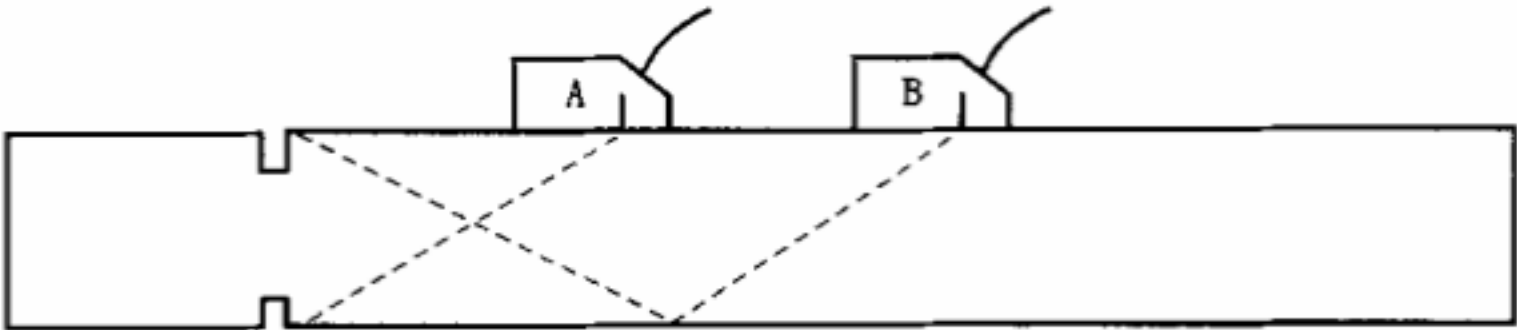
#### 11.4.5 API 灵敏度对比试块

手工超声波检测的灵敏度应根据带 N10 刻槽的实际管试块确定, 并且应根据所探管材样本试件上的 N10 槽确定。所取点数至少为三点 (即距离修正增益 DAC 或时间修正增益 TCG 为基准), 该参照标准来自被检管道标准缺口试样 N10 [见图 22a) 和图 22b)]。最高的 DAC/TCG 波高应不超过满屏高度的 80%。该对比试块应能确定超声波的实际声速、折射角和声程。当焊接不同化学成分、不同壁厚、不同直径或不同管子生产厂家的钢管时, 需要确定声速和折射角。可采用图 22c) 所示的两个相同角度和频率的探头来确定声速和折射角。当发现声速、折射角或声程有不同时, 应用不同的管材制作对比试块。



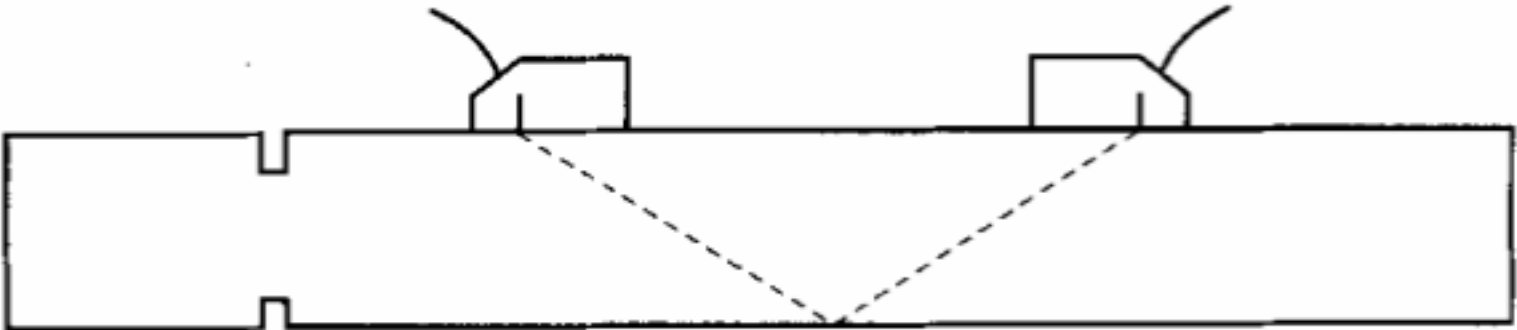
尺寸：  
T—公称管壁厚度；N—缺口深工 = 10%T 加上或减去 10% 缺口深度；  
A—50mm (2in) 最小长度；B—3.2mm (0.125in) 最大缺口宽度；  
C—11.35T 加上 50mm (2in) 最小长度；D—80mm (3.1in) 最小宽度；  
E—25mm (1in) 最小缺口长度；R<sub>1</sub>—外侧管半径；  
R<sub>2</sub>—内侧缺口半径 = R<sub>1</sub> 减去 0.9T；R<sub>3</sub>—外侧缺口半径 = R<sub>1</sub> 减去 0.10T

a) 人工超声波检测参考试块



注：A 位带有传感器，将来自内缺口的回波增到最大值（峰值），并将幅度调至少全屏高度的 80%。测量从内侧缺口到传感器出口点的表面距离。表面距离除以测得的壁厚度等于折射角切线。  
使传感器和外部切口成一直线固定，使用双倍距离使内缺口（B 位）达到峰值。检查外侧缺口回波峰值是否在或接近零宽度读数。这将确定折射角和速度设定值是足够精确的。

b) 确定距离、折射角及速度



注：使用两个等同角度和频率的传感器，一个用于发送，而另一个用于接收。将接收到的回波增到最大值（峰值）。测量传感器出口点之间的表面距离。1/2 的表面距离除以测得的壁厚等于折射角切线。在不改变仪表设定值的情况下，在未知速度、折射角以及衰减值的管道上重复此过程，以确定任何差值。

c) 转换程序

图 22 API 灵敏度对比试块



当采用自动超声检测方法或采用手工超声检测方法且业主有特殊要求时,应在带 N10 刻槽的管件对比试块上增加平底孔(具体试块按 SY/T 0327 的要求),该试块用于调校反射波高度。平底孔的直径应约等于每层焊道的高度。相对于焊接工艺规定的接头装配尺寸,每个平底孔的反射面的角度和位置应该相同。平底孔应制作在焊缝的中心线上,底面和焊缝垂直轴线垂直。所有平底孔是分开的,以保证在一个探测位置上不能同时存在两个反射波。

当检测在役管道时,应采用与被检管道相同钢级、壁厚和直径的管件来制作对比试块。应用适当的方法来确定实际声程、实际折射角度和在被检材料中声波的衰减。确定时应使用具有相同入射角度和频率的探头[见图 22c)]。

#### 11.4.6 管材的超声波检测

在对接环焊缝焊接完成后,使用超声波检测前,应用多次回波法对焊缝两侧管材进行超声波检测(最小距离 =  $1.25 \times$  使用的最长的表面扫查距离)。应注明所有的缺陷回波的分贝值(包括至焊缝边缘的距离和位置),并记录在检验报告上。

#### 11.4.7 扫查和评定

##### 11.4.7.1 管材的超声波检测

管材的手工超声波检测应利用标准试块的多次回波进行[图 22a)],并且调整到不少于满屏高度的 80%。

管材的自动超声波检测应使用与手工超声波检测同样的校核方法和评定线,或采用能够证实与手工超声多次回波检测相比,相同或更好的其他的检测技术。

##### 11.4.7.2 焊缝的手工超声波检测

手工超声波检测焊缝采用的扫描灵敏度应为 DAC/TCG 参照灵敏度(根据对比试块作出的评定线)加最少 6dB。超过评定线屏高 50%的反射波都应被评估。

手工超声波检测焊缝的评定灵敏度应为 DAC/TCG 评定线加 6dB,所有达到 50%屏高的 DAC/TCG 反射波都用该灵敏度评估。

在确定参照灵敏度,扫描灵敏度,评定灵敏度和评估门槛值以后,应对这些值进行评定,并编制最终检测规程和评定报告。

##### 11.4.7.3 焊缝的自动超声波检测

当使用脉冲反射技术的自动超声波检测焊缝时,扫描灵敏度应该为参照灵敏度高度的 80%加上 4dB。评估灵敏度应该同扫描灵敏度相同。

当使用自动脉冲反射技术时,判定线的屏高(门槛记录)应该为满屏高度的 40%。

若证明同脉冲反射技术具有相同的或更好的发现、评估焊缝缺陷能力时,其他自动检测技术、参照反射体(参考缺陷)、反射灵敏度、扫描灵敏度、评估灵敏度和评估门槛值也可以使用。

#### 11.4.8 工程超声波检测

除非业主要求报告所有观察到的缺陷(超过或没有超过评估标准的),否则超声检测人员应报告所有观察到的超出评估标准的缺陷。

业主有权确定焊缝的最终处理方法。

#### 11.4.9 需记录在案缺欠的标记

焊缝的超声波检测报告应记录所有缺陷所在的焊口号,详细位置,长度,距外表面深度,以及缺陷的类型(线型、横向型或体积型)。

## 12 有填充金属的自动焊接

### 12.1 适用的焊接方法

自动焊接应至少采用以下一种焊接方法:

a) 埋弧焊。



- b) 熔化极气体保护焊。
- c) 非熔化极气体保护焊。
- d) 自保护或气保护药芯焊丝电弧焊。
- e) 等离子弧焊。

## 12.2 工艺评定

在焊接生产开始之前,应制定详细的焊接工艺指导书,并对此焊接工艺进行评定。工艺评定的目的在于验证用此工艺能否得到具有合格力学性能(如强度、塑性和硬度)的完好焊接接头。

应按照焊接工艺指导书焊接两根整管或两个管段。应采用无损检测和破坏性试验检验焊接接头的质量和性能。无损检测应符合第9章的要求,破坏性试验应符合5.6的要求。应依据评定合格的焊接工艺编制焊接工艺规程。

除了业主特别通知12.5中所列的基本要素外,应遵守评定合格的焊接工艺规程。

## 12.3 记录

应对评定的焊接工艺的各项细节进行详细的记录,并应记录焊接工艺评定试验的各项结果。应采用类似于图1和图2的表格进行记录。在该焊接工艺使用期间内应妥善保存这些记录。

## 12.4 工艺规程

### 12.4.1 概述

焊接工艺规程应包括12.4.2规定的正确操作、维护、调试焊接设备的各项内容。

### 12.4.2 规程内容

#### 12.4.2.1 焊接方法

应指明焊接方法或它们的任何组合。

#### 12.4.2.2 管子及管件材料

应指明适用的管子材料和管件材料。

适用的管子和管件材料分组见5.4.2.2,评定试验应选择该组材料中具有最高规定屈服强度的材料进行。

#### 12.4.2.3 直径

应确定焊接工艺规程适用的直径范围。

#### 12.4.2.4 壁厚范围、焊道顺序及焊道数

应指明适用的管壁厚范围、对应壁厚的焊层数及各焊层使用的设备。

#### 12.4.2.5 接头设计

应画出接头的简图和坡口型式(如V型或U型)。简图应指明坡口角度、钝边尺寸和根部间隙。填角焊缝应指明形状和尺寸;如使用垫板时,还需指明其形式及材质。

#### 12.4.2.6 填充金属

应指明填充金属的种类和规格。

#### 12.4.2.7 电特性

应指明电流种类和极性,规定使用焊条或焊丝的电弧电压和焊接电流值的范围。

#### 12.4.2.8 焊接位置

应指明是旋转焊或是固定焊。固定焊应指明水平固定(5G)、垂直固定(2G)和斜固定(6G)。6G位可替代5G位和2G位,其他不可相互替代。

#### 12.4.2.9 焊接方向

应指明是上向焊或是下向焊,它只适用于固定焊。

#### 12.4.2.10 焊道之间的时间间隔

应规定完成根焊道之后至开始第二焊道之间的最长时间间隔。

**12.4.2.11 对口器的类型**

应规定是否使用对口器，使用内对口器或外对口器。

**12.4.2.12 清理**

应指明要求的接头或层间的清理方法。

**12.4.2.13 预热**

应规定预热的方法和宽度、开始焊接时的最低温度，以及需预热的环境温度的范围。

**12.4.2.14 焊后热处理**

应规定焊后热处理的方法、宽度、最低和最高温度、保温时间及控制温度方法。

**12.4.2.15 保护气体及流量**

应规定保护气体的成分及流量范围。

**12.4.2.16 保护焊剂**

应规定保护焊剂的类型；如可能，应指明型号或牌号。

**12.4.2.17 焊接速度**

应规定各焊道的焊接速度范围。

**12.4.2.18 其他参数**

应规定所有保证正确操作和焊接质量的其他参数，它们包括埋弧焊机头的位置和角度，导电嘴与工件的距离，以及电弧摆动的宽度和频率。

**12.4.2.19 层间温度**

应规定焊接时焊道（层）之间的温度范围。

**12.5 焊接工艺规程的变更****12.5.1 概述**

当焊接工艺规程有 12.5.2 中规定的基本要素变更时，应对焊接工艺重新评定。当焊接工艺规程有 12.5.2 中规定的基本要素以外的变更时，应修订焊接工艺规程，但不必对焊接工艺重新评定。

**12.5.2 基本要素****12.5.2.1 焊接方法**

焊接工艺规程中焊接方法的变更。

**12.5.2.2 管材**

焊接工艺规程中管材组别的变更。

本标准将所有碳钢及低合金钢进行以下分组：

- a) 规定最小屈服强度小于或等于 290MPa。
- b) 规定最小屈服强度高于 290MPa，但小于 448MPa。
- c) 对最小屈服强度为 448MPa 或高于此值的各级碳钢及低合金钢均应进行单独的评定试验。

注：12.5.2.2 中的分组并不表示上述每组中所有的管材可任意代用已做过焊接工艺评定的管材或填充材料，还应考虑管材和填充金属在冶金特性、力学性能以及对预热和焊后热处理的要求的不同。

**12.5.2.3 接头设计**

接头设计的重大变更（如 V 型坡口改为 U 型坡口或反之），或坡口角度、间隙及钝边的变更超过规定的范围。

**12.5.2.4 壁厚**

壁厚变化超过规定的范围。

**12.5.2.5 管径**

管径变化超过规定的范围。

**12.5.2.6 填充金属**

填充金属的下列变更：

a) 从一组填充金属到另一组填充金属 (见表 1)。

b) 对于规定最小屈服强度大于或等于 448MPa 的管材 (见 5.4.2.2), 填充金属型号的变更。

可以在 12.5.2.2a) 和 b) 中规定的分组内变更填充金属, 但应从力学性能的角度保持母材和填充金属的一致性。

#### 12.5.2.7 填充焊丝尺寸

填充焊丝尺寸的变化。

#### 12.5.2.8 焊道之间时间间隔

完成根焊至开始第二层焊道之间允许最大时间间隔的增加。

#### 12.5.2.9 焊接方向

从下向焊改为上向焊, 或者反之。

#### 12.5.2.10 保护气体和流量

一种气体换成另一种气体, 或一种混合气体换成另一种混合气体, 或保护气体流量范围较大地增加或减少。

#### 12.5.2.11 保护焊剂

保护焊剂的变更参照表 1 中的注。

#### 12.5.2.12 焊接速度

焊接速度范围的变更。

#### 12.5.2.13 预热和焊后热处理

预热和焊后热处理的变更。

#### 12.5.2.14 电特性

电特性的变更。

#### 12.5.2.15 压缩喷嘴孔径的变更或气体成分的变更

对于等离子电弧焊, 压缩喷嘴孔径的变更或气体成分的变更。

### 12.6 焊接设备和操作人员的审定

每台焊接设备和每个操作人员应使用焊接工艺规程焊接一合格焊缝。对该焊缝应采用破坏性试验、无损检测或同时采用前述两种方法进行检验。该焊缝应符合 6.4~6.7 的要求。在焊接生产前, 操作人员应进行培训并熟悉所使用的设备。对于型号相同的焊接设备, 无论是新购置还是替换的, 可通过对工程焊缝的无损检测方法进行审定。如果焊接设备要求多人同时操作, 则每个操作人员应在该设备上分别审定。

### 12.7 记录

应使用类似图 2 所示的表格 (该表格可进行修改以适合不同业主的要求, 但其记录内容应满足本标准对操作人员审定考试的要求), 对每个操作人员的试验和每次试验的详细结果进行记录。

合格操作人员的名单和考试使用的焊接工艺规程应存档。如果对某个操作人员的能力有疑问时, 可要求他重新进行资格考试。

### 12.8 焊缝的检查和试验

应按照第 8 章的要求对工程焊缝进行检查和试验。

### 12.9 无损检测验收标准

无损检测验收标准应符合第 9 章的规定或业主所选其他相关标准的要求。

### 12.10 缺陷的清除和返修

缺陷的清除和返修应符合第 10 章的规定。

### 12.11 射线检测

射线检测应符合 11.1 的规定。



13 无填充金属的自动焊接

13.1 适用的焊接方法

无填充金属的自动焊接方法是指闪光对焊。

13.2 工艺评定

13.2.1 工艺规程

在焊接生产开始之前，应制定详细的焊接工艺指导书，并对此焊接工艺进行评定。工艺评定的目的在于验证用此工艺能否得到具有合格力学性能（如强度、塑性和硬度）的完好焊接接头。

应按照焊接工艺指导书至少焊接两道两根整管或两个管段。应采用无损检测和破坏性试验检验焊接接头的质量和性能，无损检测应符合 13.9 的要求，破坏性试验应符合 13.2.3 的要求。

除了业主特别通知变更 13.5 中所列的基本要素外，应遵守评定合格的焊接工艺规程。

13.2.2 射线检测（力学性能试验前进行）

在进行力学性能试验之前应对每个需要评定的焊缝进行射线检测，检测结果应符合 13.9 的要求。

13.2.3 对接焊缝的力学性能试验

13.2.3.1 概述

试样取样应按图 23、图 24 及图 25 所示从试验焊件上截取，试样的最少数量及试验项目见表 9，试样的制备和试验如 13.2.3.2~13.2.3.4 所述。

表 9 闪光对焊焊接工艺评定试验的试样类别及数量

管子外径 mm	试样类别及数量				
	拉伸	刻槽锤断试件		侧弯	总计
		50mm	标准		
>457~610	4	16	0	4	24
>610~762	4	24	0	4	32
>762	4	32	0	4	40

