

UDC

中华人民共和国国家标准



P

GB 50911-2013

城市轨道交通工程监测技术规范

Code for monitoring measurement of urban
rail transit engineering

2013-09-06 发布

2014-05-01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部
中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局

联合发布

中华人民共和国国家标准

城市轨道交通工程监测技术规范

Code for monitoring measurement of urban
rail transit engineering

GB 50911-2013

主编部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期：2 0 1 4 年 5 月 1 日

中国建筑工业出版社

2013 北 京

中华人民共和国住房和城乡建设部 公 告

第 141 号

住房和城乡建设部关于发布国家标准 《城市轨道交通工程监测技术规范》的公告

现批准《城市轨道交通工程监测技术规范》为国家标准，编号为 GB 50911 - 2013，自 2014 年 5 月 1 日起实施。其中，第 3.1.1、9.1.1、9.1.5 条为强制性条文，必须严格执行。

本规范由我部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2013 年 9 月 6 日

前 言

根据住房和城乡建设部《关于印发〈2010 年工程建设标准规范制订、修订计划〉的通知》(建标[2010]43 号)的要求，规范编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国际标准和国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，编制本规范。

本规范的主要技术内容是：1. 总则；2. 术语和符号；3. 基本规定；4. 监测项目及要求；5. 支护结构和周围岩土体监测点布设；6. 周边环境监测点布设；7. 监测方法及技术要求；8. 监测频率；9. 监测项目控制值和预警；10. 线路结构变形监测；11. 监测成果及信息反馈。

本规范以黑体字标志的条文为强制性条文，必须严格执行。

本规范由住房和城乡建设部负责管理和对强制性条文的解释，由北京城建勘测设计研究院有限责任公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见和建议，请寄送北京城建勘测设计研究院有限责任公司《城市轨道交通工程监测技术规范》编制组(地址：北京市朝阳区安慧里五区六号；邮编：100101)。

本 规 范 主 编 单 位：北京城建勘测设计研究院有限责任公司

本 规 范 参 编 单 位：北京市轨道交通建设管理有限公司
北京城建设计研究总院有限责任公司
北京安捷工程咨询有限公司
国网电力科学研究院
上海岩土工程勘察设计研究院有限公司
广州地铁设计研究院有限公司
北京城建集团有限责任公司

北京市政建设集团有限责任公司
天津市地下铁道集团有限公司
北京城市快轨建设管理有限公司
中铁隧道集团技术中心
北京交通大学

本规范主要起草人员：金 淮 张建全 徐祯祥 张成满
贺少辉 刘 军 吕培印 张晓沪
鲁卫东 林志元 刘观标 孙河川
罗富荣 焦 莹 张晋勋 马雪梅
黄伏莲 马海志 彭友君 李治国
任 干 褚伟洪 胡 波 吴锋波
本规范主要审查人员：贺长俊 沈小克 刘俊岩 徐张建
杨秀仁 曹伍富 刘永中 潘国荣
万姜林

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	基本规定	5
3.1	基本要求	5
3.2	工程影响分区及监测范围	7
3.3	工程监测等级划分	8
4	监测项目及要 求	11
4.1	一般规定	11
4.2	仪器监测	11
4.3	现场巡查	16
4.4	远程视频监控	18
5	支护结构和周围岩土体监测点布 设	19
5.1	一般规定	19
5.2	明挖法和盖挖法	19
5.3	盾构法	23
5.4	矿山法	25
6	周边环境监测点布 设	28
6.1	一般规定	28
6.2	建（构）筑物	28
6.3	桥梁	29
6.4	地下管线	30
6.5	高速公路与城市道路	30
6.6	既有轨道交通	31

7	监测方法及技术要求	32
7.1	一般规定	32
7.2	水平位移监测	33
7.3	竖向位移监测	35
7.4	深层水平位移监测	36
7.5	土体分层竖向位移监测	37
7.6	倾斜监测	38
7.7	裂缝监测	39
7.8	净空收敛监测	39
7.9	爆破振动监测	41
7.10	孔隙水压力监测	41
7.11	地下水位监测	42
7.12	岩土压力监测	43
7.13	锚杆和土钉拉力监测	44
7.14	结构应力监测	44
7.15	现场巡查	44
7.16	远程视频监控	45
8	监测频率	46
8.1	一般规定	46
8.2	监测频率要求	47
9	监测项目控制值和预警	50
9.1	一般规定	50
9.2	支护结构和周围岩土体	51
9.3	周边环境	55
10	线路结构变形监测	59
10.1	一般规定	59
10.2	线路结构监测要求	59
11	监测成果及信息反馈	61
附录 A	监测项目代号和图例	64
附录 B	基准点、监测点的埋设	68

附录 C 现场巡查报表	76
附录 D 监测日报表	80
本规范用词说明	84
引用标准名录	85
附：条文说明	87

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Technical Terms	2
2.2	Symbols	3
3	Basic Requirements	5
3.1	General Requirements	5
3.2	Influenced Zone due to Construction and Monitoring Measurement Range	7
3.3	Monitoring Measurement Grade	8
4	Monitoring Items and Requirements	11
4.1	General Requirements	11
4.2	Instrument Monitoring	11
4.3	Inspection and Examination Contents	16
4.4	Remote Video Contents	18
5	Monitoring Point Arrangement of Supporting Structure, Surrounding Rock and Soil	19
5.1	General Requirements	19
5.2	Cut and Cover Method	19
5.3	Shield Method	23
5.4	Mining Method	25
6	Monitoring Point Arrangement of Around Environment	28
6.1	General Requirements	28
6.2	Building and Structure	28
6.3	Bridge	29

6.4	Underground Pipeline	30
6.5	Expressway and City Road	30
6.6	Existing Railway	31
7	Monitoring Methods and Technical Requirements	32
7.1	General Requirements	32
7.2	Horizontal Displacement	33
7.3	Vertical Displacement	35
7.4	Horizontal Displacement in Deep Stratum	36
7.5	Vertical Displacement in Different Stratum	37
7.6	Inclination	38
7.7	Crack	39
7.8	Section Convergence	39
7.9	Blasting Vibration	41
7.10	Pore Water Pressure	41
7.11	Water Table	42
7.12	Surrounding Rock and Soil Pressure	43
7.13	Tensile Force in Anchor Rod, Anchor Cable and Soil Nail	44
7.14	Stress in Supporting	44
7.15	Inspection and Examination	44
7.16	Remote Video	45
8	Monitoring Frequency	46
8.1	General Requirements	46
8.2	Monitoring Measurement Requirements of Frequency	47
9	Controlled Value in Monitoring	50
9.1	General Requirements	50
9.2	Supporting Structure, Surrounding Rock and Soil	51
9.3	Around Environment	55
10	Deformation Monitoring of Line Structure	59
10.1	General Requirements	59

10.2 Monitoring Measurement Requirements of Line Structure ...	59
11 Monitoring Achievement and Information Feedback	61
Appendix A Monitoring Items Number and Graphic	
Example	64
Appendix B Reference Points and Observation Point	
Diagram	68
Appendix C Inspection and Examination Report	76
Appendix D Monitoring Daily Report	80
Explanation of Wording in This Code	84
List of Quoted Standards	85
Addition: Explanation of Provisions	87

1 总 则

1.0.1 为规范城市轨道交通工程监测工作，做到技术先进、经济合理、成果可靠，保证工程结构和周边环境的安全，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于城市轨道交通新建、改建、扩建工程及工程运行维护的监测工作。

1.0.3 城市轨道交通工程监测应编制合理的监测方案，精心组织和实施监测，为动态设计、信息化施工和安全运营及时提供准确、可靠的监测成果。

1.0.4 城市轨道交通工程监测，除应符合本规范外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 监测 monitoring measurement

采用仪器量测、现场巡查或远程视频监控等手段和方法，长期、连续地采集和收集反映工程施工、运营线路结构以及周边环境对象的安全状态、变化特征及其发展趋势的信息，并进行分析、反馈的活动。

2.1.2 周边环境 around environment

城市轨道交通工程施工影响范围内的既有轨道交通设施、建（构）筑物、地下管线、桥梁、高速公路、道路、河流、湖泊等环境对象的统称。

2.1.3 支护结构 supporting structure

基坑支护结构和隧道支护结构的统称。基坑支护结构是指为保证基坑开挖、地下结构施工和周边环境的安全，对基坑侧壁进行临时支挡、加固使基坑侧壁岩土体基本稳定的结构，包括支护桩（墙）和支撑（或锚杆）等结构；隧道支护结构是指隧道开挖过程中及时施作的能够使围岩基本稳定的结构，包括超前支护、临时支护、初期支护和二次衬砌等结构。

2.1.4 周围岩土体 surrounding rock and soil

城市轨道交通基坑、隧道工程施工影响范围内的岩体、土体、地下水等工程地质和水文地质条件的统称。

2.1.5 工程影响分区 influenced zone due to construction

根据周围岩土体和周边环境受工程施工影响程度的大小而进行的区域划分。

2.1.6 风险 risk

不利事件或事故发生的概率（频率）及其损失的组合。

2.1.7 工程监测等级 monitoring measurement grade

根据基坑、隧道工程自身、周边环境和地质条件等的风险大小，对工程监测进行的等级划分。

2.1.8 变形监测 deformation monitoring

对周边环境、支护结构和周围岩土体等监测对象的竖向、水平、倾斜等变化所进行的量测工作。

2.1.9 力学监测 mechanical monitoring

对周边环境、支护结构和周围岩土体等监测对象所承受的拉力、压力及变化等所进行的量测工作。

2.1.10 明挖法 cut and cover method

由地面开挖岩土修筑基坑的施工方法。

2.1.11 盖挖法 cover and cut method

由地面开挖岩土修筑结构顶板及其竖向支撑结构，然后在顶板下面开挖岩土修筑结构的施工方法，包括盖挖顺筑法和盖挖逆筑法。

2.1.12 盾构法 shield method

在岩土体内采用盾构开挖岩土修筑隧道的施工方法。

2.1.13 矿山法 mining method

在岩土体内采用人工、机械或钻眼爆破等开挖岩土修筑隧道的施工方法。

2.1.14 监测点 observation point

直接或间接设置在监测对象上，并能反映监测对象力学或变形特征的观测点。

2.1.15 监测项目控制值 controlled value for monitoring

为满足工程支护结构安全及环境保护要求，控制监测对象的状态变化，针对各监测项目的监测数据变化量所设定的受力或变形的设计允许值的限值。

2.2 符 号

B ——矿山法隧道或导洞开挖宽度；

- D ——盾构法隧道开挖直径；
- D' ——水平位移累计变化量控制值；
- f ——构件的承载能力设计值；
- f_y ——支撑、锚杆的预应力设计值；
- H ——基坑设计深度；
- i ——隧道地表沉降曲线 Peck 计算公式中的沉降槽宽度系数；水准仪视准轴与水准管轴的夹角；
- l ——相邻基础的中心距离；
- L ——开挖面至监测点或监测断面的水平距离；
- L_g ——地下管线管节长度；
- L_s ——沿隧道轴向两监测点间距；
- L_t ——沿铁路走向两监测点间距；
- S ——竖向位移累计变化量控制值；
- φ ——内摩擦角；
- v_d ——水平位移变化速率控制值；
- v_s ——竖向位移变化速率控制值。

3 基本规定

3.1 基本要求

3.1.1 城市轨道交通地下工程应在施工阶段对支护结构、周围岩土体及周边环境进行监测。

3.1.2 地下工程施工期间的工程监测应为验证设计、施工及环境保护等方案的安全性和合理性，优化设计和施工参数，分析和预测工程结构和周边环境的安全状态及其发展趋势，实施信息化施工等提供资料。

3.1.3 工程监测应遵循下列工作流程：

- 1 收集、分析相关资料，现场踏勘；
- 2 编制和审查监测方案；
- 3 埋设、验收与保护监测基准点和监测点；
- 4 校验仪器设备，标定元器件，测定监测点初始值；
- 5 采集监测信息；
- 6 处理和分析监测信息；
- 7 提交监测日报、警情快报、阶段性监测报告等；
- 8 监测工作结束后，提交监测工作总结报告及相应的成果资料。

3.1.4 工程监测方案编制前应收集并分析水文气象资料、岩土工程勘察报告、周边环境调查报告、安全风险评估报告、设计文件及施工方案等相关资料，并进行现场踏勘。

3.1.5 工程监测方案应根据工程的施工特点，在分析研究工程风险及影响工程安全的关键部位和关键工序的基础上，有针对性地进行编制。监测方案宜包括下列内容：

- 1 工程概况；
- 2 建设场地地质条件、周边环境条件及工程风险特点；

- 3 监测目的和依据；
 - 4 监测范围和工程监测等级；
 - 5 监测对象及项目；
 - 6 基准点、监测点的布设方法与保护要求，监测点布置图；
 - 7 监测方法和精度；
 - 8 监测频率；
 - 9 监测控制值、预警等级、预警标准及异常情况下的监测措施；
 - 10 监测信息的采集、分析和处理要求；
 - 11 监测信息反馈制度；
 - 12 监测仪器设备、元器件及人员的配备；
 - 13 质量管理、安全管理及其他管理制度。
- 3.1.6** 监测点的布设位置和数量应满足反映工程结构和周边环境安全状态的要求。
- 3.1.7** 监测点的埋设位置应便于观测，不应影响和妨碍监测对象的正常受力和使用。监测点应埋设稳固，标识清晰，并应采取有效的保护措施。
- 3.1.8** 现场监测应采用仪器量测、现场巡查、远程视频等多种手段相结合的综合方法进行信息采集。对穿越既有轨道交通、重要建（构）筑物等安全风险较大的周边环境，宜采用远程自动化实时监测。
- 3.1.9** 监测信息采集的频率和监测期应根据设计要求、施工方法、施工进度、监测对象特点、地质条件和周边环境条件综合确定，并应满足反映监测对象变化过程的要求。
- 3.1.10** 监测信息应及时进行处理、分析和反馈，发现影响工程及周边环境安全的异常情况时，必须立即报告。
- 3.1.11** 当工程遇到下列情况时，应编制专项监测方案：
- 1 穿越或邻近既有轨道交通设施；
 - 2 穿越重要的建（构）筑物、高速公路、桥梁、机场跑道等；
 - 3 穿越河流、湖泊等地表水体；

- 4 穿越岩溶、断裂带、地裂缝等不良地质条件；
 - 5 采用新工艺、新工法或有其他特殊要求。
- 3.1.12 突发风险事件时的应急抢险监测应在原有监测工作的基础上有针对性地加密监测点、提高监测频率或增加监测项目，并宜进行远程自动化实时监测。
- 3.1.13 城市轨道交通应在运营期间对线路中的隧道、高架桥梁和路基结构及重要附属结构等的变形进行监测。

3.2 工程影响分区及监测范围

- 3.2.1 工程影响分区应根据基坑、隧道工程施工对周围岩土体扰动和周边环境影响的程度及范围划分，可分为主要、次要和可能等三个工程影响分区。
- 3.2.2 基坑工程影响分区宜按表 3.2.2 的规定进行划分。

表 3.2.2 基坑工程影响分区

基坑工程影响区	范 围
主要影响区（Ⅰ）	基坑周边 $0.7H$ 或 $H \cdot \tan(45^\circ - \varphi/2)$ 范围内
次要影响区（Ⅱ）	基坑周边 $0.7H \sim (2.0 \sim 3.0)H$ 或 $H \cdot \tan(45^\circ - \varphi/2) \sim (2.0 \sim 3.0)H$ 范围内
可能影响区（Ⅲ）	基坑周边 $(2.0 \sim 3.0)H$ 范围外

- 注：1 H ——基坑设计深度（m）， φ ——岩土体内摩擦角（°）；
- 2 基坑开挖范围内存在基岩时， H 可为覆盖土层和基岩强风化层厚度之和；
- 3 工程影响分区的划分界线取表中 $0.7H$ 或 $H \cdot \tan(45^\circ - \varphi/2)$ 的较大值。

- 3.2.3 土质隧道工程影响分区宜按表 3.2.3 的规定进行划分。隧道穿越基岩时，应根据覆盖土层特征、岩石坚硬程度、风化程度及岩体结构与构造等地质条件，综合确定工程影响分区界线。

表 3.2.3 土质隧道工程影响分区

隧道工程影响区	范 围
主要影响区（Ⅰ）	隧道正上方及沉降曲线反弯点范围内
次要影响区（Ⅱ）	隧道沉降曲线反弯点至沉降曲线边缘 $2.5i$ 处
可能影响区（Ⅲ）	隧道沉降曲线边缘 $2.5i$ 外

- 注： i ——隧道地表沉降曲线 Peck 计算公式中的沉降槽宽度系数（m）。

3.2.4 工程影响分区的划分界线应根据地质条件、施工方法及措施特点，结合当地的工程经验进行调整。当遇到下列情况时，应调整工程影响分区界线：

1 隧道、基坑周边土体以淤泥、淤泥质土或其他高压缩性土为主时，应增大工程主要影响区和次要影响区；

2 隧道穿越或基坑处于断裂破碎带、岩溶、土洞、强风化岩、全风化岩或残积土等不良地质体或特殊性岩土发育区域，应根据其分布和对工程的危害程度调整工程影响分区界线；

3 采用锚杆支护、注浆加固、高压旋喷等工程措施时，应根据其对岩土体的扰动程度和影响范围调整工程影响分区界线；

4 采用施工降水措施时，应根据降水影响范围和预计的地面沉降大小调整工程影响分区界线；

5 施工期间出现严重的涌砂、涌土或管涌以及较严重渗漏水、支护结构过大变形、周边建（构）筑物或地下管线严重变形等异常情况时，宜根据工程实际情况增大工程主要影响区和次要影响区。

3.2.5 监测范围应根据基坑设计深度、隧道埋深和断面尺寸、施工工法、支护结构形式、地质条件、周边环境条件等综合确定，并应包括主要影响区和次要影响区。

3.2.6 采用爆破开挖岩土体的地下工程，爆破振动的监测范围应根据工程实际情况通过爆破试验确定。

3.3 工程监测等级划分

3.3.1 工程监测等级宜根据基坑、隧道工程的自身风险等级、周边环境风险等级和地质条件复杂程度进行划分。

3.3.2 基坑、隧道工程的自身风险等级宜根据支护结构发生变形或破坏、岩土体失稳等的可能性和后果的严重程度，采用工程风险评估的方法确定，也可根据基坑设计深度、隧道埋深和断面尺寸等按表 3.3.2 划分。

表 3.3.2 基坑、隧道工程的自身风险等级

工程自身风险等级		等级划分标准
基坑工程	一级	设计深度大于或等于 20m 的基坑
	二级	设计深度大于或等于 10m 且小于 20m 的基坑
	三级	设计深度小于 10m 的基坑
隧道工程	一级	超浅埋隧道；超大断面隧道
	二级	浅埋隧道；近距离并行或交叠的隧道；盾构始发与接收区段；大断面隧道
	三级	深埋隧道；一般断面隧道

注：1 超大断面隧道是指断面尺寸大于 100m² 的隧道；大断面隧道是指断面尺寸在 50m²~100m² 的隧道；一般断面隧道是指断面尺寸在 10m²~50m² 的隧道；

2 近距离隧道是指两隧道间距在一倍开挖宽度（或直径）范围以内；

3 隧道深埋、浅埋和超浅埋的划分根据施工工法、围岩等级、隧道覆土厚度与开挖宽度（或直径），结合当地工程经验综合确定。

3.3.3 周边环境风险等级宜根据周边环境发生变形或破坏的可能性和后果的严重程度，采用工程风险评估的方法确定，也可根据周边环境的类型、重要性、与工程的空间位置关系和对工程的危害性按表 3.3.3 划分。

表 3.3.3 周边环境风险等级

周边环境风险等级	等级划分标准
一级	主要影响区内存在既有轨道交通设施、重要建（构）筑物、重要桥梁与隧道、河流或湖泊
二级	主要影响区内存在一般建（构）筑物、一般桥梁与隧道、高速公路或重要地下管线 次要影响区内存在既有轨道交通设施、重要建（构）筑物、重要桥梁与隧道、河流或湖泊 隧道工程上穿既有轨道交通设施

续表 3.3.3

周边环境风险等级	等级划分标准
三级	主要影响区内存在城市重要道路、一般地下管线或一般市政设施 次要影响区内存在一般建（构）筑物、一般桥梁与隧道、高速公路或重要地下管线
四级	次要影响区内存在城市重要道路、一般地下管线或一般市政设施

3.3.4 地质条件复杂程度可根据场地地形地貌、工程地质条件和水文地质条件按表 3.3.4 划分。

表 3.3.4 地质条件复杂程度

地质条件复杂程度	等级划分标准
复杂	地形地貌复杂；不良地质作用强烈发育；特殊性岩土需要专门处理；地基、围岩和边坡的岩土性质较差；地下水对工程的影响较大需要进行专门研究和治理
中等	地形地貌较复杂；不良地质作用一般发育；特殊性岩土不需要专门处理；地基、围岩和边坡的岩土性质一般；地下水对工程的影响较小
简单	地形地貌简单；不良地质作用不发育；地基、围岩和边坡的岩土性质较好；地下水对工程无影响

注：符合条件之一即为对应的地质条件复杂程度，从复杂开始，向中等、简单推定，以最先满足的为准。

3.3.5 工程监测等级可按表 3.3.5 划分，并应根据当地经验结合地质条件复杂程度进行调整。

表 3.3.5 工程监测等级

工程监测等级 周边环境 风险等级		一级	二级	三级	四级
工程自身风险等级		一级	一级	一级	一级
一级		一级	二级	二级	二级
二级		一级	二级	三级	三级
三级		一级	二级	三级	四级

4 监测项目及要求

4.1 一般规定

4.1.1 工程监测对象的选择应在满足工程支护结构安全和周边环境
保护要求的条件下，针对不同的施工方法，根据支护结构设计
方案、周围岩土体及周边环境条件综合确定。监测对象宜包括
下列内容：

1 基坑工程中的支护桩（墙）、立柱、支撑、锚杆、土钉等
结构，矿山法隧道工程中的初期支护、临时支护、二次衬砌及盾
构法隧道工程中的管片等支护结构；

2 工程周围岩体、土体、地下水及地表；

3 工程周边建（构）筑物、地下管线、高速公路、城市道
路、桥梁、既有轨道交通及其他城市基础设施等环境。

4.1.2 工程监测项目应根据监测对象的特点、工程监测等级、
工程影响分区、设计及施工的要求合理确定，并应反映监测对象
的变化特征和安全状态。

4.1.3 各监测对象和项目应相互配套，满足设计、施工方案
的要求，并形成有效、完整的监测体系。

4.2 仪器监测

4.2.1 明挖法和盖挖法基坑支护结构和周围岩土体监测项目应
根据表 4.2.1 选择。

表 4.2.1 明挖法和盖挖法基坑支护结构和周围岩土体监测项目

序号	监测项目	工程监测等级		
		一级	二级	三级
1	支护桩（墙）、边坡顶部水平位移	√	√	√

续表 4.2.1

序号	监测项目	工程监测等级		
		一级	二级	三级
2	支护桩（墙）、边坡顶部竖向位移	√	√	√
3	支护桩（墙）体水平位移	√	√	○
4	支护桩（墙）结构应力	○	○	○
5	立柱结构竖向位移	√	√	○
6	立柱结构水平位移	√	○	○
7	立柱结构应力	○	○	○
8	支撑轴力	√	√	√
9	顶板应力	○	○	○
10	锚杆拉力	√	√	√
11	土钉拉力	○	○	○
12	地表沉降	√	√	√
13	竖井井壁支护结构净空收敛	√	√	√
14	土体深层水平位移	○	○	○
15	土体分层竖向位移	○	○	○
16	坑底隆起（回弹）	○	○	○
17	支护桩（墙）侧向土压力	○	○	○
18	地下水位	√	√	√
19	孔隙水压力	○	○	○

注：√——应测项目，○——选测项目。

4.2.2 盾构法隧道管片结构和周围岩土体监测项目应根据表 4.2.2 选择。

表 4.2.2 盾构法隧道管片结构和周围岩土体监测项目

序号	监测项目	工程监测等级		
		一级	二级	三级
1	管片结构竖向位移	√	√	√
2	管片结构水平位移	√	○	○
3	管片结构净空收敛	√	√	√
4	管片结构应力	○	○	○

续表 4.2.2

序号	监测项目	工程监测等级		
		一级	二级	三级
5	管片连接螺栓应力	○	○	○
6	地表沉降	√	√	√
7	土体深层水平位移	○	○	○
8	土体分层竖向位移	○	○	○
9	管片围岩压力	○	○	○
10	孔隙水压力	○	○	○

注：√——应测项目，○——选测项目。

4.2.3 矿山法隧道支护结构和周围岩土体监测项目应根据表 4.2.3 选择。

表 4.2.3 矿山法隧道支护结构和周围岩土体监测项目

序号	监测项目	工程监测等级		
		一级	二级	三级
1	初期支护结构拱顶沉降	√	√	√
2	初期支护结构底板竖向位移	√	○	○
3	初期支护结构净空收敛	√	√	√
4	隧道拱脚竖向位移	○	○	○
5	中柱结构竖向位移	√	√	○
6	中柱结构倾斜	○	○	○
7	中柱结构应力	○	○	○
8	初期支护结构、二次衬砌应力	○	○	○
9	地表沉降	√	√	√
10	土体深层水平位移	○	○	○
11	土体分层竖向位移	○	○	○
12	围岩压力	○	○	○
13	地下水位	√	√	√

注：√——应测项目，○——选测项目。

4.2.4 当遇到下列情况时，应对工程周围岩土体进行监测：

1 基坑深度较大、基底土质软弱或基底下存在承压水且对工程影响较大时，应进行坑底隆起（回弹）监测；

2 基坑侧壁、隧道围岩的地质条件复杂，岩土体易产生较大变形、空洞、坍塌的部位或区域，应进行土体分层竖向位移或深层水平位移监测；

3 在软土地区，基坑或隧道邻近对沉降敏感的建（构）筑物等环境时，应进行孔隙水压力、土体分层竖向位移或深层水平位移监测；

4 工程邻近或穿越岩溶、断裂带等不良地质条件，或施工扰动引起周围岩土体物理力学性质发生较大变化，并对支护结构、周边环境或施工可能造成危害时，应结合工程实际选择岩土体监测项目。

4.2.5 周边环境监测项目应根据表 4.2.5 选择。当主要影响区存在高层、高耸建（构）筑物时，应进行倾斜监测。既有城市轨道交通高架线和地面线的监测项目可按照桥梁和既有铁路的监测项目选择。

表 4.2.5 周边环境监测项目

监测对象	监测项目	工程影响分区	
		主要影响区	次要影响区
建（构）筑物	竖向位移	√	√
	水平位移	○	○
	倾斜	○	○
	裂缝	√	○
地下管线	竖向位移	√	○
	水平位移	○	○
	差异沉降	√	○

续表 4.2.5

监测对象	监测项目	工程影响分区	
		主要影响区	次要影响区
高速公路与城市道路	路面路基竖向位移	√	○
	挡墙竖向位移	√	○
	挡墙倾斜	√	○
桥梁	墩台竖向位移	√	√
	墩台差异沉降	√	√
	墩柱倾斜	√	√
	梁板应力	○	○
	裂缝	√	○
既有城市轨道交通	隧道结构竖向位移	√	√
	隧道结构水平位移	√	○
	隧道结构净空收敛	○	○
	隧道结构变形缝差异沉降	√	√
	轨道结构（道床）竖向位移	√	√
	轨道静态几何形位（轨距、轨向、高低、水平）	√	√
	隧道、轨道结构裂缝	√	○
既有铁路（包括城市轨道交通地面线）	路基竖向位移	√	√
	轨道静态几何形位（轨距、轨向、高低、水平）	√	√

注：√——应测项目，○——选测项目。

4.2.6 当工程周边存在既有轨道交通或对位移有特殊要求的建（构）筑物及设施时，监测项目应与有关管理部门或单位共同确定。

4.2.7 采用钻爆法施工时，应对爆破振动影响范围内的建（构）

筑物、桥梁等高风险环境进行振动速度或加速度监测。

4.2.8 仪器监测项目的代号和图例应规范、统一，并宜按本规范附录 A 执行。

4.3 现场巡查

4.3.1 明挖法和盖挖法基坑施工现场巡查宜包括下列内容：

1 施工工况：

- 1) 开挖长度、分层高度及坡度，开挖面暴露时间；
- 2) 开挖面岩土体的类型、特征、自稳性，渗漏水量大小及发展情况；
- 3) 降水或回灌等地下水控制效果及设施运转情况；
- 4) 基坑侧壁及周边地表截、排水措施及效果，坑边或基底积水情况；
- 5) 支护桩（墙）后土体裂缝、沉陷，基坑侧壁或基底的涌土、流砂、管涌情况；
- 6) 基坑周边的超载情况；
- 7) 放坡开挖的基坑边坡位移、坡面开裂情况。

2 支护结构：

- 1) 支护桩（墙）的裂缝、侵限情况；
- 2) 冠梁、围檩的连续性，围檩与桩（墙）之间的密贴性，围檩与支撑的防坠落措施；
- 3) 冠梁、围檩、支撑的变形或裂缝情况；
- 4) 支撑架设情况；
- 5) 盖挖法顶板的变形和开裂，顶板与立柱、墙体的连接情况；
- 6) 锚杆、土钉垫板的变形、松动情况；
- 7) 止水帷幕的开裂、渗漏水情况。

4.3.2 盾构法隧道施工现场巡查宜包括下列内容：

- 1 盾构始发端、接收端土体加固情况；
- 2 盾构掘进位置（环号）；

- 3 盾构停机、开仓等的的时间和位置；
- 4 管片破损、开裂、错台、渗漏水情况；
- 5 联络通道开洞口情况。

4.3.3 矿山法隧道施工现场巡查宜包括下列内容：

1 施工工况：

- 1) 开挖步序、步长、核心土尺寸等情况；
- 2) 开挖面岩土体的类型、特征、自稳性，地下水渗漏及发展情况；
- 3) 开挖面岩土体的坍塌位置、规模；
- 4) 降水或止水等地下水控制效果及降水设施运转情况。

2 支护结构：

- 1) 超前支护施作情况及效果、钢拱架架设、挂网及喷射混凝土的及时性、连接板的连接及锁脚锚杆的打设情况；
- 2) 初期支护结构渗漏水情况；
- 3) 初期支护结构开裂、剥离、掉块情况；
- 4) 临时支撑结构的变位情况；
- 5) 二衬结构施作时临时支撑结构分段拆除情况；
- 6) 初期支护结构背后回填注浆的及时性。

4.3.4 周边环境现场巡查宜包括下列内容：

1 建（构）筑物、桥梁墩台或梁体、既有轨道交通结构等的裂缝位置、数量和宽度，混凝土剥落位置、大小和数量，设施的使用状况；

2 地下构筑物积水及渗水情况，地下管线的漏水、漏气情况；

3 周边路面或地表的裂缝、沉陷、隆起、冒浆的位置、范围等情况；

4 河流湖泊的水位变化情况，水面出现漩涡、气泡及其位置、范围，堤坡裂缝宽度、深度、数量及发展趋势等；

5 工程周边开挖、堆载、打桩等可能影响工程安全的生产

活动。

4.3.5 基准点、监测点、监测元器件的完好状况、保护情况应定期巡视检查。

4.4 远程视频监控

4.4.1 对工程施工中风险较大的部位宜进行远程视频监控，且远程视频监控现场应有适当的照明条件，当无照明条件时可采用红外设备进行监控。

4.4.2 下列部位宜进行远程视频监控：

- 1 明挖法和盖挖法基坑工程的岩土体开挖面、支护结构、周边环境等；
- 2 盾构法隧道工程的始发、接收井与联络通道；
- 3 矿山法隧道工程的岩土体开挖面；
- 4 施工竖井、洞口、通道、提升设备等重点部位。

5 支护结构和周围岩土体监测点布设

5.1 一般规定

5.1.1 支护结构和周围岩土体监测点的布设位置和数量应根据施工工法、工程监测等级、地质条件及监测方法的要求等综合确定，并应满足反映监测对象实际状态、位移和内力变化规律，及分析监测对象安全状态的要求。

5.1.2 支护结构监测应在支护结构设计计算的位移与内力最大部位、位移与内力变化最大部位及反映工程安全状态的关键部位等布设监测点。

5.1.3 监测点布设时应设置监测断面，且监测断面的布设应反映监测对象的变化规律，以及不同监测对象之间的内在变化规律。监测断面的位置和数量宜根据工程条件及规模进行确定。

5.2 明挖法和盖挖法

5.2.1 明挖法和盖挖法的支护桩（墙）、边坡顶部水平位移和竖向位移监测点布设应符合下列规定：

1 监测点应沿基坑周边布设，且监测等级为一级、二级时，布设间距宜为 10m～20m；监测等级为三级时，布设间距宜为 20m～30m；

2 基坑各边中间部位、阳角部位、深度变化部位、邻近建（构）筑物及地下管线等重要环境部位、地质条件复杂部位等，应布设监测点；

3 对于出入口、风井等附属工程的基坑，每侧的监测点不应少于 1 个；

4 水平和竖向位移监测点宜为共用点，监测点应布设在支护桩（墙）顶或基坑坡顶上。

5.2.2 明挖法和盖挖法的支护桩（墙）体水平位移监测点布置应符合下列规定：

1 监测点应沿基坑周边的桩（墙）体布置，且监测等级为一级、二级时，布设间距宜为 20m~40m，监测等级为三级时，布设间距宜为 40m~50m；

2 基坑各边中间部位、阳角部位及其他代表性部位的桩（墙）体应布设监测点；

3 监测点的布置位置宜与支护桩（墙）顶部水平位移和竖向位移监测点处于同一监测断面。

5.2.3 明挖法和盖挖法的支护桩（墙）结构应力监测断面及监测点布置应符合下列规定：

1 基坑各边中间部位、深度变化部位、桩（墙）体背后水土压力较大部位、地面荷载较大或其他变形较大部位、受力条件复杂部位等，应布设竖向监测断面；

2 监测断面的布置位置与支护桩（墙）体水平位移监测点宜共同组成监测断面；

3 监测点的竖向间距应根据桩（墙）体的弯矩大小及土层分布情况确定，且监测点竖向间距不宜大于 5m，在弯矩最大处应布设监测点。

5.2.4 明挖法和盖挖法的立柱结构竖向位移、水平位移和结构应力监测点布置应符合下列规定：

1 竖向位移和水平位移的监测数量不应少于立柱总数量的 5%，且不应少于 3 根；当基底受承压水影响较大或采用逆作法施工时，应增加监测数量；

2 竖向位移和水平位移监测宜选择基坑中部、多根支撑交汇处、地质条件复杂处的立柱；

3 竖向位移和水平位移监测点宜布设在便于观测和保护 of 立柱侧面上；

4 水平位移监测点宜在立柱结构顶部、底部上下对应布设，并可在中部增加监测点；

5 结构应力监测应选择受力较大的立柱，监测点宜布设在各层支撑立柱的中间部位或立柱下部的 $1/3$ 部位，并宜沿立柱周边均匀布设 4 个监测点。

5.2.5 明挖法和盖挖法的支撑轴力监测断面及监测点布设应符合下列规定：

1 支撑轴力监测宜选择基坑中部、阳角部位、深度变化部位、支护结构受力条件复杂部位及在支撑系统中起控制作用的支撑；

2 支撑轴力监测应沿竖向布设监测断面，每层支撑均应布设监测点；

3 每层支撑的监测数量不宜少于每层支撑数量的 10% ，且不应少于 3 根；

4 监测断面的布设位置与相近的支护桩（墙）体水平位移监测点宜共同组成监测断面；

5 采用轴力计监测时，监测点应布设在支撑的端部；采用钢筋计或应变计监测时，可布设在支撑中部或两支点间 $1/3$ 部位，当支撑长度较大时也可布设在 $1/4$ 点处，并应避开节点位置。

5.2.6 盖挖法顶板应力监测点布设应符合下列规定：

1 应选择具有代表性的断面进行顶板应力监测；

2 监测点宜布设在立柱或边桩与顶板的刚性连接部位和两根立柱或边桩与立柱的跨中部位，每个监测点的纵横两个方向均应进行监测。

5.2.7 明挖法和盖挖法的锚杆拉力监测断面及监测点布设应符合下列规定：

1 锚杆拉力监测宜选择基坑各边中间部位、阳角部位、深度变化部位、地质条件复杂部位及周边存在高大建（构）筑物部位的锚杆；

2 锚杆拉力监测应沿竖向布设监测断面，每层锚杆均应布设监测点；

3 每层锚杆的监测数量不应少于 3 根；

4 每根锚杆上的监测点宜设置在锚头附近或受力有代表性的位置；

5 监测点的布设位置与支护桩（墙）体水平位移监测点宜共同组成监测断面。

5.2.8 明挖法和盖挖法的土钉拉力监测点布设应符合下列规定：

1 土钉拉力监测宜选择基坑各边中间部位、阳角部位、深度变化部位、地质条件复杂部位及周边存在高大建（构）筑物部位的土钉；

2 土钉拉力监测应沿竖向布设监测断面，每层土钉均应布设监测点；

3 每根土钉杆体上的监测点应设置在受力有代表性的位置；

4 监测点的布设位置与土钉墙顶水平位移监测点宜共同组成监测断面。

5.2.9 明挖法和盖挖法的周边地表沉降监测断面及监测点布设应符合下列规定：

1 沿平行基坑周边边线布设的地表沉降监测点不应少于 2 排，且排距宜为 3m~8m，第一排监测点距基坑边缘不宜大于 2m，每排监测点间距宜为 10m~20m；

2 应根据基坑规模和周边环境条件，选择有代表性的部位布设垂直于基坑边线的横向监测断面，每个横向监测断面监测点的数量和布设位置应满足对基坑工程主要影响区和次要影响区的控制，每侧监测点数量不宜少于 5 个；

