

ICS 03.220

CCS R 11

DB4201

武汉市地方标准

DB4201/T 646—2021

轨道交通工程运营期结构监测技术规程

Technical code of structural monitoring for the operation period of rail
transit project

2021-08-30 发布

2021-09-30 实施

武汉市市场监督管理局 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 符号 3

5 基本规定 3

6 长期监测 4

6.1 一般规定 4

6.2 监测点布置 5

6.3 沉降监测 6

6.4 收敛监测 7

6.5 水平位移监测 9

6.6 三维激光扫描 11

6.7 重点段加密监测 12

6.8 监测周期与频次 12

7 工程影响监测 13

7.1 一般规定 13

7.2 工程影响监测等级划分 14

7.3 监测项目 16

7.4 监测点布置 17

7.5 竖向位移监测 18

7.6 净空收敛监测 18

7.7 水平位移监测 18

7.8 倾斜监测 18

7.9 其他监测 19

7.10 监测频率 20

7.11 监测控制值 21

8 自动化监测 22

8.1 一般规定 22

8.2 全站仪自动化监测 23

8.3 静力水准自动化监测 24

8.4 激光测距仪自动化监测 24

8.5 电水平尺自动化监测 24

8.6 光纤光栅自动化监测 25

9 监测成果 25

9.1 成果整理与质量检查验收 25

9.2 成果提交与资料归档..... 26

9.3 成果信息管理系统..... 26

附录 A（规范性） 接近程度和外部作业的工程影响分区..... 27

附录 B（资料性） 城市轨道交通结构巡查记录表..... 34

参考文献..... 35

条文说明..... 36

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由武汉市城乡建设局提出。

本文件由武汉市交通运输局归口。

本文件起草单位：武汉地铁集团有限公司、武汉市勘察设计有限公司、中铁第四勘察设计院集团有限公司、武汉大学测绘学院、北京城建勘测设计研究院有限责任公司。

本文件主要起草人：姚春桥、廖建生、陈聪、官善友、高洪、王甫强、柯洋、夏艳军、徐亚明、余永明、夏银飞、杜先照、贺晓亮、董伟、李力、刘冠兰、韩志晟、王金汉、韩鹏、孙卫林、李虎。

轨道交通工程运营期结构监测技术规程

1 范围

本文件规定了轨道交通工程运营期结构监测技术基本规定、长期监测、工程影响监测、自动化监测、监测成果的要求。

本文件适用于武汉市域范围内城市轨道交通运营期结构监测，已建成但尚未投入运营的城市轨道交通结构监测可参照本文件执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 6722 爆破安全规程

GB/T 12897 国家一、二等水准测量规范

GB 50026 工程测量规范

GB 50307 城市轨道交通岩土工程勘察规范

JGJ 8 建筑变形测量规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

城市轨道交通工程 urban rail transit project

采用专用轨道导向运行的城市公共客运系统，包括地铁、轻轨、单轨、有轨电车、磁悬浮、自动导向轨道、市域快速轨道系统。

3.2

长期监测 long-term monitoring

为监控运营期城市轨道交通结构安全定期开展的监控量测，反映轨行区结构的变形程度及长期变形过程。

3.3

工程影响监测 project influence monitoring

为监控外部作业对城市轨道交通结构安全的影响而进行的监控量测，及时准确反映外部作业对城市轨道交通结构的影响程度和影响过程。

3.4

安全保护区 protection area

为保护城市轨道交通的安全和正常使用，在其结构周边一定范围内划定的保护区域。

3.5

外部作业 exterior action

在城市轨道交通结构安全保护区内进行的可能对其造成影响的作业。

3.6

工程结构 engineering structure

建设工程施工过程中建造的永久性主体结构或为保证围岩稳定和周边环境安全的临时结构。

3.7

工程影响分区 influenced zone due to construction

根据周边环境和岩土体受外部作业施工影响程度的大小而划分的区域。

3.8

外部作业影响等级 exterior action influence level

城市轨道交通外部作业对城市轨道交通结构安全可能产生影响程度的分级。

3.9

地质条件复杂程度 complexity of geological condition

主要指某一区域的工程地质、水文地质、地质灾害及不良地质现象的复杂程度。

3.10

工程影响监测等级 project influence monitoring level

根据外部作业影响等级、地质条件复杂程度，对城市轨道交通工程影响监测进行监测等级的划分。

3.11

初始状态调查 initial state survey

在外部作业开始前，为确认城市轨道交通结构状况进行的线路巡检、病害调查与记录等工作。

3.12

变形监测 deformation monitoring

对工程结构、周边环境和岩土体等监测对象的竖向、水平、倾斜等变形所进行的量测。

3.13

自动化监测 automatic monitoring

在满足监测要求的采集频率下，对监测对象实施测量并及时反馈监测成果。

3.14

监测项目控制值 controlled value for monitoring

为保护工程自身安全及环境安全，控制监测对象的变化状态，针对各监测项目所设定的受力或变形允许值的限值。

3.15

监测报警 monitoring alarm

工程监测对象的受力、变形达到或超出所设定的允许范围，或者施工状况出现异常时，向工程参建方和管理方报告危急情况或发出危急信号的过程。

3.16

监测预警等级 alarming level on monitoring

根据监测值和其相应的结构安全控制值的比值，对城市轨道交通结构安全实行监测预警管理的分级。

4 符号

下列符号适用于本文件：

D ——盾构法的隧道外径，圆形顶管的外径或矩形顶管隧道的长边宽度；

H ——明挖、盖挖法的基坑开挖深度；

L ——城市轨道交通既有结构与外部作业的最小相对净距；

S ——固定测线长度；

W ——矿山法的隧道毛洞跨度；

a ——矿山法和盾构法隧道的毛洞跨度；

b ——独立基础外部作业平行于受力方向的边长；

d ——桩基础外部作业的直径；

h ——基坑工程开挖深度；

n ——测站数；

h_1 ——明挖、盖挖法外部作业结构底板的埋深；

h_2 ——矿山法和盾构法外部作业的隧道底板深度。

5 基本规定

5.1 城市轨道交通结构形成且具备监测条件后，应持续性开展安全保护区巡查、结构巡检及长期监测。当安全保护区内有外部作业且对轨道交通结构有影响时，应进行结构的工程影响监测。

5.2 城市轨道交通运营期结构监测宜采用武汉市 2000 坐标系统和 1985 国家高程系统，也可采用独立坐标系统和高程系统。

5.3 监测工作准备阶段，应根据任务要求搜集相关资料，进行现场踏勘，编制监测方案。监测方案宜经专家评审通过，并获得有关管理单位认可后实施。

5.4 城市轨道交通结构监测过程中应加强现场巡视检查，并结合仪器监测数据进行分析。

5.5 城市轨道交通运营期结构长期监测基准网应按工程需要的精度等级建立，并一次完成布网。基准网应尽量利用满足要求的施工控制网。当施工控制网不能满足要求时，应建立独立的监测网，并与施工控制网联测。

5.6 城市轨道交通运营期结构工程影响监测基准点应设置在变形影响范围以外且位置稳定、易于长期保存的地方，基准点不应少于 3 个。

5.7 当基准点与测站距离较远，监测作业不方便时，宜设置工作基点，并应符合下列规定：

- a) 工作基点应设在相对稳定且便于作业的地方，并应设置相应的标志；
- b) 定期将工作基点与基准点进行联测，再利用工作基点对监测点进行观测；
- c) 基准点测量及基准点与工作基点之间联测的精度等级，不应低于所选沉降或位移观测精度等级。

5.8 监测点布设应符合下列要求：

- a) 不妨碍轨道交通的运行与运营安全；
- b) 位置能够反映结构的变形特征；
- c) 标志稳固、明显、结构合理，便于监测，并注意保护、严防损坏；
- d) 编号统一、规范，便于数据管理；
- e) 联络通道、结构过渡段等结构特殊区段，结构存在缺陷、使用状况恶化区段，以及地质条件复杂区段，宜结合现场条件加密布设监测点。

5.9 监测仪器、设备和元件应符合下列要求：

- a) 满足监测精度和量程要求，具有良好的稳定性和可靠性；
- b) 监测仪器设备按规定进行检定或校准，并在有效期内使用；
- c) 定期进行维护保养和期间核查。

5.10 工程影响监测等级按第 7 章规定划分为特级、一级、二级、三级和四级。

5.11 工程影响监测等级为特级、一级的应采用自动化监测，二级、三级的宜采用自动化监测。自动化监测应补充人工监测手段，并定期对自动化监测成果进行校核。

5.12 长期监测每期监测前宜对监测基准网复测 1 次。工程影响监测外部作业实施期间宜每 1 月～2 月对监测基准网复测 1 次，复测后应对基准点的稳定性进行分析。

5.13 历次监测应采用相同的监测网型、监测路线、监测方法和数据处理方法，宜固定监测人员、仪器和设备、基准点和工作基点。

5.14 监测点埋设稳定后应及时采集监测初始值，长期监测应将连续测量不少于 2 次的稳定独立观测数据的平均值作为初始值，工程影响监测应将连续测量不少于 3 次的稳定独立观测数据的平均值作为初始值。

5.15 外部作业实施阶段应加强工程自身的安全监测，工程影响监测单位应结合施工进度对工程影响监测成果和工程自身监测成果进行综合分析和评价。

5.16 外部作业施工完成后应继续对城市轨道交通结构进行监测直至监测数据趋于稳定后结束。延续监测时间不宜少于 3 个月。延续监测期间监测频率每月不应低于 1 次每月。延续监测期间自动化监测可调整为人工监测。

6 长期监测

6.1 一般规定

6.1.1 长期监测应根据轨道交通结构形式、地质条件复杂程度、施工工艺并结合运营安全管理要求等

统筹考虑和实施。

- 6.1.2 长期监测应准确反映城市轨道交通结构的变形情况，主要监测项目包括沉降监测、收敛监测、水平位移监测，可根据工程需要增设其他监测项目。
- 6.1.3 长期监测应根据所需测定的变形类别、精度要求和现场作业条件选择相应的监测方法，可采用几何测量、物理传感器测量、卫星定位测量、近景摄影测量和三维激光扫描等方法。
- 6.1.4 长期监测宜按表 1 中Ⅱ级标准进行精度控制，特殊工况时可以结合实际情况对监测精度进行调整。

表1 各级变形监测精度要求

变形监测等级	沉降监测		水平位移监测
	变形监测点的高程中误差(mm)	相邻变形监测点高差中误差(mm)	变形监测点的点位中误差(mm)
I	±0.3	±0.1	±1.5
II	±0.5	±0.3	±3.0
III	±1.0	±0.5	±6.0

注：变形监测点的高程中误差和点位中误差，是指相对于邻近基准点的中误差。

- 6.1.5 长期监测成果处理中，当网内具有部分相对稳定控制点时，应采用拟稳基准。在逐期平差中进行检验，当发现变动点时，即组成新的拟稳点集合，如此直至终期。再以终选的拟稳点集合对所有各期监测成果重新平差，得出最终的正式成果。
- 6.1.6 当网内控制点的稳定与否尚未预知，或全部控制点位于非稳定地区时，应采用重心基准。在逐期平差中进行检验，当首次发现变动点时，即改用拟稳基准，按 6.1.5 的要求进行拟稳点筛选，直至得出最终成果。