13.2.3.2 拉伸试验

13.2.3.2.1 准备：拉伸试样应按 5.6.2.1 准备。

13.2.3.2.2 方法：拉伸试样应按照 5.6.2.2 进行试验。

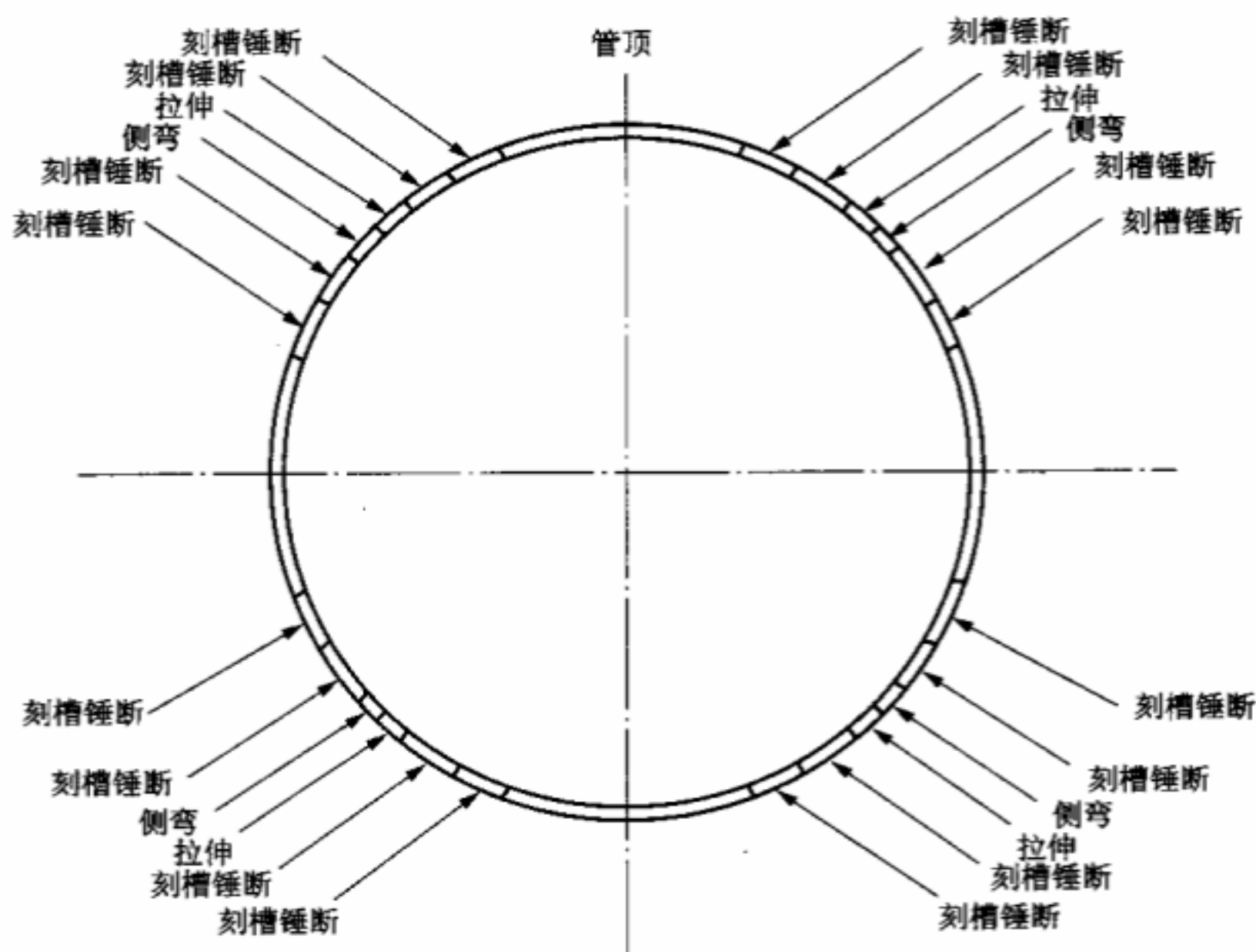
13.2.3.2.3 要求：焊缝的拉伸强度包括每个试件的熔合区强度，应大于或等于管材的规定最小抗拉强度，而不必大于或等于管材的实际抗拉强度。如果试件断裂在母材上且抗拉强度满足管材的规定最小抗拉强度的要求，那么该焊缝合格。

如果试件断裂在焊缝上或者熔合区，其抗拉强度不小于管材的规定最小抗拉强度，且焊缝符合 13.2.3.3.3 的要求，那么该焊缝合格。

13.2.3.3 刻槽锤断试验

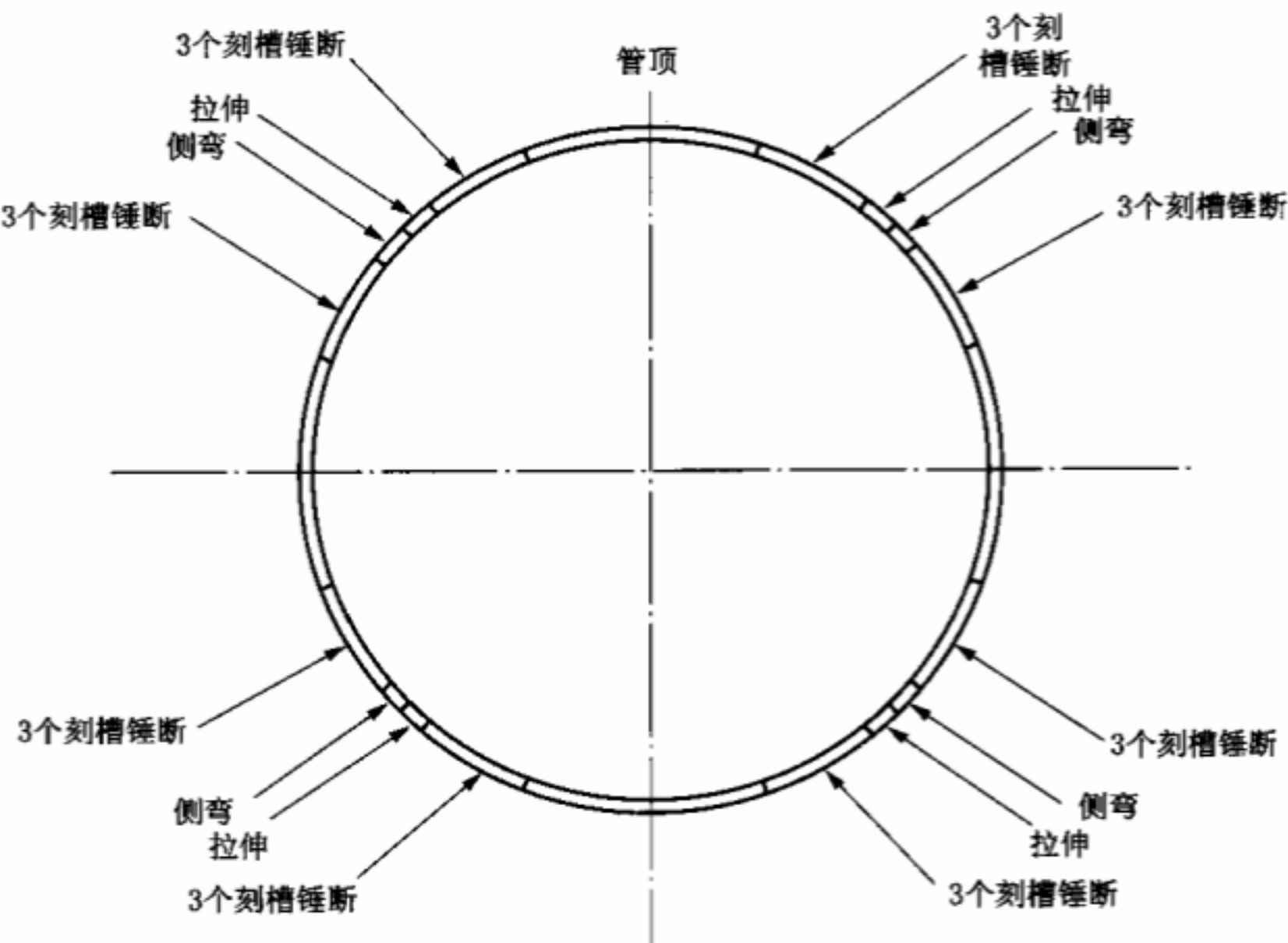
13.2.3.3.1 准备：刻槽锤断试样按照图 26 准备，其数量应符合表 9 的要求。试样侧边焊缝断面处应进行宏观腐蚀，然后沿熔合线用锯刻槽，槽深约为 3.0mm。另外，焊缝正反面余高处也应刻槽，槽深距焊缝表面应不超过 1.6mm。





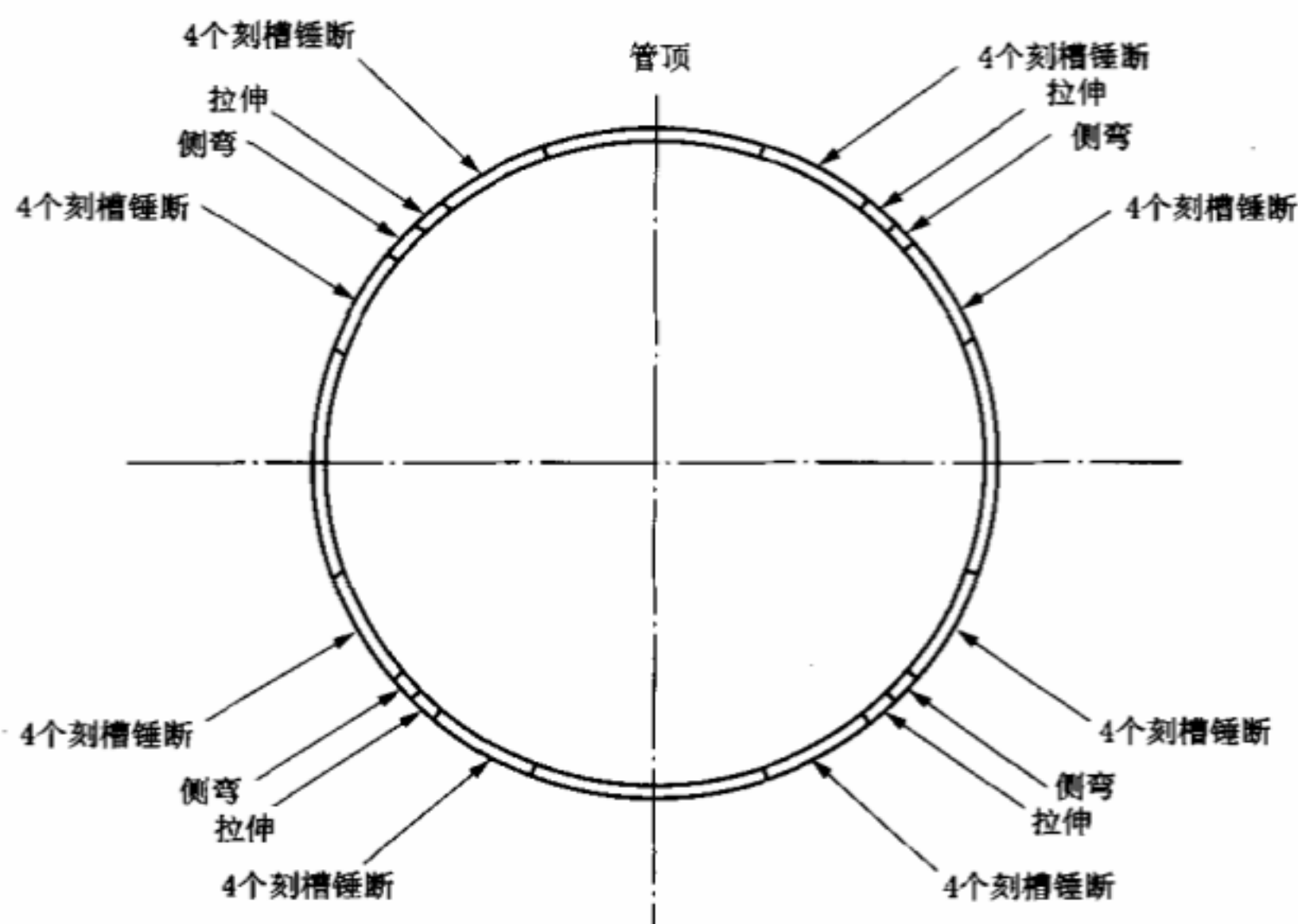
注：所有刻槽锤断试样应符合图 26 的要求

图 23 闪光焊接工艺评定试验的对接接头焊试样的位置：  
外径大于 457mm (18in)，但不大于 610mm (24in)



注：所有刻槽锤断试样应按图 26 的要求。

图 24 闪光焊接工艺评定试验的对接接头焊试样的位置：  
外径大于 610mm (24in)，但不大于 762mm (30in)



注：所有刻槽锤断试样应按图 26 的要求。

图 25 闪光焊接工艺评定试验的对接接头焊试样的位置：  
外径大于 762mm (30in)

13.2.3.3.2 方法：刻槽锤断试样应按 5.6.3.2 进行试验。

13.2.3.3.3 要求：每个刻槽锤断试样的表面应完全焊透和熔合。夹渣在长度或宽度上应不超过 3.0mm，相邻夹渣之间应至少相距 13mm。

#### 13.2.3.4 侧弯试验

13.2.3.4.1 准备：侧弯试样应按 5.6.5.1 准备。

13.2.3.4.2 方法：侧弯试样应按 5.6.5.2 进行试验。

13.2.3.4.3 要求：侧弯试样应符合 5.6.4.3 的规定。

#### 13.3 记录

应对每个焊接工艺评定的各项细节进行详细记录，所需记录的内容至少应包括 13.4 的所有内容。应记录焊接工艺评定实验的各项结果。在该焊接工艺使用期间应妥善保存这些记录。

#### 13.4 工艺规程

焊接工艺规程应包括设备的正确安装、维护和操作在内的各项内容。具体内容如下：

- 焊接方法。
- 管材。
- 壁厚和直径。
- 管端准备和尺寸。
- 焊前准备，包括管口处螺旋焊缝或直焊缝的打磨，以及为改善导电性而进行的管口清理。
- 焊接位置。
- 预热。
- 夹钳电极的检查及清理。
- 焊接电压范围，应被焊接过程监控记录仪记录。
- 焊接电流范围，应被焊接过程监控记录仪记录。

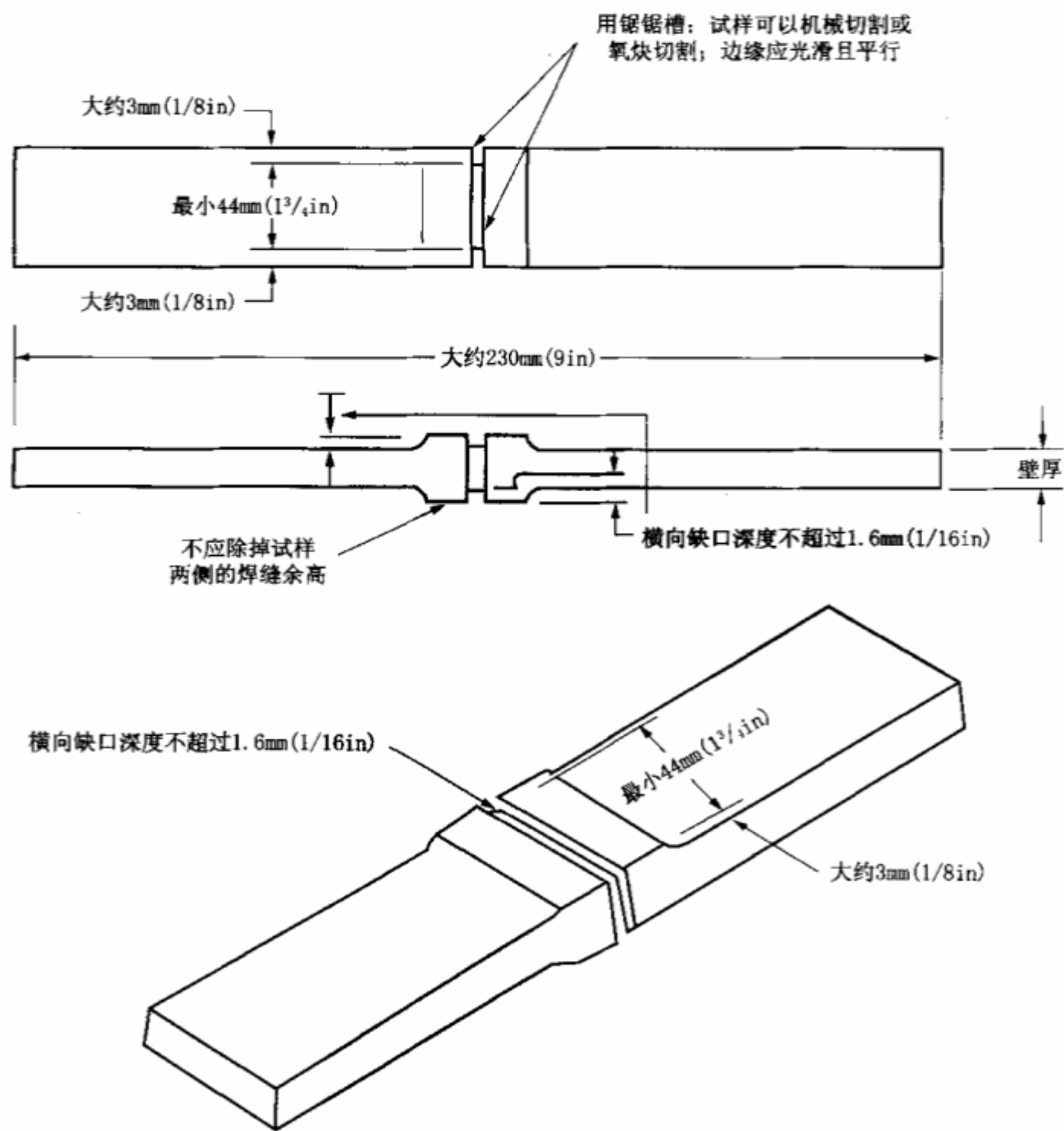


图 26 2in 刻槽锤断试样

- k) 顶锻速度范围，应被焊接过程监控记录仪记录。
- l) 焊接循环内的时间间隔，应被焊接过程监控记录仪记录。
- m) 顶锻压力范围，应被焊接过程监控记录仪记录。
- n) 对口器撤离时间。
- o) 去除内飞边的方法。
- p) 去除外飞边的方法。
- q) 焊后热处理，包括加热时间、最高温度、保温时间、加热的方法以及冷却速度。

### 13.5 焊接工艺规程的变更

#### 13.5.1 概述

当焊接工艺规程有 13.5.2 中规定的基本要素变更时，应对焊接工艺重新评定。当焊接工艺规程有 13.5.2 中规定的基本要素以外的变更时，可以修订焊接工艺规程，但不必对焊接工艺重新评定。

#### 13.5.2 基本要素

基本要素如下：

- a) 管材。
- b) 壁厚和直径。
- c) 管子准备尺寸。
- d) 焊接位置。
- e) 预热。
- f) 焊接电压范围。
- g) 焊接电流范围。
- h) 顶锻速度范围。
- i) 焊接循环中的时间间隔。
- j) 顶锻压力范围。
- k) 焊后热处理要求。

### 13.6 焊接设备和操作人员的审定

应使用评定合格的焊接工艺规程焊接出合格焊缝来评定每台焊接设备和每个操作人员。对该焊缝应采用射线检测和力学性能试验来进行检验，如 13.2 所述。在焊接生产前，操作人员应进行培训并熟悉所使用的设备。

### 13.7 记录

应使用类似图 2 所示的表格（该表格可进行修改以适合不同业主的要求，但其记录内容应满足本标准对操作人员审定考试的要求）。按照 13.6 的要求将每个操作人员的试验和每次试验的详细结果进行记录。

