

北京市地方标准

DB

编号：DB11/T 490—2024

地铁工程监控量测技术规程

Technical specification for monitoring measurement
of subway engineering

2024—12—26 发布

2025—04—01 实施

北京市住房和城乡建设委员会
北京市市场监督管理局

联合发布

北京市地方标准

地铁工程监控量测技术规程
Technical specification for monitoring measurement
of subway engineering

编 号：DB11/T 490-2024

主编单位：北京市轨道交通建设管理有限公司
北京市建设工程安全质量监督总站
批准部门：北京市住房和城乡建设委员会
北京市市场监督管理局
实施日期：2025 年 04 月 01 日

2024 北 京

前 言

根据北京市市场监督管理局《2023 年北京市地方标准修订项目计划（第一批）》（京市监函〔2023〕5 号）的要求，规程编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考国内相关标准，并在广泛征求意见的基础上，修订本规程。

本规程的主要技术内容是：1 总则；2 术语；3 基本规定；4 明（盖）挖法施工监测；5 浅埋暗挖法施工监测；6 盾构法和顶管法施工监测；7 周边环境监测；8 监测方法；9 监测控制值；10 巡视；11 预警；12 监控量测成果与信息反馈；13 信息化管理系统。

本规程修订的主要技术内容是：

1. 增加工程影响分区，工程自身、环境风险等级，监控量测等级；
2. 修订监控量测项目，监测点布设，监测频率；
3. 增加汛期监测频率；
4. 增加暂停施工监测频率；
5. 修订监测控制值；
6. 补充完善监测方法及技术要求，自动化监测技术要求；
7. 增加“巡视、预警、信息化管理系统技术要求”等章节。

本规程由北京市住房和城乡建设委员会、北京市市场监督管理局共同负责管理，由北京市住房和城乡建设委员会归口、组织实施，并负责组织编制单位对具体技术内容进行解释。执行过程中如有意见和建议，请寄送北京市轨道交通建设管理有限公司（地址：北京市西城区百万庄大街甲 2 号，邮政编码：100037，电话：010-89027639）。

本规程主编单位：北京市轨道交通建设管理有限公司

北京市建设工程安全质量监督总站

本规程参编单位：北京交通大学

北京市市政工程研究院

北京城建设计发展集团股份有限公司

北京城建勘测设计研究院有限责任公司

中铁隧道勘察设计研究院有限公司

北京市勘察设计研究院有限公司

中国矿业大学（北京）

北京安捷工程咨询有限公司

北京市建设工程质量第三检测所有限责任公司

本规程主要起草人员：刘魁刚 魏吉祥 曹伍富 郭建斌

孙长军 王 霆 任雪峰 赵智涛

姚爱敏 张建坤 杨秀仁 刘继尧

王 华	张顶立	杨志勇	毛海超
房 倩	杨 勇	刘士海	吕培印
王金明	杜佳鹏	兰钰昌	刘 学
陈 林	王 智	唐明明	贺美德
林纯鹏	王 军	孙晓坤	郭秋实
王 赶	段清超	李东海	闫海生
陈昌彦	吴丽丽	张 一	侯建刚
张 恒	郭 昊	叶新丰	朱厚喜
穆成鹏	曹 震	蒋明伟	张 瑜
陈 川	王振方	邹 瑾	周 丹
王 尊	刘宇宸	杨开武	李倩倩
李 辉	郭小芳	张豫湘	毕 鹏
杨学惠	许一诺	毕景涛	王 强
本规程主要审查人员：	杨伯钢	雷丽英	石俊成
	戴永忠	白玉哲	田腾跃
			杨慧林

目 次

1 总 则..... 1

2 术 语..... 2

3 基本规定..... 4

 3.1 基本要求.....4

 3.2 工程影响分区及监控量测范围.....6

 3.3 监控量测等级划分.....8

4 明（盖）挖法施工监测..... 11

 4.1 一般规定.....11

 4.2 监测项目.....11

 4.3 监测点布设.....12

 4.4 监测频率.....15

5 浅埋暗挖法施工监测..... 18

 5.1 一般规定.....18

 5.2 监测项目.....18

 5.3 监测点布设.....19

 5.4 监测频率.....20

6 盾构法和顶管法施工监测..... 23

 6.1 一般规定.....23

 6.2 监测项目.....23

 6.3 监测点布设.....23

 6.4 监测频率.....25

7 周边环境监测..... 27

 7.1 一般规定.....27

 7.2 建（构）筑物.....27

 7.3 桥梁.....28

 7.4 地下管线.....28

 7.5 道路.....29

 7.6 既有轨道交通.....29

 7.7 地表水体及水利设施.....30

 7.8 综合管廊.....31

8 监测方法..... 32

 8.1 一般规定.....32

8.2 竖向位移监测 32

8.3 水平位移监测 34

8.4 净空收敛监测 35

8.5 支撑轴力、锚杆（索）拉力监测 35

8.6 倾斜监测 35

8.7 深层水平位移监测 36

8.8 结构应力监测 36

8.9 裂缝监测 37

8.10 轨道静态几何形位监测 37

8.11 孔隙水压力监测 37

8.12 地下水位监测 38

9 监测控制值 39

10 巡 视 40

10.1 一般规定 40

10.2 明（盖）挖法施工巡视 40

10.3 浅埋暗挖法施工巡视 40

10.4 盾构法和顶管法施工巡视 41

10.5 周边环境巡视 41

10.6 巡视频率 41

11 预 警 43

11.1 一般规定 43

11.2 监测预警 43

11.3 巡视预警 43

11.4 综合预警 43

12 监控量测成果与信息反馈 44

13 信息化管理系统 45

13.1 一般规定 45

13.2 施工安全风险监控系统技术要求 45

13.3 自动化监测系统技术要求 45

13.4 视频监控系统技术要求 46

附录 A 监测点布设 47

附录 B 现场巡视报表 51

附录 C 监测日报表 58

本规程用词说明 63

DB11/T 490-2024

引用标准名录.....	64
条文说明.....	65

Contents

1 General provisions	1
2 Terms	2
3 Basic requirements	4
3.1 Basic provisions	4
3.2 Engineering influence zoning and monitoring measurement scope	6
3.3 Monitoring and measurement grade division	8
4 Open cut method and cover cut method construction monitoring	11
4.1 General requirements	11
4.2 Monitoring items	11
4.3 Monitoring points layout	12
4.4 Monitoring frequency	15
5 Shallow tunneling method construction monitoring	18
5.1 General requirements	18
5.2 Monitoring items	18
5.3 Monitoring points layout	19
5.4 Monitoring frequency	20
6 Shield and pipe jacking method construction monitoring	23
6.1 General requirements	23
6.2 Monitoring items	23
6.3 Monitoring points layout	23
6.4 Monitoring frequency	25
7 Surrounding environment monitoring	27
7.1 General requirements	27
7.2 Buildings	27
7.3 Bridges	28
7.4 Underground pipelines	28
7.5 Roads	29
7.6 Existing urban rail transits	29
7.7 Surface water bodies and water facilities	30
7.8 Underground pipe galleries	31
8 Monitoring methods	32
8.1 General requirements	32
8.2 Vertical displacement monitoring	32
8.3 Horizontal displacement monitoring	34
8.4 Clearance convergence monitoring	35
8.5 Support axial force, anchor(cable) tension monitoring	35
8.6 Tilt monitoring	35

8.7 Deep horizontal displacement monitoring	36
8.8 Structural stress monitoring	36
8.9 Crack monitoring	37
8.10 Static rail geometry monitoring	37
8.11 Pore water pressure monitoring	37
8.12 Groundwater level monitoring	37
9 Monitoring control values	39
10 Inspections.....	40
10.1 General requirements	40
10.2 Open cut method and cover cut method construction inspections	40
10.3 Shallow tunneling method construction inspections	40
10.4 Shield and pipe jacking method construction inspections	41
10.5 Surrounding environment inspections	41
10.6 Inspection frequency	41
11 Early warning	43
11.1 General requirements	43
11.2 Early warning of monitoring	43
11.3 Early warning of inspections	43
11.4 Integrated early warning	43
12 Monitoring and measurement achievements and information feedbacks	44
13 Informatization management system	45
13.1 General requirements	45
13.2 Construction safety risk monitoring system technical requirements	45
13.3 Automated monitoring system technical requirements	45
13.4 Video surveillance system technical requirements	46
Appendix A Monitoring points layout.....	47
Appendix B Site inspection reports	51
Appendix C Monitoring of daily reports.....	58
Explanation of wording in this specification.....	63
List of quoted standards	64
Explanation of provisions	65

1 总 则

1.0.1 为规范北京地铁工程监控量测，掌握工程安全状态及发展趋势，为设计、施工提供可靠信息，保证工程结构及周边环境安全，同时积累资料和经验，为今后的同类工程提供类比依据，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于北京市地铁工程新建、改建和扩建工程的监控量测。

1.0.3 地铁工程建设中的监控量测除应符合本规程外，尚应符合国家和北京市现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 监控量测 monitoring measurement

采取监测、巡视的手段和方法，对工程自身及周边环境对象的安全状态信息进行连续的采集与收集，并进行分析、反馈的活动。

2.0.2 周边环境 around environment

工程建设中与工程相互影响，位于地面或地下的既有的建（构）筑物、桥梁、地下管线、道路、轨道交通设施、地表水体、水利设施及综合管廊等对象的统称。

2.0.3 风险 risk

不利事件或事故发生的概率（频率）及其损失的组合。

2.0.4 工程自身风险等级 engineering risk grade

根据工程自身结构特点、水文地质、工程地质条件复杂程度和工程施工难度等，对工程自身划分的风险等级。

2.0.5 周边环境风险等级 around environment risk grade

根据周边环境特点及其受到工程施工影响的程度，对周边环境划分的风险等级。

2.0.6 工程影响分区 influenced zone due to construction

根据周围岩土体、周边环境受工程施工影响范围和影响程度大小而划分的区域。

2.0.7 监控量测等级 monitoring measurement grade

根据工程自身、周边环境和地质条件等的风险大小，对监控量测进行的等级划分。

2.0.8 应测项目 necessary monitoring item

保证工程施工安全、周边环境和围岩的稳定而进行的日常监控量测项目。

2.0.9 选测项目 selected monitoring item

相对于应测项目而言，为了设计和施工的特殊需要，由设计文件规定的在局部地段进行的监控量测项目。

2.0.10 基准点 benchmark

为进行变形测量而布设的稳定的、长期保存的测量点。根据变形测量的类型，可分为垂直位移基准点和水平位移基准点。

2.0.11 工作基点 working reference point

为便于现场变形观测作业而布设的相对稳定的测量点。根据变形测量的类型，可分为垂直位移工作基点和水平位移工作基点。

2.0.12 监测控制值 controlled value for monitoring

为保护在建工程自身与周边环境安全，控制监测对象的状态变化，针对各类监测项目所设定的受力或

变形的限值。

3 基本规定

3.1 基本要求

3.1.1 地铁工程的设计阶段应设计监控量测图，施工阶段应依据设计文件编制施工组织设计。

3.1.2 设计文件中的监控量测内容应根据工程地质及水文地质条件、周边环境、结构形式特点等进行编制，同时应满足监测需求和经济性。

3.1.3 监控量测方案应根据工程特点、工程自身风险和环境风险编制，并宜包括下列内容：

- 1 工程概况；
- 2 工程建设场地工程地质条件、水文地质条件、周边环境条件及工程风险特点；
- 3 监控量测目的与依据；
- 4 监控量测范围与等级；
- 5 监控量测对象与项目；
- 6 基准点、监测点的布设位置、数量及技术要求；
- 7 监测、巡视方法、监测信息采集及分析处理要求；
- 8 监控量测频率、周期；
- 9 监测控制值、预警等级、预警与消警标准及异常情况下的监控量测措施；
- 10 监控量测信息成果形式及反馈；
- 11 监控量测仪器设备、元器件及人员的配备；
- 12 质量、环境、职业健康、安全保障措施及其他管理制度；
- 13 监控量测应急预案；
- 14 监测点布设图、监测及巡视记录表格、自身和环境风险动态管理台账等附件。

3.1.4 基准点、工作基点的布设和测量应符合现行国家标准《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911 的规定。

3.1.5 监测点布设应满足对工程整体监控和重点部位监控的要求，安装在地层中的监测点稳定期不应少于 7d，监测点宜按本规程附录 A 布设。

3.1.6 监测初始值获取时间应符合下列规定：

- 1 当有降水时，应在降水前获取；
- 2 当无降水时，应在超前加固措施实施前获取。

3.1.7 针对不同工法和不同施工工序应分别制定监控量测频率，并根据工程状态调整，及时反馈监控成果。

3.1.8 对于穿越重要建（构）筑物的工程，宜对所穿越工程进行穿越施工期间 24h 监测。当采用自动化监测时，应进行人工复核。

3.1.9 监测控制值应根据工程地质及水文地质条件、工程结构特征、施工工法特点、监控量测等级和工程经验等因素综合考虑确定，并应满足合理、有效控制监测对象安全状态的要求。

3.1.10 地表沉降监测点的布置宜采用标准方法，在城市交通特别繁忙且不允许进行钻孔的地段，经设计同意后，其地表布置的一般沉降点可采用道路浅层设点的方法。下列各类地段应采用标准方法：

- 1** 重要施工地段；
- 2** 由地表预先探测到地下存在空洞的施工地段；
- 3** 施工中地表发生塌陷并经修补后的地段；
- 4** 地面交通和环境条件允许采用标准方法设点的道路地段。

3.1.11 监测所采用的监测仪器及元器件应满足各类监测工作的功能要求。

3.1.12 在受力结构施工完成且监测数据稳定的情况下，应结合环境特点，综合研判安全状态，适时结束监控量测。

3.2 工程影响分区及监控量测范围

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，在 V 级、VI 级围岩中分为主要（I）、次要（II）和可能（III）三个工程影响分区。

3.2.2 明（盖）挖法基坑工程影响分区（图 3.2.2）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）	基坑底与两侧地表 $1.0H$ 连线形成的范围中基坑外侧 $0.7H$ 内
次要影响区（II）	基坑底与两侧地表 $1.0H$ 连线形成的范围中基坑外侧 $0.7H$ 外
可能影响区（III）	基坑底与两侧地表 $1.0H$ 连线形成的范围外

注：当基坑开挖范围内存在基岩时，基坑设计深度 H 为覆盖土层和基岩强风化层厚度之和。

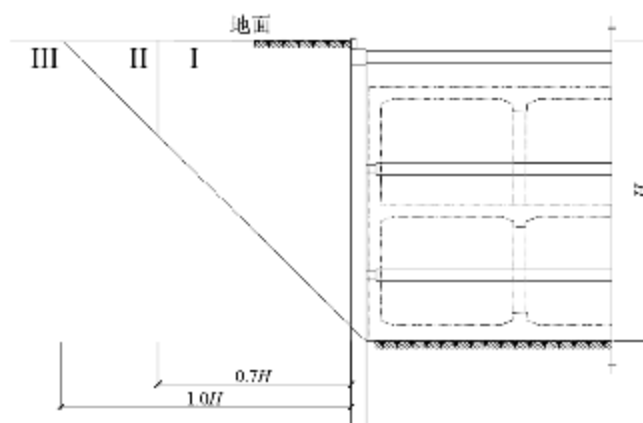


图 3.2.2 基坑工程影响分区

3.2.3 浅埋暗挖法工程影响分区（图 3.2.3）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和构造等地质条件，综合确定工程影响分区界线。

表 3.2.3 浅埋暗挖法隧道周边影响分区

受隧道影响程度分区	区域范围
主要影响区（I）	隧道底与两侧地表 $1.0H_i+0.5B$ 连线形成的范围中隧道外侧 $0.7H_i$ 内
次要影响区（II）	隧道底与两侧地表 $1.0H_i+0.5B$ 连线形成的范围中隧道外侧 $0.7H_i$ 外，隧道两侧 $1.0B$ 及底部 $1.0h_i$ 范围内
可能影响区（III）	隧道底与两侧地表 $1.0H_i+0.5B$ 连线形成的范围外，隧道外侧 $1.0B$ 范围外及隧道底部 $1.0h_i$ 范围外

注：1 两个影响区交叉的按高一级的影响区级别；

2 B 为隧道直径或开挖跨度， H_i 为隧道底板埋深。

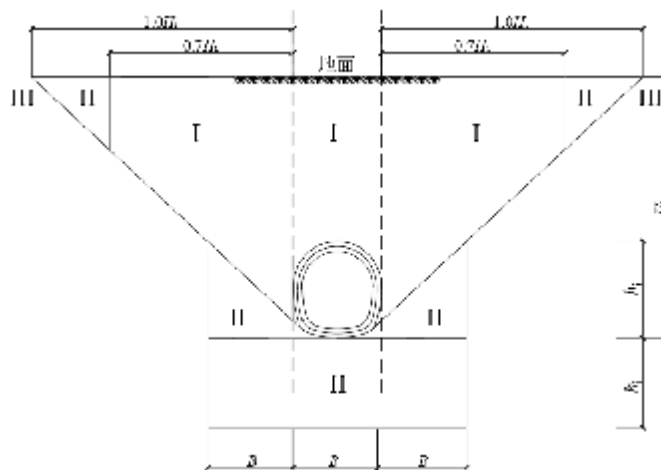


图 3.2.3 浅埋暗挖法工程影响分区

注：1 覆土范围内存在基岩时，影响范围根据围岩等级、空间位置等实际情况变小；

2 B 为隧道直径或开挖跨度， H_1 为隧道底板埋深， h_1 为隧道高度。

3.2.4 盾构法和顶管法隧道工程影响分区（图 3.2.4）宜按表 3.2.4 的规定进行划分。

表 3.2.4 盾构法和顶管法隧道周边影响分区

受隧道影响程度分区	区域范围
主要影响区（I）	隧道底与两侧地表 $1.0H_1+0.5D$ 连线形成的范围中隧道外侧 $0.7H_1$ 内
次要影响区（II）	隧道底与两侧地表 $1.0H_1+0.5D$ 连线形成的范围中隧道外侧 $0.7H_1$ 外，隧道两侧及底部 $1.0D$ 范围内
可能影响区（III）	隧道底与两侧地表 $1.0H_1+0.5D$ 连线形成的范围外，隧道外侧 $1.0D$ 范围外及隧道底部 $1.0D$ 范围外

注：1 两个影响区交叉的按高一级的影响区级别；

2 D 为盾构法和顶管法隧道开挖直径， H_1 为隧道底板埋深。

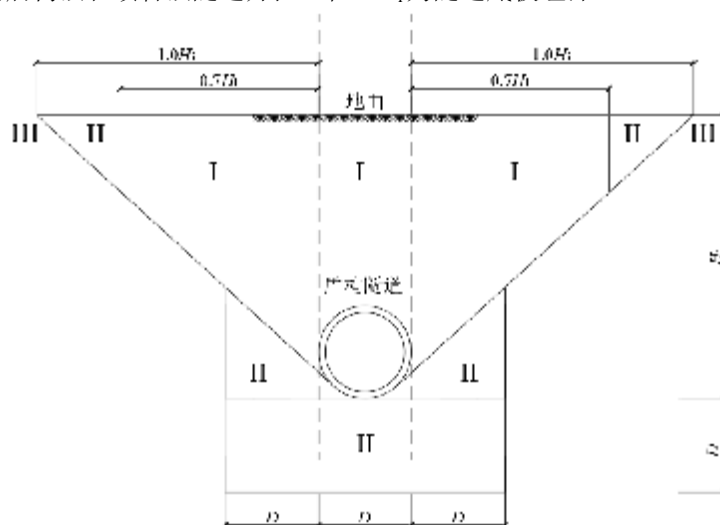


图 3.2.4 盾构法和顶管法隧道影响分区

注：1 覆土范围内存在基岩时，影响范围根据围岩等级、空间位置等实际情况变小；

2 D 为盾构法和顶管法隧道开挖直径, H_i 为隧道底板埋深。

3.2.5 基坑、隧道工程影响分区的划分界线应根据具体工程情况, 进行适当调整。当工程处于不良地质体、特殊岩土发育区域、有特殊要求的周边环境时, 应调整工程影响分区界线, 并应符合下列规定:

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

2 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;

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

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

3.2.6 工程监测与巡视范围应涵盖工程结构自身、主要影响区和次要影响区。

3.3 监控量测等级划分

3.3.1 监控量测等级应根据施工工法、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, 由高到低分为一级、二级、三级。

3.3.2 基坑、隧道工程的自身风险等级宜采用工程风险评估的方法, 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。隧道深埋、浅埋和超浅埋的划分应符合现行行业标准《铁路隧道设计规范》TB 10003 的规定。

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		风险等级划分标准
基坑工程	一级	$H \geq 20\text{m}$
	二级	$10\text{m} \leq H < 20\text{m}$
	三级	$H < 10\text{m}$
隧道工程	一级	超浅埋隧道; 超大断面隧道; 盾构始发(100m)与接收(40m)区段
	二级	浅埋隧道; 近距离并行或交叠隧道; 大断面隧道、隧道与联络通道相交处
	三级	深埋隧道且一般断面隧道

注: 1 H 为基坑设计深度(m);

2 超大断面隧道是指断面尺寸大于或等于100m²的隧道，大断面隧道是指断面尺寸在大于或等于50m²且小于100m²的隧道，一般断面隧道是指断面尺寸在大于或等于10m²且小于50m²的隧道；

3 近距离隧道是指两隧道净距在一倍开挖宽度(或直径)范围以内；

4 竖井自身风险等级参考基坑工程。

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与后果的严重程度，采用工程风险评估的方法确定，亦可根据周边环境类型、设施重要性、与结构的空间位置关系和对工程的危害程度等按表 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
特级	主要影响区内存在的重要轨道交通设施、国家级文物古建筑
一级	主要影响区内存在重要的桥梁与隧道、一般的轨道交通设施、重要的市政管线、重要的管廊、重要的水利设施、省市级文物古建筑、重要的地面与地下建（构）筑物、重要的道路和公路、重要的水体；次要影响区内存在重要轨道交通设施、国家级文物古建筑
二级	主要影响区内存在一般的桥梁与隧道、一般的市政管线、一般的地面与地下建（构）筑物、一般的道路和公路、一般的水利设施、一般的水体； 次要影响区存在重要的桥梁与隧道、一般的轨道交通设施、重要的水利设施、重要的市政管线、省市级文物古建筑、重要的地面与地下建（构）筑物、重要的道路和公路、重要的水体
三级	次要影响区内存在一般的桥梁与隧道、一般的市政管线、一般的地面与地下建（构）筑物、一般的道路和公路

3.3.4 地质条件复杂程度等级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 地质条件复杂程度等级划分

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；需要专门处理的特殊性岩土；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
中等	地形地貌较复杂；不良地质作用一般发育；不需要专门处理的特殊性岩土；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

3.3.5 监控量测等级可按表 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 监控量测等级划分

监控量测等级		周边环境风险等级		
		特级、一级	二级	三级
工程自身风险等级	一级	一级	一级	一级
	二级	一级	二级	二级
	三级	一级	二级	三级

注：1 地质条件复杂程度为复杂的工程，监控量测等级提高一级，调整后监控量测等级最高为一级；

2 当周边环境风险等级高于工程自身风险等级时，根据周边环境对工程监测区域进行划分，分别确定监控量测等级。

4 明（盖）挖法施工监测

4.1 一般规定

4.1.1 明（盖）挖法施工工程的监测项目，应根据监控量测等级选择，应涵盖支护结构、周围岩土体、周边环境及地下水位的监测。

4.1.2 明（盖）挖法施工工程的监测点，宜按一定间隔布设，应同时兼顾不良地层、受力复杂部位。

4.1.3 在不良地层、受力复杂等易变形部位应布设监测断面，必要时宜加密监测点或监测断面，主要应包括下列部位：

- 1 阳角部位；
- 2 局部加深段；
- 3 倒撑部位；
- 4 不同支护形式变化部位；
- 5 与其他工法结合部位；
- 6 邻近重要建（构）筑物、既有轨道交通、地下管线、河流湖泊等周边环境条件复杂区段；
- 7 地层变化部位。

4.1.4 明（盖）挖法施工中，应综合工程地质和水文地质情况，结合开挖面、支护状态，及时收集及掌握监控量测信息，研判工程安全风险。

4.2 监测项目

4.2.1 采用明（盖）挖法施工时，基坑支护结构和周围岩土监测项目应根据表 4.2.1 选择。

表 4.2.1 明（盖）挖法施工监测项目

序号	监测项目	监控量测等级		
		一级	二级	三级
1	地表沉降	√	√	√
2	支护桩（墙）、边坡顶部水平位移	√	√	√
3	支护桩（墙）、边坡顶部竖向位移	√	√	√
4	支撑轴力	√	√	√
5	锚杆（索）拉力	√	√	√
6	支护桩（墙）体水平位移	√	√	○
7	盖挖法顶板、立柱结构竖向位移	√	√	○
8	立柱结构水平位移	√	○	○
9	支护桩（墙）结构应力	○	○	○
10	立柱结构应力	○	○	○
11	盖挖法顶板应力	○	○	○
12	土钉拉力	○	○	○
13	土体深层水平位移	○	○	○

续表 4.2.1

序号	监测项目	监控量测等级		
		一级	二级	三级
14	土体分层竖向位移	○	○	○
15	坑底隆起	○	○	○
16	支护桩（墙）侧向土压力	○	○	○
17	地下水位	√	√	√
18	孔隙水压力	○	○	○

注：√——应测项目，○——选测项目。

4.2.2 倒挂井壁法竖井工程支护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 倒挂井壁法竖井施工监测项目

序号	监测项目	监控量测等级		
		一级	二级	三级
1	地表沉降	√	√	√
2	锁口圈梁沉降	√	√	√
3	竖井井壁支护结构净空收敛	√	√	√
4	地下水位	√	√	√

注：√——应测项目。

4.3 监测点布设

4.3.1 明（盖）挖法工程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，每排内的监测点间距宜为 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 监测点的布设位置宜与支护桩（墙）顶部水平位移和竖向位移监测点处于同一监测断面；
- 4 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协调。

4.3.2 明（盖）挖法工程的支护桩（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 基坑的支护桩（墙）、边坡顶部水平位移和竖向位移监测点应沿基坑周边布设，监控量测等级为一级、二级时，监测断面布设间距宜为 10m~20m，监控量测等级为三级时，监测断面布设间距宜为 20m~30m；
- 2 在基坑中间部位、阳角部位、邻近建（构）筑物及地下管线等重要环境部位，地质条件复杂等部位，应布设监测点；

3 支护桩（墙）、边坡顶部水平和竖向位移监测点宜为共用点；

4 风井、出入口等附属结构的基坑，每侧的监测点不应少于 1 个。

4.3.3 明（盖）挖法工程的支撑轴力监测断面及监测点布设应符合下列规定：

1 应沿竖向布设监测断面，且每层支撑均应布设监测点，基坑端头斜撑应布设监测断面；

2 每层支撑轴力监测数量不宜少于每层支撑总数量的 10%，且不应少于 3 根；

3 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；

4 采用轴力计监测时，监测点应布设在钢支撑的端部；采用钢筋计或应变计监测时，宜布设在钢支撑中部，混凝土支撑的端部或中部，并应避开节点位置和八字撑，并宜上下左右对称布设 4 个监测点。

4.3.4 明（盖）挖法工程的锚杆（索）拉力监测断面及监测点布设应符合下列规定：

1 每层锚杆（索）均应布设监测点；

2 每层锚杆（索）拉力监测数量应为该层锚杆（索）总数的 1%~3%，且不应少于 3 根；

3 每根锚杆（索）上的监测点宜布设在锚头附近或受力有代表性的位置；

4 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。

4.3.5 明（盖）挖法工程的支护桩（墙）体水平位移监测点布设应符合下列规定：

1 监测点应沿基坑周边的支护结构桩（墙）体内布设，监控量测等级为一级、二级时，布设间距宜为 20m~40m，监控量测等级为三级时，布设间距宜为 40m~50m；

2 在基坑中间部位、阳角部位、地质条件复杂及其他代表性部位，应布设监测点；

3 采用测斜仪观测时，测斜管的长度不宜小于支护桩（墙）体的深度，应有 1 个槽口方向与基坑边线垂直；

4 监测点的布设位置宜与支护桩（墙）顶部水平位移和竖向位移监测点处于同一监测断面，基坑每边监测数量不应少于 1 个。

4.3.6 明（盖）挖法工程的立柱结构竖向位移、水平位移和结构应力监测点布设应符合下列规定：

1 竖向位移和水平位移的监测点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，宜增加监测点布设数量；

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

3 竖向位移、水平位移监测点宜布设在便于观测和保护立柱侧面上；

4 水平位移监测点应在立柱结构顶部，根据工程需要可在中部增加监测点；

5 结构应力监测应首先选择有代表性、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，沿立柱结构外周均匀布设 4 个监测点。

4.3.7 明（盖）挖法工程的支护桩（墙）结构应力监测点布设应符合下列规定：

1 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；

2 监测点的竖向间距应根据桩（墙）体的弯矩大小情况确定且不宜大于 5m，宜在弯矩极值处布设，监测点应成对布设在迎土面和背土面。

4.3.8 盖挖法工程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，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。

4.3.9 明（盖）挖法工程的土钉拉力监测断面及监测点布设应符合下列规定：

1 监测点数量宜为每 100 根选取 1~3 根，在特殊地质地段、周边存在高大建（构）筑物时、阳角部位、深度变化处宜布设监测点；

2 每层土钉均应布设监测点；

3 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。

4.3.10 明（盖）挖法工程的土体分层竖向位移监测点布设应符合下列规定：

1 土体分层沉降监测宜布设在特殊地质地段和周围存在重要建（构）筑物的部位；

2 土体分层沉降的监测沉降标宜布设在各土层分界面。土层厚度较大时，在土层中部增加监测点，间距宜为 1m~2m；

3 测孔深度、监测点数量应根据具体情况确定，最浅的点位深度不应小于地面以下 1m。

4.3.11 明（盖）挖法工程的土体深层水平位移监测点布设应符合下列规定：

1 测斜管宜布设在基坑各边中间部位、阳角部位及有代表性的部位；

2 测斜管长度不宜小于基坑开挖深度的 1.5 倍，并应大于支护桩（墙）体的深度；

3 以测斜管管底为固定起算点时，管底应嵌入到稳定的土体中；

4 测斜管水平间距宜为 20m~50m，每边监测数量不应少于 1 个。

4.3.12 明（盖）挖法工程的坑底隆起监测点布设应符合下列规定：

1 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，同一断面上监测点横向间距宜为 10m~20m，数量不宜少于 3 个；