6.2 监测点布置

- 6.2.1 沉降监测点布设应满足以下要求：
 - a) 监测点为永久设施，应长期保存。监测点宜选用不锈钢或铜质材料制作，顶部立尺部位呈半球形；
 - b) 监测点应根据变形体特点以及岩土条件、埋深及结构特点、支护类型、开挖方式、建筑场地变形区内环境状况和设计要求等因素布设；
 - c) 软土、膨胀土、岩溶发育区等特殊地质地段的监测点布设：
 - 1) 隧道段的监测点应在每幅道床结构块两端各埋设一个监测点（距伸缩缝约 0.3 m），幅内可按 4 环或 6 m 间距布设一个监测点。隧道的洞口、路隧交接处、桥隧交接处、联络通道对应位置应布设沉降监测点。监测点布设于枕轨外侧，顶部略高于道床面；
 - 2) 高架段每个墩柱应布设 1 个~2 个监测点，高度小于 14 m 桥墩可单侧布设一个沉降监测点，高度大于 14 m 桥墩双侧均需布设沉降监测点。监测点宜埋设于离自然地面 0.3 m~0.5 m 高度的墩柱上；
 - 3) 路基段可每 15 m 布设一个监测点；
 - 4) 地下车站沿上、下行可每 30 m 布设一个监测点；
 - 5) 明挖结构（车站、风井等）与区间隧道交接处、隧道与联络通道处、桥梁与地下结构的接驳处应布设差异沉降监测点。

d) 除软土、膨胀土、岩溶发育区等特殊地质地段外的监测点布设:

- 1) 对于铺设一般道床、中等减震措施的地段,地下车站站台层纵向宜按 50 m 的间距布设监测断面,长度小于 200 m 的车站宜在车站两端及 1/4、1/2、3/4 处各布设 1 个监测横断面。每个断面的左、右线上各布设 1 个监测点,点位布设在道床轨道两侧;
- 2) 暗挖区间隧道、盾构隧道监测点间距不宜大于 30 m;
- 3) 明挖矩形隧道、明挖 U 型槽结构的测点间距不宜大于 50 m;
- 4) 明挖结构(车站、风井等)与区间隧道交接处、隧道与联络通道交接处、桥梁与地下结构的接驳处应布设差异沉降监测点。

e) 联络通道处的隧道结构应布设监测点。为监测联络通道和隧道的差异沉降,沿联络通道的中线宜按 4 m~5 m 间距布设监测点;

f) 浮置板道床区段的监测点宜布设于盾构隧道段的管片、高架段的梁板、明挖区间的底板等结构上,碎石道床段的监测点可根据现场结构状况合理布设;

g) 环境条件变化或差异沉降较大时,应根据需要加密布设监测点。

6.2.2 收敛监测点的布设应符合下列规定:

- a) 软土、膨胀土、岩溶发育区等特殊地质地段监测点宜按每 5 m (盾构法隧道按每 5 环) 间隔布设,布设范围应大于特殊地质边界外 50 m。区间隧道的第一环、最后一环、联络通道两侧布设监测断面;
- b) 除软土地区、膨胀土、岩溶发育区等特殊地质地段外,暗挖区间隧道、盾构隧道监测断面间距宜为 60 m~120 m;
- c) 采用激光扫描仪法进行收敛监测时,盾构隧道宜逐环布设监测断面,矿山法隧道宜按每 3 m 布设 1 个监测断面,结构变化处前、后均应有监测断面。

6.2.3 水平位移监测点布设应符合以下要求:

a) 软土地区、膨胀土、岩溶发育区等特殊地质地段的监测点布设:

- 1) 隧道段的监测点应在幅内可按 30 m~60 m 间距布设 1 个监测点。监测点布设于枕轨外侧,顶部略高于道床面,宜与沉降监测点重合;
- 2) 明挖结构按 60 m~120 m 间距布设 1 个监测点。

b) 除软土地区、膨胀土、岩溶发育区等特殊地质地段外的监测点布设:

- 1) 隧道段的监测点应按 60 m 间距布设 1 个监测点。监测点布设于枕轨外侧,顶部略高于道床面,宜与沉降监测点重合;
- 2) 明挖结构按 60 m~120 m 间距布设 1 个监测点。

6.3 沉降监测

6.3.1 长期沉降监测宜采用几何水准测量的方法。

6.3.2 开展沉降监测前,应根据工程实际情况建立沉降监测基准网,沉降监测基准网应布设成闭合环状、结点或附合水准路线等形式。

6.3.3 沉降监测基准网的主要技术要求宜按表 2、表 3 中 II 级执行,特殊工况可以结合实际情况对监测精度进行调整。

表2 沉降监测基准网主要技术要求

变形监测等级	相邻基准点高差中误差 (mm)	测站高差中误差 (mm)	往返较差、附和或环线 闭合差(mm)	检测已测高差之 较差(mm)
I	± 0.3	± 0.07	$\pm 0.15\sqrt{n}$	$0.2\sqrt{n}$
II	± 0.5	± 0.15	$\pm 0.30\sqrt{n}$	$0.4\sqrt{n}$
III	± 1.0	± 0.30	$\pm 0.60\sqrt{n}$	$0.8\sqrt{n}$
注：n为测站数。				

表3 各级水准观测主要技术要求

变形监测等级	仪器型号	水准尺	视线长度(m)	前后视距差(m)	前后视距累计差(m)	视线离地面最 低高度(m)
I	DS05	钢瓦	≤ 15	≤ 0.3	≤ 1.0	0.5
II	DS05	钢瓦	≤ 30	≤ 0.5	≤ 1.5	0.3
III	DS1	钢瓦	≤ 50	≤ 1.0	≤ 3.0	0.3

- 6.3.4 沉降监测点测量应构成附和路线，外业测量宜执行表3中Ⅱ级要求。
- 6.3.5 沉降监测预警值、控制值宜按表4执行。单点沉降及相邻测点差异沉降达到预警值后，应立即上报轨道交通运营单位，必要时应进行连续观测或进行持续实时监测。当变形达到控制值后应进行专项分析，必要时开展整治工作。

表4 沉降监测预警值及控制值标准

监测项目	预警值	控制值
单点沉降	单期变形绝对值 ≥ 2 mm，累积变形 ± 5 mm，变化速率 ± 0.02 mm/d	累积变形 ± 10 mm；变化速率 ± 0.04 mm/d
相邻测点差异沉降	单期变形绝对值 ≥ 1 mm，累积变形 ± 2 mm	累积变形 ± 5 mm

6.4 收敛监测

6.4.1 长期收敛监测可采用固定测线法（全站仪、收敛计、红外激光测距仪）、全断面扫描法、激光扫描仪法及满足精度要求的其他测量方法。

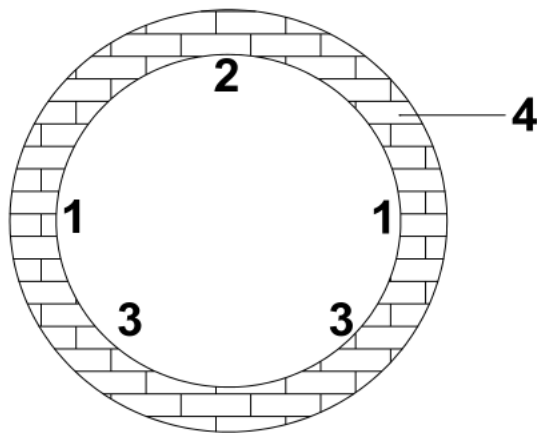
6.4.2 固定测线法收敛监测应满足以下规定：

- a) 每个收敛断面宜沿水平直径设置固定测线；
- b) 当采用具有无合作目标激光测距功能的全站仪监测时，全站仪测距精度不应低于 $\pm(1\text{ mm}+2\times 10^{-6}\times D)$ 。测定无合作目标激光测距短测程改正常数，并对监测边长进行改正。每次收敛测量应盘左、盘右各监测三维坐标1测回，按公式（1）计算固定测线长度。盘左、右监测较差不大于 ± 1 mm时取均值，否则应重测；

$$S = \sqrt{(X_A - X_B)^2 + (Y_A - Y_B)^2 + (Z_A - Z_B)^2} \dots\dots\dots (1)$$

式中：
S ——固定测线长度；

- X_A ——监测点A的X坐标分量;
 Y_A ——监测点A的Y坐标分量;
 Z_A ——监测点A的Z坐标分量;
 X_B ——监测点B的X坐标分量;
 Y_B ——监测点B的Y坐标分量;
 Z_B ——监测点B的Z坐标分量。
- c) 运营期常规管片隧道收敛监测点宜按图 1 方式进行布设,收敛监测断面宜与沉降及水平位移监测断面重合。监测点位置设置反射片,便于全站仪直接进行观测。



- 标引序号说明:
- 1——净空水平收敛观测点;
2——拱顶下沉观测点;
3——运营隧道底部观测点;
4——隧道结构。

图1 隧道净空水平收敛、拱顶下沉观测点布设图

- 6.4.3 全断面扫描法收敛监测应满足以下规定:
- a) 应在同一竖向剖面内设置仪器对中点、定向点和检核点,收敛断面应垂直于隧道中线;
 - b) 采用具有无合作目标激光测距功能、马达驱动的智能型全站仪,选用的全站仪测角精度指标不应低于 $\pm 1''$ 、测距精度指标不低于 $\pm (1\text{ mm}+2\times 10^{-6}\times D)$;
 - c) 断面上的测点宜按 0.2 m~0.3 m 步长等密度采集,采集点应包含起点、终点、拼装缝等特征点,断面上每段线型(直线或圆弧)的监测点不应少于 5 点。
- 6.4.4 三维激光扫描仪法收敛监测应满足以下规定:
- a) 可不布设监测点,但应有精确的里程解算方法;
 - b) 用于激光扫描监测的激光扫描仪,10 m 测程内的距离测量精度不低于 $\pm 2\text{ mm}$,数据采集速度不宜小于 100 万点每秒;
 - c) 外业采集的激光点云分辨率不应低于 1 cm;
 - d) 数据处理时应结合隧道断面的几何特性建立数学处理模型,应删除激光点云中的异常点;

- e) 采用固定设站激光扫描仪法时，应根据隧道的内径、激光扫描仪的性能，计算测站间距，满足点云分辨率的要求；采用切片计算收敛测量时，切片应垂直于隧道轴线，切片的里程计算精度不应低于±5 cm；
 - f) 采用移动激光扫描法时，应根据分辨率要求，配置行进速度和扫描参数，保证点云分辨率的精度满足要求，移动扫描里程方向的计算精度不应低于±5 cm，采用里程计、惯导、里程标靶、RFID 标靶、匀速控制装置等方法提高里程方向的计算精度。
- 6.4.5 收敛监测断面应统一编号，编号应具备唯一性，确定断面里程、所在环号，里程应取位到 0.1 m。
- 6.4.6 收敛监测外业结束后，应及时进行外业数据检查，对于异常数据应及时重测验证。
- 6.4.7 收敛监测预警值、控制值宜按表 5 执行。收敛达到预警值后，应立即上报轨道交通运营单位，必要时应连续观测或持续实时监测；当变形达到控制值后应进行专项分析，必要时开展整治工作。

表5 收敛监测预警值及控制值

监测项目	预警值	控制值
收敛监测	单期变形绝对值≥2 mm，累积变形±5 mm	累积变形±10 mm

6.5 水平位移监测

- 6.5.1 水平位移监测基准网可采用三角形网、导线网、GNSS 网和视准轴线等方法。当采用视准轴线时，轴线上或轴线两端应设立校核点。
- 6.5.2 水平位移监测基准网的主要技术要求宜按表 6 中Ⅱ级执行，特殊工况时可结合实际情况对监测精度进行调整。