合格操作人员的名单和考试使用的焊接工艺规程应存档。如果对某个操作人员的能力有疑问时，可要求他重新进行资格考试。

### 13.8 工程焊接质量保证

#### 13.8.1 检验权限

业主有权通过无损检测手段、金相试验或力学性能试验或者两者均进行来检查所有焊缝。检验的比率由业主来决定。

#### 13.8.2 焊接过程监控记录仪

在自动焊接期间，操作人员应采用焊接过程监控记录仪监控焊接设备的电气参数和力学参数。如果有些焊接参数超出工艺规程许可范围，那么该焊缝将视为不合格。如果在焊缝完成后发现焊接过程监控记录不合适，那么所有焊缝应视为不合格，应清除。

#### 13.8.3 无损检测试验

每道工程焊缝在去除飞边及焊后热处理结束之后应进行外观检查和射线检测。业主也可规定其他无损检测方法。每道工程焊缝应符合 13.9 的要求。

#### 13.8.4 焊缝余高

内焊道余高应不超过母材表面 2.0mm。外焊道余高应不超过母材表面 3.0mm。

#### 13.8.5 焊后热处理

每次闪光对焊结束之后应将该焊缝加热至  $AC_3$  温度以上，然后进行适当冷却或空冷。热处理过程应采用焊接过程监控记录仪记录，如果热处理时间、加热最高温度或者冷却速度超出许可范围，那么应重新进行热处理。

### 13.9 无损检测验收标准

#### 13.9.1 概述

验收标准见 13.9.2，它适用于确定射线检测或其他无损检测方法检测出的缺欠的类型和尺寸。该标准也可用于外观检查中。



### 13.9.2 缺陷

在焊缝任何 300mm 连续长度中独立夹渣 (ISI) 的累计长度超过 13mm, 单个独立夹渣 (ISI) 的长度超过 3mm 时, 应视为缺陷。

通过无损检测检测出的裂纹、未熔合或气孔等缺陷在闪光对焊焊缝中不允许存在。

### 13.10 缺陷的清除和返修

#### 13.10.1 允许返修

下列情况允许返修:

- a) 在管子公称壁厚不被减薄的情况下, 焊缝表面的小缺陷可用砂轮片打磨掉。
- b) 缺陷可以使用砂轮片打磨、凿削、碳弧气刨或者其组合方法来去除。焊缝返修按第 10 章的要求进行。只有征得业主同意方可进行焊缝返修。

#### 13.10.2 不允许返修

若在闪光对焊焊道中有气孔存在时, 则不允许返修。但在用其他焊接方法进行返修的焊道中存在气孔且其符合 9.3.8.2 或 9.3.8.3 的规定时, 允许返修。

### 13.11 射线检测

射线检测应符合 11.1 的规定。

## 附录 A

### (规范性附录)

### 环焊缝的附加验收标准

#### A.1 概述

第9章的验收标准是以长期工程经验并以缺欠长度为主要评判标准所制定的验收标准。该验收标准的可靠性已经过多年服役管线的检验。断裂力学分析方法及其“合于使用”准则的应用可以提供另一种验收标准，该验收标准同时对缺欠的长度和深度进行了评估。相对于原来的工艺评定试验、应力分析及缺欠检测，该验收标准能容许比经验标准更宽松的缺欠尺寸。本附录提出了在采用“合于使用”准则时所需要的最小要求。本附录不影响对第9章验收标准在任何焊缝上的使用，也没有暗示在引用其他标准时带来对许用应变附加上任何限制条件。业主有权决定是否使用本附录评估某些或所有缺欠（包括焊缝纵向裂纹）。

由于最小断裂韧性值是通过破坏性试验确定的，所以按第9章检测出不合格缺陷后，通常不能再采用本附录对其进行评定验收。本附录只适用于公称壁厚相同的管子间连接的环焊缝。本附录不适用站场、阀室的焊接和主线路返修焊接。也不适用于轴向应变大于0.5%的焊缝。只有对整个环焊缝进行过无损检测的管线部分才适用于本附录。“合于使用”准则可用于验收任何数量的焊缝，只要验收的焊缝在本附录适用的范围内，并满足本附录的最低要求。

本附录中，术语“缺欠验收尺寸”或术语“缺欠”并不表示焊缝已处于缺陷状态或焊缝不完整。由于所有焊缝都存在各种缺欠，可根据其特点分别描述为人工缺陷、缺欠、不连续或裂纹。本附录的基本目的是为了从技术分析的基础上明确不同类型、尺寸和形状的缺欠（统称为缺欠）对具体服役的整个焊缝的适用性的影响。

注：本附录中使用的单位是国际单位制，也允许采用英制单位作为参考。

#### A.2 应力分析的附加要求

##### A.2.1 轴向设计应力

适用本附录时，业主应进行应力分析，以确定管线的最大轴向设计应力。缺欠承受的所有轴向应力，对未进行消除应力处理的焊缝，还应包括焊接残余应力。焊接残余应力有可能接近材料的屈服强度。拉伸应力和残余应力的总和可超过屈服强度，通常按应变百分比处理更方便。在本附录中，将屈服应力残余应变假设为0.2%来计算本附录的验收标准。管线的最大轴向许用应变应通过应力分析确定，且由业主批准。

##### A.2.2 循环应力

###### A.2.2.1 分析

循环应力分析应根据管道的设计使用寿命预设疲劳图谱。这个疲劳图谱的设计应包括但不局限于因水压试验、管道安装而产生的应力，如果可能还应包括热、震动及其相关应力等。疲劳图谱由若干循环轴向应力水平和各自的循环次数组成。如果每次循环的应力水平不同，应采用一套适当的计数方法（如rainflow方法）确定循环应力水平及循环次数。

注：rainflow方法可以参见N. E. Dowling发表的“在复杂应力—应变曲线下疲劳破坏的预测”，材料学报，1972年3月，Vol. 7, No. 1, pp. 71~87。

图谱因子 $S^*$ 可以按下式计算：

$$S^* = N_1 (\Delta\sigma_1)^3 + N_2 (\Delta\sigma_2)^3 + \cdots + N_k (\Delta\sigma_k)^3 \quad (\text{A. 1})$$

式中：

$S^*$ ——图谱因子;

$N_i$ ——第  $i$  水平循环应力下的循环次数;

$\Delta\sigma_i$ ——循环应力幅度, MPa;

下标  $k$ ——循环应力等级的循环次数;

下标  $i$ ——1 至  $k$ 。

图 A.5 中的许用缺欠尺寸仅适用于  $S^* \leq 4 \times 10^7$  的情况。本附录不适用于当  $S^*$  大于  $4 \times 10^7$  时。

#### A.2.2.2 环境对疲劳的影响

影响焊接疲劳裂纹扩展的因素主要有应力集中、循环载荷、缺欠尺寸和裂纹尖端的环境介质。在无污染介质的环境条件下,油和碳氢化合物的影响与空气类似。但是水、盐水及含  $\text{CO}_2$  或  $\text{H}_2\text{S}$  的溶液会加快疲劳裂纹的扩展速率。在正常的不抗腐蚀的管线中,应尽量减少  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{S}$  在介质中的含量。当  $\text{CO}_2$  或  $\text{H}_2\text{S}$  任一浓度超过不抗蚀管线的公认标准时,本附录不再适用,除非有证据表明推荐的超标浓度不会导致裂纹疲劳开裂速率的增加。由于采用外涂层和阴极保护措施,本附录使用时可不考虑管子外部环境对管道环焊缝疲劳开裂速率的影响。

#### A.2.3 持久载荷断裂

当在役管道焊缝承受持久载荷时,某些环境会加速裂纹的扩展,或诱使缺欠周围的材料变脆并达到临界开裂状态。这些典型环境如含  $\text{H}_2\text{S}$ ,也指含强氢氧化物、硝酸盐及碳酸盐介质等。当管子中存在这些介质时,应确定最小临界应力。如果计算应力超过了最小临界应力值,本附录不再适用。考虑到  $\text{H}_2\text{S}$  的影响,在  $\text{H}_2\text{S}$  腐蚀环境下,对管线的服役说明参见 NACE MR 0175。尽管有极少量的报道说管道表面暴露在含碳酸盐和硝酸盐土壤环境中导致应力腐蚀开裂的例子,但这种裂纹通常是承受周向应力的轴向开裂,轴向应力对其影响不大。到目前为止,未见报道由环焊缝上的应力腐蚀裂纹造成管道失效的例子。

采用适当的涂层和阴极保护措施可以缓解应力腐蚀开裂出现的频率和严重性。本附录适用于采用涂层技术改善环境危害的情况。

#### A.2.4 动载荷

应力分析应考虑环焊缝所可能承受的潜在动载荷,如检修阀关闭时产生的动载荷。当焊缝承受的应变率大于  $10^{-3} \text{ s}^{-1}$  (应力比为  $207 \text{ MPa} \cdot \text{s}$ ) 时,本附录不适用。

### A.3 焊接工艺

#### A.3.1 概述

有断裂韧性要求的焊接工艺相对于那些没有最小断裂韧性要求的焊接工艺,其变量控制更严格。本附录的焊接工艺评定应按第 5 章或第 12 章的规定进行。另外,使用本附录还有如下附加要求:

a) 应按 A.3.3 的规定进行裂纹尖端张开位移 (CTOD) 试验。

b) 拉伸试件不允许断裂在焊缝处。

当焊接工艺规程中有以下基本要素变更时,应对焊接工艺重新进行评定。

a) 焊接工艺方法或操作方法的改变。

b) 钢材等级、生产厂家发生变化,或虽由同一厂家生产,但钢材的化学成分或轧制工艺有重大变化。

c) 接头设计变更(如由 U 型坡口变为 V 型坡口)。坡口角度或钝边的变化不属于基本要素变更。

d) 焊接位置由旋转焊变为固定焊,或反之。固定焊应指明水平固定焊接位置 (5G)、垂直焊接位置 (2G) 或  $45^\circ$  倾斜固定管位置 (6G)。

e) 评定合格公称壁厚钢管其壁厚变化正负超过  $3.275 \text{ mm}$ 。

f) 填充金属的种类和规格变化,或者填充金属的型号没有变化(尽管属于同一种 AWS 标准的规格),但生产厂家发生变化。



- g) 完成根焊道之后至开始第二焊道之间的最长时间间隔增加。
- h) 焊接方向变化（如从下向焊改为上向焊，或者反之）。
- i) 一种保护气体换成另一种保护气体，或由一种混合气体换成另一种混合气体。
- j) 保护气体流量增加或减少。

注：进行焊接工艺评定试验时，应确定保护气体流量范围（上限和下限）。应进行包括 CTOD 试验在内的力学性能试验。热影响区 CTOD 试验时，需用一种气体流量。

- k) 保护焊剂的变化，包括生产同一 AWS 型号材料的生产厂家的变化。
- l) 每层焊道热输入量较大范围地增加或减少，超过了焊接工艺规程的规定范围，热输入量通常按下式计算：

$$J = 60UI/V$$

式中：

- $J$ ——热输入量，单位为焦耳每米 (J/m)，
- $U$ ——电压，单位为伏特 (V)，
- $I$ ——电流，单位为安培 (A)，
- $V$ ——速度，单位为米每分钟 (m/min)。

注：焊接工艺评定试验时，须确定热输入量的上下限。应进行包括 CTOD 试验在内的力学性能试验。

- m) 改变电流种类（交流或直流）或极性。
- n) 预热处理要求的改变。
- o) 焊后热处理要求的改变，或增加或减少焊后热处理工艺。
- p) 在自动焊时管径的变化。

A.3.2 断裂韧性试验

使用本附录前，应通过试验确定焊缝的断裂韧性值。常用的断裂韧性试验方法是 CTOD 试验。在本附录中选用两种最小断裂韧性临界值：0.127mm 或 0.254mm。

CTOD 试验应根据 BS 7448 第 2 章的规定进行（与本附录补充说明相同）。试件尺寸最好为  $B \times 2B$  规格。试样应该标注方向，以保证取样时试样的长度方向平行于管轴线，宽度方向为管环形方向（如图 A.1 所示），使得裂纹尖端线贯穿于厚度方向。试样的厚度应该为管壁厚减去最小磨削量（如图 A.2 所示）。这种磨削加工能够保证试样具有规则剖面（应去除焊缝余高）。试样毛坯粗加工后进行腐蚀以显示焊缝和热影响区的几何形态。在焊缝金属的 CTOD 试验时，缺口及预制疲劳裂纹尖端应该完全在焊缝上；在典型的管环焊缝的 CTOD 焊缝试件准备时，缺口和预制疲劳裂纹尖端应该在焊缝中心处（如图 A.3 所示）。

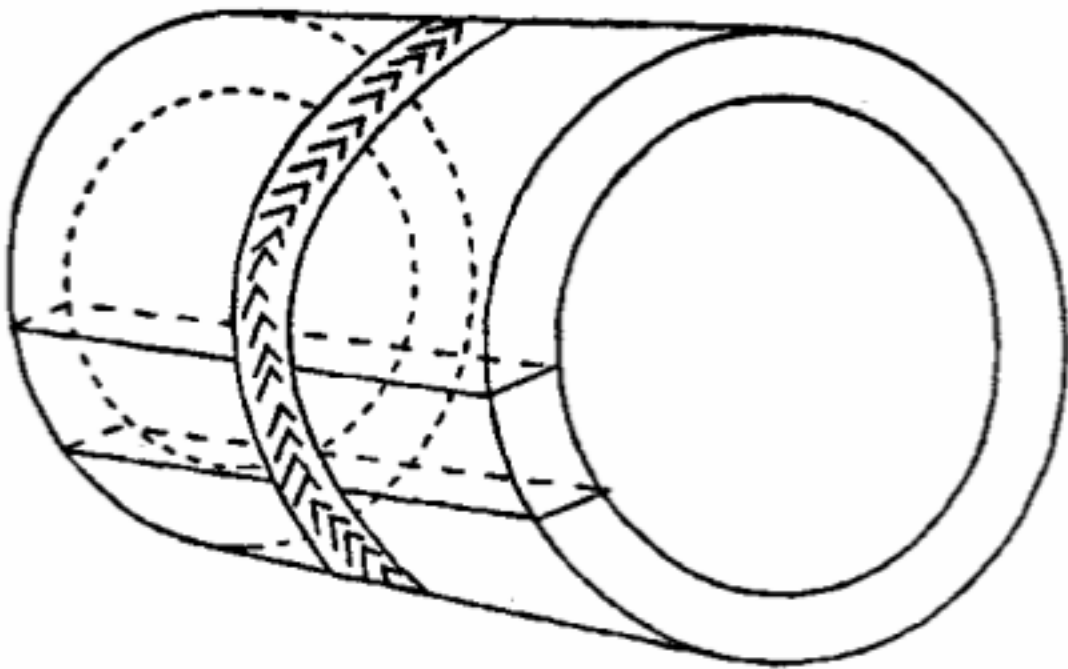


图 A.1 CTOD 试样的取样位置



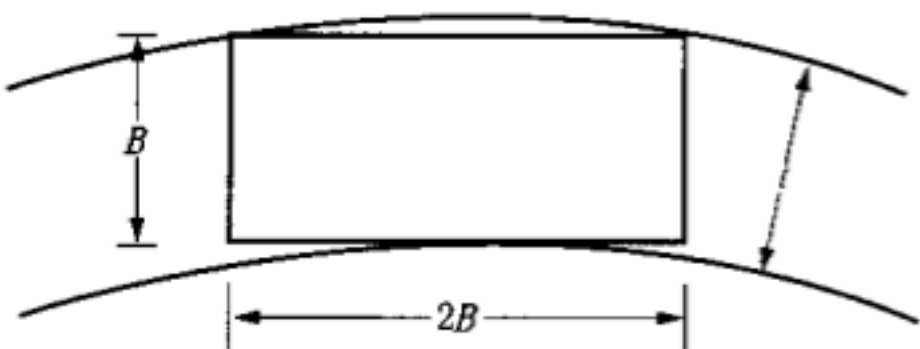


图 A.2 CTOD 试样加工与管壁厚关系示意图

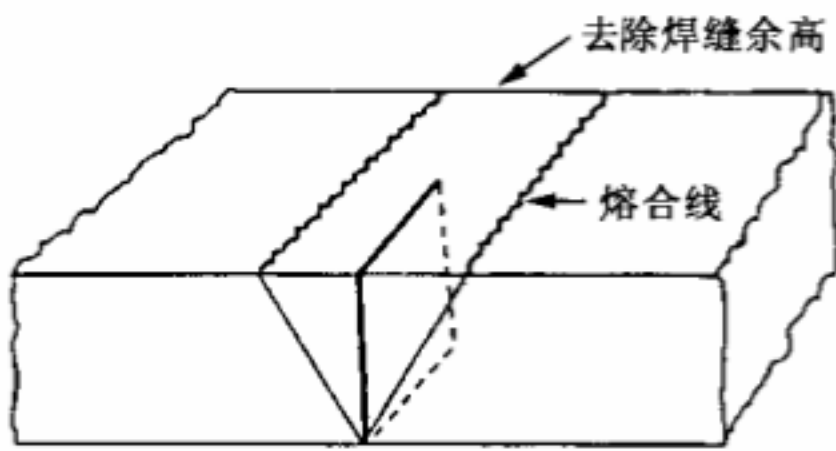


图 A.3 焊缝金属试样的开缺口位置

热影响区的 CTOD 试件准备时，应在每个试样上测量显微硬度，或在紧临该热影响区试样的焊缝剖面试样上（见图 A.4）测量显微硬度，其目的是找出最大硬度区（删除异常读数）。最大硬度区通常位于热影响区与最后一层焊道的熔合线之间。虽然疲劳裂纹最终扩展前缘通常不在热影响区，但缺口和预制疲劳裂纹尖端仍应该开在热影响区，以使缺口和预制疲劳裂纹横穿最大硬度区。