3 监测点及监测断面的布设位置宜与周边环境监测点布设相结合。

5.2.10 明挖法和盖挖法的竖井井壁支护结构净空收敛监测断面及监测点布设应符合下列规定：

1 沿竖向每 3m~5m 应布设一个监测断面；

2 每个监测断面在竖井结构的长、短边中部应布设监测点，每个监测断面不应少于 2 条测线。

5.2.11 明挖法和盖挖法的坑底隆起（回弹）监测点布设应符合下列规定：

1 坑底隆起（回弹）监测应根据基坑的平面形状和尺寸布设纵向、横向监测断面；

2 监测点宜布设在基坑的中央、距坑底边缘的 $1/4$ 坑底宽度处以及其他能反映变形特征的位置；当基底土质软弱、基底以下存在承压水时，宜适当增加监测点；

3 回弹监测标志埋入基坑底面以下宜为 $20\text{cm}\sim 30\text{cm}$ 。

5.2.12 明挖法和盖挖法的地下水位观测孔布设应符合下列规定：

1 地下水位观测孔应根据水文地质条件的复杂程度、降水深度、降水的影响范围和周边环境保护要求，在降水区域及影响范围内分别布设地下水位观测孔，观测孔数量应满足掌握降水区域和影响范围内的地下水位动态变化的要求；

2 当降水深度内存在 2 个及以上含水层时，应分层布设地下水位观测孔；

3 降水区靠近地表水体时，应在地表水体附近增设地下水位观测孔。

5.2.13 明挖法和盖挖法的支护桩（墙）侧向土压力、土体深层水平位移、土体分层竖向位移和孔隙水压力监测点布设，应符合现行国家标准《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497 的有关规定。

5.3 盾 构 法

5.3.1 盾构管片结构竖向、水平位移和净空收敛监测断面及监测点布设应符合下列规定：

1 在盾构始发与接收段、联络通道附近、左右线交叠或邻近段、小半径曲线段等区段应布设监测断面；

2 存在地层偏压、围岩软硬不均、地下水位较高等地质条件复杂区段应布设监测断面；

3 下穿或邻近重要建（构）筑物、地下管线、河流湖泊等周边环境条件复杂区段应布设监测断面；

4 每个监测断面宜在拱顶、拱底、两侧拱腰处布设管片结构净空收敛监测点，拱顶、拱底的净空收敛监测点可兼作竖向位移监测点，两侧拱腰处的净空收敛监测点可兼作水平位移监测点。

5.3.2 盾构管片结构应力、管片围岩压力、管片连接螺栓应力监测点布设应符合下列规定：

1 盾构管片结构应力、管片围岩压力、管片连接螺栓应力监测应布设垂直于隧道轴线的监测断面，监测断面宜布设在存在地层偏压、围岩软硬不均、地下水位较高等地质或环境条件复杂地段，并应与管片结构竖向位移和净空收敛监测断面处于同一位置；

2 每个监测项目在每个监测断面的监测点数量不宜少于5个。

5.3.3 盾构法隧道的周边地表沉降监测断面及监测点布设应符合下列规定：

1 监测点应沿盾构隧道轴线上方地表布设，且监测等级为一级时，监测点间距宜为5m~10m；监测等级为二级、三级时，监测点间距宜为10m~30m，始发和接收段应适当增加监测点；

2 应根据周边环境和地质条件布设垂直于隧道轴线的横向监测断面，且监测等级为一级时，监测断面间距宜为50m~100m；监测等级为二级、三级时，间距宜为100m~150m；

3 在始发和接收段、联络通道等部位及地质条件不良易产生开挖面坍塌和地表过大变形的部位，应有横向监测断面控制；

4 横向监测断面的监测点数量宜为7个~11个，且主要影响区的监测点间距宜为3m~5m，次要影响区的监测点间距宜为5m~10m。

5.3.4 盾构法隧道的周围土体深层水平位移和分层竖向位移监测孔及监测点布设应符合下列规定：

1 地层疏松、土洞、溶洞、破碎带等地质条件复杂地段，软土、膨胀性岩土、湿陷性土等特殊性地土地段，工程施工对岩土体扰动较大或邻近重要建（构）筑物、地下管线等地段，应布设监测孔及监测点；

2 监测孔的位置和深度应根据工程需要确定，并应避免管片背后注浆对监测孔的影响；

3 土体分层竖向位移监测点宜布设在各层土的中部或界面上，也可等间距布设。

5.3.5 孔隙水压力监测点布设应符合下列规定：

1 孔隙水压力监测宜选择在隧道管片结构受力和变形较大、存在饱和软土和易产生液化的粉细砂土层等有代表性的部位进行布设；

2 竖向监测点宜在水压力变化影响深度范围内按土层分布情况布设，竖向监测点间距宜为 2m~5m，且数量不宜少于 3 个。

5.4 矿 山 法

5.4.1 矿山法的初期支护结构拱顶沉降、净空收敛监测断面及监测点布设应符合下列规定：

1 初期支护结构拱顶沉降、净空收敛监测应布设垂直于隧道轴线的横向监测断面，车站监测断面间距宜为 5m~10m，区间监测断面间距宜为 10m~15m；

2 监测点宜在隧道拱顶、两侧拱脚处（全断面开挖时）或拱腰处（半断面开挖时）布设，拱顶的沉降监测点可兼作净空收敛监测点，净空收敛测线宜为 1 条~3 条；

3 分部开挖施工的每个导洞均应布设横向监测断面；

4 监测点应在初期支护结构完成后及时布设。

5.4.2 矿山法的初期支护结构底板竖向位移监测点布设应符合下列规定：

1 监测点宜布设在初期支护结构底板的中部或两侧；

2 监测点的布设位置与拱顶沉降监测点宜对应布设。

5.4.3 矿山法的隧道拱脚竖向位移监测点布设应符合下列规定：

1 在隧道周围岩土体存在软弱土层时，应布设隧道拱脚竖向位移监测点；

2 隧道拱脚竖向位移监测点与初期支护结构拱顶沉降监测点宜共同组成监测断面。

5.4.4 矿山法的车站中柱沉降、倾斜及结构应力监测点布设应符合下列规定：

1 应选择有代表性的中柱进行沉降、倾斜监测；

2 当需进行中柱结构应力监测时，监测数量不应少于中柱总数的10%，且不应少于3根，每柱宜布设4个监测点，并在同一水平面内均匀布设。

5.4.5 矿山法的围岩压力、初期支护结构应力、二次衬砌应力监测断面及监测点布设应符合下列规定：

1 在地质条件复杂或应力变化较大的部位布设监测断面时，应力监测断面与净空收敛监测断面宜处于同一位置；

2 监测点宜布设在拱顶、拱脚、墙中、墙脚、仰拱中部等部位，监测断面上每个监测项目不宜少于5个监测点；

3 需拆除竖向初期支护结构的部位应根据需要布设监测点。

5.4.6 矿山法的周边地表沉降监测断面及监测点布设应符合下列规定：

1 监测点应沿每个隧道或分部开挖导洞的轴线上方地表布设，且监测等级为一级、二级时，监测点间距宜为5m~10m；监测等级为三级时，监测点间距宜为10m~15m；

2 应根据周边环境和地质条件，沿地表布设垂直于隧道轴线的横向监测断面，且监测等级为一级时，监测断面间距宜为10m~50m；监测等级为二级、三级时，监测断面间距宜为50m~100m；

3 在车站与区间、车站与附属结构、明暗挖等的分界部位，洞口、隧道断面变化、联络通道、施工通道等部位及地质条件不

良易产生开挖面坍塌和地表过大变形的部位，应有横向监测断面控制；

4 横向监测断面的监测点数量宜为 7 个~11 个，且主要影响区的监测点间距宜为 3m~5m，次要影响区的监测点间距宜为 5m~10m。

5.4.7 矿山法的周围土体深层水平位移和分层竖向位移监测孔及监测点布设应符合本规范第 5.3.4 条的规定。

5.4.8 矿山法的地下水位观测孔布设应符合下列规定：

1 观测孔位置选择、孔深等应符合本规范第 5.2.12 条的第 1 款、第 2 款的规定；

2 观测孔数量应根据工程需要确定。

6 周边环境监测点布设

6.1 一般规定

6.1.1 周边环境监测点的布设位置和数量应根据环境对象的类型和特征、环境风险等级、所处工程影响分区、监测项目及监测方法的要求等综合确定，并应满足反映环境对象变化规律和分析环境对象安全状态的要求。

6.1.2 周边环境监测点应布设在反映环境对象变形特征的关键部位和受施工影响敏感的部位。

6.1.3 周边环境监测点的布设应便于观测，且不应影响或妨碍环境监测对象的结构受力、正常使用和美观。

6.1.4 爆破振动监测点的布设及要求应符合现行国家标准《爆破安全规程》GB 6722 的有关规定。监测建（构）筑物不同高度的振动时，应从基础到顶部的不同高度部位布设监测点。

6.2 建（构）筑物

6.2.1 建（构）筑物竖向位移监测点布设应反映建（构）筑物的不均匀沉降，并应符合下列规定：

1 建（构）筑物竖向位移监测点应布设在外墙或承重柱上，且位于主要影响区时，监测点沿外墙间距宜为 10m~15m，或每隔 2 根承重柱布设 1 个监测点；位于次要影响区时，监测点沿外墙间距宜为 15m~30m，或每隔 2 根~3 根承重柱布设 1 个监测点；在外墙转角处应有监测点控制；

2 在高低悬殊或新旧建（构）筑物连接、建（构）筑物变形缝、不同结构分界、不同基础形式和不同基础埋深等部位的两侧应布设监测点；

3 对烟囱、水塔、高压电塔等高耸构筑物，应在其基础轴

线上对称布设监测点，且每栋构筑物监测点不应少于 3 个；

4 风险等级较高的建（构）筑物应适当增加监测点数量。

6.2.2 建（构）筑物水平位移监测点应布设在邻近基坑或隧道一侧的建（构）筑物外墙、承重柱、变形缝两侧及其他有代表性的部位，并可与建（构）筑物竖向位移监测点布设在同一位置。

6.2.3 建（构）筑物倾斜监测点布设应符合下列规定：

1 倾斜监测点应沿主体结构顶部、底部上下对应按组布设，且中部可增加监测点；

2 每栋建（构）筑物倾斜监测数量不宜少于 2 组，每组的监测点不应少于 2 个；

3 采用基础的差异沉降推算建（构）筑物倾斜时，监测点的布设应符合本规范第 6.2.1 条的规定。

6.2.4 建（构）筑物裂缝宽度监测点布设应符合下列规定：

1 裂缝宽度监测应根据裂缝的分布位置、走向、长度、宽度、错台等参数，分析裂缝的性质、产生的原因及发展趋势，选取应力或应力变化较大部位的裂缝或宽度较大的裂缝进行监测；

2 裂缝宽度监测宜在裂缝的最宽处及裂缝首、末端按组布设，每组应布设 2 个监测点，并应分别布设在裂缝两侧，且其连线应垂直于裂缝走向。

6.3 桥 梁

6.3.1 桥梁墩台竖向位移监测点布设应符合下列规定：

1 竖向位移监测点应布设在墩柱或承台上；

2 每个墩柱和承台的监测点不应少于 1 个，群桩承台宜适当增加监测点。

6.3.2 采用全站仪监测桥梁墩柱倾斜时，监测点应沿墩柱顶、底部上下对应按组布设，且每个墩柱的监测点不应少于 1 组，每组的监测点不宜少于 2 个；采用倾斜仪监测时，监测点不应少于 1 个。

6.3.3 桥梁结构应力监测点宜布设在桥梁梁板结构中部或应力变化较大部位。

6.3.4 桥梁裂缝宽度监测点的布设应符合本规范第 6.2.4 条的规定。

6.4 地下管线

6.4.1 地下管线监测点埋设形式和布设位置应根据地下管线的重要性、修建年代、类型、材质、管径、接口形式、埋设方式、使用状况，以及与工程的空间位置关系等综合确定。

6.4.2 地下管线位于主要影响区时，竖向位移监测点的间距宜为 5m~15m；位于次要影响区时，竖向位移监测点的间距宜为 15m~30m。

6.4.3 竖向位移监测点宜布设在地下管线的节点、转角点、位移变化敏感或预测变形较大的部位。

6.4.4 地下管线位于主要影响区时，宜采用位移杆法在管体上布设直接竖向位移监测点；地下管线位于次要影响区且无法布设直接竖向位移监测点时，可在地表或土层中布设间接竖向位移监测点。

6.4.5 隧道下穿污水、供水、燃气、热力等地下管线且风险很高时，应布设管线结构直接竖向位移监测点及管侧土体竖向位移监测点。

6.4.6 地下管线水平位移监测点的布设位置和数量应根据地下管线特点和工程需要确定。

6.4.7 地下管线密集、种类繁多时，应对重要的、抗变形能力差的、容易渗漏或破坏的管线进行重点监测。

6.5 高速公路与城市道路

6.5.1 高速公路与城市道路的路面和路基竖向位移监测点的布设应与路面下方的地下构筑物 and 地下管线的监测工作相结合，并应做到监测点布设合理、相互协调。

6.5.2 路面竖向位移监测应根据施工工法，按本规范第 5.2.9 条、第 5.3.3 条和第 5.4.6 条的规定，并结合路面实际情况布设监测点和监测断面。对高速公路和城市重要道路，应增加监测断面数量。

6.5.3 隧道下穿高速公路、城市重要道路时，应布设路基竖向位移监测点，路肩或绿化带上应有地表监测点控制。

6.5.4 道路挡墙竖向位移监测点宜沿挡墙走向布设，挡墙位于主要影响区时，监测点间距不宜大于 5m~10m；位于次要影响区时，监测点间距宜为 10m~15m。

6.5.5 道路挡墙倾斜监测点应根据挡墙的结构形式选择监测断面布设，每段挡墙监测断面不应少于 1 个，每个监测断面上、下监测点应布设在同一竖直面上。

6.6 既有轨道交通

6.6.1 既有轨道交通隧道结构竖向位移、水平位移和净空收敛监测应按监测断面布设，且既有隧道结构位于主要影响区时，监测断面间距不宜大于 5m；位于次要影响区时，监测断面间距不宜大于 10m。每个监测断面宜在隧道结构顶部或底部、结构柱、两边侧墙布设监测点。

6.6.2 既有轨道交通高架桥结构监测点的布设可按本规范第 6.3 节的规定执行。

6.6.3 既有轨道交通地面线的路基竖向位移监测可按本规范第 6.6.1 条的规定布设监测断面，每个监测断面中的每条股道下方的路基及附属设施均应布设监测点。

6.6.4 既有轨道交通整体道床或轨枕的竖向位移监测应按监测断面布设，监测断面与既有隧道结构或路基的竖向位移监测断面宜处于同一里程。

6.6.5 轨道静态几何形位监测点的布设应按城市轨道交通或铁路的工务维修、养护要求等进行确定。

6.6.6 既有轨道交通其他附属结构监测点布设可按本规范第 6.2 节的规定执行。

6.6.7 既有轨道交通隧道结构、轨道结构的裂缝监测应符合本规范第 6.2.4 条的规定。

6.6.8 既有轨道交通监测宜采用远程自动化监控系统。

7 监测方法及技术要求

7.1 一般规定

7.1.1 监测方法应根据监测对象和监测项目的特点、工程监测等级、设计要求、精度要求、场地条件和当地工程经验等综合确定，并应合理易行。

7.1.2 变形监测基准点、工作基点的布设应符合下列规定：

1 基准点应布设在施工影响范围以外的稳定区域，且每个监测工程的竖向位移观测的基准点不应少于 3 个，水平位移观测的基准点不应少于 4 个；

2 当基准点距离所监测工程较远致使监测作业不方便时，宜设置工作基点；

3 基准点和工作基点应在工程施工前埋设，并应埋设在相对稳定土层内，经观测确定稳定后再使用；

4 监测期间，基准点应定期复测，当使用工作基点时应与基准点进行联测；

5 基准点的埋设应符合本规范附录 B 第 B.0.1 条、第 B.0.2 条的规定。

7.1.3 监测仪器、设备和元器件应符合下列规定：

1 监测仪器、设备和元器件应满足监测精度和量程的要求，并应稳定、可靠；

2 监测仪器和设备应定期进行检定或校准；

3 元器件应在使用前进行标定，标定记录应齐全；

4 监测过程中应定期进行监测仪器的核查、比对，设备的维护、保养，以及监测元器件的检查。

7.1.4 监测传感器应具备下列性能：

1 与量测的介质特性相匹配；

- 2 灵敏度高、线性好、重复性好；
 - 3 性能稳定可靠，漂移、滞后误差小；
 - 4 防水性好，抗干扰能力强。
- 7.1.5 对同一监测项目，现场监测作业应符合下列规定：
- 1 宜采用相同的监测方法和监测路线；
 - 2 宜使用同一监测仪器和设备；
 - 3 宜固定监测人员；
 - 4 宜在基本相同的时段和环境条件下工作。
- 7.1.6 工程周边环境与周围岩土体监测点应在施工之前埋设，工程支护结构监测点应在支护结构施工过程中及时埋设。监测点埋设并稳定后，应至少连续独立进行 3 次观测，并取其稳定值的平均值作为初始值。
- 7.1.7 监测精度应根据监测项目、控制值大小、工程要求、国家现行有关标准等综合确定，并应满足对监测对象的受力或变形特征分析的要求。
- 7.1.8 监测过程中，应做好监测点和传感器的保护工作。测斜管、水位观测孔、分层沉降管等管口应砌筑窖井，并加盖保护；爆破振动、应力应变等传感器应防止信号线被损坏。
- 7.1.9 工程监测新技术、新方法应用前，应与传统方法进行验证，且监测精度应符合本规范的规定。

7.2 水平位移监测

7.2.1 测定特定方向的水平位移宜采用小角法、方向线偏移法、视准线法、投点法、激光准直法等大地测量法，并应符合下列规定：

- 1 采用投点法和小角法时，应对经纬仪或全站仪的垂直轴倾斜误差进行检验，当垂直角超出 $\pm 3^\circ$ 范围时，应进行垂直轴倾斜改正；
- 2 采用激光准直法时，应在使用前对激光仪器进行检校；
- 3 采用方向线偏移法时，对主要监测点，可以该点为测站

测出对应基准线端点的边长与角度，求得偏差值；对其他监测点，可选适宜的主要监测点为测站，测出对应其他监测点的距离与方向值，按方向值的变化求得偏差值。

7.2.2 测定任意方向的水平位移可根据监测点的分布情况，采用交会、导线测量、极坐标等方法。

7.2.3 当监测点与基准点无法通视或距离较远时，可采用全球定位系统（GPS）测量法或三角、三边、边角测量与基准线法相结合的综合测量方法。

7.2.4 水平位移监测基准点的埋设应符合现行国家标准《城市轨道交通工程测量规范》GB 50308 的有关规定，并宜设置有强制对中的观测墩，或采用精密的光学对中装置，对中误差不宜大于 0.5mm。

7.2.5 水平位移监测点的埋设宜符合本规范附录 B 第 B.0.3 条的规定。

7.2.6 水平位移监测网可采用假设坐标系统，并进行一次布网。每次监测前，应对水平位移基准点进行稳定性复测，并以稳定点作为起算点。

7.2.7 测角、测边水平位移监测网宜布设为近似等边的边角网，其三角形内角不应小于 30° ，当受场地或其他条件限制时，个别角度可适当放宽。

7.2.8 水平位移监测控制网的技术要求应符合现行国家标准《城市轨道交通工程测量规范》GB 50308 的有关规定。

7.2.9 监测仪器和监测方法应满足水平位移监测点坐标中误差和水平位移控制值的要求，且水平位移监测精度应符合表 7.2.9 的规定。

表 7.2.9 水平位移监测精度

工程监测等级		一级	二级	三级
水平位移 控制值	累计变化量 D' (mm)	$D' < 30$	$30 \leq D' < 40$	$D' \geq 40$
	变化速率 v_d (mm/d)	$v_d < 3$	$3 \leq v_d < 4$	$v_d \geq 4$

续表 7.2.9

工程监测等级	一级	二级	三级
监测点坐标中误差 (mm)	≤ 0.6	≤ 0.8	≤ 1.2

- 注：1 监测点坐标中误差是指监测点相对测站点（如工作基点等）的坐标中误差，为点位中误差的 $1/\sqrt{2}$ ；
- 2 当根据累计变化量和变化速率选择的精度要求不一致时，优先按变化速率的要求确定。

7.3 竖向位移监测

7.3.1 竖向位移监测可采用几何水准测量、电子测距三角高程测量、静力水准测量等方法。

7.3.2 竖向位移监测应符合下列规定：

- 1 监测精度应与相应等级的竖向位移监测网观测相一致；
- 2 主要监测点应与水准基准点或工作基点组成闭合线路，或附合水准线路；
- 3 对于采用的水准仪视准轴与水准管轴的夹角（ i 角），监测等级一级时，不应大于 $10''$ ，监测等级二级时，不应大于 $15''$ ，监测等级三级时，不应大于 $20''$ ， i 角检校应符合现行国家标准《国家一、二等水准测量规范》GB/T 12897 的有关规定；
- 4 采用钻孔等方法埋设坑底隆起（回弹）监测标志时，孔口高程宜用水准测量方法测量，高程中误差为 $\pm 1.0\text{mm}$ ，沉降标至孔口垂直距离宜采用经检定的钢尺量测；
- 5 采用静力水准进行竖向位移自动监测时，设备的性能应满足监测精度的要求，并应符合现行行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8 的有关规定；
- 6 采用电子测距三角高程进行竖向位移监测时，宜采用 $0.5''\sim 1''$ 级的全站仪和特制觇牌采用中间设站、不量仪器高的前后视观测方法，并应符合现行行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8 的有关规定。

7.3.3 竖向位移监测网的布设应符合下列规定：

1 竖向位移监测网宜采用城市轨道交通工程高程系统，也可采用假定高程系统；

2 采用几何水准测量、三角高程测量时，监测网应布设成闭合、附合线路或结点网，采用闭合线路时，每次应联测 2 个以上的基准点。

7.3.4 竖向位移监测网的技术要求应符合现行国家标准《城市轨道交通工程测量规范》GB 50308 的有关规定。

7.3.5 竖向位移监测点的埋设宜符合本规范附录 B 第 B.0.4 条～第 B.0.6 条的规定。

7.3.6 监测仪器和监测方法应满足竖向位移监测点测站高差中误差和竖向位移控制值的要求，且竖向位移监测精度应符合表 7.3.6 的规定。

表 7.3.6 竖向位移监测精度

工程监测等级		一级	二级	三级
竖向位移 控制值	累计变化量 S (mm)	$S < 25$	$25 \leq S < 40$	$S \geq 40$
	变化速率 v_s (mm/d)	$v_s < 3$	$3 \leq v_s < 4$	$v_s \geq 4$
监测点测站高差中误差 (mm)		≤ 0.6	≤ 1.2	≤ 1.5

注：监测点测站高差中误差是指相应精度与视距的几何水准测量单程一测站的高差中误差。

7.4 深层水平位移监测

7.4.1 支护桩（墙）体和土体的深层水平位移监测，宜在桩（墙）体或土体中预埋测斜管，采用测斜仪观测各深度处的水平位移。

7.4.2 测斜仪系统精度不宜低于 0.25mm/m ，分辨率不宜低于 $0.02\text{mm}/500\text{mm}$ ，电缆长度应大于测斜孔深度。

7.4.3 测斜管宜采用聚氯乙烯（PVC）工程塑料或铝合金管制成，直径宜为 $45\text{mm} \sim 90\text{mm}$ ，管内应有两组相互垂直的纵向导槽。

7.4.4 支护桩（墙）体的水平位移测斜管长度不宜小于桩（墙）体的深度，土体深层水平位移监测的测斜管长度不宜小于基坑设计深度的 1.5 倍。

7.4.5 测斜管埋设应符合下列规定：

1 支护桩（墙）体测斜管埋设宜采用与钢筋笼绑扎一同下放的方法；采用钻孔法埋设时，测斜管与钻孔孔壁之间应回填密实；

2 土体水平位移测斜管应在基坑或隧道支护结构施工 7d 前埋设；

3 埋设前应检查测斜管质量，测斜管连接时应保证上、下管段的导槽相互对准、顺畅，各段接头应紧密对接，管底应保证密封；

4 测斜管埋设时应保持固定、竖直，防止发生上浮、破裂、断裂、扭转；测斜管一对导槽的方向应与所需测量的位移方向保持一致。

7.4.6 深层水平位移监测前，宜用清水将测斜管内冲刷干净，并采用模拟探头进行试孔检查后再使用。监测时，应将测斜仪探头放入测斜管底，恒温一段时间后自下而上以 0.5m 或 1.0m 间隔逐段量测。每监测点均应进行正、反两次量测，并取其平均值为最终值。

7.4.7 深层水平位移计算时，应确定固定起算点，固定起算点可设在测斜管的顶部或底部；当测斜管底部未进入稳定岩土体或已发生位移时，应以管顶为起算点，并应测量管顶的平面坐标进行水平位移修正。

7.4.8 支护桩（墙）体水平位移监测点的埋设宜符合本规范附录 B 第 B.0.7 条的规定。

7.5 土体分层竖向位移监测

7.5.1 土体分层竖向位移监测可埋设磁环分层沉降标，采用分层沉降仪进行监测；也可埋设深层沉降标，采用水准测量方法进

行监测。

7.5.2 分层沉降管宜采用聚氯乙烯 (PVC) 工程塑料管，直径宜为 45mm~90mm。

7.5.3 磁环分层沉降标可通过钻孔在预定位置埋设。安装磁环时，应先在沉降管上分层沉降标的设计位置套上磁环与定位环，再沿钻孔逐节放入分层沉降管。分层沉降管安置到位后，应使磁环与土层粘结固定。

7.5.4 磁环分层沉降标埋设后应连续观测 1 周，至磁环位置稳定后，测定孔口高程并计算各磁环的高程。采用分层沉降仪量测时，应以 3 次测量平均值作为初始值，读数较差不应大于 1.5mm；采用深层沉降标结合水准测量时，水准测量精度应符合本规范表 7.3.6 的规定。

7.5.5 采用磁环分层沉降标监测时，应对磁环距管口深度采用进程和回程两次观测，并取进、回程读数的平均数；每次监测时均应测定分层沉降管管口高程的变化，然后换算出分层沉降管外各磁环的高程。

7.5.6 土体分层竖向位移监测点的埋设应符合本规范附录 B 第 B.0.8 条的规定。

7.6 倾 斜 监 测

7.6.1 倾斜监测应根据现场观测条件和要求，选用投点法、激光铅直仪法、垂准法、倾斜仪法或差异沉降法等观测方法。

7.6.2 投点法应采用全站仪或经纬仪瞄准上部观测点，在底部观测点安置水平读数尺直接读取偏移量，正、倒镜各观测一次取平均值，并根据上、下观测点高度计算倾斜度。

7.6.3 垂准法应在下部测点安装光学垂准仪、激光垂准仪或经纬仪、全站仪加弯管目镜法，在顶部测点安置接收靶，在靶上读取或量取水平位移量与位移方向。

7.6.4 倾斜仪法可采用水管式、水平摆、气泡或电子倾斜仪等进行观测，倾斜仪应具备连续读数、自动记录和数字传输功能。

7.6.5 差异沉降法应采用水准方法测量沉降差，经换算求得倾斜度和倾斜方向。

7.6.6 当采用全站仪或经纬仪进行外部观测时，仪器设置位置与监测点的距离宜为上、下点高差的 1.5 倍~2.0 倍。

7.6.7 倾斜观测精度应符合国家现行标准《工程测量规范》GB 50026 和《建筑变形测量规范》JGJ 8 的有关规定。

7.7 裂 缝 监 测

7.7.1 建(构)筑物、桥梁、既有隧道结构等的裂缝监测内容应包括裂缝位置、走向、长度、宽度，必要时尚应监测裂缝深度。

7.7.2 裂缝监测宜采用下列方法：

1 裂缝宽度监测宜采用裂缝观测仪进行测读，也可在裂缝两侧贴、埋标志，采用千分尺或游标卡尺等直接量测，或采用裂缝计、粘贴安装千分表及摄影量测等方法监测裂缝宽度变化；

2 裂缝长度监测宜采用直接量测法；

3 裂缝深度监测宜采用超声波法、凿出法等。

7.7.3 工程施工前应记录监测对象已有裂缝的分布位置和数量，并对监测裂缝进行统一编号，记录各裂缝的位置、走向、长度、宽度、深度，以及初测日期等。

7.7.4 裂缝监测标志应便于量测，长期观测可采用镶嵌或埋入墙面的金属标志、金属杆标志或楔形板标志；需要测出裂缝纵向变化值时，可采用坐标方格网板标志。

7.7.5 裂缝宽度量测精度不宜低于 0.1mm，裂缝长度和深度量测精度不宜低于 1.0mm。

7.7.6 当采用测缝传感器自动测记时，应与人工监测数据比对，且数据的观测、传输、保存应可靠。

7.8 净空收敛监测

7.8.1 矿山法初期支护结构和盾构法管片结构的净空收敛可采

用收敛计、全站仪或红外激光测距仪进行监测。

7.8.2 采用收敛计监测应符合下列规定：

1 应在收敛测线两端安装监测点，监测点与隧道侧壁应固定牢固；监测点安装后应进行监测点与收敛尺接触点的符合性检查，并应进行 3 次独立观测，且 3 次独立观测较差应小于标称精度的 2 倍；

2 观测时应施加收敛尺标定时的拉力，观测结果应取 3 次独立观测读数的平均值；

3 工作现场温度变化较大时，读数应进行温度修正。

7.8.3 采用红外激光测距仪监测应符合下列规定：

1 测距仪的标称精度应优于 $\pm 2\text{mm}$ ；

2 应在收敛测线两端设置对中与瞄准标志，隧道侧壁粗糙时，瞄准标志宜采用反射片；对中与瞄准标志设置后，应进行实测精度符合性检查，并应进行 3 次独立观测，且 3 次独立观测较差应小于测距标称精度的 2 倍；

3 观测结果应为 3 次独立观测读数的平均值。

7.8.4 采用全站仪进行固定测线收敛监测应符合下列规定：

1 应设置固定仪器设站位置，并在收敛测线两端固定小棱镜或设置反射片，设站点与测线两端点水平投影应呈一直线；

2 应按盘左、盘右两个盘位观测至少一测回，并计算测线两端点的水平距离。

7.8.5 采用全站仪进行隧道全断面扫描收敛监测应符合下列规定：

1 每个断面应设置仪器对中线、定向点和检查点，3 点水平投影应呈一直线；

2 应结合断面的剖面结构采集断面数据，断面上每段线型（直线或圆弧）内的有效数据不应少于 5 个点；

3 宜采用具有无棱镜测距、自动测量功能的全站仪，装载机载程序实现自动数据采集，无棱镜测距精度不应低于 $\pm 3\text{mm}$ ；

4 收敛变形数据宜与标准断面进行比较，并以标准断面为

基准输出全断面各点向外（拉张）或向内（压缩）变形情况。

7.8.6 矿山法隧道开挖后、盾构法隧道拼装完成后，应及时设置收敛监测点，并进行初始值测量。

7.9 爆破振动监测

7.9.1 爆破振动监测系统由速度传感器或加速度传感器、数据采集仪及数据分析软件组成，速度传感器或加速度传感器可采用垂直、水平单向传感器或三矢量一体传感器。

7.9.2 爆破振动监测传感器的安装应与被测对象之间刚性粘结，并使传感器的定位方向与所测量的振动方向一致。监测工作中可采用以下方法固定传感器：

1 被测对象为混凝土或坚硬岩石时，宜采用环氧砂浆、环氧树脂胶、石膏或其他高强度粘合剂将传感器固定在混凝土或坚硬岩石表面，也可预埋固定螺栓，将传感器底面与预埋螺栓紧固相连；

2 被测对象为土体时，可先将表面松土夯实，再将传感器直接埋入夯实土体中，并使传感器与土体紧密接触。

7.9.3 仪器安装和连接后应进行监测系统的测试；监测期内整个监测系统应处于良好工作状态。

7.9.4 爆破振动监测仪器量程精度的选择应符合现行国家标准《爆破安全规程》GB 6722 的有关规定。

7.10 孔隙水压力监测

7.10.1 孔隙水压力应根据工程测试的目的、土层的渗透性和测试期的长短等条件，选用封闭或开口方式埋设孔隙水压力计进行监测。

7.10.2 孔隙水压力计的量程应满足被测孔隙水压力范围的要求，可取静水压力与超孔隙水压力之和的 2 倍，精度不宜低于 $0.5\%F \cdot S$ ，分辨率不宜低于 $0.2\%F \cdot S$ 。

7.10.3 孔隙水压力计的埋设可采用钻孔埋设法、压入埋设法、

填埋法等。当在同一测孔中埋设多个孔隙水压力计时，宜采用钻孔埋设法；当在粘性土层中埋设单个孔隙水压力计，宜采用不设反滤料的压入埋设法；在填方工程中宜采用填埋法。

7.10.4 孔隙水压力计应在施工前埋设，并应符合下列规定：

1 孔隙水压力计应进行稳定性、密封性检验和压力标定，并应确定压力传感器的初始值，检验记录、标定资料应齐全；

2 埋设前，传感器透水石应在清水中浸泡饱和，并排除透水石中的气泡；

3 传感器的导线长度应大于设计深度，导线中间不宜有接头，引出地面后应放在集线箱内并编号；

4 当孔内埋设多个孔隙水压力计，监测不同含水层的渗透压力时，应做好相邻孔隙水压力计的隔水措施；

5 埋设后，应记录探头编号、位置并测读初始读数。

7.10.5 采用钻孔法埋设孔隙水压力计时，钻孔应圆直、干净，钻孔直径宜为 110mm~130mm，不宜使用泥浆护壁成孔。孔隙水压力计的观测段应回填透水材料，并用干燥膨润土球或注浆封孔。

7.10.6 孔隙水压力监测的同时，应测量孔隙水压力计埋设位置的地下水位。孔隙水压力应根据实测数据，按压力计的换算公式进行计算。

7.11 地下水位监测

7.11.1 地下水位监测宜通过钻孔设置水位观测管，采用测绳、水位计等进行量测。

7.11.2 地下水位应分层观测，水位观测管的滤管位置和长度应与被测含水层的位置和厚度一致，被测含水层与其他含水层之间应采取有效的隔水措施。

7.11.3 水位观测管埋设稳定后应测定孔口高程并计算水位高程。人工观测地下水位的测量精度不宜低于 20mm，仪器观测精度不宜低于 $0.5\%F \cdot S$ 。

7.11.4 水位观测管的安装应符合下列规定：

1 水位观测管的导管段应顺直，内壁应光滑无阻，接头应采用外箍接头；

2 观测孔孔底宜设置沉淀管；

3 观测孔完成后应进行清洗，观测孔内水位应与地层水位一致，且连通良好。

7.11.5 水位观测管宜至少在工程开始降水前 1 周埋设，且宜逐日连续观测水位并取得稳定初始值。

7.12 岩土压力监测

7.12.1 基坑支护桩（墙）侧向土压力、盾构法及矿山法隧道围岩压力宜采用界面土压力计进行监测。

7.12.2 土压力计的测试量程可根据预测的压力变化幅度确定，其上限可取设计压力的 2 倍，精度不宜低于 $0.5\%F \cdot S$ ，分辨率不宜低于 $0.2\%F \cdot S$ 。

7.12.3 土压力计的埋设可采用埋入式，埋设时应符合下列规定：

1 埋设前应对土压力计进行稳定性、密封性检验和压力、温度标定，且检验记录、标定资料应齐全；

2 受力面与所监测的压力方向应垂直，并紧贴被监测对象；

3 应采取土压力膜保护措施；

4 采用钻孔法埋设时，回填应均匀密实，且回填材料宜与周围岩土体一致；

5 土压力计导线长度可根据工程监测需要确定，导线中间不应有接头，导线应按一定线路集中于导线箱内；

6 应做好完整的埋设记录。

7.12.4 基坑工程开挖前，应至少经过 1 周时间的监测并取得稳定初始值；隧道工程土压力计埋设后应立即进行检查测试，并读取初始值。

7.13 锚杆和土钉拉力监测

7.13.1 锚杆和土钉拉力宜采用测力计、钢筋应力计或应变计进行监测，当使用钢筋束作为锚杆时，宜监测每根钢筋的受力。

7.13.2 测力计、钢筋应力计和应变计的量程宜为设计值的 2 倍，量测精度不宜低于 $0.5\% F \cdot S$ ，分辨率不宜低于 $0.2\% F \cdot S$ 。