表6 水平位移监测基准网主要技术要求

等级	相邻基准点的点位中误差 (mm)	平均边长 (m)	测角中误差 (″)	最弱边相对中误差	全站仪标称精度	水平角观测测回数	距离观测测回数	
							往测	返测
I	±1.5	150	±1.0	≤1/120 000	±1″， ±(1 mm+1×10 ⁻⁶ ×D)	9	4	4
II	±3.0	150	±1.8	≤1/70 000	±2″， ±(2 mm+2×10 ⁻⁶ ×D)	9	3	3
III	±6.0	150	±2.5	≤1/40 000	±2″， ±(2 mm+2×10 ⁻⁶ ×D)	6	2	2

- 6.5.3 水平位移监测的主要技术要求宜按表 7 中Ⅱ级执行，特殊情况时可实际情况对监测精度进行调整。

表7 水平位移监测的技术要求和监测方法

等级	变形监测点的点位中误差 (mm)	坐标较差或两次测量较差 (mm)	监测方法
I	±1.5	2	导线网、三角形网、极坐标法、交会法、GNSS 测量、正倒垂线法、视准线法、激光准直法、精密测（量）距、伸缩仪法、多点位移计、倾斜仪及自由测站边角交会法等
II	±3.0	4	
III	±6.0	8	

- 6.5.4 交会法、极坐标法应符合下列规定：
- 用交会法进行水平位移监测时，宜采用三点交会法；
 - 用极坐标法进行水平位移监测时，宜采用双测站极坐标法，其边长应采用电磁波测距仪测定。
- 6.5.5 视准轴线法应符合下列规定：
- 视准轴线两端的延长线外，宜设立校核基准点；
 - 视准轴线应离开障碍物 1 m 以上；
 - 各测点偏离视准轴线的距离，不应大于 2 cm。采用小角法时适当放宽，小角角度不应超过 30″；
 - 视准轴线测量，选用活动觇牌法或小角度法。
- 6.5.6 正垂线法应符合下列规定：
- 应根据垂线长度，合理确定重锤重量；
 - 垂线宜采用直径为 $\Phi 0.8\text{ mm} \sim \Phi 1.2\text{ mm}$ 的不锈钢丝或钢瓦丝；
 - 单段垂线长度不宜大于 50 m；
 - 测站应采用有强制对中装置的观测墩；
 - 垂线观测采用光学垂线坐标仪，测回较差不应超过 0.2 mm。
- 6.5.7 激光测量应符合下列规定：
- 激光器（包括激光经纬仪、激光导向仪、激光准直仪等）宜安置在变形区影响之外或受变形影响较小的区域。激光器应采取防尘、防水措施；
 - 安置激光器后，应同时在激光器附近的激光光路上，设立固定的光路检核标志；
 - 光路上应无障碍物，光路附近应设立安全警示标志；
 - 目标板或感应器应稳固设立在变形比较敏感的部位并与光路垂直。目标板的刻画应均匀、合理。观测时应将接收到的激光光斑调至最小、最清晰。
- 6.5.8 当采用卫星实时定位测量方法时，其主要技术要求应符合下列规定：
- 应设立永久性固定参考站作为变形监测的基准点，并建立实时监控中心；
 - 参考站应设立在变形区之外或受变形影响较小的地势较高区域，上部天空应开阔，无高度角超过 15°的障碍物，且周围无 GNSS 信号反射物（大面积水域、大型建构物），及无高压线、电视台、无线电发射站、微波站等干扰源；
 - 流动站的接收天线，应永久设置在监测体的变形观测点上，并采取保护措施。接收天线的周围无高度角超过 15°的障碍物。变形观测点的数量应依具体的监测项目和监测体的结构灵活布设。接收卫星数量不应少于 5 颗，并采用固定解成果；
 - 数据通信，对于长期的变形监测项目宜采用光缆或专用数据电缆通信，对于短期的监测项目也采用无线电数据链通信。
- 6.5.9 当采用自由测站边角交会时，将新布设水平位移监测点与施工期轨道施工控制点构成自由测站边角网进行水平位移观测，其主要技术要求应符合下列规定：
- 水平方向应采用全圆方向观测法进行观测，如采用分组观测，应以同一归零方向，并重复观测一个方向。水平方向观测应满足表 8 的规定；

表8 水平方向观测技术要求

控制网名称	仪器等级	测回数	半测回归零差	同一测回不同方向 2C 互差	同一方向归零后方向值较差
自由测站边角交会网	0.5″	2	6″	9″	6″
	1″	3	6″	9″	6″

b) 距离测量应满足表 9 的规定；

表9 距离观测技术要求

控制网名称	测回数	半测回间距离较差	测回间距离较差
自由测站边角交会网	≥ 2	$\pm 1\text{ mm}$	$\pm 1\text{ mm}$
注：距离测量一测回是全站仪盘左、盘右各测量一次的过程。			

c) 自由测站边角交会测量宜采用图 2 所示的构网形式。除首尾两对控制点有 3 个测站的方向和距离观测值，其余每个水平位移监测点有 4 个测站的方向和距离观测值；

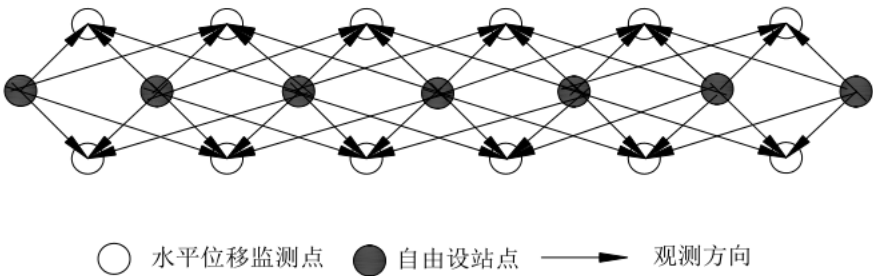


图2 自由测站边角交会测量构网图

d) 当水平位移监测点仅一侧布设时，自由测站边角交会测量宜采用图 3 所示的构网形式。

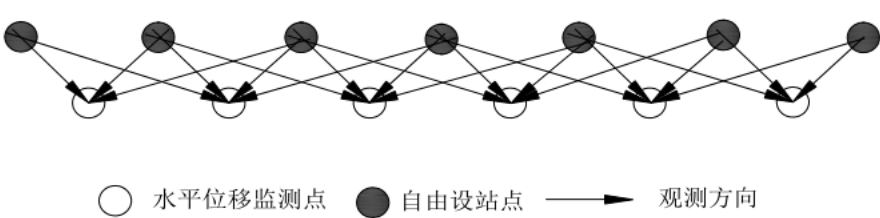


图3 自由测站边角交会测量构网图

6.5.10 水平位移监测预警值、控制值宜按表 10 执行。单点水平位移或相邻测点水平位移达到预警值后，应立即上报轨道交通运营单位，必要时进行连续观测或进行持续实时监测。当变形达到控制值后应进行专项分析，必要时开展整治工作。

表10 水平位移监测预警值及控制值标准

监测项目	预警值	控制值
单点水平位移	累积变形 $\pm 5\text{ mm}$	累积变形 $\pm 10\text{ mm}$
相邻测点水平位移差异变形	累积变形 $\pm 3\text{ mm}$	累积变形 $\pm 5\text{ mm}$

6.6 三维激光扫描

- 6.6.1 城市轨道交通工程可采用移动式或固定设站式三维激光扫描仪对隧道内部进行扫描工作，作业前应对三维激光扫描设备精度进行检查，10 m 处点云重复测量精度不低于 2 mm。
- 6.6.2 三维激光扫描数据应采用通用格式，成果能便于数据分析与管理。
- 6.6.3 三维激光扫描仪设备配套软件应具备限界检测、管片椭圆度分析、错台分析等精度统计与分析功能，还必须具备渗漏水检测、掉块检测、鼓包检测等病害检测功能。
- 6.6.4 当采用固定设站进行三维激光扫描时，靶标布设应符合下列规定：
- a) 靶标应在扫描范围内均匀布设，且高低错落；
 - b) 每一测站的靶标个数不应少于 4 个，相邻两测站的公共靶标个数不应少于 3 个；
 - c) 扫描过程中设置简易靶标，明显特征点可作为靶标使用；
- 6.6.5 固定设站三维激光扫描时，应采用靶标进行配准，同时应在既有控制点上设置靶标，既有控制点之间连续传递配准次数不宜超过 4 次。
- 6.6.6 采用移动式三维激光扫描进行数据采集，需要获取运营线路既有坐标系下高精度点云坐标信息时，应在既有控制点上布设靶标，直线段靶标密度不宜大于 300 m，曲线段靶标密度不宜大于 500 m。
- 6.6.7 三维激光扫描监测期间应定期采用常规方法检测收敛测量值的准确性，检测周期不宜大于 15 天。激光扫描测量值与常规方法测量值的较差中误差不宜大于 4 mm。激光扫描测量结果存在明显的常数差时，采用定期检测的结果对激光扫描测量的结果进行修正。

6.7 重点段加密监测

- 6.7.1 城市轨道交通结构出现下列情形后，宜列为长期监测的重点段并进行加密监测：
- a) 城市轨道交通结构长期监测出现较大变形的区段；
 - b) 隧道、道床等结构出现异常，隧道出现大面积渗漏、管片损伤、结构变形等病害；
 - c) 正在进行病害治理及进行过病害治理的区段；
 - d) 下穿较宽水域的区段、近距离穿越区段、施工或运营期间采取过特殊处理措施的区段等高风险区段。
- 6.7.2 重点段加密监测应根据病害情况确定断面密度。病害较为严重时，隧道段应对轨道、道床、管片（侧墙）布设监测点，桥梁段在梁面、道床、轨道及墩顶布设监测点，路基段应对路肩、轨道布设监测点。
- 6.7.3 重点段加密监测包括沉降监测、收敛监测及水平位移监测，应按照本文件 6.2、6.3、6.4、6.5 中的技术要求实施，同时宜进行结构本体巡检。
- 6.7.4 重点段加密监测时应在重点段范围外两侧相对稳定位置各设置 2 个及以上加密监测工作基点，加密监测工作基点应定期联测长期监测控制网。
- 6.7.5 重点段加密监测的频率可按以下要求确定：
- a) 人工监测频率根据变形速率及结构病害程度设置为 3 次/周～1 次/季度；
 - b) 隧道出现严重渗漏或严重变形时，应加密监测频率，必要时应采用自动化监测；
 - c) 病害治理施工期间，应结合施工工序确定监测频率，必要时应采用自动化监测。病害治理施工完后，根据变形速率按 6.7.5 中 a) 的要求确定监测频率；
 - d) 加密测量数据表明变形已趋于稳定时，逐渐降低监测频率，直至结束重点段加密测量。
- 6.7.6 重点段加密监测应结合监测频率、监测精度确定预警值，可参考本文件 6.3、6.4、6.5 中预警值的控制标准。

6.8 监测周期与频次

6.8.1 长期监测的监测频率不宜低于表 11 的规定。每年度应在大致相同的时间段完成各区段、各监测项目的监测。重点段加密测量的监测频率应根据结构特征、变形量、变形趋势及病害危重程度等因素综合确定。

表11 长期监测频率要求

地质分区	运行前 2 年	自运营第 3 年起的监测频率		
		长期沉降		长期收敛及位移
		地下段及地面段	高架段	
软土地区及膨胀土等特殊地质地段	第 1 年 2 次~4 次; 第 2 年 1 次~2 次	≥1 次/半年	≥1 次/年	
岩体完整的硬岩地区		1 次/1 年~1 次/2 年	1 次/2 年~1 次/3 年	
其他地区		1 次/半年~1 次/1 年	1 次/1 年~1 次/2 年	
特殊地段（岩溶发育区）	4 次/1 年，变形速率异常时加密			
注1：特殊高架结构（如悬索桥的吊索）应制定专项监测方案并确定监测频率。 注2：结构位于地下水含水层以下时，监测频率宜按上表中上限执行。 注3：水平位移监测应根据管理要求、结构的变形特性确定监测频率。				