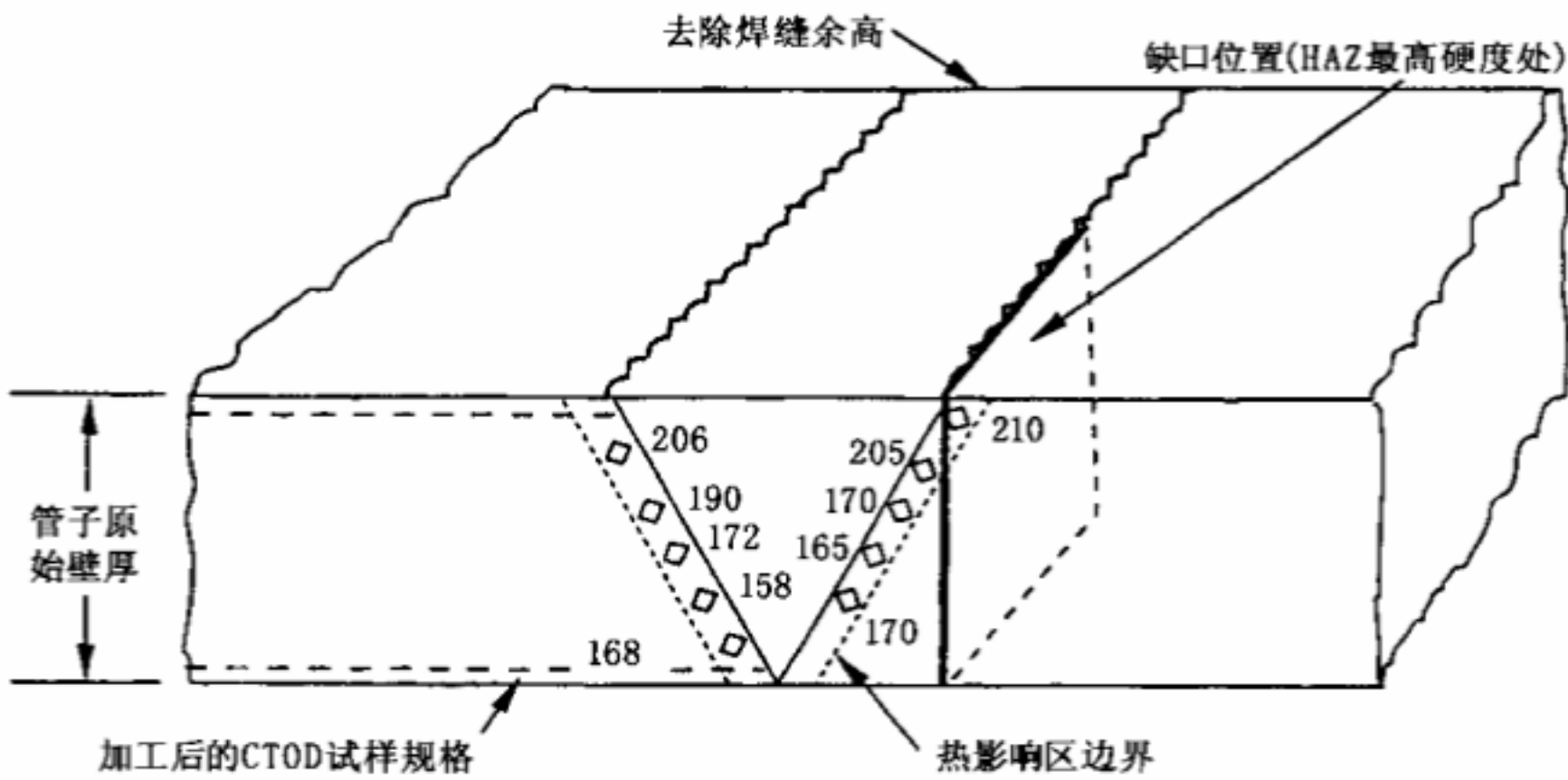


图 A.4 热影响区试样的开缺口位置

试验后，应该特别注意 BS 7448 第 2 章 12.4.1 中的判据，这些判据与判断疲劳裂纹扩展尖端的几何形态有关。本附录中使用  $\delta_c$ 、 $\delta_u$  或  $\delta_m$  值表示 CTOD。（这三个值为在 CTOD 试验中可能描述的值，在 BS 7448 第 2 章定义为互不包含的值。 $\delta_i$  是条件启裂 CTOD 值，与本附录关系不大，不必测量）。当使用  $\delta_m$  时，应注意从最大载荷的第一到达点测量。即使出现载荷降低，也必须考虑失稳裂纹的控制。试验报告中应包括 BS 7448 第 2 部分第 13 节规定的各项内容，特别注明试样的取样位置，区分试验报告中的 CTOD 值代表  $\delta_c$ 、 $\delta_u$  或  $\delta_m$ 。试验报告还应包括加载记录曲线和断裂面表面状态记录。断裂面表面状态记录可以通过断裂面照片表示，或保留断裂面直接观察。

A.3.3 焊接工艺评定的 CTOD 试验

CTOD 试验过程如下所述，应遵循 A.3.2 的试验细则。每个焊接工艺评定应包括焊缝的 CTOD 试验和热影响区的 CTOD 试验，并且在应用“合于使用”判据前，焊缝和热影响区应满足断裂韧性要求。焊缝和热影响区应分别各取至少 3 个有效试件进行试验，试验温度应等于或低于管线最低服役温度。

焊缝或热影响区的三个试样分为一组，分别从试验焊管的 12 点、3 点及 6 点处截取，并在试样上做好位置的永久标记。如果三个试样中仅有一个不满足断裂韧性要求，则允许再取三个试样进行第二次试验。两次试验的六个试样（焊缝或热影响区）中应有 5 个试样满足断裂韧性要求。

如果焊缝和热影响区的六个试样中只有一个试样失败，只须重做相应的一组试验（焊缝或者热影响区），而不必重做试样结果全部通过的另一组试验。进行工艺评定的焊缝和热影响区的 CTOD 试验结果应全部满足本附录的断裂韧性要求。

对加工不符合要求，或不满足疲劳裂纹尖端曲度标准，或在断裂处发现靠近裂纹尖端有明显的焊接缺欠的试样，应为无效试样。不合格的试样应报废，用新试样一对一取代。

焊接工艺评定可选取 0.127mm 或 0.254mm 断裂韧性为评定标准。当焊接工艺评定试验的 CTOD 值达不到 0.254mm 的最小断裂韧性临界值指标时，有可能满足 0.127mm 最小断裂韧性指标。

A.4 焊工资格

应按第 6 章对焊工进行考核。自动焊时，应按 12.6 对焊接设备和操作人员进行资格考核。

A.5 检测及验收标准

A.5.1 平面缺欠

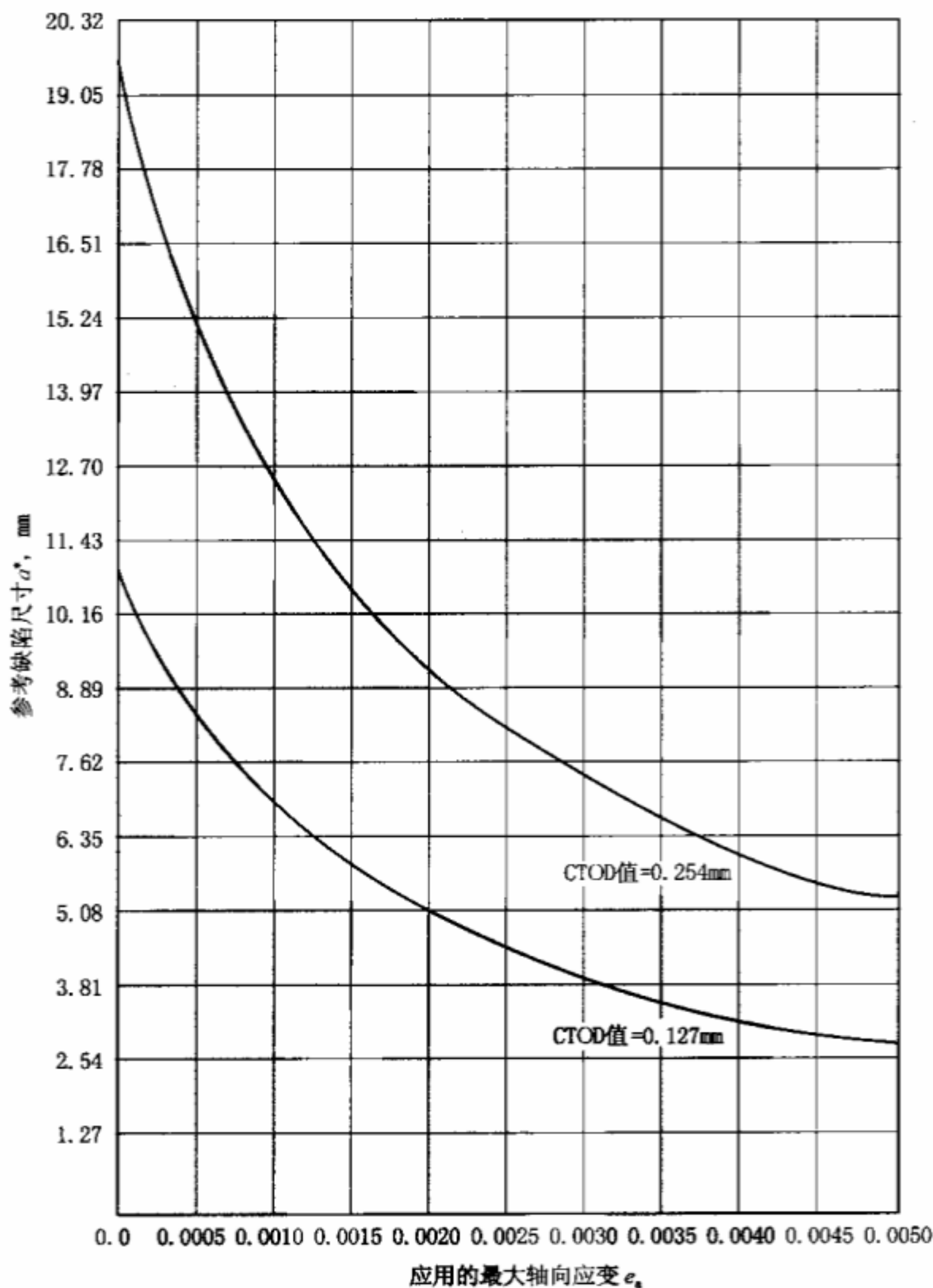
在评定缺欠之前，应采用适当的无损检测技术或其他方法测量缺欠的长度、高度及其至试件表面的距离。射线检测（见 11.1）可以测量缺欠的长度，但测量缺欠高度时存在不足，尤其是对于裂纹、未熔合、咬边和未焊透等平面类缺欠更是如此。可以采用超声波检测法、带有黑度计的射线检测法、声波成像法、由焊道尺寸的限制决定缺欠尺寸的方法或其他检测方法来确定缺欠高度。采用的方法应能保证测量的准确性。当其准确性有争议时，应采用保守的值。可采用常规射线以检测缺陷并配合其他测量方法，确定其高度。图 A.5 是焊缝环向平面缺欠的验收标准。焊缝横向表面缺欠（如横向裂纹）应返修或清除。

A.5.2 体积缺欠

内部体积缺欠（三维）如夹渣、气孔等，在高韧性的材料中，其产生危害的可能性要远低于平面缺欠。这类缺欠的评定可以采用与评价平面缺欠相同的方法，也可以使用表 A.1 中的验收标准。表面上的体积缺欠可以看作是平面缺欠，这种缺欠应根据图 A.5 标准进行评定。

表 A.1 内部体积缺欠的验收标准

缺欠类型	缺欠高度或宽度	缺欠长度
气孔 <sup>a</sup>	$< t/4$ 或 6.4mm	$< t/4$ 或 6.4mm
夹渣	$< t/4$ 或 6.4mm	4t
未经返修的烧穿	$t/4$	2t
注：表 A.1 的标准既适用于临界 CTOD 值为 0.127mm 为标准的情况，也适合 0.254mm 为标准的情况，但只限于应用本附录的情况下。业主有权将这些缺欠处理为平面缺欠，并使用图 A.5 进行验收。该表不适用于表面相连的体积缺欠（如图 A.6 第一种情况）和表面相干涉的缺欠（图 A.6 第 3 种和第 4 种情况）。表面相连和表面相干涉的体积缺欠应该按图 A.5 评定。		
<sup>a</sup> 限于 3% 的投影面积。		



- 注 1：除其他限定值外，高度不能超过壁厚 $\frac{1}{2}$ 。
- 注 2：对于相互作用的缺陷，缺陷的长度和高度应通过图 A. 6 来确定。
- 注 3：对于表面缺陷，允许的缺陷高度  $a^*$  需受注 1 的限制。
- 注 4：对于埋藏的缺陷，允许的缺陷高度  $2a^*$  需受注 1 的限制。
- 注 5：缺陷长度的限定值在表 A. 3 中列出。
- 注 6：允许应用的最大轴向应变可以由其他标准和准则限制。
- 注 7：每条曲线包括 0.002in/in 的残余应变。

图 A. 5 周向平面缺陷的补充验收标准

A. 5.3 电弧烧伤

电弧烧伤是指由于引弧或操作不当而引起管子内外表面损伤的一种缺欠。这种缺欠肉眼可以看到一个小洞，在 X 射线照片中呈现影像致密区。这种缺欠通常存在于韧性比母材和焊缝低的热影响区中。

表 A. 2 是未经返修的电弧烧伤的验收标准，其中假设热影响区的韧性值为零，且热影响区中的

所有平面缺欠在边界钝化。大量数据显示电弧烧伤的深度小于宽度。

表 A.2 未经返修的电弧烧伤的验收标准

测量尺寸	验收标准
宽度	小于 $t$ 或 7.94mm
长度（任一方向）	小于 $t$ 或 7.94mm
深度（至弧坑底部）	1.59mm
注：表 A.2 适用于最小 CTOD 值为 0.127mm 或 0.254mm 的情况。	

如果电弧烧伤中有肉眼和常规射线检测可检测到的裂纹，则本附录不适用。这类电弧烧伤应进行返修或清除。

A.5.4 缺欠干涉

如果两个缺欠相邻很近，可看成是单个大缺欠。图 A.6 列出了缺欠干涉的评定标准。若缺欠干涉存在，则应按图 A.6 计算其有效缺欠尺寸，并按本附录评估。

如果缺欠干涉中的一种缺欠需要进行返修，则所有相干涉的缺欠都应按 A.8 进行返修。

A.6 记录

按附录要求，业主代表应以适当格式记录各种缺欠的类型、位置及规格等，记录中还应包括管线射线检测或其他非破坏性试验的数据。

A.7 实例

A.7.1 描述

管线工程实例分析：管材 API 5L X65，管径 914.4mm，壁厚 20.62mm。环焊缝焊接方法为熔化极气体保护自动焊。焊缝全部进行无损检测。按本附录进行焊接工艺评定，CTOD 值 = 0.254mm。通过应力分析估计最大许用轴向应变为 0.0508mm，符合 A.2.2~A.2.4 的规定。业主规定无损检测方法，该方法将能测出缺欠高度，并能充分证明实际缺欠尺寸不超过检验报告中缺欠尺寸的 0.127mm。业主有权将这种验收标准应用于第 9 章验收不合格的缺欠，并有权使用常规射线检测评定截面性能。

A.7.2 计算和验收

平面缺欠许用尺寸的计算见 A.7.2.1~A.7.2.9。

A.7.2.1 步骤 1

以下是相关参数：

- a) 管直径  $D = 914.4\text{mm}$ 。
- b) 管壁厚  $t = 20.6\text{mm}$ 。
- c) 最小 CTOD 值为 0.254mm。
- d) 最大轴向应变  $\epsilon_a = 0.002$ 。
- e) 许用检验误差为 0.127mm。

A.7.2.2 步骤 2

参考图 A.5 确定  $a^*$ ，由于  $\epsilon_a = 0.002$ ，CTOD 值 = 0.127mm，所以  $a^* = 9.144\text{mm}$ 。

A.7.2.3 步骤 3

确定假设许用表面缺欠高度（见图 A.5 的注 3）和假设许用内部缺欠高度（见图 A.5 的注 4）。

- 表面缺欠： $a_{\text{all},s,1} = a^* = 9.144\text{mm}$ 。
- 内部缺欠： $2a_{\text{all},b,1} = 2a^* = 18.288\text{mm}$ 。



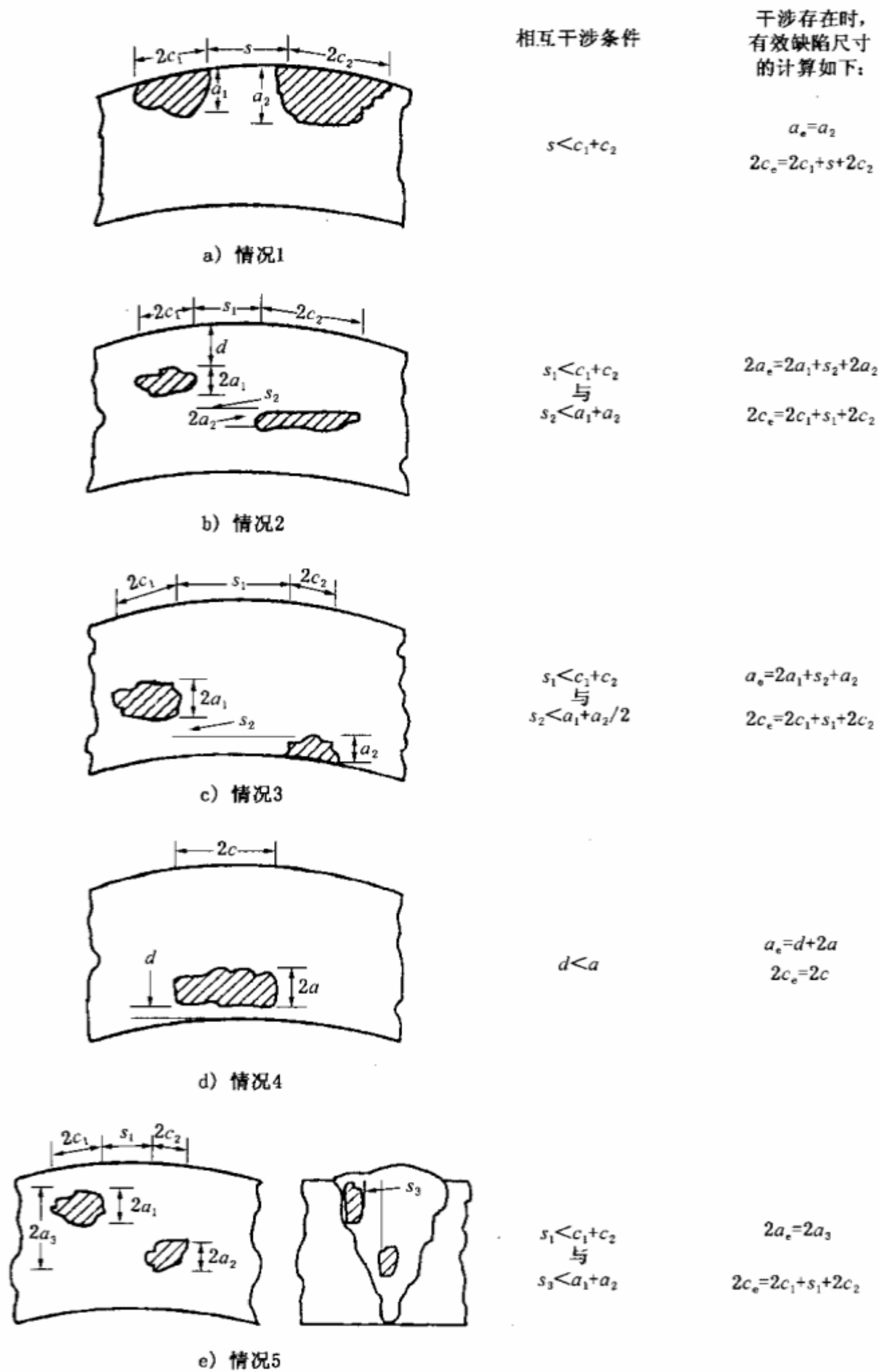


图 A. 6 相干涉缺欠的评估标准

A. 7. 2. 4 步骤 4

对比假设许用缺欠尺寸和图 A. 5 注 1, 确定最大许用缺欠尺寸:  $a_{\max} = 0.5t = 10.3124\text{mm}$ 。

对于表面缺欠:  $a_{\text{all},s,t} \leq a_{\max}$ 。

因此,  $a_{\text{all},s} = a_{\text{all},s,t} = 9.144\text{mm}$ 。

对于内部缺欠： $2a_{\text{all},b,t} > a_{\text{max}}$ 。  
因此， $a_{\text{all},b} = a_{\text{max}} = 10.3124\text{mm}$ 。