2 监测断面宜按基坑走向的纵向和横向布设，且纵向和横向至少各布设 1 个监测断面；

3 当基底为软弱土质，且基底以下存在承压水时，宜适当增加监测点数量；

4 监测标志宜埋入基坑底面以下 200mm~300mm，并应设置保护管。

4.3.13 明（盖）挖法工程的支护桩（墙）侧向土压力监测点布设应符合下列规定：

1 监测点应布设在支护结构受力、土质条件变化较大或其他有代表性的部位；

2 平面上基坑每边不宜少于 2 个监测点，竖向上监测点间距宜为 2m~5m，下部宜适当加密；

3 当按土层分布情况布设时，每层至少布应设 1 个监测点，且布设在各土层的中部；

4 土压力盒宜紧贴支护桩（墙）布设，应预设支护桩（墙）的迎土面一侧。

4.3.14 明（盖）挖法工程的地下水位观测孔布设应符合下列规定：

1 观测孔宜布设在基坑四角点以及基坑的长短边中间部位，且应位于两相邻降水井中点；

2 对于长大基坑，沿长边每 50m~100m 宜布设一个观测孔；

3 观测孔距基坑外支护结构距离 1.5m~2.0m；

4 水位观测孔的孔底埋置深度应在最低设计水位或最低允许地下水位之下 3m~5m，承压水水位观测孔的滤管应埋置在所测承压含水层中；

5 在降水深度内存在 2 个及以上含水层时，应分层布设地下水位观测孔；

6 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。

4.3.15 明（盖）挖法工程的孔隙水压力监测点布设应符合下列规定：

1 孔隙水压力监测点宜布设在基坑受力、变形较大或有代表性的部位；

2 竖向上监测点宜在水压力变化影响深度范围内按土层分布布设，竖向间距宜为 2m~5m，数量不宜少于 3 个。

4.3.16 倒挂井壁法竖井沉降及井壁支护结构净空收敛监测点布设应符合下列规定：

1 竖井锁口圈梁沉降各边的监测点不应少于 1 个；

2 竖井周边地表沉降监测点布设应符合本规程第 4.3.1 条的规定，竖井各边中线延长线上应布设监测点；

3 竖井井壁支护结构净空收敛宜沿竖向每 3m~5m 布设一个监测断面；

4 竖井井壁支护结构净空收敛监测点应布设在竖井结构的长边和短边中部，每个监测断面不应少于 2 条测线。

4.4 监测频率

4.4.1 明（盖）挖法工程施工中支护结构、周围岩土体和周边环境监测频率应符合表 4.4.1 的规定。

表 4.4.1 明（盖）挖法工程周边环境及自身工程监测频率

施工工况		基坑设计深度 H (m)				
		$H \leq 5$	$5 < H \leq 10$	$10 < H \leq 15$	$15 < H \leq 20$	$H > 20$
基坑开挖期间 h (m)	$h \leq 5$	1 次/1d	1 次/2d	1 次/3d	1 次/3d	1 次/3d
	$5 < h \leq 10$	—	1 次/1d	1 次/2d	1 次/2d	1 次/2d
	$10 < h \leq 15$	—	—	1 次/1d	1 次/1d	1 次/2d
	$15 < h \leq 20$	—	—	—	1 次~2 次/1d	1 次~2 次/1d
	$h > 20$	—	—	—	—	1 次~2 次/1d
基坑开挖完成至结构底板浇筑完成前		1 次/3d				

续表 4.4.1

结构底板 施工完成 后	$T \leq 14d$	1 次/3d~7d
	$14d < T \leq 30d$	1 次/7d
	$T > 30d$	1 次/15d~30d
回填完成		30d 内平均变形速率 $\leq 0.05\text{mm/d}$ 时停止监测

注：1 基坑工程开挖前的监测频率根据工程实际需要确定；

2 支撑结构拆除过程中及拆除完成后 3d 内监测频率适当增加；

3 H 为基坑设计深度， h 为基坑开挖深度， T 为底板施工完成后天数。

4.4.2 坑底隆起监测不宜少于 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，宜增加监测次数。

4.4.3 倒挂井壁法竖井井壁支护结构净空收敛监测频率应符合下列规定：

1 在竖井开挖及井壁支护结构施工期间应为 1 次/1d，竖井井壁支护结构整体完成后应为 1 次/2d；

2 经数据分析确认井壁净空收敛达到稳定后 1 次/30d，出现情况异常时应增大监测频率。

4.4.4 暂停施工期间监测频率应符合下列规定：

1 暂停施工前已按设计要求施作完成阶段性受力支护体系后且 7d 平均变形速率不大于 0.3mm/d 时，监测频率可按表 4.4.4 确定；

2 在 14d 平均变形速率不大于 0.1mm/d 且趋势稳定的情况下，可再适当降低监测频率，但不得低于 1 次/30d；

3 存在地下水位变动、周边荷载增大或遇有本规程第 4.4.5 条中需要加密监测的情况时，应加密监测。

表 4.4.4 明（盖）挖法工程周边环境及自身工程暂停施工期间监测频率

施工工况		暂停施工期间
基坑开挖期间 h (m)	$h \leq 5$	1 次/7d
	$5 < h \leq 10$	1 次/5d~7d
	$10 < h \leq 15$	1 次/3d~5d
	$15 < h \leq 20$	1 次/3d
	$h > 20$	1 次/3d
基坑开挖完成至结构底板浇筑完成前		1 次/7d
结构底板施工完成后	$T \leq 14d$	1 次/7d

注： h 为基坑开挖深度， T 为底板施工完成后天数。

4.4.5 当变形速率正常后，监测频率宜符合本规程 4.4.1、4.4.3、4.4.4 的规定；当遇下列情况之一时，应增加监测频率：

- 1 拆除临时支撑期间；
- 2 揭露出勘察未发现的不良地质；
- 3 汛期工程敏感的周边环境、工程关键部位、复杂地层和可能产生空洞部位等位置；
- 4 在遇中雨及以上降雨时，雨后应及时进行监测，降雨时间较长时，应在降雨间歇期进行监测；
- 5 监测变形速率超过监测控制值，红色监测预警多发部位；
- 6 支护结构或周边建筑物变形值超过设计变形控制值，且未采取处理措施；
- 7 基坑侧壁出现大量漏水、流土；
- 8 基坑底部出现管涌；
- 9 桩间土流失孔洞深度超过桩径；
- 10 存在风险的部位、出现事故前兆和施工抢险等工程异常。

5 浅埋暗挖法施工监测

5.1 一般规定

5.1.1 浅埋暗挖法施工工程的监测项目应根据监控量测等级选择，应涵盖支护结构、周围岩土体、周边环境和地下水位监测。

5.1.2 浅埋暗挖法施工工程的监测点，应按一定间隔布设，各类型监测项目可围绕典型断面布设。

5.1.3 在不良地层、受力复杂等易变形的区域和部位宜布设监测断面，必要时应增加监测点或监测断面，主要应包括下列情况：

1 马头门部位、大断面、超浅埋段、转弯段、挑高段、平顶直墙段、断面变化、受力转换部位和区域；

2 开挖方法含有仰挖和俯挖；

3 开挖影响区范围内有溶洞、软弱地层等不良地质条件等开挖面易产生坍塌的地段；

4 穿越或邻近重要建（构）筑物、既有交通设施、地下管线和河流湖泊等周边环境条件复杂区段。

5.1.4 应记录开挖面地层的工程地质、水文地质特征、开挖面和支护体系的稳定状态，并将隧道内外及周边环境信息相结合，以掌握施工风险。

5.2 监测项目

5.2.1 浅埋暗挖法工程支护结构和周围岩土体监测项目应根据表 5.2.1 选择。

表 5.2.1 浅埋暗挖法施工监测项目

序号	监测项目	监控量测等级		
		一级	二级	三级
1	地表沉降	√	√	√
2	初期支护结构拱顶沉降	√	√	√
3	初期支护结构净空收敛	√	√	√
4	初期支护结构底板竖向位移	√	○	○
5	拱脚竖向位移	○	○	○
6	中柱结构竖向位移	√	√	○
7	中柱结构倾斜	○	○	○
8	中柱结构应力	○	○	○
9	围岩压力及支护间接触应力	○	○	○
10	二次衬砌应力	○	○	○
11	钢筋格栅应力	○	○	○
12	土体深层水平位移	○	○	○
13	土体分层竖向位移	○	○	○
14	地下水位	√	√	√

注：√——应测项目，○——选测项目。

5.2.2 隧道内外监测项目应结合工法次序综合确定，有复杂受力转换的情况时，应对竖向构件设置相应监测项目。

5.3 监测点布设

5.3.1 浅埋暗挖法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，当监控量测等级为一级时，监测点间距宜为 5m~10m，当监控量测等级为二级、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，轴线上每 3~5 个监测点应设置一个横向监测断面，在特殊地质地段和周围存在重要建（构）筑物时，应加密监测断面；
- 3** 横向监测断面的监测点数量宜为 7 个~11 个，各监测点应依据近密远疏的原则布设，最远处监测点应位于可能影响区；
- 4** 在工法变化、车站与区间、车站与附属、区间与附属结合处以及马头门、隧道断面变化等部位均应布设监测点，监测点数量按工程结构、地层状况和周边环境确定。

5.3.2 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** 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** 分部开挖施工的每个导洞均应布设拱顶沉降、净空收敛横向监测断面，监测断面宜与地表沉降监测断面相对应；
- 3** 拱顶沉降监测点在隧道断面拱部、多导洞隧道拱部各导洞应布设 1 个；净空收敛每断面测线宜为 1 条~3 条，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；拱顶沉降监测点可兼作净空收敛监测点；
- 4** 监测点布设应与初期支护结构同步实施，并在具备条件后及时获取初始值。

5.3.3 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** 监测点断面间距宜与初期支护结构拱顶沉降、净空收敛监测断面一致，车站监测断面间距宜为 10m~20m，区间监测断面间距宜为 15m~30m；
- 2** 监测点宜布设在隧道初期支护结构底板的中部或两侧，每一监测断面监测点宜为 1 个~2 个。

5.3.4 拱脚竖向位移监测点布设应符合下列规定：

- 1** 拱脚竖向位移监测点与初期支护结构拱顶沉降、净空收敛监测点宜组成同一监测断面；
- 2** 车站监测断面间距宜为 10m~20m，区间监测断面间距宜为 15m~30m。

5.3.5 中柱结构竖向位移、倾斜及应力监测点布设应符合下列规定：

- 1** 应选择地质条件复杂、受力较大或有代表性的中柱进行竖向位移和倾斜监测，监测点数

量不宜少于中柱总数的10%，且不应少于3根；

2 应选择有代表性的中柱进行监测，监测点数量不宜少于中柱总数的10%，且不少于4根，每根中柱宜布设4个监测点，并在同一水平面内均匀布设。

5.3.6 围岩压力及支护间接触应力、钢筋格栅应力、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应布设监测断面，应力监测断面与净空收敛监测断面宜处于同一位置，对应设置1个~2个监测断面；

2 监测断面上每个监测项目宜设5个~11个监测点，监测点宜布设在拱顶、拱腰、拱脚、墙中、墙脚和仰拱中部等部位；

3 当有需拆除的临时竖向初期支护结构时，可根据工程需要布设相应的监测点。

5.3.7 土体深层水平位移和分层竖向位移监测点布设应符合下列规定：

1 测斜管的布设应与周围土体密贴，测斜管布设后，稳定期应视不同地层在10d~30d之间；

2 布设监测点时，隧道顶部的监测点钻孔深度应在隧道拱顶之上1m~2m，在隧道两侧的监测点钻孔深度应位于隧道底板下2m~3m；

3 土体深层水平位移和分层竖向位移监测孔应与注浆管错开。

5.3.8 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要求，在降水区域及影响范围内布设地下水位观测孔，观测孔数量应满足降水区域和影响范围内的地下水位动态变化的要求；

2 观测孔选取代表性地段布设，观测孔数量应根据工程需要确定，每个暗挖车站布设数量不应少于4个，正在使用的降水井不宜作为水位观测孔；

3 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；

4 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。

5.4 监测频率

5.4.1 地表沉降、土体深层水平位移和土体分层竖向位移监测频率根据监测点（断面）距开挖面前后距离确定，应符合表5.4.1的规定。

表5.4.1 地表沉降等监测项目监测频率

监测项目	监测断面至开挖面前	监测断面至开挖面后	监测频率
地表沉降、土体深层水平位移和土体分层竖向位移	$L \leq 2B$		(1次~2次)/1d
	$2B < L \leq 5B$		1次/2d
	—	$L > 5B$	1次/7d
	—	$L > 5B$ 且数据基本稳定后	1次/30d

注：1 当二衬结构施作完毕，且30d内平均变形速率小于或等于0.05mm/d时，停止监测；

2 B 为隧道直径或开挖跨度， L 为开挖面到监测断面距离。

5.4.2 初期支护结构拱顶沉降、初期支护结构净空收敛、初期结构底板竖向位移、拱脚竖向位移、围岩压力及支护间接触应力、二次衬砌应力和钢筋格栅应力监测频率根据监测断面距开挖面距离确定，应符合表5.4.2的规定。

表5.4.2 初期支护结构拱顶沉降等监测项目监测频率

监测项目	监测断面至开挖面距离	监测频率
初期支护结构拱顶沉降、初期支护结构净空收敛、初期结构底板竖向位移、拱脚竖向位移、二次衬砌应力、钢筋格栅应力、围岩压力和支护间接触应力	$L \leq 1B$	(1次~2次)/1d
	$1B < L \leq 2B$	1次/1d
	$2B < L \leq 5B$	1次/2d
	$L > 5B$	1次/7d
	$L > 5B$ 且数据基本稳定后	1次/30d

注：1 整个监测断面内的各基线或各监测点采用相同的监测频率，各监测项目监测工作同步进行；

2 变形类监测项目在开始二次衬砌施工时，停止监测；

3 应力应变类监测项目根据选测的目的和需要确定停止监测条件；

4 B 为隧道直径或开挖跨度， L 为开挖面到监测断面距离。

5.4.3 中柱结构竖向位移、倾斜及结构应力监测频率应符合表5.4.3的规定。

表5.4.3 中柱结构竖向位移等监测项目监测频率

监测项目	施工工况	监测频率
中柱结构竖向位移、中柱结构倾斜和中柱结构应力	土体开挖时	1次/1d
	结构施作时	(1次~2次)/7d
	结构完成后	停测

5.4.4 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，宜为1次/2d。

5.4.5 暂停施工期间监测频率应符合下列规定：

1 暂停施工前已按设计要求施作完成阶段性初支体系和掌子面封闭后，且7d平均变形速率不大于0.3mm/d时，监测频率可按表5.4.5的规定确定；

2 在14d平均变形速率不大于0.1mm/d且趋势稳定的情况下，可再适当降低监测频率，但不得低于1次/30d；

3 当暂停施工期间存在地下水位变动、周边荷载增大或遇有本规程第5.4.6条中需要加密监测的情况时，应加密监测。

表5.4.5 浅埋暗挖法工程暂停施工期间监测频率

监测部位	监测项目	开挖面至监测点或监测断面的距离	暂停施工期间 监测频率
开挖面前后方	地表沉降、 初期支护结构拱顶沉降和 初期支护结构净空收敛	$L \leq 2B$	1 次/3d
		$2B < L \leq 5B$	1 次/5d
		$L > 5B$ 且数据基本稳定后	1 次/30d

注：B为隧道直径或开挖跨度，L为开挖面到监测断面距离。

5.4.6 当变形速率正常后，监测频率宜符合本规程 5.4.1、5.4.2、5.4.3、5.4.4、5.4.5 的规定，当遇下列情况之一时，应增加监测频率：

- 1 拆除临时支撑期间；
- 2 穿越勘察未发现的不良地质；
- 3 汛期工程敏感的周边环境、工程关键部位、复杂地层和可能产生空洞部位等位置；
- 4 在遇中雨及以上降雨时，雨后应及时进行监测，降雨时间较长时，应在降雨间歇期进行监测；
- 5 监测变形速率超过监测控制值，红色监测预警多发部位；
- 6 作业面带水施工未采取相关措施，或地下水控制措施失效且继续施工；
- 7 施工时出现涌水、涌沙、局部坍塌，支护结构扭曲变形或出现裂缝，且有不断增大趋势，未及时采取措施；
- 8 存在风险的部位、出现事故前兆、施工抢险等工程异常。

6 盾构法和顶管法施工监测

6.1 一般规定

6.1.1 盾构法和顶管法施工工程的监测项目，应根据监控量测等级选择，应涵盖隧道结构（主要为管片衬砌）、周围岩土体、周边环境及地下水位的监测。

6.1.2 盾构法和顶管法施工工程监测点，应按一定间隔布设，各类型监测项目可围绕典型断面布设。

6.1.3 在不良地层、受力复杂等易变形的区域和部位宜布设监测断面，必要时应加密监测点或监测断面，主要应包括下列情况：

- 1 始发段、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；
- 2 存在地层偏压、围岩软硬不均等地质条件复杂区段；
- 3 下穿或邻近重要建（构）筑物、既有轨道交通、地下管线、河流湖泊等周边环境条件复杂区段。

6.1.4 采用盾构法和顶管法施工时，应实时记录掘进面地层的工程地质、水文地质特征及掘进面的稳定状态，并将隧道内外及周边环境信息相结合，以掌握施工风险。

6.2 监测项目

6.2.1 盾构法和顶管法隧道管片结构和周围岩土体监测项目应根据表 6.2.1 选择。

表 6.2.1 盾构法和顶管法施工监测项目

序号	监测项目	监控量测等级		
		一级	二级	三级
1	地表沉降	√	√	√
2	管片结构竖向位移	√	√	√
3	管片结构净空收敛	√	√	√
4	管片结构水平位移	√	○	○
5	管片结构应力	○	○	○
6	管片连接螺栓应力	○	○	○
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。

6.2.2 隧道内外监测项目应协同确定，始发及接收段监测项目应结合环境特点确定。

6.3 监测点布设

6.3.1 盾构法和顶管法工程的地表沉降监测断面及监测点布设应符合下列规定：

- 1 监测点应沿隧道轴线上方地表布设，当监控量测等级为一级时，监测点间距宜为

5m~10m，当监控量测等级为二级、三级时，监测点间距宜为 10m~30m，并宜布设一定数量的横向监测断面，横向监测断面的监测点数量不宜少于 7 个，且应根据近密远疏的原则布设；

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，当监控量测等级为一级时，监测断面间距宜为 50m~100m，当监控量测等级为二级、三级时，间距宜为 100m~150m；

3 盾构始发和接收段 20m 范围内、顶管始发和接收段 10m 范围内监测点间距宜取小值，并宜布设一定数量的横向监测断面；

4 联络通道、地质条件不良易产生地表过大变形等部位，监测点宜适当加密，并宜布设一定数量的横向监测断面；

5 在工法和结构断面变化的部位，如车站与区间结合部位、车站与风道结合部位等应布设监测点。

6.3.2 管片结构竖向位移、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 在始发与接收段、联络通道附近、左右线交叠或邻近段等区段；
- 2 存在地层偏压、围岩软硬不均等地质条件复杂区段；
- 3 下穿或邻近重要建（构）筑物、地下管线及水体等周边环境条件复杂区段；
- 4 每个监测断面宜在拱顶（0°）、拱底（180°）和两侧拱腰（90°和 270°）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。

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

- 1 宜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、围岩软硬不均等地质或环境条件复杂地段，并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。

6.3.4 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 监测孔宜布设在地层疏松、空洞及破碎带等地质条件复杂地段，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；
- 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。

6.3.5 孔隙水压力监测点布设应符合下列规定：

- 1 宜选择在隧道管片结构受力、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；
- 2 宜在水压力变化影响深度范围内按土层分布布设，监测点竖向间距宜为 2m~5m，数量不宜少于 3 个。

6.4 监测频率

6.4.1 盾构法和顶管法隧道工程监测频率应根据施工情况、监测断面距开挖面的距离和变形速率确定，隧道管片结构、周边环境和周围岩土体监测频率应符合表 6.4.1 的规定。

表 6.4.1 盾构法和顶管法施工监测频率

监测部位	监测对象	开挖面至监测点或监测断面的距离 (m)	监测频率
开挖面前方	周围岩土体及周边环境	$5D < L \leq 8D$	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/1d
		$3D < L \leq 8D$	1 次/2d
		$L > 8D$	1 次/7d

注：1 当工程发生异常情况时，增大监测频率，发生红色监测预警时监测频率大于 2 次/d；

2 监测数据趋于稳定后，监测频率为 1 次/30d；

3 当盾构通过 8 倍开挖直径范围，且 30d 内平均变形速率小于等于 0.05mm/d 时，停止监测；

4 D 为盾构法或顶管法隧道开挖直径， L 为开挖面与监测断面距离。

6.4.2 暂停施工期间监测频率应符合下列规定：

1 暂停施工前已按设计要求停机保压，7d 平均变形速率不大于 0.3mm/d 时，监测频率可按表 6.4.2 规定确定；

2 在 14d 平均变形速率不大于 0.1mm/d 且趋势稳定的情况下，可再适当降低监测频率，但不得低于 1 次/30d；

3 当暂停施工期间存在地下水位变动、周边荷载增大及本规程第 6.4.3 条中需要加密监测的情况时，应加密监测。

表 6.4.2 暂停施工期间监测频率

监测部位	开挖面至监测点或监测断面的距离	暂停施工期间监测频率
开挖面前后方	$L \leq 5D$	1 次/3d
	$5D < L \leq 10D$	1 次/5d
	$L > 10D$ 且数据基本稳定后	1 次/30d

注：1 监测数据趋于稳定后，监测频率为 1 次/30d；

2 D 为盾构法或顶管法隧道开挖直径， L 为开挖面与监测断面距离。

6.4.3 当变形速率正常后，监测频率宜符合本规程 6.4.1、6.4.2 的规定；当遇下列情况之一时，应增加监测频率：

1 拆除临时支撑期间；

2 穿越勘察未发现的不良地质；

- 3 汛期工程敏感的周边环境、工程关键部位、复杂地层和可能产生空洞部位等位置；
- 4 在遇中雨及以上降雨时，雨后应及时进行监测，降雨时间较长时，应在降雨间歇期进行监测；
- 5 监测变形速率超过监测控制值，红色监测预警多发部位；
- 6 盾构出土量、同步注浆量和土压力等掘进参数异常；
- 7 隧道净间距小于 0.7 倍隧道直径的地段；
- 8 在软硬不均匀地层掘进时；
- 9 覆土厚度小于 1 倍洞径段；
- 10 小曲线半径地段、坡度大于 30‰地段；
- 11 水域地段；
- 12 存在风险的部位、出现事故前兆和施工抢险等工程异常。

7 周边环境监测

7.1 一般规定

7.1.1 应对地铁工程施工影响范围内的周边环境进行监测，应包括下列主要监测对象：

- 1 建（构）筑物；
- 2 桥梁；
- 3 地下管线；
- 4 道路；
- 5 既有轨道交通；
- 6 地表水体及水利设施；
- 7 综合管廊；
- 8 其他需要监测的重要市政或城市设施。

7.1.2 周边环境监测点的布设位置和数量应根据其类型、特征、保护要求及施工影响区域等因素综合确定，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。

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

7.1.4 周边环境监测频率应满足能及时、系统地反映监测对象的动态变化过程。

7.2 建（构）筑物

7.2.1 建（构）筑物监测项目应根据表 7.2.1 确定，可结合建（构）筑物特点及状态增加监测项目。

表 7.2.1 建（构）筑物监测项目

序号	监测项目	周边环境风险等级		
		特级、一级	二级	三级
1	竖向位移及差异沉降	√	√	√
2	结构裂缝	√	√	√
3	倾斜	√	○	○
4	水平位移	√	○	○

注：√——应测项目，○——选测项目。

7.2.2 建（构）筑物竖向位移监测点布设应符合下列规定：

- 1 监测点应布设在外墙或承重柱上，位于主要影响区监测点沿外墙间距宜为 10m~15m，或每隔 2 根承重柱宜布设 1 个监测点，位于次要影响区监测点沿外墙间距宜为 15m~30m，或每隔 2 根~3 根承重柱宜布设 1 个监测点；
- 2 在外墙转角处应布设监测点；
- 3 监测点应布设在高低悬殊或新旧建（构）筑物连接、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；

4 烟囱、水塔、高压电塔等高耸构筑物监测点应布设于构筑物基础轴线的对称部位，且每一构筑物不应少于 4 点。

7.2.3 建（构）筑物水平位移监测点应布设在邻近新建工程一侧的建（构）筑物外墙、承重柱、变形缝两侧及其他有代表性的部位，宜与建（构）筑物竖向位移监测点布设在同一位置。

7.2.4 建（构）筑物倾斜监测点布设应符合下列规定：

1 建（构）筑物的倾斜监测点应根据结构特点、与地铁工程的相互位置关系，设定倾斜监测点的轴线位置，必要时应布设相互垂直的双向倾斜监测点；

2 烟囱、水塔、高压电塔等结构平面尺寸较小且整体性较好的高耸构筑物监测点数量不应少于 1 组，其他每栋建（构）筑物倾斜监测点的数量不宜少于 2 组，每组监测点应沿主体结构顶部、底部上下对应布设，必要时中部可增加监测点；

3 当采用基础差异沉降计算建（构）筑物倾斜时，监测点的布设应符合本规程第 7.2.2 条的规定。

7.2.5 建（构）筑物裂缝监测点布设应符合下列规定：

1 裂缝监测点布设应根据其分布、走向、长度、宽度和深度等特点，选取有代表性部位的裂缝进行监测；

2 监测点宜在裂缝的最宽处及裂缝首末端按组布设，每组应为 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。

7.3 桥梁

7.3.1 桥梁监测项目应符合现行地方标准《穿越既有道路设施工程技术要求》DB11/T 716 的规定。

7.3.2 桥梁监测点的布设应符合下列规定：

1 桥梁下部结构竖向位移监测点应布设在墩柱或承台上，每个墩柱或承台的监测点数量不应少于 1 个；

2 桥梁倾斜监测点应布设在墩柱顺桥向和横桥向，应各布设 1 组监测点；

3 桥梁结构应力监测点可布设在桥梁梁板结构中部或应力变化较大部位；

4 桥梁结构裂缝监测应符合本规程第 7.2.5 条的规定。

7.4 地下管线

7.4.1 地下管线监测项目应根据表 7.4.1 确定。

表 7.4.1 地下管线监测项目

序号	监测项目	周边环境风险等级		
		一级	二级	三级
1	管线竖向位移及差异沉降	√	√	√
2	管线水平位移	○	○	○

注：√——应测项目，○——选测项目。

7.4.2 地下管线监测点的布设应符合下列规定：

1 监测点的布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、使用状况以及与地下工程的空间位置关系等综合确定，宜布设在节点、转角点及位移变化敏感等抗变形能力差的部位；

2 当地下管线位于主要影响区时，监测点间距宜为 5m~15m；当地下管线位于次要影响区时，布设间距宜为 15m~30m；

3 当管线外边线间距不大于 2m 时，宜采用 Z 形布设。

7.4.3 地下管线中供热管线的监测应符合现行地方标准《地下工程建设中管线保护技术规程 第 1 部分：供热管线》DB11/T 1815.1 的规定。

7.5 道路

7.5.1 道路监测项目应符合现行地方标准《穿越既有道路设施工程技术要求》DB11/T 716 的规定。

7.5.2 道路路基和路面竖向位移监测点布设应符合下列规定：

1 宜与路面下方的地下构筑物 and 地下管线的监测点相结合；

2 应根据施工工法及影响范围，并结合路面实际情况布设监测点和监测断面。

7.5.3 道路挡墙监测点的布设应符合下列规定：

1 竖向位移监测点宜沿挡墙走向布设，在变形缝两侧应布设监测点；

2 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内。

7.6 既有轨道交通

7.6.1 城市轨道交通设施监测项目应符合现行地方标准《穿越城市轨道交通设施检测评估及监测技术规范》DB11/T 915 的规定。

7.6.2 周边环境风险等级为特级的既有轨道交通设施应采用自动化监测。

7.6.3 城市轨道交通地下设施监测点布设应符合下列规定：

1 结构竖向位移、水平位移监测点应按监测断面布设；

2 结构变形缝差异沉降、开合度监测点布设于结构变形缝两侧；

3 结构裂缝监测点宜选取有代表性部位的裂缝，每条裂缝宜在裂缝的最宽处及裂缝首、末端按组布设，每组 2 个监测点，并应分别布设在裂缝两侧；

4 整体道床的竖向位移与隧道结构的位移监测断面宜处于同一里程，每个监测断面宜在每条轨道下部道床布设 1 个监测点；

5 轨道静态几何形位监测点的布设应符合现行地方标准《城市轨道交通设施结构检测技术规程》DB11/T 1167 的规定；

6 无缝线路钢轨位移监测，当线路长度小于 150m 时，应在监测范围两端每条钢轨各布设 1 个监测点；当线路长度大于 150m 时，应在监测范围内每隔 150m 每条钢轨各布设 1 个监测点；

7 其他附属结构监测点的布设可按本规程第 7.2.2 条的规定采用。

7.6.4 城市轨道交通地面设施监测点布设应符合下列规定：

1 地面线路基竖向位移、水平位移监测应按监测断面布设，每个监测断面上各条轨道下方的路基均应布设监测点；

2 其他监测项目监测点布设可按本规程第 7.2.2 条和第 7.6.2 条的规定采用。

7.6.5 城市轨道交通高架设施监测点布设应符合下列规定：

1 城市轨道交通高架设施桥梁结构监测点布设可按本规程第 7.3.2 条的规定采用；

2 其他监测项目监测点布设可按本规程第 7.6.2 条的规定采用。

7.6.6 铁路监测应按现行行业标准《邻近铁路营业线施工安全监测技术规程》TB 10314 执行。

7.7 地表水体及水利设施

7.7.1 地表水体和水利设施监测项目应根据表 7.7.1 确定。

表 7.7.1 地表水体及水利设施监测项目

序号	监测项目		周边环境风险等级		
			一级	二级	三级
1	水岸	竖向位移	√	√	√
2	水利设施	竖向位移	√	√	√
3		裂缝	√	√	√
4		水平位移	○	○	○
5		倾斜	○	○	○

注：√——应测项目，○——选测项目。

7.7.2 水岸竖向位移监测点应沿水岸布设，位于主要影响区时监测点间距应为 10m~15m；位于次要影响区时监测点间距应为 15m~30m；在转弯处和环境条件复杂部位等应布设监测点。

7.7.3 水利设施竖向位移、裂缝、水平位移和倾斜监测点的布设应符合本规程第 7.2.2 条、7.2.3 条、7.2.4 条、7.2.5 条的规定。

7.8 综合管廊

7.8.1 综合管廊结构监测项目应符合现行国家标准《城市地下综合管廊运行维护及安全技术标准》GB 51354 的规定。

7.8.2 综合管廊结构竖向位移和水平位移监测点布设应符合下列规定：

1 竖向位移、水平位移监测点宜按监测断面布设，当结构位于主要影响区时，监测断面间距应为 5m~15m，当结构位于次要影响区时，监测断面间距应为 15m~30m；

2 结构变形缝两侧、人防门等位置应布设竖向位移监测点。

7.8.3 综合管廊结构裂缝监测点的布设可按本规程第 7.2.5 条的规定采用。

8 监测方法

8.1 一般规定

8.1.1 监测采用的空间、时间基准应符合下列规定：

1 应采用国家 2000 大地坐标系及 1985 国家高程基准，采用北京 2000 坐标系及北京地方高程基准时，应与国家基准建立联系；

2 应采用公历纪元、北京时间作为统一时间基准。

8.1.2 监测精度应根据监测控制值确定。

8.1.3 监测方法应根据工程特点、周边环境特点、监控量测等级、监测精度要求以及现场作业条件等情况综合确定。

8.1.4 同一监测项目的现场监测作业宜固定监测人员，同一监测仪器和设备，基本相同的时段和环境条件，采用相同的监测方法和监测路线。

8.1.5 监测全过程应做好监测设施的保护工作，设置保护装置，做好保护标识，监测点受破坏后应及时恢复或采取补救措施。

8.2 竖向位移监测

8.2.1 竖向位移监测可采用几何水准测量、静力水准测量、电子测距三角高程测量、近景摄影测量和机器视觉测量等方法，当监测频率较高时，宜组建自动化监测系统监测。

8.2.2 竖向位移监测应根据监测精度要求选择相应的观测精度等级，应符合现行行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8 的规定。

8.2.3 采用静力水准测量方法进行竖向位移监测应符合下列规定：

1 应根据监测精度、预估的竖向位移量、现场安装条件等要求选择相应精度和量程的静力水准传感器；

2 测量装置应与待监测结构部位紧密连接，安装位置应在其量程中部附近，管路系统、供电系统、通讯系统、采集系统和数据处理系统等功能调试、参数设置应符合设备自身参数要求；