7 工程影响监测

7.1 一般规定

7.1.1 城市轨道交通沿线应按照下列标准设置安全保护区：

- a) 地下车站与隧道外边线外侧 50 m 内；
- b) 地面和高架车站以及线路轨道外边线外侧 30 m 内；
- c) 出入口、通风亭、变电站等建（构）筑物外边线和车辆基地用地范围外侧 10 m 内；
- d) 水底隧道结构外边线外侧 150 m 内。

7.1.2 当城市轨道交通安全保护区遇特殊的地质条件或特殊的外部作业时，应适当扩大安全保护区范围。

7.1.3 工程影响监测对象应包括：

- a) 正线、联络线、出入线等线路的道床结构、盾构法隧道的管片、高架梁和墩柱、矿山法隧道的二次衬砌；
- b) 车站和矩形隧道的侧墙，站台层的立柱；
- c) 车站出入口、风井、冷却塔、电梯、变电站、电缆沟等其他需保护的轨道交通结构。

7.1.4 在城市轨道交通安全保护区内进行下列作业时，作业单位应按照有关规定制定安全防护方案，经轨道交通建设或者运营单位同意后，办理相关手续并委托具有相关资质的单位对作业影响区域进行监测：

- a) 新建、改建、扩建或者拆除建（构）筑物；
- b) 敷设管线、挖掘、钻孔、爆破、桩基施工、地基加固；
- c) 打井、挖沙、采石、取土、堆土、疏浚河道；
- d) 在轨道交通水底隧道安全保护区内的水域抛锚、拖锚；
- e) 其他影响轨道交通安全的作业。

7.1.5 工程影响监测开始前应进行轨道交通结构的初始状态调查，调查前宜收集结构设计资料、已有病害状况等资料。初始状态调查应清晰、准确，应采用技术先进、信息全面的检测手段。初始状态调查应由外部作业建设单位组织，相关单位参与。

7.1.6 工程影响监测宜采用三维激光扫描法对城市轨道交通结构进行工前调查，在施工过程重要节点时进行过程调查，完工后进行工后确认。

7.1.7 工程影响监测应采用仪器监测与巡视检查相结合的方法，多种监测方法互为补充、相互验证。

7.1.8 工程影响监测应遵循下列工作流程：

- a) 接受监测委托；
- b) 收集、分析相关资料，现场踏勘及初始状态调查；
- c) 编制和审查监测方案；
- d) 选埋监测基准点和监测点；
- e) 检校仪器设备，标定元器件，测定监测点初始值；
- f) 采集监测信息；
- g) 处理和分析监测信息；
- h) 提交监测报表、阶段报告等；
- i) 监测工作结束后，提交监测工作总结报告及成果资料。

7.1.9 工程影响监测方案应包含下列内容：

- a) 外部作业工程概况；
- b) 城市轨道交通工程结构概况；
- c) 外部作业与轨道交通工程空间位置关系；
- d) 工程地质与水文地质条件；
- e) 工程影响监测等级的划分；
- f) 监测目的和依据；
- g) 监测对象及范围；
- h) 监测项目与监测点布置；
- i) 监测方法和精度；
- j) 监测频率和周期；
- k) 监测项目控制值、异常情况下的监测应急预案；
- l) 监测信息反馈制度；
- m) 监测人员及设备；
- n) 质量管理、安全管理及其它管理制度。

7.2 工程影响监测等级划分

7.2.1 工程影响监测等级宜根据城市轨道交通结构所处地质条件复杂程度和外部作业影响等级进行划分。

7.2.2 地质条件复杂程度可根据工程地质条件、水文地质条件和地质灾害及不良地质现象按表 12 划分。

表12 地质条件复杂程度划分

序号	条件	类别		
		复 杂	中 等	简 单
1	工程地质条件	隧道、U型槽洞身结构影响范围内，或地面轨道基础、高架轨道桥墩基础持力层及受力影响范围内分布有深厚软土、破碎带、断裂带，岩溶强发育，地层复杂，工程地质性质差，对轨道交通影响大。	隧道、U型槽洞身结构影响范围内，或地面轨道基础、高架轨道桥墩基础持力层及受力影响范围内分布有软土、破碎带、断裂带，岩溶中等发育，地层较复杂，工程地质性质较差，对轨道交通影响中等。	隧道、U型槽洞身结构影响范围内，或地面轨道基础、高架轨道桥墩基础持力层及受力影响范围内无软土、破碎带、断裂带，岩溶微发育，地层简单，工程地质性质较好，对轨道交通影响小。
2	水文地质条件	分布多层地下水；地下水位年变幅大于10 m。	分布两层地下水；地下水位年变幅5 m~10 m。	分布单层地下水；地下水位年变幅小于5 m。
3	地质灾害及不良地质现象	岩溶地面塌陷危险性大，滑坡、崩塌等地质灾害强发育，对轨道交通影响大。	岩溶地面塌陷危险性中等，滑坡、崩塌等地质灾害中等发育，对轨道交通影响中等。	岩溶地面塌陷危险性小，滑坡、崩塌等地质灾害不发育，对轨道交通影响小。
注：每类条件中，地质环境条件复杂程度按“就高不就低”的原则，有一条符合条件者即为该类复杂类型，从复杂开始，向中等、简单推定，以最先满足的为准。				

7.2.3 外部作业影响等级分为特级、一级、二级、三级和四级。外部作业与既有结构的空间关系是确定外部作业影响等级的重要因素，外部作业影响等级应按表 13 进行划分，接近程度和外部作业的工程影响分区应符合附录 A 的要求。

表13 外部作业影响等级划分

外部作业的工程影响分区	接近程度			
	非常接近	接近	较接近	不接近
强烈影响区（A）	特级	特级	一级	二级
显著影响区（B）	特级	一级	二级	三级
一般影响区（C）	一级	二级	三级	四级
较小影响区（D）	二级	三级	四级	四级
注1：本表适用于围岩级别为IV、V的情况；围岩级别为I~III的情况，表中的影响等级降低一级；围岩级别为VI的软土地区，表中的影响等级提高一级，特级时不再提高。				
注2：围岩级别按GB 50307中的有关规定确定。				

7.2.4 工程影响监测等级应按表 14 进行划分。

表14 工程影响监测等级划分

地质条件复杂程度	外部作业影响等级				
	特级	一级	二级	三级	四级
复杂	特级	特级	一级	二级	三级
中等	特级	一级	二级	三级	四级
简单	特级	一级	二级或三级	四级	四级
注3：表中“二级或三级”的选择根据实际外部作业情况并结合相关工程经验确定。					
注4：轨道交通既有结构变形超过本文件表20中建议值时，工程影响监测等级提高一级。					

7.3 监测项目

7.3.1 监测项目应准确反映外部作业对城市轨道交通结构安全影响的重要变化，不同工程影响监测等级宜按表 15 的要求选择竖向位移、水平位移、净空收敛等主要监测项目，并根据工程需要增设其他监测项目。

表15 工程影响监测项目

轨道交通结构形式	序号	监测项目	工程影响监测等级				
			特级	一级	二级	三级	四级
隧道结构（U 型槽）	1	竖向位移	√	√	√	√	√
	2	水平位移	√	√	√	√	√
	3	净空收敛	√	√	√	√	√
	4	拱顶竖向位移	√	√	√	√	√
	5	道床竖向位移	√	√	√	√	√
	6	道床水平位移	√	√	√	√	√
	7	变形缝张开量、裂缝	√	√	○	○	○
	8	隧道断面尺寸	√	√	○	○	○
	9	道床变位	√	√	○	○	○
	10	结构应力	○	○	○	○	○
	11	结构巡检	√	√	√	√	√
高架结构	1	墩柱竖向位移	√	√	√	√	√
	2	墩柱水平位移	√	√	√	√	√
	3	墩柱倾斜	√	√	√	√	√
	4	道床竖向位移	√	√	√	√	√
	5	道床水平位移	○	○	○	○	○
	6	轨距监测	○	○	○	○	○
	7	裂缝	○	○	○	○	○
	8	梁板应力	○	○	○	○	○
	9	结构巡检	√	√	√	√	√
路基	1	道床水平、竖向位移	√	√	√	√	√
	2	挡墙水平、竖向位移	√	√	√	√	√
	3	挡墙倾斜	√	√	○	○	○
	4	结构巡检	√	√	√	√	√
建（构）筑物	1	竖向位移	√	√	√	√	√
	2	水平位移	√	√	○	○	○
	3	倾斜	√	√	○	○	○
	4	裂缝	√	√	○	○	○
	5	结构巡检	√	√	√	√	√
注1：√——应测项目，○——选测项目。							
注2：收敛监测测项适用于盾构法、矿山法隧道段，明挖段根据实际需要选测。							
注3：道床变位的监测包括：道床的纵横向差异竖向位移。							
注4：外部作业侵入车站附属结构安全保护区，对车站附属结构进行监测。							

7.3.2 当外部作业需要进行爆破时，应监测城市轨道交通结构的振动速度，必要时还应监测结构薄弱

部位的应力变化。

7.3.3 已发生开裂的结构，应监测裂缝变化情况；尚未发生开裂的结构，宜加强结构的巡视。

7.4 监测点布置

7.4.1 监测点应尽量利用长期运营监测已布设的、满足要求的标志。

7.4.2 轨道交通安全影响评估报告对监测点的布置有相关要求的，监测断面的间距及监测范围应按其要求执行。

7.4.3 监测点的布置间距应根据工程影响监测等级按表 16 确定。

表16 工程影响监测点间距布置要求

序号	监测项目	监测点布置位置	工程影响监测等级			
			特级	一级	二级	三、四级
			监测断面布置间距			
1	竖向位移	地下结构道床、拱顶、侧墙，地面及高架结构底层柱、桥面、桥墩，路基段挡墙	≤3 m	3 m~6 m	6 m~10 m	10 m~20 m
2	水平位移	地下结构道床，地面及高架结构底层柱、桥墩，路基段挡墙				
3	净空收敛	地下结构每监测断面不少于一条测线				
4	道床变位	道床的纵、横断面上				
5	隧道断面尺寸	城市轨道交通地下结构	按变形断面或在重点位置布设			
6	倾斜监测	高架结构底层柱、桥墩，路基段挡墙	每个桥墩			
7	变形缝、裂缝	结构裂缝位置、结构变形缝两侧	缝的两侧均匀布置			
8	爆破震动速度	结构薄弱部位、靠近爆破位置	结构薄弱部位，或结构与爆破点之间			
注1：监测断面布置的间距，根据工程影响监测等级确定，地质条件复杂程度为复杂时监测断面间距取小值； 注2：城市轨道交通既有隧道结构的监测断面布设于隧道结构顶部或底部、结构柱、侧墙，每个断面监测点不少于5个； 注3：高架结构底层柱、桥墩竖向位移按上下行线分别布设一个竖向位移监测点，按平行于及垂直于轨道方向各布设一个水平位移监测点，高架结构轨面每个桥墩对应处按上下行布设4个竖向位移监测点。 注4：城市轨道交通附属的建（构）筑物监测点的布设符合JGJ 8中的有关规定。						