A.7.2.5 步骤5

根据图 A.5 注 5，参考表 A.3 确定许用缺欠长度的极限值。按以下公式计算相关缺欠尺寸，由于  $a/t = 0.25$ ，

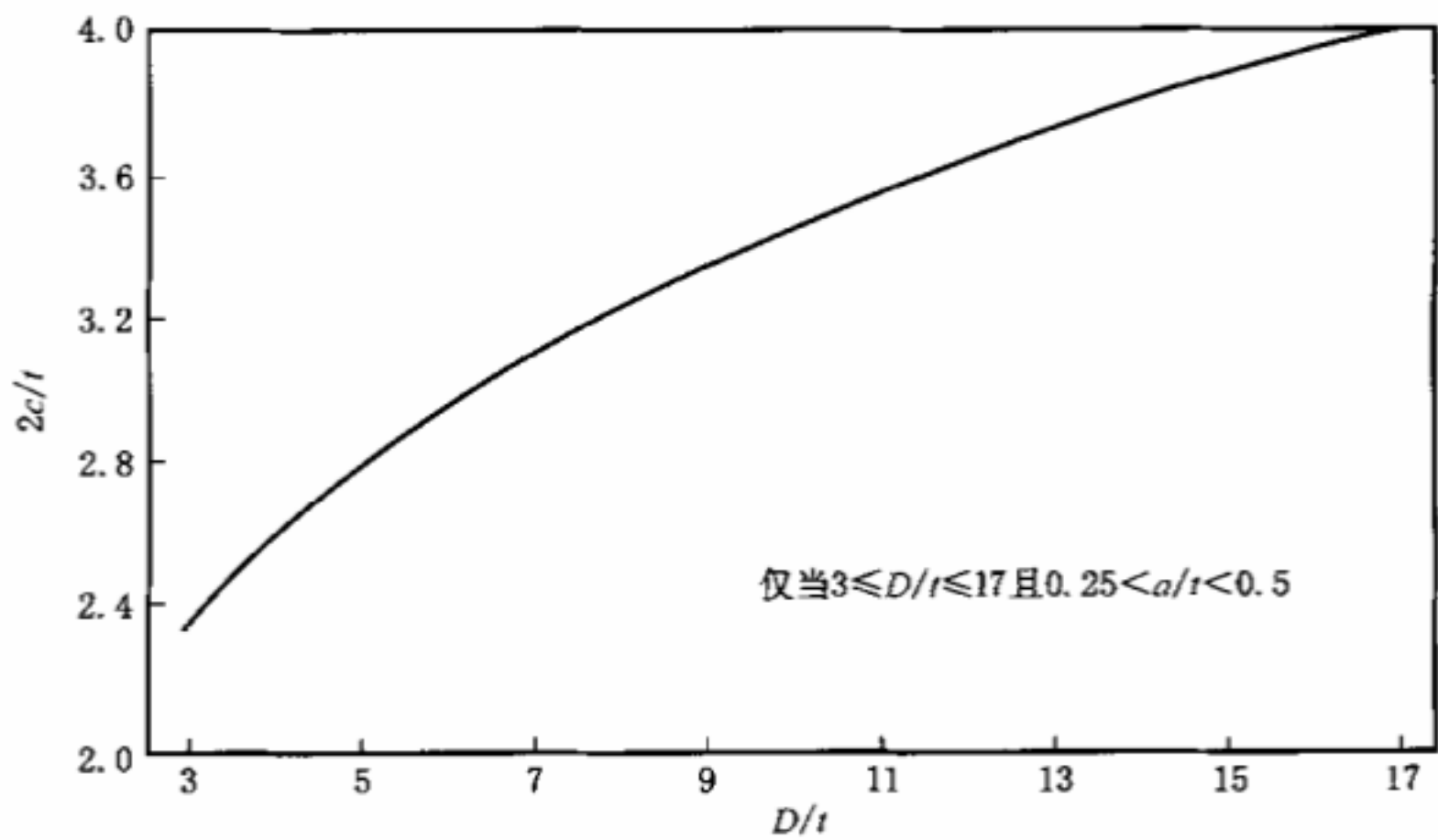
$$\begin{aligned} a_1 &= 0.25t = 5.1562\text{mm} \\ 2c_1 &= 0.4D = 365.76\text{mm} \\ 2c_2 &= 4t = 82.55\text{mm} \end{aligned}$$

表 A.3 缺欠长度极限值

高度与管厚度比值	许用缺欠长度
$0 < a/t < 0.25$	$0.4D$
$0.25 < a/t < 0.50$	$4t^*$
$0.50 < a/t$	0

注：表 A.3 适用于最小 CTOD 值为 0.127mm 或 0.254mm 的情况。

\* 该表适用于  $D/t > 17$  的情况；当  $D/t \leq 17$  时，按图 A.7 验收。



注：该图仅适用于  $3 \leq D/t \leq 17$  且  $0.25 < a/t < 0.50$  的情况。

图 A.7 厚壁管中深度缺欠的长度验收标准

A.7.2.6 步骤6

计算  $D/t$  比值，并根据表 A.3 角注 a，按下式评定：  
 $D/t = 36/0.812 = 44.3 > 17$

因此， $2c_2$  固定不变。

A.7.2.7 步骤7

对比浅缺欠的高度极限值  $a_1$  和最大许用缺欠尺寸，判断是否允许缺欠大于管壁厚的 25%。  
对于表面缺欠： $a_1 < a_{\text{all},s}$ ， $2c_{2,s} = 2c_2 = 82.55\text{mm}$ 。  
内部缺欠： $a_1 < a_{\text{all},b}$ ， $2c_{2,b} = 2c_2 = 82.55\text{mm}$ 。  
注：如果表面缺欠或内部缺欠的许用尺寸小于  $a_1$ ，则  $2c_2$  等于 0， $a_1$  减小为 A.7.2.4 中确定的相关值  $a_{\text{all}}$ 。

A.7.2.8 步骤 8

根据表 A.3 建立许用缺欠尺寸表，见表 A.4。

表 A.4 实例的许用缺欠尺寸

表面缺欠		内部缺欠	
高度	许用长度	高度	许用长度
$0 \sim a_{1,s}$	$2c_1$	$0 \sim a_{1,b}$	$2c_1$
$a_{1,s} \sim a_{all,s}$	$2c_{2,s}$	$a_{1,b} \sim 2a_{all,b}$	$2c_{2,b}$
0mm~5.1562mm	365.76mm	0mm~5.1562mm	365.76mm
5.18mm~9.144mm	82.55mm	5.18mm~9.144mm	82.55mm

A.7.2.9 步骤 9

平面缺欠的验收尺寸等于许用缺欠尺寸减去深度或高度的许用检验误差：

$$a_{acc} = a_{all} - (\text{许用检验误差})$$

表 A.5 列出该示例中平面缺欠的验收标准。

表 A.5 实例的平面缺欠尺寸验收

表面缺欠		内部缺欠	
测量高度, mm	验收长度, mm	测量高度, mm	验收长度, mm
0~3.89	365.76	0~3.89	365.76
3.91~7.87	82.55	3.91~9.04	82.55
>7.87	0.00	>9.04	0.00

A.7.3 缺欠评估

表 A.1 是气孔、夹渣和烧穿缺欠的验收标准。业主有权将这些缺欠作为表面缺欠处理，也有权使用表 A.1 的验收标准。此实例中，业主使用了表 A.1 的尺寸计算法，其验收结果如表 A.6。计算过程中不必考虑检测的精确度，因为这种情况下许用缺欠尺寸已经小于平面缺欠的许用临界断裂缺欠尺寸。

表 A.6 也包括电弧烧伤的验收标准。

表 A.6 管线分析实例的验收结果

缺欠类型	高度范围, mm	验收长度, mm
平面表面缺欠	0~3.89	365.76
	3.91~7.87	82.55
平面内部缺欠	0~3.89	365.76
	3.91~9.04	82.55
气孔	5.1562 <sup>a</sup>	5.1562 <sup>a</sup>
夹渣	5.1562 <sup>b</sup>	82.55
未经返修的烧穿	5.1562 <sup>b</sup>	41.15
电弧烧伤	1.59 <sup>b</sup>	7.94 <sup>c</sup>
<div><div><sup>a</sup> 任一尺寸的验收值。</div><div><sup>b</sup> 高度的验收值。</div><div><sup>c</sup> 宽度和长度的验收值。</div></div>		

检测人员可以根据表 A. 6 和图 A. 6, 按以下步骤对射线底片中每一种缺欠进行评定。

- 确定缺欠类型和长度。
- 对照第 9 章关于缺欠类型和长度的验收标准。若缺欠在允许范围内, 则不必进行返修或清除。
- 若缺欠不满足第 9 章的验收标准, 需使用辅助检测工具测量缺欠高度 (如果辅助检测设备能够测量缺欠长度, 业主可以要求改进缺欠长度的评估)。
- 对照图 A. 6, 判断是否存在缺欠干涉以及名义内部缺欠是否能作为内部缺欠或表面缺欠。如果存在缺欠干涉, 根据图 A. 6 重新计算有效缺欠尺寸。
- 对照表 A. 6, 判断缺欠尺寸是否合格。若缺欠合格, 则不必返修或清除, 但应详细记录缺欠的类型、位置和尺寸; 若缺欠不合格, 则应返修或清除。

## A. 8 返修

按本附录验收不合格的所有缺欠都应按第 9 章和第 10 章进行返修或清除。

## A. 9 术语

- $a$ ——射线检测中表面缺欠的最大高度, 或径向内部缺欠的  $1/2$  高度 (见图 A. 8);
- $a^*$ ——相关缺欠尺寸 (见图 A. 5);
- $a_{acc}$ ——平面缺欠的验收尺寸 = 许用缺欠尺寸 - 许用检测误差;
- $a_{all}$ ——许用缺欠尺寸;
- $a_{max}$ ——最大许用缺欠尺寸;
- $a_e$ ——有效缺欠尺寸 (见图 A. 6);
- $a_b$ ——内部缺欠尺寸;
- $a_s$ ——表面缺欠尺寸;
- $a_t$ ——临时缺欠尺寸;
- $a_1$ ——浅缺欠的高度极限值;
- $B$ ——CTOD 试样的厚度;
- $2c_1$ ——浅缺欠的最大长度;
- $2c_2$ ——深缺欠的最大长度;
- $D$ ——管外径;
- $d$ ——内部缺欠至管表面的最近距离 (见图 A. 6 和图 A. 8);
- $J$ ——热输入;
- $S^*$ ——疲劳谱强度;
- $t$ ——公称管厚度;
- $\delta$ ——裂纹张开位移 (CTOD);
- $\delta_c$ ——脆性启裂 CTOD 值;
- $\delta_u$ ——脆性失稳 CTOD 值;
- $\delta_m$ ——最大载荷 CTOD 值。

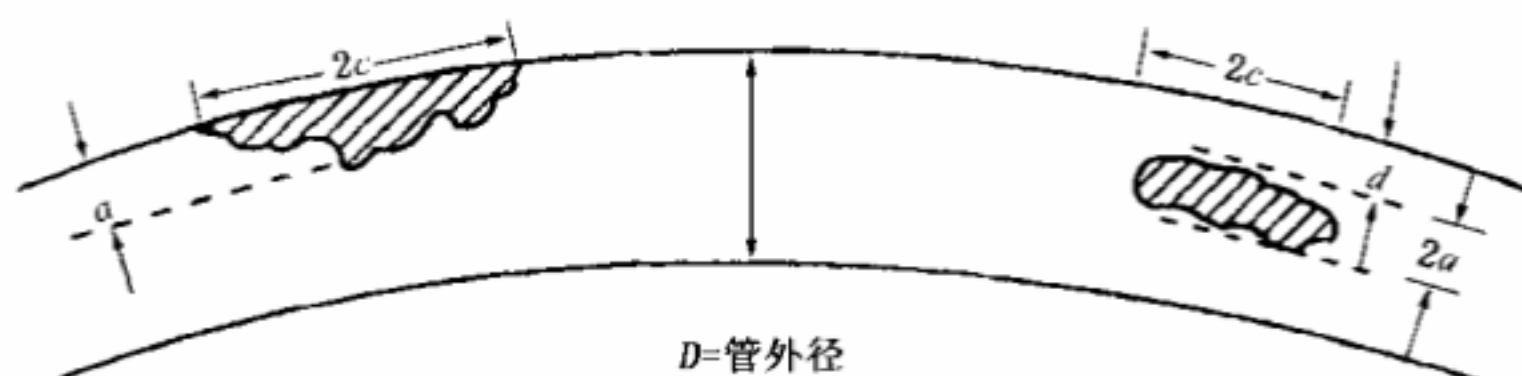


图 A. 8 表面缺欠和内部缺欠的尺寸术语



## 附 录 B

### (规范性附录)

### 管道不停输焊接技术

#### B.1 概述

本附录适用于不停输管线、管道系统的配件返修及安装中的焊接操作。为便于分析，本附录将输送原油、成品油或天然气的长输管线称为不停输管道系统。本附录不涉及已经完全关闭、停产或不再运行的管道系统的焊接。不停输管道系统的焊接主要有两方面问题。一是要避免“烧穿”，也就是焊接电弧灼伤管壁造成破裂。另一方面是氢致裂纹，主要是由于流动介质增加管壁散热，使焊接冷却速度增大造成的。

当钢管壁厚不小于 6.4mm 时，采用低氢焊条（EXX18 型）焊接，正常情况下一般不会出现烧穿现象。而对于在役薄壁管线，通常需采取特殊措施，如控制热输入量等，以防止烧穿。

氢致裂纹的产生，应同时满足三个条件：焊缝中的含氢量，焊接接头的淬硬倾向以及焊接接头所承受的拘束应力。若其中有一个条件不满足，就可避免产生氢致裂纹。对不停输管道系统进行焊接时，使用低氢焊条或低氢焊接工艺方法以及减少淬硬组织形成的方法（当不能保证低氢水平时采用）都可以有效地避免氢致裂纹。最常用的方法就是采用足够的热输入量，以克服流动介质的影响。目前有多种预测热输入量的方法，其中包括计算机模拟热分析。这些方法主要是为了预测焊接生产中所需要的热输入量，不能替代焊接工艺评定（见 B.2）。采用预热或回火焊道熔敷顺序的方法也可以减少氢致裂纹的产生。对某些不停输管道系统进行焊接时，由于输送介质散热，会给预热造成困难。图 B.1 是典型的回火焊道熔敷顺序。为了减少焊接应力，在安装时应该注意合理装配，以减小焊缝根部的应力集中。

不停输管道系统的焊接，既要保证焊缝的安全性，又要具有可靠的使用性能。例如，如果管壁比较薄（小于 6.4mm），就应限制热输入量以防止烧穿，但是低热输入量又会因输送介质散热而使焊缝冷却速度增大，导致氢致裂纹产生，这样就应合理调整工艺参数。如果采用防止烧穿的最大许用热输入量仍不能避免氢致裂纹时，就应采取其他预防措施（如调整回火焊道熔敷顺序）。

本附录的主要内容是防止在不停输管道系统的焊缝中产生氢致裂纹。若钢管壁厚小于 6.4mm，考虑烧穿的可能性，应该使用计算机模拟热分析或其他方法确定热输入极限。对于不停输管道系统，在焊接过程中应该注意其内部流动介质在热作用下易爆、易燃，或影响管材性能使其产生应力腐蚀开裂或脆性断裂等问题。其他指导参见 API RP 2201。