3 同一组连通管式静力水准线路中的静力水准仪应安装在同一高程，高差不应大于其量程的 20%，管路中任何一段的高度均应低于蓄水罐底部，但不宜低于 0.2m，当无法处于同一高程时，应增设转点；

4 管路内液体应具有流动性；

5 静力水准线路宜布设成附合水准线路，宜由起算点、监测点和转点组成，当需要设置转点时，可采用多组串联方式构成观测路线；

6 应在气象、环境稳定的时段进行观测，在液体静止的状态下进行读数，每次读数 3 次，读数较差不应大于 0.3mm，应取平均值作为本次测量值，其观测技术要求应符合现行行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8 的规定。

8.2.4 采用电子测距三角高程测量进行竖向位移监测应符合现行行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8 的规定。

8.2.5 采用近景摄影测量方法进行竖向位移监测应符合下列规定：

- 1 测量设备应采用固定焦距的数码相机，对相机在作业前应进行现场校核；
- 2 近景摄影测量观测影像获取和处理技术要求，应符合现行行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8 的规定；
- 3 应根据项目技术要求，选择单基线立体近景摄影测量方法或多基线立体近景摄影测量方法，设站点根据监测对象特点，可设置在其轴线上或单独的工作基点上；
- 4 应根据监测点的分布，对应布设像控点和检查点，应符合下列规定：
 - 1) 像控点应布设在监测点周边，并应在景深范围均匀分布；
 - 2) 像控点的布设数量，当采用单基线立体近景摄影测量方式时在像对内至少布设 6 个，采用多基线立体摄影方式应在中部、四周和相邻影像连接处布设，区域四周宜布设双点；
 - 3) 检查点应在测区范围均匀布设，数量不宜少于 5 个；
 - 4) 像控点和检查点应设置观测标识。

8.2.6 采用机器视觉测量方法进行竖向位移监测应符合下列规定：

- 1 机器视觉测量系统应满足下列要求：
 - 1) 环境温度：-40℃~+60℃；
 - 2) 环境相对湿度：<95%；
 - 3) 测量精度：<1/50000 视场范围；
 - 4) 照明光源：红外光；
 - 5) 测距范围：≥200m；
 - 6) 支持靶标数：>20 个；
 - 7) 机器视觉测量系统宜具备边缘计算能力，其处理器的处理速度和检测算法的处理能力应与采样频率及测量精度要求相匹配。
- 2 机器视觉测量系统安装应符合下列规定：
 - 1) 应根据景深、物方视场、视场角、精度、最小靶标尺寸及位置监测点等技术参数的要求选取相机的安装位置；
 - 2) 相机与安装基座之间应能可靠连接，安装基座应设置在稳固位置；
 - 3) 相机应选择被测物周边相对稳固且受环境干扰较小的位置进行布设，靶标应稳固地安装在被测物监测点位置，靶标与被测物无相对位移；
 - 4) 监测点在相机视场范围内宜沿景深方向布设，当单台相机景深不满足监测要求时，应增设相机；相机与靶标间应无遮挡，并满足通视的要求；
 - 5) 在相机景深范围内，宜选取稳固的位置，布设一个位移参考点；

- 6) 靶标成像清晰度及像素应满足机器视觉解算的要求;
- 7) 机器视觉测量系统宜具备遥测功能, 可通过指令获取现场图片或视频;
- 8) 相机应采取保温与防护措施。

8.2.7 竖向位移监测计算和成果应符合下列规定:

- 1 采用附和、闭合水准线路观测时应计算水准线路的附和差或闭合差并分析判断观测质量;
- 2 监测网应使用稳定的基准点做起算点, 以测站数或测段长度为权进行严密平差, 计算各点的高程值, 并评定测量精度;
- 3 采用几何水准测量高程计算应进行视距差、仪器 i 角引起的高差改正, 采用全站仪观测应进行气象条件改正, 当采用自动测量系统观测时, 可进行差分改正;
- 4 静力水准系统观测读数应在液体完全呈静态下进行; 多组串联组成静力水准观测路线时, 应先按测段进行闭合差分配后计算各组参考点的高程, 再根据参考点计算各监测点的高程; 静力水准测量应与几何水准测量进行互校; 使用期间应定期维护, 发现性能异常时应及时修复或更换;
- 5 采用近景摄影测量方式时, 应对影像数据进行检查, 合格后采用数字近景摄影测量系统或专门的近景摄影测量数据处理系统进行处理, 影像数据处理时, 应对数码相机进行自检校, 并利用布设的检查点对成果精度进行检验;
- 6 机器视觉测量系统数据处理应在正常模式下输出靶标平面二维位移信息, 异常时应支持远程查看现场图片或视频, 靶标在图像中的位移不应超过图像画幅的 80%;
- 7 竖向位移监测成果应包括本次变化量、累计变化量和变化速率, 绘制沉降断面曲线或典型监测点的时间-沉降曲线。

8.3 水平位移监测

8.3.1 水平位移监测方法宜采用全站仪(前方交会测量、极坐标法、自由设站法)、近景摄影测量和机器视觉测量等方法。

8.3.2 水平位移监测应根据监测精度选择相应的观测精度等级, 方法及精度应符合现行行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8 的规定。

8.3.3 使用全站仪自动监测系统进行水平位移监测应符合下列规定:

- 1 仪器设备应安装牢固, 使用期间应定期维护;
- 2 全站仪自动监测技术要求应符合现行行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8 的规定;
- 3 设站点应与 3 个以上基准点或工作基点通视, 应根据观测精度要求、全站仪精度等级和监测点到仪器测站点的视线长度, 进行观测方法设计和精度估算;
- 4 全站仪的自动照准应稳定、有效, 单点单次照准时间不宜大于 10s;
- 5 多台全站仪联合组网观测时, 相邻测站应有重叠的观测目标;
- 6 每期观测应进行基准点或工作基点联测、稳定性判断和观测精度评定, 然后再进行监测点数据计算;

7 全站仪自动监测系统水平位移观测应进行人工观测初始化，设定相应测回数 and 测量周期等观测参数之后，在软硬件系统控制下进行观测。

8.3.4 近景摄影测量设备选择、像控点和检查点设置、观测和影像获取、处理技术等要求应符合现行行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8 的规定。

8.3.5 机器视觉测量设备选择等要求应符合本规程第 8.2.6 条的规定。

8.3.6 水平位移监测计算和成果应符合下列规定：

- 1 采用附和导线、边角网观测的应计算角度、距离附和差或闭合差并分析判断观测质量；
- 2 监测网应使用稳定的基准点或工作基点做起算点，进行严密平差，计算各点的坐标值，并评定测量精度；
- 3 采用全站仪观测时应同时测定气象数据，测距边归算到水平距离时，应在观测的斜距中加入气象改正和仪器加乘常数改正及周期误差改正，并换算到同一水平面上；当采用自动测量系统观测时，可进行差分改正；
- 4 水平位移矢量应投影至所需分析的特定方向，成果应包括本次变化量、累计变化量和变化速率，绘制位移矢量曲线或典型监测点的时间-位移曲线。

8.4 净空收敛监测

8.4.1 净空收敛监测可采用收敛计、全站仪、激光测距仪和机器视觉等方法。

8.4.2 采用收敛计、全站仪和激光测距仪进行净空收敛监测应符合现行国家标准《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911 的规定。

8.4.3 净空收敛成果应包括本次变化量、累计变化量、收敛变化速率、固定测线、收敛断面布置图和观测成果表。

8.5 支撑轴力、锚杆（索）拉力监测

8.5.1 支撑轴力、锚杆（索）拉力宜采用轴力计、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。

8.5.2 轴力计、钢筋应力计和应变计的量程宜为对应设计值的 2 倍，量测精度不宜低于量程的 0.5%，分辨率不宜低于量程的 0.2%。

8.5.3 安装完成后应对轴力计、钢筋应力计或应变计进行检查测试，并应将下一步工序施工前连续 2d 获得的稳定测试数据的平均值作为其初始值。

8.5.4 张拉设备仪表应与锚杆（索）测力计仪表同步相互校核。

8.6 倾斜监测

8.6.1 倾斜监测应根据现场观测条件，选用投点法、全站仪坐标法、倾斜仪法或差异沉降法等观测方法。

8.6.2 投点法、全站仪坐标法、倾斜仪法和差异沉降法观测应符合现行地方标准《建设工程第三方监测技术规程》DB11/T 1626 的规定。

8.6.3 倾斜观测精度应取监测控制值的 1/10~1/20。

8.6.4 倾斜监测成果应包含测量位置信息、倾斜方向、偏移量、倾斜率及倾斜率变化速率。

8.7 深层水平位移监测

8.7.1 支护桩（墙）体和土体深层水平位移监测，宜在桩（墙）体或土体中预埋测斜管，采用测斜仪观测。

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

8.7.3 测斜仪系统精度不宜低于累计变形控制值的 1/30，传感器精度不宜低于 0.02mm/500mm，电缆长度应大于测斜孔深度。

8.7.4 测斜管布设应符合下列规定：

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

2 布设前应检查测斜管质量，测斜管连接时，上下管段的导槽应对准，各段接头应紧密对接，管底应密封；

3 测斜管绑扎于支护桩（墙）迎土侧；

4 测斜管绑扎时应保证测斜管一对导槽的方向与所需测量的位移方向保持一致；

5 测斜管与钢筋笼绑扎牢固，绑扎间距不宜大于 1m，管底宜与钢筋笼底部持平或略短于钢筋笼；

6 测斜管顶部外套管保护，保护范围应至少覆盖冠梁底标高以下 20cm 至冠梁顶面。

8.7.5 监测前宜采用清水将测斜管内冲刷干净，采用模拟探头进行试孔检查后方可使用；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。

8.7.6 计算深层水平位移时，应确定固定起算点，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。

8.7.7 当采用固定式测斜仪进行自动化监测时，宜采用单根多芯电缆完成供电、通讯控制等功能。

8.7.8 测斜管导槽与基坑角度不垂直应按下式计算修正。

$$S_2 = S_1 / \cos \theta \quad (8.7.8)$$

式中：S₂——水平位移值（mm）；

S₁——偏移方向的观测值（mm）；

θ——导槽实际偏移方向与基坑垂直方向的夹角。

8.8 结构应力监测

8.8.1 结构应力可通过应变计、应力计或光纤传感器进行量测。

8.8.2 钢筋应力计或应变计的量程宜为设计内力值的 2 倍。

8.8.3 量测精度不宜低于量程的 0.25%。

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

8.8.5 结构应力监测宜取土方开挖前连续 3d 获得的稳定监测数据的平均值作为初始值。

8.9 裂缝监测

8.9.1 裂缝监测内容应包括裂缝位置、走向、长度和宽度，必要时监测裂缝深度。

8.9.2 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、千分尺、游标卡尺或裂缝计等方法；
- 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。

8.9.3 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。

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

8.9.5 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；当需测出裂缝纵横向变化值时，可采用坐标方格网板标志。

8.9.6 当采用测缝传感器、位移计自动测记时，应进行人工复核，数据的观测、传输和保存应可靠。

8.10 轨道静态几何形位监测

8.10.1 轨道静态几何形位监测应包括轨距、轨向、轨道高低和轨道水平等内容。

8.10.2 轨距和轨道水平应使用轨距尺测量，以尺一端为固定点，测读记录另一端轨距读数最小位置的轨距测值及水平测值。

8.10.3 轨向和轨道的高低监测，应使用轨道检查仪或 10m 弦线和钢直尺对线路左右两股钢轨轨向和高低进行测量，并应符合下列要求：

- 1 轨向应先目测轨道不平顺点作为监测点，安置点应为钢轨头部内侧面的轨面向下 16mm 处，使用钢直尺量取钢轨头部内侧与弦线之间的矢度；
- 2 轨道高低应先目测轨面平顺情况，应在有坑洼处采用 10m 弦线在轨面测量矢度。

8.10.4 轨距、轨向、轨道高低和轨道水平均应独立观测两次，两次测量数据较差不应大于 1mm，取均值为观测值。

8.11 孔隙水压力监测

8.11.1 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。

8.11.2 量测精度不宜低于量程的 0.15%。

8.11.3 孔隙水压力计的布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。

8.11.4 孔隙水压力计应在施工前布设，并应符合下列规定：

- 1 布设前，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；
- 2 传感器的导线长度应大于设计深度，导线中间不宜有接头，引出地面后应放在采集箱内并编号；
- 3 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，相邻孔隙水压力计应采取隔水措施；
- 4 布设后应记录编号、位置并测读初始读数。

8.11.5 当采用钻孔法布设孔隙水压力计时，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，并应采用干燥膨润土球或注浆封孔。

8.11.6 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。

8.11.7 孔隙水压力计布设后宜逐日量测 1 周以上并取得稳定初始值。

8.12 地下水位监测

8.12.1 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。

8.12.2 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相一致，与其他含水层之间应采取有效的隔水措施。

8.12.3 水位观测管布设稳定后应测定孔口高程并计算水位高程。测量精度不宜低于 10mm。

8.12.4 水位观测管的安装应符合现行国家标准《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911 的规定。

8.12.5 水位观测管宜在工程开始降水前至少 1 周布设，且宜逐日连续观测水位并取得稳定初始值。

9 监测控制值

9.0.1 监测控制值应满足结构自身安全及周边环境安全的要求。对各监测项目应分别制定相应的监测控制值。

9.0.2 周边环境监测控制值应根据实际情况确定。对于特别重要或者周边环境十分复杂的工程应进行专项检测、评估、设计，以确定其监测控制值。

9.0.3 监测控制值应根据结构跨度、埋置深度、工程地质及水文地质特点、施工工法、支护设计参数、监控量测等级和地铁工程施工经验等因素综合确定。

9.0.4 明（盖）挖法支护结构和周围岩土体的变形监测控制值可按表 9.0.4 确定。

表 9.0.4 明（盖）挖法支护结构和周围岩土体变形监测控制值

序号	监测项目	累计值（mm）			变化速率（mm/d）
		监控量测等级一级	监控量测等级二级	监控量测等级三级	
1	地表沉降	$\leq 0.15\%H$ 或 ≤ 30 ，两者取小值	$\leq 0.2\%H$ 或 ≤ 40 ，两者取小值	$\leq 0.3\%H$ 或 ≤ 50 ，两者取小值	$\leq 2\sim 3$
2	支护桩（墙）顶部竖向位移	≤ 10			≤ 1
3	支护桩（墙）顶水平位移	≤ 15			≤ 2
4	支护桩（墙）体水平位移	$\leq 0.15\%H$ 或 ≤ 30 ，两者取小值	$\leq 0.2\%H$ 或 ≤ 40 ，两者取小值	$\leq 0.3\%H$ 或 ≤ 50 ，两者取小值	≤ 2
5	坑底隆起	≤ 20	≤ 25	≤ 30	≤ 3
6	竖井井壁净空收敛	≤ 30			≤ 2

注：1 当需对基坑桩（墙）顶（体）向基坑外的水平位移进行控制时，建议控制值为 15mm；

2 H 为基坑设计深度。

9.0.5 浅埋暗挖法工程支护结构和周围岩土体的变形监测控制值可按表 9.0.5 确定。

表 9.0.5 浅埋暗挖法施工支护结构和周围岩土体变形监测控制值

序号	监测项目及区域		累计值（mm）	变化速率（mm/d）
1	地表沉降	区间	$\leq 20\sim 40$	$\leq 2\sim 3$
		车站	$\leq 40\sim 70$	
2	拱顶沉降	区间	≤ 30	$\leq 2\sim 3$
		车站	≤ 40	
3	净空收敛		≤ 20	≤ 1

注：1 本表中区间隧道跨度为小于 8m；车站跨度为大于 16m 和小于 25m；

2 本表中拱顶沉降系指拱部开挖以后布设在拱顶的沉降监测点所测值。

9.0.6 盾构法和顶管法隧道地表沉降、拱顶沉降及地表隆起控制值可按表 9.0.6 确定。

表 9.0.6 盾构法和顶管法施工监测控制值

序号	监测项目	累计值（mm）	变化速率（mm/d）
1	地表沉降	$\leq 20\sim 30$	$\leq 2\sim 3$
2	拱顶沉降	≤ 20	≤ 2
3	地表隆起	≤ 10	≤ 2
4	净空收敛	$\leq 0.2\% D$	≤ 2

注：D 为盾构法或顶管法隧道开挖直径。

10 巡 视

10.1 一般规定

10.1.1 巡视应包含现场巡视和远程视频监控。

10.1.2 地铁工程建设巡视应包括工程结构、周围岩土体、周边环境及监测基准点、工作基点、监测点、监测元器件的完好性，并应覆盖建设期全过程。

10.1.3 巡视前应对巡视部位的工程地质、周边环境、设计方案、施工方案、监控量测方案等资料进行分析。

10.1.4 现场巡视可采用人工目测的方法为主，可辅以锤、钎、量尺、放大镜等工具以及摄像、摄影等设备进行。

10.1.5 现场巡视时，现场巡视人员应以填表、拍照或摄像等方式对自然条件、支护结构、施工工况、周边环境、监测设施等巡视检查情况进行详细记录，并及时整理、反馈巡视信息。

10.1.6 巡视信息应与监测数据进行综合对比分析，对监测数据变化异常的部位应结合数据变化情况重点巡视。

10.1.7 远程视频监控宜采用可变焦、扫视和俯仰遥控的摄像头，摄像头、拾音器等应安装在便于取景和录音的安全部位，并采取防撞、防水等保护措施。

10.1.8 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。

10.1.9 应定期巡视检查基准点、监测点、监测元器件的完好状况和保护情况。

10.1.10 汛期对工程敏感周边环境、工程关键部位、复杂地层等位置巡视每天不应少于 1 次；在中雨及以上降雨过后、持续降雨期间加密现场巡视。异常部位应补充监测点进行监测，明显异常部位应及时采取措施。

10.2 明（盖）挖法施工巡视

10.2.1 明（盖）挖法施工现场巡视应包括支护结构、土方开挖、渗漏水、坑边堆载、防汛、监测设施等，宜按本规程附录 B.0.1 实施。

10.2.2 倒挂井壁竖井巡视应包括支护结构、土方开挖、渗漏水、坑边堆载、防汛、监测设施，宜按本规程附录 B.0.2 实施。

10.2.3 远程视频监控可监控下列关键部位：

- 1 岩土体开挖面；
- 2 支护结构和周边环境等风险较大的部位。

10.2.4 视频可安装在场地高处、基坑两侧及对角处等位置，视频应能监控到施工过程中关键工序、部位的施工信息。

10.2.5 主体结构施工完毕后，可停止远程视频监控。

10.3 浅埋暗挖法施工巡视

10.3.1 浅埋暗挖法隧道施工现场巡视应包括马头门、超前支护、土方开挖、支护结构、回填注浆、临时支撑拆除、监测设施等，宜按本规程附录 B.0.3 实施。

10.3.2 视频可监控下列关键部位：

- 1 标准断面隧道掌子面、多导洞隧道拱部各导洞掌子面；
- 2 洞桩（柱）法暗挖车站各导洞、其他工法暗挖车站拱部各导洞及初支扣拱的掌子面；
- 3 临时支撑拆除；
- 4 穿越特级环境风险的浅埋暗挖法工程，开挖面渗漏水或地层不稳定处，以及其他需加强监控的作业面。

10.4 盾构法和顶管法施工巡视

10.4.1 盾构法和顶管法隧道施工现场巡视应包括接收始发、停机、开仓、密封、掘进参数、出土状态、同步注浆、结构、监测设施等，宜按本规程附录 B.0.4 实施。

10.4.2 视频可监控下列关键部位：

- 1 管片拼装区域；
- 2 螺旋输送机出土口位置；
- 3 盾构机操作室；
- 4 盾构法或顶管法联络通道及矩形顶管施工出入口；
- 5 盾构出土井。

10.4.3 主体结构施工完毕后，可停止远程视频监控。

10.5 周边环境巡视

10.5.1 周边建（构）筑物巡视应包括结构破损、裂缝、渗漏、管井积水、变形缝错位等，宜按本规程附录 B.0.5 实施。

10.5.2 周边道路（地面）巡视应包括破损、裂缝、隆沉、冒浆等，宜按本规程附录 B.0.5 实施。

10.5.3 周边河流湖泊等地表水体巡视应包括水面漩涡、气泡、堤坡开裂等，宜按本规程附录 B.0.5 实施。

10.5.4 周边邻近施工情况巡视应包括支护桩（墙）施工、施工进度、堆载等以及可能影响工程安全的其他生产活动等，宜按本规程附录 B.0.5 实施。

10.6 巡视频率

10.6.1 土方施工开始前，应对施工现场及周边环境进行 1 次巡视。暂停施工期间巡视频率不应低于监测频率。

10.6.2 明（盖）挖法土方施工期间，现场巡视应每天 1 次，拆除支撑期间，巡视频率每天不应少于 1 次。

10.6.3 浅埋暗挖法土方施工期间，每循环对掌子面及支护结构进行现场巡视，拆除支撑期间，巡视频率每天不应少于 1 次。

10.6.4 盾构法及顶管法土方施工期间，现场巡视频率每天不应少于 1 次。

10.6.5 对施工影响范围内相应地表、道路、建（构）筑物等周边环境，施工期间巡视频率不应低于监测频

率。

10.6.6 当监测频率提高时，巡视频率应相应提高。

10.6.7 施工阶段巡视工作应贯穿工程施工全过程，当监测工作结束时，可结束巡视工作。

11 预 警

11.1 一般规定

11.1.1 预警应包括监测预警、巡视预警、综合预警。

11.1.2 应根据监控量测信息经分析研判，预警可分为黄色预警、橙色预警和红色预警三级。

11.1.3 预警情形出现后应及时分析原因，分析应包括下列内容：

- 1 预警原因，包含技术因素、环境因素和管理因素等；
- 2 预警部位安全风险状态评价；
- 3 确定具体的工程处置措施。

11.1.4 预警响应处置后，应继续跟踪处置效果并及时反馈。

11.2 监测预警

11.2.1 监测预警等级依据监测值与监测控制值的对比结果确定，可按表 11.2.1 判定。

表 11.2.1 监测预警等级

监测预警等级	判定条件（满足以下条件之一时）
黄色	1. “双控”监测值均达到相应监测对象及项目的监测控制值的 70%（含）以上； 2. “双控”监测值之一达到监测控制值的 85%（含）以上
橙色	1. “双控”监测值均达到相应监测对象及项目的监测控制值的 85%（含）以上； 2. “双控”监测值之一达到监测控制值（含）以上
红色	1. “双控”监测值均达到相应监测对象及项目的监测控制值（含）以上； 2. “双控”监测值之一超过监测控制值（含），且监测数据持续未收敛

注：“双控”监测值指针对监测项目的累计监测变形量和实际变化速率值。

11.2.2 发布黄色监测预警时，应持续关注变形趋势；发布橙色监测预警时，应持续关注变形趋势，必要时提高监测频率；发布红色监测预警时，应提高监测频率。

11.3 巡视预警

11.3.1 通过巡视发现工程处于不安全状态时应进行巡视预警。

11.3.2 巡视预警等级的判定应符合现行地方标准《城市轨道交通工程建设安全风险技术管理规范》DB11/1316 的规定。

11.3.3 发布黄色巡视预警时，应跟踪预警处置效果；发布橙色巡视预警时，应分析原因后，确定是否提高监测频率；发布红色巡视预警时，应提高监测和巡视频率。

11.4 综合预警

11.4.1 综合预警可通过分析监测预警、巡视预警的分布、数目、等级等，结合现场安全状态评价结果判定。

11.4.2 综合预警等级的判定应符合现行地方标准《城市轨道交通工程建设安全风险技术管理规范》DB11/1316 的规定。

12 监控量测成果与信息反馈

12.0.1 监控量测工作应建立管理制度和信息反馈制度，建立信息沟通渠道。

12.0.2 监控量测数据及资料应有记录。

12.0.3 应整理分析各种数据，判断工程的安全性，并反馈相关信息。

12.0.4 监测的各类数据均应及时绘制成时程曲线，分析监测数据与施工工序的关系。

12.0.5 信息分析应包括工况、水文地质和工程地质、同一影响区的所有监测项目的数据、巡视情况等。

12.0.6 应根据已完成工程的时程曲线及时分析下阶段施工的安全状态，指导后期设计与施工。

12.0.7 监控量测报告可分为日报、预警报告、阶段性报告和总结报告，应采用文字、表格、图形、图像、影像等形式，表达直观、明确，现场巡视报表可按本规程附录 B 填写，监测日报表可按本规程附录 C 填写。

12.0.8 监控量测数据的处理与信息反馈应利用信息化技术手段，实现数据采集、处理、分析、查询和管理的一体化以及成果的可视化。

13 信息化管理系统

13.1 一般规定

13.1.1 信息化管理系统应包含施工安全风险监控系统、自动化监测系统、视频监控系统。

13.1.2 信息化管理系统应采用成熟、可靠的技术，应具有良好的兼容性和可扩展性，具有网络安全防护功能，方便及时更新系统。

13.2 施工安全风险监控系统技术要求

13.2.1 施工安全风险监控系统应具备监测、巡视、预警、工程进度及工程资料等使用功能。

13.2.2 监测功能应具备对监测点、监测数据进行管理的功能。

13.2.3 巡视功能模块应包括安全风险巡视、专家巡视功能。

13.2.4 预警功能应包括监测预警、巡视预警及综合预警的发布、响应、现场处置及消警功能。

13.2.5 工程进度功能应具备进度填报、图形化显示功能。

13.2.6 工程资料应具备资料填报、预览、下载功能。

13.3 自动化监测系统技术要求

13.3.1 自动化监测系统应具备数据采集、数据传输、数据处理、信息反馈等功能。

13.3.2 监测系统性能应满足下列规定：

- 1 应具有较好的长期稳定性、可靠性和可扩展性；
- 2 应能与其他系统进行信息交换或在系统中预留相应的接口；
- 3 应具有良好防侵入性能；
- 4 硬件设施维护应便捷，软件运行应稳定且更新及时，软件开发规范、使用便捷；
- 5 应能与对应时间的人工比测数据结果比对，具备人工校核功能；
- 6 自动化监测系统采集数据的中误差应与设备标称精度相符；
- 7 应具备数据定期自动备份和手动备份的功能，查询数据可用图表显示和导出。

13.3.3 数据采集及处理应具有下列功能：

- 1 自动巡测和人工选测的功能；
- 2 在数据采集设备与系统之间双向数据通信功能；
- 3 对重要或异常监测点连续采集的功能；
- 4 兼容主流监测仪器及传感器的功能，同时接口具备开放性；
- 5 人工监测数据录入的功能，实现对人工监测数据的处理。

13.3.4 监测系统运行状态判别及预、报警应具有下列功能：

- 1 对采集设备、电源、通信等硬件的工作状态进行自动识别，对异常状态自动提醒的功能；
- 2 自动判定监测成果数据预警状态，并进行分级预警的功能。

13.3.5 系统维护和管理功能应符合下列规定：

- 1 应有自动化监测系统日常运行维护日志；
- 2 可进行监测模块参数扩充、删减和升级；
- 3 可对监测设备进行设置；
- 4 可对监测项目进行增、删、改、查等操作；
- 5 可设置或调整监测点初始化、监测频率等；
- 6 可对系统硬件进行维修和更换。

13.4 视频监控系统技术要求

13.4.1 视频监控系统管理应实行层级管理模式，系统建设应满足层级管理模式的要求。

13.4.2 视频监控系统应具备捕影、存储、传输、控制与显示等功能。

13.4.3 视频监控应清晰、流畅，系统技术指标应符合现行行业标准《建筑工程施工现场视频监控技术规范》JGJ/T 292 的规定。

附录 A 监测点布设

A.0.1 支护桩（墙）、边坡顶部水平位移监测点的布设图（A.0.1-1、A.0.1-2），应符合下列规定：

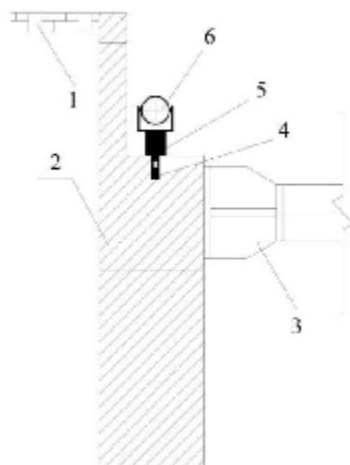


图 A.0.1-1 支护桩（墙）水平监测点

1—地面；2—冠梁；3—支撑；4—固定螺栓；5—连接杆件；6—测量装置

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，观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。

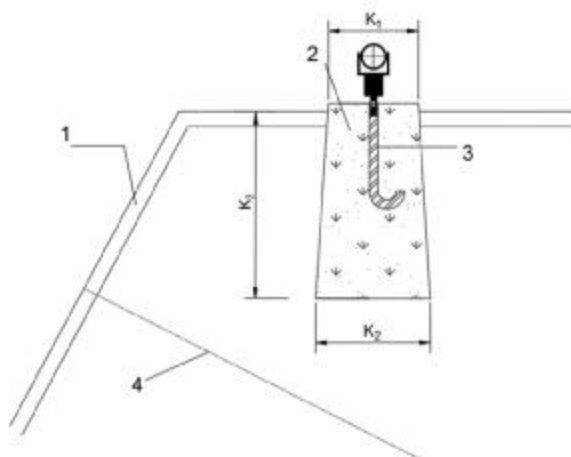


图 A.0.1-2 基坑边坡顶水平位移监测点

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

A.0.2 支护桩（墙）体水平位移监测点的布设（图 A.0.2），应符合下列规定：

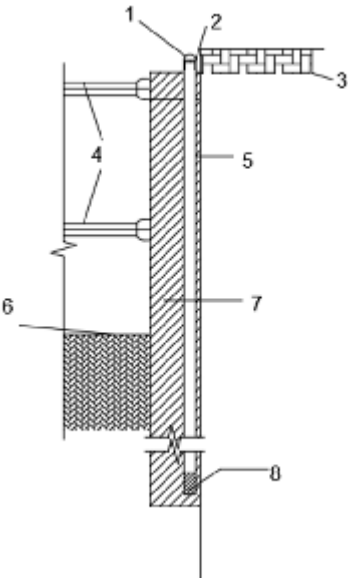


图 A.0.2 支护桩（墙）体水平位移监测点
 1—测斜管保护盖；2—套管；3—地面；4—支撑；5—测斜管；6—基坑底部；
 7—支护桩（墙）体；8—测斜管底封堵墙

- 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，并宜每米绑扎一次，埋设时应保证测斜管的一对导槽垂直于基坑边线。

A.0.3 城市道路的路基竖向位移监测点的布设（图 A.0.3），应符合下列规定：

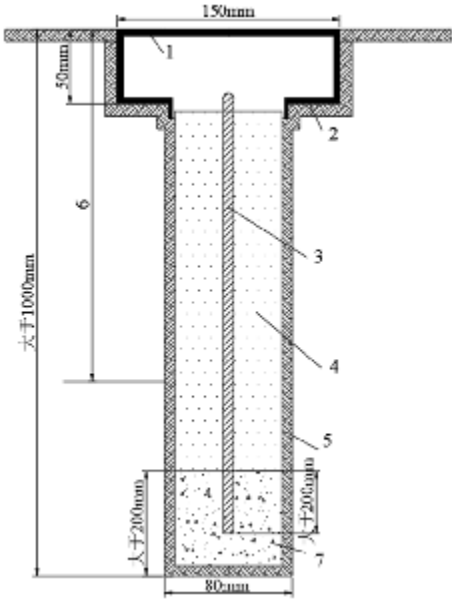


图 A.0.3 路基竖向位移监测点

- 1—保护盖；2—护筒；3—标志点；4—砂土；5—土层；6—钻至原状土层且大于冻土线；7—混凝土

1 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与最大冻土线，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，孔内用细砂回填；