7.13.3 锚杆张拉设备仪表应与锚杆测力计仪表相互标定。

7.13.4 锚杆或土钉施工完成后应对测力计、钢筋应力计或应变计进行检查测试，并应将下一层土方开挖前连续 2d 获得的稳定测试数据的平均值作为其初始值。

7.14 结构应力监测

7.14.1 结构应力可通过安装在结构内部或表面的应变计或应力计进行量测。

7.14.2 混凝土构件可采用钢筋应力计、混凝土应变计、光纤传感器等进行监测；钢构件可采用轴力计或应变计等进行监测。

7.14.3 结构应力监测应排除温度变化等因素的影响，且钢筋混凝土结构应排除混凝土收缩、徐变以及裂缝的影响。

7.14.4 结构应力监测传感器埋设前应进行标定和编号，埋设后导线应引至适宜监测操作处，导线端部应做好防护措施。

7.14.5 钢筋应力计或应变计的量程宜为设计值的 2 倍，精度不宜低于 $0.25\% F \cdot S$ 。

7.15 现场巡查

7.15.1 现场巡查可采用人工目测的方法，并辅助以量尺、锤、放大镜、照相机、摄像机等器具。

7.15.2 巡查人员应以填表、拍照或摄像等方式将观测到的有关信息和现象进行记录，可按本规范附录 C 的要求填写巡查记录，并应及时整理巡查信息。

7.15.3 巡查信息应与仪器监测数据进行对比分析，发现异常或险情时，应按规定程序及时通知建设方及相关单位。

7.16 远程视频监控

7.16.1 远程视频监控系统应包括前端采集、数据传输、显示等三个部分。

7.16.2 远程视频监控系统应能实现监视、录像、回放、备份、报警及网络浏览等功能。

7.16.3 实况图像宜采用可通过遥控进行变焦和扫视，俯仰的摄像头，摄像头、拾音器等应安装在便于取景和录音的安全部位，并应采取防撞、防水等保护措施。

7.16.4 视频信号和音频信号可采用无线发送设备或通过有线网络传送到管理部门的监视器中，同时应采用硬盘机或其他大容量的媒介记录图像和声音。

8 监 测 频 率

8.1 一 般 规 定

8.1.1 监测频率应根据施工方法、施工进度、监测对象、监测项目、地质条件等情况和特点，并结合当地工程经验进行确定。

8.1.2 监测频率应使监测信息及时、系统地反映施工工况及监测对象的动态变化，并宜采取定时监测。

8.1.3 对穿越既有轨道交通和重要建（构）筑物等周边环境风险等级为一级的工程，在穿越施工过程中，应提高监测频率，并宜对关键监测项目进行实时监测。

8.1.4 施工降水、岩土体注浆加固等工程措施对周边环境产生影响时，应根据环境的重要性和预测的影响程度确定监测频率。

8.1.5 工程施工期间，现场巡查每天不宜少于一次，并应做好巡查记录，在关键工况、特殊天气等情况下应增加巡查次数。

8.1.6 当遇到下列情况时，应提高监测频率：

- 1 监测数据异常或变化速率较大；
- 2 存在勘察未发现的不良地质条件，且影响工程安全；
- 3 地表、建（构）筑物等周边环境发生较大沉降、不均匀沉降；
- 4 盾构始发、接收以及停机检修或更换刀具期间；
- 5 矿山法隧道断面变化及受力转换部位；
- 6 工程出现异常；
- 7 工程险情或事故后重新组织施工；
- 8 暴雨或长时间连续降雨；
- 9 邻近工程施工、超载、振动等周边环境条件较大改变；
- 10 当出现本规范第 9.1.5 条和第 9.1.6 条规定的警情时。

8.1.7 施工阶段工程监测应贯穿工程施工全过程，满足下列条

件时，可结束监测工作：

1 基坑回填完成或矿山法隧道进行二次衬砌施工后，可结束支护结构的监测工作；

2 盾构法隧道完成贯通、设备安装施工后，可结束管片结构的监测工作；

3 支护结构监测结束后，且周围岩土体和周边环境变形趋于稳定时，可结束监测工作；

4 满足设计要求结束监测工作的条件。

8.1.8 建（构）筑物变形稳定标准应符合现行行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8 的有关规定，道路、地下管线等其他周边环境的变形稳定标准宜根据地方经验或评估结果确定。

8.2 监测频率要求

I 明挖法和盖挖法

8.2.1 明挖法和盖挖法基坑工程施工中支护结构、周围岩土体和周边环境的监测频率可按表 8.2.1 确定。

表 8.2.1 明挖法和盖挖法基坑工程监测频率

施工工况		基坑设计深度（m）				
		≤5	5~10	10~15	15~20	>20
基坑开挖深度（m）	≤5	1 次/1d	1 次/2d	1 次/3d	1 次/3d	1 次/3d
	5~10	—	1 次/1d	1 次/2d	1 次/2d	1 次/2d
	10~15	—	—	1 次/1d	1 次/1d	1 次/2d
	15~20	—	—	—	(1 次~2 次)/1d	(1 次~2 次)/1d
	>20	—	—	—	—	2 次/1d

注：1 基坑工程开挖前的监测频率应根据工程实际需要确定；

2 底板浇筑后可根据监测数据变化情况调整监测频率；

3 支撑结构拆除过程中及拆除完成后 3d 内监测频率应适当增加。

8.2.2 对于竖井井壁支护结构净空收敛监测频率，在竖井开挖

及井壁支护结构施工期间应 1 次/1d，竖井井壁支护结构整体完成 7d 后宜 1 次/2d，30d 后宜 1 次/7d，经数据分析确认井壁净空收敛达到稳定后可 1 次/(15d~30 d)。

8.2.3 坑底隆起（回弹）监测不应少于 3 次，并应在基坑开挖之前、基坑开挖完成后、浇筑基础混凝土之前各进行 1 次监测，当基坑开挖完成至基础施工的间隔时间较长时，应增加监测次数。

II 盾 构 法

8.2.4 盾构法隧道工程施工中隧道管片结构、周围岩土体和周边环境的监测频率可按表 8.2.4 确定。

表 8.2.4 盾构法隧道工程监测频率

监测部位	监测对象	开挖面至监测点或监测断面的距离	监测频率
开挖面前方	周围岩土体和周边环境	$5D < L \leq 8D$	1 次/（3d~5d）
		$3D < L \leq 5D$	1 次/2d
		$L \leq 3D$	1 次/1d
开挖面后方	管片结构、周围岩土体和周边环境	$L \leq 3D$	（1 次~2 次）/1d
		$3D < L \leq 8D$	1 次/（1d~2d）
		$L > 8D$	1 次/（3d~7d）

注：1 D ——盾构法隧道开挖直径（m）， L ——开挖面至监测点或监测断面的水平距离（m）；

2 管片结构位移、净空收敛宜在衬砌环脱出盾尾且能通视时进行监测；

3 监测数据趋于稳定后，监测频率宜为 1 次/（15d~30d）。

III 矿 山 法

8.2.5 矿山法隧道工程施工中隧道初期支护结构、周围岩土体和周边环境的监测频率可按表 8.2.5 确定。

表 8.2.5 矿山法隧道工程监测频率

监测部位	监测对象	开挖面至监测点或监测断面的距离	监测频率
开挖面前方	周围岩土体和周边环境	$2B < L \leq 5B$	1 次/2d
		$L \leq 2B$	1 次/1d
开挖面后方	初期支护结构、周围岩土体和周边环境	$L \leq 1B$	(1 次~2 次) /1d
		$1B < L \leq 2B$	1 次/1d
		$2B < L \leq 5B$	1 次/2d
		$L > 5B$	1 次/ (3d ~7d)

注：1 B ——矿山法隧道或导洞开挖宽度（m）， L ——开挖面至监测点或监测断面的水平距离（m）；

2 当拆除临时支撑时应增大监测频率；

3 监测数据趋于稳定后，监测频率宜为 1 次/（15d~30d）。

8.2.6 对于车站中柱竖向位移及结构应力的监测频率，土体开挖时宜为 1 次/1d，结构施工时宜为（1 次~2 次）/7d。

IV 地下水位

8.2.7 地下水位监测频率应根据水文地质条件复杂程度、施工工况、地下水对工程的影响程度以及地下水控制要求等进行确定，监测频率宜为 1 次/（1d~2d）。

V 爆破振动

8.2.8 钻爆法施工首次爆破时，对所需监测的周边环境对象均应进行爆破振动监测，以后应根据第一次爆破监测结果并结合环境对象特点确定监测频率。重要建（构）筑物、桥梁等高风险环境对象每次爆破均应进行监测。

9 监测项目控制值和预警

9.1 一般规定

9.1.1 城市轨道交通工程监测应根据工程特点、监测项目控制值、当地施工经验等制定监测预警等级和预警标准。

9.1.2 城市轨道交通地下工程施工图设计文件应明确监测项目的控制值，并应符合下列规定：

1 监测项目控制值应根据不同施工方法特点、周围岩土体特征、周边环境保护要求并结合当地工程经验进行确定，并应满足监测对象的安全状态得到合理、有效控制的要求；

2 支护结构监测项目控制值应根据工程监测等级、支护结构特点及设计计算结果等进行确定；

3 周边环境监测项目控制值应根据环境对象的类型与特点、结构形式、变形特征、已有变形、正常使用条件及国家现行有关标准的规定，并结合环境对象的重要性、易损性及相关单位的要求等进行确定；

4 对重要的、特殊的或风险等级较高的环境对象的监测项目控制值，应在现状调查与检测的基础上，通过分析计算或专项评估进行确定；

5 周围地表沉降等岩土体变形控制值应根据岩土体的特性，结合支护结构工程自身风险等级和周边环境安全风险等级等进行确定；

6 监测等级高、工况条件复杂的工程，宜针对不同的工况条件确定监测项目控制值，按工况条件控制监测对象的状态。

9.1.3 监测项目控制值应按监测项目的性质分为变形监测控制值和力学监测控制值。变形监测控制值应包括变形监测数据的累

计变化值和变化速率值；力学监测控制值宜包括力学监测数据的最大值和最小值。

9.1.4 城市轨道交通工程监测应根据监测预警等级和预警标准建立预警管理制度，预警管理制度应包括不同预警等级的警情报送对象、时间、方式和流程等。

9.1.5 城市轨道交通工程施工过程中，当监测数据达到预警标准时，必须进行警情报送。

9.1.6 现场巡查过程中发现下列警情之一时，应根据警情紧急程度、发展趋势和造成后果的严重程度按预警管理制度进行警情报送：

1 基坑、隧道支护结构出现明显变形、较大裂缝、断裂、较严重渗漏水、隧道底鼓，支撑出现明显变位或脱落、锚杆出现松弛或拔出等；

2 基坑、隧道周围岩土体出现涌砂、涌土、管涌，较严重渗漏水、突水，滑移、坍塌，基底较大隆起等；

3 周边地表出现突然明显沉降或较严重的突发裂缝、坍塌；

4 建（构）筑物、桥梁等周边环境出现危害正常使用功能或结构安全的过大沉降、倾斜、裂缝等；

5 周边地下管线变形突然明显增大或出现裂缝、泄漏等；

6 根据当地工程经验判断应进行警情报送的其他情况。

9.2 支护结构和周围岩土体

9.2.1 明挖法和盖挖法基坑支护结构和周围岩土体的监测项目控制值应根据工程地质条件、基坑设计参数、工程监测等级及当地工程经验等确定，当无地方经验时，可按表 9.2.1-1 和表 9.2.1-2 确定。

9.2.2 盾构法隧道管片结构竖向位移、净空收敛和地表沉降控制值应根据工程地质条件、隧道设计参数、工程监测等级及当地工程经验等确定，当无地方经验时，可按表 9.2.2-1 和表 9.2.2-2 确定。

表 9.2.1-1 明挖法和盖挖法基坑支护结构和周围岩土体监测项目控制值

监测项目	支护结构类型、岩土类型	工程监测等级一级				工程监测等级二级				工程监测等级三级		
		累计值(mm)		变化速率 (mm/d)	绝对值	累计值(mm)		变化速率 (mm/d)	绝对值	累计值(mm)		变化速率 (mm/d)
		绝对值	相对基坑深度(H)值			绝对值	相对基坑深度(H)值			绝对值	相对基坑深度(H)值	
支护桩(墙)顶 竖向位移	土钉墙、型钢水泥土墙	—	—	—	—	—	—	—	—	30~40	0.5%~0.6%	4~5
	灌注桩、地下连续墙	10~25	0.1%~0.15%	2~3	20~30	0.15%~0.3%	0.15%~0.3%	3~4	20~30	0.15%~0.3%	0.15%~0.3%	3~4
支护桩(墙)顶 水平位移	土钉墙、型钢水泥土墙	—	—	—	—	—	—	—	—	30~60	0.6%~0.8%	5~6
	灌注桩、地下连续墙	15~25	0.1%~0.15%	2~3	20~30	0.15%~0.3%	0.15%~0.3%	3~4	20~40	0.2%~0.4%	0.2%~0.4%	3~4
支护桩(墙)体 水平位移	型钢水泥土墙	—	—	—	—	—	—	—	40~50	0.4%	0.4%	6
		—	—	—	—	—	—	—	50~70	0.7%	0.7%	
	灌注桩、地下连续墙	20~30	0.15%~0.2%	2~3	30~40	0.2%~0.4%	0.2%~0.4%	3~4	30~40	0.2%~0.4%	0.2%~0.4%	4~5
	灌注桩、地下连续墙	30~50	0.2%~0.3%	2~4	40~60	0.3%~0.5%	0.3%~0.5%	3~5	50~70	0.5%~0.7%	0.5%~0.7%	4~6

续表 9.2.1-1

监测项目	支护结构类型、岩土类型	工程监测等级一级				工程监测等级二级				工程监测等级三级			
		累计值(mm)		变化速率(mm/d)	相对基坑深度(H)值	累计值(mm)		变化速率(mm/d)	相对基坑深度(H)值	累计值(mm)		变化速率(mm/d)	
		绝对值	相对基坑深度(H)值			绝对值	相对基坑深度(H)值			绝对值	相对基坑深度(H)值		
地表沉降	坚硬~中硬土	20~30	0.15%~0.2%	2~4		25~35	0.2%~0.3%	2~4		30~40	0.3%~0.4%	2~4	
	中软~软弱土	20~40	0.2%~0.3%	2~4		30~50	0.3%~0.5%	3~5		40~60	0.4%~0.6%	4~6	
立柱结构竖向位移		10~20	—	2~3		10~20	—	2~3		10~20	—	2~3	
支护墙结构应力		(60%~70%) f				(70%~80%) f				(70%~80%) f			
立柱结构应力		(60%~70%) f				(70%~80%) f				(70%~80%) f			
支撑轴力		最大值: (80%~100%) f 最小值: (80%~100%) f_y				最大值: (70%~80%) f 最小值: (80%~100%) f_y				最大值: (70%~80%) f 最小值: (80%~100%) f_y			
锚杆拉力		最大值: (80%~100%) f 最小值: (80%~100%) f_y				最大值: (70%~80%) f 最小值: (80%~100%) f_y				最大值: (70%~80%) f 最小值: (80%~100%) f_y			

注: 1 H ——基坑设计深度, f ——构件的承载力设计值, f_y ——支撑、锚杆的预应力设计值;

2 累计值应按表中绝对值和相对基坑深度(H)值两者中的小值取用;

3 支护桩(墙)顶隆起控制值宜为 20mm;

4 嵌岩的灌注桩或地下连续墙控制值可按表中数值的 50%取用。

表 9.2.1-2 竖井井壁支护结构净空收敛监测项目控制值

监测项目	累计值 (mm)	变化速率 (mm/d)
竖井井壁支护结构净空收敛	30	2

表 9.2.2-1 盾构法隧道管片结构竖向位移、净空收敛监测项目控制值

监测项目及岩土类型		累计值 (mm)	变化速率 (mm/d)
管片结构沉降	坚硬~中硬土	10~20	2
	中软~软弱土	20~30	3
管片结构差异沉降		$0.04\%L_s$	—
管片结构净空收敛		$0.2\%D$	3

注： L_s ——沿隧道轴向两监测点间距， D ——隧道开挖直径。

表 9.2.2-2 盾构法隧道地表沉降监测项目控制值

监测项目及 岩土类型		工程监测等级					
		一级		二级		三级	
		累计值 (mm)	变化速率 (mm/d)	累计值 (mm)	变化速率 (mm/d)	累计值 (mm)	变化速率 (mm/d)
地表	坚硬~中硬土	10~20	3	20~30	4	30~40	4
沉降	中软~软弱土	15~25	3	25~35	4	35~45	5
地表隆起		10	3	10	3	10	3

注：本表主要适用于标准断面的盾构法隧道工程。

9.2.3 矿山法隧道支护结构变形、地表沉降控制值应根据工程地质条件、隧道设计参数、工程监测等级及当地工程经验等确定，当无地方经验时，可按表 9.2.3-1 和表 9.2.3-2 确定。

表 9.2.3-1 矿山法隧道支护结构变形监测项目控制值

监测项目及区域		累计值 (mm)	变化速率 (mm/d)
拱顶 沉降	区间	10~20	3
	车站	20~30	

续表 9.2.3-1

监测项目及区域	累计值 (mm)	变化速率 (mm/d)
底板竖向位移	10	2
净空收敛	10	2
中柱竖向位移	10~20	2

表 9.2.3-2 矿山法隧道地表沉降监测项目控制值

监测等级及区域		累计值 (mm)	变化速率 (mm/d)
一级	区间	20~30	3
	车站	40~60	4
二级	区间	30~40	3
	车站	50~70	4
三级	区间	30~40	4

注：1 表中数值适用于土的类型为中软土、中硬土及坚硬土中的密实砂卵石地层；

2 大断面区间的地表沉降监测控制值可参照车站执行。

9.3 周边环境

9.3.1 建（构）筑物监测项目控制值的确定应符合下列规定：

1 建（构）筑物监测项目控制值应在调查分析建（构）筑物使用功能、建筑规模、修建年代、结构形式、基础类型、地质条件等的基础上，结合其与工程的空间位置关系、已有沉降、差异沉降和倾斜以及当地工程经验进行确定，并应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定；

2 对风险等级为一级、二级的建（构）筑物，宜通过结构检测、计算分析和安全性评估等确定建（构）筑物的沉降、差异沉降和倾斜控制值；

3 当无地方工程经验时，对于风险等级较低且无特殊要求

的建（构）筑物，沉降控制值宜为 10mm～30mm，变化速率控制值宜为 1mm/d～3mm/d，差异沉降控制值宜为 $0.001l \sim 0.002l$ （ l 为相邻基础的中心距离）。

9.3.2 桥梁监测项目控制值的确定应符合下列规定：

1 桥梁监测项目控制值应在调查分析桥梁规模、结构形式、基础类型、建筑材料、养护情况等的基础上，结合其与工程的空间位置关系、已有沉降、差异沉降和倾斜以及当地工程经验进行确定，并应符合现行行业标准《城市桥梁养护技术规范》CJJ 99 的有关规定；

2 桥梁的沉降、差异沉降和倾斜控制值宜通过结构检测、计算分析和安全性评估确定。

9.3.3 地下管线监测项目控制值的确定应符合下列规定：

1 地下管线监测项目控制值应在调查分析管线功能、材质、工作压力、管径、接口形式、埋置深度、铺设方法、铺设年代等的基础上，结合其与工程的空间位置关系和当地工程经验进行确定；

2 对风险等级较高的地下管线，宜通过专项调查、计算分析和安全性评估确定其沉降和差异沉降控制值；

3 当无地方工程经验时，对风险等级较低且无特殊要求的地下管线沉降及差异沉降控制值可按表 9.3.3 确定。

表 9.3.3 地下管线沉降及差异沉降控制值

管线类型	沉 降		差异沉降（mm）
	累计值（mm）	变化速率（mm/d）	
燃气管道	10～30	2	$0.3\%L_g$
雨污水管	10～20	2	$0.25\%L_g$
供水管	10～30	2	$0.25\%L_g$

注：1 燃气管道的变形控制值适用于 100mm～400mm 的管径；

2 L_g ——管节长度。

9.3.4 高速公路与城市道路监测项目控制值的确定应符合下列

规定：

1 高速公路与城市道路监测项目控制值应在调查分析道路等级、路基路面材料、道路现状情况和养护周期等的基础上，结合其与工程的空间位置关系和当地工程经验等进行确定，并应符合现行行业标准《公路沥青路面养护技术规范》JTJ 073.2 和《公路水泥混凝土路面养护技术规范》JTJ 073.1 的有关规定；

2 对风险等级较高或有特殊要求的高速公路与城市道路，宜通过现场探测和安全性评估等确定其沉降控制值；

3 当无地方工程经验时，对风险等级较低且无特殊要求的高速公路与城市道路，路基沉降控制值可按表 9.3.4 确定。

表 9.3.4 路基沉降控制值

监测项目		累计值 (mm)	变化速率 (mm/d)
路基沉降	高速公路、城市主干道	10~30	3
	一般城市道路	20~40	3

9.3.5 城市轨道交通既有线监测项目控制值的确定应符合下列规定：

1 城市轨道交通既有线监测项目控制值应在调查分析地质条件、线路结构形式、轨道结构形式、线路现状情况等的基础上，结合其与工程的空间位置关系、当地工程经验，进行必要的结构检测、计算分析和安全性评估后确定；

2 城市轨道交通既有线路结构及轨道几何形位的监测项目控制值应符合现行国家标准《地铁设计规范》GB 50157 的有关规定，并应满足线路维修的要求；

3 当无地方工程经验时，城市轨道交通既有线隧道结构变形控制值可按表 9.3.5 确定。

表 9.3.5 城市轨道交通既有线隧道结构变形控制值

监测项目	累计值 (mm)	变化速率 (mm/d)
隧道结构沉降	3~10	1

续表 9.3.5

监测项目	累计值 (mm)	变化速率 (mm/d)
隧道结构上浮	5	1
隧道结构水平位移	3~5	1
隧道差异沉降	$0.04\%L_s$	—
隧道结构变形缝差异沉降	2~4	1

注： L_s ——沿隧道轴向两监测点间距。

4 城市轨道交通既有有线高架线路、地面线路监测控制值应符合本规范第 9.3.2 条、第 9.3.6 条的规定。

9.3.6 既有铁路监测项目控制值的确定应符合下列规定：

1 既有铁路监测项目控制值应符合本规范第 9.3.5 条第 1 款的规定，对高速铁路应在专项评估后确定；

2 既有铁路线路结构及轨道几何形位的监测项目控制值应符合现行行业标准《铁路轨道工程施工质量验收标准》TB 10413 的有关规定，并应满足线路维修的要求；

3 当无地方工程经验时，对风险等级较低且无特殊要求的既有铁路路基沉降控制值可按表 9.3.6 确定，且路基差异沉降控制值宜小于 $0.04\%L_t$ (L_t 为沿铁路走向两监测点间距)。

表 9.3.6 既有铁路路基沉降控制值

监测项目		累计值 (mm)	变化速率 (mm/d)
路基沉降	整体道床	10~20	1.5
	碎石道床	20~30	1.5

9.3.7 爆破振动监测项目控制值包括峰值振动速度值和主振频率值，应符合现行国家标准《爆破安全规程》GB 6722 的有关规定。

10 线路结构变形监测

10.1 一般规定

10.1.1 城市轨道交通工程施工及运营期间，应对其线路中的隧道、高架桥梁、路基和轨道结构及重要的附属结构等进行竖向位移监测，并宜对隧道结构进行净空收敛监测。

10.1.2 线路结构变形监测应根据线路结构形式、地质与环境条件，结合运营安全管理的要求编制监测方案，监测方案中宜包括施工阶段延续的监测项目。

10.1.3 遇到下列情况时，应对相关区段的线路结构进行变形监测，并应编制专项监测方案：

- 1 不良地质作用对线路结构的安全有影响的区段；
- 2 存在软土、膨胀性土、湿陷性土等特殊岩土，且对线路结构的安全可能带来不利影响的区段；
- 3 因地基变形使线路结构产生不均匀沉降、裂缝的区段；
- 4 地震、堆载、卸载、列车振动等外力作用对线路结构或路基产生较大影响的区段；
- 5 既有线路保护区范围内有工程建设的区段；
- 6 采用新的施工技术、基础形式或设计方法的线路结构等。

10.1.4 重要地段的城市轨道交通线路结构监测宜采用远程自动化的监测方法。

10.1.5 附属结构、车辆基地的重要厂房等建（构）筑物的监测应符合现行行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8 的有关规定。

10.2 线路结构监测要求

10.2.1 隧道、路基的竖向位移监测点的布置应符合下列规定：

- 1 在直线地段宜每 100m 布设 1 个监测点；

2 在曲线地段宜每 50m 布设 1 个监测点，在直缓、缓圆、曲线中点、圆缓、缓直等部位应有监测点控制；

3 道岔区宜在道岔理论中心、道岔前端、道岔后端、辙叉理论中心等结构部位各布设 1 个监测点，道岔前后的线路应加密监测点；

4 线路结构的沉降缝和变形缝、车站与区间衔接处、区间与联络通道衔接处、附属结构与线路结构衔接处等，应有监测点或监测断面控制；

5 隧道、高架桥梁与路基之间的过渡段应有监测点或监测断面控制；

6 地基或围岩采用加固措施的轨道交通线路结构或附属结构部位应布设监测点或监测断面；

7 线路结构存在病害或处在软土地基等区段时，应根据实际情况布设监测点。

10.2.2 高架桥梁的每一桥墩均宜布设竖向位移监测点。

10.2.3 基准点的位置或数量应根据整条线路情况统筹考虑，利用施工阶段布设的基准点时，应检查基准点的可靠性。

10.2.4 线路结构监测频率应符合下列规定：

1 线路结构施工和试运行期间的监测频率宜每 1 个月~2 个月监测 1 次，当线路结构变形较大或地基承受的荷载发生较大变化时，应增加监测次数；

2 线路运营第一年内的监测频率宜每 3 个月监测 1 次，第二年宜每 6 个月监测 1 次，以后宜每年监测 1 次~2 次；

3 线路结构存在病害或处在软土地基等区段时，应根据实际情况提高监测频率。

11 监测成果及信息反馈

11.0.1 工程监测成果资料应完整、清晰、签字齐全，监测成果应包括现场监测资料、计算分析资料、图表、曲线、文字报告等。

11.0.2 现场监测资料宜包括外业观测记录、现场巡查记录、记事项目以及仪器、视频等电子数据资料。外业观测记录、现场巡查记录和记事项目应在现场直接记录在正式的监测记录表格中，监测记录表格中应有相应的工况描述。

11.0.3 取得现场监测资料后，应及时对监测资料进行整理、分析和校对，监测数据出现异常时，应分析原因，必要时应进行现场核对或复测。

11.0.4 对监测数据应及时计算累计变化值、变化速率值，并绘制时程曲线，必要时绘制断面曲线图、等值线图，并应根据施工工况、地质条件和环境条件分析监测数据的变化原因和变化规律，预测其发展趋势。

11.0.5 监测报告可分为日报、警情快报、阶段性报告和总结报告。监测报告应采用文字、表格、图形、照片等形式，表达直观、明确。监测报告宜包括下列内容：

1 日报

- 1) 工程施工概况；
- 2) 现场巡查信息：巡查照片、记录等；
- 3) 监测项目日报表：仪器型号、监测日期、观测时间、天气情况、监测项目的累计变化值、变化速率值、控制值、监测点平面位置图等，可采用本规范附录 D 的样式；
- 4) 监测数据、现场巡查信息的分析与说明；

5) 结论与建议。

2 警情快报

- 1) 警情发生的时间、地点、情况描述、严重程度、施工工况等；
- 2) 现场巡查信息：巡查照片、记录等；
- 3) 监测数据图表：监测项目的累计变化值、变化速率值、监测点平面位置图；
- 4) 警情原因初步分析；
- 5) 警情处理措施建议。

3 阶段性报告

- 1) 工程概况及施工进度；
- 2) 现场巡查信息：巡查照片、记录等；
- 3) 监测数据图表：监测项目的累计变化值、变化速率值、时程曲线、必要的断面曲线图、等值线图、监测点平面位置图等；
- 4) 监测数据、巡查信息的分析与说明；
- 5) 结论与建议。

4 总结报告

- 1) 工程概况；
- 2) 监测目的、监测项目和监测依据；
- 3) 监测点布设；
- 4) 采用的仪器型号、规格和元器件标定资料；
- 5) 监测数据采集和观测方法；
- 6) 现场巡查信息：巡查照片、记录等；
- 7) 监测数据图表：监测值、累计变化值、变化速率值、时程曲线、必要的断面曲线图、等值线图、监测点平面位置图等；
- 8) 监测数据、巡查信息的分析与说明；
- 9) 结论与建议。

11.0.6 监测数据的处理与信息反馈宜利用专门的工程监测数据

处理与信息管理系统软件，实现数据采集、处理、分析、查询和管理的一体化以及监测成果的可视化。

11.0.7 监测日报、警情快报、阶段性报告和总结报告应按规定格式和内容，及时向相关单位报送。

附录 A 监测项目代号和图例

A.0.1 监测项目代号和图例应具有唯一性。

A.0.2 工程监测断面、监测点编号应结合监测项目及其图例，按工点统一编制。监测点编号宜符合下列规定：

1 监测点编号组成格式宜由监测项目代号与监测点序列号共同组成；

2 监测项目代号宜采用大写英文字母的形式表示；

3 监测点序列号宜采用阿拉伯数字并按一定的顺序或方向进行编号。

A.0.3 支护结构监测项目代号和图例宜符合表 A.0.3-1～表 A.0.3-3 的规定。

表 A.0.3-1 明挖法和盖挖法的基坑支护结构监测项目代号和图例

监测项目	项目代号	图 例
支护桩（墙）、边坡顶部水平位移	ZQS	
支护桩（墙）、边坡顶部竖向位移	ZQC	
支护桩（墙）体水平位移	ZQT	
支护桩（墙）结构应力	ZQL	
立柱结构竖向位移	LZC	
立柱结构水平位移	LZS	
立柱结构应力	LZL	
支撑轴力	ZCL	



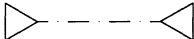
续表 A.0.3-1

监测项目	项目代号	图 例
顶板应力	DBL	
锚杆拉力	MGL	
土钉拉力	TDL	
竖井井壁支护结构净空收敛	SJJ	




表 A.0.3-2 盾构法隧道管片结构监测项目代号和图例

监测项目	项目代号	图 例
管片结构竖向位移	GGC	
管片结构水平位移	GGs	
管片结构净空收敛	GGJ	
管片结构应力、管片连接螺栓应力	GGL	

表 A.0.3-3 矿山法支护结构监测项目代号和图例








监测项目	项目代号	图 例
初期支护结构拱顶沉降	GDC	
初期支护结构底板竖向位移	DBS	
初期支护结构净空收敛、隧道拱脚竖向位移	JKJ	

续表 A.0.3-3

监测项目	项目代号	图 例
中柱结构竖向位移、倾斜	ZZC	
中柱结构应力	ZNL	
初期支护结构、二次衬砌应力	ZHL	

A.0.4 周围岩土体监测项目代号和图例宜符合表 A.0.4 的规定。

表 A.0.4 周围岩土体监测项目代号和图例

监测项目	项目代号	图 例
地表沉降	DBC	
土体深层水平位移	TST	
土体分层竖向位移	TCC	
坑底隆起（回弹）	KDC	
支护桩（墙）侧向土压力、管片围岩压力、围岩压力	WTL	
地下水位	DSW	
孔隙水压力	KSL	

A.0.5 周边环境监测项目代号和图例宜符合表 A.0.5 的规定。

表 A.0.5 周边环境监测项目代号和图例

监测项目	项目代号	图 例
建（构）筑物、桥梁墩台、挡墙竖向位移	JGC	
建（构）筑物、地下管线、桥梁墩台差异沉降	JGY	
隧道结构竖向位移、轨道结构（道床）竖向位移	SGC	
建（构）筑物、隧道结构水平位移	JGS	
隧道结构变形缝差异沉降	JGK	
轨道静态几何形位（轨距、轨向、高低、水平）	GDX	
建（构）筑物倾斜	JGQ	
桥梁墩柱倾斜、挡墙倾斜	QQQ	
建（构）筑物裂缝	JGF	
桥梁裂缝	QGF	
隧道、轨道结构裂缝	SGF	
地下管线竖向位移	GXC	
地下管线水平位移	GXS	
路面竖向位移	LMC	
路基竖向位移	LJC	
桥梁梁板应力	LBL	
爆破振动	BPZ	

附录 B 基准点、监测点的埋设

B.0.1 深埋钢管水准基准点标石的埋设（图 B.0.1），应符合下列规定：

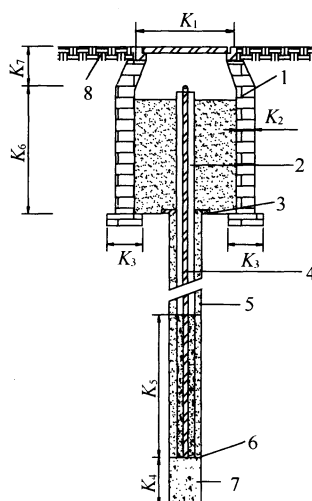


图 B.0.1 深埋钢管水准基准点标石

1—保护井；2—外管；3—外管悬空卡子；4—内管；

5—钻孔（内填）；6—基点底靴；7—钻孔底；8—地面；

K_1 —井盖直径； K_2 —井壁厚度； K_3 —井底垫圈宽度； K_4 —钻孔底
封堵厚度； K_5 —基点底靴厚度； K_6 —井底垫圈面距基准点顶部高度；

K_7 —基准点顶部距井盖顶高度

1 保护井壁宜采用砖砌，井壁厚度宜为 240mm，井底垫圈宽度宜为 370mm，井深宜为 1000mm；井盖宜采用钢质材料，井盖直径宜为 800mm；井口标高宜与地面标高相同；

2 基准点应分为内管和外管，且外管直径宜为 75mm，内

管直径宜为 30mm，基准点顶部距离井盖顶宜为 300mm，井底垫圈面距基准点顶部高度宜为 700mm；

3 基准点宜采用钻机钻孔的方式埋设，基准点底部埋设深度应至相对稳定的土层，钻孔底封堵厚度宜为 360mm，基点底靴厚度宜为 1000mm。

B.0.2 平面基准点标石的埋设（图 B.0.2），应符合下列规定：

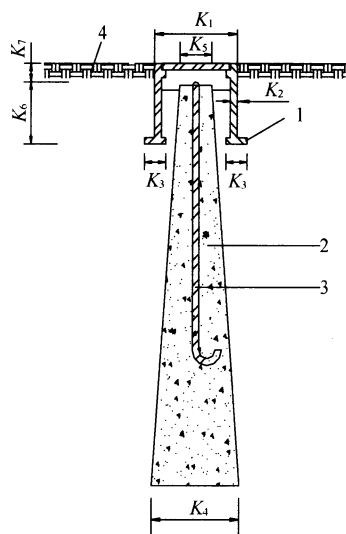


图 B.0.2 平面基准点标石

1—保护井；2—混凝土底座；3—钢标志点；4—地面；

K_1 —井盖直径； K_2 —井壁厚度； K_3 —井底垫圈宽度； K_4 —混凝土基石底直径； K_5 —混凝土基石顶直径； K_6 —井底垫圈面距监测点顶部高度； K_7 —基准点顶部距井盖顶高度

1 保护井壁宜采用钢质材料，井壁厚度宜为 10mm，井底垫圈宽度宜为 50mm，井深宜为 200mm～300mm；井盖宜采用钢质材料，井盖直径宜为 200mm，井口标高宜与地面标高相同；

2 平面基准点标志宜采用加工成“L”形的钢筋置入混凝土基石中，钢筋直径宜为 25mm，顶部可刻划成“十”字或镶嵌直径 1mm 的铜芯；混凝土基石上部直径宜为 100mm，下部直径

宜为 300mm，基准点顶部距离井盖顶宜为 50mm；

3 平面基准点可采用人工开挖或钻机钻孔的方式埋设，基准点底部埋设深度应至相对稳定的土层。

B.0.3 支护桩（墙）、边坡顶部水平位移监测点的埋设（图 B.0.3-1、图 B.0.3-2），应符合下列规定：

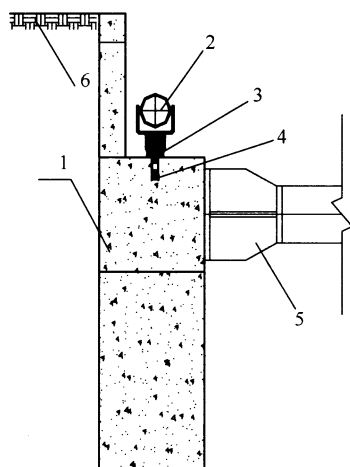


图 B.0.3-1 支护桩（墙）顶水平位移监测点

1—冠梁；2—测量装置；3—连接杆件；

4—固定螺栓；5—支撑；6—地面

1 支护桩（墙）顶水平位移监测点宜采用在基坑冠梁上设置强制对中的观测标志的形式，双测装置宜采用连接杆件与冠梁上埋设的固定螺栓连接，连接杆件尺寸与固定螺栓规格可根据采用的测量装置尺寸要求加工；