不停输管道系统的焊接应该遵循本标准中关于角焊缝的要求，并满足下列附加要求。



注 1：先用窄焊道堆焊熔敷金属隔离层。

注 2：后续焊道采用高热输入工艺，可以细化和回火第一层焊道的热影响区。

图 B.1 典型的回火焊道熔敷顺序实例

#### B.2 不停输管道系统的焊接工艺评定

不停输管道系统角焊缝焊接工艺评定应该遵循第 5 章的要求，并满足下列附加要求。

B.2.1 工艺规程

B.2.1.1 规范参数

B.2.1.1.1 管子和管件材料

不停输管道系统焊接时，除了指明材料的名义屈服强度外，还应该指明材料的碳当量。碳当量等级可以进行分组。

B.2.1.1.2 管道运行条件

不停输管道系统焊接时，应该指明焊接工艺适用的管道运行条件（如管子输送介质、流量等）。管道运行条件可以进行分组。

B.2.1.1.3 热输入范围

采用足够高的热输入量来克服流动介质影响时（热输入量控制工艺），应该规定要求的热输入量范围。

B.2.1.1.4 焊缝熔敷顺序

采用合理的焊缝熔敷顺序以改善流动介质影响时（回火焊道熔敷顺序方法），应该规定要求的焊缝熔敷顺序。

B.2.2 基本要素

B.2.2.1 基本要素的变更

B.2.2.1.1 管子和管件材料

对于不停输管道系统的角焊缝，名义屈服强度不是基本要素。

B.2.2.1.2 管道运行条件

对于不停输管道系统的焊接，从一种管道运行条件分组变为另一种恶劣的管道运行条件（焊缝冷却速度方面）分组。

B.2.2.1.3 壁厚

对于不停输管道系统角焊缝的焊接，壁厚不是基本要素。

B.2.2.1.4 焊缝熔敷顺序

从一种焊缝熔敷顺序变为另一种焊缝熔敷顺序。

B.2.3 试验接头的焊接

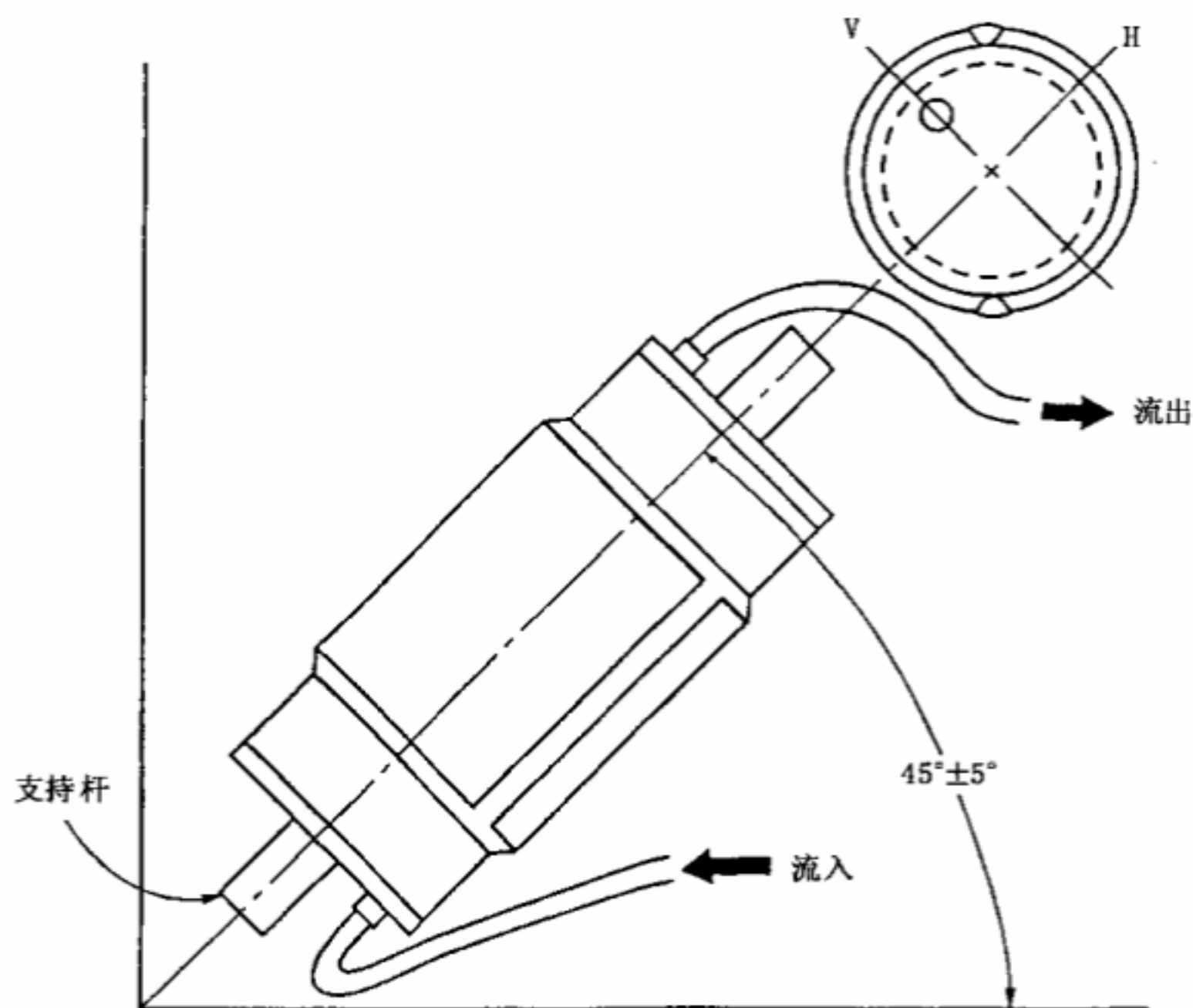
不停输管道系统中支管和套袖的焊接应该按 5.7 进行。当进行试验接头焊接时，应该模拟管道运行条件。

注：焊接试验接头时，试验管内充满水，且水流过试验截面时的热条件与施工现场相同或更为恶劣（见图 B 2）。只有模拟现场焊接条件的焊接工艺评定才能应用于现场。也可以采用其他介质（如机油）来模拟不太恶劣的热环境。

B.2.4 焊接接头试验

表 B.1 试验项目和试样数量

管壁厚 mm	焊接类型	试样类型 <sup>a</sup>						
		拉伸	刻槽锤断	背弯	面弯	侧弯	宏观试验	总数
≤12.7	坡口	2	2	2	2	—	—	8
	套管	—	4 <sup>b</sup>	—	4	—	4	12
	支管	—	4 <sup>b</sup>	—	4	—	4	12
>12.7	坡口	2	2	—	—	4	—	8
	套管	—	4 <sup>b</sup>	—	4	—	4	12
	支管	—	4 <sup>b</sup>	—	4	—	4	12
<sup>a</sup> 外径小于或等于 114.3mm 的管子或支管，需焊接两个试验焊缝。								
<sup>b</sup> 根据业主意见，刻槽锤断试验后，剩余部分可用来做面弯试验（见 B.2.4.5）。								



注：这种试验条件适用于各种现场施工条件下的工艺评定。也可以在另一种条件下进行试验，但这种试验仅评定该条件下的工艺。

图 B.2 推荐的焊工考试方法和装配

#### B.2.4.1 准备

不停输管道系统中角焊缝的焊接按 5.8 的要求进行，试样的取样应该按图 B.3 进行。试验项目和试样数量见表 B.1。

#### B.2.4.2 纵向焊缝

环形套袖的纵向焊缝应该按 5.6 进行试验。如果焊接时使用了背部垫板，应该先去除。试验前试样可以在室温下展平。

#### B.2.4.3 支管和套袖焊缝

支管和套袖焊缝试验应该按 5.8 进行，并满足 B.2.4.1 的要求。

#### B.2.4.4 宏观金相试验——支管和套袖焊缝

##### B.2.4.4.1 准备

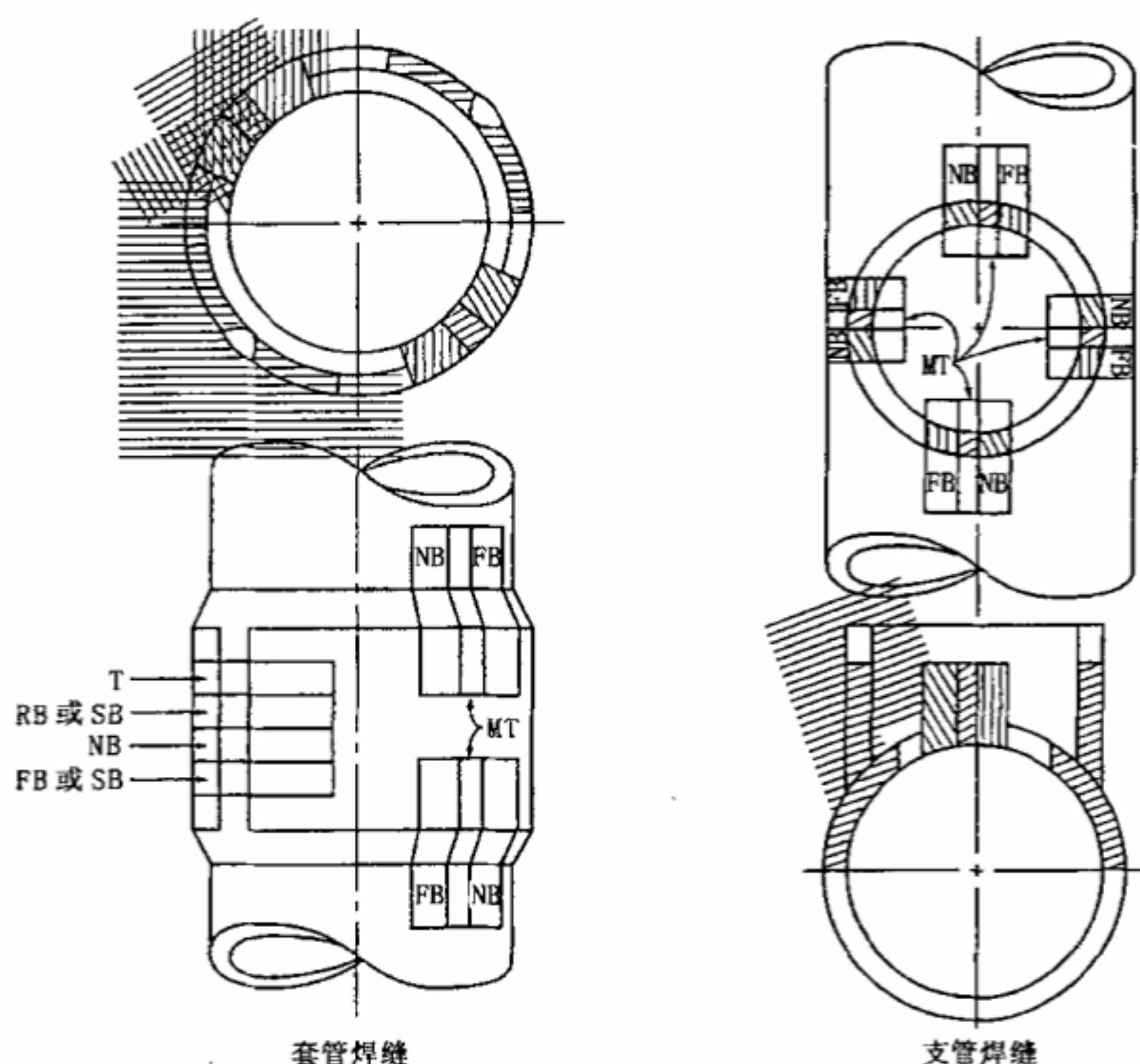
宏观金相试样至少 13mm 宽（如图 B.4 所示）。试样可先通过机械切割或氧气切割进行粗加工，然后机加工切除至少 6mm。宏观金相试样应该至少有一个表面经 600 目砂纸抛光。用浸蚀液（如过硫酸铵或稀释盐酸）浸蚀试验表面，以清晰显示焊缝组织。

##### B.2.4.4.2 外观检查

采用能够充分分辨焊缝致密度的灯光对焊缝横断面进行检查，不必使用光学设备或染色渗透试验。

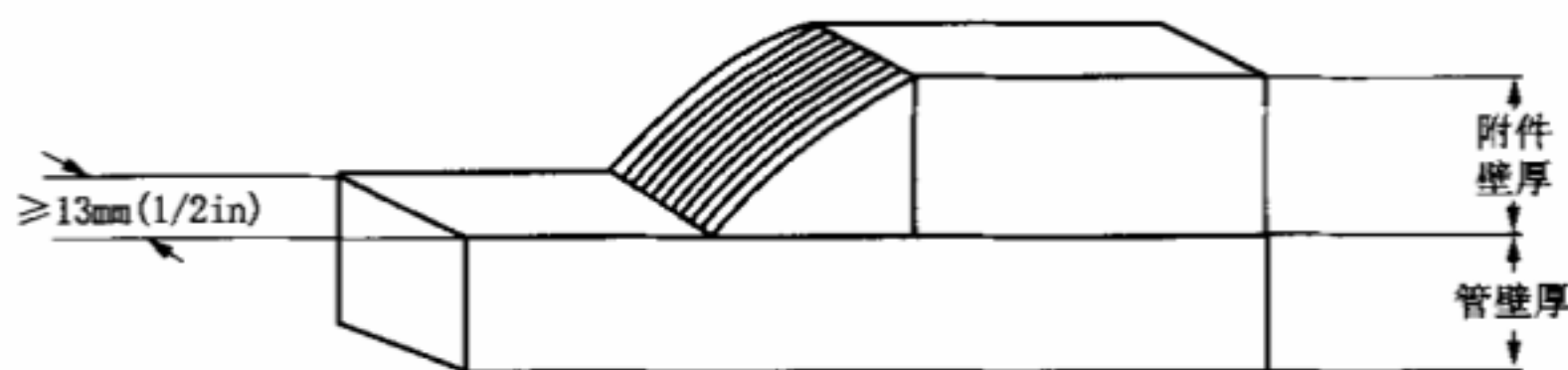
##### B.2.4.4.3 硬度试验

四个宏观试样中有两个用来做硬度试验。硬度试样应该按照 ASTM E92 的要求准备。硬度试验需要在每个试样焊趾处热影响区的粗晶区测 5 个点，用维氏硬度机压头，对每个测量点施加 98N (10kg) 的载荷，最后从五个压痕中确定最小硬度值。



T—拉伸试验；RB—背弯试验；FB—面弯试验；NB—刻槽锤断试验；SB—侧弯试验；MT—宏观磨片试验

图 B.3 不停输管道系统焊接工艺评定试验试样的取样位置



注：每个焊缝试样至少有一个表面应该进行磨光，并采用适当侵蚀液进行腐蚀，以清晰显示焊缝组织。

图 B.4 不停输管道系统焊缝的宏观试验试样

#### B.2.4.4.4 要求

每个试样的焊缝根部应该完全熔合和无裂纹。角焊缝的焊脚长度至少应该等于焊接规程中规定的长度，角焊缝的曲度误差不应该超过 1.6mm，咬边深度不应该超过 0.8mm 和钢管壁厚 12.5% 两者中的最小值。若一种焊接工艺使热影响区硬度值大于 350HV，则应该对这种工艺产生焊缝氢致裂纹的危险进行评估。

#### B.2.4.5 面弯试验——支管和套袖焊缝

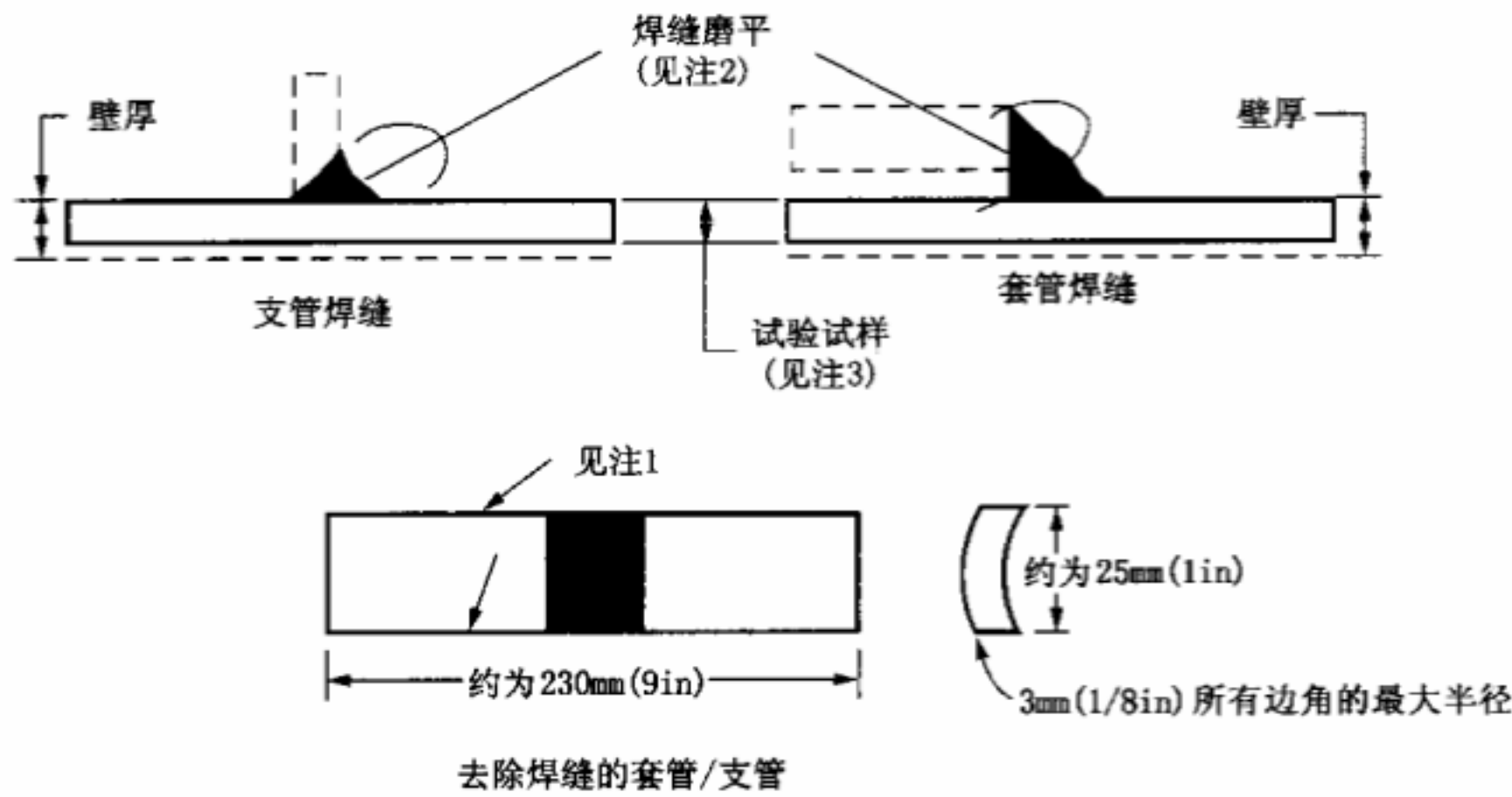
##### B.2.4.5.1 准备

面弯试样约 230mm 长，25mm 宽（如图 B.5 所示）。面弯试样可以先通过机械切割或氧气切割的



方法制成粗样，然后用机加工从试样每一表面切除 3mm。试样各表面应该光滑平行，且其长边缘磨成圆角。焊缝余高应该去除至与试样母材表面平齐。所有咬边不应该清除。

注：可以使用刻槽锤断试样的剩余部分做面弯试样。



- 注 1：试样可以先通过机械切割或氧气切割的方法制成粗样，然后再进行机加工（见 B. 2. 4. 5. 1）。  
注 2：套袖或支管焊缝的余高应该去除至与试样母材表面平齐。支管焊缝试样沿轴向取样，试样另一表面是弯曲的。试样在试验前不应该压平。  
注 3：壁厚大于 12.7mm 时的部位，应该通过内表面的机械加工切除至 12.7mm。  
注 4：可以使用刻槽锤断试样的剩余部分做面弯试样代替直接从管子上截取。

图 B. 5 面弯试样

B. 2. 4. 5. 2 方法

面弯试验应该在焊后 24h 后进行。面弯试验应该在导向弯曲模具上弯曲，模具如图 9 所示。试样以焊缝为中心放置于下模上。面弯试验应该以焊缝外表面朝向下模。施给上模压力，将试样压入下模内，直到试样弯曲或近似 U 形。

B. 2. 4. 5. 3 要求

弯曲后，面弯试样拉伸弯曲表面上的焊缝和热影响区域所发现的任何方向上的任一裂纹或其他缺欠尺寸应不大于 3mm 或钢管公称壁厚 1/2（选两者中的较小值）。除非发现其他缺欠，由试样边缘上产生的裂纹长度在任何方向上可不大于 6mm。

B. 3 焊工资格

除了下面规定的附加要求外，在对不停输管道系统进行焊接前，应该按 6. 2 的规定对焊工进行具体工艺的资格考试。

B. 3. 1 试验管件的焊接

焊接试验管件时，应该模拟管道运行条件。这些运行条件会影响管壁散热的能力。

注：焊接试验管接头时，试验管内充满水，且水流过试验截面时的热条件与施工现场相同或更恶劣（见图 B. 2）。只有模拟现场焊接条件的焊接工艺评定才能应用于现场。也可以采用其他介质（如机油）来模拟不太恶劣的热环境。