2 井盖直径宜为 150mm，井口标高宜与道路地表标高相同。

A.0.4 地下管线直接观测法监测点的布设，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埋设于管线顶部结构上方（图 A.0.3），当有特殊要求时，地下管线竖向位移监测点宜采用测杆埋设于管线外侧土体中（图 A.0.4），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；

2 井盖直径宜为 150mm，井口标高宜与地面标高相同。

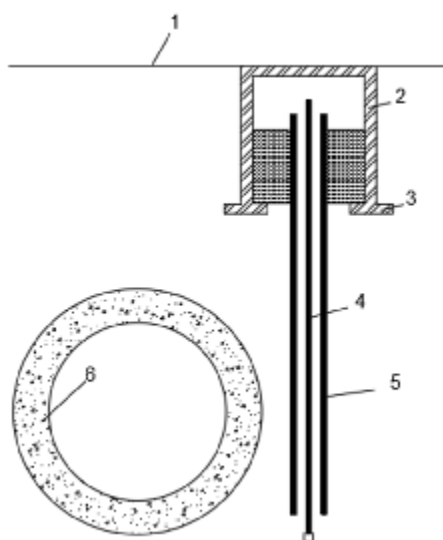


图 A.0.4 地下管线管侧土体监测点

1—地面；2—保护井；3—底部垫圈；4—测杆；5—保护管；6—管道

A.0.5 建（构）筑物监测点布设应首选钻孔式监测点，钻孔式监测点无法布设时，可依次按螺栓式监测点、粘贴式监测点、条码尺监测点的优先顺序选择布设形式。

A.0.6 建（构）筑物竖向位移埋入式监测点的埋设（图 A.0.6）应符合下列规定：

1 建（构）筑物竖向位移监测点布设宜采用 L 形螺纹钢，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。

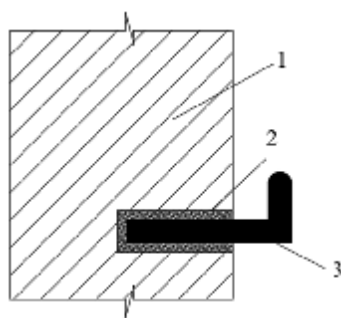


图 A.0.6 建（构）筑物竖向位移监测点

1—墙体；2—锚固剂；3—标志点

A.0.7 建（构）筑物竖向位移监测点采用粘贴式监测点（A.0.7），应符合下列规定。

- 1 建（构）筑物竖向位移监测点布设宜采用 L 形螺纹钢，钢筋直径宜为 18mm~22mm，外露端顶部宜加工成球形；
- 2 标志宜采用粘结的方式，标志与墙体粘结处应基面处理，保证粘合稳定，标志点的高度宜位于地面以上 300mm；
- 3 粘贴式监测点采用钢筋材质或不锈钢材质，粘贴部分应为不小于 60mm×60mm 的方形；
- 4 螺纹钢外露端顶部与建（构）筑物外表面的距离宜为 30mm~40mm。

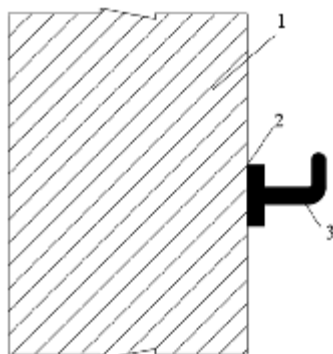


图 A.0.7 粘贴式建（构）筑物竖向位移监测点

1—墙体；2—粘结处；3—标志点

A.0.8 建（构）筑物竖向位移监测点采用条码尺监测点，条码尺监测点条码尺长度不宜短于 40cm，并将条码尺标志塑封后加垫板粘贴使用。

附录 B 现场巡视报表

B.0.1 明（盖）挖法工程施工现场巡视报表见表 B.0.1。

表 B.0.1 明（盖）挖法基坑工程施工现场巡视报表

工程名称：

报表编号：

巡视时间：

年 月 日 时

天气：

分类	巡视内容	巡视结果	备注
支护结构	断桩、夹泥、缩颈等缺陷		
	支护桩（墙）体超限		
	侧壁网喷面鼓胀、开裂、渗水		
	支护桩（墙）目测明显变形		
	地下连续墙开裂、渗水或涌水、水土流失		
	放坡、支护边坡坡度超限		
	边坡支护变形、开裂、滑塌		
	支护桩（墙）后土体可视裂缝、沉陷		
	盖挖法顶板可视变形，顶板与立柱、墙体的连接处裂缝		
	土钉或锚杆施作不及时		
	土钉或锚杆施工长度、数量、角度		
	锚杆未拉拔即进行下部土体开挖、锚固体强度未达到设计要求值即进行拉拔		
	土钉或锚杆节点缺陷及锚垫板或钢围檩变形或移位		
	土钉或锚杆节点施工质量		
	钢腰梁、钢围檩与桩（墙）不密贴		
	钢腰梁、钢围檩不连续		
	支撑（合格立柱、剪刀撑）架设滞后		
	混凝土支撑强度未达设计要求即进行土方开挖		
	混凝土支撑变形、开裂		
	钢支撑斜撑未安装抗剪凳		
	抗剪凳回填不密实、数量不足		
	未安装支撑防坠落保护		
	钢支撑支点处的围檩变形		
	钢支撑支点处混凝土开裂		
	钢支撑拆除超过一个流水段		
	同一断面同时拆除两道支撑		
土方开挖	开挖地质类型		
	采用中部拉槽方式开挖时，护坡土留设的宽度		
	开挖坡顶面变形开裂或存在滑塌趋势		
	坑内土体坡度超限		
	侧壁喷护不及时		

续表 B.0.1

工程名称：

报表编号：

巡视时间： 年 月 日 时

天气：

分类	巡视内容	巡视结果	备注
基坑侧壁	基坑侧壁土体塌落		
	地下水渗漏位置、大小、类型、含砂量、气味、颜色		
	基底突涌或管涌		
	开挖面因积水、渗水造成土体塌滑		
坑边堆载	基坑边长期有重型设备等活动荷载		
	基坑边 2m 范围内出现施工荷载，基坑强烈影响区单位面积荷载超出设计值		
	盖挖法结构或铺盖法顶部超载		
防汛	地面硬化开裂破损		
	挡水墙高度不足、有缺口		
	截排水系统渗漏		
	废弃管线未有效封堵		
	工程与既有线接口无有效隔离		
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	其他安全风险情况		

巡视人：

技术负责人：

注：1 揭露面地质情况不论是否发生变化均应描述；

2 对存在问题应描述具体情况。

B.0.2 倒挂井壁竖井现场巡视报表见表 B.0.2。

表 B.0.2 倒挂井壁竖井现场巡视报表

工程名称：报表编号：

巡视时间：年 月 日 时天气：

分类	巡视内容	巡视结果	备注
倒挂井壁法竖井	锁口圈变形、开裂		
	锁脚锚管数量、长度		
	未采用对角对称分部开挖方式		
	开挖面停工未及时封闭		
	开挖面地质类型		
	开挖面超挖、坍塌		
	纵向连接筋未按设计参数施工		
	格栅拱架架设后未及时喷射混凝土		
	初期支护开裂		
	井身结构变形、开裂		
	地下水渗漏位置、大小、类型、含砂量、气味、颜色		
	多仓竖井相邻仓施工工序		
	坑边堆载		
坑边堆载	基坑边长期有重型设备等活动荷载		
	基坑边 2m 范围内出现施工荷载，基坑强烈影响区单位面积荷载超出设计值		
	盖挖法结构或铺盖法顶部超载		
防汛	地面未硬化或硬化开裂破损		
	挡水墙高度不足、有缺口时无补充措施		
	截排水系统不完善、渗漏		
	废弃管线未有效封堵		
	工程与既有线接口无有效隔离		
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	其他安全风险情况		

巡视人：技术负责人：

注：1 揭露面地质情况不论是否发生变化均应描述；

2 对存在问题应描述具体情况。

B.0.3 浅埋暗挖法工程现场巡视报表见表 B.0.3。

表 B.0.3 浅埋暗挖法工程现场巡视报表

工程名称：

报表编号：

巡视时间：

年 月 日 时

天气：

分类	巡视内容	巡视结果	备注
马头门	未施作超前支护、加强环梁		
	加强环梁未留置与马头门格栅相连的钢筋甩茬		
	开口前，未在竖井或通道内施作斜撑或横撑		
	未设密排格栅钢架并与加强环梁相连接		
超前支护	超前小导管未从格栅拱架腹部穿过		
	超前支护的长度、数量、角度及纵向搭接长度		
	各管棚间未跳作，且未及时注浆填充		
	相邻管棚（幕）的连接部位应相互错开，同一断面接头超过 50%		
	超前支护注浆及注浆效果		
	小间距隧道夹层未加固		
土方开挖	掌子面地质类型		
	掌子面自稳性差、坍塌		
	存在掏挖		
	核心土尺寸		
	台阶长度		
	开挖面反坡		
	分部开挖时开挖步序、步长		
	相邻导洞掌子面间距		
	隧道停止施工时，未对掌子面采取支护措施		
	降水抽水出水量、含砂量		
	地下水渗漏位置、大小、类型、含砂量、气味、颜色		
支护结构	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		
	钢筋网与格栅钢架密贴、搭接长度		
	纵向连接筋、锁脚锚管、回填注浆管、拱脚密实、拱脚悬空、背后空洞		

续表 B.0.3

工程名称：

报表编号：

巡视时间：

年 月 日 时

天气：

分类	巡视内容	巡视结果	备注
支护结构	初期支护结构渗漏水		
	初期支护结构开裂、剥离、掉块		
	临时支撑结构明显变形		
	多导洞施工拆撑、二衬施工顺序		
回填注浆	初支成环后回填注浆及时性		
	初支背后回填注浆压力和注浆量及注浆效果		
临时支撑拆除	初支结构变形未稳定时，拆除临时支撑		
	临时支撑未分段拆除		
	拆除距离过大		
	需要倒换撑时，未倒换撑		
	多跨结构纵向拆撑施工、横向二衬施工未分段施工		
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	其他安全风险情况		

巡视人：

技术负责人：

注：1 揭露面地质情况不论是否发生变化均应描述；

2 对存在问题应描述具体情况。

B.0.4 盾构法和顶管法现场巡视报表见表 B.0.4。

表 B.0.4 盾构法和顶管法现场巡视报表

工程名称：

报表编号：

巡视时间：

年 月 日 时

天气：

分类	巡视内容	巡视结果	备注
施工工况	始发端、接收端土体加固		
	始发和接收托架、反力架		
	洞门密封装置的安装、洞门凿除，钢套筒密封		
	掘进位置（环号）		
	停机、开仓等的时间和位置		
	联络通道开洞口情况		
	盾构铰接密封或盾尾密封存在涌水、涌砂		
掘进参数	推进速度、推力、扭矩、土压力		
	出土量、土质		
	盾构姿态		
	同步注浆量，浆液结实率及初凝时间		
	盾尾漏浆		
结构	管片螺栓安装		
	管片破损、开裂、错台、渗漏水		
	联络通道开洞前对既有管片的保护措施，管片破除及加固、		
	地层加固、渗漏水		
	顶管法顶进井后背墙、内支撑变形		
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	其他安全风险情况		

巡视人：

技术负责人：

注：1 揭露面地质情况不论是否发生变化均应描述；

2 对存在问题应描述具体情况。

B.0.5 周边环境巡视报表见表 B.0.5。

表 B.0.5 周边环境现场巡视报表

工程名称：

报表编号：

巡视时间：

年 月 日 时

天气：

分类	巡视内容	巡视结果	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		
	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，水面旋涡、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、打桩等以及可能影响工程安全的其它生产活动		
	其他		

巡视人：

技术负责人：

附录 C 监测日报表

C.0.1 水平位移、竖向位移监测日报可按表 C.0.1 执行。

表 C.0.1 水平位移、竖向位移监测日报表

工程名称： 报表编号： 天气：

本次监测时间： 上次监测时间：

仪器型号：			仪器出厂编号：			检定日期：			
监测点号	初始值(mm)	上次累计变化量(mm)	本次累计变化量(mm)	本次变化量(mm)	变化速率(mm/d)	控制值		预警等级	备注
						累计变化量(mm)	变化速率(mm/d)		
施工工况：									
监测结论及建议：									

监测人： 校核人： 技术负责人：

第 页 共 页

C.0.3 深层水平位移监测日报可按表 C.0.3 执行。

表 C.0.3 深层水平位移监测日报表

天气:

上次监测时间:

仪器型号：			仪器出厂编号：			检定日期：		
监测位置	深度(m)	上次累计 变化量 (mm)	本次累计 变化量 (mm)	本次变化 量(mm)	变化速率 (mm/d)	控制值		变化量曲线：
						累计变化量 (mm)	变化速率 (mm/d)	
施工概况：								
监测结论及建议：								

技术负责人:

C.0.4 轴力监测日报可按表 C.0.4 执行。

表 C.0.4 轴力监测日报表

工程名称:

报表编号:

天气:

本次监测时间:

上次监测时间:

仪器型号:			仪器出厂编号:			检定日期:			
监测点号	初始值(kN)	上次累计变化量(kN)	本次累计变化量(kN)	本次变化量(kN)	变化速率(kN/d)	控制值		预警等级	备注
						累计变化量(kN)	变化速率(kN/d)		
施工工况:									
监测结论及建议:									

监测人:

校核人：

技术负责人:

C.0.5 应力监测日报可按表 C.0.5 执行。

表 C.0.5 应力监测日报表

工程名称:

报表编号:

天气:

本次监测时间:

上次监测时间:

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:								

监测人:

校核人：

技术负责人:

本规程用词说明

1 为便于在执行本规程时区别对待，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：

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：

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：

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 《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911
- 2 《城市地下综合管廊运行维护及安全技术标准》GB 51354
- 3 《建筑变形测量规范》JGJ 8
- 4 《建筑工程施工现场视频监控技术规范》JGJ/T 292
- 5 《铁路隧道设计规范》TB 10003
- 6 《邻近铁路营业线施工安全监测技术规程》TB 10314
- 7 《穿越既有道路设施工程技术要求》DB11/T 716
- 8 《穿越城市轨道交通设施检测评估及监测技术规范》DB11/T 915
- 9 《城市轨道交通设施结构检测技术规程》DB11/T 1167
- 10 《城市轨道交通工程建设安全风险技术管理规范》DB11/ 1316
- 11 《建设工程第三方监测技术规程》DB11/T 1626
- 12 《地下工程建设中管线保护技术规程 第 1 部分：供热管线》DB11/T 1815.1

北京市地方标准

地铁工程监控量测技术规程
Technical specification for monitoring measurement
of subway engineering

DB11/T 490—2024

条文说明

2024 北京

目 次

1 总 则	68
3 基本规定	69
3.1 基本要求	69
3.2 工程影响分区及监控量测范围	70
3.3 监控量测等级划分	74
4 明（盖）挖法施工监测	77
4.1 一般规定	77
4.2 监测项目	77
4.3 监测点布设	78
4.4 监测频率	81
5 浅埋暗挖法施工监测	83
5.1 一般规定	83
5.2 监测项目	83
5.3 监测点布设	83
5.4 监测频率	85
6 盾构法和顶管法施工监测	86
6.1 一般规定	86
6.2 监测项目	86
6.3 监测点布设	86
6.4 监测频率	87
7 周边环境监测	88
7.1 一般规定	88
7.2 建（构）筑物	88
7.3 桥 梁	89
7.4 地下管线	89
7.5 道 路	90
7.6 既有轨道交通	90
7.7 地表水体及水利设施	90
7.8 综合管廊	90
8 监测方法	92
8.1 一般规定	92
8.2 竖向位移监测	92

8.3 水平位移监测.....	93
8.4 净空收敛监测.....	94
8.5 支撑轴力、锚杆（索）拉力监测.....	94
8.6 倾斜监测.....	95
8.7 深层水平位移监测.....	95
8.8 结构应力监测.....	96
8.9 裂缝监测.....	97
8.10 轨道静态几何形位监测.....	97
8.11 孔隙水压力监测.....	98
8.12 地下水位监测.....	98
9 监测控制值.....	99
10 巡 视.....	116
10.1 一般规定.....	116
10.2 明（盖）挖法施工巡视.....	116
10.3 浅埋暗挖法施工巡视.....	116
10.4 盾构法和顶管法施工巡视.....	116
10.5 周边环境巡视.....	117
10.6 巡视频率.....	117
11 预 警.....	118
11.1 一般规定.....	118
11.2 监测预警.....	118
11.3 巡视预警.....	118
11.4 综合预警.....	118
12 监控量测成果与信息反馈.....	119
13 信息化管理系统.....	120
13.1 一般规定.....	120
13.2 施工安全风险监控系统技术要求.....	120
13.3 自动化监测系统技术要求.....	120
13.4 视频监控系统技术要求.....	120

1 总 则

1.0.1 地下工程建设中，地层既作为荷载也作为受力结构，受力模式复杂。因此采用动态设计、动态施工，通过监测及时反映结构及围岩的变形情况，反馈给设计、施工单位，根据监测情况调整优化设计、施工措施。设计、施工措施不仅要保证地铁工程本身的安全，还要确保邻近各类建（构）筑物安全，其中包括邻近或穿越的建筑物、城市轨道交通工程既有线结构、桥梁及地下管线等。

1.0.2 北京城市地铁工程新建、改建和扩建工程中均有可能涉及本规程所规定的内容。

1.0.3 地铁工程需要遵守的标准有很多，本规程只是其中之一。另外有关国家、行业、地方现行标准中对地铁工程监测也有一些相关规定，因此本条规定除遵守本规程外，地铁工程监测尚应符合国家现行有关标准的规定。

3 基本规定

3.1 基本要求

3.1.3 为了规范监控量测内容，保证监控量测方案编制质量，本条概括出了方案所包括的 14 项主要内容。

3.1.5 监测断面一般均匀布设，但在遇到结构尺寸、支护型式、施工方法等明显变化处以及有重要周边环境时，适当调整监测断面，以保证能够掌握应力变化部位的状态和对重要周边环境的保护。为了能够全面掌握某一断面或结构的稳定性，不同类型的监测点尽可能布设在同一监测断面，比如对基坑监测时，地表沉降、支护桩（墙）位移、边坡位移、支撑轴力、锚索拉力等监测点布设在同一断面。

3.1.6 超前深孔注浆、大管棚施工等均可能引起地表变形，因此在超前加固措施实施前获取初始值。

3.1.8 重要建（构）筑物一般是指风险等级为特级的周边环境，比如工程下穿正在运营的轨道交通线路。目前仪器设备均有采样频率的设定或需要特定的数据采集时长，不能实现绝对意义上的连续测量；由于环境振动等影响，会出现数据异常；过密监测频率会导致速率异常，因此测量频率需要结合设备特性、采集时长、环境干扰、观测精度等确定，并采用最高的可实现监测频率。

3.1.9 监测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。监测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、监测方法的确定以及对施工工期和造价都有很大的影响。

3.1.10 道路浅层设点为采用直径大于等于 5mm 直径的圆帽水泥钉或直径大于等于 18mm 圆顶钢筋在路面布设监测点的方法。

3.2 工程影响分区及监控量测范围

3.2.1 基坑、隧道工程的施工对周围岩土体的扰动范围和程度是不同的。一般而言，邻近基坑、隧道的地段岩土体受到的扰动程度最大，而随着距离的增加，影响程度逐渐减小。本规程将受施工扰动影响的范围称为工程影响区。根据受施工影响程度的不同，在施工影响范围内，从基坑、隧道的外侧逐渐远离施工点，分别划分为主要影响区、次要影响区和可能影响区。

通过针对受工程影响较大的周边环境对象进行重点监测，可以在经济和合理的范围内开展工程周边环境监测工作。

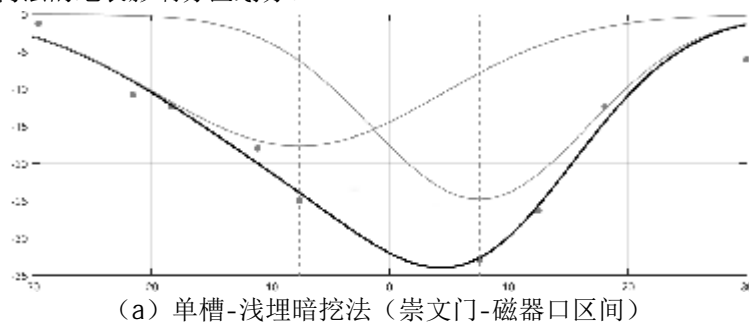
3.2.2 划分标准根据与基坑边缘的距离以及基坑的设计深度进行划分。在《建设工程第三方监测技术规程》DB11/T 1626 中，明挖工程的影响分区划分为主要影响区、次要影响区和一般影响区。因此，在修订本规程时，结合基坑工程的实际情况，以确保对明挖工程影响区域的合理划分和监测。

本规程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 V 级围岩、V 级~VI 级围岩和 VI 级围岩三类，分别统计、分析不同区域地层内摩擦角范围，其中北京地区 V 级围岩其内摩擦角范围 $35^{\circ}\sim 45^{\circ}$ ($0.41H\sim 0.52H$)，V 级~VI 级围岩其内摩擦角范围 $25^{\circ}\sim 35^{\circ}$ ($0.52H\sim 0.64H$)，VI 级围岩内摩擦角范围 $20^{\circ}\sim 25^{\circ}$ ($0.64H\sim 0.70H$)。考虑到工程特殊性与安全系数，选用 0.7 倍的基坑设计深度 (H) 作为主要影响区范围，0.7~1.0 倍基坑设计深度 (H) 为次要影响范围。

3.2.4 根据《城市轨道交通结构安全保护技术规范》CJJ/T 202，影响区被划分为强烈影响区、显著影响区和一般影响区。这一划分考虑了暗挖工程对上方、侧方和下方土体的扰动。《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911 中，影响区被划分为主要影响区、次要影响区和可能影响区。这一划分主要考虑了暗挖工程对上方和侧方土体的影响。《城市轨道交通土建工程设计安全风险评估规范》DB11/ 1067 将暗挖工程的影响区划分为接近、较接近和一般。这一划分主要考虑了暗挖工程对周边土体的影响，并根据与暗挖结构的距离不同进行划分。

在修订本规程时，参考以上规范的划分标准，同时考虑到双线互相影响的情况，按照三类地层进行了统计。

双线盾构隧道地表变形沉降槽曲线分为单槽与双槽曲线类型，如图 1 所示。双线的沉降影响范围要大于单线，为了保证工程监测范围覆盖，后续的分析中采用双线隧道施工后的沉降槽作为基础数据，分析浅埋暗挖法与盾构法的地表影响分区划分。



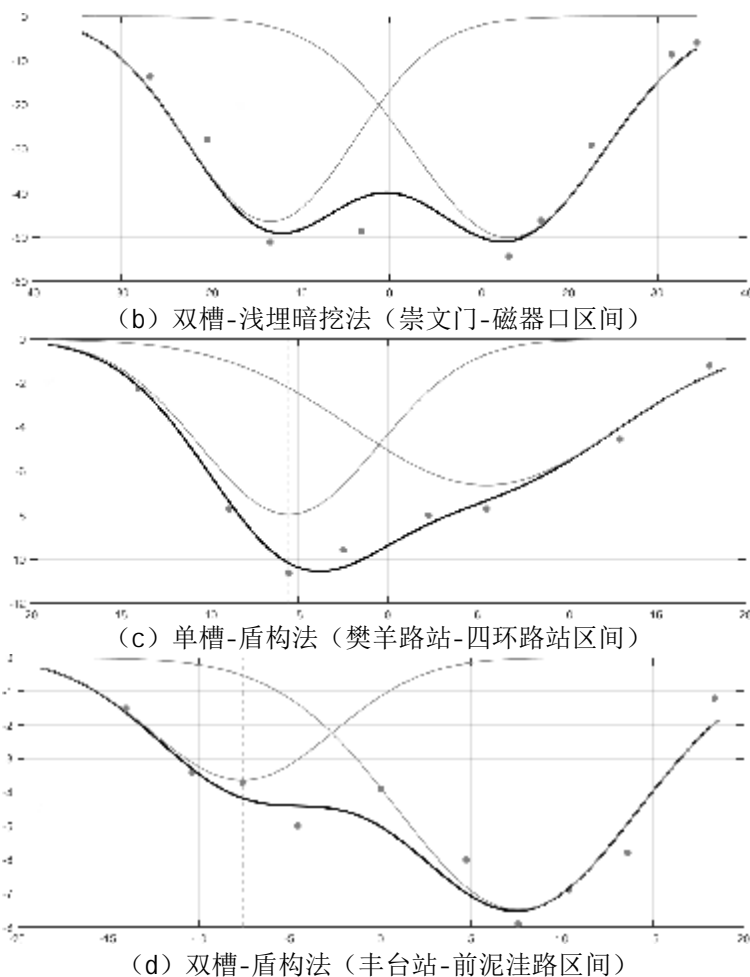


图 1 盾构法与浅埋暗挖法区间双线地表沉降槽类型（单位：m）

专题研究收集了北京 6 条线路，41 个工点，110 个断面（6 个监测点以上）的地表沉降信息。监测项目的监测数据变化量除与隧道工程的各项设计参数、工法相关外，还与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，本规程开展的监测控制指标专题研究将所收集工点的地层条件分为 V 级围岩、V 级～VI 级围岩和 VI 级围岩三类，分别统计、分析不同监测项目的实测结果。

1) 浅埋暗挖法

隧道地表沉降影响分区专题研究收集了北京的 6 条线路，16 个工点，30 个断面（监测点数大于 6 个）的实测资料，V 级围岩 11 个，VI 级围岩 19 个，隧道地表沉降主要统计隧道轴线上方的地表监测点，见图 2、图 3。图中 i 为沉降槽宽度特征值，即从隧道中线到沉降槽曲线拐点的距离。

统计实测结果表明，V 级围岩中浅埋暗挖法隧道地表沉降约 90% 的监测断面主要影响区均在 0.7 隧道底板埋深（ H_i ）以内；VI 级围岩地区约 90% 的监测断面主要影响区在 0.7 倍的隧道底板埋深（ H_i ）以内；浅埋暗挖法双线隧道可参考盾构法双线隧道分区图。

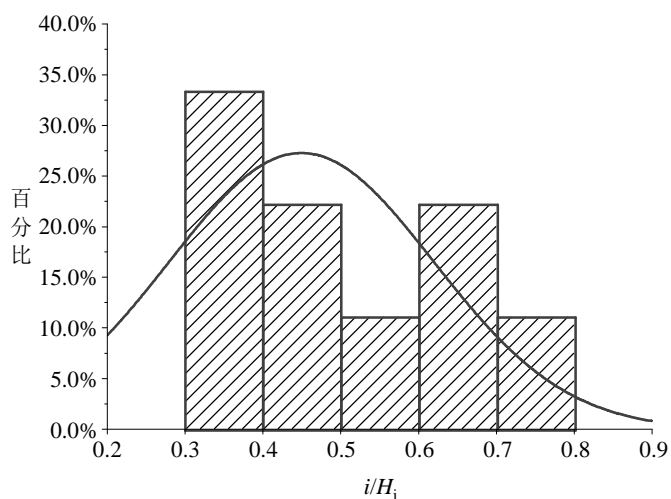


图 2 V 级围岩浅埋暗挖法标准断面主要影响区分布（埋深为底板埋深）

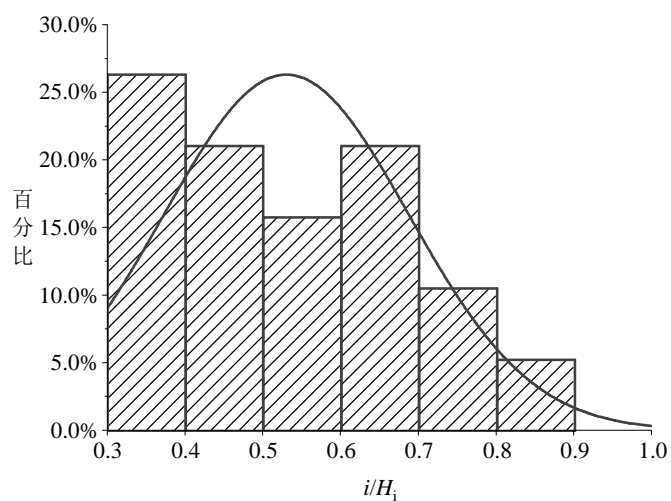


图 3 VI 级围岩浅埋暗挖法标准断面主要影响区分布（埋深为底板埋深）

2) 盾构法

盾构法隧道地表沉降（隆起）影响分区专题研究收集了北京的 6 条线路，25 个工点，71 个断面，100 个监测点的实测资料，V 级围岩 34 个、V 级~VI 级围岩 20 个和 VI 级围岩 17 个，对 71 个标准断面盾构隧道的实测统计结果见图 4、图 5、图 6。图中 i 为沉降槽宽度特征值，即从隧道中线到沉降槽曲线拐点的距离。

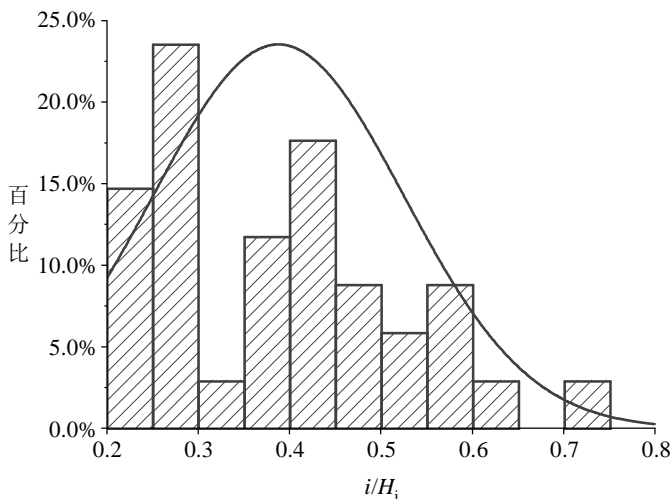


图 4 V 级围岩标准断面盾构隧道地表主要影响区分布（埋深为隧道中心深度）

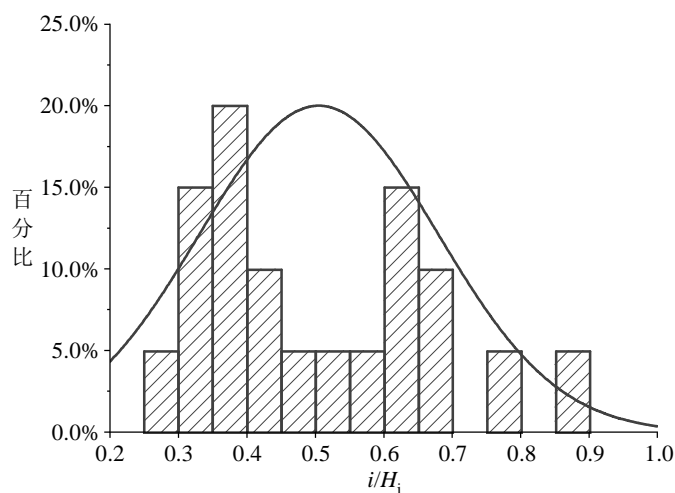


图 5 V 级~VI 级围岩标准断面盾构隧道地表主要影响区分布（埋深为隧道中心深度）

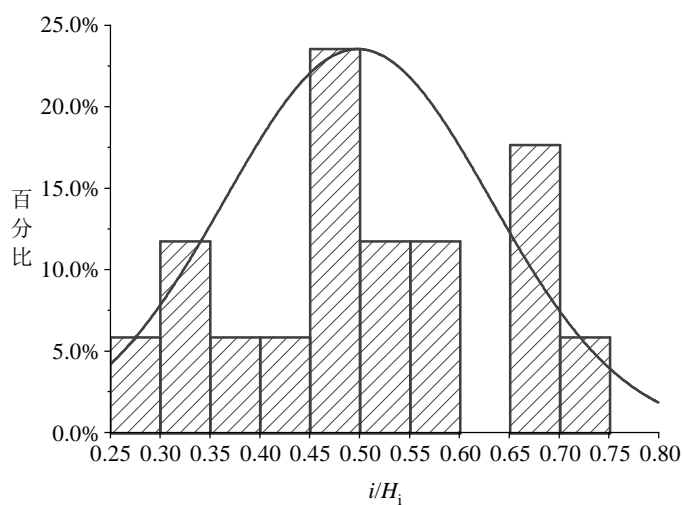


图 6 VI 级围岩标准断面盾构隧道地表主要影响区分布（埋深为隧道中心深度）

统计实测结果表明，盾构法隧道地表沉降一般在砂土地层的变形较大，在 V 级围岩地层中约 95% 的监测断面主要影响区在 0.65 倍的隧道底板埋深 (H_1) 以内；在 V 级~VI 级围岩地区约 90% 的监测的断面主要影响区在 0.7 倍的隧道底板埋深 (H_1) 以内；在 VI 级围岩地区约 90% 的监测点沉降主要影响区范围在 0.7 倍的隧道底板埋深 (H_1) 以内。双线隧道根据隧道间距分成三种情况如图 7、图 8、图 9。