2 基坑边坡顶部水平位移监测点宜采用混凝土标石，用于观测标志的螺纹钢直径宜为 18mm~22mm，长度宜为 200mm~400mm；混凝土标石上部直径宜为 100mm，下部直径宜为 200mm，底部埋置深度宜为 300mm~500mm，顶部宜根据现场情况采取有效的保护措施。

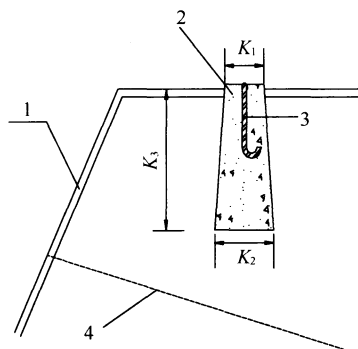


图 B.0.3-2 基坑边坡顶水平位移监测点

1—基坑边坡；2—混凝土标石；3—标志钢筋；4—锚杆或土钉；

K_1 —混凝土标石顶直径； K_2 —混凝土标石底直径；

K_3 —混凝土基石底距硬化地面高度

B.0.4 建（构）筑物竖向位移监测点的埋设（图 B.0.4），应符合下列规定：

1 建（构）筑物竖向位移监测点埋设宜采用“L”形螺纹

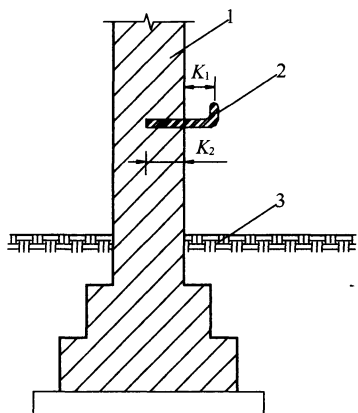


图 B.0.4 建（构）筑物竖向位移监测点

1—砖墙或钢筋混凝土结构；2—监测点；3—地面；

K_1 —监测点与建（构）筑物外表面距离； K_2 —监测点埋入结构深度

钢，钢筋直径宜为 18mm~22mm，外露端顶部宜加工成球形；

2 标志宜采用钻孔埋入的方式，周边空隙用锚固剂回填密实，标志点的高度宜位于地面以上 300mm；

3 螺纹钢外露端顶部与建（构）筑物外表面的距离宜为 30mm~40mm，螺纹钢埋入结构长度宜为墙体厚度的 1/3~1/2。

B.0.5 地下管线监测点的埋设（图 B.0.5-1、图 B.0.5-2），应符合下列规定：

1 地下管线管顶竖向位移监测点宜采用测杆形式埋设于管线顶部结构上，测杆底端宜采用混凝土与管线结构或周边土体固定，测杆外应加保护管，保护管外侧应回填密实；

2 地下管线管侧土体监测点宜采用测杆形式埋设于管线外侧土体中，测杆底端宜与管线底标高一致，并宜采用混凝土与管线周边土体固定，测杆外应加保护管，保护管外侧应回填密实；

3 保护井壁宜采用钢质材料，井壁厚度宜为 10mm，井底垫圈宽度宜为 50mm，井深宜为 200mm~300mm；井盖宜采用钢质材料，井盖直径宜为 150mm，井口标高宜与地面标高相同。

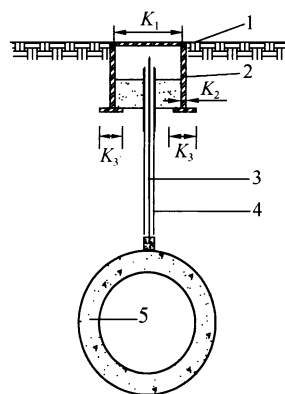


图 B.0.5-1 地下管线位移杆式直接监测点

1—地面；2—保护井；3—测杆；4—保护管；5—管线；

K_1 —保护井盖直径； K_2 —保护井井壁厚度； K_3 —井底垫圈宽度

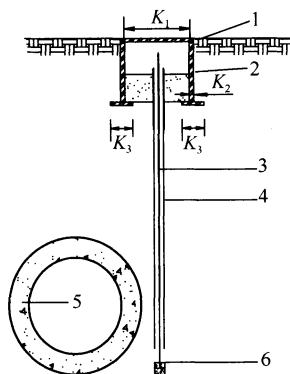


图 B.0.5-2 地下管线管侧土体监测点

1—地面；2—保护井；3—测杆；

4—保护管；5—管线；6—混凝土块；

K_1 —保护井盖直径； K_2 —保护井井壁厚度； K_3 —井底垫圈宽度

B.0.6 高速公路、城市道路的路基竖向位移监测点的埋设（图 B.0.6），应符合下列规定：

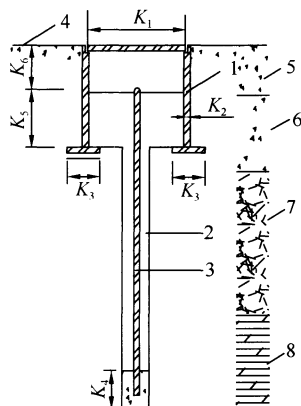


图 B.0.6 路基竖向位移监测点

1—保护井；2—钻孔回填细砂；3—螺纹钢标志；

4—路面；5—面层；6—基层；7—垫层；8—原状土；

K_1 —保护井盖直径； K_2 —保护井井壁厚度； K_3 —井底垫圈宽度；

K_4 —底端混凝土固结长度； K_5 —井底垫圈面距监测点顶部高度；

K_6 —监测点顶部距井盖顶高度

1 高速公路、城市道路的路基竖向位移监测点宜采用钻孔方式埋设，钻孔深度应到原状土层，钻孔直径不宜小于 80mm，螺纹钢标志点直径宜为 18mm~22mm，底部将螺纹钢标志点用混凝土与周边原状土体固定，底端混凝土固结长度宜为 50mm，孔内用细砂回填；

2 路基竖向位移监测点的保护井壁宜采用钢质材料，井壁厚度宜为 10mm，井底垫圈宽度宜为 50mm，井深宜为 200mm~300mm；井盖宜采用钢质材料，井盖直径宜为 150mm，井口标高宜与道路地表标高相同；

3 井底垫圈面距监测点顶部高度不宜小于井深长度的 1/2，且不宜小于预计的路基最大沉降量。

B.0.7 支护桩（墙）体水平位移监测点的埋设（图 B.0.7），应符合下列规定：

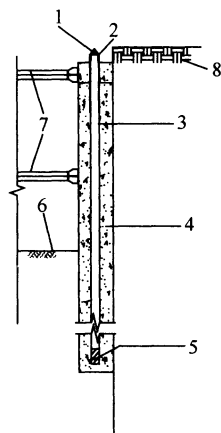


图 B.0.7 支护桩（墙）体水平位移监测点

1—测斜管保护盖；2—钢套管；3—测斜管；4—支护桩（墙）体；
5—测斜管底封堵端；6—基坑底部；7—支撑；8—地面

1 支护桩（墙）体水平位移监测点宜采用埋设测斜管的形式，测斜管内径宜为 59mm，外径宜为 71mm，埋置深度应至桩（墙）底部，测斜管管口部位宜采用钢套管保护，管底应进行

封堵；

2 测斜管宜在钢筋笼吊装前采用分段连接绑扎形式，并宜每 1m 绑扎一次。埋设时应保证测斜管的一对导槽垂直于基坑边线。

B.0.8 土体分层竖向位移监测点的埋设（图 B.0.8），应符合下列规定：

1 土体分层竖向位移监测点宜采用埋设分层沉降管、管外套磁环的形式，分层沉降管内径宜为 59mm，外径宜为 71mm，埋置深度应符合监测设计要求；分层沉降管口部位宜采用钢套管保护，管底应进行封堵；

2 保护井壁宜采用钢质材料，井壁厚度宜为 10mm，井底垫圈宽度宜为 50mm，井深宜为 200mm~300mm；井盖宜采用钢质材料，井盖直径宜为 150mm，井口标高宜与地面标高相同。

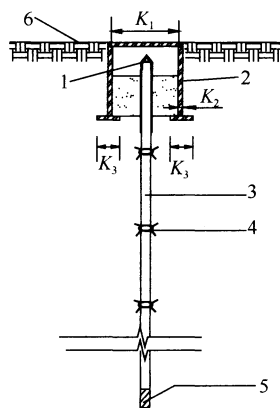


图 B.0.8 土体分层竖向位移监测点

1—分层沉降管保护盖；2—保护井；3—分层沉降管；

4—磁环；5—分层沉降管底封堵端；6—地表；

K_1 —保护井盖直径； K_2 —保护井井壁厚度； K_3 —井底垫圈宽度

附录 C 现场巡查报表

C.0.1 明挖法和盖挖法的基坑现场巡查报表可按表 C.0.1 执行。

表 C.0.1 明挖法和盖挖法的基坑现场巡查报表

监测工程名称：

报表编号：

巡查时间： 年 月 日 时

天气：

分类	巡查内容	巡查结果	备注
施工 工况	开挖长度、分层高度及坡度，开挖面暴露时间		
	开挖面岩土体的类型、特征、自稳性，渗漏水大小及发展情况		
	降水、回灌等地下水控制效果及设施运转情况		
	基坑侧壁及周边地表截、排水措施及效果，坑边或基底有无积水		
	支护桩（墙）后土体有无裂缝、明显沉陷，基坑侧壁或基底有无涌土、流砂、管涌		
	基坑周边有无超载		
	放坡开挖的基坑边坡有无位移、坡面有无开裂		
	其他		
支护 结构	支护桩（墙）有无裂缝、侵限情况		
	冠梁、围檩的连续性，围檩与桩（墙）之间的密贴性，围檩与支撑的防坠落措施		
	冠梁、围檩、支撑有无过大变形或裂缝		
	支撑是否及时架设		
	盖挖法顶板有无明显变形和开裂，顶板与立柱、墙体的连接情况		
	锚杆、土钉垫板有无明显变形、松动		
	止水帷幕有无开裂、较严重渗漏水		
	其他		

续表 C.0.1

分类	巡查内容	巡查结果	备注
周边环境	建（构）筑物、桥梁墩台或梁体、既有轨道交通结构等的裂缝位置、数量和宽度，混凝土剥落位置、大小和数量，设施能否正常使用		
	地下构筑物积水及渗水情况，地下管线的漏水、漏气情况		
	周边路面或地表的裂缝、沉陷、隆起、冒浆的位置、范围等情况		
	河流湖泊的水位变化情况，水面有无出现漩涡、气泡及其位置、范围，堤坡裂缝宽度、深度、数量及发展趋势等		
	工程周边开挖、堆载、打桩等可能影响工程安全的其他生产活动		
	其他		
监测设施	基准点、监测点的完好状况、保护情况		
	监测元器件的完好状况、保护情况		
	其他		

现场巡查人：

监测项目负责人：

监测单位：

第 页 共 页

C.0.2 盾构法隧道现场巡查报表可按表 C.0.2 执行。

表 C.0.2 盾构法隧道现场巡查报表

监测工程名称：

报表编号：

巡查时间： 年 月 日 时

天气：

分类	巡查内容	巡查结果	备注
施工工况	盾构始发端、接收端土体加固情况		
	盾构掘进位置（环号）		
	盾构停机、开仓等的时间和位置		
	联络通道开洞口情况		
	其他		

续表 C.0.2

分类	巡查内容	巡查结果	备注
管片 变形	管片破损、开裂、错台情况		
	管片渗漏水情况		
	其他		
周边环境	建（构）筑物、桥梁墩台或梁体、既有轨道交通结构等的裂缝位置、数量和宽度，混凝土剥落位置、大小和数量，设施能否正常使用		
	地下构筑物积水及渗水情况，地下管线的漏水、漏气情况		
	周边路面或地表的裂缝、沉陷、隆起、冒浆的位置、范围等情况		
	河流湖泊的水位变化情况，水面有无出现漩涡、气泡及其位置、范围，堤坡裂缝宽度、深度、数量及发展趋势等		
	工程周边开挖、堆载、打桩等可能影响工程安全的其他生产活动		
监测设施	其他		
	基准点、监测点的完好状况、保护情况		
	监测元器件的完好状况、保护情况		
	其他		

现场巡查人：

监测项目负责人：

监测单位：

第 页 共 页

C.0.3 矿山法隧道现场巡查报表可按表 C.0.3 执行。

表 C.0.3 矿山法隧道现场巡查报表

监测工程名称：

报表编号：

巡查时间： 年 月 日 时

天气：

分类	巡查内容	巡查结果	备注
施工 工况	开挖步序、步长、核心土尺寸等情况		
	开挖面岩土体的类型、特征、自稳性，地下水渗漏及发展情况		
	开挖面岩土体有无坍塌及坍塌的位置、规模		
	降水或止水等地下水控制效果及降水设施运转情况		
	其他		

续表 C. 0. 3

分类	巡查内容	巡查结果	备注
支护结构	超前支护施作情况及效果、钢拱架架设、挂网及喷射混凝土的及时性、连接板的连接及锁脚锚杆的打设情况		
	初期支护结构渗漏水情况		
	初期支护结构开裂、剥离、掉块情况		
	临时支撑结构有无明显变位		
	二衬结构施作时临时支撑结构分段拆除情况		
	初期支护结构背后回填注浆的及时性		
	其他		
周边环境	建（构）筑物、桥梁墩台或梁体、既有轨道交通结构等的裂缝位置、数量和宽度，混凝土剥落位置、大小和数量，设施能否正常使用		
	地下构筑物积水及渗水情况，地下管线的漏水、漏气情况		
	周边路面或地表的裂缝、沉陷、隆起、冒浆的位置、范围等情况		
	河流湖泊的水位变化情况，水面有无出现漩涡、气泡及其位置、范围，堤坡裂缝宽度、深度、数量及发展趋势等		
	工程周边开挖、堆载、打桩等可能影响工程安全的其他生产活动		
	其他		
监测设施	基准点、监测点的完好状况、保护情况		
	监测元器件的完好状况、保护情况		
	其他		

现场巡查人：
监测单位：

监测项目负责人：
第 页 共 页

D.0.4 应力、压力监测日报表可按表 D.0.4 执行。

表 D.0.4 应力、压力监测日报表

监测工程名称： 报表编号： 天气：
本次监测时间： 年 月 日 时 上次监测时间： 年 月 日 时

仪器型号：		仪器出厂编号：			检定日期：			
监测 点号	初始值 (kPa)	上次测值 (kPa)	本次测值 (kPa)	本次变化值 (kPa)	变化速率 (kPa /d)	控制值 (kPa)	预警 等级	备注
施工工况：								
监测结论及建议：								

现场监测人： 计算人： 校核人：
监测项目负责人： 监测单位： 第 页 共 页

本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《建筑地基基础设计规范》GB 50007
- 2 《工程测量规范》GB 50026
- 3 《地铁设计规范》GB 50157
- 4 《城市轨道交通工程测量规范》GB 50308
- 5 《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497
- 6 《爆破安全规程》GB 6722
- 7 《国家一、二等水准测量规范》GB/T 12897
- 8 《城市桥梁养护技术规范》CJJ 99
- 9 《建筑变形测量规范》JGJ 8
- 10 《公路水泥混凝土路面养护技术规范》JTJ 073. 1
- 11 《公路沥青路面养护技术规范》JTJ 073. 2
- 12 《铁路轨道工程施工质量验收标准》TB 10413

中华人民共和国国家标准

城市轨道交通工程监测技术规范

GB 50911 - 2013

条文说明

制 订 说 明

《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911—2013，经住房和城乡建设部 2013 年 9 月 6 日以第 141 号公告批准、发布。

本规范编制过程中，编制组共召开全体会议 3 次，专题研讨会 10 余次，广泛调研和分析了我国主要轨道交通建设城市的工程监测技术要求、经验总结和其他相关资料，总结了我国开展城市轨道交通建设以来工程监测技术的各类成果。同时，参考了国外先进技术成果，吸收了国内公路、铁路、水利水电等相关行业工程监测的先进理念和最新研究成果，通过调研、征求意见及专家咨询，取得了重要技术参数。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规范时能正确理解和执行条文规定，《城市轨道交通工程监测技术规范》编制组按章、节、条顺序编制了本规范的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明，还着重对强制性条文的强制性理由做了解释。但是本条文说明不具备与规范正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规范规定的参考。

目 次

1	总则	91
2	术语和符号	93
2.1	术语	93
2.2	符号	93
3	基本规定	94
3.1	基本要求	94
3.2	工程影响分区及监测范围	99
3.3	工程监测等级划分	108
4	监测项目及要求	114
4.1	一般规定	114
4.2	仪器监测	114
4.3	现场巡查	120
4.4	远程视频监控	120
5	支护结构和周围岩土体监测点布设	121
5.1	一般规定	121
5.2	明挖法和盖挖法	121
5.3	盾构法	124
5.4	矿山法	126
6	周边环境监测点布设	128
6.1	一般规定	128
6.2	建（构）筑物	128
6.3	桥梁	129
6.4	地下管线	129
6.5	高速公路与城市道路	131
6.6	既有轨道交通	131

7	监测方法及技术要求	133
7.1	一般规定	133
7.2	水平位移监测	134
7.3	竖向位移监测	135
7.4	深层水平位移监测	136
7.5	土体分层竖向位移监测	137
7.6	倾斜监测	138
7.7	裂缝监测	139
7.8	净空收敛监测	139
7.9	爆破振动监测	142
7.10	孔隙水压力监测	143
7.14	结构应力监测	144
7.15	现场巡查	146
8	监测频率	147
8.1	一般规定	147
8.2	监测频率要求	148
9	监测项目控制值和预警	151
9.1	一般规定	151
9.2	支护结构和周围岩土体	154
9.3	周边环境	171
10	线路结构变形监测	175
10.1	一般规定	175
10.2	线路结构监测要求	175
11	监测成果及信息反馈	177

1 总 则

1.0.1 城市轨道交通工程建筑类型多，通常有地下工程、高架工程和地面线路工程，其中地下工程一般埋深多在二三十米以内，而在此深度范围内大多为第四纪冲洪积、淤积层，或为全、强风化的岩层，地层多松散无胶结，地下水 and 地表水、大气降水直接联系，工程地质条件和水文地质条件复杂。同时，城市轨道交通线路基本处于环境复杂、人口密集的城区，周边高楼林立，地下管网密集，城市桥梁、道路、既有铁路等纵横交错，沿线交通流量大，工程周边环境条件复杂。复杂的地质条件和环境条件给城市轨道交通工程设计、施工带来诸多难题。

因此，城市轨道交通工程具有建设规模大、建设周期长、地质条件和环境条件复杂、工程风险高等特点，而目前我国轨道交通建设的设计水平、施工能力及管理经验与轨道交通建设的发展速度、规模不相匹配，又加上缺少相应的工程监测技术规范、标准加以指导，使得各地安全事故时有发生。

为保证工程施工安全、周边环境稳定及线路结构自身安全，工程监测尤为重要。随着城市轨道交通的快速发展，工程监测技术也取得了长足的进步。本规范从轨道交通工程安全风险控制的角度出发，总结已有监测经验和监测技术手段，以有效降低轨道交通工程施工的安全风险，减少施工对周边环境的影响，避免线路结构过大变形影响线路运营安全为目标，从而保障人民群众的生命财产安全，以利于社会稳定和节省投资。

1.0.2 城市轨道交通工程的监测工作包括为确保施工和周边环境安全的施工监测，以及确保线路正常使用和运营安全的线路结构变形长期监测。在施工监测过程中，地下工程施工安全监测尤为重要。本规范主要针对城市轨道交通地下工程土建施工中的监

测工作进行了详细的规定。

在土建施工、设备安装与调试及线路不载客试运行和运营阶段中，线路结构受地质条件、周边工程建设或环境荷载的影响会出现持续、缓慢的变形，当变形量达到一定程度时会影响到线路结构或运营安全，因此，本规范对城市轨道交通线路结构的变形监测工作也进行了详细的规定。

1.0.3 城市轨道交通工程大多是在地面建筑设施密集、交通繁忙、地质条件复杂的城市中施工，不同的设计方案和施工方法引起的岩土体力学响应在时间和空间上的规律也不尽相同，监测方案的编制应综合考虑这些因素。监测成果是判断支护结构的安全及周边环境的稳定状态、预测地层变形及发展趋势、控制施工对环境影响程度以及分析线路结构健康状态的重要依据，因此，监测过程中，应严格执行监测方案，及时提供真实、有效的监测成果。

1.0.4 城市轨道交通工程需要遵守的标准有很多，本规范只是其中之一；另外有关国家现行标准中对城市轨道交通工程监测也有一些相关规定，因此本条规定除遵守本规范外，城市轨道交通工程监测尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

本术语中主要列入了与城市轨道交通工程监测技术相关的术语。监测、风险、明挖法、盖挖法、盾构法、矿山法等术语主要参考了相关国家标准及其他相关资料，周围岩土体、工程影响分区、工程监测等级等新定义主要基于现有研究总结。经过编制组讨论、分析、归纳和整理，相关术语编入本规范中。

本规范术语给出了推荐性英文术语以供参考。

2.2 符 号

城市轨道交通工程监测涉及的内容和专业较多，相同符号在不同专业中有不同的意义。因此，本规范保留通用性较强的符号和对应意义。其他专业中采用相同符号时，为表示区别，符号增加了脚注字母。

3 基本规定

3.1 基本要求

3.1.1 本条为强制性条文，对城市轨道交通地下工程在施工阶段开展监测工作进行了要求。

城市轨道交通工程在施工过程中经常发生支护结构垮塌、周围岩土体坍塌以及建（构）筑物、地下管线等周边环境对象的过大变形或破坏等安全风险事件，因此，在地下工程施工过程中，开展工程监测工作对安全风险事件的预防预报和控制安全风险事件的发生具有十分重要的意义。

工程监测对象主要包括支护结构、周围岩土体和周边环境，支护结构监测对象主要为基坑支护桩（墙）、立柱、支撑、锚杆、土钉，矿山法隧道初期支护、临时支护、二次衬砌以及盾构法隧道管片；周围岩土体监测对象主要为工程周围的岩体、土体、地下水以及地表；周边环境监测对象主要为工程周边的建（构）筑物、地下管线、高速公路、城市道路、桥梁、既有轨道交通以及其他城市基础设施。这些对象的安全状态是控制城市轨道交通地下工程施工安全的关键所在。

按照住建部《城市轨道交通工程安全质量管理暂行办法》（建质〔2010〕5号）的要求，目前全国各地城市轨道交通工程监测开展了施工监测和第三方监测工作。施工监测是按照施工图设计文件、施工方案及规范等要求，对工程支护结构、周围岩土体和周边环境等进行监测。第三方监测是监测单位受建设单位的委托，按照合同内容及要求对工程支护结构的关键部位及重要周边环境等进行监测，其工作量一般约为施工监测工作量的三分之一。实践证明，施行施工监测和第三方监测的制度对地下工程质量和安全的控制起到了很好的作用，同时，工程监测的技术手段

和方法已基本成熟，因此，城市轨道交通地下工程施工阶段开展监测工作是十分必要的，也是完全可行的。

3.1.2 本条指出了城市轨道交通地下工程施工阶段监测的目的。工程监测主要是为评价工程结构自身和周边环境安全提供必需的监测资料，因此，工程监测工作需要依据国家有关法律法规和工程技术标准，通过采用测量测试仪器、设备，对工程支护结构和施工影响范围内的岩土体、地下水及周边环境等的变化情况（如变形、应力等）进行量测和巡视检查，依据准确、详实的监测资料研究、分析、评价工程结构和周边环境的安全状态，预测工程风险发生的可能性，判断设计、施工、环境保护等方案的合理性，为设计、施工相关参数的调整提供资料依据。

3.1.3 本条是通过对各地工程监测工作的开展流程进行归纳、总结的基础上，提出的较为系统的工作流程，遵循该工作流程开展监测工作是实现监测目的、保证监测质量的重要基础。

3.1.4 收集水文气象资料、岩土工程勘察资料、周边环境调查报告、安全风险评估报告等重要的监测背景资料，同时进行必要的现场踏勘，对制定有针对性的监测方案及指导监测作业开展具有重要作用。

监测范围内的周边环境现场踏勘与核查是编制监测方案的重要环节，开展现场踏勘与核查工作时应注意以下内容：

1 环境对象与工程的位置关系及场地周边环境条件的变化情况；

2 工程影响范围内的建（构）筑物、桥梁、地下构筑物等环境对象的使用现状和结构裂缝等病害情况；

3 重要地下管线和地下构筑物分布情况，并应特别注意是否存在废弃地下管线和地下构筑物，必要时挖探确认。同时，对地下管线的阀门位置，雨水、污水管线的渗漏情况等进行调查。

周边环境对象调查工作一般在设计的前期开展，但受工期及技术条件等限制及其他各种原因影响难免有遗漏或不准确的情况，同时随着城市建设的变化如拆迁、新建、改建等，在轨道交

通工程建设过程中，环境条件可能发生较大变化，现场踏勘发现这些情况时应及时与设计单位、建设单位及相关单位等进行沟通，保证监测方案的编制更具体、更有针对性，并且能符合相关各方的要求。

3.1.5 城市轨道交通土建施工方法主要包括明挖法和盖挖法基坑工程、盾构法及矿山法隧道工程。城市轨道交通工程是一项高风险工程，施工工法不同、地质条件不同、环境条件不同，给工程带来的风险不同。工程监测方案编制之前，需要综合研究工程的风险特点，以及影响工程安全的重要工程部位和施工过程，并对关键部位、关键过程和关键时间提出监测重点，以确保监测方案的针对性。

同时，本条对制定监测方案宜涵盖的内容提出了要求，概括出了监测方案所包含的 13 个要点。

工程场地位置、设计概况及施工方法、辅助措施、施工筹划，场地地质条件、不良地质位置，地下水分布及水位、补给方式、地下水控制方法及周边环境建设年代、基本结构形式、基础形式、与工程的位置关系、风险等级、保护措施等是编制监测方案的重要资料和依据。

监测方案中需要对监测的目的、所依据的设计文件、国家行业地方及企业的规范标准、政府主管部门的有关文件等进行明确。

监测范围、监测对象、工程监测等级、监测项目、基准点及监测点布设方法与保护要求、监测频率及周期、监测控制值、预警标准及异常情况监测措施、监测信息采集处理及反馈等是监测方案的重要内容。

另外，为确保监测工作的质量，监测工作的组织形式及质量保证措施在监测方案中应明确，其内容主要包括：1) 开展监测工作的具体人员、仪器设备类型、数量及主要精度指标等；2) 监测质量安全及环境保护管理制度、各重要环节质量控制措施；3) 各环节作业技术要求和管理细则等。

3.1.6 监测点的布设是开展监测工作的基础，是反映工程自身和周边环境安全的关键，监测点布设时需要认真分析工程支护结

构和周边环境特点，确保工程支护结构和周边环境对象受力或位移变化较大的部位有监测点控制，以真实地反映工程支护结构和周边环境对象安全状态的变化情况。同时，还要兼顾监测工作量及费用，达到既控制了安全风险的目的，又节约了费用成本。

3.1.7 监测点的埋设应以不妨碍结构的正常受力或正常使用功能为前提，要便于现场观测，如便于跑点、立尺和数据采集，同时要保证现场作业过程中的人身安全。在满足监测要求的前提下，应尽量避免在材料运输、堆放和作业密集区埋设监测点，以减少对现场观测造成的不利影响，同时也可避免监测点遭到破坏，保证监测数据的质量。

监测点的数值变化是监测对象安全状态的直接反映，监测点埋设质量好坏对监测成果的准确性、可靠性有着较大影响，因此应埋设牢固，并采取可靠方法避免监测点受到破坏，如对地表位移监测点加保护盖、对传感器引出的导线加保护管、对测斜管加保护管或保护井等。若发现监测点被损坏，需及时恢复或采取补救措施，以保证监测数据的连续性。另外，为便于监测和管理，应对监测点按一定的编号原则进行编号，标明测点类型、保护要求等，并在现场清晰喷涂标识或挂标示牌。

3.1.8 仪器监测和现场巡查是工程监测的常规手段。通过埋设观测标志、布设监测元器件等方式，采用高精度的测量仪器设备或读数仪等进行位移或应力应变监测，获取监测对象状态变化的数据，以便在需要时及时对工程采取安全保护措施。由于仪器监测点的布设位置、数量有限，现场巡查是最有效的补充手段。现场巡查能发现监测对象的过大变形、开裂、渗漏及地面沉陷（隆起）等安全隐患，为支护结构及周边环境安全状态的综合判定提供必要的资料支撑。

随着监测技术手段的不断发展和监测服务内容的增多，远程视频系统也逐步应用于城市轨道交通工程监测工作中。视频监测相对现场巡查来说具有远程、实时、便捷的特点，对掌控工程施工进度、施工质量及环境条件变化、监控记录工程风险、防止重

大事故发生具有重要作用。

自动化监测具有数据采集和传输快、精度高、稳定性强，安装灵活，不受环境条件限制，可实现 24h 全天候监测等特点，在安全风险较大的周边环境、工程关键部位采用传统的仪器监测方法难以实施或不能满足工程需要时，可采用远程自动化监测的手段。

3.1.9 监测对象在工程施工过程中的影响变化是一个由小到大，再由大到小的过程，施工对监测对象的影响程度与开挖面和监测对象的位置关系、施工质量控制、地质条件和监测对象的特点等密切相关。因此，监测信息的采集频率要根据工程施工对监测对象的影响程度进行调整，其原则是能反映出监测对象的变化过程。工程监测是一个长时间、连续的工作，应贯穿整个施工全过程。

3.1.10 本条对监测信息的及时分析和异常情况及时报告提出了要求。监测工作要严格执行监测方案，并将监测成果准确、及时地反馈给建设、监理、设计、施工等相关单位，为工程动态设计和信息化施工提供可靠的数据依据。

实际工程建设过程中，很多工程安全事故是由于预先发现或采取措施不及时造成的，由于工程安全隐患不能及时得到处理，致使其进一步导致安全事故，造成人员伤亡、经济损失和社会影响。工程监测工作特别需要重视监测信息的时效性，监测单位及时进行监测信息处理、分析和反馈工作，是保证工程自身及周边环境安全的重要基础工作。

3.1.11 城市轨道交通工程施工过程中，在一些情况下需要编制专项监测方案进行专项监测，本条指出了其中的几种情况。目前，在国内各轨道交通建设城市一般对既有轨道交通设施、公路交通设施、有特殊要求的环境对象（如文物、重要建筑等）、水体、特殊的地质体、特殊的施工工艺等开展专项监测。

随着我国城市轨道交通建设的不断开展，城市轨道交通网络中线路之间的交叉、换乘不可避免，节点车站大量存在。目前节

点车站主要有同期建设、前期预留和穿越既有线三种建设形式，其中穿越既有线最为常见，可分为侧穿、上穿或下穿等类型，工程下穿带来的风险尤为严重。同时，工程周边存在文物、优秀近现代建筑、高层（超高层）建筑、重要桥梁、重要地下军事设施、重要人防工程等重要环境风险对象，也需进行专门的监测设计。

工程下穿河流、湖泊等地表水体，穿越岩溶、断裂带、地裂缝等不良地质条件可能给工程建设带来严重的地质风险，工程控制措施稍有疏忽，便会出现严重的风险后果，因此对存在这些风险的工程也应进行专项监测方案的编制。

3.1.12 城市轨道交通工程建设过程出现风险事件时，为分析、处理及控制风险事件应开展应急抢险监测工作，提供更及时、全面的监测数据。应急抢险监测应根据现场风险发生的实际情况，针对风险事件控制要求在原监测方案的基础上补充监测项目或监测点，并加密监测频率。当采用人工监测不能满足实际需要或存在现场监测作业人员的人身安全问题时可采用远程自动化实时监测手段。

3.1.13 由于工程地质条件、环境条件的变化、列车动荷载作用或既有轨道交通控制保护区内工程施工等的影响，城市轨道交通隧道结构、高架结构及地面线路等难免出现沉降、差异沉降，使线路结构出现变形、变化，进而影响安全运营。目前已建成并运营的城市已出现了隧道结构开裂、渗漏水，及部分线路因过大沉降而停运进行维修和加固的情况。开展线路结构变形监测可为分析线路结构安全及对运营安全的影响、制定线路结构维修加固方案及运营安全管理制度等提供数据支撑，便于及早发现结构位移变形，对线路结构加固、维修，保证线路运营安全具有十分重要意义。

3.2 工程影响分区及监测范围

3.2.1 基坑、隧道工程施工对周围岩土体的扰动范围、扰动程度是不同的，一般来说，邻近基坑、隧道地段的岩土体受扰动程度最大，由近到远的影响程度越来越小。本规范将这一受施工扰

动的范围称之为工程影响区。在施工影响范围内根据受施工影响程度的不同，从基坑、隧道外侧由近到远依次划分为主要影响区、次要影响区和可能影响区。

根据工程实践，周边环境对象所处的影响区域不同，受工程施工影响程度不同，工程影响分区主要目的是区分工程施工对周边地层、环境的影响程度，以便把握工程关键部位，针对受工程影响较大的周边环境对象进行重点监测，做到经济、合理地开展工程周边环境监测工作。

3.2.2 基坑工程影响分区根据目前工程经验和相关研究成果，主要影响区、次要影响区和可能影响区按照与基坑边缘距离的不同进行划分，划分标准依据基坑设计深度。主要影响区、次要影响区和可能影响区以 $0.7H$ 或 $H \cdot \tan(45^\circ - \varphi/2)$ 和 $(2.0 \sim 3.0)H$ 作为分界点，影响区分别用符号 I、II 和 III 表示，具体划分可参考图 1。

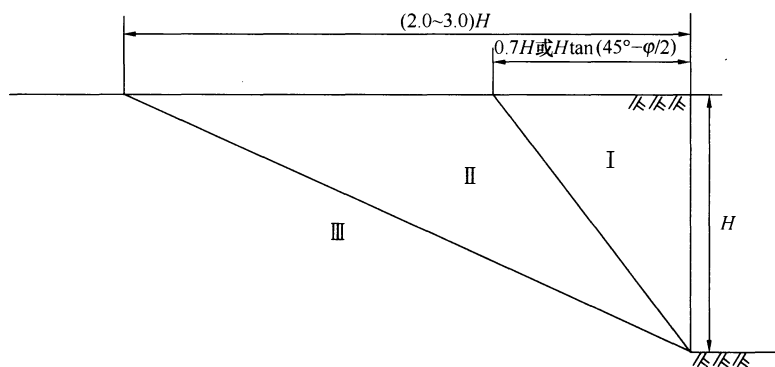


图 1 基坑工程影响分区

H —基坑设计深度； φ —岩土体内摩擦角

北京地区地层较为坚硬、稳定，根据 $H \cdot \tan(45^\circ - \varphi/2)$ 计算结果接近 $0.7H$ ，主要影响区为基坑周边 $0.7H$ 范围内，次要影响区为基坑周边 $0.7H \sim 2.0H$ 范围内，可能影响区为基坑周边 $2.0H$ 范围外。上海地区地层较为软弱，岩土性质较差，主

要影响区可根据 $H \cdot \tan(45^\circ - \varphi/2)$ 计算确定，次要影响区范围适当扩大，为基坑周边 $H \cdot \tan(45^\circ - \varphi/2) \sim 3.0H$ 范围内，可能影响区为基坑周边 $3.0H$ 范围外。广州、重庆等存在基岩的地区，基岩微风化、中等风化岩层较为稳定，工程影响分区主要考虑覆盖土层和基岩全风化、强风化层的影响， H 可按土层和基岩全风化、强风化层厚度之和进行取值计算，综合确定工程影响分区。

3.2.3 隧道工程影响分区 没有相关规范、规程的规定，近年来相关研究取得了一些成果，根据研究结论，结合城市轨道交通隧道工程的特点，采用应用范围较广的隧道地表沉降曲线 Peck 计算公式预测的方式，划分隧道工程的不同影响区域。

1 采用 Peck 公式确定沉降槽的相关成果：

隧道地表沉降曲线 Peck 公式表示如下：

$$S_{(x)} = S_{\max} \cdot \exp\left(-\frac{x^2}{2 \cdot i^2}\right) \quad (1)$$

$$S_{\max} = \frac{V_s}{\sqrt{2\pi} \cdot i} \approx \frac{V_s}{2.5 \cdot i} \quad (2)$$

$$i = \frac{z_0}{\sqrt{2\pi} \cdot \tan\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)} \quad (3)$$

式中： $S_{(x)}$ ——距离隧道中线为 x 处的地表沉降量（mm）；

S_{\max} ——隧道中线上方的地表沉降量（mm）；

x ——距离隧道中线的距离（m）；

i ——沉降槽的宽度系数（m）；

V_s ——沉降槽面积（ m^2 ）；

z_0 ——隧道埋深（m）。

各城市确定沉降曲线参数时，要考虑本地区的工程经验。具体划分可参考图 2。

韩煊（2006）在 Tan, Ranjith（2003）工作的基础上进一步补充归纳了沉降槽宽度系数 i 的表达式，从表 1 可以看出对沉降槽宽度系数规律的认识发展过程。