采用热输入控制工艺时，焊工应保持热输入量在焊接工艺规程范围内。采用回火焊道熔敷顺序方法时，焊工应该能使用合理的焊缝熔敷顺序。

B. 3. 2 焊缝试验

如果考试焊口经检验和试验符合 6. 4 和 6. 5 的要求，则焊口合格。

### B.3.3 记录

应该明确记录焊工考核时的管道运行条件（如管子输送介质、流量等）。施工条件可以分组。

### B.4 不停输管道系统焊接的推荐操作

工程焊接生产应该按第7章进行，并注意下列的增补要求。

在进行不停输管道系统焊接之前，焊工应该综合考虑工作压力、流动状态和焊接处的壁厚等影响焊接安全可靠性的各方面因素。应该检查焊接区域，以确保没有缺欠，且壁厚合适。进行返修的焊工应该熟悉管线（输送原油、成品油或气体燃料等介质的管线）切割和焊接的安全预防措施。其他指导参见 API RP 2201。

#### B.4.1 组对

##### B.4.1.1 装配

焊接套袖和马鞍时，套袖或马鞍与输送管之间的间隙不应该太大。应该使用夹具进行合理装配。如有必要可在输送管上堆焊一层焊道使间隙最小。

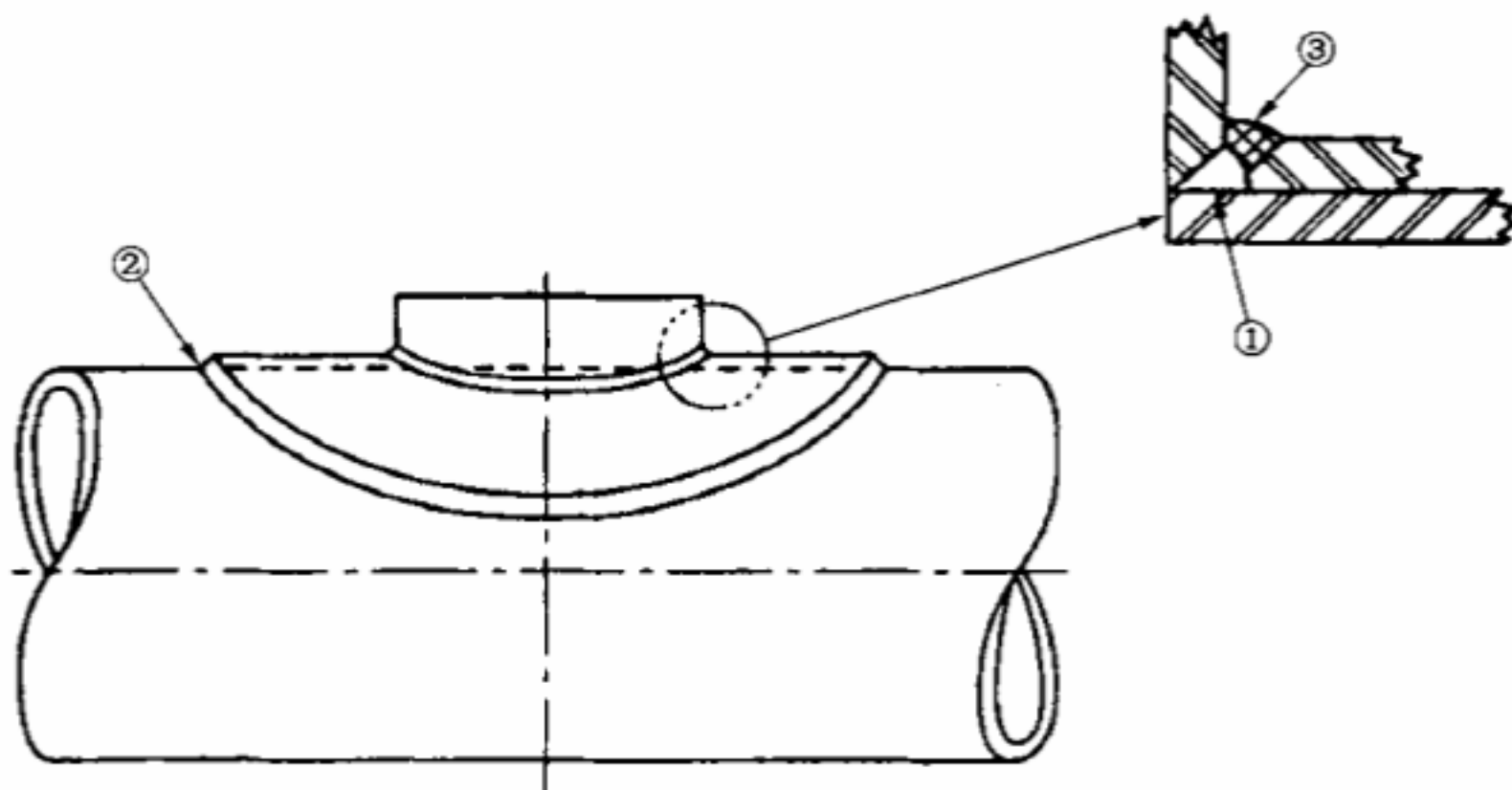
##### B.4.1.2 根部间隙——纵向焊缝

当整个套袖的纵向对接焊缝需要 100% 焊透时，根部间隙（对接面的间距）应该足够大。应该装配低碳钢背部垫板以防止焊到输送管。

注：不允许纵向对接焊缝焊透至输送管上，因为在输送管中任何裂纹都会受到环向应力影响。

#### B.4.2 焊接顺序

套袖和支管的推荐焊接顺序如图 B.6～图 B.11 所示。



注：这是一种推荐焊接顺序；可以按照业主的意见采用其他焊接顺序。

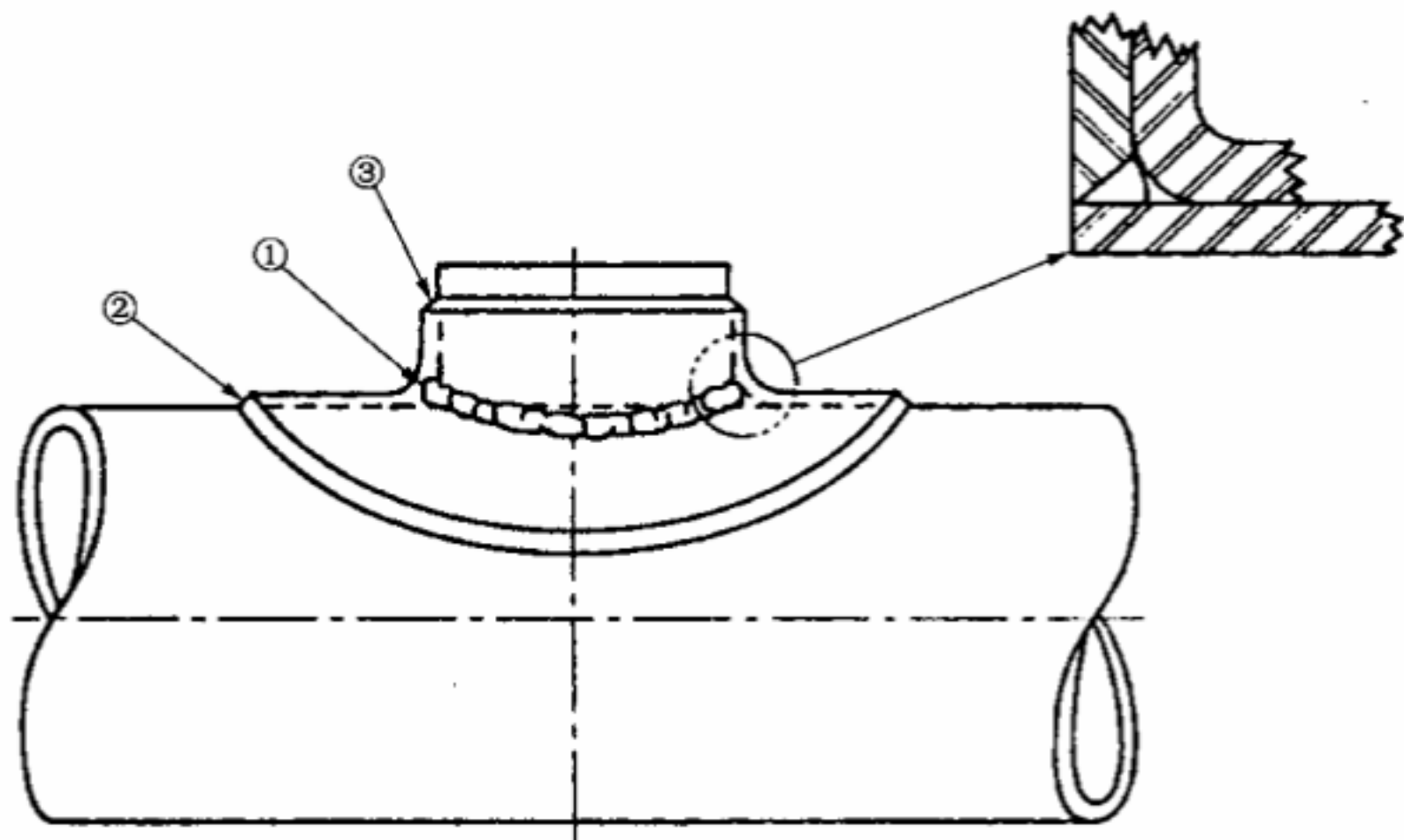
图 B.6 加强板

### B.5 焊缝的检查与试验

焊缝的检查和试验应该按照第8章的要求进行，并注意下列附加要求。

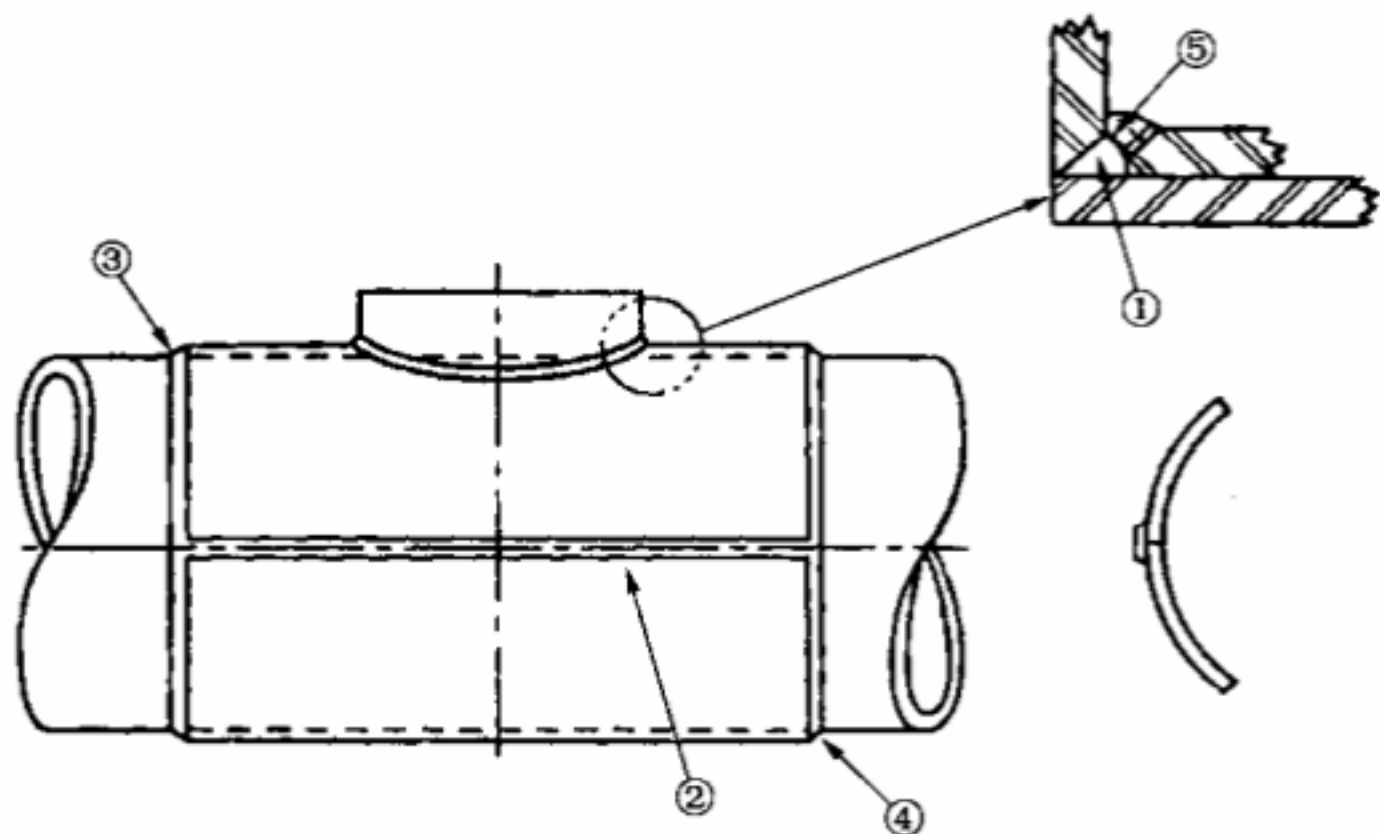
由于与输送管相连的焊缝常产生焊道下裂纹或延迟裂纹，因此应该采用无损检测方法对焊缝进行检查。使用的检测方法应该能探出这些裂纹（尤其是在输送管焊趾部位的裂纹）。