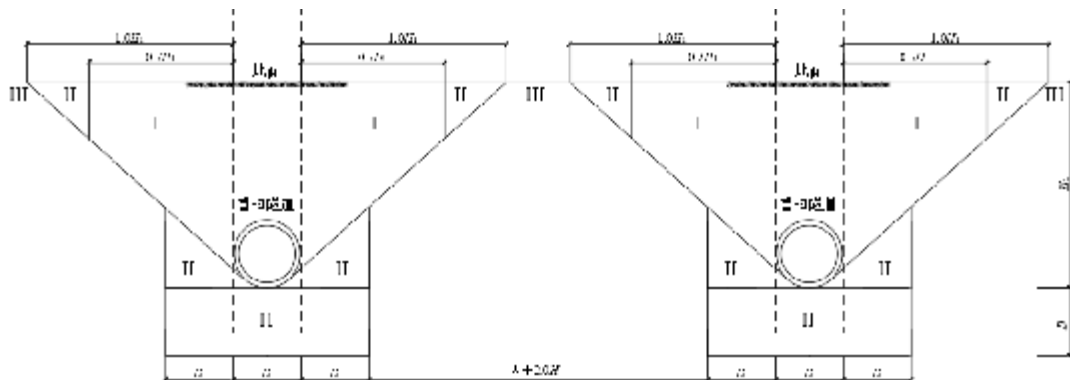


图 7 双线盾构间距大于 $2.0H_1$ 情况下周边影响分区

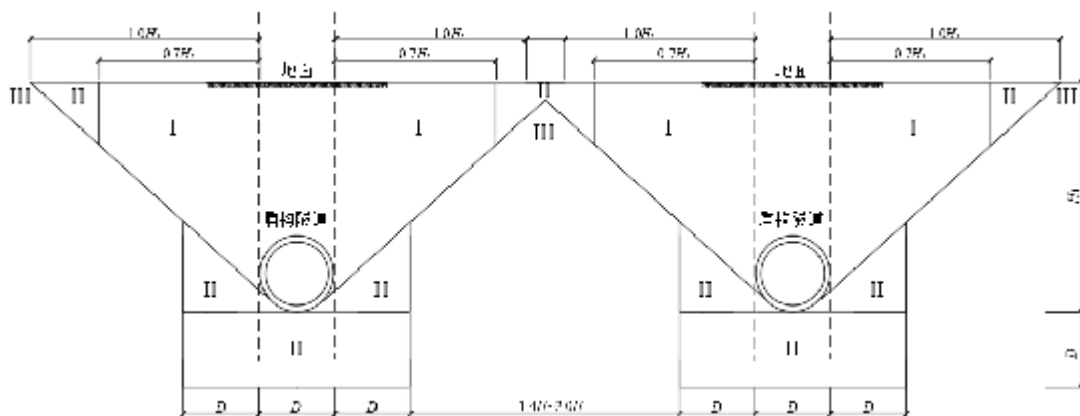


图 8 双线盾构间距大于 $1.4H_i$ 小于 $2.0H_i$ 情况下周边影响分区

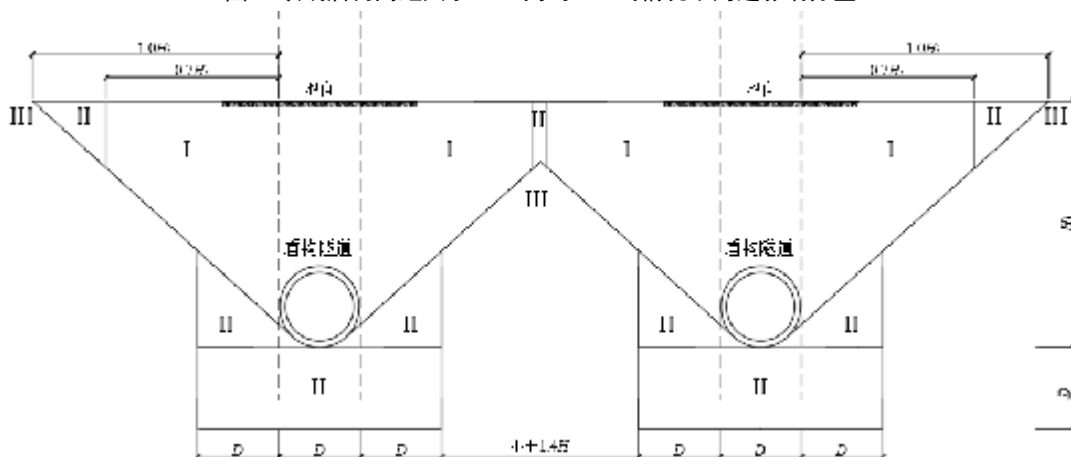


图 9 双线盾构间距小于 $1.4H_i$ 情况下周边影响分区

3.2.5 基坑、隧道工程对周围岩土体的扰动受到施工方法和地质条件的影响。因此，充分分析具体的工程地质和水文地质条件后进行工程影响分区。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几种情况。

3.2.6 根据本规程第 3.2.4 条文说明可以看出，监测、巡视范围需要覆盖工程结构自身及工程周边受施工影响的主要影响区和次要影响区。这样可以确保对工程和周边环境的监测全面、准确，并及时采取必要的措施来控制施工对周边环境的影响。

3.3 监控量测等级划分

3.3.1 监控量测等级划分参考了国家标准《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911 的规定，内容进行了局部细化。

3.3.2 工程自身风险是指工程自身设计、施工的复杂程度、工程规模及与其他工程的相互位置关系等带来的过量变形甚至破坏的可能性和后果的严重性的组合。本规程根据地铁工程特点，结合相关规范中关于工程风险等级的划分标准，对基坑、隧道工程自身风险等级进行了划分。

基坑工程自身风险等级划分的方法较多，尚无统一的标准。《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。

《建筑地基基础设计规范》GB 50007 以 5m、15m 为基坑等级划分标准。由于城市地铁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地铁基坑工程自身风险等级的划分难以反映工程的特点。在北京地区的实践中，25m 及以上为一级，15m（含）～25m 为二级，5m（含）～15m 为三级。本规程为了与国家标准《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911 衔接，将地下四层或开挖深度超过 20m（含 25m）划分为一级，将地下三层或开挖深度 10m～20m（含 10m）划分为二级，将地下一～二层或开挖深度小于 10m 划分为三级，并根据北京地区存在的典型地质与工程情况对风险等级进行至多一个等级的修正。

根据北京地区的经验，本规程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。由于暗挖工程的施工工法较多，地质条件、环境条件较为复杂，结合北京地区经验，根据工程对象的结构类型、结构几何尺寸及空间位置对隧道工程自身划分风险等级，并根据北京地区存在的地质与工程情况对风险等级进行至多一个等级的修正。

3.3.3 在国家标准《城市轨道交通地下工程建设风险管理规范》GB 50652 中，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、二级和三级，本规程中从国标的一级中划分出特级，即划分为特级、一级、二级和三级。环境风险评估对风险发生的可能性需要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。位于地铁工程影响区范围内的环境对象，按照其重要性程度可划分为重要设施与一般设施。环境对象分类见表 1。

表 1 环境对象重要性分类

环境设施类别	环境设施重要性类别	
	重要设施	一般设施
轨道交通	既有城市轨道交通线路和铁路正线	既有城市轨道交通线路和铁路的附属结构
既有地面建（构）筑物	国家级文物古建筑、高度超过 6 层（含）或大于等于 18m 的建筑物，年代久远、基础条件较差的重点保护建筑物，重要的烟囱、水塔、加油站、高压线铁塔	省市级文物古建筑、6 层以下的一般建筑物、一般厂房、车库等构筑物等
水利水电工程	南水北调、西水东调、水利水电工程等别大于等于 II	水利水电工程等别小于 II
既有地下构筑物	地下商业街、人防工程、地下人行过街通道	——
桥梁、隧道	城市快速路隧道、主干路隧道、高速公路隧道、一级公路隧道，交通节点的高架桥、立交桥主桥连续箱梁，城市高架桥、立交桥主桥连续箱梁	立交桥主桥简支 T 梁、异形板、立交桥匝道桥，人行天桥，一般的城市道路与公路隧道等
既有市政管线	直径大于 0.6m 的燃气总管，市政热力干线，雨、污水总管，直径大于 0.6m 的自来水管总管	煤气/天然气支管，市政热力户线，雨、污水管支管，直径在 0.3m～0.6m 之间的自来水管刚性支管，直径小于 0.3m～0.6m 的自来水柔性支管
城市道路和公路	机场跑道及停机坪，城市快速路、城市主干路、高速公路、一级公路	非重要的城市道路与公路等
水体	河流、湖泊、水渠	一般水塘和小河沟等

3.3.4 地质条件度主要取决于建设场地的地形地貌和工程地质水文地质条件等因素。本条的制定主要依据国

家标准《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB 50307 的相关内容。

3.3.5 工程施工过程中关注的重点是工程支护结构的稳定性和周边环境的安全状态。因此，监控量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。地下工程施工是支护结构、围岩、周边环境三者的相互作用。因此，在已有的分级基础上，还需要根据工程地质条件的复杂程度对监控量测等级进行调整。当工程地质条件的复杂程度为中等或简单时，不进行调整；而当工程地质条件复杂时上调一级，上调后最高等级为一级。

4 明（盖）挖法施工监测

4.1 一般规定

4.1.1 监控量测等级结合了自身风险和环境风险等级，因此可兼顾自身和环境风险工程。

4.1.3 阳角部位桩（墙）三面临空，有时受对撑和斜撑同时作用，受力略复杂。倒撑部位容易出现倒撑不及时的情况。不同支护形式变化部位、与其他工法结合，受力模式可能不同导致受力复杂，同时可能受到工序衔接等因素的影响，因此以上部位优先布设监测点。

4.1.4 明（盖）挖法基坑施工中，由于岩土体的不确定性，基坑开挖前的地质勘探工作很难提供非常准确的地质资料，在工程施工过程中除进行工程监测和周边环境监测外，还需进行观察和巡视，对开挖工作面状况、开挖岩土层性质、开挖面土体渗漏水情况、降排灌水情况、支护状态、地表状况以及周围环境状态等进行观察。本项观察和状态描述是一件非常重要的工作，能对整个工区及其周边环境的动态进行宏观监控，能对监测点未布控处的危险迹象（例如地表、坡面、地下连续墙开裂、渗漏水等）提供及时和准确的信息。这一信息对于施工安全具有关键作用。

- 1 核实勘察文件中的工程地质和水文地质，为判断岩土体、工程结构的稳定性提供地质依据；
- 2 根据开挖面及支护结构的工作状态，分析支护结构的可靠性；
- 3 及时发现地面、支护结构、周边建（构）筑物变形开裂，及时采取相应控制措施保证其安全使用。

因此，在明（盖）挖法基坑施工中，将工程监测与周边环境监测、工程巡视与周边环境巡视相结合，通过这些信息来进一步指导施工，以控制施工中的安全风险。

4.2 监测项目

4.2.1 采用明（盖）挖法施工时，为确保自身结构及周围环境安全，制定了相关监测项目。监测项目分为应测项目与选测项目，应测项目与选测项目根据监控量测等级进行选择确定，在保证基坑安全的前提下，有针对性地选择监测项目，抓住关键部位，做到重点监测、项目配套，形成完整有效的监测体系。出于科研需要或复杂问题、未遇到的新问题，根据实际情况，将有些选测项目纳入监测范围。

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，各监控量测等级的基坑工程均规定为应测项目。

支护桩（墙）、边坡顶部水平位移和顶部竖向位移是反映基坑稳定性的两个重要指标，可直接反映整个基坑的稳定性，因此各监控量测等级的基坑工程均规定为应测项目。

基坑支撑、锚杆（索）是支护结构的主要组成部分。支撑轴力、锚杆（索）拉力直接反映基坑稳定性，因此各监控量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（桩、墙体测斜）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位移变化情况，并可用于判断支护桩（墙）的稳定和变形发展趋势。因此，对于监控量测等级为一、

二级的基坑工程均规定为应测项目。对于监控量测等级为三级的基坑工程，开挖深度较浅，环境简单规定为选测项目。

相对于支护桩（墙）体水平位移，深层水平位移为间接观测，所以规定为选测项目。

基坑内立柱的变形状态反映支撑体系的稳定，立柱竖向位移与地质条件关系较大，立柱一旦变形过大，可能导致支护体系失稳，对监控量测等级为一、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；对监控量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。

地下水直接影响土体力学性能指标，地下水对地下工程安全具有重要的影响，因此，各监控量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，还需要进行承压水位的监测。

4.3 监测点布设

4.3.1 在基坑周边的地表变形主要控制区平行于基坑边布设不少于 2 排的沉降监测点，是为了观测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，是为了确定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。

基坑工程地表沉降监测点位置在实际实施时根据现场场地情况进行适当调整。此外，由于地层复杂，土压力等荷载的不确定性以及设计过程中一些经验取值，结构内力与土体变形需要经过实测数据验证，必要时对监测点进行调整补充。

4.3.2 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点沿基坑周边布设。在基坑开挖过程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映基坑工程的稳定性，因此在类似关键部位布设监测点。桩（墙）顶水平位移和竖向位移使用同一监测点，利于综合分析基坑稳定状态。

4.3.3 在同一竖向监测断面内的每道支撑均进行轴力监测，一般是基坑距底部 1/3 左右深度处轴力最大。对于内侧斜撑，一般位于基坑阴角或基坑端头四角部位，支护结构受力复杂。

支撑内力的监测根据支撑采用的材料和测量的位置选择的传感器。

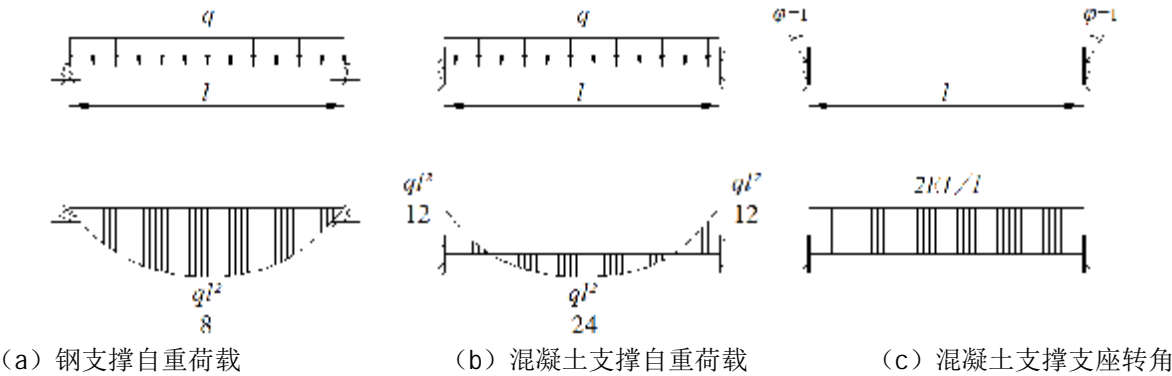


图 10 支撑弯矩

q —自重； φ —转角； l —支撑长度； E —弹性模量； I —惯性矩

支撑轴力是判断设计与实际情况是否相符的重要指标。考虑到基坑变形较大时，不仅需要掌握轴力，同时需要了解弯矩情况，才能准确判断支撑的应力状态。支撑的轴力监测中，采用钢筋计或应变计监测时，可同时计算出弯矩。当采用钢支撑时，支撑两端为近似铰接，弯矩的最大位置在中部（如图 10 a），因此布设在中部可以测出最大应力。当采用混凝土支撑时，两端为固定支座，基坑左右对称变形时，弯矩主要由支撑自重和两端桩（墙）处转角确定。当支撑端部向外转角时（桩体水平位移最大值处以上支撑），最大值在端部（如图 10 b、c），向内转角时（桩体水平位移最大值处以下支撑），需要计算确定或在端部和中部同时布设传感器。多跨结构也是如此，但注意中柱与结构竖向位移明显不同时，需要考虑位移带来的影响。在需要截断纵向受力筋安装传感器时，要满足混凝土结构设计的要求。

采用以下方法，可得到不受弯矩影响的轴力：

1 在支撑中性轴上布设钢筋计或应变计；

2 计算轴力时取同横截面各传感器的平均值，此时可消除弯矩的影响。缺点是，中性轴一侧的传感器全部破坏的情况下，无法计算。

本规程是按照等截面支撑考虑，如混凝土支撑端部出现截面增大的情况时，根据计算决定传感器安装位置。

钢筋计或应变计选择上下左右对称布设 4 个监测点，这样既可测量支撑轴力也可以计算出弯矩。因为轴力计是专为安装在钢支撑一端而设计，因此只能安装在钢支撑端部。带有温度补偿的传感器可以保证测量精度。

4.3.4 锚杆（索）与围护桩（墙）共同形成支护结构，为重要的受力构件，因此必须对每层锚杆进行拉力监测。

4.3.5 支护桩（墙）体水平位移（桩、墙体倾斜）是基坑支护结构体系稳定状态的最直接反映。支护桩（墙）体在不同深度的水平位移监测可以反映支护桩（墙）沿深度方向上的实际变形，且其测量受外界的影响小，监测数据稳定可靠。同时注意，高出冠梁的处于挡墙部位的数据，易受到临时荷载的影响，不作为分析结构稳定的监测数据。

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，作为重要部位监测。

4.3.6 对于地下结构工程而言，立柱一般较长，因此在需要时可监测立柱的整体稳定性，包括立柱结构竖向位移、水平位移及结构应力监测。

立柱在顶部荷载和支撑荷载作用下可能会产生沉降、水平位移，在基底回弹的作用下降起。立柱隆沉对支撑是强制位移，将产生的附加弯矩和剪力，甚至造成整个支撑体系失稳、基坑倾覆。立柱的竖向位移监测根据基底地质条件的不同确定具体的监测数量，一般不少于立柱总根数的 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，适当增加立柱监测根数。

临时路面系统产生的荷载通过立柱传递到桩及下部地基土中，通过对立柱内力的监测，可以了解立柱的整体受力状况，进一步对盖挖基坑进行安全评价。在立柱内力监测过程中，选取有代表性部位的立柱，比如中部立柱，靠近基坑两端的立柱等；由于立柱为细长构件，在受力过程中易发生倾斜而导致偏心受力，进而影响立柱的整体稳定性，因此需要时可监测立柱水平位移。

4.3.7 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，布设在支护桩（墙）出现弯矩极值（内外侧）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）变形监测点对应布设。

支护桩（墙）的内力监测一般采用钢筋应力计进行，钢筋应力计包括为振弦式和电阻应变式，地下工程常用振弦式钢筋应力计。钢筋应力计安装在受力主筋上，通常是在需布设监测点的地方将主筋割断，将钢筋应力计与钢筋对接或搭接焊接，焊接应达到要求。焊接时应注意降温处理，防止焊接高温对钢筋应力计的破坏，为此，可在钢筋应力计两侧一边降温、一边焊接。为了满足监测精度采用有温度补偿的传感器。

4.3.8 盖挖法的结构顶板由于在后续工程施工中同时起到地面结构的支撑作用，顶板于立柱、边柱的连接处受力较为复杂，跨中一般为弯矩大的部位，在顶板内力监测点的布设时考虑这些部位。

4.3.9 基坑每边中部、阳角处、地质条件复杂、周边存在高大建（构）筑物的区段为受力较大且代表性的位置。监测点数量和间距视土钉的具体情况而定，各层监测点位置在同一断面有利于数据分析。

4.3.10 土体分层竖向位移监测是为了量测不同深度处土的沉降与隆起。目前监测方法多采用磁环式分层沉降标监测（分层沉降仪监测）、磁锤式深层标或测杆式深层标监测。当采用磁环式分层沉降标监测时为一孔多标，采用磁锤式和测杆式分层标监测时为一孔一标。相较而言，通过安装磁环式分层沉降标，采用分层沉降仪进行量测更为常用。土体分层沉降仪的量测准确度与沉降管上设置的钢环数量有关，同时还与沉降管同土层密贴程度以及能否自由下沉或隆起有关，所以沉降管的安装对精度至关重要。

沉降标的埋置深度和数量需要考虑基坑开挖、降水对土体垂直方向位移的影响范围以及土层的分布。

土体分层沉降监测和土体水平位移监测一般同时观测。

4.3.11 土体深层水平位移的监测孔布设在基坑平面上挠曲计算值最大的位置。一般情况下基坑每侧中部、阳角处的受力复杂，因此该处设监测孔；对于边长大于 50m 的基坑，每边可适当增设监测孔。

土体水平位移监测在基坑开挖前一周进行测斜管布设，先用地质钻机成孔，将分段测斜管连接放入孔内，测斜管连接部分密封处理，测斜管与钻机孔壁之间空隙回填密实，其配合比根据土层的物理力学性能和水位地质情况确定。为了真实地反映支护桩（墙）的挠曲状况和地层位移情况，测斜管的布设深度与支护结构入土深度一致。

因为测斜仪测出的是相对位移，若以测斜管底端为固定起算点（基准点），测斜管管底嵌入到稳定的土体中。

4.3.12 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坑底隆起。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。坑底隆起监测点的布设和观测较为困难，一般在预计隆起量较大的部位布设监测点。

坑底隆起监测点的布设和施工过程中的保护比较困难，监测点不过多布设，以能够测出必要的坑底隆起数据为原则，依据监测点绘出的隆起断面图可以基本反映出坑底的变形规律。

4.3.13 支护桩（墙）侧向土压力监测点的布设选择在受力、土质条件变化较大的部位。在平面上与其他监测项目位置匹配，这样监测数据之间可以相互验证，便于对监测项目的综合分析。在竖直方向（监测断面）上监测点需要考虑土压力的分布、土层的分布以及支护桩（墙）内力监测点位置的匹配。

4.3.14 地下水位测量主要是通过水位观测孔（地下水位监测点）进行。地下水位监测点的作用一是检验降水井的降水效果，二是分析降水对周边环境的影响。当观测孔布设在基坑外时，一般距结构外 1.5m~2.0m。当用水位监测点观测降水对周边环境的影响时，地下水位监测点沿被保护对象的周边布设。如有止水帷幕，水位监测点布设在帷幕的施工搭接处、转角处等有代表性的部位，位置在止水帷幕的外侧 2m 处，以便于观测止水帷幕的止水效果。承压水的观测孔布设深度能反映承压水水位的变化。

4.4 监测频率

4.4.1 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基坑工程的监测频率。

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采用相同的监测频率，当监测对象的监测数据变化较快，则提高监测频率。

在以下特殊情况下，适当提高现场监测或巡视频率：

- 1 监测数据速率变化较大反映出工程结构受力状态或周边岩土体的异常变化，可能出现工程风险；
- 2 揭露出勘察时未发现的不良地质条件如特殊砂层、溶洞、厚填土等可能影响支护结构稳定的；
- 3 工程施工未按设计要求及时支护对基坑受力平衡影响较大；
- 4 降雨量较大或长时间连续降雨会引起基坑周边岩土体含水量增加，对基坑受力带来影响；
- 5 周边其他工程扰动也会引起基坑变形受力变化，影响稳定。

根据明挖工程特点，底板浇筑后，且基底相对稳定后根据监测情况适当降低监测频率，支护结构的支撑拆除期间增大监测频率。

由于坑底隆起的监测实施较为困难，在基坑开挖过程中无法进行监测，一般坑底隆起的监测只能在基坑开挖之前、开挖完成后且混凝土基础浇筑前这两个阶段进行。

4.4.4 暂停施工期间的监测频率需要分为因工程出现不安全状态和正常停工状态两种情况。当出现不安全状态时，加密监测。在正常停工时，在初支结构完成，同时掌子面按照设计封闭后，在监测数据变化速率趋于收敛且满足本条规定后，降低监测频率。

4.4.5 在汛期受降雨影响地层力学性能下降，同时由于地层存在不密实的情况，致地面沉陷的情况相对其他季节较多，给地下工程施工带来一定的安全影响，因此有必要在汛期加强重点部位的监测和巡视工作。在

持续降雨期间，在降雨间歇期进行监测。第 6 款、第 7 款、第 8 款、第 9 款为参照《建筑与市政施工现场安全卫生与职业健康通用规范》GB 55034 确定的。

5 浅埋暗挖法施工监测

5.1 一般规定

5.1.3 在马头门部位、大断面、超浅埋段、转弯段、挑高段、平顶直墙段、受力转换部位、变断面等风险较高的区域及不良地质开挖段，增加监测点或者监测断面，以更好地掌握受力较大或复杂部位的变形。

5.1.4 由于围岩的不确定性，开挖前的地质勘探工作很难提供非常准确的地质资料，在施工过程中除进行隧道内监测和周边环境监测外，还需进行隧道内外巡视，对开挖工作面、围岩的岩性、地下水情况以及支护状态、相应地段的地表状况以及周边的建（构）筑物状态等进行观察。巡视能发现未布设监测点处的危险迹象，例如地层及支护结构裂纹、渗漏水等。

5.2 监测项目

5.2.1 地表沉降监测一方面能直接反映地层及结构的稳定性，另一方面又能反映工程施工对围岩及周边环境影响程度，因此为应测项目。

初期支护结构拱顶沉降，一方面反映了初期支护结构和拱脚的稳定性，同时是地表、邻近建（构）筑物变形的参考指标，因此为应测项目。隧道的初期支护结构净空收敛监测数据直接反映初期支护的稳定性，检验开挖步骤和支护强度是否合理，因此为应测项目。

随着隧道内岩土体的开挖卸载，会使结构底板产生一定的隆起，采用浅埋暗挖法施工的隧道初期支护结构底板位移值较小，因此监控量测等级为二级或三级时，初期支护结构底板竖向位移为选测项目。

在《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911 中监测项目“初期支护结构应力”在本规程中称为“钢筋格栅应力”。采用喷射混凝土难以在内部安装传感器，且表面较为粗糙也不适于安装传感器，因此一般在钢筋格栅上安装钢筋计测量钢筋的应力。

地下水直接影响土体力学性能指标，对地下工程安全具有重要的影响，因此为应测项目。

5.3 监测点布设

5.3.1 隧道或分部开挖施工导洞的轴线上方一般地表沉降较大，是布点的首选部位。为保证开挖面附近有地面监测点反映其变形情况，监测点的布设间距综合考虑工程自身风险、每日开挖进尺等因素。

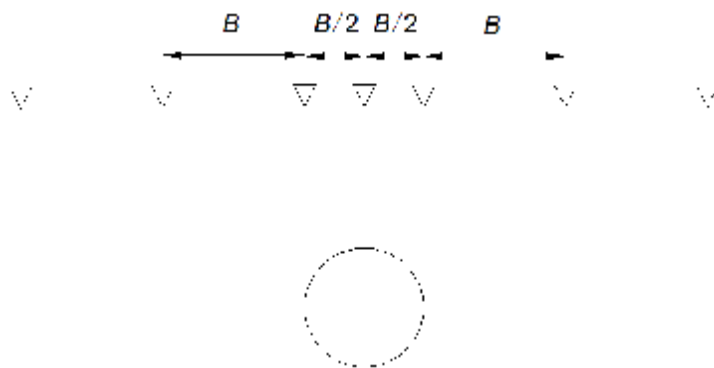


图 11 地表沉降监测点在横向断面上的布设

B —隧道直径或开挖跨度

地表沉降横向监测断面的监测点布设，一般选择若干个有代表性的监测主断面并按一定间隔布设监测点，布点范围为 2.5 倍~3.0 倍洞径（一侧布点宽度）见图 11。

5.3.5 中柱结构应力监测的目的是监测中柱的受力是否超过设计强度或存在偏心受压。用应变计或应变片时，沿中柱（钢管柱）周边在同一平面内均匀布设 4 个监测点，如图 12 所示。

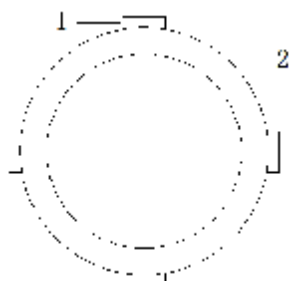


图 12 中柱结构应力监测点布设

1—应变片；2—中柱（钢管柱）横断面

5.3.6 围岩压力监测点一般沿结构开挖轮廓线，在初期支护与围岩间按一定间距布设。根据地下工程的受力特点，通常在拱顶、拱腰、拱脚、墙中、墙脚、仰拱中部等关键部位布设监测点，如图 13 所示。围岩压力监测点与钢筋格栅应力监测点相对应。钢筋格栅应力计一般在内外侧钢筋上成对布设。

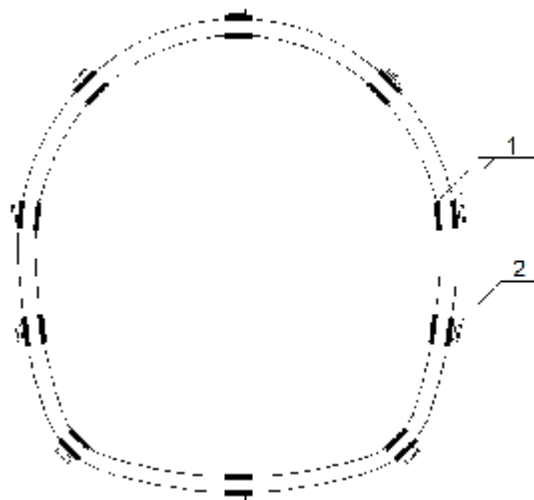


图 13 围岩压力、钢筋格栅应力量测和监测点布设

1—钢筋格栅应力监测点；2—围岩压力监测点

5.3.7 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施工对周围土体的影响程度及范围，进而掌握围岩的位移变形对周围建（构）筑物带来的影响。因此，监测点的布设和深度综合考虑隧道所处工程地质条件和周边环境及监测孔与隧道结构的相对位置关系等。