7.4.4 不同类型外部作业的监测范围宜根据工程影响监测等级参照表 17 确定。

表17 不同外部作业的监测范围

外部作业类别	工程影响监测等级	
	特级、一级	二、三、四级
明挖法外部作业	投影范围+两侧各 max[6 h~8 h, 50 m]	投影范围+两侧各 max[3 h~6 h, 50 m]
深埋矿山法或盾构法外部作业	投影范围+两侧各不少于 80 m	投影范围+两侧各 50 m~80 m
浅埋矿山法或顶管定向钻外部作业	投影范围+两侧各不少于 60 m	投影范围+两侧各 50 m~60 m

表 17 不同外部作业的监测范围（续）

外部作业类别	工程影响监测等级	
	特级、一级	二、三、四级
注1：h为明挖法的开挖深度； 注2：其他类型外部作业根据工程影响监测等级参照上表确定监测范围； 注3：监测范围考虑基坑降水影响； 注4：两侧延伸段监测点间距可适当放宽。		

7.5 竖向位移监测

- 7.5.1 竖向位移监测可采用几何水准测量、电磁波测距三角高程测量、静力水准测量等方法。
- 7.5.2 竖向位移监测应测定结构的沉降量，并根据需要计算沉降速率、沉降差等相关参数。
- 7.5.3 采用几何水准测量、三角高程测量时，监测网应布设成闭合、附合路线或结点网，每个工程竖向位移监测的基准点不得少于 3 个，每次监测时应联测 2 个以上的基准点。
- 7.5.4 竖向位移监测基准点控制网的技术要求和监测精度应符合本文件 6.3 中相关规定。
- 7.5.5 采用静力水准进行竖向位移监测时，设备的性能应满足监测精度的要求，并符合 GB/T 12897 的有关规定。
- 7.5.6 采用电磁波测距三角高程进行竖向位移监测时，宜采用不低于 1" 级的全站仪和特制觇牌，采用中间设站、不量仪器高的前后视观测方法，并符合 GB 50026 的相关规定。

7.6 净空收敛监测

- 7.6.1 净空收敛监测可采用全站仪、收敛计、红外激光测距仪等进行监测。
- 7.6.2 采用全站仪进行监测，固定测线宜设置在水平直径位置，应符合本文件 6.4.2 中的相关规定。
- 7.6.3 采用收敛计监测应符合下列规定：
 - a) 应在收敛测线两端安装监测点，监测点与隧道侧壁应固定牢固；监测点安装后应进行监测点与收敛尺接触点的符合性检查，并应进行 3 次独立观测，且 3 次独立观测较差应小于标称精度的 2 倍；
 - b) 观测时应施加收敛尺标定的拉力，观测结果应取 3 次独立观测读数的平均值；
 - c) 工作现场温度变化较大时，读数应进行温度修正。
- 7.6.4 采用红外激光测距仪、三维激光扫描仪等监测，应符合本文件 6.4 的相关规定。
- 7.6.5 收敛监测也可采用满足精度要求的其他监测方法。

7.7 水平位移监测

- 7.7.1 城市轨道交通结构水平位移监测宜采用带有自动照准功能的全站仪进行监测。其中全站仪边角测量法可用于位移基准点网观测及基准点与工作基点间的联测；全站仪小角法、极坐标法、前方交会法和自由设站法可用于监测点的位移观测。
- 7.7.2 测区段长度小于 300 m、通视条件良好时，水平位移监测可采用视准线法、小角度法或自由设站基准线法等方法实施。范围较大或通视条件不佳时，可采用导线网、边角网等形式布设水平位移控制网。监测基准点控制网的技术要求和监测精度应符合本文件 6.5 的相关规定。
- 7.7.3 当采用全站仪自动监测系统变形监测时，应符合本文件 8.2 的相关规定。

7.8 倾斜监测

7.8.1 倾斜监测适用于高架墩柱、明挖区间或车站的侧墙等轨道交通结构。倾斜监测成果应描述测量位置、倾斜方向、偏移量、倾斜率、倾斜率变化速率。

7.8.2 倾斜测量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，也可采用精度满足要求的其它倾斜监测法。

7.8.3 投点法适用于每个测站观测一个倾斜方向的偏移量。投点法观测应满足以下规定：

- a) 在结构的上、下部竖向对应设置观测标志；
- b) 测站点设置在倾斜方向的垂直方向线上，与观测点的距离宜为上、下部观测点高差的 1.5 倍～2.0 倍；
- c) 采用全站仪观测，观测时在下部观测点安置水平尺，瞄准上部观测点后投影到水平尺上直接读取倾斜偏移量；
- d) 观测时应正、倒镜各观测一次取平均值；
- e) 历次倾斜偏移量的变化值与上、下点高差的比值即为倾斜率变化值。当上、下观测标志的连线与结构的竖向轴线平行时，倾斜偏移量与高差的比值即为结构的倾斜率。

7.8.4 全站仪坐标法能在同一测站对监测对象在两个正交方向的倾斜偏移量进行观测。全站仪坐标法应满足以下规定：

- a) 在结构的上、下部竖向对应设置观测标志，观测标志宜为小棱镜或反射片；
- b) 测站点应设置在结构边线的延长线或结构边线的垂线上，与观测点的水平距离宜为上、下部观测点高差的 1.5 倍～2.0 倍；
- c) 以测站点为原点、测站点至下部观测点连线为 X 轴正方向、Y 轴垂直于 X 轴、竖直方向为 Z 轴建立独立坐标系，X、Y 两个坐标分量的变化值分别为两个方向的倾斜偏移量；
- d) 历次观测应正、倒镜各观测一次取平均值；
- e) 历次两正交方向的倾斜偏移量的变化值与上、下点高差的比值即分别为相应两个正交方向的倾斜变化率。当上、下点的连线与结构的竖向轴线平行时，倾斜偏移量与高差的比值即为结构的倾斜率。

7.8.5 采用差异沉降法进行倾斜监测，应在需要观测的方向上设置对应的竖向位移监测点，竖向位移监测满足本文件 6.3 的要求，对应沉降点间距的丈量应取位至 0.01 m，差异沉降量与距离的比值视为该连线方向的倾斜变化率。

7.8.6 当采用倾斜传感器观测时，可采用倾斜计、电水平尺等传感器，宜按本文件第 8 章的相关要求进行自动观测。

7.9 其他监测

7.9.1 裂缝监测应测定裂缝的位置分布和裂缝的走向、长度、宽度、深度及其变化情况。必要时宜在裂缝最宽的位置实施深度监测。

7.9.2 对需要监测的裂缝应统一编号。每次监测时，应绘出裂缝的位置、形态和尺寸，注明监测日期，并拍摄裂缝照片。

7.9.3 裂缝的宽度监测每条裂缝至少布设 3 组监测标志，其中一组应在裂缝的最宽处，另两组应分别在裂缝的首末端。每组应使用两个对应的标志，分别设在裂缝的两侧。

7.9.4 裂缝监测方法应符合下列规定：

- a) 对数量少、量测方便的裂缝，分别采用小钢尺或游标卡尺等工具定期量出标志间距离求得裂缝变化值，或用方格网板定期读取坐标差计算裂缝变化值；
- b) 对大面积且不利于人工量测的众多裂缝，宜采用前方交会或单片摄影方法监测；

c) 当需要连续监测裂缝变化时,采用测缝计或传感器自动测记方法监测。

7.9.5 对盾构隧道的相邻管片错台、高架结构的相邻梁错动,可根据需要进行接缝监测。接缝监测应符合以下规定:

- a) 接缝监测应测定接缝宽度和错台变化情况;
- b) 应对需要监测的接缝进行统一编号;
- c) 采用拍照的方法记录接缝宽度或错台形态,拍照时宜在合适位置放置有刻画的直尺等装置,以反映接缝宽度或错台量;
- d) 当监测接缝的宽度变化时,应设定监测位置,采用游标卡尺或读数显微镜监测,监测精度不低于 $\pm 0.1\text{ mm}$ 。当采用游标卡尺监测时,应在接缝两侧布设监测标志;
- e) 当测定相邻结构的错台量时,应在错台最大处两侧布设对应的监测标志,采用钢尺或游标卡尺监测错台量变化值,监测精度不低于 $\pm 0.1\text{ mm}$;
- f) 监测成果应包含接缝的位置、宽度、错台量及其变化情况,注明接缝编号和监测日期等。

7.9.6 保护区邻近有打桩、爆破等施工作业时,应进行结构振动监测。振动监测应符合以下规定:

- a) 振动监测由拾振器、数据采集仪及数据分析软件组成,拾振器为速度传感器或加速度传感器采用垂直、水平单向或三矢量一体传感器;
- b) 仪器量程、精度的选取应符合 GB 6722 的规定;
- c) 拾振器安装应与被测对象之间刚性粘结,并使传感器的定位方向与所监测的振动方向一致。安装时宜采用环氧砂浆、环氧树脂胶或其他高强度粘合剂将传感器固定在混凝土表面,也埋设固定螺栓,将传感器底面与螺栓紧固相连;
- d) 仪器安装和连接后应进行监测系统测试;
- e) 监测期内整个监测系统应处于良好工作状态。

7.10 监测频率

7.10.1 工程影响监测的频率应根据工程影响监测等级、外部作业施工方法和进度、城市轨道交通结构安全影响评估结果、监测项目等情况,并结合类似项目工程经验确定。监测频率可参考表 18 和表 19。

表18 基坑工程影响监测频率

外部作业施工工况	工程影响监测等级		
	特级、一级 自动化监测频率	二、三、四级	
		自动化监测频率	人工监测频率
支护结构施工阶段	≥ 1 次/天	≥ 1 次/3 天	1 次/周
土方开挖阶段	≥ 3 次/天	≥ 1 次/天	3 次/周
地下结构施工阶段	≥ 1 次/天	≥ 1 次/3 天	2 次/周~3 次/周
拆换撑施工阶段	≥ 3 次/天	≥ 1 次/天	3 次/周
基坑回填正负零至结构封顶	≥ 1 次/周	≥ 1 次/月	≥ 1 次/月

表19 顶管、盾构工程影响监测频率

外部作业施工工况	工程影响监测等级		
	特级、一级 自动化监测频率	二、三、四级	
		自动化监测频率	人工监测频率
刀盘进入穿越区前 50 m~30 m	≥1 次/天	≥1 次/2 天	1 次/周~2 次/周
刀盘进入穿越区前 30 m~2 D	≥2 次/天	≥1 次/天	3 次/周
刀盘进入穿越区前 2D 及盾尾进入穿越区后 2D	≥4 次/天	≥2 次/天	
盾尾进入穿越区后 2 D~30 m	≥2 次/天	≥1 次/天	
盾尾进入穿越区后 30 m~50 m	≥1 次/天	≥1 次/2 天	1 次/周~2 次/周
50 m 外的持续监测期	≥1 次/2 天	≥2 次/周	1 次/周~2 次/周
注1：D为既有隧道洞径。			
注2：穿越区为外部施工区域与城市轨道交通隧道重叠的部分。			

- 7.10.2 拆除建（构）筑物、爆破等施工作业应根据施工风险确定监测频率。
- 7.10.3 当遇到下列情况时，应提高监测和现场巡查频率：
- a) 监测数据异常或变化速率较大；
 - b) 城市轨道交通结构出现裂缝、渗漏水和不均匀沉降等异常情况；
 - c) 外部作业有危险事故征兆、出现工程险情或事故后重新组织施工；
 - d) 外部作业施工未按照轨道安全保护方案施工；
 - e) 出现监测预警的情况。
- 7.10.4 外部作业停工期间，且监测数据相对稳定时可适当降低监测频率，在外部作业停工后和复工前应分别进行一次监测。