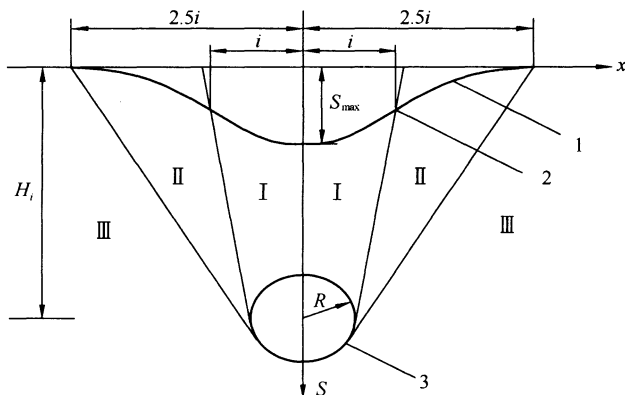


图 2 浅埋隧道工程影响分区

1—沉降曲线；2—反弯点；3—隧道；
 i —隧道地表沉降曲线 Peck 计算公式的中沉降槽宽度系数；
 H_i —隧道中心埋深； S_{\max} —隧道中线上方的地表沉降量

表 1 沉降槽宽度系数 i 的变化规律

类型	文献出处	沉降槽宽度系数 i 的表达式	适用条件	依据
第一类： $i = f(z_0, \varphi)$	Knothe (1957)	$i = \frac{z_0}{\sqrt{2\pi} \tan(45^\circ - \varphi/2)}$	岩石类材料	—
第二类： $i/R = a(z_0/2R)^n$	Peck (1969)	$i/R = a(z_0/2R)^n$ ($n=0.8 \sim 1.0$)	各类土	实测 资料
	Attewell, Farmer (1974)	$i/R = (z_0/2R)$	黏土	英国 实测 资料
	Clough, Schmidt (1981)	$i/R = (z_0/2R)^{0.8}$	黏土（我国 上海有应用， 唐益群等人， 2000）	英国 实测 资料
	Loganathan, Poulos (1998)	$i/R = 1.15(z_0/2R)^{0.9}$	黏性土	—

续表 1

类型	文献出处	沉降槽宽度系数 i 的表达式	适用条件	依据
第三类: $i = a (bz_0 + cR)$	Atkinson, Potts (1977)	$i = 0.25 (z_0 + R)$	松砂	实测和 模型试验
		$i = 0.25 (1.5z_0 + 0.5R)$	密实和 超固结黏土	
第四类: $i = az_0 + b$	O' Reilly, New (1982)	$i = 0.43z_0 + 1.1$	黏性土 ($3m \leq z_0$ $\leq 34m$)	英国实测 资料
		$i = 0.28z_0 - 0.1$	粒状土 ($6m \leq z_0$ $\leq 10m$)	
		$i = Kz_0$	—	(对上述结 果的近似)
	Leach (1985)	$i = (0.57 + 0.45z_0)$ $\pm 1.01m$	固结效应 不显著地层	—
	Rankin (1988)	$i = 0.50z_0$	黏土	实测和离 心机试验

注: i ——隧道地表沉降曲线 Peck 计算公式的中沉降槽宽度系数, z_0 ——隧道埋深 (m), R ——隧道半径 (m), φ ——岩土体内摩擦角 ($^{\circ}$)。

第一类公式 i 与土层条件直接相关, 符合大多数人的基本概念。但对于内摩擦角为 $20^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 之间的一般土来说, 计算得到的 i 为 $(0.57 \sim 0.86) z_0$, 与实测伦敦地区经验结果 $(0.2 \sim 0.7) z_0$ 或一般为 $0.50z_0$ 的普遍经验不符。这类公式主要是从矿业工程的经验而来的, 因此可能适用于岩石类的材料而不适用于城市浅埋土质隧道情况。

第二、第三和第四类公式, 可以看到关于沉降槽宽度的影响

因素有两种不同的看法：一是受隧道埋深和半径两个因素的影响；二是仅与埋深有关。

通过对大量的实测结果（包括水工隧道、地下采矿巷道工程）的分析表明，沉降槽的宽度与隧道断面形状和尺寸有关。

韩煊、李宁等（2006，2007）搜集了广州、深圳、上海、北京、柳州、西北、香港、台湾等 8 个地区的 30 多组实测地表横向沉降槽的数据，并进行了相关分析，所涉及资料大部分为城市轨道交通隧道工程建设中的实测数据，也有部分为土中开挖的其他浅埋隧道工程实测数据。

我国部分地区城市轨道交通隧道工程开挖引起的沉降槽宽度参数的初步建议值详见表 2。其中大部分地区（除北京、上海外）由于资料较少，所给出的值仅供对比参考（表 2 括号中的值），需要进一步积累资料才能给出比较确定的推荐数值。

表 2 我国部分地区沉降槽宽度参数的初步建议值

地 区	样本数	基本地层特征	K 的初步建议值
广州	1	黏性土，砂土，风化岩	(0.76)
深圳	9	黏性土，砂土，风化岩	(0.60~0.80)
上海	6	饱和软黏土，粉砂	0.50
柳州	4	硬塑状黏土	(0.30~0.50)
北京	13	砂土，黏性土互层	0.30~0.60
西北黄土地区	1	均匀致密黄土	(0.41)
台湾	1	砂砾石	(0.48)
香港	1	冲积层，崩积层	(0.34)

2 相关规范关于隧道影响区的划分标准：

- 1) 现行国家标准《城市轨道交通地下工程建设风险管理规范》GB 50652 条文说明中将考虑轨道交通地下工程与工程影响范围环境设施的相互邻近程度及相互位置关系分为非常接近、接近、较接近和不接近四类，见表 3。

表 3 不同施工方法与周围环境设施的邻近关系

施工方法	非常接近	接近	较接近	不接近	说明
明挖法 盖挖法	$<0.7H$	$0.7H \sim 1.0H$	$1.0H \sim 2.0H$	$>2.0H$	H 为地下工程 开挖深度或埋深
矿山法 (包括钻 爆法、浅埋 暗挖法等)	$<0.5B$	$0.5B \sim 1.5B$	$1.5B \sim 2.5B$	$>2.5B$	B 为矿山法隧 道毛洞宽度, 当 隧道采用爆破法 施工时, 需研究 爆破振动的影响
盾构法 顶管法	$<0.3D$	$0.3D \sim 0.7D$	$0.7D \sim 1.0D$	$>1.0D$	D 为隧道的 外径
沉井法	$<0.5H$	$0.5H \sim 1.5H$	$1.5H \sim 2.5H$	$>2.5H$	H 为地下结构 埋深

2) 《北京地铁工程监控量测设计指南》将隧道工程划分为强烈影响区 (I)、显著影响区 (II) 和一般影响区 (III) 三个区域, 矿山法隧道周围影响分区见表 4、图 3, 盾构法隧道周围影响分区见表 5 和图 4。

表 4 矿山法浅埋隧道周边影响分区表

受隧道影响程度分区	区域范围
强烈影响区 (I)	隧道正上方及外侧 $0.7H_i$ 范围内
显著影响区 (II)	隧道外侧 $0.7H_i \sim 1.0H_i$ 范围内
一般影响区 (III)	隧道外侧 $1.0H_i \sim 1.5H_i$ 范围内

注: 1 H_i ——矿山法施工隧道底板埋深;

2 本表适用于埋深小于 $3B$ (B 为矿山法隧道毛洞宽度) 的浅埋隧道; 大于 $3B$ 的深埋隧道可参照接近度概念;

3 表中的数值指标为参考值。

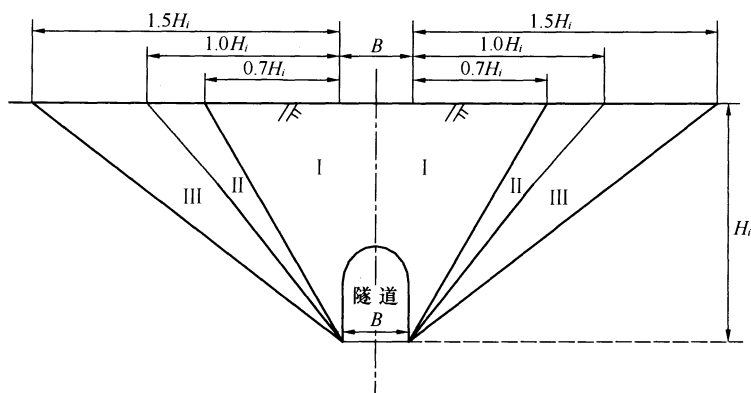


图3 矿山法浅埋隧道周边影响分区图

表5 盾构法隧道周边影响分区表

受隧道影响程度分区	区域范围
强烈影响区 (I)	隧道正上方及外侧 $0.7H_i$ 范围内
显著影响区 (II)	隧道外侧 $0.7H_i \sim 1.0H_i$ 范围内
一般影响区 (III)	隧道外侧 $1.0H_i \sim 1.5H_i$ 范围内

注：1 H_i ——盾构法施工隧道底板埋深；

2 本表适用于埋深小于 $3D$ (D 为盾构隧道洞径)的隧道，大于 $3D$ 时可参照接近度概念；

3 表中的数值指标为参考值。

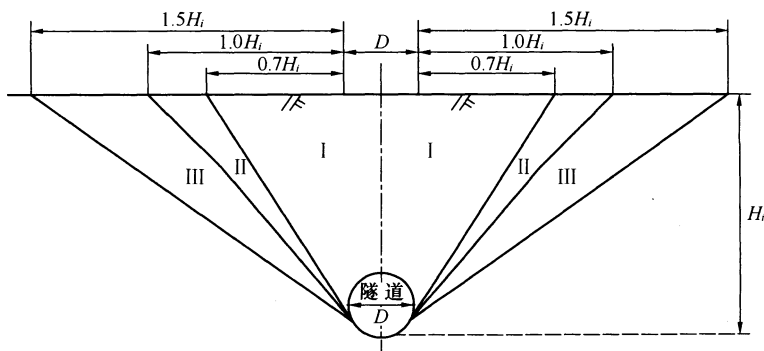


图4 盾构法隧道周边影响分区图

3) 《广州市轨道交通地下工程施工监测技术规程》将隧道工程划分为强烈影响区 (I) 和一般影响区 (II) 两个区域, 隧道工程影响分区见表 6 和图 5。

表 6 隧道工程影响分区表

隧道工程影响分区	区域范围
强烈影响区 (I)	隧道正上方及外侧 $H_i \cdot \tan(45^\circ - \varphi/2)$ 范围内
一般影响区 (II)	隧道外侧 $H_i \cdot \tan(45^\circ - \varphi/2) \sim 2.0H_i$ 范围内

注: 1 H_i ——隧道底板埋深 (m)。

2 本表适用于埋深小于 $3D$ (D 为隧道洞径) 的隧道, 大于 $3D$ 时也可参照本分区。

3 隧道周围主要为淤泥、淤泥质土或其他高压缩性土时应相应适当调整分区的范围, 影响分区应相应扩大。

4 隧道穿越基岩时, 应按照覆盖土层厚度和岩层的构造及产状等穿越的实际情况综合确定影响区范围。

5 盾构法或顶管法施工, 对周围影响较小时, 可适当减小分区范围。

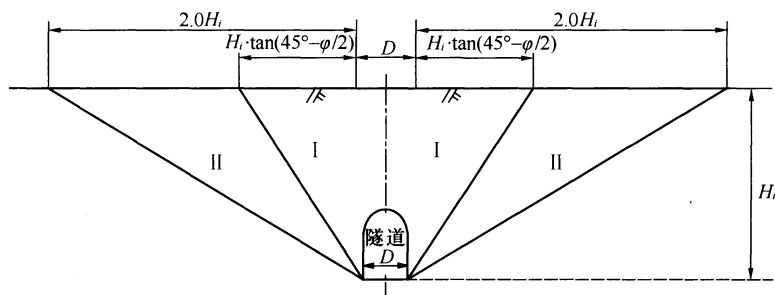


图 5 隧道工程影响分区图

3 隧道影响分区界线建议:

根据表 1 和相关研究成果, 城市轨道交通隧道工程开挖半径一般为 $4\text{m} \sim 8\text{m}$, 埋深多在 $10\text{m} \sim 30\text{m}$ 之间, 除超浅埋、超大断面隧道以外, 一般隧道半径对沉降槽宽度的影响作用都可以忽略, 可取值 $i = Kz_0$ 。

根据表 4, 北京地区沉降槽宽度参数 K 可取最大值 0.60 ,

z_0 即为隧道埋深 H_i ，隧道沉降曲线反弯点 $i=0.60H_i$ ，隧道沉降曲线边缘 $2.5i=1.5H_i$ 。因此，北京地区隧道主要影响区可取隧道正上方及 $0.60H_i$ 范围内，次要影响区可取隧道周边 $0.60H_i \sim 1.5H_i$ 范围内，可能影响区可取隧道周边 $1.5H_i$ 以外。

其他地区可根据工程实例结合地质条件进一步归纳总结隧道沉降槽宽度参数 K 的取值，以合理确定隧道工程影响分区的具体范围。

3.2.4 基坑、隧道工程对周围岩土体的扰动是一个复杂的过程，施工方法不同、地质条件不同，工程施工对周围岩土体的影响有明显的不同，特别是工程影响范围和影响程度受工程地质条件的影响更大。工程影响分区应充分分析具体的工程地质和水文地质条件。

本条列举了软土、不良地质、采取辅助措施以及工程出现异常等条件需要调整工程监测范围和影响分区界线的 5 种情况。

3.2.5 工程自身、周围岩土体与周边环境具有相互作用、相互影响的关系，基坑设计深度、隧道埋深和断面尺寸的大小，支护结构形式的强弱，及地质条件复杂程度的不同，对周边环境的影响程度和影响范围是不同的。同时，周边环境受工程施工的影响程度与其和工程之间的空间位置关系密切相关，越邻近工程的周边环境受影响程度越大。复杂的周边环境对工程安全性也会产生较大影响，对工程支护结构设计及施工措施的要求更加严格。监测范围应结合工程自身的特点和周边环境条件进行确定，监测范围应覆盖工程周边受施工影响的主要影响区和次要影响区两个区域。

3.3 工程监测等级划分

3.3.1 本条对城市轨道交通基坑、隧道工程监测等级划分的依据进行了明确。工程监测等级的划分有利于在监测设计工作量布置时更具针对性，突出重点，合理开展监测工作。根据现行相关规范、工程经验及相关研究成果，工程监测等级的确定需要考虑

工程自身特点、周边环境条件和工程地质条件三大影响因素。

3.3.2 工程自身风险是指工程自身设计、施工的复杂程度带来的风险。本规范根据城市轨道交通工程特点，结合相关规范中关于工程安全等级的划分标准，对城市轨道交通基坑、隧道工程自身风险等级进行了划分。应特别注意的是本规范基坑、隧道工程自身风险等级的划分不考虑周边环境和地质条件，与其他规范中的工程安全等级的划分有一定的区别。

1 基坑工程自身风险等级

基坑工程自身风险等级划分的方法较多，尚无统一的标准。国家现行标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202、《建筑地基基础设计规范》GB 50007、《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 等划分了基坑工程安全等级，各规范、规程划分的依据或指标主要包括以下几个方面：①基坑设计深度；②周边环境对象特点、分布和保护要求；③工程地质条件；④重要工程或支护结构与主体结构相互关系，支护结构破坏、土体失稳或过大变形的后果（工程自身和周边环境）等。

根据专题研究，本规范以现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 为依据，结合城市轨道交通基坑工程特点，采用支护结构发生变形或破坏、岩土体失稳等的可能性及后果的严重程度，或基坑设计深度对基坑工程自身风险等级进行划分。

现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202 以 7m、10m 为基坑等级划分标准，《建筑地基基础设计规范》GB 50007 以 5m、15m 为基坑等级划分标准。由于城市轨道交通基坑工程设计深度一般较大，以上所述深度划分标准进行城市轨道交通基坑工程自身风险等级的划分难以反映工程的特点。本规范选用设计深度 10m、20m 为等级划分标准，以合理确定城市轨道交通基坑工程的自身风险等级。

2 隧道工程自身风险等级

隧道工程自身风险等级的划分依据与标准目前研究成果不多，本规范采用隧道埋深和断面尺寸对隧道工程自身风险等级进

行划分。

隧道断面尺寸划分标准是依据现行行业标准《铁路隧道施工规范》TB 10204 中的规定，超大断面隧道断面尺寸为大于 100 m^2 ，大断面隧道断面尺寸为 $50\text{ m}^2 \sim 100\text{ m}^2$ ，一般断面隧道断面尺寸为 $10\text{ m}^2 \sim 50\text{ m}^2$ 。

隧道埋深分类及划分标准在铁路、公路规范和相关专著中有不同的划分方法。

- 1) 现行行业标准《铁路隧道设计规范》TB 10003 规定当地面水平或接近水平，且隧道覆盖厚度值小于表 7 所列数值时，应按浅埋隧道设计。当不利于山体稳定的地质条件时，浅埋隧道覆盖厚度值应适当加大。表 7 大致按 2.5 倍塌方高度确定。

表 7 浅埋隧道覆盖厚度值 (m)

围岩级别	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ
单线隧道	5~7	10~14	18~25
双线隧道	8~10	15~20	30~35

- 2) 《公路隧道设计规范》JTG D70—2004 附录 E 中规定浅埋和深埋隧道的分界，按荷载等效高度值，并结合地质条件、施工方法等因素综合判定。按荷载等效高度的判定公式为：

$$H_p = (2 \sim 2.5)h_q \quad (4)$$

式中： H_p ——浅埋隧道分界深度 (m)；

h_q ——等效荷载高度 (m)， $h_q = q/\gamma$ ， q 为计算所得深埋隧道垂直均布压力 (kN/m^2)， γ 为围岩重度 (kN/m^3)。

矿山法施工条件下，Ⅳ～Ⅵ级围岩取 $H_p = 2.5h_q$ ；Ⅰ～Ⅲ级围岩取 $H_p = 2h_q$ 。

- 3) 王梦恕院士编著的《地下工程浅埋暗挖技术通论》中指出，超浅埋隧道是指拱顶覆土厚度 (H_s) 与结构跨

度 (D) 之比 (覆跨比) $H_s/D \leq 0.6$ 的隧道; 浅埋隧道是指 $0.6 < H_s/D \leq 1.5$ 的隧道; 深埋隧道是指 $H_s/D > 1.5$ 的隧道。

表 8 是分界深度的建议值, 建议值与塌方统计高度及现行业标准《铁路隧道设计规范》TB 10003 规定值接近, 双线隧道的建议值与计算值相差较大。所以, 深埋与浅埋隧道分界深度建议采用下列值: VI 级围岩为 $4D \sim 6D$, V 级围岩为 $2.5D \sim 3.5D$, IV 级围岩为 $1.5D \sim 2.5D$, III 级围岩为 $0.5D \sim 1.0D$, II 级围岩为 $0.30D \sim 0.5D$, I 级围岩为 $0.15D \sim 0.30D$ 。同时, 分界深度与施工方法及施工技术水平密切相关, 若采用新奥法施工, 光面爆破, 且施工技术水平高, 则可取小值; 否则, 取大值。

表 8 分界深度建议值和有关的计算值 (单位: m)

线 别	围岩级别	I	II	III	IV	V	VI
单线	2 倍塌方高度	1.3	2.58	4.8	8.8	19.2	38.4
	隧道分界深度	0.96	2.24	4.22	11.15	23.25	47.25
	一般分界深度				16.9~20.3	17.5~24.5	35~42
	建议 分界 深度	按洞径 $0.15D \sim 0.3D$	按埋深 $0.3D \sim 0.5D$	$0.5D \sim 1.0D$	$1.5D \sim 2.5D$	$2.5D \sim 3.5D$	$4D \sim 6D$
双线	隧道分界深度	0.88	3.46	6.8	18.3	36.3	72
	一般分界深度				33.8~40.6	51~61.8	76~102.7
	建议 分界 深度	按洞径 $0.15D \sim 0.3D$	$0.3D \sim 0.5D$	$0.5D \sim 1.0D$	$1.5D \sim 2.5D$	$2.5D \sim 3.5D$	$4D \sim 6D$
	按埋深	1.8~3.0	3.0~5.7	5.9~11.7	16.1~26.8	32~44.8	52~78

许多试验资料都验证了这种深埋与浅埋隧道的分界标准, 例如北京复兴门折返线隧道, 在双线隧道处应用机械式支柱压力计进行拱脚径向压力量测, 得出 $P/(\gamma h) > 0.43 \sim 0.46$, 根据以上判式属于浅埋 (图 6)。

综上所述, 根据城市轨道交通隧道工程特点, 本规范将隧

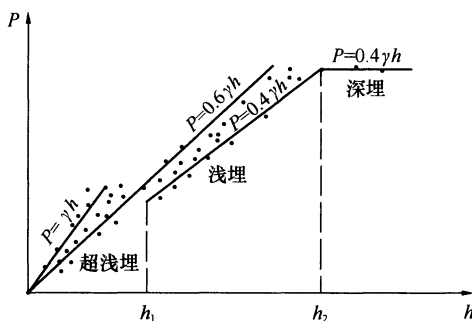


图 6 隧道埋深判别示意图

道埋深分类分为超浅埋、浅埋和深埋三类，主要依据王梦恕院士的研究成果。由于城市轨道交通隧道工程的施工工法较多，地质条件、环境条件较为复杂，隧道深埋、浅埋和超浅埋的划分界限目前难以给出统一的标准，各地可以借鉴上述规范或专著，结合当地工程经验综合确定。

3.3.3 为考虑与现行国家标准《城市轨道交通地下工程建设风险管理规范》GB 50652 的衔接，工程周边环境风险等级根据周边环境过大变形或破坏的可能性大小及后果的严重程度，划分为一级、二级、三级和四级。根据这一原则，对具体的环境对象，判断其风险等级需要做大量的工作。环境风险评估对风险发生的可能性应考虑环境与工程的空间关系、地质条件和施工方法，以及环境自身的易损性等因素；环境风险破坏的后果需要考虑环境的重要性、经济价值、社会影响等因素，可见环境风险评估过程是十分复杂和困难的。本规范表 3.3.3 是总结各城市的经验，按照环境的类型、重要性及与工程的空间位置关系给出的划分方案，可供各地参考。

表 3.3.3 中周边环境对象的重要性程度可根据环境对象重要性、相关规范、破坏后果或风险评估进行确定，也可参考如下分类：

重要建（构）筑物一般是指文物古迹、近代优秀建筑物，10

层以上高层、超高层民用建筑物，重要的烟囱、水塔等；

重要桥梁是指城市高架桥、立交桥等；

重要隧道是指城市过江隧道、公路隧道、铁路隧道等；

重要地下管线是指雨污水干管、中压以上煤气管、直径较大的自来水管、中水管等对工程有较大危害的地下管线等；

城市重要道路是指城市快速路、主干路等；

市政设施是指由市政府出资建造的公共设施，一般指市政规划区内的各种建筑物、构筑物、设备等，主要包括城市道路（含桥梁）、供水、排水、燃气、热力、道路照明、垃圾处理等设施及附属设施。

3.3.4 地质条件复杂程度主要由建设场地地形地貌、工程地质水文地质条件等决定。本条主要根据现行国家标准《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB 50307 的有关内容制定。

3.3.5 工程支护结构和周边环境是工程风险的主要承险体，工程支护结构的稳定性和周边环境的安全状态是工程施工过程中关注的重点，也是监测工作的主要内容。因此，工程监测等级主要根据工程自身风险等级和周边环境风险等级确定。

工程周边岩土体是工程支护结构和周边环境对象的载体，也是两者之间相互作用的介质。两者的安全状态及稳定性都受工程地质条件的影响。因此，工程监测等级与工程地质条件的复杂性有很密切的关系。在已有分级的基础上，还需要根据工程地质条件复杂程度对监测等级进行调整。工程地质条件复杂程度为中等或简单时监测等级可不进行调整，工程地质条件为复杂时监测等级上调一级，上调后最高为一级。

4 监测项目及要求

4.1 一般规定

4.1.1 城市轨道交通工程施工工法主要为明挖法、盖挖法、盾构法和矿山法。针对各种施工工法，所有监测对象可归纳为三大类，即工程支护结构、周围岩土体及周边环境。

4.1.2 监测项目的监测数据变化是监测对象状态变化的重要表现形式，选择监测项目时，一般应选择能直接反映监测对象的位移、变形或受力状态的项目。当监测技术难度较大或受条件限制时，也可采用间接监测方法反映监测对象状态的变化情况。

4.1.3 城市轨道交通工程建设是在复杂的城市环境和工程地质条件下进行，工程支护结构、周围岩土体和周边环境对象相互影响、相互制约，是一个密切相关的复杂系统。工程中不同监测对象之间、不同监测对象的监测项目之间以及同一监测对象的不同监测项目之间相互关联，监测对象和监测项目的确定应体现彼此之间的关联性，在组成有效监测体系的同时，选取反映工程安全的重要对象、关键项目开展监测工作，以达到既体现监测体系的完整性，又体现其重点性。

4.2 仪器监测

4.2.1~4.2.3 仪器监测项目一般分为应测和选测项目，应测项目是指施工过程中为保证工程支护结构、周边环境和周围岩土体的稳定以及施工安全应进行日常监测的项目；选测项目是指为了设计、施工和研究的特殊需要在局部地段或部位开展的监测项目。

1 明挖法和盖挖法基坑支护结构和周围岩土体共列出了 19 项监测项目：

支护桩（墙）、边坡顶部水平位移监测对反映整个基坑的安全稳定非常重要。支护桩（墙）顶部的竖向位移也是反映基坑稳定性的一个较为重要的指标，在工程实际中其变形量较小，软弱土地地区变形量则相对较大。支护桩（墙）、边坡顶部水平位移和竖向位移对于各个工程监测等级的基坑工程均规定为应测项目。

支护桩（墙）体水平位移监测可以反映出支护桩（墙）沿深度方向上不同位置处的水平变化情况，并且可以及时地确定桩（墙）体最大水平位移值及其深度，对于分析支护桩（墙）的稳定和变形发展趋势起着重要作用。因此，工程监测等级为一、二级的基坑工程均规定为应测项目。对于工程监测等级为三级的基坑工程，由于开挖深度较浅，环境简单，因此规定为选测项目。

支护桩（墙）体结构应力监测能够较好地反映出施工过程中桩（墙）体的受力状态，对验证或修改设计参数具有较好的指导作用。由于应力监测成本高，现场实施复杂，元器件成活率较低，不作为应测项目。

基坑内立柱的变形状态对反映支撑体系的稳定至关重要，立柱一旦变形过大会导致支撑体系失稳。因此，立柱的变形监测也是一项较重要的监测项目，对工程监测等级为一、二级的基坑工程规定立柱结构竖向位移为应测项目，三级的基坑工程为选测项目；对工程监测等级为一级的基坑工程规定立柱结构水平位移为应测项目，二、三级的基坑工程规定为选测项目。立柱内力监测不作为应测项目。

基坑水平支撑为支护桩（墙）提供平衡力，以使其在外侧土压力的作用下不至于出现过大变形，甚至倾覆。支撑轴力是反映基坑稳定性的重要指标。因此，各监测等级的基坑工程均规定为应测项目。

基坑采用锚杆进行侧壁的加固，其拉力变化也是反映基坑稳定性的重要指标，各监测等级的基坑工程均规定为应测项目。

地表沉降是综合分析基坑的稳定以及地层位移对周边环境影响的重要依据，且地表沉降监测简便易行，因此，各监测等级的

基坑工程均规定为应测项目。

竖井井壁的净空收敛是直接反映井壁支护结构的受力特征及围岩和支护结构稳定的重要指标。因此，各监测等级的竖井工程均规定为应测项目。

地下工程的破坏大都与地下水的影响有关，地下水是影响基坑安全的一个重要因素，因此，各监测等级的基坑工程均规定为应测项目。当基坑工程受到承压水的影响时，还应进行承压水位的监测。

基坑开挖是一个卸载的过程，随着坑内土体的开挖，坑底土体隆起也会越来越大，尤其是软弱土地区，过大的基底隆起会引起基坑失稳。因此，进行基坑底部隆起观测也十分必要。但由于目前坑底隆起（回弹）的监测方法和监测精度有限，因此，本规范对坑底隆起（回弹）监测规定为选测项目。

对土钉拉力、支护桩（墙）外侧土压力、孔隙水压力、土体分层竖向位移和深层水平位移进行监测，可以了解和掌握桩（墙）体实际受力情况和支护结构的安全状态，对设计和施工具有较好的指导意义，但由于成本较大、操作困难，当设计、施工需要或受力条件复杂时可以选测。

2 盾构法隧道管片结构和周围岩土体共列出了 10 项监测项目：

盾构施工掘进过程中，地表沉降观测可以反映出盾构施工对岩土体及周边环境的影响程度、同步注浆和二次注浆效果，以及盾构机自身的施工状态，对掌握工程安全尤为重要。因此，地表沉降监测项目对各工程监测等级均规定为应测项目。

盾构管片既是隧道的支护结构也是隧道的主体结构，盾构管片结构竖向位移和净空收敛监测对判断工程的质量安全非常重要，能够及时了解和掌握隧道结构纵向坡度变化、差异沉降、管片错台、断面变化及结构受力情况，以及隧道结构变形与限界变化，对盾构施工具有指导意义。因此，各监测等级均规定为应测项目。

盾构管片结构水平位移监测具有一定的难度，但管片背后注浆不及时，或注浆质量不好，地质条件复杂或存在地层偏压时，往往会发生管片的水平漂移，因此，对工程监测等级为一级的盾构隧道工程规定为应测项目，对其他监测等级的盾构隧道工程当出现上述情况时也应进行管片结构水平位移监测。

土体深层水平位移、土体分层竖向位移和孔隙水压力监测，主要根据盾构隧道施工穿越的周围岩土体的工程地质水文地质条件及周边环境情况确定，目的是了解和掌握盾构施工对周围岩土体及周边环境的扰动情况，以及周围岩土对隧道结构的影响程度，可进一步指导工程施工。一般情况下，这些监测项目可根据需要确定。

管片结构应力监测、管片连接螺栓应力监测和管片围岩压力监测主要测试管片的受力状态及特征，掌握管片受力变化，指导工程施工，防止盾构管片受到损坏，这些监测项目一般根据需要确定。

3 矿山法隧道支护结构和周围岩土体共列出了 13 项监测项目：

初期支护结构拱顶部位是受力的敏感点，其沉降大小反映了初期支护结构的稳定和上覆地层的变形情况，是控制初期支护结构安全以及地层变形的关键指标。因此，将初期支护结构拱顶沉降监测规定为应测项目。

随着隧道内岩土体的开挖卸载，隧道内外形成一个水土压力差，会使结构底板产生一定的隆起，进行初期支护结构底板竖向位移监测可以及时了解隧道结构的变形状况。采用矿山法施工的隧道初期支护结构底板竖向位移值相对较小，因此监测等级为一级的矿山法隧道工程中规定为应测项目，其他情况可根据需要确定。

初期支护结构净空收敛是指隧道拱顶、拱脚及侧壁之间的相对位移，其监测数据直接反映了围岩压力作用下初期支护结构的变形特征及稳定状态，是检验开挖施工和支护设计是否合理的重

要指标。因此，将初期支护结构净空收敛监测规定为应测项目。

中柱结构竖向位移是直接反映整个支护结构的变形与稳定的重要指标，且其监测方法简单。因此，对工程监测等级为一级、二级的矿山法隧道工程规定为应测项目，三级规定为选测项目。

中柱结构倾斜主要是监测中柱在偏心荷载作用下沿水平方向的相对位移，中柱应力监测主要是监测其受力是否超过设计强度，同时也要考虑中柱的偏心荷载情况。一般情况下对各监测等级的矿山法隧道工程，中柱结构的倾斜及应力监测可作为选测项目。当中柱存在偏心荷载如采用 PBA 工法时，在扣顶部大拱的过程中，边拱和中拱按照要求不能同步施工，导致中柱水平受力不平衡。因此，在这种情况下需要根据偏心荷载的大小增加中柱（钢管柱）沿横断面方向的倾斜监测项目。

初期支护、二次衬砌结构应力监测的目的是为了了解初期支护和二次衬砌的变形特征和应力状态，掌握初期支护结构和二次衬砌结构所受应力的的大小，可为设计提供依据，可根据需要确定。

地表沉降一方面能反映工程施工质量的控制效果，另一方面又能反映工程施工对周围岩土体及周边环境影响程度，对工程安全尤为重要。因此，地表沉降监测项目对各工程监测等级均为应测项目。

由于隧道施工对岩土体的扰动是由开挖面经岩土体传递到地表的，土体深层水平和竖向位移监测可掌握岩土体内在不同深度处的位移大小，了解围岩的扰动程度和范围，对围岩支护及周边环境保护具有很好的指导作用。由于土体深层水平和竖向位移监测操作较为复杂，成本较高，可根据需要确定。

通过围岩与初期支护结构间接触应力监测，可掌握围岩作用在初期支护结构上荷载的变化及分布规律，对指导施工和设计具有很好的参考价值。由于目前围岩压力监测成本较高，传感器埋设困难，可根据需要确定。

地下水的存在对暗挖施工影响很大，一方面给施工增加难

度，另一方面也会给安全施工带来威胁。地下水位观测是监控地下水位变化最直接的手段，根据监测到的水位变化可及时采取应对措施，预防事故的发生。因此，将地下水位监测规定为应测项目。

4.2.4 本条文所列的4种情况是指基坑或隧道处于特殊的地质条件、不良的地质作用或复杂的周边环境，周围岩土体的位移或变形直接反映工程支护结构和周边环境对象的安全状态，所以在此情况下将岩土体的一些监测项目规定为应测。

4.2.5 周边环境的监测项目主要依据国家现行标准《地铁设计规范》GB 50157、《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497、《建筑变形测量规范》JGJ 8、《城市桥梁养护技术规范》CJJ 99以及其他道路养护、既有轨道交通维修等规范、规则确定了建（构）筑物、地下管线、高速公路与城市道路、桥梁、既有城市轨道交通、既有铁路等环境对象的仪器监测项目。

对施工影响区域内的管线监测是一项重要的监测工作，特别是对管材差、抗变形能力弱或有压的管线更应进行监测。由于直接在地下管线上埋设竖向位移和水平位移监测点难度大、成本高，因此本条规定当管线处于主要影响区时其为应测项目，处于非主要影响区时可选测。当支护结构发生较大变形或土体出现坍塌、地面出现裂缝时，管线易发生侧向水平变形，在此情况下应对管线进行水平位移监测。

对既有城市轨道交通地下运营线路监测对象主要包括隧道结构、轨道结构及轨道。其环境风险等级高，变形过大会影响城市轨道交通的运行安全，除隧道结构净空收敛以及次要影响区内隧道结构水平位移、隧道、轨道结构裂缝外，所有监测项目均规定为应测项目。

4.2.6 当工程周边存在既有轨道交通或对位移有特殊要求的建（构）筑物及设施时，监测项目或监测手段往往需要与有关的管理部门或单位协商确定。

4.2.7 爆破振动监测包括爆破振动速度和加速度监测，通过其

大小、分布规律的监测，判断爆破振动对结构和周边重要建（构）筑物、桥梁等的振动影响，为调整爆破参数、优化爆破设计提供依据。

4.3 现场巡查

4.3.1~4.3.4 分别给出了明挖法基坑、盖挖法基坑、盾构法隧道和矿山法隧道施工所对应的对施工工况、支护结构以及周边环境进行巡查的主要对象及内容。实际现场巡查工作中应包括但不限于此内容，要根据实际情况进行适当增加。

4.3.5 监测基准点、监测点、监测元器件的稳定或完好状况，直接关系到数据的准确性、真实性及连续性，因此，这也是现场巡查的内容之一。

4.4 远程视频监控

4.4.1 远程视频监控是指利用图像采集、传输、显示等设备及语音系统、控制软件组成的工程安全管理监控系统，对在建工程进行监视、跟踪和信息记录。目前，远程视频监控是现场巡查最有力的补充，对于重要风险部位可以通过远程视频监控，实现24h全天候监控。

4.4.2 条文所列内容是重要的风险部位，对这些部位进行远程视频监控有利于进一步地控制工程施工质量，避免事故的发生。

5 支护结构和周围岩土体监测点布设

5.1 一般规定

5.1.1 本条以针对性、合理性和经济性为原则，提出了监测点布设位置和数量的一般性要求。支护结构与周围岩土体是相互作用、相互影响的，二者之间的联系密切，布设监测点时需要对两者统筹考虑。监测点的位置应尽可能地反映监测对象的实际受力、变形状态，以保证对监测对象的状态做出准确的判断。

5.1.2 支护结构和周围岩土体关键部位的稳定性对工程的安全性起控制性作用，所以应针对监测对象的特点，结合工程情况，认真分析工程监测对象的关键部位，并在这些部位布设监测点，以做到重点监测、重点控制。