土体分层竖向位移监测点一般在地下结构中线（拱部）所对应的地面提前钻孔布设。根据监测的目的，布设一个或多个监测管并在纵向布设 3 个~5 个有代表性监测点。

土体深层水平位移钻孔与结构的距离一般为 2m~3m，见图 14 所示。监测孔纵向平面位置结合地面建筑物而定。

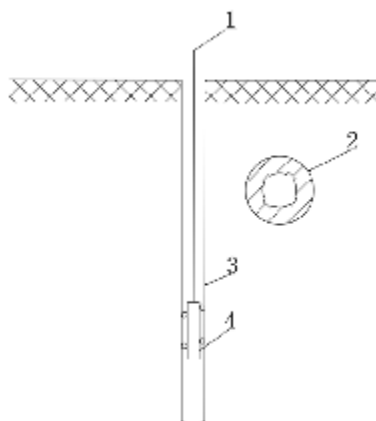


图 14 土体深层水平位移监测孔布设

1—接收仪；2—测斜管断面；3—测斜管；4—测斜仪

5.3.8 水位观测孔一般布设在隧道两侧。正在使用的降水井，由于自身水位一般低于地层中的水位，并不能完全正确反映隧道开挖部位水位情况，因此不作为水位观测孔，但可以作为辅助观测。当工程施工影响区内含有两层及以上的潜水或承压水时，分层布设水位观测孔。

5.4 监测频率

5.4.2 浅埋暗挖法隧道工程的监测频率主要根据隧道或导洞开挖宽度、监测点或监测断面距开挖面的不同距离进行确定。开挖面附近区域，围岩变形快，支护结构受力变化大，随着与开挖面距离的增大，影响变小，监测点或监测断面距离开挖面越近，监测频率越高，越远监测频率越低。

初期支护结构拱顶沉降、初期支护结构净空收敛、初期支护结构底板竖向位移、拱脚竖向位移等监测项目主要判断初支结构是否稳定，因此当初支结构基本稳定后，停止监测，同时开始二次衬砌施工。由于施工二次衬砌前需要铺设防水层，监测点须割除，所以此时位移类监测项目也无法再继续监测。

5.4.3 中柱结构竖向位移、倾斜及结构应力的监测，在土方开挖初期，由于受力变化较大，其监测频率适当加大；在结构施作过程中，中柱结构的受力变化减缓，此时适当减小监测频率。

5.4.4 水文地质条件复杂程度、地下水对工程的影响程度以及地下水控制要求较高时，需加大监测频率。

5.4.5 暂停施工分为因工程出现不安全状态导致的暂停施工和正常暂停施工两种情况。当出现不安全状态时，加密监测。在正常停工时，在初支结构完成，同时掌子面按照设计封闭后，在监测数据变化速率趋于收敛且满足本条规定后，降低监测频率。

6 盾构法和顶管法施工监测

6.1 一般规定

6.1.1 本规程所述顶管法是特指在地铁工程施工中，采用机械顶管工艺的施工方法，不包括箱涵顶进和非机械式顶管工艺。

6.1.3 始发段、接收段、左右线交叠或邻近段、小半径曲线段及联络通道附近、存在地层偏压、围岩软硬不均等区段，施工风险大。同时，隧道下穿或邻近重要建（构）筑物、地下管线、河流、湖泊等环境复杂区段时可能对环境对象的安全与稳定造成的影响，建（构）筑物产生的附加应力以及水的补给也会影响隧道。因此，本条规定在上述部位或区段优先布设，必要时加密监测点或监测断面。

6.1.4 隧道内外巡视可以直观地对盾构施工情况进行综合判断（如管片破损、开裂、错台、掉块、渗漏水等情况以及周边建（构）筑物开裂、倾斜、隆沉情况）。另外，在盾构始发和接收时还要观察盾构基座、后背支撑、封门等的变形情况。

6.2 监测项目

6.2.1 盾构或顶管施工掘进过程中，地表沉降监测可以反映出施工对岩土体及周边环境影响程度，同步注浆和二次注浆效果以及设备自身的施工状态，对掌握工程安全尤为重要。因此，地表沉降监测项目对各监控量测等级均规定为应测项目。

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，对施工具有指导意义，因此各监控量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偏移，因此，对监控量测等级为一级的盾构隧道工程规定为应测项目，对其他监控量测等级的盾构隧道工程当出现上述情况时也进行管片结构水平位移监测。

顶管法施工时，对于工作井后背的反力结构的计算模型是“荷载-结构”模型，与地下工程的“地层-结构”模型不同。一般由于“地层-结构”模型复杂，不能准确计算出应力及变形，因此需要通过监测进行反馈，指导设计和施工。采用“荷载-结构”模型设计的结构一般不需要监测，因此反力结构上不需要监测。经昌平线南延上清桥站对顶管法施工中的反力结构后背的桩进行监测，结果表明，支护结构垂直度几乎没有变化。同时在本规程中规定，支护桩（墙）水平位移是应测项目，且应布设在基坑边的中部，因此反力结构后背支护桩（墙）有监测。综上所述，不需要单独提出顶管法反力结构的监测。

6.3 监测点布设

6.3.1 施工时导致地表变形的主要因素有：开挖面土体的移动、降水、设备姿态的改变、外壳移动与地层间的摩擦和剪切作用、土体挤入尾部空隙、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，以及随设备推进而移动的正面障碍物使地层在设备通过后产生空隙又未能及时注浆等。施工引起地表沉降发展的过程为：先期隆起或沉降、刀盘到达时沉降、设备通过时沉降、尾部空隙沉降、固结沉降。地表沉

降即施工过程中产生的地层损失引起的地层移动，且该变位呈现以设备为中心的三维扩散分面。典型的地表沉降曲线如图 15 所示。

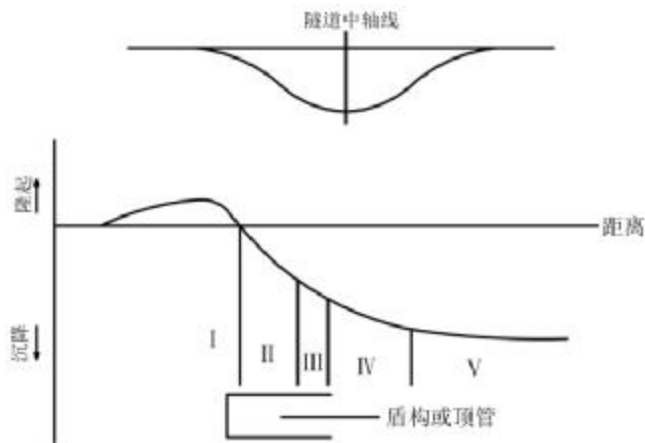


图 15 盾构法和顶管法施工地表沉降曲线

I—先行隆沉；II—刀盘到达；III—设备通过；IV—尾部脱出；V—后期沉降

为保障施工质量，减少对环境的影响，地表沉降监测点的布设必须科学合理。在设备始发、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施工的风险区段，除适当加密纵向监测点的布设外，还需要布设横向监测断面。因此，地表沉降监测点的布设根据影响因素和变形特点来综合考虑，一方面沿隧道轴线方向布设地表沉降监测点，另一方面在隧道轴线两侧的沉降槽范围内设置横向监测断面，以测得完整的沉降槽。

6.3.2 始发段、接收段、联络通道附近、左右线交叠或邻近段、小半径曲线段、地层偏压、围岩软硬不均等复杂地质条件区段施工风险较大，隧道下穿或邻近重要建（构）筑物和地下管线等环境对象时，可能会对环境对象的安全造成影响。因此，在上述部位布设管片结构竖向位移和水平位移、净空收敛监测点。

6.3.3 根据管片结构应力、围岩压力及连接螺栓应力的监测结果，可以分析管片的受力特征及安全状态。当隧道处在地层偏压、围岩软硬不均等地质条件复杂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较大变形甚至损坏。因此，在这些区段布设管片结构应力、管片围岩压力、管片连接螺栓应力监测点。

6.3.4 土体深层水平位移和分层竖向位移监测的目的可能是为了掌握地层的变位情况，从而验证设计施工措施，也可能是为了掌握围岩变形对周围建（构）筑物的影响。因此，监测孔的平面位置和深度需要结合监测目的来确定。

6.4 监测频率

6.4.2 暂停施工分为因工程出现不安全状态导致的暂停施工和正常暂停施工两种情况。当出现不安全状态时，加密监测。在正常停工时，在初支结构完成，同时掌子面按照设计封闭后，在监测数据变化速率趋于收敛且满足本条规定后，降低监测频率。

7 周边环境监测

7.1 一般规定

7.1.1 本条对周边环境包含的对象进行了明确。建（构）筑物包括房屋（含文物建筑）、厂房、水塔、烟囱、高压电塔等，桥梁包括人行天桥及桥梁挡墙，地下管线包括燃气、上水、热力等有压管线和雨污水等无压管线，道路包括高速公路、市政道路、场区道路等，既有轨道交通（地下线、地面线及高架线）包括城市轨道交通设施、铁路，地表水体及水利设施包括地表河（含人工引水渠）、湖（含人工蓄水池）、水库等水体以及南水北调（含总干渠及配套工程）、东水西调等引调水工程和其管理设施，综合管廊包含结构主体及附属设施。其他未提及的根据其特点和重要性参考类似的环境对象进行监测。

7.1.2 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）周边环境对象所处的工程影响区；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。

7.1.3 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变形的关键部位，需要布设监测点。受施工影响敏感部位是除了上述的关键部位外，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。在实践中由于地下管线的节点难以确定，因此在实施中需要灵活处理。

7.1.4 周边环境监测频率是指导设计施工的重要参数，与施工方法、施工进度、监测对象特点、地质条件等密切相关；监测频率也是与监测工作量有关的重要因素，制定科学、合理、经济的监测频率有利于工程风险监控工作的有序开展。

7.2 建（构）筑物

7.2.1 建（构）筑物的监测项目主要依据《地铁设计规范》GB 50157、《建筑变形测量规范》JGJ 8、《建筑基坑工程监测技术标准》GB 50497 等规范确定。对施工影响区域内的建（构）筑物监测是一项重要的监测工作，特别是对年久失修、抗变形能力弱的建（构）筑物更需要进行监测。竖向位移是判定工程施工对建（构）筑物影响大小的重要变形参数，故各风险等级均为应测项目。结构裂缝监测是工程对建（构）筑物影响大小和建（构）筑物受破坏程度的直接表现，故各风险等级亦均为应测项目。对施工主要影响区内存在的重要建（构）筑物应进行倾斜监测。

7.2.2~7.2.5 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，监测点的布设需要考虑其基础形式、结构类型、修建年代、重要程度及其与地铁工程的空间位置关系等因素。本节参照《建筑基坑工程监测技术标准》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，并结合各类建设工程经验制定。低层、中层建筑物的倾斜监测，可采用基础两点间的差异沉降推算倾斜变形。倾斜包括基础倾斜和上部结构倾斜。基础倾斜可以利用竖向位移观测成果计算，上部结

构倾斜观测可以通过测定垂直的两个方向上的倾斜量来获得倾斜值、倾斜方向和倾斜速率。建（构）筑物的裂缝宽度监测，在监测之前调查已有的裂缝，根据裂缝特点，选择有代表性的裂缝进行监测。

7.3 桥梁

7.3.2 桥梁承台或墩柱是整个桥梁的支撑结构，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表现，在其上布设监测点可以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。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布设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。

7.4 地下管线

7.4.1 地下管线的监测项目主要依据《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911、《建筑基坑工程监测技术标准》GB 50497 等规范确定。对施工影响区域内的管线监测是一项重要的工作，特别是对管材差、抗变形能力弱或有压管线。地下管线的不均匀沉降是建设工程对地下管线影响大小和地下管线受破坏程度的直接表现，故地下管线竖向位移及差异沉降在各风险等级均定为应测项目。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，在此情况下对管线进行水平位移监测。

7.4.2 本条对地下管线监测点布设要求进行了规定。目前对建设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，地下管线的节点、转角点、结构较弱部位、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，难以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施作为监测点。

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

对于地下管线状态的监测包含管线沉降和管线周边状况两部分。在交通极其繁忙，地面环境复杂的地铁工程中，进行上述两项监测的难度非常大，有时甚至是不可能的。但是本项监测无论对于工程本身的安全，还是对于城市环境安全来说都是十分重要的工作。在上述困难条件下，通常采用下列手段进行监控：1）在有条件进行钻孔设点的局部地段（例如城市辅路、中央隔离带等），可以采用直接法布设监测点，并尽量利用测区范围内的管线检查井设点进行监测；2）如受条件所限，也可以在管线上布设地表监测点进行间接监测，必要时为了校准间接测量值，可以挑选代表性位置同时布设地表与直接监测点，进行对比分析。

本规程强调对有压管线和雨污水管线监测的重要性，对于有渗漏可能的雨、污水管周围地层，以及可能存在空洞的地层，可采用地质雷达或其他物探仪器进行重点探测，必要时可采用地面和洞内探孔的手段进行直接探测。

工程影响区管线分布比较集中时（管线外边线间距不大于 2m），监测点采用 Z 形布设，见图 16。一方面，可以间接地监测分布密集的各类管线的变形，另一方面，也可以减少监测的工作量，减少钻孔对管线破坏的风险。

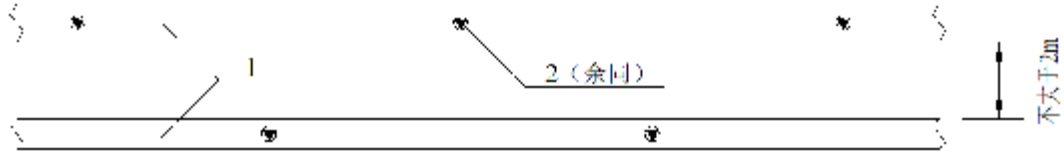


图 16 地下管线监测点 Z 形布设

1—地下管线；2—监测点

7.5 道路

7.5.2 道路下方多存在地下通道、地下管线等，路面和路基竖向位移监测点布设时，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。

7.5.3 道路路基挡墙主要有砌体、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，其监测布点根据其结构特点，布设在变形缝等有代表性的位置。

7.6 既有轨道交通

7.6.1 城市轨道交通有地下、地面、高架等形式，监测对象主要包括结构、道床、轨道、附属结构及其他设施等，根据结构形式不同给出各对象监测项目。《穿越城市轨道交通设施检测评估及监测技术规范》DB11/T 915 详细地规定了穿越城市轨道交通设施监测环节的监测项目。

7.6.2 当周边环境对象为不间断运营的城市轨道交通、列车高速运行且运行频率较高的铁路等，由于采用人工监测未必能满足实际需要，存在现场监测作业人员的人身安全问题，采用远程自动实时监测手段。

7.6.5 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。

7.6.6 对工程施工影响区域内的铁路监测是一项重要的监测工作。《邻近铁路营业线施工安全监测技术规程》TB 10314 规定了邻近铁路营业线施工期间铁路运营设备设施的变形监测遵循的主要原则和技术要点。

7.7 地表水体及水利设施

7.7.1 地表水体及水利设施包括地表河（含人工引水渠）、湖（含人工蓄水池）、水库等水体以及南水北调（含总干渠及配套工程）、东水西调等引调水工程及其管理设施。

对施工影响区域内的地表水体及水利设施监测是一项重要的监测工作，特别是对地表水体周边结构及水利设施的监测。竖向位移和裂缝是判定建设工程对水利设施影响大小的重要参考指标，故水利设施竖向位移、裂缝在各风险等级均为应测项目。

7.8 综合管廊

7.8.1 对工程施工影响区域内的综合管廊结构监测是一项重要的监测工作。《城市地下综合管廊运行维护及

安全技术标准》GB 51354 规定了综合管廊运维阶段的监测相关技术要求。

8 监测方法

8.1 一般规定

8.1.1 为保证监测与勘察、设计和施工等成果的一致性，所依据的输入资料与出具的成果一般需要与北京市现有市政工程设计采用的坐标系统基准一致。如果在局部地段较为小范围采用独立坐标系统，需要保证在整个监测周期基准系统的稳定可靠，大型工程或有特殊要求的工程采用国家坐标系统的，采用 CGCS2000 国家大地坐标系及 1985 国家高程基准便于统一。同时采用公历纪元、北京时间作为统一时间基准，便于监测数据的分析。

8.1.2 采用自动化监测时的监测精度不低于人工监测的精度。

8.1.3 监测方法是根据诸多因素确定的，工程监测要根据监测对象及监测项目的不同，确定不同的监测方法及监测设备。监控量测等级及精度的要求也决定着选用的仪器的精度，因此需要综合确定。

8.1.4 本条规定是为了保证同条件观测。

8.1.5 对于容易发生破坏的环节及监测设施重点给予保护，以保证监测的连续性及其有效性。实际监测工作中，采用合理设计监测点形式、设置监测点警示标识牌、线缆加防护套、加防护盖、隔离网、保护箱等多种手段对监测点进行保护，并在日常工作中定期对监测点完好情况进行检查，发现监测点破坏及时在原部位按原标准恢复监测点，对于无法恢复的，采用其他方法替代补救。

8.2 竖向位移监测

8.2.3 静力水准测量目前有连通管式静力水准和压差式静力水准两种装置。连通管式应用较广泛，其原理是利用连通容器中液体通过管路流动，静止液面在重力作用下保持水平这一特征来测量各监测点间的高差；压差式静力水准系统通过设置在容器间的压力传感器测量金属膜片压力差的变化计算监测点高差。针对连通管式静力水准系统，同一段内静力水准测量的沉降值按下式计算：

$$DH_{kg}^{ij} = (h_k^i - h_g^i) - (h_k^j - h_g^j) \quad (1)$$

式中： DH_{kg}^{ij} ——k 监测点第 i 次相对于 g 监测点第 j 次测量的沉降值（mm）；

h_k^i ——k 监测点第 i 次相对于液面安装高度的距离（mm）；

h_g^i ——g 监测点第 i 次相对于液面安装高度的距离（mm）；

h_k^j ——k 监测点第 j 次相对于液面安装高度的距离（mm）；

h_g^j ——g 监测点第 j 次相对于液面安装高度的距离（mm）。

静力水准仪因生产厂商不同，质量控制标准不一，原理有所不同，因此其性能参数及精度也不尽相同，在监测作业中根据技术要求选用合适的仪器并维护，并注意辅以人工监测检验。

8.2.4 使用高精度全站仪配合专门的觇牌、棱镜组及配件进行三角高程测量在精度满足的情况下可替代二等、三等水准测量，并可以组建成自动化观测系统，解决特定的竖向位移监测问题，如对基坑、隧道、边坡、桥梁等采用几何水准测量手段不便于到达的部位，要求连续监测等情况。如以基坑立柱竖向位移监测为例，

8.3 水平位移监测

8.3.1~8.3.5 交会测量、导线测量、极坐标法、自由设站法等常规测量手段是最为普及的方法，具有实施灵活、精度较高、成果可靠的特点。近景摄影测量、机器视觉手段可测定三维变形，对于连续、面状对象较为适用。

8.4 净空收敛监测

8.4.2 目前，净空收敛监测有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红外激光测距仪、机器视觉仪或全站仪进行。

收敛计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。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、钨钢丝或钨钢带）、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监测点等部件组成。丝式收敛计适用于跨度大于 20m 隧道断面，或温度变化较大，或对变形监测精度要求较高的情况。杆式收敛仪适用于跨度小、位移较大的隧道。

收敛计读数时视线垂直于刻度，以避免视差。每次读数三次，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，三次读数差不超过精度范围，取其平均值为本次监测值。

用全站仪进行净空收敛监测方法包括自由设站和固定设站两种。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。

用机器视觉仪进行净空收敛监测，靶标点稳定安装在同一水平面上，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）。

8.5 支撑轴力、锚杆（索）拉力监测

8.5.2 支撑轴力与锚杆（索）拉力监测原理如下：

1 采用轴力计监测支撑轴力或锚杆（索）拉力计算方法：

$$N = k \left[\left(\frac{f_i}{n} \right)^2 - \left(\frac{f_0}{n} \right)^2 \right] \quad (8)$$

式中：\$N\$——轴力（kN）；

\$k\$——轴力计率定参数（kN/Hz²）；

\$f_i\$——轴力计监测频率（Hz）；

\$f_0\$——轴力计安装后的初始频率（Hz）；

\$n\$——轴力计测试值数量。

2 采用钢筋计量测混凝土支撑轴力，用频率仪测得钢筋计的频率，从而换算出混凝土支撑轴力，计算公式如下：

$$N_q = s_s \left(\frac{E_c}{E_s} A_c + A_s \right) = \bar{s}_{js} \left(\frac{E_c}{E_s} A_c + A_s \right) \quad (9)$$

$$\bar{s}_{js} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left[k_j (f_{ji}^2 - f_{j0}^2) / A_{js} \right] \quad (10)$$

式中： N_q ——混凝土支撑轴力（kN）；

s_s ——钢筋应力（kN/mm²）；

E_c ——混凝土弹性模量（kN/mm²）；

E_s ——钢筋弹性模量（kN/mm²）；

A_c ——混凝土截面面积（mm²）；

A_s ——钢筋总截面面积（mm²）；

\bar{s}_{js} ——钢筋计监测平均应力（kN/mm²）；

k_j ——第 j 个钢筋计标定系数（kN/Hz²）；

f_{ji} ——第 j 个钢筋计第 i 次监测频率（Hz）；

f_{j0} ——第 j 个钢筋计安装后的初始频率（Hz）；

A_{js} ——第 j 个钢筋计截面面积（mm²）。

8.6 倾斜监测

8.6.3 建（构）筑物倾斜监测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 and 底部监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）筑物层数较低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。对于刚性建筑物整体倾斜，测量顶面或基础的相对沉降确定。倾斜率计算公式如下：

$$i = \tan \alpha = \frac{Q}{h} \quad (11)$$

式中： i ——倾斜率；

Q ——建筑物上部与下部的相对位移（mm）；

h ——建筑物高度（mm）。

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）为一个测回。

8.7 深层水平位移监测

8.7.6 深层水平位移监测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。选用具有一定柔性及刚度测斜管，测斜管直径与选用测斜仪导轮展开的松紧度相适宜。

保证测斜管质量是获得合格测量精度及正确数据的前提，因此在布设前要检查测斜管管口、导槽及连接的质量。在绑扎测斜管时留出一定变形余地，为的是可以承受一定量的扭曲变形，避免吊装过程中脆性破坏。当遇到桩长过长需要接桩时，要确保测斜管的接驳平顺。为防止有异物进入测斜管，各段接头要紧密对接，管底密封。遇到旋挖桩等有泥浆的成桩方式的，还需在下好的测斜管内注水，保持内外压力平衡，防止泥浆进入管道内。

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。当从管口起算时，采用下式计算各量测段水平位移值：

$$DX_n = DX_0 + L \sum_{i=0}^n (\sin a_i - \sin a_{i0}) \quad (12)$$

式中：\$DX_n\$——从管口向下第 \$n\$ 个量测段处水平位移值（mm）；

\$L\$——量测段长度（mm）；

\$a_i\$——从管口向下第 \$i\$ 个量测段处本次测量倾角值；

\$a_{i0}\$——从管口向下第 \$i\$ 个量测段处初次测量倾角值；

\$DX_0\$——实测管口水平位移（mm），当采用底部作为起算点时，\$DX_0=0\$。

8.8 结构应力监测

8.8.5 结构应力一般采用钢筋应力计、应变片、光纤传感器监测，应根据其特点，采用适宜的安装布设方法和步骤。

1 钢筋应力计安装时，应焊接在同一直径的受力钢筋上并保持在同一轴线上，焊接时尽可能使其处于不受力状态，特别是受弯状态；对直径大于 28mm 的钢筋，不采用对焊焊接；焊接过程中，采用间歇焊接法以防止温度超过 60℃，也可以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 应变片安装时，将试件上粘贴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，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；在试件上划制两根光滑、清楚且互相垂直交叉的定位线，使应变片基底上的轴线标记与其对准后再粘贴；粘贴时在应变计基底上均匀地涂一层粘结剂，粘结胶层厚度均匀且不影响应变片的工作性能；将应变计放在粘贴位置，在粘贴处覆盖一块聚四氟乙烯薄膜，顺应变计轴向，向引线方向轻轻按压应变计。挤出多余胶液和粘结剂层中的气泡，用力加压保证粘结剂凝固。

3 光纤传感器安装时，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，方向与需测受力方向一致；钢筋混凝土结构中，光纤传感器粘结到钢筋上，以钢筋受力、变形反映结构内部应力、应变状态；先用小导管保护光纤传感器，在粘结剂固化前将导管拔出。

4 使用应变计测量结构内力计算公式：

$$N_c = \frac{e_1}{e^n} \sum_{j=1}^n k_{je} (f_{ji}^2 - f_{j0}^2) \frac{\dot{u}}{\dot{u}} (E_c A_c + E_t A_t) \quad (13)$$

式中: N_c ——支撑轴力 (kN);

E_c ——混凝土的弹性模量 (kN/mm²);

E_t ——钢筋的弹性模量 (kN/mm²);

A_c ——混凝土截面面积 (mm²);

A_t ——钢筋截面面积 (mm²);

k_{je} ——钢弦式钢筋计常数 (10⁻⁶/Hz²);

f_{ji} ——第 j 个钢筋计监测频率 (Hz);

f_{j0} ——第 j 个钢筋计安装后的初始频率 (Hz)。

8.9 裂缝监测

8.9.1 裂缝监测项目是评价工程结构和环境设施结构的安全性和功能性参数, 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, 只有在特殊需求时才进行监测。

8.10 轨道静态几何形位监测

8.10.4 轨道静态几何形位是线路工务维修重要的检测项目, 用于评价轨道设施是否能够满足列车安全运营条件, 也是目前的重要参数。轨距和水平使用轨距尺量取, 轨距尺主要是为了满足城市轨道交通、铁路线路的检测、维修而设计的, 可以测量轨道设备的轨距、水平等参数。

轨距为两钢轨头部内侧间与轨道中线相垂直的距离, 在钢轨头部内侧侧面下 16mm 用轨距尺进行测量。左右两股钢轨轨面的水平状态称为水平。

1) 轨距测量原理

通过拉动扳手带动导杆做长度方向的移动, 使得连接在导杆前端的活动测头及其联接的位移指示标志与固定在尺身上标尺产生相对运动, 给出轨距读数值。

2) 水平测量原理

水平测量采用高分辨率管水准气泡, 测量倾角。利用正弦函数计算, 原理如图 18 所示。

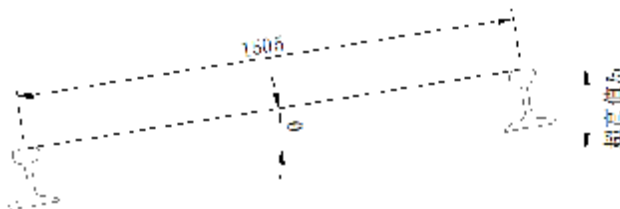


图 18 水平测量原理

两股钢轨间的水平实际上就是两股钢轨顶面形成的平面与水平面夹角 θ 所对应的直角边的高度, 即超高值:

$$h_1 = 1505 \times \sin \theta \quad (14)$$

式中： h_1 ——水平（mm）；

α ——倾斜角。

8.11 孔隙水压力监测

8.11.7 孔隙水压力观测常用的仪器有差阻式和振弦式。孔隙水压力的计算一般根据仪器厂家所带公式计算。

8.12 地下水位监测

8.12.1~8.12.5 地下水是影响土体力学性能的重要因素。根据地下水位的监测，一般采用单独的水位观测井，通过测得钻孔设置的水位观测管的管内水位高程来得出地下水位，在不具备钻孔条件的情况下，也可通过观测静态降水井的水位估算出地下水位。

9 监测控制值

9.0.1 在地铁工程中，施工工法不同，变形特点不一样，因此应根据不同工法制定监测控制值。

9.0.2 周边环境监测控制值与地质条件、自身基础和结构特点、内部设施、现状情况、运营特点等有密切关系，同时控制值的确定对周边环境的使用安全有较大影响。监测控制值的确定需遵循安全第一的原则，与环境当前的承受能力、使用安全相适应。有效控制周边环境的安全，关键是对工程施工结构及岩土体变化的严格控制。对于无相关经验的或特级风险工程以及有特殊需求的工程，目前实际的做法是先进行周边环境的调查检测，再进行评估计算，结合有关规范，以及相关单位的管理要求综合确定。

9.0.3 地铁工程施工的方法、结构跨度、埋置深度、工程地质及水文地质特点等因素对于施工时引起的位移、应力等的大小有着重要的影响。例如，当修建的隧道或车站埋深浅，其对地表的影响范围就小，但是影响的程度大；在其他因素相同的情况下，当修建的隧道或车站埋深增大时，地表的影响范围增大，但是潜在的影响程度减弱。因此在本规程的制定过程中，综合考虑了影响沉降的各因素。北京地铁工程施工监测从总体上按照施工方法给出相应的监测控制值。

9.0.4 明（盖）挖法基坑支护结构及周围岩土体监测控制值与地质条件、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。监测控制值的确定需遵循安全与经济相统一，按地质条件分类控制等原则。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控制值是一个复杂的过程，本规程为监测控制值的确定开展了专题研究。

专题研究收集了北京市 8 条线路、35 个典型明（盖）挖车站的设计文件和监测资料。研究表明，监测数据变化量除与基坑的各项设计参数、工法相关外，还与所处区域的岩土体特性、类型等因素密切相关。

专题研究从北京市地铁工程明（盖）挖车站中收集和统计分析了 35 个典型基坑工程的实测资料，包括 1164 个监测断面的 2466 个监测点。监测项目主要包括基坑工程地表沉降、支护桩（墙）顶竖向位移、支护桩（墙）顶水平位移和支护桩（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。

明（盖）挖法基坑支护结构和周围岩土体的监测控制值，按照监控量测等级来控制，监控量测等级按照本规程中表 3.3.2 执行。

1 地表沉降

1) 相关规范的规定

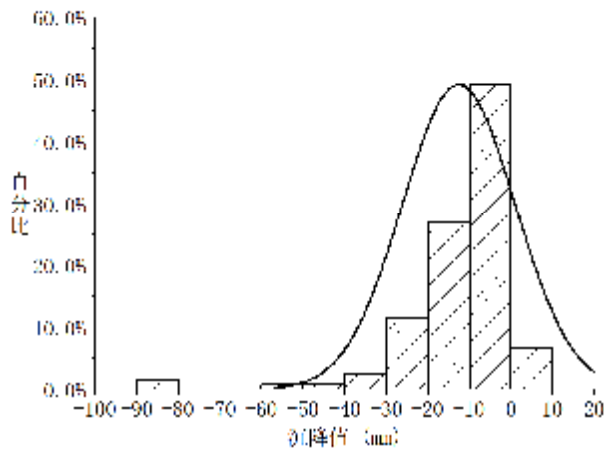
《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911 规定的地表沉降控制值为 $20\text{mm} \sim 60\text{mm}$ ($0.15\% \sim 0.6\% H$)。《建筑基坑工程监测技术标准》GB 50497 规定的地表沉降控制值为 $20\text{mm} \sim 55\text{mm}$ 。北京市地方标准《地铁工程监控量测技术规程》DB11/ 490 规定的地表沉降控制值为 $30\text{mm} \sim 50\text{mm}$ ($0.15\% \sim 0.3\% H$)。

2) 实测统计结果

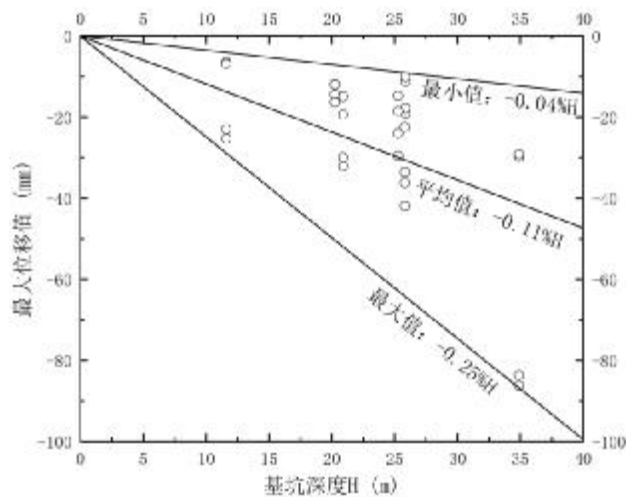
地表沉降主要从基坑两端及中部附近选取具有代表性的监测断面，基坑边缘的 2 排监测点。