7.11 监测控制值

- 7.11.1 工程影响监测项目控制值应根据工程影响监测等级、轨道交通结构自身特点和情况，在现状调查的基础上，通过分析计算或专项评估要求确定。
- 7.11.2 城市轨道交通安全评估报告中未明确监测项目控制值时，可参照表 20 中的建议值进行控制。

表20 城市轨道交通既有结构安全控制值

安全控制指标	控制值	安全控制指标	控制值
隧道水平位移	<10 mm	轨道横向高差	<4 mm
隧道竖向位移	<10 mm	轨向高差（矢度值）	<4 mm
隧道净空收敛	<10 mm	轨间距	>-4 mm <+6 mm
隧道轴线变形曲率半径	>15 000 m	道床脱空量	≤5 mm
隧道变形相对曲率	<1/2 500	振动速度	≤2.5 cm/s

表 20 城市轨道交通既有结构安全控制值（续）

盾构管片接缝张开量	<2 mm	结构裂缝宽度	迎水面<0.2 mm 背水面<0.3 mm
隧道结构外壁附加荷载	≤20 kPa	—	—
桥墩竖向位移	<10 mm	桥墩倾斜	<2‰
桥墩沿轨道方向水平位移	<10 mm	桥墩垂直于轨道方向水平位移	<10 mm
注：表中数值为未考虑城市轨道交通工程结构发生变形或病害情况下的安全控制值，如既有结构已发生变形或病害，则根据现状评估取值。			

- 7.11.3 工程影响监测应根据外部作业施工特点、监测项目控制值等制定监测预警等级和预警标准。
- 7.11.4 工程影响监测预警应根据外部作业施工现场情况、监测结果和现场巡查情况进行综合分析判断。当监测数据达到预警标准时，必须进行警情报送。
- 7.11.5 监测预警等级划分及应对管理措施宜采用表 21。

表21 监测预警等级划分及应对管理措施

监测预警等级	监测比值 G	应对管理措施
A	$G < 0.5$	正常进行外部作业
B	$0.5 \leq G < 0.7$	监测报警，并采取加密监测点或提高监测频率等措施加强对城市轨道交通结构的监测
C	$0.7 \leq G < 1.0$	应暂停外部作业，进行施工过程安全评估工作，各方共同制定相应安全保护措施，并经组织审查后，开展后续工作
D	$1.0 \leq G$	启动安全应急预案
注1：监测比值 $G = \text{监测项目实测值} / \text{结构安全控制指标值}$ 。 注2：在考虑监测预警等级划分的同时，还需充分考虑城市轨道交通结构监测数据的变化速率。 注3：同一测点连续3期变形增量均达到2 mm/天时，监测预警视作C级。		

- 7.11.6 工程影响监测的频率，应能系统反映监测对象所测项目的重要变化时刻及其变化过程。当监测数据接近城市轨道交通既有结构安全控制指标值的 50%时，应提高监测频率。
- 7.11.7 城市轨道交通结构的监测信息应及时反馈给相关单位。

8 自动化监测

8.1 一般规定

- 8.1.1 城市轨道交通结构安全自动化监测系统应符合下列要求：
- a) 自动化监测系统应由传感器、数据采集系统、通信系统和数据管理与处理系统等组成；
 - b) 系统应根据工程实际，采用性能稳定的设备。传感器的量程和精度应满足工程需要，通信与供电系统应与列车通号系统隔离；
 - c) 数据处理软件应经专业检测单位测试，保证监测数据的准确性；
 - d) 系统的建设应突出重点项目、重点部位。测点的布置应坚持少而精的原则；
 - e) 监测仪器、设备安装稳固可靠，不能侵界，不影响轨道交通结构范围内的既有设备。

8.1.2 自动化监测系统功能应满足下列要求：

- a) 应具备监测数据自动采集、传输以及信息管理与数据分析的自动化功能；
- b) 应具有高度可靠性、长期稳定性以及良好的开放性和兼容性；
- c) 具备自校或人工检校措施，用以验证监测数据是否真实可靠，保证监测数据的连续性；
- d) 具备防雷、防潮、防锈蚀、防鼠、抗振、抗电磁干扰等性能，能在潮湿、强电磁干扰条件下长期连续稳定运行；
- e) 宜具有掉电保护和短期自动供电功能，在断电情况下能由备用电源自动供电，确保维持正常运行48 h 以上；
- f) 应具有现场网络数据通信和远程通信功能，具有开放的系统网络通用协议和传感器输入输出协议；
- g) 能够通过网络向相关工作人员发送监测数据和有关轨道结构安全信息；
- h) 具有网络安全防护功能，由网络硬防火墙或软防火墙来确保网络的安全运行；
- i) 具有多级用户管理功能，设置有多级用户权限、多级安全密码，对系统进行有效的安全管理。

8.1.3 数据采集应满足下列要求：

- a) 数据管理系统能根据需要远程调整数据采集的周期；
- b) 数据采集器的采集方式和流程，应符合国家相关的技术标准；
- c) 在数据通信中断的情况下，数据采集器（如智能全站仪）能按照既定的周期采集数据，并能在采集端进行数据的存储；
- d) 系统的数据采集装置能够按要求将传感器采集的各种输出信号转换为测量数据，并将所测数据传送到系统的数据管理系统或其他微机；
- e) 系统的数据管理系统能自动地对接收到的监测数据进行分类管理，存入各类数据库；
- f) 具有监测数据自动检验和报警功能，能对监测数据进行自动检验、判识，监测量超限、显示异常时能够实行检错、纠错处理，且能自动报警。

8.1.4 数据管理、分析软件功能应满足下列要求：

- a) 除自动采集数据自动入库外，还应具有人工导入（输入）数据功能；
- b) 具有对原始数据进行预处理的能力；
- c) 能够对监测数据进行初步分析和异常值判识；
- d) 方便地制作或自动生成日常管理报表、图形，维护数据库，整编资料并制作整编图表；
- e) 具有数据查询、统计、编辑功能，能灵活显示、绘制和打印各种监测数据、图表、文档及图片；
- f) 具有必要的离线分析与评估功能，具备对监测资料进行定量分析所需的主要计算、检验、评价功能。

8.1.5 鼓励采用新仪器、新设备、新方法完成城市轨道交通结构安全自动化监测，所用的新仪器、新设备、新方法应能满足自动化监测的各项要求。

8.2 全站仪自动化监测

8.2.1 全站仪自动化测量适用于三维坐标测量，可用于水平位移测量、收敛测量、沉降测量、倾斜测量等监测项目。

8.2.2 采用的全站仪应具有马达驱动、自动照准功能，测距精度应不低于 $\pm(1\text{ mm}+1\times 10^{-6}\times D)$ ，测角精度不得低于 $1''$ 。

8.2.3 应结合水平位移、收敛、沉降、倾斜等监测项目的具体要求，设置监测点或监测点组。监测点

宜采用固定棱镜的方式布设，并应做好监测点的保护。

8.2.4 应采用方向观测法观测，观测的测回数按本文件表 6 的要求实施。

8.2.5 自动化监测系统宜自动剔除粗差，对未观测的方向自动补测，对观测数据进行观测限差检查，对超限的观测数据进行自动重测。

8.2.6 多台全站仪联合组网监测时，坐标系应统一。

8.2.7 数据处理前应进行基准网稳定性判断，对异常观测值及时补测。

8.3 静力水准自动化监测

8.3.1 静力水准自动化测量适用于沉降测量。

8.3.2 静力水准自动化测量的精度应不低于 $\pm 0.2 \text{ mm}$ 。

8.3.3 静力水准线路一般由起算点、观测点、转点组成，宜布设成附合水准线路。起算点应采用水准测量法定期联测。

8.3.4 外部作业投影区段范围内，盾构法隧道宜按 5 环间距、其他轨道交通结构宜按 5 m~10 m 间距布设观测点，投影区段范围外可适当放宽。

8.3.5 连通管式静力水准设备，其设备安装除满足本文件 8.1 的规定外，还应满足下列规定：

- a) 同组中所有传感器安装标高差异的影响，不得消耗其量程的 20%；
- b) 连通管管路应平顺，管路内不应有气泡。

8.3.6 采用连通管式静力水准仪时，同一测段内静力水准测量的沉降观测值可按仪器厂商提供的公式计算。

8.4 激光测距仪自动化监测

8.4.1 激光测距仪适用于隧道收敛监测。

8.4.2 激光测距仪宜采用无棱镜反射测量工作模式，测距精度不低于 $\pm 2.0 \text{ mm}$ 。

8.4.3 激光测距仪宜布设于固定测线一端的结构内壁，测量激光束应对准固定测线另一端目标点。

8.4.4 外部作业投影区段范围内测距仪宜按 5 环间距布设，投影区段范围外可适当放宽。应在对应位置设置人工固定测线，并同步完成初始测量。

8.4.5 累计收敛变化量按下式计算：

$$\Delta C_i = C_i - C_o \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中

ΔC_i ——第 i 次收敛变化量 (mm)；

C_i ——第 i 次距离读数 (mm)；

C_o ——初始距离读数 (mm)。

8.5 电水平尺自动化监测

8.5.1 电水平尺测量适用于沉降测量和倾斜测量等监测项目。

8.5.2 电水平尺传感器量程仪不小于 $\pm 40'$ ，分辨率宜不低于 $\pm 1''$ ，重复测量精度宜不低于 $\pm 3''$ ，可单支使用或多支串联使用。

8.5.3 多支电水平尺串联安装构成“尺链”进行沉降测量时，应采用水准测量法定期联测尺链的起点与终点，根据水准测量成果修正各测点沉降变形测量成果。盾构法隧道内电水平尺的长度宜与环宽匹配。

8.6 光纤光栅自动化监测

8.6.1 基于光纤光栅传感的轨道交通结构监测系统应根据监测目的、监测对象及监测项目的特点、设计要求、精度要求、场地条件和当地工程经验等综合确定，并应经济合理、维护方便。

8.6.2 光纤光栅轨道交通结构监测系统宜由报警控制器、光纤光栅信号处理器、连接光缆、光纤光栅传感器、连接盒、显示器等组成，光缆的物理特性指标应满足国家的相关标准。

8.6.3 光纤光栅轨道交通结构监测系统的硬件应具有可维护性、可更换性，软件应具有兼容性、可扩展性、易维护性，且监测系统软件应与硬件相匹配。

8.6.4 光纤光栅传感器在对结构参数检测时宜达到以下性能参数：

- a) 对应变参数测量时，测量量程为 $\pm 2\ 000\ \mu\text{E}$ ，分辨率不低于 $0.1\%\text{F.S.}$ ，测量精度不低于 $0.3\%\text{F.S.}$ ，可动态频率不低于 30 Hz ；
- b) 对压力参数测量时，测量量程为 $0\text{ Mpa}\sim 5\text{ Mpa}$ ，分辨率不低于 $0.1\%\text{F.S.}$ ，测量精度不低于 $0.5\%\text{F.S.}$ ，可动态频率不低于 20 Hz 。

9 监测成果

9.1 成果整理与质量检查验收

9.1.1 监测成果资料应内容完整、清晰、签字齐全，监测成果应包括现场监测资料、计算分析资料、图表、变形曲线、文字报告等。

9.1.2 现场监测资料宜包括外业观测记录、自动化监测数据、现场巡查记录、图像、视频等纸质及电子数据资料。

9.1.3 取得现场监测资料后，应及时对监测资料进行整理、分析和校对，监测数据异常时，应分析原因，必要时应进行现场复核或重测。

9.1.4 监测成果质量检查与验收应按照下列文件有关要求执行：

- a) 国家有关城市轨道交通的政策法规和技术标准；
- b) 项目合同书或委托书；
- c) 已批准的技术设计书或监测方案；
- d) 项目承担方的质量管理文件。