5.1.3 为反映监测对象的不同部位、不同对象之间、不同监测项目之间的内在联系和变化规律需要设置监测断面。纵向监测断面是指沿着基坑长边方向或隧道走向布设的监测点组成的监测断面；横向监测断面是指沿垂直于基坑长边方向或垂直隧道走向布设的监测点组成的监测断面。考虑不同监测对象的内在联系和变化规律时，不同的监测项目布点要处在同一断面上。如基坑支护结构变形、内力监测点、支撑轴力监测点、地表沉降及岩土体位移监测点和环境对象的监测点等可对应布设，隧道周围岩土体位移监测点与隧道支护结构变形及内力监测点可布设在同一断面上。

5.2 明挖法和盖挖法

5.2.1 明挖法和盖挖法基坑工程的支护桩（墙）、边坡顶部水平位移和竖向位移监测操作简便，且可以较为直接地反映整个基坑的安全状态，其监测点应当沿基坑周边布设。其中，基坑各边中

间部位、阳角部位、深度变化部位、邻近建（构）筑物及地下管线等重要环境部位、地质条件复杂部位等，在基坑开挖过程中这些部位最容易出现较大的位移变形，对这些部位的监测能够较好的反应基坑工程的稳定性，因此在类似关键部位应布有监测点控制。

5.2.2 支护桩（墙）体水平位移变形是基坑支护结构体系稳定状态的最直接反映，该监测项目对判断桩（墙）体的安全性至关重要。支护桩（墙）体水平位移监测相对于桩（墙）顶水平和竖向位移监测难度要大，其监测点的布置间距可比桩（墙）顶的监测间距适当大些，可按后者两倍的间距布置，在相近部位其监测点最好与支护桩（墙）顶部水平位移和竖向位移监测点处于同一监测断面，以便于监测数据间的对比分析。在基坑各边中间部位及阳角部位等的桩（墙）体易发生较大的水平位移，应作为重要部位监测。

5.2.3 支护桩（墙）结构应力监测的目的是检验设计计算结果与实际受力的符合性，监测点的布置需要根据支护结构内力计算结果、基坑规模等因素，布置在支护桩（墙）出现弯矩极值等特征点的部位。为便于分析应力与变形的关系，支护桩（墙）结构应力监测点与支护桩（墙）变形监测点对应布置。

5.2.4 立柱在顶部荷载和支撑荷载作用下会产生沉降、水平位移，在基底回弹的作用下会产生隆起。立柱隆起对支撑是强制位移，产生的附加弯矩将造成节点破坏，甚至造成整个支撑体系失稳、基坑倾覆，在实际工程中出现过立柱隆起超出 20cm、甚至破坏的案例。立柱的竖向位移监测应根据基底地质条件的不同确定具体的监测数量，一般不应少于立柱总根数的 5%。在承压水作用下，立柱竖向位移变化复杂，可能出现持续隆起，应适当增加立柱监测根数。

5.2.5 基坑工程中水平支撑与支护桩（墙）构成了一个完整的支护结构，水平支撑作为支护结构中的重要组成部分，平衡着基坑外侧土压力。支撑轴力随着基坑的开挖而变化，其大小与支护

结构的稳定具有极为密切的关系。在同一竖向监测断面内的每道支撑均应进行轴力监测，特别是基坑距底部 $1/3$ 深度处轴力最大，应加强监测。另外，若使用应变计进行轴力监测，应在支撑同一断面上布置 2 个~4 个应变计，以真实反映支撑轴力的变化。

支撑轴力监测中应注意修正各方面的不利影响，根据工程施工监测经验，深基坑支撑轴力的观测数值的偏差往往较大，究其原因主要集中在：1) 测点布置的合理性：表面附着式传感器的布置位置应符合圣维南原理避开应力集中的位置，并对称布置以消除附加弯矩的影响；2) 长期室外高、低温恶劣环境带来的传感器温度漂移的影响。

5.2.6 盖挖法的结构顶板由于在后续工程施工中同时起到路面结构的支撑作用，顶板与立柱、边桩的连接处均为受力较为复杂的部位，因此，在顶板内力监测点的布置时，应充分考虑这些部位。

5.2.7 当基坑土层软弱并含有地下水时，锚杆施工质量难以达到设计要求，且容易发生蠕变。基坑较深或坑边有高大建筑时，锚杆往往承受较大拉力。因此，有必要对这些部位的锚杆进行拉力监测，以确保工程安全。

5.2.8 城市轨道交通工程中采用土钉墙进行支护的基坑工程相对较少，土钉拉力监测点应选择在受力较大且有代表性的位置，如基坑每边中部、阳角处、地质条件复杂、周边存在高大建(构)筑物的区段。监测点数量和间距视土钉的具体情况而定，各层监测点位置在竖向上宜保持一致。

5.2.9 在基坑周边的地表变形主要控制区布设不少于 2 排的沉降监测点，是为了控制基坑周边的最大地表变形。在有代表性的部位设置垂直于基坑边线的监测断面，是为了监测基坑周边地表变形的范围，分析基坑工程对周边的影响范围和影响程度。

5.2.10 由于竖井断面一般都比较小，可在竖井长、短边中部各布设 1 条测线，沿竖向按 $3\text{m}\sim 5\text{m}$ 布设一个监测断面。在竖井内

进行净空收敛量测，由于作业空间小、深度大，一定要注意人身安全，或采用非接触测量的方法。

5.2.11 当基坑开挖深度及面积较大、基坑底部遇到有一定膨胀性的土层或坑边有较大荷载的高大建筑时，基坑的开挖卸载容易造成基底隆起。隆起值过大不仅对基坑支护结构有较大影响，而且会对周边建筑的稳定带来威胁。坑底隆起（回弹）监测点的埋设和观测较为困难，一般在预计隆起（回弹）量较大的部位布设监测点。

5.2.12 基坑工程降水分为坑内降水和坑外降水两种形式，一般坑内降水时，水位观测孔通常布设在基坑中部和四角；坑外降水时，水位观测孔通常布设在降水区域中央、长短边中点、周边四角。降水区域长短边中点、周边四角的观测孔一般距结构外1.5m~2m。水位观测孔的管底埋置深度一般在降水目的层的水位降低深度以下3m~5m。

5.3 盾 构 法

5.3.1 盾构隧道在盾构始发、接收段及联络通道附近等属于高风险施工部位，存在地层偏压、围岩软硬不均、高地下水位等复杂地质条件区段不仅施工风险大，而且会使隧道结构产生位移和变形，同时，隧道下穿或邻近重要建（构）筑物和地下管线等环境对象时会对环境对象的安全与稳定造成较大影响。因此，本条规定在上述部位或区段应布设管片结构竖向和水平位移、净空收敛监测断面及监测点。

5.3.2 根据盾构管片结构应力、围岩压力及管片连接螺栓应力的监测结果，可以分析管片的受力特征及分布规律、管片结构的安全状态。当盾构隧道处在地质条件及环境条件相对简单的区域时，隧道结构的受力均匀且状态安全，但是，当盾构隧道处在存在地层偏压、围岩软硬不均、地下水位较高等地质或环境条件复杂的地段时，由于受力不均，隧道结构有可能发生变形甚至损坏。因此，在这些区段应布设盾构管片结构应力、管片围岩压

力、管片连接螺栓应力监测断面及监测点。

5.3.3 盾构施工时导致地表变形的因素很多，是一个综合性的技术问题。具体来说引起地层变位有以下 8 个方面的因素：开挖面土体的移动、降水、土体挤入盾尾空隙、盾构姿态的改变、外壳移动与地层间的摩擦和剪切作用、土体由于施工引起的固结、水土压力作用下隧道管片产生的变形，以及随盾构推进而移动的正面障碍物使地层在盾构通过后产生空隙又未能及时注浆。盾构施工引起地表沉降发展的过程及不同阶段见表 9 所示。

表 9 盾构施工引起地表沉降发展阶段

阶段		产生沉降原因
I	先期隆起或沉降	开挖面前方滑裂面以远土体因地下水位下降而导致土体固结沉降。正前方土体受压致密，孔压消散，土体压缩模量增大
II	盾构到达时沉降	周围土体因开挖卸荷（应力释放）导致弹性或弹塑性变形的发生。开挖面设定压力过大时产生隆起
III	盾构通过时沉降	推进时盾壳和土层间的摩擦剪切力导致土体向盾尾空隙后移、仰头或叩头时纠偏。此时周边土体超孔隙水压力达到最大，推进速度和管背注浆对其也有影响
IV	盾尾空隙沉降	尾部空隙导致围岩松动、沉降
V	长期延续沉降	围岩蠕变而产生的塑性变形，包括超孔隙水压消散引起的主固结沉降和土体骨架蠕变引起的次固结沉降

盾构施工引起的地表沉降呈现以盾构机为中心的三维扩散分布。典型的地面沉降曲线如图 7 所示。

为保障盾构施工质量、减少对环境的影响，盾构隧道地表监测点的布设必须科学合理。在盾构始发、接收、穿越建（构）筑物地段，以及联络通道和存在不良地质条件的部位等是盾构施工的风险区段，除适当加密纵向监测点的布设外，还应布设横向监测断面。因此，盾构周边地表沉降监测点的布设应根据影响因素和变形特点来综合考虑，一方面应沿盾构轴线方向布置沉降监测点，另一方面在隧道中心轴线两侧的沉降槽范围内设置横向监测

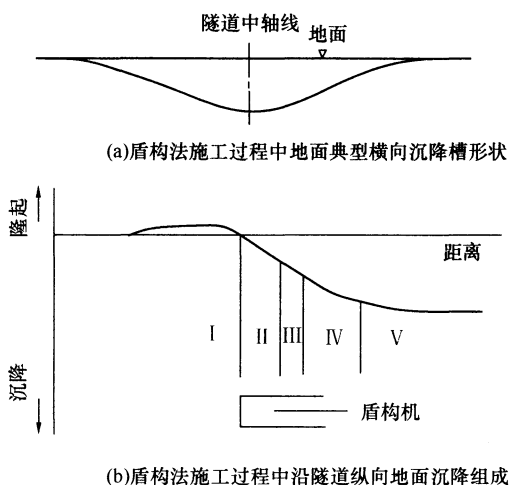


图7 盾构法施工地面沉降曲线图

点，以测得完整的沉降槽。

5.3.4 盾构隧道土体深层水平位移和分层竖向位移监测的目的主要是为了掌握和了解盾构施工对周围岩土体的影响程度及影响范围（包括深度范围），进而掌握由于岩土体的位移变形对周围建（构）筑物带来的影响。因此，监测孔的布设位置和深度应综合考虑盾构隧道所处工程地质条件和周边环境条件，以及监测孔与隧道结构的相对位置关系等。

5.3.5 孔隙水压力监测一般是盾构施工过程中在一些特殊地段增加的监测项目，此监测项目往往要和管片结构的变形监测及内力监测布设在同一监测断面内，目的是便于分析管片结构及周边环境的变形规律和安全状态，进一步指导工程施工和设计。

5.4 矿山法

5.4.1 拱顶沉降是指隧道拱顶部位的竖向变形，净空收敛是指在隧道拱顶、拱脚及侧墙之间的相对位移，拱顶沉降及净空收敛监测数据直接反映初期支护结构和围岩的变形特征。拱顶沉降监测点一般要布设一个或多个测点，其监测点也可作为净空收敛的

监测点。拱顶沉降及净空收敛监测断面应在初期支护结构施作完成后紧随开挖面（离开挖工作面 2m 以内）布设，并及时读取初始值，因开挖初期隧道结构变形速率最大。

5.4.4 对中柱结构应力的监测，其主要目的是监测中柱的受力是否超过设计强度或存在荷载偏心情况。通常可沿中柱周边在同一平面内均匀布设 4 个监测点（每隔 90° 一个测点），可用应变计或应变片，见图 8 所示。

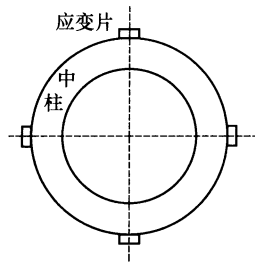


图 8 中柱横断面测点布置

5.4.5 围岩压力、初期支护结构应力及二次衬砌应力监测的目的是为了掌握和了解围岩作用在初期支护结构上的压力及初期支护结构、二次衬砌结构的受力特征、分布规律、安全及稳定状况等，监测断面的布设位置主要应考虑地质条件复杂或应力变化较大的部位。

5.4.6 周边地表沉降监测能够反映矿山法施工对周围地层和地表的影响，判断工程施工措施的可靠性和工程施工及周边环境的安全性。隧道或分部开挖施工导洞的轴线上方一般地表沉降较大，是地表沉降监测布点的重要部位。

矿山法隧道通常采用人工或钻爆开挖，每个开挖面的每日进尺受地质条件复杂程度及开挖断面大小等因素的影响，一般人工开挖进尺每日 1m~3m，钻爆开挖进尺每日 3m~5m，为保证开挖面附近有地面监测点的控制，监测点的布设间距应根据工程监测等级、周边环境条件、每日开挖进尺综合确定。

在联络通道、隧道变断面及不同工法变换等部位，以及复杂地质条件及环境条件区域施工容易引起较大的地表沉降，在这些特殊部位应布设监测点或监测断面。另外，由于附属结构施工断面较大、覆土厚度较小、下穿管线较多，施工条件差，风险因素多，容易出现开挖面坍塌，事故频率高，因此，应加强附属结构施工监测点的布设。

6 周边环境监测点布设

6.1 一般规定

6.1.1 本条是对周边环境监测点布设提出的一般性原则要求。周边环境对象监测点的布设位置、数量通常要考虑以下几个条件：1) 周边环境对象的风险等级大小；2) 周边环境所处的工程影响区；3) 周边环境对象自身的材质、结构形式；4) 工程地质水文地质条件的复杂程度；5) 所采用的监测方法和现场监测的可实施性。

6.1.2 反映环境对象变化特征的关键部位与环境对象的类型、特点有很大的关系，如高低悬殊或新旧建（构）筑物连接处、建（构）筑物变形缝、不同基础形式和不同基础埋深部位、地下管线节点和转角点等部位，这些部位一般都是发生位移和变形的关键部位，应布有监测点进行控制。

受施工影响敏感部位是指除了上述的一些关键部位外，还包括周边环境对象抗变形能力较弱的其他部位，如建（构）筑物已出现过大大变形或裂缝、地下管线沉降过大或材质老化较为严重等部位。

6.2 建（构）筑物

6.2.1~6.2.4 为了能够反映建（构）筑物竖向位移的变化特征和便于监测结果的分析，监测点的布设应考虑其基础形式、结构类型、修建年代、重要程度及其与轨道交通工程的空间位置关系等因素。本节参照国家现行标准《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497、《建筑地基基础设计规范》GB 50007 和《建筑变形测量规范》JGJ 8 中的有关规定，并结合各地轨道交通监测经验制定。

高层、高耸建（构）筑物的倾斜监测，可采用基础两点间的差异沉降推算倾斜变形，其监测点应符合竖向位移监测点的布设要求。

建（构）筑物的裂缝宽度监测，在开展之前应调查已有的裂缝，根据裂缝特点，选择有代表性的裂缝进行监测。当受工程施工影响出现新的裂缝时，应分析、判断新裂缝对建筑结构安全的影响，选择影响性较大、发展变化较快的裂缝增设监测点。当存在“Y”或“卜”形等异形裂缝时，在裂缝交口处可以增加1组监测点，监测点连线一般垂直于主要裂缝。

6.3 桥 梁

6.3.1 桥梁承台或墩柱是整个桥梁的支撑结构，城市轨道交通工程建设对地层的扰动通过桥梁承台或墩柱传递到桥梁上部结构，引起桥梁整体的变形和应力变化。桥梁承台或墩柱竖向位移是桥梁整体竖向位移的直接反映，在其上布设监测点可获得评价桥梁变形的数据。当承台尺寸较大时，可以适当增加监测点数量，以全面反映桥梁的竖向位移变化。

6.3.3 桥梁墩台的沉降或差异沉降可导致桥梁结构内部应力的变化，当结构出现应力集中而超过其应力限值时，会导致结构开裂甚至破坏。桥梁结构应力监测点一般需要选择在墩台附近或跨中部位的中部和两侧翼板端部等代表性部位。

6.4 地 下 管 线

6.4.1 目前工程中地下管线监测是一个非常重要也是一个非常复杂和困难的工作，通过总结和研究各地城市轨道交通工程对地下管线的监测工作，地下管线的监测主要有间接监测点和直接监测点两种形式。

1 间接监测是指通过观测管线周边土体的变化，间接分析管线的变形。常设在与管线轴线相对应的地表或管周土体中。柔性管线或刚度与周围土体差异不大的管线，与周围土体能够共同

变形，可以采用间接监测的方法。

2 直接监测是通过埋设一些装置直接测读管线的变形，风险等级较高、邻近轨道交通工程或对工程危害较大、刚性较大的地下管线一般应布设直接监测点进行监测。

3 直接监测点的埋设方法主要为位移杆法，即将硬塑料管或金属管埋设于所测管线顶面，将位移杆底端埋设在管线顶部并固定。量测时将标尺置于位移杆顶端，只要位移杆放置的位置固定不变，测试结果就能够反映出管线的沉降变化。监测点的埋设方法见图 B.0.5-1。

6.4.2 地下管线与工程的邻近距离不同，受施工的影响程度不同，扰动程度越大地下管线的破坏风险越高，监测点的布设密度应相应增大。因此，主要影响区监测点的布设密度应大于次要影响区。隧道工程下穿地下管线时，监测点间距应取本条款规定间距的小值。

6.4.3 地下管线的节点、转角点、结构软弱部位（金属管线受腐蚀较大部位）、与工程较为邻近可能出现较大变形部位容易发生管线开裂或断裂，是地下管线监测的重点部位。由于地下管线的特殊性，难于调查获得上述部位时，可根据管线特点，利用窨井、阀门、抽气孔以及检查井等易于调查获得的管线设备作为监测点。

6.4.5 污水、供水、热力管线出现损坏会给工程安全带来巨大影响，实际工程建设过程中管线事故多由于污水或供水管线渗漏造成。同时，供水、热力管线的损坏对周边居民的生活会带来较大的影响。燃气管线可造成可燃气体泄漏，如遇明火可出现爆炸，严重威胁周边人民生命财产安全。因此，当隧道下穿污水、供水、燃气、热力等地下管线且风险很高时，应布设管线结构直接监测点。

由于污水、供水、燃气、热力等管线自身刚性较大，其变形往往会滞后于下方土层，管线和下方土体可能出现较大的脱空。在管线上方土体的荷载作用下，使管线存在较大的损坏风险，严

重时可导致管线的断裂。因此，对隧道下穿这类管线时，除布设管线结构直接监测点外，还应布设管侧土体监测点，对管线变形及管侧土体变形同时进行监测，以判断管线与管侧土体的协调变形情况。

6.4.7 工程影响区管线分布比较集中时，重点监测重要的、抗变形能力差的、容易出现渗漏的高风险管线。一方面，通过监测这类管线的变形能够满足要求时，其他管线也能满足，另一方面，这样也可减少监测的工作量。

6.5 高速公路与城市道路

6.5.1 城市道路下方多存在过街通道、地下管线等，路面和路基竖向位移监测点的布设时，应考虑与地下构筑物、地下管线等环境监测点的布设相互协调，适当优化、整合。

6.5.3 高速公路、城市道路的路面与路基刚度差异较大，路面与路基变形不能协调同步，已有工程实测案例表明路面与路基出现分离的情况时有发生，只进行路面竖向位移监测难以反映路基的竖向位移情况，特别是隧道下穿的情况，容易造成路面与路基的脱空，为道路交通带来重大安全隐患。因此，要适当增加路基竖向位移监测点的数量。

6.5.4 公路挡土墙主要有砌体、悬臂式、扶臂式、桩板式、锚杆、锚碇板和加筋土挡土墙等几种类型。根据道路挡墙结构形式、尺寸特征以及工程实际监测经验，道路挡墙竖向位移监测点主要沿挡墙走向布设。与基坑、隧道较为邻近或道路等级较高时，监测点布设间距取本条款规定间距的小值。

6.6 既有轨道交通

6.6.4 根据现行国家标准《地铁设计规范》GB 50517 要求，城市轨道交通隧道内和高架桥的轨道结构一般采用短枕式整体道床，地面正线的轨道结构一般采用混凝土枕碎石道床。轨道结构竖向位移监测主要是指监测整体道床或轨枕的竖向位移。轨道结

构竖向位移监测按监测断面形式布设，并与隧道结构或路基竖向位移监测断面对应布设，便于分析隧道结构、路基与轨道结构竖向位移之间的关系以及差异变形情况，为分析线路结构变形及维护提供依据。

6.6.5 城市轨道交通、铁路的轨道静态几何形位主要包括轨距、轨向、轨道的左右水平和前后高低，轨道静态几何形位监测涉及轨道的行车安全，国家、行业、地方的相关养护标准及工务维修规则对轨道静态几何形位监测均有具体的规定，监测点的布设应按这些相关的规定执行。

7 监测方法及技术要求

7.1 一般规定

7.1.1 工程监测所采用的监测方法和使用的仪器设备多种多样，监测对象和监测项目不同，监测方法和仪器设备就不同，工程监测等级和监测精度不同，采用的监测方法和仪器设备的精度也不一样，另外，由于场地条件、工程经验的不同，也会采用不同的监测方法。总之，监测方法的选择应根据设计要求、施工需要和现场条件等综合确定，并便于现场操作实施。

7.1.2 本条对变形监测网的监测基准点、工作基点的布设要求进行了规定，目的是为了保证基准点和工作基点的稳定性，避免由于基准点不稳定或破坏等原因，导致监测数据不连续或无法解释，因此，对基准点和工作基点应采取有效保护措施。

7.1.3 本条规定是保证监测数据可靠、真实的前提条件，也是国家计量法规的基本要求。结合仪器自身特点、使用频次及使用环境，定期对监测仪器进行维护保养、比对检查，以保证仪器能正常工作。

7.1.4 目前市场上监测传感器的种类较多，质量及费用差别较大，在传感器选型上应重点考虑工程的监测情况和特殊要求，如监测时间的长短、气象和水文地质条件，以及与量测介质的适应性等。

7.1.5 在相同的作业方式下监测，有利于将监测中的系统误差减到最小，达到确保监测数据可靠的目的。

7.1.6 本条强调了监测项目初始值读取的时间，避免因初始值读取不及时或滞后而损失掉变形数据。为保证初始值观测的准确性，要求对各项监测项目初始值观测次数应不少于3次，同时需要对初始观测值进行相对稳定性的判别。

7.1.7 监测精度是指监测系统给出的指示值和被测量的真值的接近程度，是受工程监测环境、监测人员和监测仪器精度等因素影响的综合精度。精度在数理统计学中与误差相联系，监测精度越高，相应的监测误差越低。仪器精度只是某种仪器测定一个监测量的读数的准确程度。各监测项目所确定的监测精度，须满足监测对象的安全控制要求，同时还应兼顾经济合理的原则。

7.1.8 监测元器件的工作状态和监测点的完好程度是获取完整、可靠监测数据的关键，如遭受破坏则有可能造成监控盲区，有些关键部位监测缺失甚至可能威胁到工程的安全，故应高度重视元器件和监测点的保护和恢复工作。

7.1.9 随着工程监测技术的不断发展，全站仪自由设站、测量机器人、静力水准、微波干涉测量等新技术逐渐得到应用和推广。这些监测技术可以弥补常规技术的不足，具有实施安全、高精度、高效率、操作灵活等特点，有效地提高了监测的技术水平，促进了监测工作的开展。采用新技术、新方法进行工程监测的同时，应辅以常规监测方法进行验证，工程实践表明其具有足够的可靠性时方可单独应用。

7.2 水平位移监测

7.2.1 仪器垂直轴倾斜误差，不能通过取盘左、盘右的平均值加以抵消，尤其当垂直角超过 $\pm 3^\circ$ 时，应严格控制仪器水平气泡偏移；在多测回观测时，可采用测回间重新整平仪器水平气泡来削弱其影响。

方向线偏移法是将视准线小角法与观测点设站法结合使用的方法，这种方法只需仪器一次设站加改正来完成所有观测点位移的测算。

7.2.4 监测基准网一般情况边长均较短，采用强制对中装置的观测墩是提高观测精度的有效方法，强制对中装置宜选用防锈的铜质材料，并采取有效防护措施保证点位的稳定性。

7.2.6 水平位移监测的目的是观测测点的水平位移变化量，所

以监测网一般可布设成假设坐标系统。

7.2.7 对较大范围的水平位移监测网可采用 GPS 网，对线型边的水平位移监测适合用单导线、导线网以及视准轴线的形式。对控制面积一般的场地也可布设成边角网的形式，为保证边角网图形强度，三角形长短边不宜悬殊过大，并应合理配置测角和测距的精度，发挥测角和测边精度的互补特性。

7.2.9 水平位移监测精度的确定主要考虑了监测等级和水平位移控制值两方面的因素，水平位移控制值包括变化速率控制值和累计变化量控制值。水平位移监测的精度首先要根据控制值的大小进行确定，特别是要满足速率控制值或在不同工况条件下按各阶段分别进行控制的要求。监测精度确定的原则是监测控制值越小要求的监测精度就越高，同时还要满足不低于同级别监测等级条件下的监测精度要求。

7.3 竖向位移监测

7.3.1 竖向位移监测宜采用几何水准测量，在特殊环境条件及有特殊技术要求时也可采用电子测距三角高程测量、静力水准测量等方法。

7.3.2 将部分监测点与水准基准点和工作基点组成闭合环或附合水准线路，有利于提高精度和避免粗差。

为了忽略因前后视距不等带来的系统误差，本条规定了监测用水准仪 i 角的控制要求，实际监测工作中应特别注意一个测站观测多个中视视距与前后视距相差较大时 i 角的影响，如 i 角为 $20''$ ，视距差为 10m 对一测站的高差影响将达 1mm，所以作业中应经常检查校正水准仪的 i 角，并严格控制水准测量中的视距差。

静力水准仪器设备因生产厂商不同，其原理、性能和规格差别较大，应根据不同的设备制定相应的作业和维护规程，并采用人工复核等校验手段，以保证监测仪器满足相关规范的要求。

对于水准测量确有困难且精度要求不高时，可采用电子测距

三角高程方法进行，电子测距三角高程测量的视线长度、视线垂直角及中间设站每站的前后视线长度之差，可按现行行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8 的规定实施。

7.3.3 以城市轨道交通工程高程系统作为统一的高程系统，便于各监测项目变形值的相互比较、验证和延续，当使用城市轨道交通工程高程点联测困难或有其他特殊情况时，为保证监测精度及便于监测工作开展也可采用独立坐标系统。

7.3.6 竖向位移监测精度的确定方法与水平位移监测精度的确定方法基本相同。

7.4 深层水平位移监测

7.4.1 测斜仪仪器设备主要由测斜探头、电缆线和读数仪组成，按测斜探头中传感元件的性质分为滑动电阻式、电阻应变片式、振弦式及伺服加速度计式等几种，伺服加速度计式测斜仪灵敏度和精度相对较高，稳定性也较好。

7.4.2 深层水平位移监测数据控制值要求选用测斜仪的分辨率、精度等应满足本条规定，另外也应注意所测孔位的倾斜度是否位于测斜仪传感元件倾角的量程范围内。

7.4.3 测斜管作为供测斜仪定位及上下活动的通道，必须具有一定的柔性及刚度，测斜管直径应与选用测斜仪导轮展开的松紧度相适宜。

7.4.4 土体深层水平位移测斜管埋设深度应依据当地的地质条件、工程经验等因素综合确定。软土地区，土体测斜管埋设深度宜超过支护墙体一定深度，有利于及时发现支护墙底部的位移状态。

7.4.5 保证测斜管的埋设质量是获得可靠数据和保证精度的前提，本条对测斜管的埋设提出了具体要求。埋设前应检查测斜管的管口、十字导槽的加工质量，避免有质量问题的测斜管投入使用。在测斜管埋设过程中，向测斜管内加注清水可以防止测斜管发生上浮。测斜管管壁导槽如与所需测量的位移方向存在夹角，

所测得的支护墙体变形量比实际变形偏小。管壁和孔壁之间回填密实是为了使得测斜管与被测土体和支护墙体的变形协调，保证能反映被测对象的真实变形。

7.4.6 为消除测斜仪零漂的影响，每测点都应进行正、反两次量测。由于外界环境温度与地下水温度存在差异，测斜仪探头放到孔底后，恒温一段时间，待读数稳定后方可采样，从而减小测量误差。测斜管一般按 0.5m 或 1.0m 长度分为若干个量测段，在测斜管某一深度位置测得的是两对导轮之间的倾角，可按下式计算各量测段水平位移值：

$$\Delta X_n = \Delta X_0 + L \sum_{i=0}^n (\sin \alpha_i - \sin \alpha_{i0}) \quad (5)$$

式中： ΔX_n ——从管口下第 n 个量测段处水平位移值（mm）；

L ——量测段长度（mm）；

α_i ——从管口下第 i 个量测段处本次测试倾角值（°）；

α_{i0} ——从管口下第 i 个量测段处初次测试倾角值（°）；

ΔX_0 ——实测管口水平位移（mm），当采用底部作为起算点时， $\Delta X_0 = 0$ 。

7.4.7 软弱土地区的实测数据表明，测斜管管底常产生较大的水平位移，因此测斜计算时的起算点选择十分重要。一般情况下应以管顶作为起算点，采用光学仪器测定测斜孔口水平位移作为基准值。但如果测斜管底部嵌岩或进入较深的稳定土层内，也可以底部作为固定起算点。

7.5 土体分层竖向位移监测

7.5.1 分层沉降仪可用来监测由降水、开挖等引起的周围深层土体的竖向位移变化。分层沉降仪探头中安装有电磁探测装置，根据接收的电磁信号来观测埋设在土体不同深度内的磁环的确切位置，再由其所在位置深度的变化计算出土层不同标高处的竖向位移变化情况。

磁环分层沉降量测系统由地下监测器件、地面测试仪器及管

口水准测量系统三部分构成。第一部分为埋入地下的材料部分，由分层沉降管、底盖和磁环等组成；第二部分为地面测试仪器——分层沉降仪，由测头、测量电缆、接收系统和绕线盘等组成；第三部分为管口水准测量系统，由水准仪、标尺、脚架、尺垫、基准点等组成。

7.5.3 分层沉降管埋设时分层沉降管和孔壁之间采用黏土回填密实，使得磁环与周围土体能紧密接触，保持与土体变形的协调一致。

7.5.5 分层沉降仪量测时应先用水准仪测出分层沉降管的管口高程，然后将分层沉降仪的探头缓缓放入分层沉降管中。当接收仪发生蜂鸣或指针偏转最大时，即是磁环的位置。读取第一声声响时测量电缆在管口处的深度尺寸，这样由上向下地测量到孔底，这称为进程测读。

当从该分层沉降管内回收测量电缆时，测头再次通过土层中的磁环，接收系统的蜂鸣器会再次发出蜂鸣声。此时读出测量电缆在管口处的深度尺寸，如此测量到孔口，称为回程测读。

磁环的绝对高程计算公式如下：

$$D_i = H - h_i \quad (6)$$

式中： D_i ——第 i 次磁环绝对高程（mm）；

H ——分层沉降管管口绝对高程（mm）；

h_i ——第 i 次磁环距管口的距离（mm）。

由上式可以计算出磁环的累计竖向位移量：

$$\Delta h_i = D_i - D_0 \quad (7)$$

式中： Δh_i ——第 i 次磁环累计竖向位移（mm）；

D_0 ——磁环初始绝对高程（mm）。

7.6 倾 斜 监 测

7.6.1 建（构）筑物倾斜监测应根据现场观测条件和要求确定不同的监测方法。当被测建（构）筑物具有明显的外部特征点和宽敞的观测场地时，可以采用投点法等，测出每对上部和底部观

测点之间的水平位移分量，再按矢量计算方法求得倾斜量和倾斜方向；当被测建（构）筑物内部有一定的竖向通视条件时，可以采用垂准法、激光铅直仪观测法等；当被测建（构）筑物具有足够的整体结构刚度时，可以采用倾斜仪法或差异沉降法。

7.6.3 根据精度要求，观测时按 180° 、 120° 或 90° 夹角旋转垂准仪进行下部点对中（分别读取 2 次、3 次或 4 次）算一个测回。

7.7 裂缝监测

7.7.1 裂缝的位置、走向、长度、宽度是裂缝监测的 4 个要素，裂缝深度测量由于手段较为复杂、精度较低，并有可能需要对裂缝表面进行开凿，因此，只有在特殊要求时才进行监测。

7.7.3 工程施工前对周围环境监测对象的裂缝情况进行现状普查是非常重要的一项工作内容。通过裂缝现状普查，一方面能够对周边环境对象的裂缝情况了解和掌握，选择其中部分重要的裂缝进行监测，另一方面也为解决后续工程施工过程中的工程纠纷提供资料依据。

7.8 净空收敛监测

7.8.1 隧道内部净空尺寸的变化，常称为收敛位移。收敛位移监测所需进行的工作比较简单，以收敛位移监测值为判断围岩和支护结构（或管片）稳定性的方法比较直观和明确。目前，隧道净空收敛监测可采用接触和非接触两种方法，其中接触监测主要采用收敛计进行，非接触监测则主要采用全站仪或红外激光测距仪进行。

7.8.2 采用收敛计进行净空收敛监测相对简单，通过监测布设于隧道周边上的两个监测点之间的距离，求出与上次量测值之间的变化量即为此处两监测点方向的净空变化值。读数时应进行三次，然后取其平均值。

收敛计主要通过调节螺旋和压力弹簧（或重锤）拉紧钢尺（或钢丝），并在每次拉力恒定状态下测读两监测点之间的距离变

化来反映隧道的净空收敛情况。根据连接材料和连接方式的不同，收敛计有带式、丝式和杆式三类，其基本组成相同，主要由钢卷尺（不锈钢带、钢钢丝或钢钢带）、拉力控制系统（保持钢卷尺或钢丝在测量时恒力）、位移量测系统及固定的测点等部件组成。目前常用的是百分表读数收敛计和数显式收敛计两种。

1 带式收敛计用钢卷尺连接两个对应点，施加恒定的张拉力（刻度线或指示灯指示），使钢卷尺拉直，然后读取钢卷尺和测表读数。其操作方便、体积小、质量轻，适用范围较广。

带式收敛计的操作步骤如下：

- 1) 在指定位置埋设好一对测座；
- 2) 将仪器的后挂钩与其中一个测座相连，再将定长钢钢丝的接头与钢尺头部相接；
- 3) 将定长钢钢丝的挂钩与另一个测座相连；
- 4) 在钢尺上选择合适的小孔并固定在夹尺器上；
- 5) 采用电动螺旋张紧机构，对钢尺和定长钢钢丝施加恒力，并在读数窗口读数。

2 丝式收敛计用钢钢丝（或钢丝）连接两个对应点，施加恒定张拉力（百分表或电动马达指示），使钢钢丝拉直，然后读数。当隧道断面尺寸很大（跨度大于 20m），或温度变化较大，或对变形监测精度要求较高时，应选择丝式收敛计。

丝式收敛计的操作步骤如下：

- 1) 选定监测点并用胶或砂浆固定配套的螺栓；
- 2) 根据两监测点间的距离截取合适长度的钢钢丝；
- 3) 将靠近测力计的一端通过旋转接头与其中一个已安装在固定螺栓上的测座相连；
- 4) 分别通过卡头和旋转接头将钢丝另一端与另一个测座相连，通过拉紧装置拉紧钢丝，并把测力计调到相同的位置，以保持钢丝的受力不变；
- 5) 从位移计测读数据，两次读数之差就是在这两次监测时段内发生的相对位移。

3 对于跨度小、位移较大的隧道，可用杆式收敛仪进行监测，测杆可由数节组成，杆端装设百分表或游标尺，以提高监测精度。

杆式收敛计的操作步骤如下：

- 1) 当作铅垂向监测时，测杆的上下两圆锥面测座应埋设在顶板和底板上；为保证它们基本上能处于同一铅直线上，宜先埋设上测座，再采用吊锤球的方法确定出下测座的位置，钻孔完成安装孔，并用水泥砂浆将圆锥面测座埋设于底板上；
- 2) 初读数的接杆编号应记录清楚，接杆的螺纹每次应拧紧；
- 3) 测座内锥面在每次监测时都应把泥砂灰尘擦干净；
- 4) 监测时先将下端的球形测脚放入下测座的圆锥内，再通过细杆压紧弹簧，并使上端球形测脚放入上测座的圆锥内，再压紧弹簧。压紧弹簧的动作宜慢、稳，每次压紧方法应尽量一致。

每个收敛监测点应安装牢固，并采取保护措施，防止因监测点松动而造成监测数据不准确。收敛计读数应准确无误，读数时视线垂直测表，以避免视差。每次监测反复读数三次，读完第一次后，拧松调节螺母并进行调节，拉紧钢尺（或钢丝）至恒定拉力后重复读数，三次读数差不应超过精度范围，取其平均值为本次监测值。