①以V级围岩为主地层

对7个工点的122个地表沉降监测点统计结果见图19。



(a) 7个工点122个监测点最大地表沉降分布



(b) 7个工点最大地表沉降与基坑深度的关系

图19 基坑地表沉降

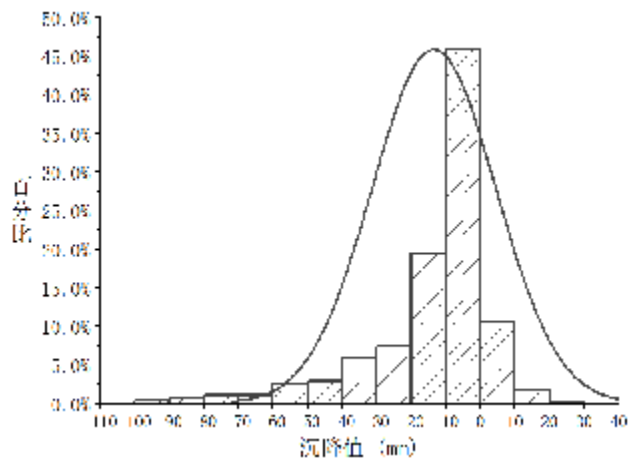
从图19(a)中可以看出，以V级围岩为主的基坑周边地表以沉降现象为主，部分隆起。7个工点122个监测点的地表沉降值分布在-30mm~+10mm（-表示沉降，+表示隆起）的监测点数量约占监测点总数的94.3%，分布在-40mm~+10mm的监测点数量约占监测点总数的96.7%，分布在-50mm~+10mm的监测点数量约占监测点总数的97.5%，分布在-60mm~+10mm的监测点数量约占监测点总数的98.3%。标准差13.27， $\mu-\sigma$ 取值-27.02， $\mu-2\sigma$ 取值-40.29， $\mu-3\sigma$ 取值-53.56。

从图19(b)中可以看出，7个工点的最大地表沉降值约为 $-0.25\%H$ ，平均值约为 $-0.11\%H$ 。

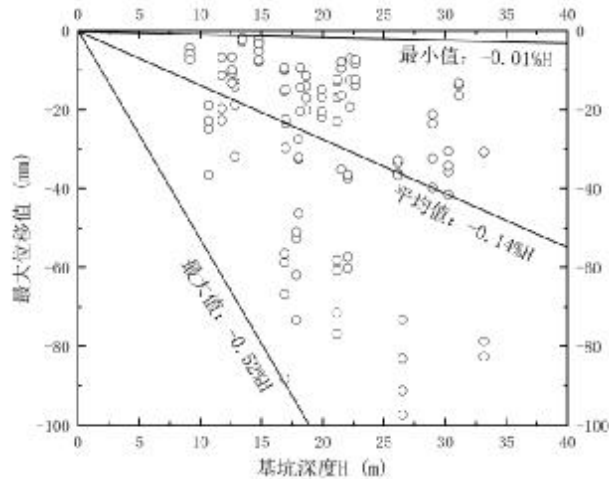
以V级围岩为主的基坑地表沉降的最大变形速率在 $\pm 2\text{mm/d}$ 的数量约占监测点总数的57.8%，在 $\pm 3\text{mm/d}$ 的数量约占监测点总数的83.6%， $\pm 4\text{mm/d}$ 的数量约占监测点总数的95.7%，平均最大变形速率为 -2.19mm/d 、 $+1.44\text{mm/d}$ ，变形速率最大值为 -5.89mm/d 、 $+2.68\text{mm/d}$ 。

②以VI级围岩为主地层

对 28 个工点的 445 个地表沉降监测点统计结果见图 20。



(a) 28 个工点 445 个监测点最大地表沉降分布



(b) 28 个工点最大地表沉降与基坑深度的关系

图 20 基坑地表沉降

从图 20 (a) 中可以看出，以 VI 级围岩为主的基坑周边地表以沉降为主，部分隆起。28 个工点 445 个监测点的地表沉降值分布在 $-40\text{mm} \sim +10\text{mm}$ (-表示沉降，+表示隆起) 的监测点数量约占监测点总数的 89.2%，分布在 $-50\text{mm} \sim +10\text{mm}$ 的监测点数量约占监测点总数的 92.1%，分布在 $-60\text{mm} \sim +10\text{mm}$ 的监测点数量约占监测点总数的 94.6%，分布在 $-70\text{mm} \sim +10\text{mm}$ 的监测点数量约占监测点总数的 95.7%。标准差 17.44， $\mu - \sigma$ 取值 -33.66， $\mu - 2\sigma$ 取值 -51.5， $\mu - 3\sigma$ 取值 -68.54。

从图 20 (b) 中可以看出，28 个工点的最大地表沉降值约为 $-0.52\% H$ ，平均值约为 $-0.14\% H$ 。

以 VI 级围岩为主的基坑地表沉降的最大变形速率在 $\pm 2\text{mm/d}$ 的数量约占监测点总数的 59.1%，在 $\pm 3\text{mm/d}$ 的数量约占监测点总数的 77.5%，在 $\pm 4\text{mm/d}$ 的数量约占监测点总数的 87.2%，平均最大变形速率为 -2.63mm/d 、 $+1.86\text{mm/d}$ ，变形速率最大值为 -42.15mm/d 、 $+19.54\text{mm/d}$ 。

以 VI 级围岩为主的基坑地表沉降控制值，可参考以上统计数据。

2 支护桩（墙）顶部竖向位移

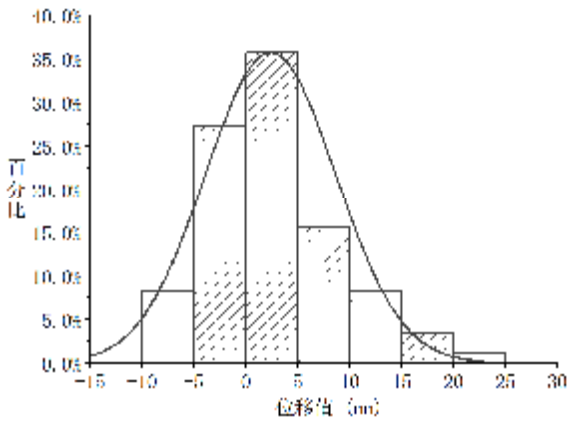
1) 相关规范的规定

国家标准《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911 规定的支护桩（墙）顶竖向位移控制值为 10mm~40mm（0.1%~0.6% H ）。《建筑基坑工程监测技术标准》GB 50497 规定的围护墙（边坡）顶部竖向位移控制值为 10mm~60mm（0.1%~1.0% H ）。北京市地方标准原《地铁工程监控量测技术规程》DB11/490 规定的围护桩（墙）顶部沉降控制值为 10mm。

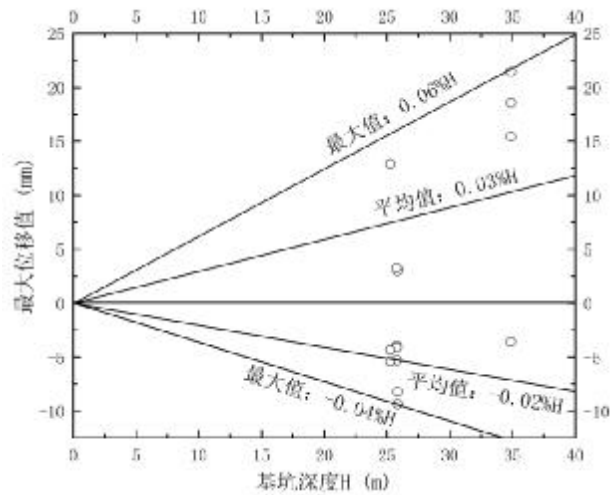
2) 实测统计结果

①以 V 级围岩为主地层

收集的 4 个工点支护桩（墙）顶部竖向位移监测资料中，多为开挖地层以 V 级围岩为主的基坑工程，对 4 个工点的支护桩（墙）顶部竖向位移监测统计结果见图 21。



(a) 4 个工点 84 个监测点的最终竖向位移分布



(b) 4 个工点最大竖向位移与基坑深度的关系

图 21 基坑支护桩（墙）顶部竖向位移

竖向位移在 4 个工点中，监测点既有隆起又有沉降，最大沉降量-9.36mm，最大隆起量 21.47mm。

从图 21（a）中可以看出，4 个工点的 84 个监测点中，监测点隆起占监测点总数的 64.29%，监测点沉降占监测点总数的 35.71%。监测点的竖向位移实测数值在-10mm~+10mm（-表示沉降，+表示隆起）的数量约占监测点总数的 86.9%，在-15mm~+15mm 的数量约占监测点总数的 95.2%，在-20mm~+20mm 的数

量约占监测点总数的 98.8%。隆起标准差 5.33, $\mu+\sigma$ 取值 10.94, $\mu+2\sigma$ 取值 16.27, $\mu+3\sigma$ 取值 21.6; 沉降标准差 2.58, $\mu-\sigma$ 取值-6.03, $\mu-2\sigma$ 取值-8.61, $\mu-3\sigma$ 取值-11.19。

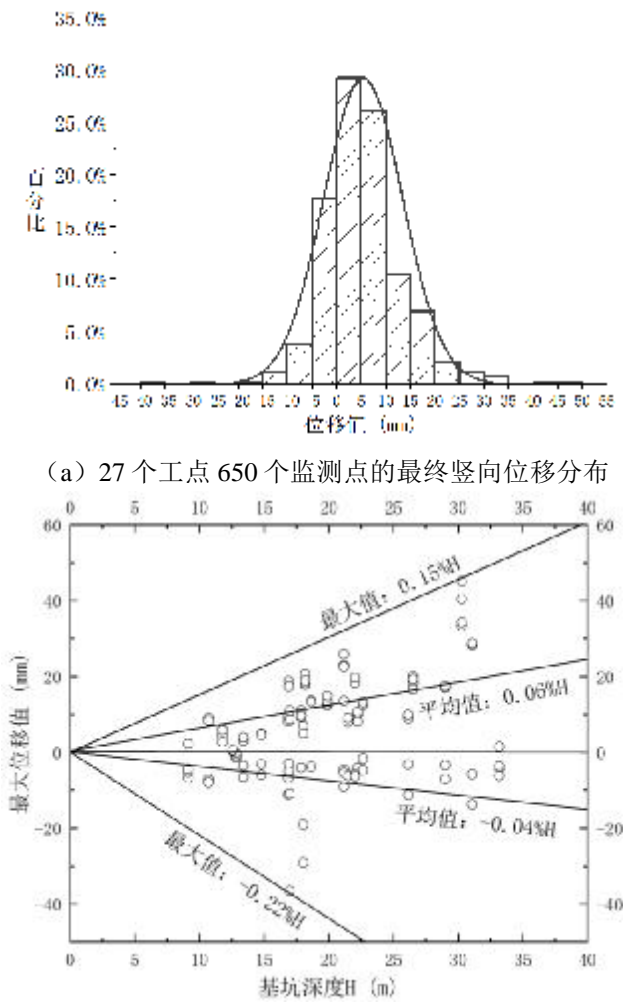
从图 21 (b) 中可以看出, 4 个工点中桩 (墙) 顶部最大隆起约为 $0.06\% H$, 平均隆起为 $0.03\% H$; 最大沉降约为 $-0.04\% H$, 平均沉降为 $-0.02\% H$ 。

以 V 级围岩为主的基坑中, 监测点位移最大速率为隆起的占总数的 69.88%, 监测点位移最大速率为沉降的占总数的 30.12%。监测点的位移最大速率在 $\pm 1\text{mm/d}$ 的数量约占监测点总数的 1.2%, 在 $\pm 2\text{mm/d}$ 的数量约占监测点总数的 34.9%, 在 $\pm 3\text{mm/d}$ 的数量约占监测点总数的 69.9%, 在 $\pm 4\text{mm/d}$ 的数量约占监测点总数的 78.3%, 在 $\pm 5\text{mm/d}$ 的数量约占监测点总数的 88%。根据统计结果, 桩 (墙) 顶部隆起最大速率为 6.21mm/d , 沉降最大速率为 -6.39mm/d 。平均隆起最大速率 2.89mm/d , 平均沉降最大速率 -2.53mm/d 。

以 V 级围岩为主的基坑支护桩 (墙) 顶部竖向位移控制值, 可参考以上统计数据。

②以 VI 级围岩为主地层

收集的 27 个工点支护桩 (墙) 顶部竖向位移监测资料中, 多为以开挖地层以 VI 级围岩为主的基坑工程, 对 27 个工点的支护桩 (墙) 顶部竖向位移监测统计结果见图 22。



(a) 27 个工点 650 个监测点的最终竖向位移分布
(b) 27 个工点最大竖向位移与基坑深度的关系
图 22 基坑支护桩 (墙) 顶部竖向位移统计

竖向位移在 27 个工点中，监测点既有隆起又有沉降，最大沉降量-36.5mm，最大隆起量 45.17mm。

从图 22（a）中可以看出，27 个工点的 650 个监测点中，监测点隆起占监测点总数的 76.92%，监测点沉降占监测点总数的 23.08%。监测点的竖向位移实测数值在-10mm~+10mm（-表示沉降，+表示隆起）的数量约占监测点总数的 76.9%，在-15mm~+15mm 的数量约占监测点总数的 88.5%，在-20mm~+20mm 的数量约占监测点总数的 95.5%。隆起标准差 6.71， $\mu+\sigma$ 取值 14.86， $\mu+2\sigma$ 取值 21.57， $\mu+3\sigma$ 取值 28.28；沉降标准差 4.61， $\mu-\sigma$ 取值-8.38， $\mu-2\sigma$ 取值-12.99， $\mu-3\sigma$ 取值-17.6。

从图 22（b）中可以看出，11 个工点中桩（墙）顶部最大隆起约为 0.15% H ，平均隆起为 0.06% H ；最大沉降约为-0.22% H ，平均沉降为-0.04% H 。

以Ⅵ级围岩为主的基坑中，监测点位移最大速率为隆起的占总数的 69.16%，监测点位移最大速率为沉降的占总数的 30.84%。监测点的位移最大速率在 $\pm 1\text{mm/d}$ 的数量约占监测点总数的 14.7%，在 $\pm 2\text{mm/d}$ 的数量约占监测点总数的 49.7%，在 $\pm 3\text{mm/d}$ 的数量约占监测点总数的 69.8%，在 $\pm 4\text{mm/d}$ 的数量约占监测点总数的 79.3%，位移最大速率在 $\pm 5\text{mm/d}$ 的数量约占监测点总数的 87.7%。根据统计结果，桩（墙）顶部隆起最大速率为 9.92mm/d，沉降最大速率为-7.53mm/d，平均隆起最大速率 2.59mm/d，平均沉降最大速率-2.53mm/d。以Ⅵ级围岩为主的基坑支护桩（墙）顶部竖向位移控制值，可参考以上统计数据。

3 支护桩（墙）顶水平位移

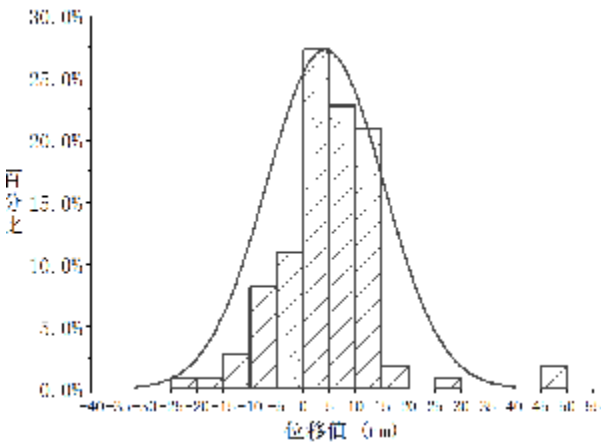
1) 相关规范的规定

国家标准《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911 规定的支护桩（墙）顶水平位移控制值为 15 mm ~60mm（0.1%~0.8% H ）。《建筑基坑工程监测技术标准》GB 50497 规定的围护墙（边坡）顶部水平位移控制值为 20 mm ~60mm（0.2%~1.0% H ）。北京市地方标准原《地铁工程监控量测技术规程》DB11/490 规定的围护桩（墙）水平位移控制值为 30 mm ~50mm（0.15%~0.3% H ）。

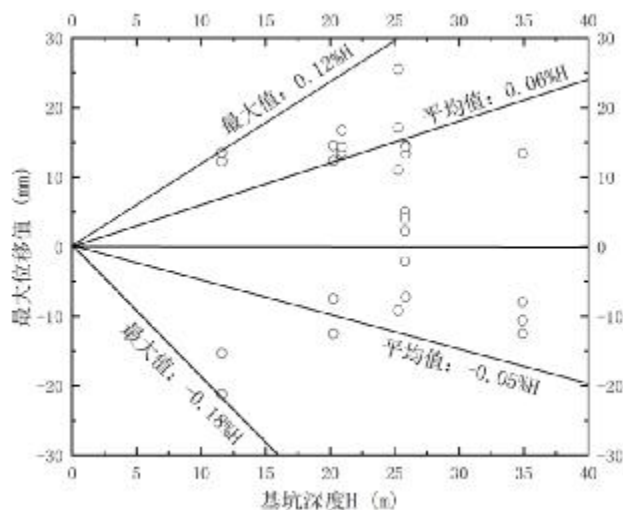
2) 实测统计结果

①以Ⅴ级围岩为主地层

对 7 个以Ⅴ级围岩为主的基坑工程，支护桩（墙）顶水平位移监测统计结果见图 23。



（a）7 个工点 110 个监测点的最终水平位移分布频率直方图



(b) 7 个工点最大水平位移与基坑深度的关系

图 23 基坑支护桩（墙）顶水平位移统计

水平位移在 7 个工点中，既有向基坑内的水平位移，也有向基坑外的水平位移，向基坑内的最大位移量 48.65mm，向基坑外的最大位移量-52.75mm。

从图 23 (a) 中可以看出，以 V 级围岩为主的 7 个工点的 110 个监测点中，实测数值分布在 -10mm~+10mm（-表示向基坑外的水平位移，+表示向基坑内的水平位移）的数量约占监测点总数的 69.1%，分布在 -15mm~+15mm 的数量约占监测点总数的 92.7%，分布在 -20mm~+20mm 的数量约占监测点总数的 95.5%。向基坑内的水平位移标准差 7.96， $\mu+\sigma$ 取值 16.19， $\mu+2\sigma$ 取值 24.15， $\mu+3\sigma$ 取值 32.11；向基坑外的水平位移标准差 10.16， $\mu-\sigma$ 取值 -18.28， $\mu-2\sigma$ 取值 -28.44， $\mu-3\sigma$ 取值 -38.6。

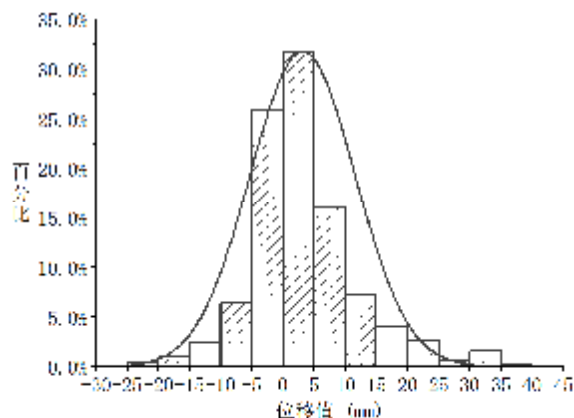
从图 23 (b) 中可以看出，7 个工点中桩（墙）顶向基坑内水平最大位移约为 $0.12\%H$ ，平均位移 $0.06\%H$ ；向基坑外水平最大位移约为 $-0.18\%H$ ，平均位移 $-0.05\%H$ 。

以 V 级围岩为主的基坑中，位移最大速率控制值在 $\pm 2\text{mm/d}$ 的数量约占监测点总数的 31.3%，在 $\pm 3\text{mm/d}$ 的数量约占监测点总数的 59.4%，在 $\pm 4\text{mm/d}$ 的数量约占监测点总数的 75%，在 $\pm 5\text{mm/d}$ 的数量约占监测点总数的 82.8%。根据统计结果，桩（墙）顶向基坑内水平位移的最大速率的最大值为 8.2mm/d ，向基坑外水平位移的最大速率的最大值为 -6.99mm/d 。向基坑内平均水平位移最大速率 2.89mm/d ，向基坑外平均水平位移 -3.48mm/d 。

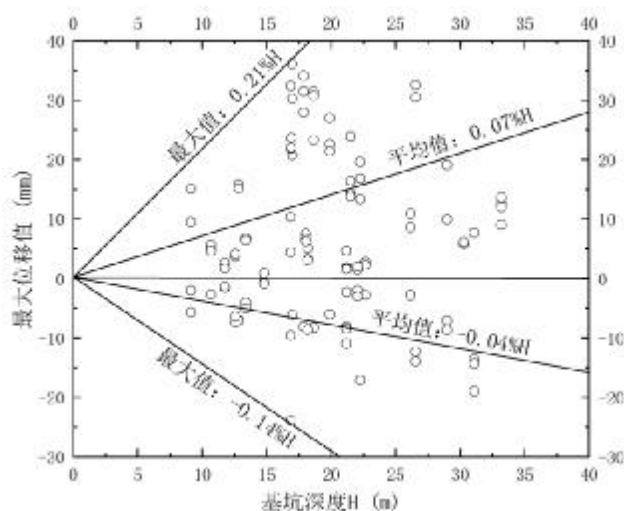
以 V 级围岩为主的基坑支护桩（墙）顶向基坑内的水平位移控制值，可参考以上统计数据。桩（墙）顶向基坑外的水平位移，由于位移原因复杂，控制值结合支护结构形式、支撑轴力的大小和岩土条件确定。

②以 VI 级围岩为主地层

对 27 个以 VI 级围岩为主的基坑工程，支护桩（墙）顶水平位移监测统计结果见图 24。



(a) 27 个工点 529 个监测点的最终水平位移分布



(b) 27 个工点最大水平位移与基坑深度的关系

图 24 基坑支护桩（墙）顶水平位移

水平位移在 27 个工点中，既有向基坑内的水平位移，也有向基坑外的水平位移，向基坑内的最大位移量 36.05mm，向基坑外的最大位移量-23.91mm。

从图 24 (a) 中可以看出，以Ⅵ级围岩为主的 27 个工点的 529 个监测点中，实测数值分布在-10mm~+10mm（-表示向基坑外的水平位移，+表示向基坑内的水平位移）的数量约占监测点总数的 80.2%，分布在-15mm~+15mm的数量约占监测点总数的 89.8%，分布在-20mm~+20mm的数量约占监测点总数的 94.7%。向基坑内的水平位移标准差 7.35， $\mu+\sigma$ 取值 14.62， $\mu+2\sigma$ 取值 21.97， $\mu+3\sigma$ 取值 29.32；向基坑外的水平位移标准差 4.41， $\mu-\sigma$ 取值-8.57， $\mu-2\sigma$ 取值-12.98， $\mu-3\sigma$ 取值-17.39。

从图 24 (b) 中可以看出，27 个工点中桩（墙）顶向基坑内水平最大位移约为 $0.21\%H$ ，平均位移 $0.07\%H$ ；向基坑外水平最大位移约为 $-0.14\%H$ ，平均位移 $-0.04\%H$ 。

以Ⅵ级围岩为主的基坑中，监测点的位移最大速率控制值在 $\pm 2\text{mm/d}$ 的数量约占监测点总数的 61.9%，在 $\pm 3\text{mm/d}$ 的数量约占监测点总数的 85.3%，在 $\pm 4\text{mm/d}$ 的数量约占监测点总数的 92.2%，在 $\pm 5\text{mm/d}$ 的数量约占监测点总数的 95.7%。根据统计结果，桩（墙）顶向基坑内水平位移的最大速率的最大值为 5.74mm/d ，

向基坑外水平位移的最大速率的最大值为-9.2mm/d。向基坑内平均水平位移最大速率 2.09mm/d，向基坑外平均水平位移-2.25mm/d。

以Ⅵ级围岩为主的基坑支护桩（墙）顶向基坑内的水平位移控制值，可参考以上统计数据。桩（墙）顶向基坑外的水平位移，由于位移原因复杂，控制值结合支护结构形式、支撑轴力的大小和岩土条件确定。

4 支护桩（墙）体水平位移

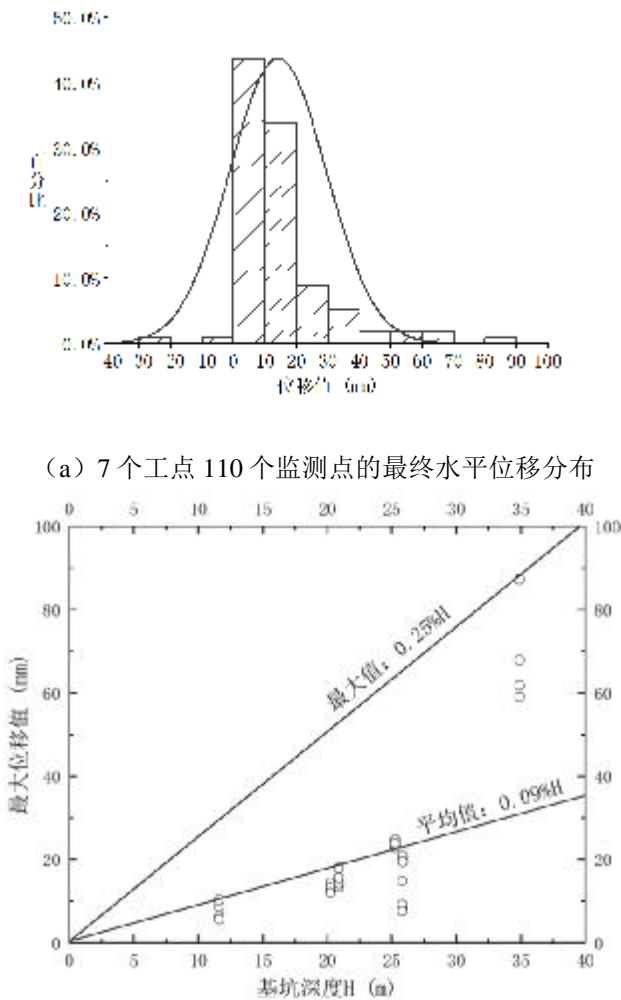
1) 相关规范的规定

国家标准《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911 规定的支护桩（墙）体水平位移控制值为20mm~70mm（0.15%~0.7% H ）。《建筑基坑工程监测技术标准》GB 50497 规定的深层水平位移控制值为30mm~90mm（0.3%~1.0% H ）。

2) 实测统计结果

①以Ⅴ级围岩为主地层

对 7 个工点的支护桩（墙）体水平位移监测统计结果见图 25。



(b) 7 个工点最大水平位移与基坑深度的关系
图 25 基坑支护桩（墙）体水平位移

从图 25 (a) 可以看出, 以 V 级围岩为主的基坑支护桩 (墙) 体存在向基坑内、外的水平位移, 7 个工点 110 个监测点的支护桩 (墙) 体水平位移值在 $0\sim+30\text{mm}$ (-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 86.6%, 在 $0\sim+40\text{mm}$ 的监测点数量约占监测点总数的 92%, 在 $0\sim+50\text{mm}$ 的监测点数量约占监测点总数的 93.8%, 在 $0\sim+60\text{mm}$ 的监测点数量约占监测点总数的 95.5%。向基坑内的水平位移标准差 14.93, $\mu+\sigma$ 取值 29.55, $\mu+2\sigma$ 取值 44.48, $\mu+3\sigma$ 取值 59.41。

从图 25 (b) 可以看出, 7 个工点的最大桩 (墙) 体水平位移平均值约为 $0.09\%H$, 最大值约为 $0.25\%H$ 。根据统计结果, 以 V 级围岩为主的支护桩 (墙) 体水平位移的最大位移变化速率多在 $2\text{mm/d}\sim3\text{mm/d}$ 。

以 V 级围岩为主的基坑支护桩 (墙) 体水平位移控制值, 可参考以上统计数据。从图 25 (a) 中可以看出, 以 V 级围岩为主的基坑支护桩 (墙) 体存在向基坑外水平位移的现象, 但位移量相对较小。由于向基坑外的水平位移原因复杂, 控制值结合支护结构形式、支撑轴力的大小和岩土条件确定。

②以 VI 级围岩为主地层

对 27 个工点的支护桩 (墙) 体水平位移监测统计结果见图 26。

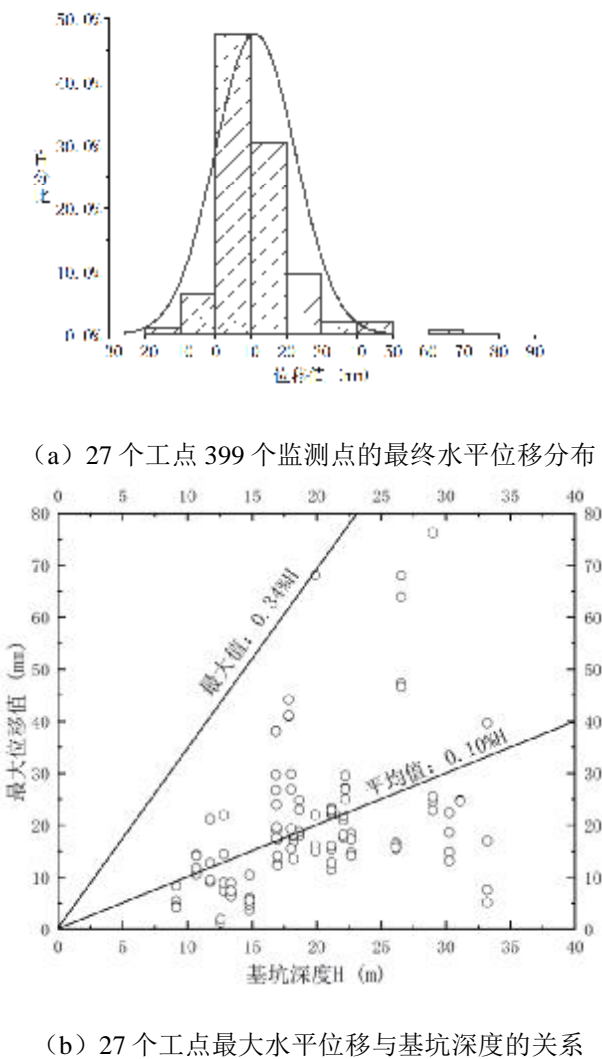


图 26 基坑支护桩 (墙) 体水平位移

从图 26 (a) 可以看出, 以 VI 级围岩为主的基坑支护桩 (墙) 体存在向基坑内、外的水平位移, 27 个工

点 399 个监测点的支护桩（墙）体水平位移值在-10mm~+30mm（-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 94%，在-10mm~+40mm 的监测点数量约占监测点总数的 96.1%，在-10mm~+50mm 的监测点数量约占监测点总数的 96.1%，在-10mm~+60mm 的监测点数量约占监测点总数的 97%。向基坑内的水平位移标准差 10.82， $\mu + \sigma$ 取值 23.23， $\mu + 2\sigma$ 取值 34.05， $\mu + 3\sigma$ 取值 44.87。