9.1.5 应根据质量检查结果对监测成果评定为合格或不合格。当监测成果出现下列问题之一时，应视为质量不合格：

- a) 违反国家有关法律、法规和强制性技术标准的相关要求；
- b) 监测成果精度不能满足技术设计书或监测方案的要求；
- c) 伪造测量成果。

9.1.6 监测成果质量检查与验收应符合下列规定：

- a) 对所有观测记录、计算和分析结果，应进行一级检查；
- b) 对监测阶段性成果，应进行二级检查，提交给项目委托单位的阶段性成果应为二级检查合格的成果；
- c) 对监测最终成果，宜在两级检查合格的基础上进行质量验收；
- d) 质量检查与验收过程应形成记录。记录应包括质量问题的记录、问题处理的记录以及质量评定的记录等。质量检查与验收工作完成后，应编写质量检查与验收报告，并与测量成果一并归档。

9.2 成果提交与资料归档

9.2.1 监测成果主要包括日报、周报、月报、预警报告、阶段报告和总结报告。

9.2.2 监测日报、周报、月报应在监测周期内及时报送当期监测情况，主要内容应包括施工进度、日常巡视情况、本期最大变化量及发生位置、累计最大变化量及发生位置、是否发生预警、测点布置图等。

9.2.3 阶段报告可根据工程进度、建设单位或运营单位要求的时间期限提交，统计分析阶段监测数据、预判监测数据变化趋势、提出下步建议。主要内容除日报包含的内容外，还应包括预警分析、监测数据阶段分析、监测结论等。

9.2.4 预警报告应在出现监测预警后提交，及时报告发生预警的项目及位置、预警情况、分析原因、提出处置建议。主要内容应包括施工进度、测点布置图、巡视情况、超限情况、预警级别、发生预警原因分析、处置建议等。

9.2.5 总结报告应在工程监测工作完成后提交，汇总整理监测资料、记录分析监测数据、总结预警及处置情况、总结监测工作、给出监测结论。主要内容应包括工程概况，监测方案，施工进度，监测实施情况，监测数据报表，数据分析图表，预警及处置情况，监测结论及建议。

9.3 成果信息管理系统

9.3.1 成果管理宜建立信息系统，系统的建设应遵循可靠性、标准性、科学性、先进性、经济性、安全性、开放性、扩展性的原则。

9.3.2 系统的设计应充分利用当前先进、实用的技术手段，采用成熟的设计方案、技术标准、硬件平台和软件环境，保障系统稳定可靠地运行。

9.3.3 系统为独立的子系统，担负自身地铁运营结构监测的功能。同时，系统可与所在城市地铁综合管理一体化信息平台对接。

9.3.4 安全监测单位负责项目位置、监测布点图、监测实施方案等项目信息的上传和配置。监测单位负责项目监测数据、监测成果（含原始资料、成果报告）等信息与资料的上传与配置，按二级检查的要求在系统上保留监测成果的质量检查与修改过程，提供监测数据与监测成果上传、变形曲线自动生成、在线浏览与下载。

9.3.5 系统权限管理应与内网门户平台集成，用户及权限需按照规定统一配赋，实现单点登录。

9.3.6 系统信息管理应符合如下规定：

- a) 项目各项基础信息具有添加、录入、修改、显示、检索和删除、输出等功能；
- b) 添加基本信息时，系统自动创建一张各项目独立“基本信息卡”，以项目名称命名，归入对应线路数据库；
- c) 信息录入来自工程项目信息，所显示内容应包含文字、图像、影像等形式；
- d) 信息查询时分层级显示线路的基础信息，并在地图上显示生成全部项目点位等；
- e) 系统内所有图表、文档后期均能以预定格式输出打印，变形曲线、数据阶段统计等信息均能按时间、测项自动统计；
- f) 系统中各类预定格式的曲线、报表采用统一、合理的格式。

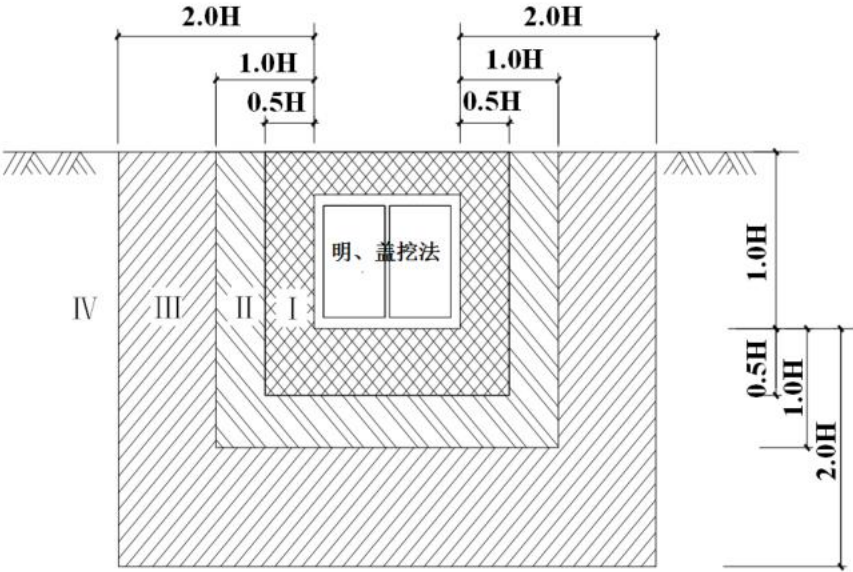
9.3.7 系统应设立一个总体数据库，存储、管理各个功能模块的所有数据，包括用户单位信息、作业项目各种基础信息、巡查信息、安全监测信息数据等。可实现数据输入、存储、查询、管理、可视化、传输、在线分析等功能。系统需采用多级加密模式确保安全运行。

附 录 A
(规范性)
接近程度和外部作业的工程影响分区

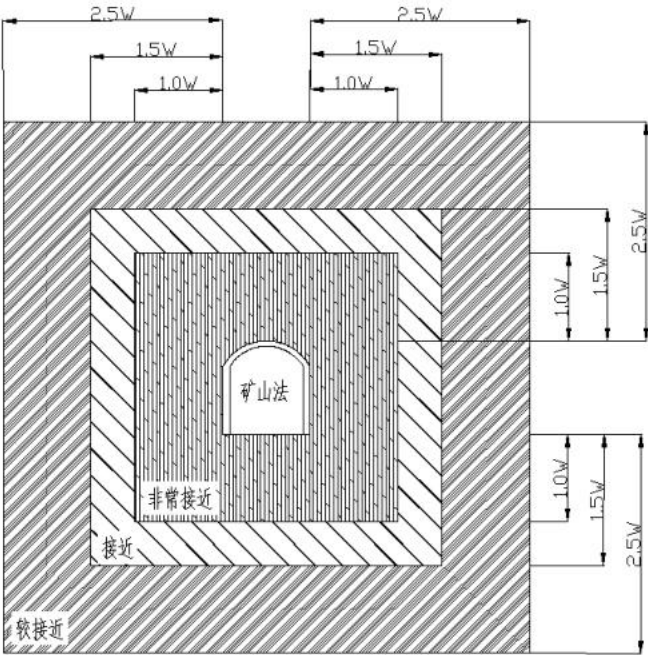
A.1 接近程度应根据城市轨道交通既有结构的类型及其与外部作业的空间关系确定，接近程度的判定宜按表 A.1 和图 A.1～图 A.3 确定。

表A.1 接近程度的判定

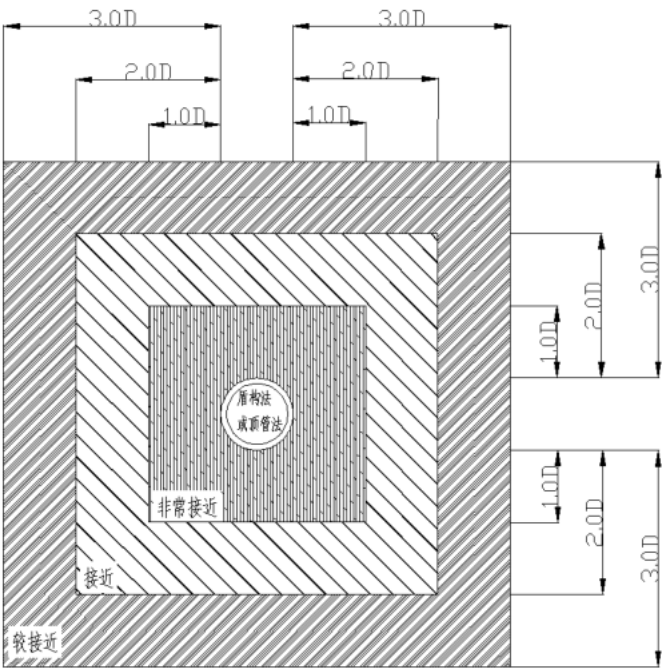
城市轨道交通既有结构类型	相对净距	接近程度
明挖、盖挖法	$L \leq 0.5H$	非常接近（Ⅰ）
	$0.5H < L \leq 1.0H$	接近（Ⅱ）
	$1.0H < L \leq 2.0H$	较接近（Ⅲ）
	$L > 2.0H$	不接近（Ⅳ）
矿山法	$L \leq 1.0W$	非常接近（Ⅰ）
	$1.0W < L \leq 1.5W$	接近（Ⅱ）
	$1.5W < L \leq 2.5W$	较接近（Ⅲ）
	$L > 2.5W$	不接近（Ⅳ）
盾构法、顶管法	$L \leq 1.0D$	非常接近（Ⅰ）
	$1.0 < L \leq 2.0D$	接近（Ⅱ）
	$2.0 < L \leq 3.0D$	较接近（Ⅲ）
	$L > 3.0D$	不接近（Ⅳ）
高架结构（基础）	水平净距 < 5 m	非常接近
	竖向净距 < 5 m	
	水平净距 5 m～10 m	接近
	竖向净距 5 m～10 m	
	水平净距 10 m～15 m	较接近
	竖向净距 10 m～15 m	
	水平净距 > 15 m	不接近
	竖向净距 > 15 m	
高架结构（墩柱及上部结构）	高架上部结构限界外侧 < 3 m	非常接近
	高架上部结构限界外侧 3 m～6 m 范围	接近
	高架上部结构限界外侧 6 m～9 m 范围	较接近
	高架上部结构限界外侧 > 9 m	不接近
注1：L为城市轨道交通既有结构与外部作业的最小相对净距；H为明挖、盖挖法的基坑开挖深度；W为矿山法的隧道毛洞跨度；D为盾构法的隧道外径，圆形顶管的外径或矩形顶管隧道的长边宽度。 注2：相对净距指外部作业的结构外边线与城市轨道交通结构外边线的最小净距离。 注3：外部作业采用爆破法实施时，根据相关工程经验和爆破专项安全评估成果进行适当调整。		