净空相对位移计算公式：

$$U_n = R_n - R_0 \quad (8)$$

式中： U_n ——第 n 次量测时净空相对位移值（mm）；

R_n ——第 n 次量测时的观测值（mm）；

R_0 ——初始观测值（mm）。

当净空相对位移值比较大，在第 n 次测量后需换测试钢尺孔位时，相对位移总值计算公式：

$$U_k = U_n + R_k - R_{n0} \quad (9)$$

式中 U_k ——第 k 次量测时净空相对位移值 (mm);

R_k ——第 k 次量测时的观测值 (mm);

R_m ——第 k 次量测时换孔后读数 (mm)。

若变形速率高，量测间隔期间变形量超出仪表量程时，相对位移计算公式：

$$U_k = R_k - R_0 + A_0 - A_k \quad (10)$$

式中： A_0 ——钢尺初始孔位 (mm);

A_k ——第 k 次量测时钢尺孔位 (mm)。

当洞室净空大（测线长），温度变化时，应进行温度修正，其计算公式为：

$$U_n = R_n - R_0 - \alpha L (t_n - t_0) \quad (11)$$

式中： t_n ——第 n 次量测时温度 (°C);

t_0 ——初始量测时温度 (°C);

L ——量测基线长 (mm);

α ——钢尺线膨胀系数（一般 $\alpha = 12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ）。

7.8.4、7.8.5 用全站仪进行隧道净空收敛监测方法包括自由设站和固定设站两种。监测点可采用反射片作为测点靶标，以取代价格昂贵的圆棱镜，反射片正面由均匀分布的微型棱镜和透明塑料薄膜构成，反面涂有压缩不干胶，它可以牢固地粘附在构件表面上。反射片粘贴在隧道测点处的预埋件上，在开挖面附近的反射片，应采取一定的措施对其进行保护，以免施工时反射片表面被覆盖或污染、碰歪或碰掉。通过固定的后视基准点，对比不同时刻监测点的三维坐标，计算该监测点的三维位移变化量（相对于某一初始状态）。该方法能够获取监测点全面的三维位移数据，有利于数据处理和提高自动化程度。

7.9 爆破振动监测

7.9.2 爆破振动监测中，传感器是反映被测信号的关键设备，为了能正确反映所测信号，除了传感器本身的性能指标满足一定要求外，传感器的安装、定位也是极为重要的。为了可靠地测到

爆破振动或结构动力响应的记录，传感器应与被测点的表面牢固地结合在一起，否则在爆破振动时往往会导致传感器松动、滑落，使得信号失真。传感器安装时，还应注意定位方向，要使传感器与所测量的震动方向一致，否则，也会带来测量误差。若测量竖向分量，则使传感器的测震方向垂直于地面；若测量径向水平分量，则使传感器的测震方向垂直于由测点至爆破点连线方向。

7.9.3 爆破振动监测的测量导线对监测系统的工作状态有较大影响，一般采用屏蔽线，以防外界电磁干扰信号。测量导线线路一般不与交流电路平行，以避免强电磁场的干扰。同时，也需注意测量导线的两端固定问题，连接传感器的一端需使一段导线与地面或建（构）筑物等的表面紧密接触固定，防止测量导线局部摆动给传感器带来干扰信号；在测量导线末端与仪器相连段也需采取有效的固定措施。

7.10 孔隙水压力监测

7.10.6 孔隙水压力的大小由现场的量测数据按每个仪器出厂所带的换算公式进行计算。常用的差阻式仪器和振弦式仪器的计算公式如下：

1 采用差阻式孔隙水压力计时，孔隙水压力值计算公式：

$$P = f\Delta Z + b\Delta t \quad (12)$$

式中： P ——孔隙水压力（kPa）；

f ——渗压计标定系数（kPa/0.01%）；

b ——渗压计的温度修正系数（kPa/℃）；

ΔZ ——电阻比相对于基准值的变化量；

Δt ——温度相对于基准值的变化量（℃）。

2 采用振弦式孔隙水压力计时，仪器的量测采用频率模数 F 来度量，其定义为：

$$F = f^2/1000 \quad (13)$$

式中： f ——振弦式仪器中钢丝的自振频率（Hz）。

孔隙水压力值计算公式：

$$P = k(F - F_0) + b(T - T_0) \quad (14)$$

式中：P——孔隙水压力（kPa）；

k——渗压计的标定系数（kPa/kHz²）；

F——实时测量的渗压计输出值，即频率模数（kHz²）；

F₀——渗压计的基准值（kHz²）；

T——本次量测时温度（℃）；

T₀——初始量测时温度（℃）。

若大气压力有较大变化时，应予以修正。

7.14 结构应力监测

7.14.2 钢筋应力计、应变计、光纤传感器和轴力计应根据其特点，采用适宜的安装埋设方法和步骤。

1 钢筋应力计的安装埋设要求如下：

- 1) 钢筋应力计应焊接在同一直径的受力钢筋上并宜保持在同一轴线上，焊接时尽可能使其处于不受力状态，特别不应处于受弯状态；
- 2) 钢筋应力计的焊接可采用对焊、坡口焊或熔槽焊；对直径大于 28mm 的钢筋，不宜采用对焊焊接；
- 3) 焊接过程中，仪器测出的温度应低于 60℃，为防止应力计温度过高，可采用间歇焊接法，也可在钢筋应力计部位包上湿棉纱浇水冷却，但不得在焊缝处浇水，以免焊层变脆硬。

2 混凝土应变计的安装埋设要求如下：

- 1) 将试件上粘贴混凝土应变计的部位用丙酮等有机溶剂清除表面的油污；表面粗糙不平时，可用细砂轮或砂纸磨平，再用丙酮等有机溶剂清除表面残留的磨屑；
- 2) 在试件上划制两根光滑、清楚且互相垂直交叉的定位线，使混凝土应变计基底上的轴线标记与其对准后再粘贴；

- 3) 粘贴时在准备好的混凝土应变计基底上均匀地涂一层胶粘剂，胶粘剂用量应保证粘结胶层厚度均匀且不影响混凝土应变计的工作性能；
 - 4) 用镊子夹住引线，将混凝土应变计放在粘贴位置，在粘贴处覆盖一块聚四氟乙烯薄膜，且用手指顺混凝土应变计轴向，向引线方向轻轻按压混凝土应变计。挤出多余胶液和胶粘剂层中的气泡，用力加压保证胶粘剂凝固。
- 3 光纤传感器的安装埋设要求如下：
- 1) 光纤传感器应先埋入与工程材料一致的小型预制件中，再埋入工程结构中，传感器埋入后应确保传感方向与需测受力方向一致；
 - 2) 钢筋混凝土结构中，光纤传感器可粘结到钢筋上，以钢筋受力、变形反映结构内部应力、应变状态；
 - 3) 可先用小导管保护光纤传感器，在胶粘剂固化前将导管拔出。
- 4 轴力计的安装埋设要求如下：
- 1) 宜采用专用的轴力计安装架。在钢支撑吊装前，将安装架圆形钢筒上设有开槽的一端面与钢支撑固定端的钢板电焊焊接。焊接时安装架中心点应与钢支撑中心轴线对齐，保持各接触面平整，使钢支撑能通过轴力计正常传力；
 - 2) 焊接部位冷却后，将轴力计推入安装架圆形钢筒内，用螺丝把轴力计固定在安装架上，并将轴力计的电缆绑在安装架的两翼内侧，防止在吊装过程中损伤电缆；
 - 3) 钢支撑吊装、对准、就位后，在安装架的另一端（空缺端）与支护墙体上的钢板中间加一块加强钢垫板；
 - 4) 轴力计受力后即松开固定螺丝。

7.15 现场巡查

7.15.1 巡视检查作为仪器监测方法的有效补充，主要以目测为主。根据巡查计划，结合施工进度，及时进行巡查，并详细做好巡查记录。

7.15.2 现场巡查和仪器监测数据成果之间大多存在着内在的联系，可以把被监测对象从定性和定量两方面有机地结合起来，更加全面地分析工程围（支）护体系及周边环境的变形规律及安全状态，更好地指导施工或及时采取相应的安全措施，保证工程施工顺利进行。

7.15.3 现场巡查到的任何异常情况必须引起足够重视，并结合出现异常区域的监测数据和施工工况进行综合分析判断，及时发现可能出现的事故隐患或征兆，以便施工方及相关单位及时启动应急预案，采取应对措施，避免事故的发生。

8 监测频率

8.1 一般规定

8.1.1 监测频率的确定是监测工作的重要内容，与施工方法、施工进度、工程所处的地质条件、周边环境条件，以及监测对象和监测项目的自身特点等密切相关。同时，监测频率与投入的监测工作量和监测费用有关，在制定监测频率时既要考虑不能错过监测对象的重要变化时刻，也应当合理布置工作量，控制监测费用，选择科学、合理的监测频率有利于监测工作的有效开展。

8.1.2 工程监测是信息化施工的重要手段，监测频率在整个工程施工过程中要根据施工进度、施工工况及监测对象与施工作业面所处的位置关系进行不断调整，其基本要求应是监测频率能满足反映监测对象随施工进度（时间）的变化规律。

工程监测采用定时监测的方法，可以反映相同时间间隔下，监测对象的变形、变化大小，以便于计算监测对象的变化速率，判断监测对象的变化快慢，及时关注短小时内发生较大变化的现象，从累计变化量和变化速率两个方面评价监测对象的安全状态。在监测对象累计变化量、变化速率超过控制值或出现其他异常情况时，应提高监测频率，减小监测时间间隔；监测对象变形、变化趋于稳定时，可适当增大监测时间间隔，减小监测次数。

8.1.3 对穿越既有轨道交通运营线路、建（构）筑物等周边环境，由于其重要性和社会影响性大，对变形控制要求较高，控制指标值相对较为严格，为确保安全，应提高监测的频率，必要时对关键的监测项目进行 24h 远程实时监测，以便及时发现问题，采取相应安全措施。

8.1.4 在工程施工过程中，为保证工程施工的安全或方便施工，

往往都要采用其他的辅助工法，如施工降水或注浆加固等。这些辅助工法的实施也会对周围岩土体及周边环境产生影响。当采用辅助工法时，根据环境对象的重要性程度和预测的变形量大小调整监测频率，周边环境对象较为重要且预测影响较大时，应提高监测频率。

8.1.5 现场巡查是施工监测工作的重要组成部分，是现场仪器监测的最有效补充。在工程施工过程中，根据施工进度合理安排巡查频率，做好巡查记录，发现异常情况时，应立即报告。

8.1.7 本条规定了结束监测工作应满足的条件。施工监测期应包括工程施工的全过程，即从施作支护结构或降水施工之前开始，至土建施工完成之后止。

8.2 监测频率要求

I 明挖法和盖挖法

8.2.1 本条主要考虑了基坑设计深度、实际开挖进度和地下结构施作情况等因素制定了城市轨道交通基坑工程的监测频率。

基坑开挖前施作支护结构和施工降水过程中，也会对周边环境和地表产生影响，因此也应进行监测工作，监测频率应根据预测和实际的沉降变形情况确定。

基坑开挖过程中监测频率总体要求是基坑设计深度越大、开挖越深、地质条件和周边环境条件越复杂，监测频率越高。支护结构、周围岩土体和周边环境在正常条件下可以采用相同的监测频率，当监测对象的监测数据变化较快，则应提高监测频率。

基坑主体结构施作过程中当拆除内支撑时，支护结构受力将发生变化，会给支护结构的稳定带来风险，可根据基坑实际深度和监测对象的变形情况适当提高监测频率。

8.2.2 竖井开挖及井壁结构施工期间是竖井初期支护井壁净空收敛的主要监测时段，以确保竖井施工过程中的安全。竖井在使用过程中的监测也十分重要，应根据净空收敛数据变化情况确定

监测频率。

8.2.3 坑底隆起（回弹）与地质条件、基坑开挖深度和开挖范围有着密切的关系，对基底为软弱地层、遇水软化地层或有承压水分布的基坑工程，坑底隆起（回弹）的监测十分必要，但由于坑底隆起（回弹）的监测实施较为困难，在基坑开挖过程中无法进行监测，一般基底隆起的监测只能在基坑开挖之前、开挖完成后和混凝土基础浇筑前这三个阶段进行。

II 盾 构 法

8.2.4 盾构法隧道工程施工的监测频率应符合盾构法施工引起周围岩土体变形规律的要求，周围岩土体的变形规律主要包括先期隆起或沉降、盾构到达时沉降、盾构通过时沉降、盾尾空隙沉降和长期延续沉降，对周围岩土体的监测应能反映整个变形过程。

根据上述要求，本条对开挖面前方和后方分别提出了不同的监测频率。盾构法隧道开挖面前方的监测对象主要是周围岩土体和周边环境，具体监测频率根据开挖面与监测点或监测断面的水平距离来确定；盾构法隧道开挖面后方的监测对象除了周围岩土体和周边环境外，管片结构也应进行监测。对于管片结构位移、净空收敛在衬砌环脱出盾尾且能通视时才能进行监测，具体监测的频率也是根据开挖面离开监测断面的水平距离来确定。

III 矿 山 法

8.2.5 矿山法隧道结构初期支护结构的拱顶沉降、底板竖向位移和净空收敛监测频率，与初期支护结构的变形速率、监测点或监测断面距开挖面的距离密切相关。矿山法隧道工程的监测频率根据隧道或导洞开挖宽度、监测断面距开挖面的不同距离确定。在拆除临时支撑时或地质条件较差的情况下，初期支护结构容易出现较大的变形，为避免危险的发生，在这种情况下还应适当提

高监测频率。

对矿山法施工，周边环境和周围岩土体的变形与开挖面到监测点或监测断面前后的距离、隧道埋深和隧道周边地质条件密切相关，与开挖面越近、地质条件和环境对象越复杂，监测频率应越高。

9 监测项目控制值和预警

9.1 一般规定

9.1.1 本条为强制性条文，对监测预警等级和预警标准的制定工作进行了要求。

工程监测预警是整个监测工作的核心，通过监测预警能够使相关单位对异常情况及时作出反应，采取相应措施，控制和避免工程自身和周边环境等安全事故的发生。工程监测预警需有一定的标准，并要按照不同的等级进行预警，因此，城市轨道交通工程监测应当制定工程监测预警等级和预警标准。

目前，我国城市轨道交通工程在建城市中，由于各地的建设管理水平、施工队伍的素质和施工经验，以及工程地质条件和施工环境不同，对工程监测预警的分级不尽相同，每级的分级标准也不完全一致。另外，由于城市轨道交通工程线路比较长，往往都要划分为若干个标段进行施工，为了便于预警工作的统一管理，通常由建设单位组织设计单位、施工单位、监理单位及相关专家，根据工程特点、监测项目控制值、当地施工经验等，研究制定监测预警等级和预警标准。

9.1.2 监测项目控制值是工程施工过程中对工程自身及周边环境的安全状态或正常使用状态进行判断的重要依据，也是工程设计、工程施工及施工监测等工作的重要控制点。监测项目控制值的大小直接影响到工程自身和周边环境的安全，对施工方法、监测手段的确定以及对施工工期和造价都有很大的影响。因此，合理地确定监测项目控制值是一项十分重要的工作。

监测设计是施工图设计文件的重要组成部分，监测项目控制值是监测设计的重要内容之一，是控制工程自身结构和周边环境安全的重要标准。同时，相关法律、法规和规范性文件对设计文

件中明确控制指标及控制值也有具体要求。因此，本条规定在施工图设计文件中应提出监测项目控制值，以满足工程支护结构安全及周边环境保护的要求。

工程设计应针对工程支护结构和周边环境两类监测对象分别确定相应的监测项目控制值，同时应考虑两类监测对象间的相互影响。支护结构监测项目控制值的制定，首先应保证施工过程中的支护结构的稳定及施工安全，同时还要保证周边环境处于正常使用的安全状态。这就要求在制定支护结构控制值时要充分考虑支护结构的设计特点、周围岩土体的特征及周边环境条件。

对于重要的建（构）筑物、桥梁、管线、既有轨道交通等环境对象控制值的确定，主要是在保证其正常使用状态和安全的前提下，分析研究其还能承受的变形量。这往往需要收集环境对象原有的相关工程资料，并通过现场现状调查与检测，进行评估后确定，最终还应符合相关单位的管理要求。

周围岩土体是工程所处的地质环境，是工程支护结构和周边环境对象之间相互作用的媒介。周围地表沉降等岩土体变形可间接反映支护结构和周边环境对象的变形、变化，其相关监测数据能为判定工程结构和周边环境的安全状态提供辅助依据，其控制值的确定应根据工程结构安全等级和周边环境安全风险等级确定。

对于采用分步开挖的暗挖大断面隧道、隧道穿越既有有线等监测等级较高、工况条件复杂的工程，一般控制指标较为严格，往往在施工还没有完成之前，监测对象的变化、变形量就已超过控制值，增加了后续施工的难度。因此，对于监测等级较高、工况条件复杂的工程，控制值应按主要工况条件进行分解，以便分段控制监测对象的变形，最终满足工程自身和环境控制的要求。

9.1.3 变形监测不但要控制监测项目的累计变化值，还要注意控制其变化速率。累计变化值反映的是监测对象当前的安全状态，而变化速率反映的是监测对象安全状态变化的发展速度，过大的变化速率，往往是突发事故的先兆。因此，变形监测数据的

控制值应包括累计变化值和变化速率值。

9.1.4 国家相关法律法规和规范性文件等对突发性事件的应对作出了具体的规定，对城市轨道交通工程施工异常情况的预警预报及响应也有相关的要求。城市轨道交通工程应当根据工程特点、监测项目的控制值、当地施工经验、工程管理及应急能力，制定工程监测预警管理制度，其中包括监测预警等级、分级标准及不同预警等级的警情报送对象、时间、方式、流程及分别采取的应对措施等。工程监测异常情况的预警，可根据事故发生的紧急程度、发展势态和可能造成的危害程度由低到高进行分级管理。

工程监测预警等级的划分要与工程建设城市的工程特点、施工经验等相适应，具体的预警等级可根据工程实际需要确定，一般取监测控制值的 70%、85% 和 100% 划分为三级。目前北京市轨道交通工程监测预警体系较为成熟，其工程监测预警分级标准参见表 10。

表 10 北京市轨道交通工程监测预警分级标准

预警级别	预 警 状 态 描 述
黄色预警	变形监测的绝对值和速率值双控指标均达到控制值的 70%；或双控指标之一达到控制值的 85%
橙色预警	变形监测的绝对值和速率值双控指标均达到控制值的 85%；或双控指标之一达到控制值
红色预警	变形监测的绝对值和速率值双控指标均达到控制值

9.1.5 本条为强制性条文，对警情报送进行了要求。

警情报送是工程监测的重要工作之一，也是监测人员的重要职责，通过警情报送能够使相关各方及时了解和掌握现场情况，以便采取相应措施，避免事故的发生。

当监测数据达到预警标准时应进行警情报送，这就要求外业监测工作完成后，应及时对监测数据进行内业整理、计算和分析，发现监测项目的累计变化量或变化速率无论达到任何一级预

警标准都要进行警情报送。

9.1.6 本条列出了工程施工中现场巡查工作需要进行的警情报送的几种情况。出现这些情况时，可能会严重威胁工程自身及周边环境的安全，需立即进行警情报送，以便及时采取相应措施，保证工程自身和周边环境的安全，避免事故的发生。

9.2 支护结构和周围岩土体

9.2.1~9.2.3 城市轨道交通工程支护结构及周围岩土体监测项目控制值与地质条件、工程规模、周边环境条件等有密切关系，同时控制值对工程的工期、造价等都有较大影响。监测项目控制值的确定需遵循安全与经济相统一，与当前的设计、施工和管理水平相适应，支护结构和周边环境安全有效控制，关键项目严格控制，按地质条件分类控制以及相关规范、地方经验与实测统计结果相协调等原则。因此，合理确定工程施工过程中支护结构及周围岩土体监测项目控制值是一个复杂的过程，本规范为监测项目控制值的确定开展了专题研究。

专题研究收集了有关城市轨道交通工程监测控制指标的规范、规程和工程标准 53 部，北京、上海、广州等 14 个轨道交通建设城市 25 条线路、158 个工点的设计文件及第三方监测资料。

研究表明，不同地区的工程地质条件往往具有明显的地域特性，如北京的黏性土与砂性土互层、上海的软土地层、广州的上软下硬二元地层等。监测项目的监测数据变化量除与基坑、隧道工程的各项设计参数、工法相关外，还与基坑、隧道所处场区的岩土体特性、类型等因素密切相关。

根据这一特征，本规范开展的监测控制指标专题研究将所收集工点的地层条件按坚硬~中硬土和中软~软弱土两类，分别统计、分析不同监测项目的实测结果。土的分类参照了现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的工程场地土类型划分标准（见表 11）。

表 11 土的类型划分和剪切波速范围

土的类型	岩石名称和性状	土层剪切波速范围 (m/s)
岩石	坚硬、较硬且完整的岩石	$V_s > 800$
坚硬土或软质岩石	破碎和较破碎的岩石或软和较软的岩石，密实的碎石土	$800 \geq V_s > 500$
中硬土	中密、稍密的碎石土，密实、中密的砾、粗、中砂， $f_{ak} > 150$ 的黏性土和粉土，坚硬黄土	$500 \geq V_s > 250$
中软土	稍密的砾、粗、中砂，除松散外的细、粉砂， $f_{ak} \leq 150$ 的黏性土和粉土， $f_{ak} > 130$ 的填土，可塑新黄土	$250 \geq V_s > 150$
软弱土	淤泥和淤泥质土，松散的砂，新近沉积的黏性土和粉土， $f_{ak} \leq 130$ 的填土，流塑黄土	$V_s \leq 150$

注： f_{ak} 为由载荷试验等方法得到的地基承载力特征值 (kPa)， V_s 为岩土剪切波速。

1 明挖法和盖挖法基坑支护结构和周围岩土体的监测项目控制值

条文中表 9.2.1-1 和表 9.2.1-2 的监测项目控制值，是在对全国各地大量实际工程案例开展专题研究的基础上，结合国家现行标准《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497、《建筑基坑工程技术规范》YB 9258 等相关规范确定。

专题研究共收集和统计分析北京、上海、广州等 14 个轨道交通建设城市的明挖法和盖挖法基坑工程实测资料，包括 25 条线路的 87 个工点。监测项目主要包括基坑工程的地表沉降、支护桩（墙）顶水平和竖向位移、支护桩（墙）体水平位移，统计内容为每个工点不同监测项目监测点在整个监测期内的实测最终变形值，以及各监测项目主要监测点中实测最终变形值的最大值、最小值和平均值。

1) 支护桩（墙）顶竖向位移

① 相关规范的规定

现行国家标准《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497 规定的桩（墙）顶竖向位移控制值为 $10\text{mm} \sim 40\text{mm}$ ，北京地区规定的控制值为 10mm 。

② 实测统计结果

收集的 29 个工点支护桩（墙）顶竖向位移监测资料中，多为中软～软弱土地地区的基坑工程，对 29 个工点的支护桩（墙）顶竖向位移监测统计结果见图 9。

竖向位移在 29 个工点中，监测点全部沉降的有 8 个工点，平均沉降量 -11.8mm ，其中最大沉降量 -43.3mm 、最小沉降量 -0.6mm ；监测点全部隆起的有 13 个工点，平均隆起量 10.3mm ，其中最大隆起量 15.8mm ，最小隆起量 2.9mm ；监测点中既有隆起又有沉降的有 8 个工点，最大沉降量 -11.2mm ，最大隆起量 25.1mm 。

从图 9（a）中可以看出，29 个工点的 303 个监测点中监测点隆起占监测点总数的 53.1% ，监测点沉降占监测点总数的 46.9% 。监测点的竖向位移实测数值在 $-30\text{mm} \sim +20\text{mm}$ （—表示沉降，+表示隆起）的数量约占监测点总数的 93.1% 。

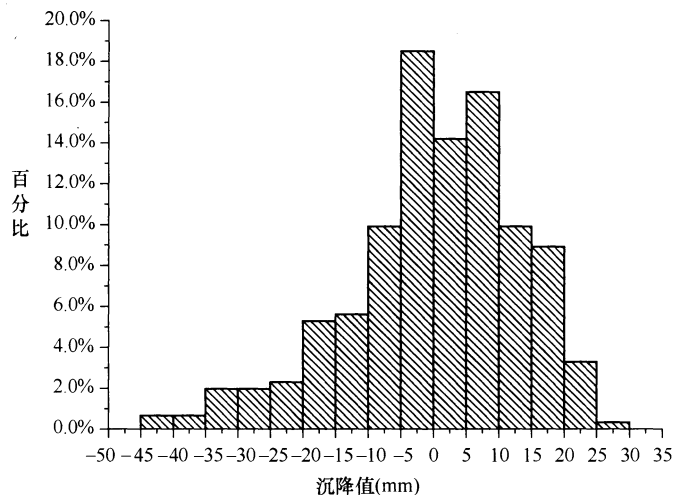
从图 9（b）中可以看出，29 个工点中桩（墙）顶最大隆起约为 $0.14\% H$ ，最大沉降约为 $0.18\% H$ 。

根据统计结果，桩（墙）顶竖向位移最大变化速率的最大值为 4.8mm/d ，大部分工程监测点最大变化速率在 2mm/d 以内。

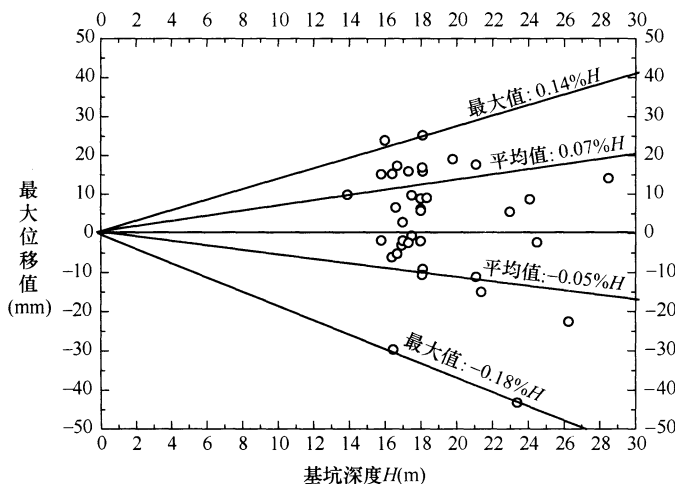
根据统计结果，桩（墙）顶的竖向位移应按沉降和隆起分别控制。支护桩（墙）顶沉降按 -30mm 、 $0.3\% H$ 进行控制，隆起按 $+20\text{mm}$ 进行控制，变化速率按 4mm/d 进行控制，对绝大多数工程都能够满足安全控制的要求。

根据监测项目控制值的确定原则和上述统计结果；并结合相关规范的规定，针对不同工程监测等级的安全控制要求，本规范推荐的支护桩（墙）顶沉降控制值为：一级基坑累计值 $10\text{mm} \sim 25\text{mm}$ ，相对基坑深度（ H ）值 $0.1\% H \sim 0.15\% H$ ，变化速率 $2\text{mm/d} \sim 3\text{mm/d}$ ；二级、三级基坑累计值 $20\text{mm} \sim 30\text{mm}$ ，相对

基坑深度 (H) 值 $0.15\% H \sim 0.3\% H$, 变化速率 $3\text{mm/d} \sim 4\text{mm/d}$ 。各等级基坑隆起控制值均为 20mm 。



(a) 29个工点303个监测点的最终竖向位移分布频率直方图



(b) 29个工点最大竖向位移与基坑深度的关系

图9 基坑桩(墙)顶竖向位移统计图

2) 支护桩（墙）顶水平位移

①相关规范的规定

现行国家标准《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497 规定的桩（墙）顶水平位移控制值为 25mm~70mm，上海地区规定的控制值为 25mm~60mm。

②实测统计结果

对 73 个工点的支护桩（墙）顶水平位移监测统计结果见图 10。统计结果显示，无论坚硬~中硬土地区还是中软~软弱土地区的支护桩（墙）顶均出现向基坑内、外的水平位移，其位移量不是很大且位移量的大小与基坑深度没有明显的关系。

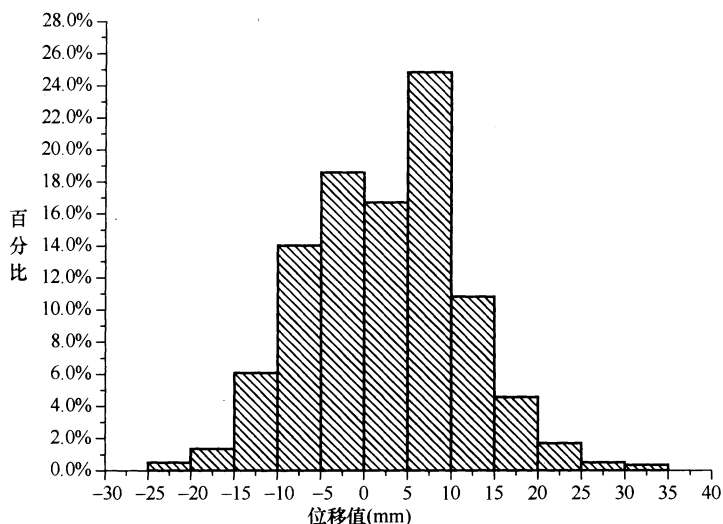
从图 10 中可以看出，坚硬~中硬土地区 49 个工点的 592 个监测点中实测数值分布在 -15mm~+35mm（-表示向基坑外的水平位移，+表示向基坑内的水平位移）的监测点数量约占监测点总数的 98.2%，中软~软弱土地区 24 个工点的 311 个监测点中实测数值分布在 -15mm~+40mm 的监测点数量约占监测点总数的 93.9%。

根据统计结果，桩（墙）顶水平位移最大变化速率的最大值为 4.4mm/d，大部分工程监测点最大变化速率在 2mm/d 以内。

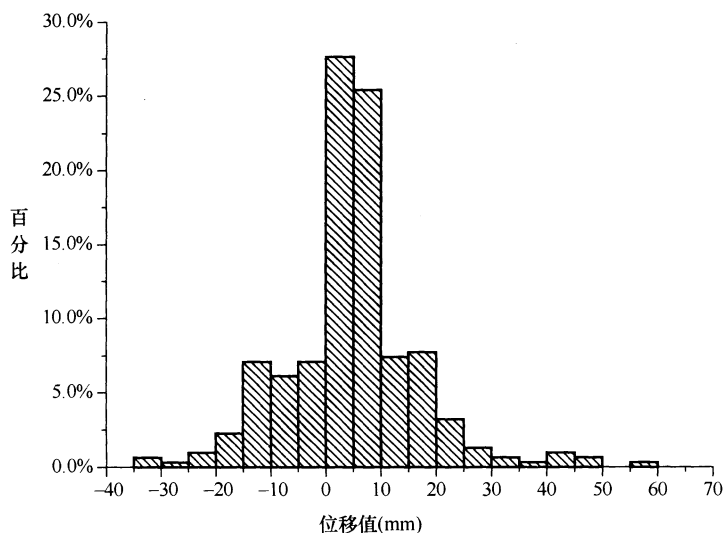
无论坚硬~中硬土地区还是中软~软弱土地区的桩（墙）顶向基坑内的水平位移按 +40mm 进行控制，变化速率按 4mm/d 进行控制，对绝大多数工程都能够满足安全控制的要求。

从图 10（a）中可以看出，基坑支护桩（墙）顶存在向基坑外水平位移的现象，但由于向基坑外的水平位移原因复杂，控制值的确定应结合支护结构形式、支撑轴力的大小和岩土条件。

根据监测项目控制值的确定原则和上述统计结果，并结合相关规范的规定，针对不同工程监测等级的安全控制要求，本规范推荐的支护桩（墙）顶水平位移控制值为：一级基坑累计值 15mm~25mm，相对基坑深度（ H ）值 $0.1\%H \sim 0.15\%H$ ；变化速率 2mm/d~3mm/d；二级基坑累计值 20mm~30mm，相对基坑深度（ H ）值 $0.15\%H \sim 0.3\%H$ ，变化速率 3mm/d~



(a) 49个工点592个监测点（坚硬土~中硬土地区）



(b) 24个工点311个监测点（中软~软弱土地区）

图 10 73 个工点基坑桩（墙）顶最终水平位移分布频率直方图

4mm/d；三级基坑累计值 20mm~40mm，相对基坑深度（ H ）值 $0.2\%H \sim 0.4\%H$ ，变化速率 3mm/d~4mm/d。

当需对基坑桩（墙）顶向基坑外的水平位移进行控制时，建议控制值为 15mm。

3）支护桩（墙）体水平位移

①相关规范的规定

现行国家标准《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497 规定的桩（墙）体水平位移控制值：地下连续墙为 40mm~90mm，灌注桩为 45mm~80mm；北京地区规定的控制值为 30mm~50mm，上海地区规定的控制值为 45mm~80mm，广东地区规定的控制值为 30mm~150mm。

②实测统计结果

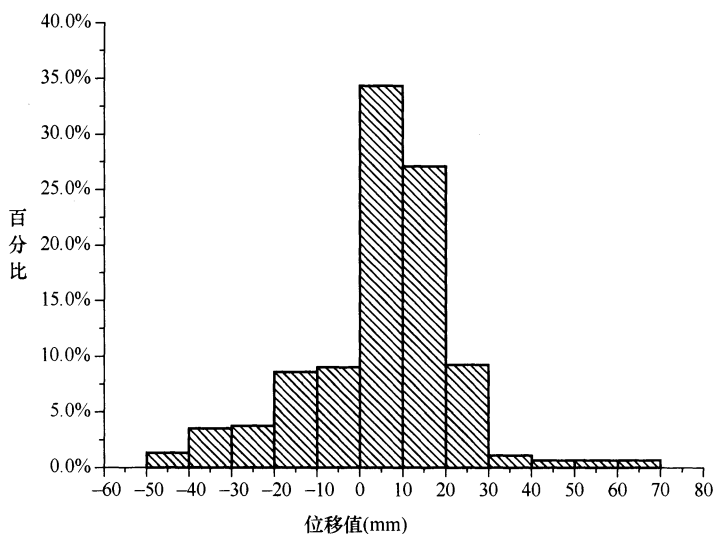
对 76 个工点的支护桩（墙）体水平位移监测统计结果见图 11，74 个工点的桩（墙）最大水平位移与基坑深度 H 的关系见图 12。

从图 11（a）中可以看出，坚硬~中硬土地区的基坑支护桩（墙）体存在向基坑内、外的水平位移，47 个工点 454 个监测点的支护桩（墙）体水平位移值在 $-15\text{mm} \sim +40\text{mm}$ （-表示向基坑外的水平位移，+表示向基坑内的水平位移）的监测点数量约占监测点总数的 89.4%。从图 12（a）中可以看出，45 个工点的最大桩（墙）体水平位移的平均值约为 $0.11\%H$ ，最大值约为 $0.22\%H$ 。

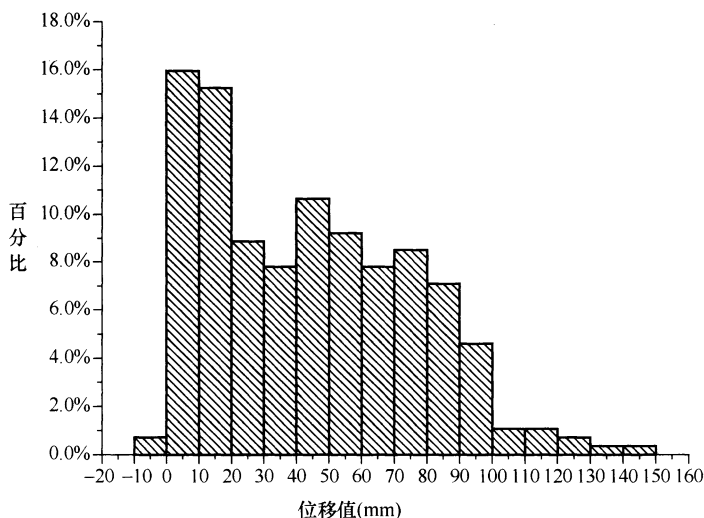
根据统计结果，坚硬土~中硬土地区桩（墙）体水平位移的最大变化速率多在 2mm/d~3mm/d，变化速率最大值为 3.4mm/d。

坚硬~中硬土地区支护桩（墙）体向基坑内的水平位移按 $+40\text{mm}$ 、 $0.20\%H$ 进行控制，变化速率按 5mm/d 进行控制，对绝大多数工程都能够满足安全控制的要求。