从图 26（b）可以看出，27 个工点的最大桩（墙）体水平位移平均值约为 0.1%*H*，最大值约为 0.34%*H*。

根据统计结果，以Ⅵ级围岩为主的基坑支护桩（墙）体水平位移的最大位移变化速率多在 2mm/d~3mm/d。

以Ⅵ级围岩为主的基坑支护桩（墙）体水平位移控制值，可参考以上统计数据。从图 26（a）中可以看出，以Ⅵ级围岩为主的基坑支护桩（墙）体存在向基坑外水平位移的现象，但位移量相对较小。由于向基坑外的水平位移原因复杂，控制值结合支护结构形式、支撑轴力的大小和岩土条件确定。

9.0.5 车站开挖断面较大，施工工序多，地表变形控制比区间隧道困难得多。研究结果表明，监测项目的监测数据变化除与隧道工程的各项设计参数、工法相关外，还与隧道所处场区的岩土体特性、类型等因素密切相关。

本次研究收集了北京地铁6号线西延、3号线一期、12号线、17号线、19号线一期、7号线、7号线东延、昌平线南延等浅埋暗挖法车站，分布在北京地区西部、中部、东部地层，西部车站主要围岩级别为Ⅴ级围岩，东部车站主要围岩级别为Ⅵ级围岩。

主要为Ⅴ级围岩地层的车站共统计了8个，485个监测点，地表沉降累计值在-71.87mm~+32.24mm之间，平均值-18.8mm，标准差17.23mm，累计值中约95.93%的监测点实测值在-50mm以内，如图27所示。

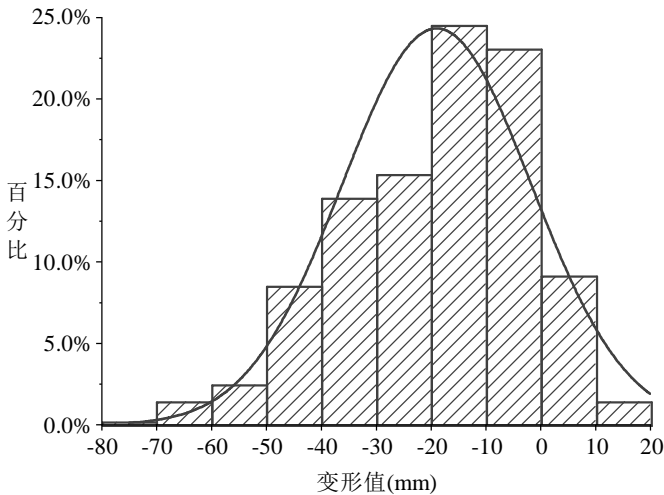


图 27 Ⅴ级围岩地层的浅埋暗挖法车站地表沉降累计值分布（485 个监测点）

主要为Ⅴ级~Ⅵ级围岩地层的车站共统计了10个，461个监测点，地表沉降为-132.73mm~+1.3mm，平均值-54.5mm，标准差27.33mm。累计值中约82%的监测点实测值在-80mm以内，如图28所示。

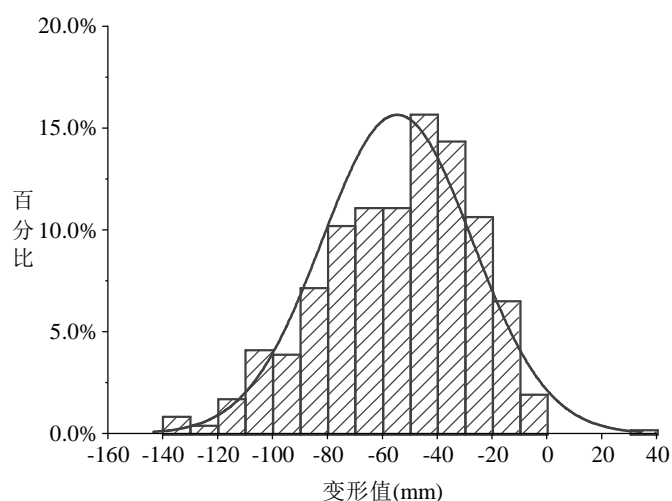


图 28 V 级~VI 级围岩地层的浅埋暗挖法车站地表沉降累计值分布（461 个监测点）

主要为 VI 级围岩地层的车站共统计了 6 个，320 个监测点，地表沉降为 -237.56mm~-18.8mm，平均值 -98.66mm，标准差 33.38mm，如图 29 所示。累计值中监测点实测值较大超过控制指标 -60mm。

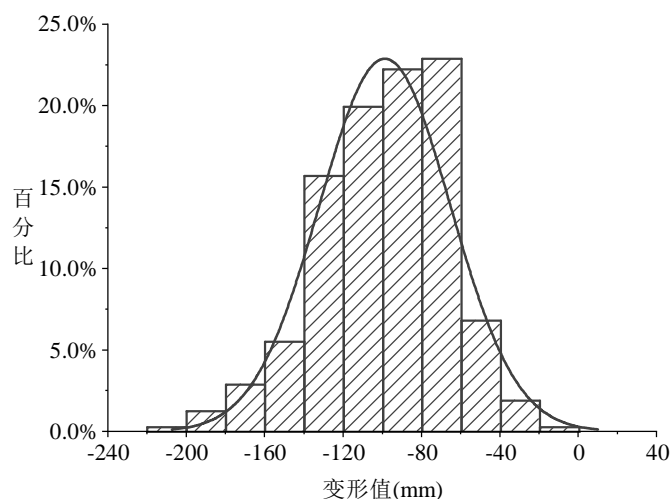
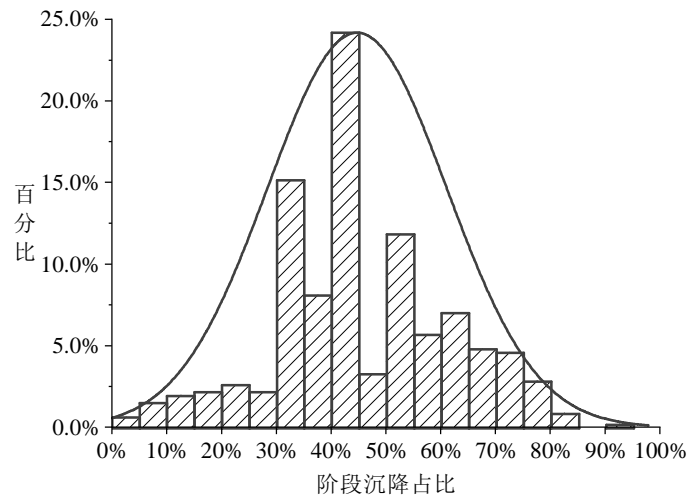


图 29 VI 级围岩地层的浅埋暗挖法车站地表沉降累计值分布（320 个监测点）

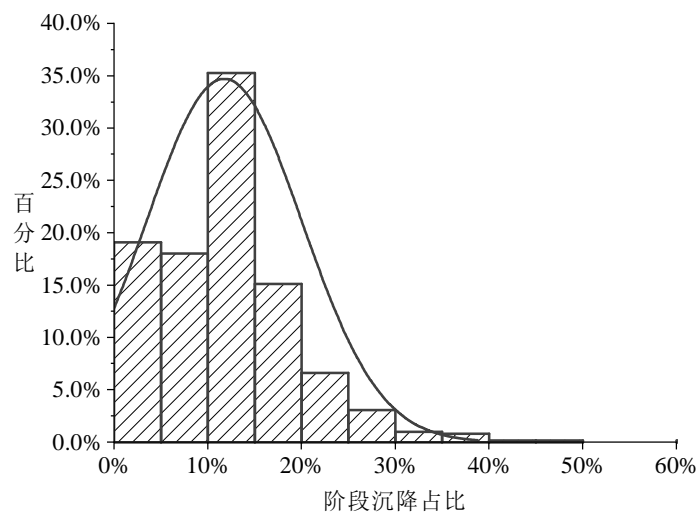
统计分析了 12 座 4 导洞洞桩法车站，共 491 个监测点，在导洞开挖阶段沉降占比平均值 45%，梁柱体系阶段沉降占比平均值 12%，初支扣拱阶段沉降占比平均值 28%，二衬扣拱阶段沉降占比平均值 11%，按照 ± 1 倍标准差范围参考控制，监测点各阶段沉降统计见表 2，各阶段沉降占比分布如图 30 所示。

表 2 洞桩法车站（4 导洞）各阶段地表沉降统计

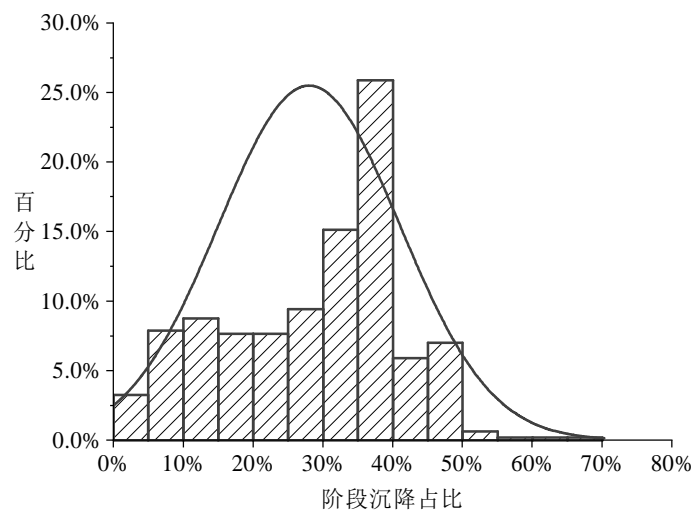
工程类别	导洞层数	分析指标	阶段沉降占比			
			导洞开挖	梁柱体系	初支扣拱	二衬扣拱
洞桩法车站	单层 4 导洞	平均值	45%	12%	28%	11%
		标准差	16.60%	8.31%	13.00%	9.43%
		± 1 倍标准差	28%~62%	4%~20%	15%~41%	2%~20%



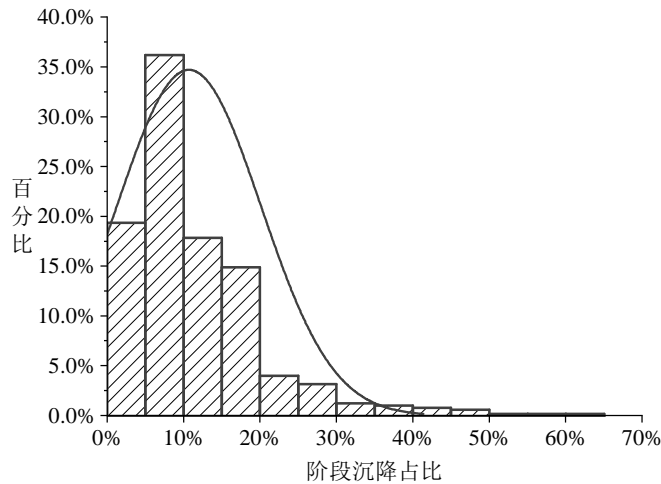
(a) 洞桩法车站（4 导洞）导洞开挖阶段沉降占比分布



(b) 洞桩法车站（4 导洞）梁柱体系阶段沉降占比分布



(c) 洞桩法车站（4 导洞）初支扣拱阶段沉降占比分布



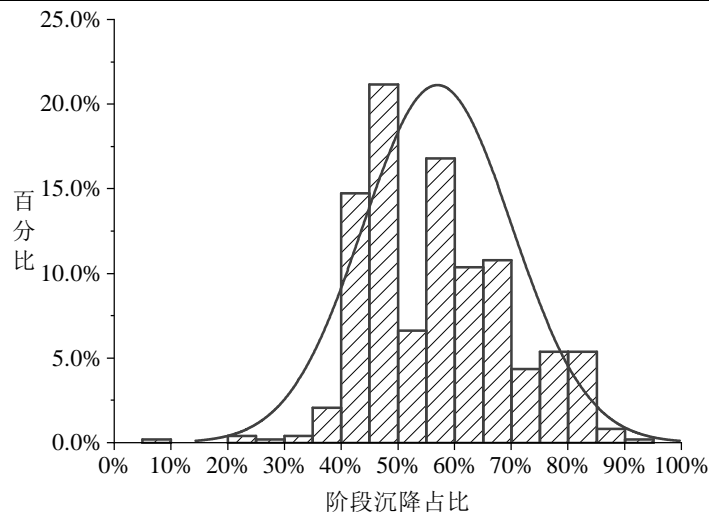
(d) 洞桩法车站（4 导洞）二衬扣拱阶段沉降占比分布

图 30 洞桩法车站（4 导洞）阶段沉降占比分布

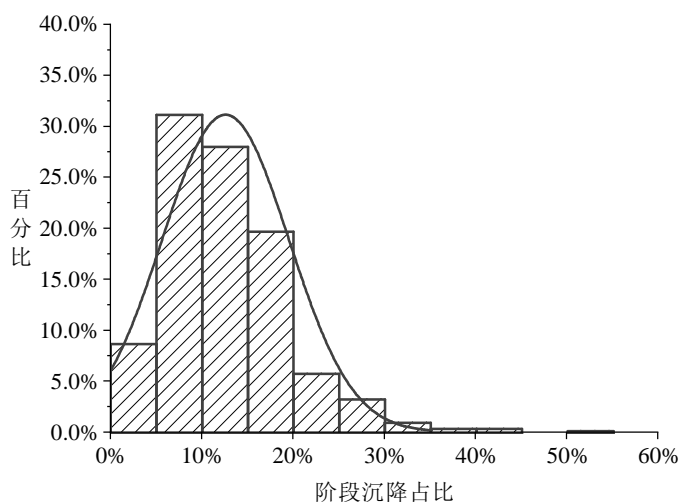
统计分析了 20 座 8 导洞和 6 导洞洞桩法车站，共 483 个监测点，在导洞开挖阶段沉降占比平均值 57%，梁柱体系阶段沉降占比平均值 13%，初支扣拱阶段沉降占比平均值 23%，二衬扣拱阶段沉降占比平均值 6%，按照 ± 1 倍标准差范围参考控制，监测点各阶段沉降统计见表 3，各阶段沉降占比分布如图 31 所示。

表 3 洞桩法车站（8 导洞、6 导洞）各阶段地表沉降统计

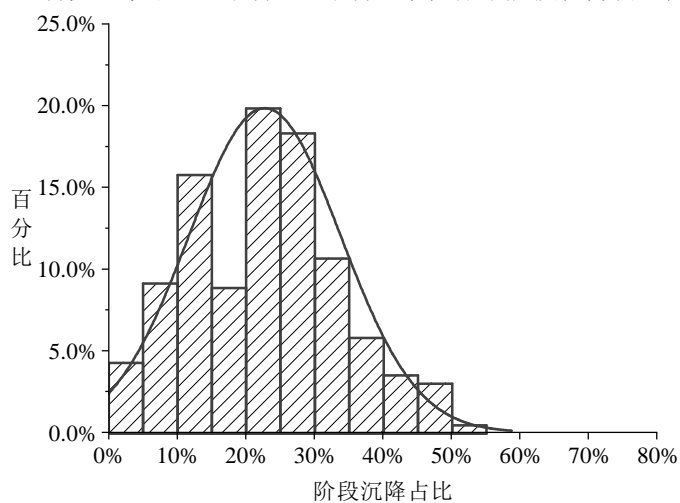
工程类别	导洞层数	分析指标	阶段沉降占比			
			导洞开挖	梁柱体系	初支扣拱	二衬扣拱
洞桩法车站	双层 8 导洞 双层 6 导洞	平均值	57%	13%	23%	6%
		标准差	13.13%	6.95%	11.07%	5.80%
		± 1 倍标准差	44%~70%	6%~20%	12%~35%	0%~12%



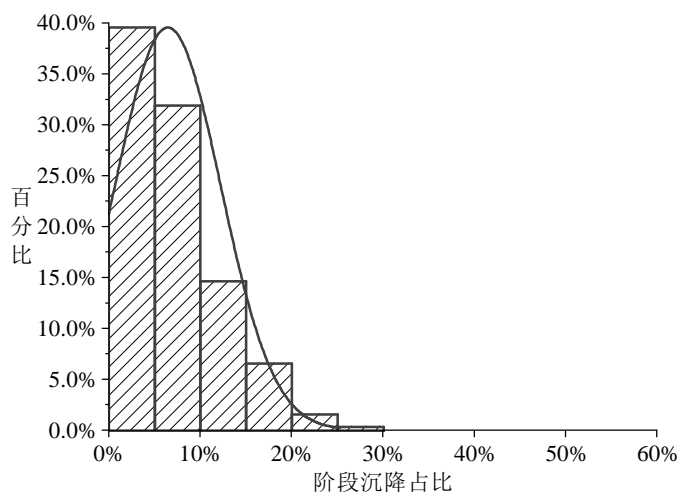
(a) 洞桩法车站（8 导洞、6 导洞）导洞开挖阶段沉降占比分布



(b) 洞桩法车站（8 导洞、6 导洞）梁柱体系阶段沉降占比分布



(c) 洞桩法车站（8 导洞、6 导洞）初支扣拱阶段沉降占比分布



(d) 洞桩法车站（8 导洞、6 导洞）二衬扣拱阶段沉降占比分布

图 31 洞桩法车站（4 导洞）阶段沉降占比分布

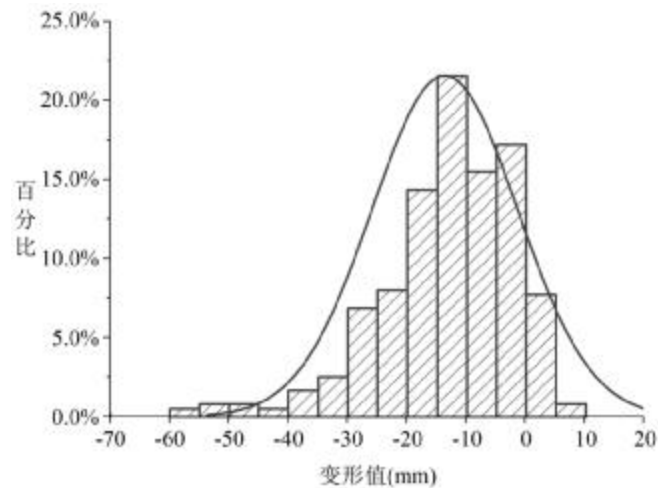
9.0.6 盾构隧道施工过程中变形及岩土体位移与工程所处范围内的工程地质水文地质条件、周围环境条件及盾构施工参数等密切相关。盾构隧道监测控制值结合工程特点，经工程类比和分析计算后确定，也可参照

本规程确定的监测控制值。

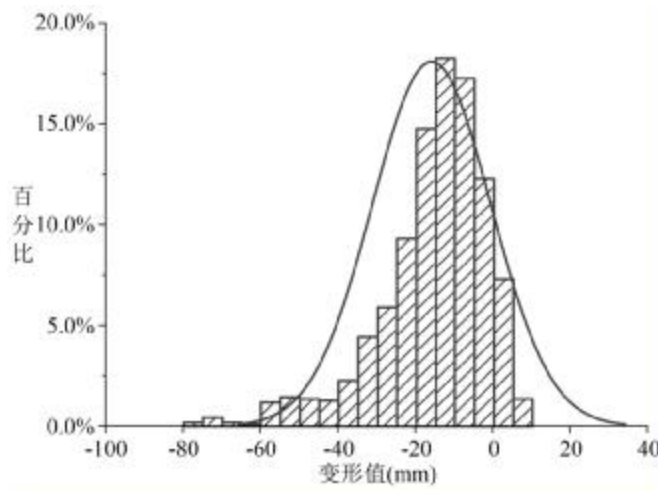
条文中9.4.1监测控制值，是在对北京市大量实际工程案例开展专题研究的基础上，结合相关规范确定的。

北京地区Ⅴ围岩盾构法隧道地表沉降控制值为 20mm，地表隆起控制值为 10mm；Ⅵ围岩盾构法隧道地表沉降控制值为 30mm，地表隆起控制值为 10mm。

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市 6 条线路、21 个工点的实测资料。对 21 个标准断面盾构隧道的实测统计结果见图 32 所示。



(a) 701 个监测点（Ⅴ围岩）



(b) 1163 个监测点（Ⅵ围岩）

图 32 标准断面盾构隧道最终地表沉降分布（1864 个监测点）

盾构隧道地表沉降主要统计隧道轴线上方的监测点，统计结果表明，北京地区盾构法隧道地表沉降大部分监测点累计变形在 20mm 以内。其中：

- 1) 北京市Ⅴ围岩区域约 93.58%的监测点沉降实测值在 20mm 以内，隆起实测值多在 10mm 以内。
- 2) 北京市Ⅵ围岩区域约 86.58%的监测点沉降实测值在 30mm 以内，隆起实测值多在 10mm 以内。

本规程根据围岩分级地层情况，Ⅴ围岩区域标准断面盾构隧道地表沉降累计变化控制值建议值为

10mm~-20mm，Ⅵ围岩区域标准断面盾构隧道地表沉降累计变化控制值建议值为 10mm~-30mm。

盾构掘进作业时，土体受扰变形规律与和监测面之间的距离密切相关，将盾构施工土体扰动变形特征根据与监测面之间的距离分五个不同阶段，分别是先行沉降、刀盘到达、盾体通过、盾尾脱出和后期沉降。其中，刀盘与监测面间距离为-30m~-10m 时为先行沉降阶段，-10m~0m 时为刀盘到达阶段，0~10m 时为盾构通过阶段，10m~20m 时为盾尾脱出阶段，20m~100m 时为后期沉降阶段，盾构施工沉降阶段如图 33 所示。

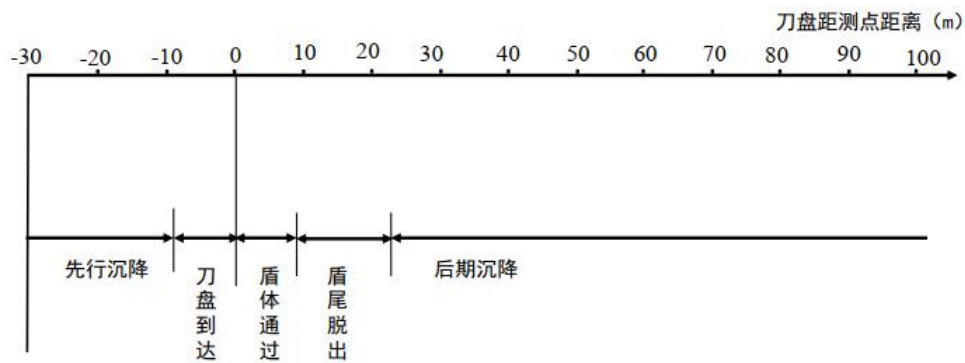


图 33 盾构施工沉降阶段

根据北京地铁工程某区间现场实测沉降值绘制隧道中线处地表沉降历时曲线图分析可知，因盾构在掘进过程中地层比较均一，施工引起的一、二阶段变形比较小，都在±1mm之内。盾构施工引起的变形主要发生在三、四、五阶段，表现为盾构掘进时对周边土体的扰动、盾尾脱出的土体应力释放引起的弹塑性变形及土体扰动后所引起的固结和蠕变残余变形。其中第一阶段沉降约占总沉降的5%，第二阶段沉降约占总沉降的10%，第三阶段沉降约占总沉降的20%，第四阶段沉降约占总沉降的60%，第五阶段沉降约占总沉降的5%。

根据上述工程的相关变形控制情况，具体到盾构开挖的5个阶段，其控制标准见表4。

表4 盾构法施工各阶段地表沉降统计

变形阶段	累计值（mm）	变化速率（mm/d）
先行沉降	5%	1
刀盘到达	10%	2
盾体通过	20%	3
盾尾脱出	60%	3
后期沉降	5%	1

10 巡 视

10.1 一般规定

10.1.2 巡视的情况与《城市轨道交通工程建设安全风险技术规范》DB11/ 1316 的巡视预警标准对比，符合预警标准的发布巡视预警。开工前对周边建（构）筑物等进行初始巡视，并记录初始状态。

10.1.9 因为较大降雨后地质易疏松区易沉降，因此加强汛期的监测工作和巡视工作。

10.2 明（盖）挖法施工巡视

10.2.1 本规程的巡视内容为巡视点是否符合规范及设计的要求以及易导致安全风险的质量缺陷和可视的安全风险征兆。实际现场巡视工作中根据实际情况进行增加。

由于降雨渗入地层后，导致土体力学性能下降，所以对地面提出了硬化的要求。废弃带水管线往往没有封堵或封堵存在缺陷，当管内水压升高极易破坏封堵并涌入基坑。基坑边新改移的管线若基础强度不足，当强降雨时，管节易错开，导致雨水大量进入地层，导致土体力学性能下降，若此时支护结构为支护桩，网喷面极易破坏，从而雨水涌入坑中，水土流失、地面坍塌。

10.2.3 因远程视频监控为现场巡视的补充手段，对于工期短工程规模小的工程，甚至视频安装周期与工期基本相当的，视频设备安装完时，主要施工工作已经做完，因此没有进行远程视频监控的必要性，所以规定远程视频监控为可采用也可不采用。对于工期长、危险性大的工程，远程视频监控是现场巡视有力的补充，对于重要风险部位远程视频监控，有利于进一步地控制工程施工质量及安全，避免事故的发生。远程视频监控作为现场巡视的辅助手段，优先监控关键工序、部位的施工信息。

10.3 浅埋暗挖法施工巡视

10.3.1 本规程的巡视内容为现场出现的危险征兆和作业是否符合规范及设计的要求。

如果开挖过程中出现局部溜坍或坍塌，通过对位置、规模、地下水渗漏、支护措施、现场组织、施工工艺等进行综合分析，及时提出风险处置措施并进行处置；施工中对地下水的控制效果十分重要，避免带水作业，保证开挖面无水状态，能有效防止开挖面溜坍或坍塌。因此，在巡视过程中对降水、止水措施、降水设施的运行状态、降水效果进行检查。

洞桩法、交叉中隔壁法、中隔壁法等工法施工过程中，施工工序、导洞掌子面（作业面）之间的错距等对结构受力和地表沉降有着重要的影响，因此是巡视检查的内容。当开挖断面变化时，从大断面向小断面开挖比较好。有时受施工占地的影响，只能从小断面向大断面开挖，这样容易出现掏挖。掏挖极易引起拱部土体掉落甚至塌方。

10.4 盾构法和顶管法施工巡视

10.4.1 条款中分别给出了盾构法、顶管法隧道工程的巡视对象及内容，工作中根据实际情况选择盾构法或顶管法的巡视内容。另外，对基准点、监测点、监测元器件的巡查要结合基本规定中的巡查要求进行。

10.5 周边环境巡视

10.5.1~10.5.4 城市地铁建设中，周边环境是重要的保护对象，在整个施工过程中需要确保周边环境对象的

正常使用，同时周边环境的状态也能反映出设计施工情况，因此有必要对其进行巡视。

10.6 巡视频率

10.6.3 土方施工期间是指在土方施工开始后到土方施工正式结束期间，除去正式暂停施工期间的所有时间。

例如在隧道开挖过程中，当出现当天未开挖掌子面时，但掌子面裸露或简单封闭，未处于稳定状态，也是土方施工期间。

11 预 警

11.1 一般规定

11.1.1~11.1.2 监测预警是通过监测数据来判断预警状态，巡视预警是通过观察出现的现象判断预警状态，综合预警是结合监测、巡视的情况综合分析得出预警状态。需要注意区分预警与报警的区别，预警的目的是避免出现事故征兆，当出现事故征兆时发出报警。黄色监测预警需要适度保持关注。橙色监测预警，如在分析后确定可能出现事故，则要发报警。红色监测预警是报警信号。巡视预警中一部分是措施不足，一部分是事故征兆，当措施严重不足时按照事故征兆对待。综合预警是报警信号。

11.2 监测预警

11.2.2 施工中及时分析工程监测数据及其变化情况，达到监测预警标准时及时发布监测预警。黄色监测预警是在正常情况下会发生的预警，主要是起到提醒作用，需要结合进度分析数据发展趋势，对于施工工作面已经通过，且数据趋于收敛的保持适度关注即可，数据趋于变大则需要分析原因采取措施；对于工作面正逐步靠近监测点，数据速率正逐渐变大的，需要结合经验预测未来累计值是否超控制值，若根据数据趋势分析或经验预计不会超过控制值，则保持关注即可，若预计超过控制值，则提前采取措施。橙色监测预警除了判断发展趋势外，还需要判断是否可控，不可控的要采取相应措施。如在掌子面通过监测点后，监测值变化速率会逐渐变小，但极少数情况下，速率并不变小而是保持某一值，此时则要采取稳定地层的措施。红色监测预警需要立即分析原因，并采取相应措施。

11.3 巡视预警

11.3.2 《城市轨道交通工程建设安全风险技术规范》DB11/ 1316-2016 中 5.3.18 条及附录 B 详细规定了预警标准。

11.4 综合预警

11.4.2 《城市轨道交通工程建设安全风险技术规范》DB11/ 1316-2016 中，5.3.21 条详细规定了预警标准。

12 监控量测成果与信息反馈

12.0.1 监控量测是一个系统工程，牵涉到很多方面，管理和协调存在一定难度，因此必须建立完备的管理制度和信息反馈制度，以保证监控量测数据可靠、资料分析全面、信息反馈渠道畅通，也只有在此前提下才能做好监控量测工作。

12.0.4 绘制监控量测数据的时程曲线（如位移-时间曲线和速率-时间曲线）是数据处理的基本方法。在监控量测的信息处理与反馈中，要及时对监控量测数据进行整理和校对，绘制成时程曲线。在图中注明量测时工作面施工工序和开挖工作面距量测断面的距离，以便分析施工工序、时间、空间效应与量测数据间的关系。

12.0.5 进行综合分析的目的是充分利用监控量测数据，从不同的角度分析同一个工程现象，从而更加准确、有效地指导设计和施工，并确保周边环境的安全。同时各监测项目的监测值可以相互校验，确保监测数据的可靠性。

12.0.6 由于工程地质条件和施工工序的复杂性，开挖导致隧道围岩的变形并不是单调的增加，在某一时刻某一地段围岩变形有可能出现减小的现象。围岩变形随时间变化，并逐渐趋于稳定。在量测数据整理中，可选用位移（或应力等）-时间曲线的散点图，图中纵坐标表示监测数据值，横坐标表示时间。通过对所得的数据进行回归，找出一条能代表时间-位移或距离-位移的拟合曲线。

12.0.7 监控量测报告分为日报、预警快报、阶段性报告和总结报告。各类监控量测报告以表格、图形等“形象化、直观化”的表达形式表示出监控量测对象的安全状态变化情况，以便于分析与判断。

12.0.8 随着城市地铁建设的不断开展，监控量测技术也取得了很大的进步。专业的信息管理软件便于监控量测数据的采集、处理、分析、查询和管理工作，可以将监控量测成果及时、准确地反馈给工程参建各方。

13 信息化管理系统

13.1 一般规定

13.1.1~13.1.2 随着信息化、自动化技术的应用大幅提高了监测工作效率，为了规范信息化、自动化技术应用，对系统基本功能做了规范。

13.2 施工安全风险监控系统技术要求

13.2.1~13.2.6 本节对施工安全风险监控系统应具备的基本功能进行了规范。

13.3 自动化监测系统技术要求

13.3.1~13.3.3 本节对自动化监测系统应具备的基本功能进行了规范。其中为应对出现自动化监测采集出现采集错误数据以及出现故障的问题，需要有与人工监测数据比对、人工选测和人工监测数据录入的功能。

13.4 视频监控系统技术要求

13.4.3 由于本规程适用于地铁工程，与《建筑工程施工现场视频监控技术规范》JGJ/T 292 所规定的摄像机现场部署位置不完全一致，因此系统的技术指标按照该规范执行，摄像机现场部署位置按照本规程 10.2.3、10.3.2、10.4.2 执行。