注：采用磁粉检测、超声波检测或两者共用的检测方法，拟定合适的、评定合格的检测规程并经业主认可，可有效地检测套袖、马鞍和支管与输送管焊接的焊趾部位的氢致裂纹。



注：这是一种推荐焊接顺序；可以按照业主的意见采用其他焊接顺序。

图 B. 7 加强鞍板



注：这是一种推荐焊接顺序；根据业主的意见，可以采用其他焊接顺序，第③道和第④道环向焊缝可以不焊。

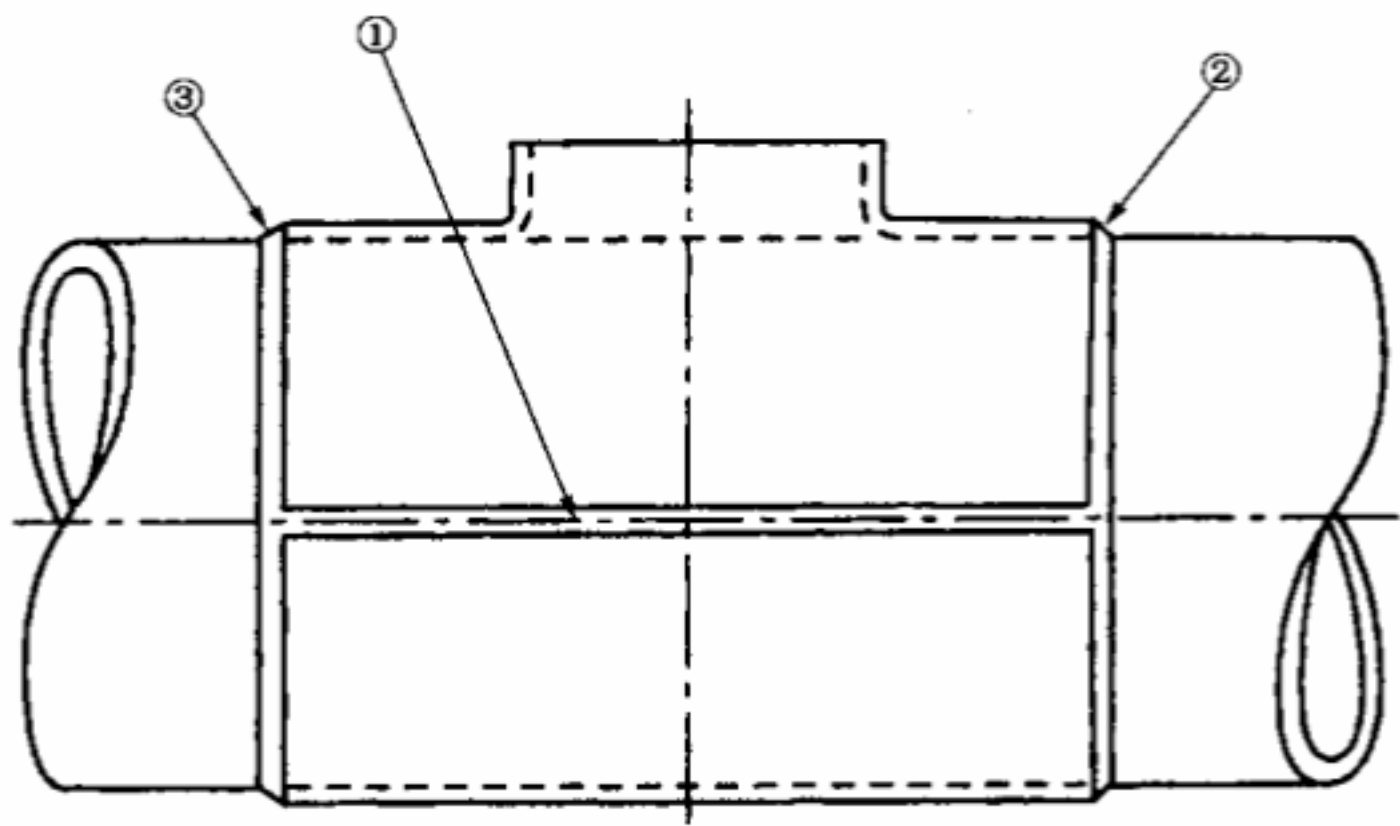
图 B. 8 环形套袖

B. 6 无损检测验收标准（包括外观检查）

第 9 章缺欠的无损检测验收标准应该适用于工程焊缝。

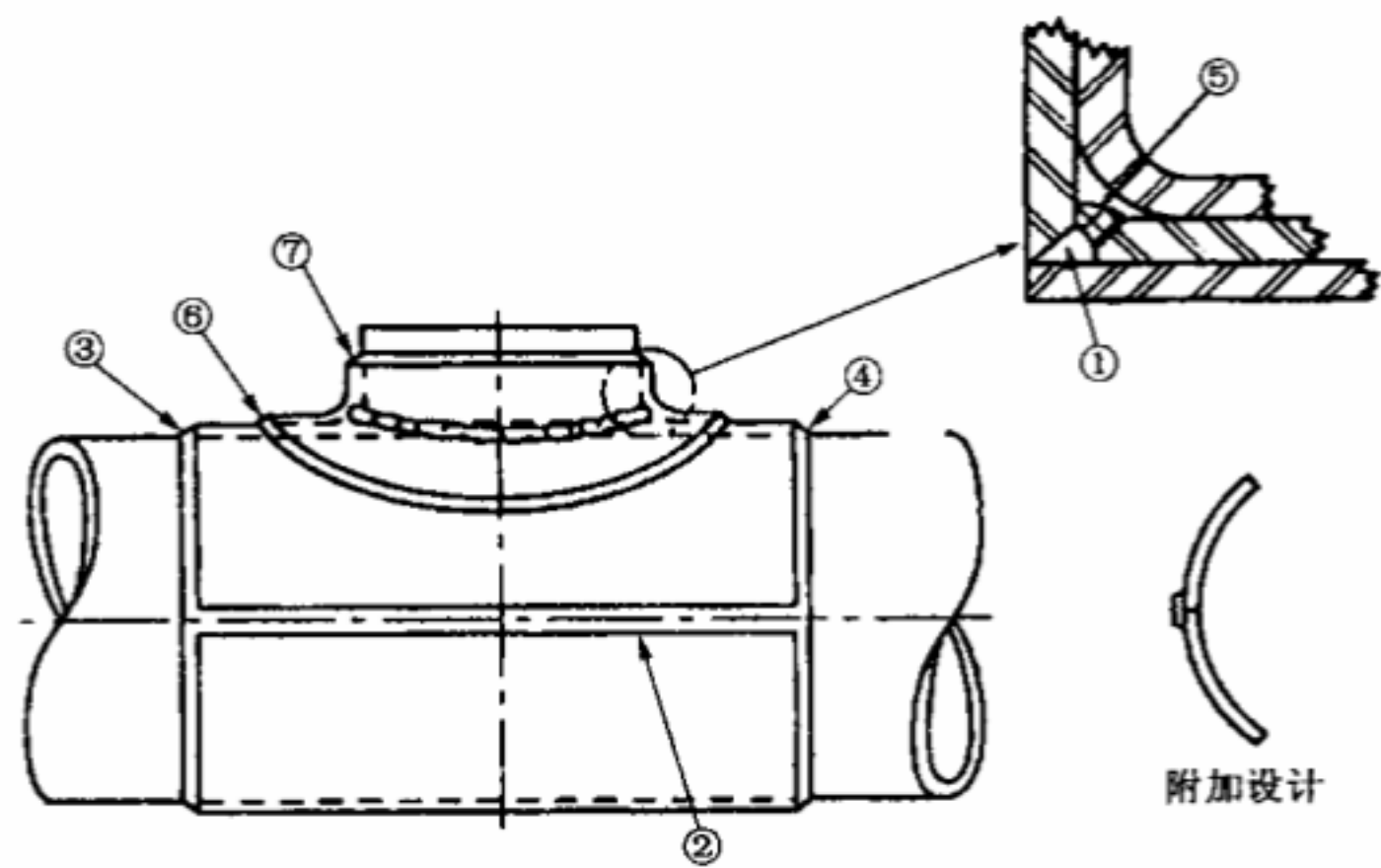
B. 7 缺欠的清除和返修

不停输管道系统焊缝中缺欠的清除和返修应该符合第 10 章的规定。清除缺欠时，应该保证壁厚不低于输送管能够承受工作压力的厚度。



注 1：这是一种推荐焊接顺序；可以按照业主的意见采用其他焊接顺序。  
注 2：施焊时，管件承受管线工作压力。

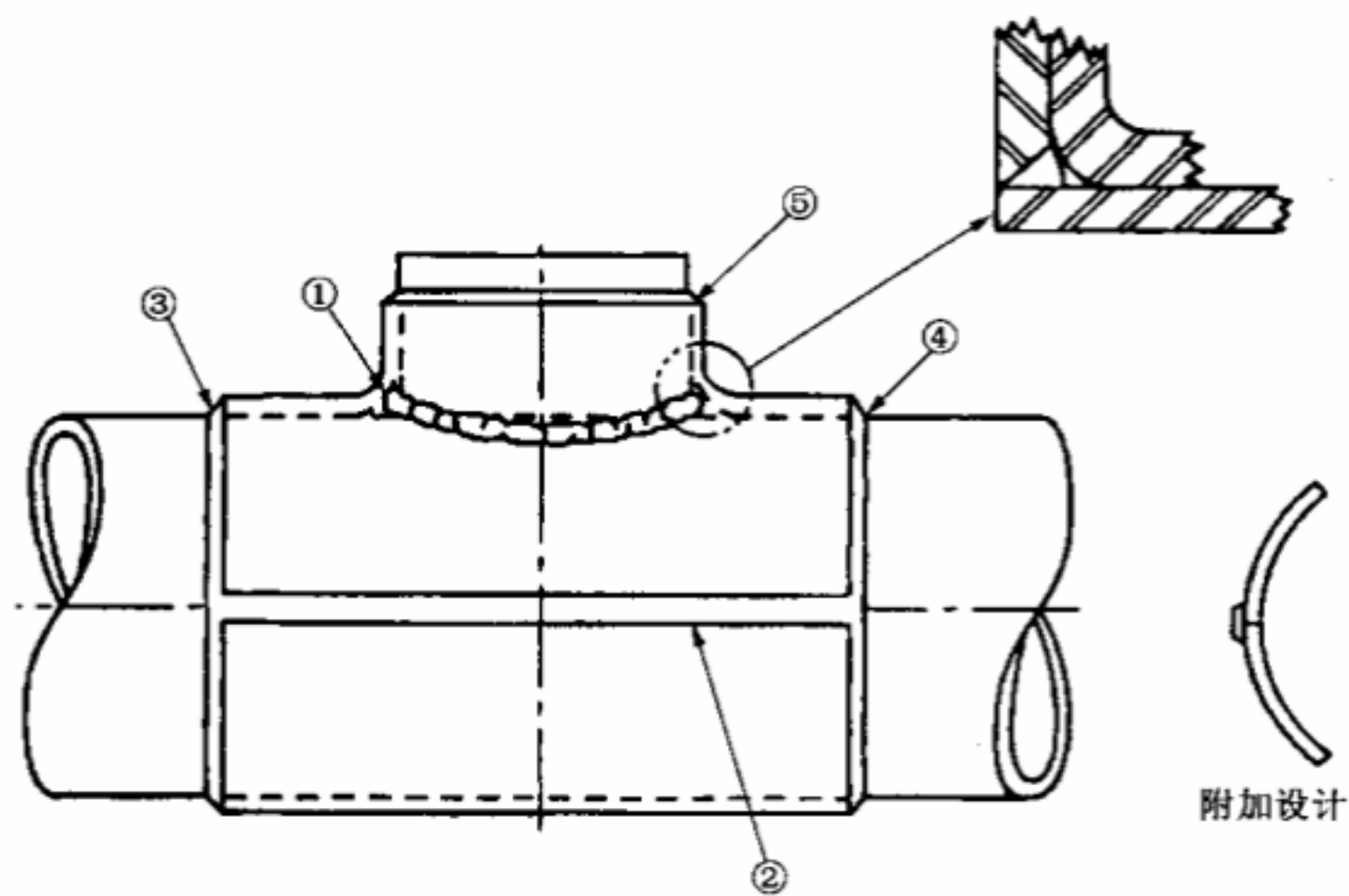
图 B. 9 环形三通管



注：这是一种推荐焊接顺序；根据业主的意见，可以采用其他焊接顺序，第③道和第④道环向焊缝可以不焊。

图 B. 10 环形套袖和鞍板





注：这是一种推荐焊接顺序；可以按照业主的意见采用其他焊接顺序。

图 B.11 环形鞍板

附 录 C  
(资料性附录)

本标准与 API Std 1104：1999 技术性差异及其原因

表 C. 1 给出了本标准与 API Std 1104：1999 的技术性差异及其原因的一览表。

表 C. 1 本标准与 API Std 1104：1999 技术性差异及其原因

本标准的章条编号	技术性差异	原 因
第 1 章	删除了 API Std 1104：1999 中 1.1 的 8~17 行。 第一段改为：“适用的焊接接头型式为对接接头、角接接头和搭接接头。适用的焊接方法为焊条电弧焊、埋弧焊、熔化极及非熔化极气保护电弧焊、药芯焊丝自保护焊、气焊和闪光对焊，以及上述方法之间相互组合的焊接方法。适用的焊接位置为固定焊、旋转焊或者两种位置的结合。”	文字叙述简明扼要
第 2 章	增加我国以下标准：GB/T 3091，GB/T 3375，GB/T 5117，GB/T 5118，GB/T 5293，GB/T 8110，GB/T 8163，GB/T 9711.1，GB/T 10045，GB/T 12470，GB/T 13793，GB/T 14957，GB/T 14958，GB/T 17493，JB/T 7902，SY/T 0327，SY/T 5307，SY/T 5038； 增加了 API Std 1104，ASTM E92。 引用我国文件：国质检锅〔2003〕248 号中华人民共和国质量监督检验检疫总局《特种设备无损检测人员考核与监督管理规则》。 删除了下列国外标准：ASNT RP SNT - TC - 1A，ACCP，ASTM E164，AWS A3.0，BSI BS 7448：Part 2，NACE MR 0175	更加符合我国国情
第 3 章	删除 API Std 1104：1999 中 3.2.6 和 3.2.11	原文定义重复
3.6	3.6 根焊 root bead “根焊，为管与管、管与管件或管件与管件之间焊接时的第一层焊道。”改为“根焊为管与管、管与管件或管件与管件之间焊接时的第一层焊道。”	内容更全面
3.7	增加“热焊，根焊完成后，立即进行的第二层焊道。”	按照我国焊接名词术语中有相关定义
3.8	增加“填充焊，根焊或热焊完成后，盖面焊之前的焊道。”	按照我国焊接名词术语中有相关定义
3.9	增加“盖面焊，最外面一层的成型焊道。”	按照我国焊接名词术语中有相关定义
3.12	“借助设备进行电弧焊，全部焊接过程无须焊工对电弧或焊条进行操作，焊工只起引导作用。因此可不要求焊工的手工技能。”改为“借助设备进行电弧焊，全部焊接过程无须焊工对电弧或焊丝（焊条）进行操作，焊工只起引导和调节作用。”	表述更严谨

表 C.1 (续)

本标准的章条编号	技术性差异	原 因
3. 14	变更了凹坑的定义	按照我国焊接名词术语中有相关定义
4. 2. 1	增加了以下标准: GB/T 3092, GB/T 8163, GB/T 9711.1, GB/T 13793, SY/T 5037, SY/T 5038	更加符合我国国情
4. 2. 2. 1	增加了以下标准: GB/T 5117, GB/T 5118, GB/T 5293, GB/T 8110, GB/T 10045, GB/T 12470, GB/T 14957, GB/T 14958, GB/T 17493	
第 5 章	删除了 API Std 1104: 1999 中 5.3.1 和 5.3.2.12	原文内容繁复
5. 2, 12. 3	改“评定合格”为“评定”	表述更恰当
5. 3. 1	应指明是使用焊条电弧焊、半自动焊或自动焊, 或它们的任意组合方法。改为“应指明所使用的焊接方法或它们的任何组合。”	表述更完善
5. 3. 4	指明接头型式、坡口型式、坡口角度。“如使用垫板时, 还需指明其形式。”改为“如使用垫板时, 还需指明其形式和材质。”	文字表达更加全面、明确
5. 3. 8	改为“应指明是旋转焊或是固定焊, 固定焊应指明水平固定焊接位置 (5G)、垂直焊接位置 (2G) 或 45°倾斜固定管位置 (6G)。”	表述更完善
图 1	焊接工艺规程说明书改为“焊接工艺评定记录”并删掉了多余的一个“焊接速度”	避免了重复
5. 3. 10, 12. 4. 2. 10	改为“应规定完成根焊道之后至开始第二焊道之间的最长时间间隔。”	表述更符合实际
5. 3. 16, 12. 4. 2. 19	增加“层间温度”指标, 规定焊接时焊道 (层) 之间的温度范围	符合实际
5. 4. 2. 4, 12. 4. 2. 8, A. 3. 1	改为“由旋转焊变为固定焊, 或反之。固定焊应指明水平固定焊接位置 (5G)、垂直焊接位置 (2G) 或 45°倾斜固定管位置 (6G)。6G 位可替代 5G 位和 2G 位, 其他不可相互替代。”	表述更完善
表 1	增加了以下标准及对应的焊条、焊丝和焊剂型号: GB/T 5117, GB/T 5118, GB/T 5293, GB/T 8110, GB/T 12470, GB/T 17493	更加符合我国国情
5. 4. 2. 7	改变了电特性的描述。 直流焊接时焊条 (焊丝) 接正变更为接负或反之; 将直流电变为交流电或反之。该部分改为“直流焊接时焊条 (焊丝) 接正变更为接负或反之; 将直流电变为交流电或反之。焊接电流和电压范围的变更。”	定义更加明确
5. 4. 2. 14	改变了热处理的描述: “增加或取消焊后热处理工艺或改变焊接工艺规程中焊后热处理的范围或温度。”	文字表达更加全面、明确

表 C.1 (续)

本标准的章条编号	技术性差异	原 因
6.3.1	该部分删掉了“考试的焊工应独立完成支管连接所需的所有画线、切割、组对和焊接工作。”	表述更恰当
6.4	该部分删掉了“采用自动焊或半自动焊时, 穿丝现象应尽力减小。”	表述更恰当
6.5.5	“对高强钢管焊口的弯曲试样允许不弯曲到完全的 U 形。”改为“对级别较高的钢管焊口的弯曲试样允许不弯曲到完全的 U 形。”	表述更恰当
第 7 章	“焊接接头的设计与准备”改为“管口的焊接”	表述更恰当
7.2	“应尽量少用用锤击法校正错口。”改为“应避免直接用锤击法校正错口。”	表述更恰当
7.7	去掉了“业主有要求时, 在施焊前应清除焊道间的熔渣。”	表述更完善
7.8.2, 7.9.2	“焊缝余高应不大于 1.6mm。”改为“焊缝余高应不大于 2.0mm, 局部不大于 3mm。” “相邻焊层引弧点应相互错开。焊缝表面宽度应大于坡口表面宽度 3mm。”改为“相邻焊层引弧点应相互错开。焊缝表面单侧宽度应大于坡口表面宽度 0.5mm~2.0mm。”	满足合于使用的原则
表 3 的“注”	增加以下内容: “该表适用于对接管资格考试和工程焊接要求的破坏性试验。” “外径小于 60.3 mm 的管子焊接两个试验焊缝, 各取一个刻槽锤断试样及一个背弯试样。”	文字表达更加全面、明确
8.4.1	删除 ASNT RP SNT-TC-1A 《无损检测人员资格鉴定推荐办法》, 增加了国质检锅[2003] 248 《特种设备无损检测人员考核与监督管理规则》	中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局《特种设备无损检测人员考核与监督管理规则》更科学合理、更适合我国目前的国情
9.1	增加了“上述检测方法也可按业主指定的标准执行。”	表述更灵活
10.1.1	“除非业主同意返修, 否则所有带裂纹的焊口应按 9.3.10 的规定从管线上切除。”改为“除非业主同意返修, 否则所有带裂纹的焊口应按有关的规定从管线上切除。”	表述更恰当
10.1.2	增加“同一部位的返修不得超过两次”	对返修的要求更加全面
10.2.4	标题改为“预热和层间温度”	表述更恰当
11.1.1	将原文“必须确定和记录射线探伤的详细过程”改为“应按本章或业主指定的标准制定射线检测规程。” 删除“有关图像质量的要求, 对 X 射线或 γ 射线均适用。” 将原文“工程射线探伤之前, 业主和射线探伤	表述更符合我国国情



表 C.1 (续)

本标准的章条编号	技术性差异	原 因
11.1.1	承包商商定所用的射线探伤规程，业主可以要求承包商证明；提出的射线探伤规程能获得合格的图像底片；业主可以责令承包商使用该规程进行射线探伤。”改为“工程射线检测之前，所用的射线检测规程应经业主批准。业主应要求检测单位验证其所用的射线检测规程的准确性。”	表述更符合我国国情
11.1.3.1	增加了表 5 焊缝高度的计算	查找方便
11.1.4， 11.1.5.2	增加了 JB/T 7902 线性像质计	根据我国国内检测实情需要
11.1.5.1， 11.1.5.2	表 6、表 7、表 8 为原文中的表 5、表 6、表 7	编辑性修改
11.4.3	11.4.3 中的 NDT 应改为无损检测	表述更明确
11.4.5	增加“具体试块按 SY/T 0327 的要求。”	SY/T 0327《石油天然气钢质管道对接环焊缝全自动超声波检测标准》在西气东输管道检测中以实际应用
12.2	“应按照焊接工艺指导书焊接两根整管或两管段的管接头。”改为“应按照焊接工艺指导书焊接两根整管或两个管段。”	表述更简练
12.5.2.15	标题改为“12.5.2.15 压缩喷嘴孔径的变更或气体成分的变更”。内容改为“对于等离子电弧焊，压缩喷嘴孔径的变更或气体成分的变更。”	表述更恰当
附录 C、附录 D 和附录 E	新增内容	根据我国实际情况，方便使用
全文	所有英制单位英寸（in）均改为国际单位制毫米（mm）	采用国家规定的法定计量单位

附录 D  
(资料性附录)  
焊工考试记录

焊工姓名：                      试件编号：                      项目名称：                      试验日期：                      年                      月                      日

焊接工艺方法：		执行焊接工艺规程编号：					
焊材型号：		规格：					
母材钢级：		规格：					
装配条件：坡口及角度：    型    (°)    对口方法：    根部间隙：    mm                      钝边： mm							
错                      边：最大错边量    mm，错边长度    mm，错边位置							
预热方法：		根焊接头：		预热温度：                      °C		延迟停气时间：	
电源种类：		环境温度：		保护气体类型：		焊后保温：	
电源型号：		环境湿度：		纯度要求：		运条方式：	
清理工具：		风                      速：		提前送气时间：		其                      他：	
工艺参数	焊道						
	根焊	热焊	填充 1	填充 2	填充 3	填充 4	盖面焊
焊条（丝）种类							
焊条（丝）规格，mm							
电压范围，V							
电流范围，A							
焊接速度，cm/min							
送丝速度，cm/min							
气体流量，L/min							
摆幅，mm							
摆频，Hz							
干伸长度，mm							
停留时间，s							
极性（正、反）							
焊接起始时间							
焊接结束时间							
焊接温度							
焊接方向							

焊工签字：    记录人签字：

焊工考试结果

非破坏性检验

外观检查  
报告编号：  
检查单位：

检查结论：  
检查标准：

报告日期：

管口编号	缺陷类型和尺寸	结    论

无损检测  
报告编号：  
检验单位：

检验结论：  
执行标准：

报告日期：

管口编号	缺陷类型和尺寸	结    论

破坏性试验

拉伸试验  
报告编号：  
试验单位：

试验结论：  
执行标准：  
管口编号：

报告日期：  
试样尺寸：

试样区号				
拉伸强度，MPa				
断裂位置				

导向弯曲试验  
报告编号：  
试验单位：

试验结论：  
执行标准：  
管口编号：

报告日期：

试样区号				
面弯缺陷及检验结果				
背弯缺陷及检验结果				
侧弯缺陷及检验结果				

刻槽锤断试验  
报告编号：  
试验单位：

试验结论：  
执行标准：  
管口编号：

报告日期：

试样区号				
断面缺陷				
检验结果				

附 录 E  
(资料性附录)  
参考文献

下列标准是本标准的资料性引用文件：

API RP 2201 在役设备的焊接工艺或热熔渣焊工艺 (*Procedures for welding or hot tapping on equipment in service*)

NACE MR 0175 油田设备用的耐硫化应力开裂的金属材料 (*Sulfide stress cracking resistant metallic materials for oilfield equipment*)

---