从图 11（a）中可以看出，坚硬~中硬土地区基坑支护桩（墙）体存在向基坑外水平位移的现象，但位移量相对较小。由

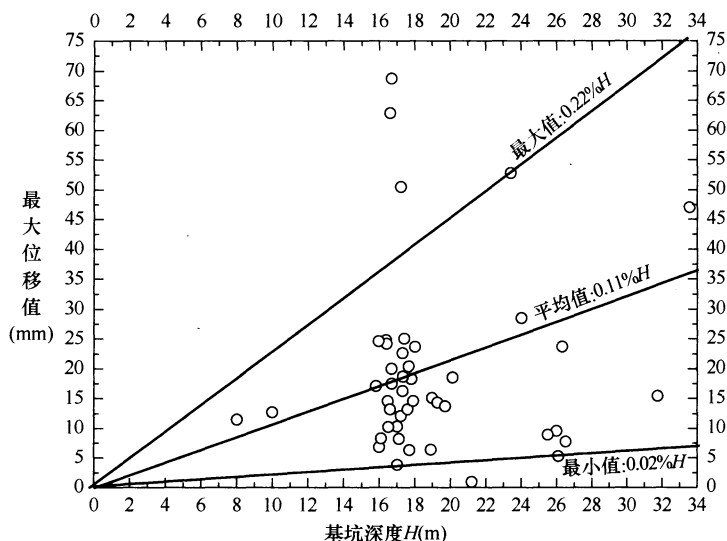


(a) 47个工点454个监测点（坚硬土~中硬土地区）

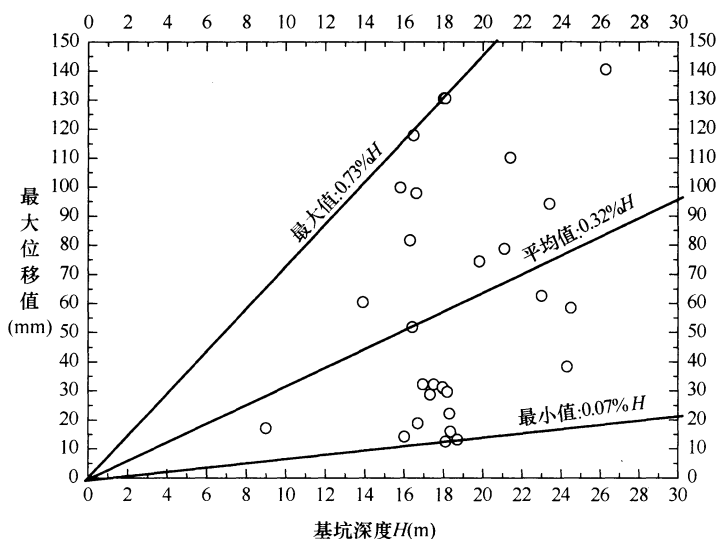


(b) 29个工点282个监测点（中软~软弱土地区）

图 11 76 个工点基坑桩（墙）体最终
水平位移分布频率直方图



(a) 45个工点（坚硬~中硬土地区）



(b) 29个工点（中软~软弱土地区）

图 12 74 个工点桩（墙）最大水平位移与基坑深度的关系

于向基坑外的水平位移原因复杂，控制值的确定应结合支护结构形式、支撑轴力的大小和岩土条件。

从图 11 (b) 中可以看出，中软～软弱土地地区的基坑支护桩（墙）体水平位移分布频率直方图与坚硬～中硬土地地区相比具有明显差异，主要表现为向基坑内的水平位移，且位移量比坚硬～中硬土地地区的位移量相对较大。29 个工点 282 个监测点的支护桩（墙）体水平位移值在 $0\text{mm} \sim +70\text{mm}$ 的监测点数量约占监测点总数的 76.2%。从图 12 (b) 中可以看出，29 个工点的最大桩（墙）水平位移变化范围约为 $0.07\% H \sim 0.73\% H$ ，平均值约为 $0.32\% H$ 。

根据统计结果，中软～软弱土地地区桩（墙）体水平位移的最大变化速率多在 5mm/d 以内，变化速率最大值为 8.6mm/d 。

中软～软弱土地地区支护桩（墙）体向基坑内的水平位移按 $+70\text{mm}$ 、 $0.70\% H$ 进行控制，变化速率按 6mm/d 进行控制，对大多数工程都能够满足安全控制的要求。

城市轨道交通基坑工程一般深、大且周边环境复杂，对支护桩（墙）体的变形要求严格。根据监测项目控制值的确定原则和上述统计结果，并结合相关规范的规定，针对不同工程监测等级的安全控制要求，本规范推荐的坚硬～中硬土地地区支护桩（墙）体水平位移控制值为：一级基坑累计值 $20\text{mm} \sim 30\text{mm}$ ，相对基坑深度（ H ）值 $0.15\% H \sim 0.2\% H$ ，变化速率 $2\text{mm/d} \sim 3\text{mm/d}$ ；二级基坑累计值 $30\text{mm} \sim 40\text{mm}$ ，相对基坑深度（ H ）值 $0.2\% H \sim 0.4\% H$ ，变化速率 $3\text{mm/d} \sim 4\text{mm/d}$ ；三级基坑累计值 $30\text{mm} \sim 40\text{mm}$ ，相对基坑深度（ H ）值 $0.2\% H \sim 0.4\% H$ ，变化速率 $4\text{mm/d} \sim 5\text{mm/d}$ 。

当需对坚硬～中硬土地地区基坑桩（墙）体向基坑外的水平位移进行控制时，建议控制值为 15mm 。

本规范推荐的中软～软弱土地地区支护桩（墙）体水平位移控制值为：一级基坑累计值 $30\text{mm} \sim 50\text{mm}$ ，相对基坑深度（ H ）值 $0.2\% H \sim 0.3\% H$ ，变化速率 $2\text{mm/d} \sim 4\text{mm/d}$ ；二级基坑累

计值 40mm~60mm, 相对基坑深度 (H) 值 $0.3\%H \sim 0.5\%H$, 变化速率 3mm/d~5mm/d; 三级基坑累计值 50mm~70mm, 相对基坑深度 (H) 值 $0.5\%H \sim 0.7\%H$, 变化速率 4mm/d~6mm/d。

4) 地表沉降

① 相关规范的规定

现行国家标准《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497 规定的地表沉降控制值为 25mm~65mm, 北京地区规定的控制值为 30mm~50mm, 上海地区规定的控制值为 25mm~60mm, 广东地区规定的控制值为 20mm~40mm。

② 实测统计结果

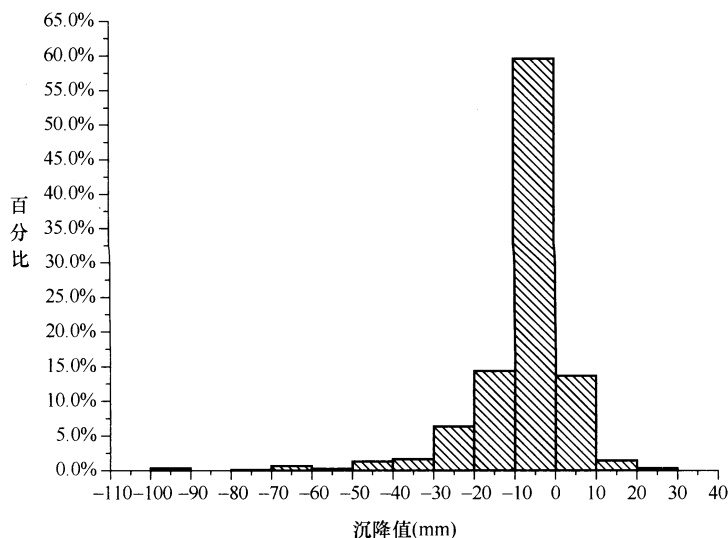
基坑工程地表沉降主要统计沉降变形较大的与基坑边缘最近的两排监测点, 对 67 个工点的地表沉降监测统计结果见图 13, 63 个工点的最大地表沉降与基坑深度 H 的关系见图 14。

从图 13 (a) 中可以看出, 坚硬~中硬土地区基坑周边地表同时出现沉降和隆起现象, 36 个工点 912 个监测点的地表沉降值分布在 -40mm~+20mm (-表示沉降, +表示隆起) 的监测点数量约占监测点总数的 97.0%。从图 14 (a) 中可以看出, 32 个工点的实测结果表明最大地表隆起约为 $0.11\%H$; 最大地表沉降的平均值约为 $0.09\%H$, 最大地表沉降值约为 $0.18\%H$ 。

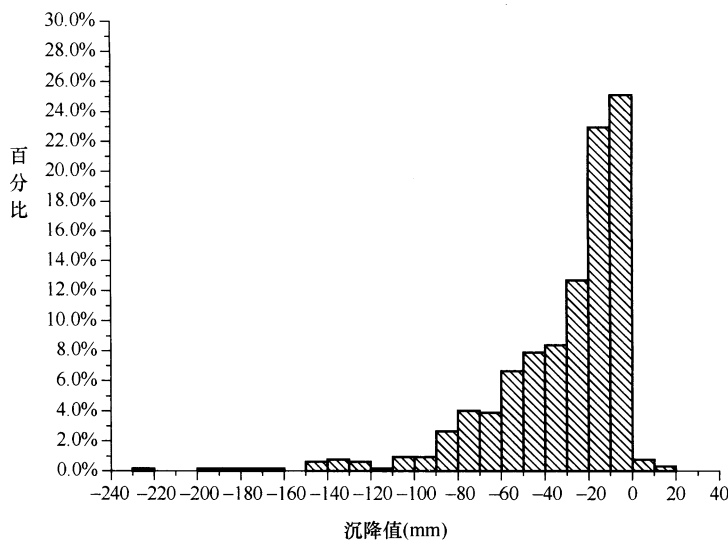
根据统计结果, 坚硬~中硬土地区地表沉降的最大变化速率多在 2mm/d~3mm/d, 变化速率最大值为 4.4mm/d。

坚硬~中硬土地区地表沉降按 -40mm 和 $0.20\%H$ 进行控制, 变化速率按 4mm/d 进行控制, 对绝大多数工程都能够满足安全控制的要求。

从图 13 (b) 中可以看出, 中软~软弱土地区的基坑周边地表变形分布频率直方图与坚硬~中硬土地区相比具有明显差异, 主要表现为沉降, 且沉降量比坚硬~中硬土地区的沉降量相对较大。31 个工点 646 个监测点的地表沉降实测数值在 -60mm~0mm 的监测点数量约占监测点总数的 83.6%。从图 14 (b) 中



(a) 36个工点912个监测点（坚硬土~中硬土地区）



(b) 31个工点646个监测点（中软~软弱土地区）

图 13 67 个工点最终地表沉降分布频率直方图

可以看出，31 个工点的最大地表沉降变化范围约为 $0.07\%H \sim 0.83\%H$ ，平均值约为 $0.33\%H$ 。

根据统计结果，中软～软弱土地区地表沉降的最大变化速率多在 $2\text{mm/d} \sim 3\text{mm/d}$ ，变化速率最大值为 7.6mm/d 。

中软～软弱土地区地表沉降按 -60mm 和 $0.60\%H$ 进行控制，变化速率按 6mm/d 进行控制，对绝大多数工程都能够满足安全控制的要求。

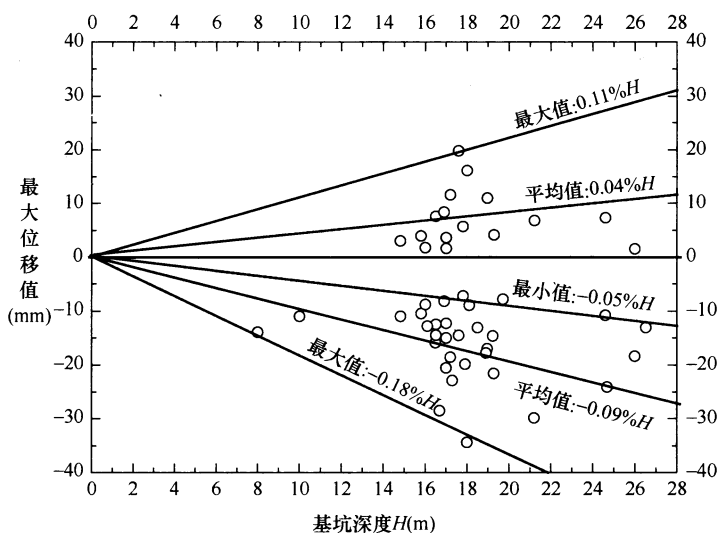
根据监测项目控制值的确定原则和上述统计结果，并结合相关规范的规定，针对不同工程监测等级的安全控制要求，本规范推荐的坚硬～中硬土地区地表沉降控制值为：一级基坑累计值 $20\text{mm} \sim 30\text{mm}$ ，相对基坑深度（ H ）值 $0.15\%H \sim 0.2\%H$ ，变化速率 $2\text{mm/d} \sim 4\text{mm/d}$ ；二级基坑累计值 $25\text{mm} \sim 35\text{mm}$ ，相对基坑深度（ H ）值 $0.2\%H \sim 0.3\%H$ ，变化速率 $2\text{mm/d} \sim 4\text{mm/d}$ ；三级基坑累计值 $30\text{mm} \sim 40\text{mm}$ ，相对基坑深度（ H ）值 $0.3\%H \sim 0.4\%H$ ，变化速率 $2\text{mm/d} \sim 4\text{mm/d}$ 。

当需对坚硬～中硬土地区基坑周边地表隆起进行控制时，建议控制值为 20mm 。

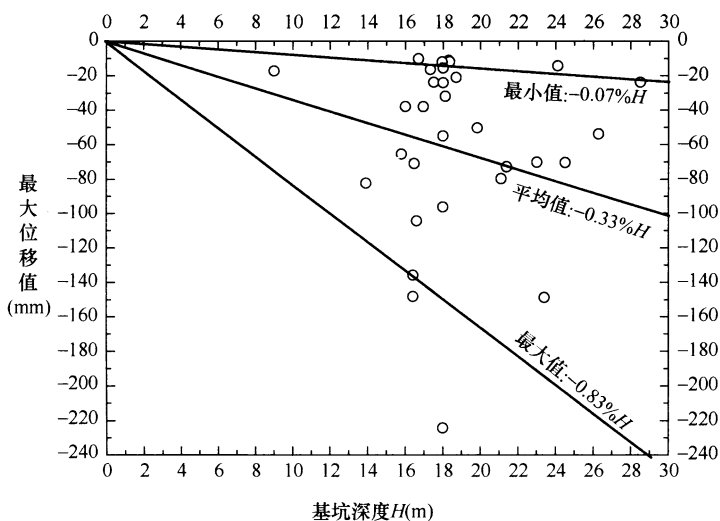
本规范推荐的中软～软弱土地区地表沉降控制值为：一级基坑累计值 $20\text{mm} \sim 40\text{mm}$ ，相对基坑深度（ H ）值 $0.2\%H \sim 0.3\%H$ ，变化速率 $2\text{mm/d} \sim 4\text{mm/d}$ ；二级基坑累计值 $30\text{mm} \sim 50\text{mm}$ ，相对基坑深度（ H ）值 $0.3\%H \sim 0.5\%H$ ，变化速率 $3\text{mm/d} \sim 5\text{mm/d}$ ；三级基坑累计值 $40\text{mm} \sim 60\text{mm}$ ，相对基坑深度（ H ）值 $0.4\%H \sim 0.6\%H$ ，变化速率 $4\text{mm/d} \sim 6\text{mm/d}$ 。

综合各类技术规范的规定和实测数据统计分析结果，本条款给出了基坑工程不同监测项目的控制值，其中地表沉降和支护桩（墙）体水平位移根据工程场地土类型的不同，分别给出了监测项目控制值。由于监测等级为三级的基坑工程案例和实测数据较少，其监测项目控制值主要参照二级基坑工程确定，并进行了适当调整。

城市轨道交通工程中支护结构采用土钉墙、型钢水泥土墙的



(a) 32个工点 (坚硬~中硬土地区)



(b) 31个工点 (中软~软弱土地区)

图 14 63 个工点最大地表沉降与基坑深度的关系

基坑工程较少，实测数据也较少，专题研究未收集到相应的案例和实测数据，其监测项目控制值的确定结合了其他相关规范。

根据基坑工程支撑构件、锚杆等的受力特点和设计要求，其监测项目控制值按最大值和最小值分别进行控制。支撑轴力、锚杆拉力实测值处于控制值的最大值和最小值之间才能保证其功能的正常发挥和工程结构整体的安全。本规范选取构件承载能力设计值以及支撑构件、锚杆预应力设计值的百分比作为监测项目控制值。

2 盾构法隧道管片结构竖向位移、净空收敛和地表沉降控制值

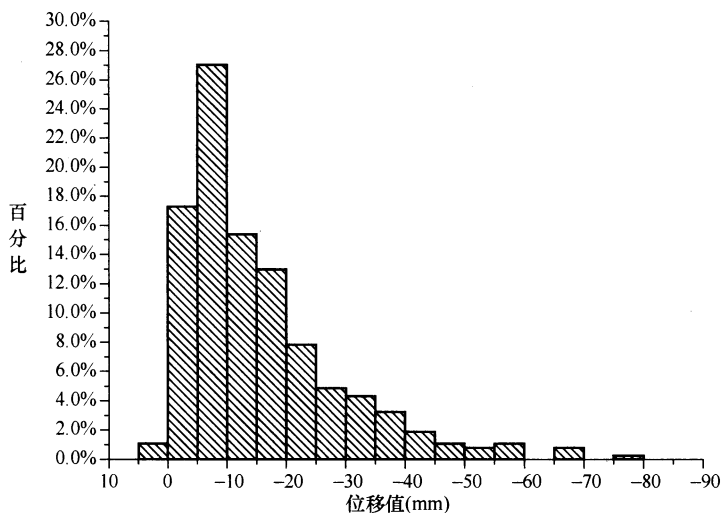
盾构隧道施工过程中管片结构变形及岩土体位移与工程所处范围内的工程地质水文地质条件、周围环境条件及盾构施工参数等密切相关。盾构隧道监测项目控制值应首先结合当地工程特点，经工程类比和分析计算后确定。当无地方经验时可参照本规范确定监测项目控制值。

条文中表 9.2.2-1 和表 9.2.2-2 的监测项目控制值，是在对全国各地大量实际工程案例开展专题研究的基础上，结合相关规范确定。

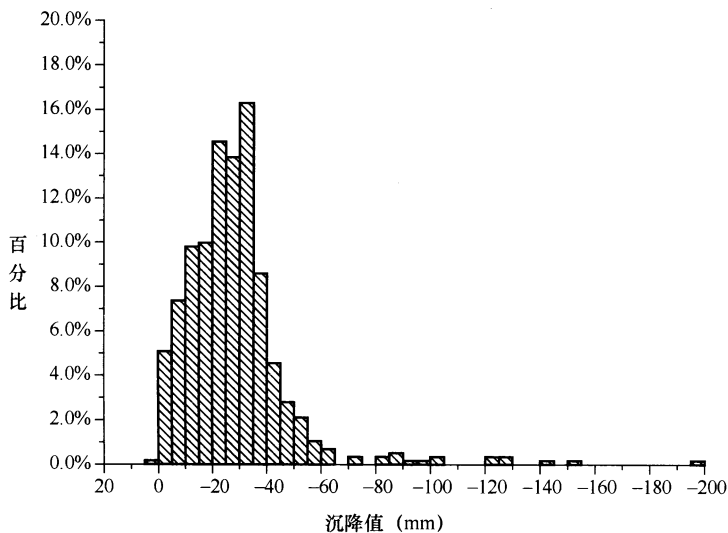
北京地区规定的盾构法隧道地表沉降控制值为 -30mm ，地表隆起控制值为 $+10\text{mm}$ 。

盾构法隧道地表沉降（隆起）监测控制值专题研究收集了北京、杭州、宁波、昆明、上海、无锡和郑州等 7 个城市的 13 条线路、36 个工点的实测资料。对 32 个标准断面盾构隧道的实测统计结果见图 15。

盾构隧道地表沉降主要统计隧道轴线上方的地表监测点，统计实测结果表明，盾构法隧道地表沉降一般在中软～软弱土地区的变形较大，约 90.2% 的监测点沉降实测值在 -45mm 以内；坚硬～中硬土地区约 94.1% 的监测点沉降实测值在 -40mm 以内，隆起实测值多在 $+10\text{mm}$ 以内。本规范条文根据不同工程监测等级的安全控制要求，针对标准断面盾构隧道地表沉降给出了累计变化控制值。



(a) 20个工点370个监测点（坚硬土~中硬土地区）



(b) 12个工点571个监测点（中软~软弱土地区）

图 15 32 个标准断面盾构隧道最终地表沉降分布频率直方图

综合各类技术规范要求和实测数据统计分析结果，本条款给出了盾构法隧道工程监测项目控制值，其中地表沉降（隆起）根据工程场地土类型的不同，分别给出了监测项目控制值。

盾构法隧道其他监测项目控制值是结合国家现行标准《盾构法隧道施工与验收规范》GB 50446 和《高速铁路隧道工程施工质量验收标准》TB 10753 等规范确定。

3 矿山法隧道支护结构变形、地表沉降控制值

矿山法车站一般开挖断面较大，施工步骤多，地表变形控制比矿山法区间隧道困难得多。本规范分别对区间隧道和车站给出不同的控制值，对于渡线段、风道、联络通道等隧道可根据工程具体情况参照选取相关的控制值。条文中表 9.2.3-1 和表 9.2.3-2 的监测项目控制值，主要是在对全国部分城市大量实际工程案例开展专题研究的基础上，结合相关规范确定。

北京地区规定的矿山法区间地表沉降控制值为 -30mm ，车站地表沉降控制值为 -60mm 。

矿山法隧道地表沉降监测控制值专题研究收集了北京、西安、郑州和南京等 4 个城市的 8 条线路、37 个工点的实测资料。矿山法隧道地表沉降主要统计隧道轴线上方的地表监测点，统计实测结果表明，车站地表沉降变形最大，北京地区 11 个车站的最大地表沉降为 $-31.0\text{mm} \sim -112.2\text{mm}$ ，平均值为 -80.3mm 。由于地质条件、开挖方式、单层或多层结构形式等因素的不同，矿山法隧道地表最终沉降差异较大，本规范结合相关地方标准和实测统计结果确定了矿山法车站地表沉降控制值。

对北京和西安地区 21 个标准断面区间的实测统计结果见图 16，从图中可以看出，在 350 个监测点中约 97.7% 的监测点实测值在 40mm 以内。依据统计结果并结合相关规范，矿山法区间地表沉降按 40mm 进行控制对绝大多数工程都能够满足要求。本规范条文根据不同工程监测等级的安全控制要求，针对矿山法标准断面区间地表沉降给出了累计变化控制值。

综合各类技术规范要求和实测数据统计分析，给出了矿山法

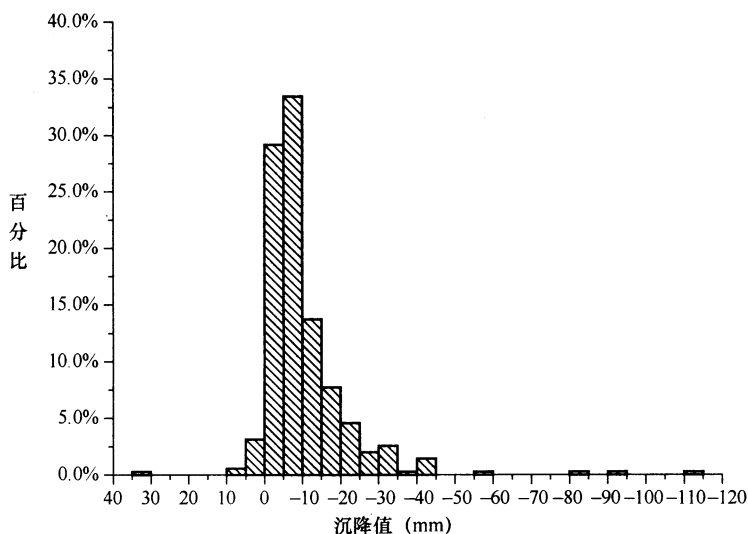


图 16 21 个标准断面矿山法区间最终地表沉降
分布频率直方图 (350 个监测点)

隧道工程监测项目控制值，其中地表沉降按车站、区间分别给出了监测项目控制值。

矿山法隧道其他监测项目控制值是结合国家现行标准《锚杆喷射混凝土支护技术规范》GB 50086、《铁路隧道施工规范》TB 10204 和《公路隧道施工技术规范》JTG/T F60 等相关规范确定。

9.3 周边环境

9.3.1 建（构）筑物允许的变形由其自身特点和已有变形决定，工程监测项目控制值与其自身的使用功能、建筑规模、修建年代、结构形式、基础类型和地基条件密切相关。建（构）筑物与工程的空间位置关系决定了其所受工程的影响程度，影响程度的确定应考虑两者之间的空间位置关系。对于建设年代久远的建（构）筑物、存在病害的危险建（构）筑物或国家级文物等特殊

建（构）筑物的控制值确定应特别慎重，一般通过专项评估确定监测项目控制值。

对于新建或一般性的建（构）筑物的监测项目控制值可以依据现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 中的有关规定进行确定，但应考虑建（构）筑物已发生的变形。

建（构）筑物监测项目控制值专题研究收集了国家现行标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007、《民用建筑可靠性鉴定标准》GB 50292、《危险房屋鉴定标准》JGJ 125 和《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497 等相关规范，建（构）筑物监测项目控制值的现有研究成果，以及国内主要轨道交通建设城市中 114 栋建筑的沉降监测成果。

统计实测结果表明，中低层建筑的沉降变化较大，高层、超高层的变形一般较小。综合各类技术规范的规定、已有研究成果和实测数据统计分析，给出了一般建（构）筑物的监测项目控制值，以供各地参考。

9.3.2 桥梁允许的变形由其自身特点和已有变形决定，监测项目控制值与其自身的规模、结构形式、基础类型、建筑材料、养护情况等密切相关，桥梁与工程的空间位置关系决定了其所受工程的影响程度。

桥梁监测项目控制值专题研究收集了国家现行标准《地铁设计规范》GB 50157、《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG D63、《公路桥涵养护规范》JTG H11、《铁路桥涵设计基本规范》TB10002.1 和《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB 10002.5 等相关规范，关于桥梁监测项目控制值的现有研究成果，以及国内主要轨道交通建设城市 29 架桥梁的沉降监测成果。

统计实测结果表明，桥梁沉降实测变形较小，监测点实测值多在 15mm 以内，这与桥梁采用桩基础和工程施工过程中注重采取有效控制措施有关。

9.3.3 地下管线允许的变形由其自身特点和已有变形决定，监测项目控制值与其自身的功能、材质、工作压力、管径、接口形

式、埋置深度、铺设方法、铺设年代等密切相关，地下管线与工程的空间位置关系决定了其所受工程的影响程度。

地下管线监测项目控制值专题研究收集了现行国家标准《给水排水工程管道结构设计规范》GB 50332、《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268 和《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497 等相关规范，地下管线监测项目控制值的现有研究成果，以及国内主要轨道交通建设城市 185 条地下管线的沉降监测成果。实测资料中地下管线多以地表间接监测点进行监测，坚硬～中硬土地区监测点实测值多在 30mm 以内，中软～软弱土地区监测点实测值稍大一些。

20 条地下管线的直接监测结果表明，部分地下管线的整体沉降较大，但其差异沉降（倾斜率）未超过控制要求，管体未出现明显的损坏。因此，整体沉降对地下管线的影响较小，应注重地下管线的差异沉降（倾斜率）的控制。

综合各类技术规范要求、已有研究成果和实测数据统计分析，给出了不同功能类型地下管线的监测项目控制值，以供各地参考。

9.3.4 高速公路与城市道路监测项目控制值专题研究收集了国家现行标准《城镇道路养护技术规范》CJJ 36、《公路养护技术规范》JTG H10、《公路技术状况评定标准》JTG H20、《公路沥青路面养护技术规范》JTJ 073.2 和《公路水泥混凝土路面养护技术规范》JTJ 073.1 等相关规范和相关沉降监测成果。

高速公路与城市道路沉降主要是道路路基的沉降，综合各类技术规范要求和实测变形情况，根据道路等级的不同，给出了道路路基沉降的监测项目控制值，以供各地参考。

9.3.5 城市轨道交通既有有线监测项目控制值的确定，一般都是在现状调查的基础上通过专项评估确定，同时也要遵循运营管理部门的意见。

城市轨道交通既有有线监测项目控制值专题研究收集了现行国家标准《地铁设计规范》GB 50157 和北京、上海等地的城市轨

道交通既有线养护、保护标准，以及一些实测变形监测成果。综合各类技术规范要求和实测变形情况，给出了城市轨道交通既有隧道结构变形的监测项目控制值，以供各地参考。

9.3.6 既有铁路监测项目控制值主要依据现行行业标准《铁路轨道工程施工质量验收标准》TB 10413 和《铁路线路维修规则》（铁运〔1999〕146 号）中的有关规定确定。对于高速铁路等特殊的既有铁路线，其过大变形的影响后果极为严重，需通过专项评估确定监测项目控制值，并应满足既有铁路运营单位的要求。

9.3.7 现行国家标准《爆破安全规程》GB 6722 中规定地面建筑的爆破振动判据，采用保护对象所在地质点峰值振动速度和主振频率；**水工隧道、交通隧道、电站（厂）中心控制室设备、新浇大体积混凝土的爆破振动判据**，采用保护对象所在地质点峰值振动速度。安全允许标准见表 12。

表 12 爆破振动安全允许标准

保护对象类别	安全允许振速 (cm/s)		
	<10Hz	10Hz ~50Hz	50Hz~100Hz
土窑洞、土坯房、毛石房屋	0.5~1.0	0.7~1.2	1.1~1.5
一般砖房、非抗震的大型砌块建筑物	2.0~2.5	2.3~2.8	2.7~3.0
钢筋混凝土结构房屋	3.0~4.0	3.5~4.5	4.2~5.0
一般古建筑与古迹	0.1~0.3	0.2~0.4	0.3~0.5
水工隧道	7~15		
交通隧道	10~20		
水电站及发电厂中心控制室设备	0.5		
新浇大体积混凝土	2.0~3.0 3.0~7.0 7.0~12		
龄期：初凝~3d			
龄期：3d ~7d			
龄期：7d ~28d			

注：1 表列频率为主振频率，系指最大振幅所对应波的频率。

2 频率范围可根据类似工程或现场实测波形选取。选取频率时亦可参考下列数据：深孔爆破 10Hz ~60Hz，浅孔爆破 4Hz ~100Hz。

3 有特殊要求的根据现场具体情况确定。

10 线路结构变形监测

10.1 一般规定

10.1.1 受工程地质条件、施工方法和施工过程中诸多不确定因素的影响，以及运营期间列车动荷载和邻近工程施工的影响，城市轨道交通线路结构在其施工及运营期间会发生不同程度的位移变形，往往会影响到线路结构安全和列车运营安全。因此，在施工及运营阶段，为保证线路结构安全和运营安全，应对线路中的隧道、高架桥梁、路基和轨道结构及重要的附属结构等进行变形监测，为线路维护提供监测数据资料。

10.1.2 线路结构的变形监测主要为保证线路结构安全和运营安全提供监测数据资料，监测方案的编制应满足线路结构安全和运营安全管理的实际要求。监测方案的内容也应包括监测项目、监测范围、布点要求、监测方法、监测期与频率、现场监测作业时段、人员设备进出场要求等。监测方案中宜考虑监测工作的连续性、系统性，可以将施工过程中的线路结构监测项目延续作为运营阶段线路结构的监测项目。

10.2 线路结构监测要求

10.2.1 线路结构的沉降缝和变形缝，车站与区间、区间与联络通道及附属结构与线路结构等衔接处容易产生竖向位移或差异沉降，道岔区和曲线地段出现沉降会更影响运营安全，不良地质区域容易使线路结构产生变形，因此，这些部位是线路结构监测的重要部位，必须有监测点或监测断面控制。

10.2.3 考虑到监测数据的连续性、变形可对比性和监测工作的经济性，应充分利用施工阶段的监测点开展延续项目的监测工作。监测基准点也应尽量利用施工阶段布置的基准点，当基准点

的位置或数量不能满足现场观测要求时可重新埋设，其位置和数量要根据整条线路情况统筹考虑。线路结构变形监测中采用的监测点应保证可靠、稳定，基准点或监测点被破坏时要及时恢复。

10.2.4 因地质条件、结构形式、周边环境及施工方法的不同，各地及不同区段等轨道交通线路结构达到完全稳定的持续时间有很大的差异，沉降速率和最终沉降量也各不相同。因此，线路结构的监测频率可以根据各自的实际情况确定，以能够及时、准确、系统地反映线路结构变形为确定原则。

11 监测成果及信息反馈

11.0.1 城市轨道交通工程监测成果主要包括现场实测资料和室内数据处理成果两大类。通过仪器监测、现场巡查和远程视频监控等手段获得各类现场实测资料后，需及时进行计算、分析和整理工作，将现场实测资料转化为完整、清晰的分析、处理成果。室内数据处理成果可以采用图表、曲线等直观且易于反映工程安全问题的表现形式，同时对相关图表、曲线也应附必要的文字说明。在某个阶段或整个过程的监测工作完成后，应形成书面文字报告，对该阶段或整个监测工作进行总结、分析，提出相关分析结论和建议。

11.0.2 工程现场仪器监测应将不同监测项目的实测结果记录到规定的表格中，以便于监测数据的清晰记录和后续的计算、对比和分析。全站仪等可以自动记录现场监测数据的监测仪器，应保存相应的电子数据资料，以便于实测数据的复核和比对，防止实测出现纰漏。现场巡查工作应填写巡查记录表格，将实际巡视检查结果言简意赅地进行记录。远程视频监控应保存好视频监控录像资料，填写相关视频成果保存记录，便于远程视频监控成果的查找和调用。

现场监测资料应与工程实际情况相结合，描述线路名称、合同段、工点名称、施工工法、施工进度等工况资料，以使监测成果与实际工程情况更好地结合，便于分析监测对象的安全状态。

11.0.3 现场监测工作会受自然环境条件变化（气候、天气等）和人为因素（施工损坏监测点等）的影响，仪器监测成果可能因为监测仪器、设备、元器件和传感器等问题出现偏差，当传感器受施工影响出现故障或损坏时，可能给出错误的监测数据。因此，完成现场监测后，应对各类资料进行整理、分析和校对。当

发现监测数据波动较大时，应分析是监测对象实际变化还是监测点或监测仪器问题所致。难以确定原因时，应进行复测，防止错误的监测数据影响监测成果的质量。

11.0.4 监测数据采集完成后应及时计算或换算监测对象的累计变化值和变化速率值，以分析判断监测对象的安全状态及发展变化趋势。监测数据的时程曲线可直观、形象地反映监测对象的位移或内力的发展变化趋势及过程，依此判断监测对象的安全状态和发展变化情况。因此，各类监测数据均应及时绘制成相应的时程曲线。监测断面曲线图、等值线图等可以反映监测断面或监测区域的整体变化，以及不同监测部位之间的相互联系及内在规律，对整体分析工程安全状态起着很好的作用。

11.0.5 监测报告根据监测时间阶段和监测结果报告的及时性分为日报、警情快报、阶段性报告和总结报告。各类监测报告均应以表格、图形等“形象化、直观化”的表达形式表示出监测对象的安全状态变化情况，以便于相关人员及专家的分析与判断。

- 1) 日报是反映监测对象变形、变化的最直接、最简单的报告形式，是实现信息化施工的重要依据。当日监测工作完成后，监测人员应及时整理、分析各类监测信息，确保当日监测成果的正确性。形成日报后，及时反馈给相关单位，以保证信息化施工的顺利开展。
- 2) 工程出现各类警情异常时，对警情的时间、地点、情况描述、严重程度、施工工况等警情基本信息进行描述，结合监测结果对警情原因进行初步判断，并提出相应的处理措施建议。警情快报应迅速上报相关单位和管理部门，以使警情得到及时、有效的处理。
- 3) 监测工作持续一段时间后，监测人员应对该阶段的监测工作进行总结，形成阶段性报告，反馈给相关单位。阶段性报告是某一段时间内各类监测信息、监测分析成果的较深入的总结和分析。综合分析后得出该阶段内监测工点各个监测项目以及工程整体的变化规律、

发展趋势和评价，以便于为信息化施工提供阶段性指导。

- 4) 工程监测工作全部完成后，监测单位应向委托单位提交工程监测的总结报告。总结报告包括各类监测数据和巡查信息的汇总、分析与说明，对整个工程监测工作进行分析、评价，得出整体性监测结论与建议，为以后类似工程监测工作积累经验，以便于相关工程监测借鉴和参考。

11.0.6 随着城市轨道交通建设的不断开展，监测技术也得到了很大的进步。远程自动化监测系统、数据处理与信息管理系统软件等新技术应运而生。专业的信息管理软件便于监测数据的采集、处理、分析、查询和管理工作，可以将监测成果及时、准确地反馈给工程参建各方，提高监测成果的时效性。同时，监测成果可以及时、方便地形成时程曲线、断面曲线图、等值线图等可视化较强的图件，便于监测成果的分析、表达，为信息化施工提供了很好的技术支持。

11.0.7 各类监测成果报告应按固定格式要求完成编制，以便报告查阅人员可以及时、准确获得重点关注的信息。报告内容应包括本规范规定的基本内容，言简意赅地总结各类监测信息。监测日报、警情快报和阶段性报告主要为信息化施工服务，一般提交给建设、监理、设计等相关单位。而总结报告主要为总结工程监测效果，积累工程监测经验，可只提交给建设单位。