图A.1 明挖、盖挖法既有结构的接近程度判定



图A.2 矿山法既有结构的接近程度判定



图A.3 盾构法或顶管法既有结构的接近程度判定

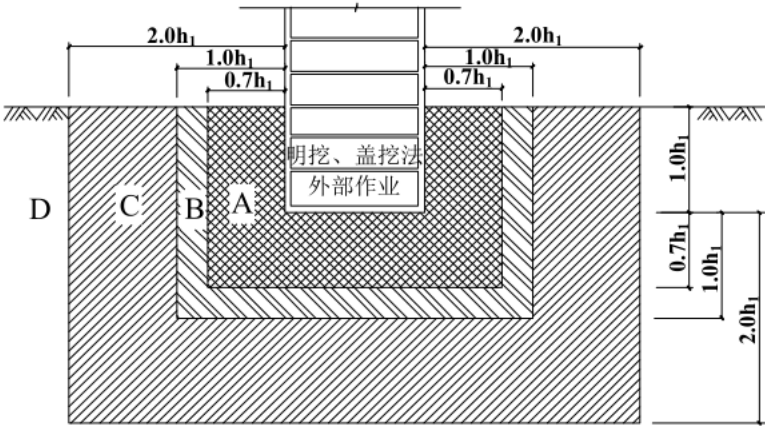
- A.2 外部作业的工程影响分区宜根据外部作业的施工方法确定。当轨道结构所在区域工程地质条件复杂或者存在工程安全隐患时，一律确定为强烈影响区。
- A.3 明挖、盖挖法外部作业的工程影响分区宜按表 A.2 和图 A.4 确定。

表A.2 明挖、盖挖法外部作业的工程影响分区

工程影响分区	区域范围
强烈影响区（A）	结构正上方及外侧 $0.7 h_1$ 范围内
显著影响区（B）	结构外侧 $0.7 h_1 \sim 1.0 h_1$ 范围
一般影响区（C）	结构外侧 $1.0 h_1 \sim 2.0 h_1$ 范围
较小影响区（D）	结构外侧 $2.0 h_1$ 范围

注1： h_1 为明挖、盖挖法外部作业结构底板的埋深。

注2： 当外部作业需施工锚杆、锚索、土钉时，作业边界以锚杆、锚索、土钉末端的水平投影位置为准。



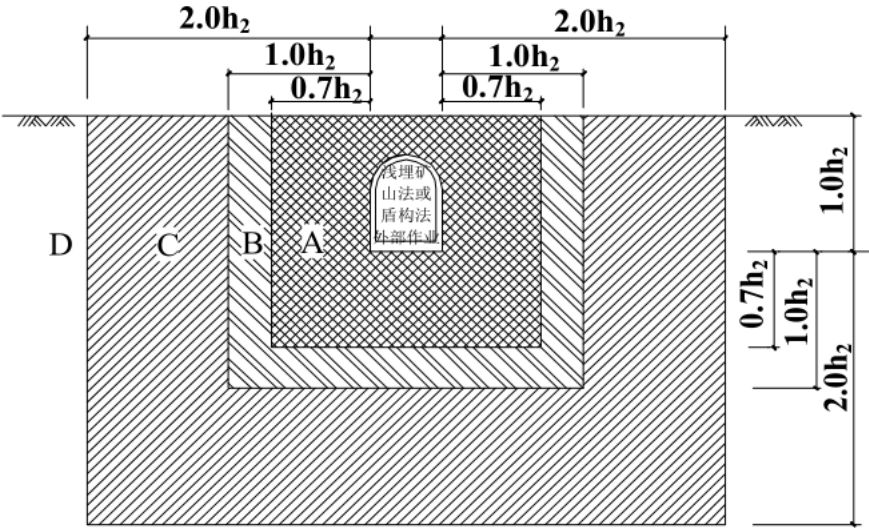
图A.4 明挖、盖挖法外部作业的工程影响分区

A.4 浅埋矿山法和盾构法外部作业工程影响分区宜按表 A.3 和图 A.5 确定。

表A.3 浅埋矿山法和盾构法外部作业的工程影响分区

工程影响分区	区域范围
强烈影响区（A）	隧道正上方及外侧 0.7h ₂ 范围内
显著影响区（B）	隧道外侧 0.7h ₂ ~1.0h ₂ 范围
一般影响区（C）	隧道外侧 1.0h ₂ ~2.0h ₂ 范围
较小影响区（D）	隧道外侧 2.0h ₂ 范围以外

注1：h₂为矿山法和盾构法外部作业的隧道底板深度。
注2：当外部作业需施工锚杆、锚索、土钉时，作业边界以锚杆、锚索、土钉末端的水平投影位置为准。
注3：本表适用于矿山法和盾构法外部作业的浅埋隧道，隧道顶埋深小于3a（a为隧道毛洞跨度）。



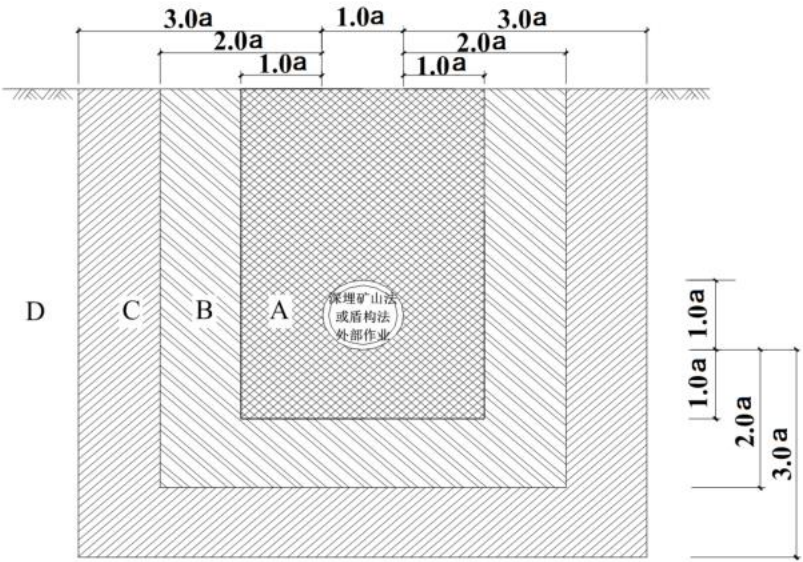
图A.5 浅埋矿山法和盾构法外部作业的工程影响分区

A.5 深埋矿山法和盾构法外部作业工程影响分区按表 A.4 和图 A.6 确定。

表A.4 深埋矿山法和盾构法外部作业的工程影响分区

工程影响分区	区域范围
强烈影响区（A）	隧道正上方及外侧 1.0a 范围内
显著影响区（B）	隧道外侧 1.0a～2.0a 范围
一般影响区（C）	隧道外侧 2.0a～3.0a 范围
较小影响区（D）	隧道外侧 3.0a 范围以外

注1：a为矿山法和盾构法隧道的毛洞跨度。
注2：当外部作业需施工锚杆、锚索、土钉时，作业边界以锚杆、锚索、土钉末端的水平投影位置为准。
注3：本表适用于矿山法和盾构法隧道顶埋深大于3a（a为隧道毛洞跨度）的深埋隧道。



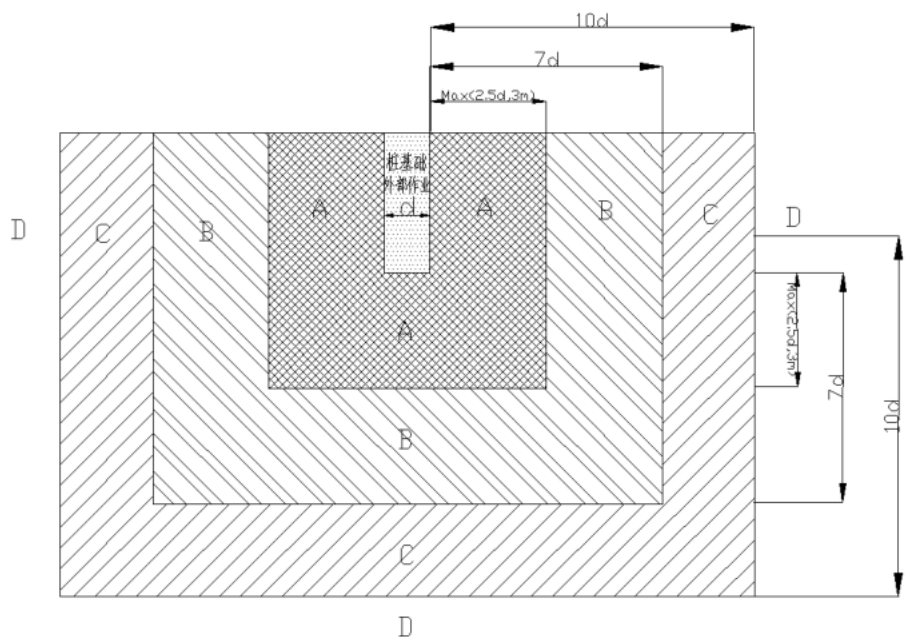
图A.6 深埋矿山法和盾构法外部作业的工程影响分区

A.6 桩基础外部作业的工程影响分区如图 A.7 所示，宜按表 A.5 确定。

表A.5 桩基础外部作业的工程影响分区

工程影响分区	区域范围
强烈影响区（A）	桩基础正下方及外侧 Max（2.5d，3 m）范围内
显著影响区（B）	桩基础正下方及外侧 Max（2.5d，3 m）～7.0d 范围
一般影响区（C）	桩基础正下方及外侧 7.0 d～10.0 d 范围
较小影响区（D）	桩基础正下方及外侧 10.0 d 范围以外

注：d为桩基础外部作业的直径。

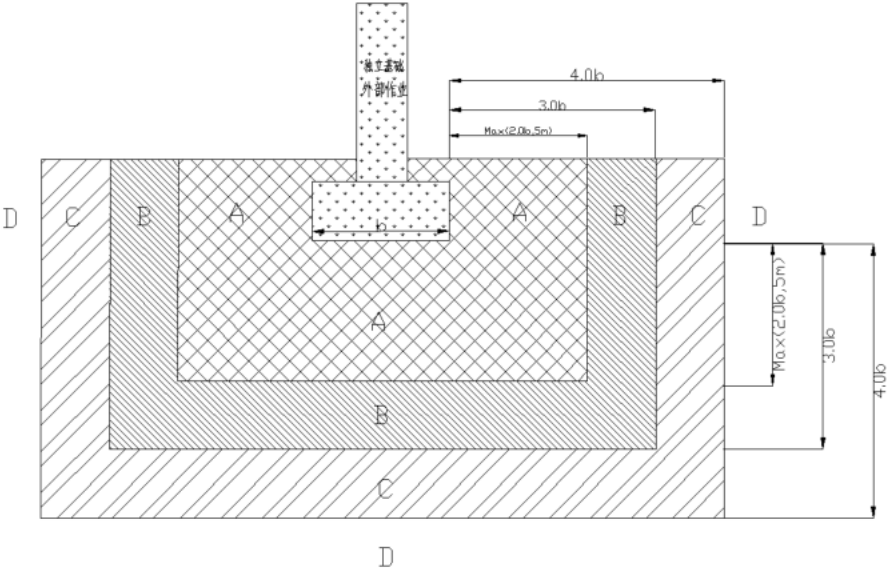


图A.7 桩基础外部作业的工程影响分区

A.7 独立基础外部作业的工程影响分区（图 A.8），宜按表 A.6 确定。

表A.6 独立基础外部作业的工程影响分区

工程影响分区	区域范围
强烈影响区（A）	独立基础正下方及外侧 $\text{Max}(2.0b, 5\text{ m})$ 范围内
显著影响区（B）	独立基础正下方及外侧 $\text{Max}(2.0b, 5\text{ m}) \sim 3.0b$ 范围
一般影响区（C）	独立基础正下方及外侧 $3.0b \sim 4.0b$ 范围以外
较小影响区（D）	独立基础正下方及外侧 $4.0d$ 范围以外
注：b为独立基础外部作业平行于受力方向的边长。	



图A.8 独立基础外部作业的工程影响分区

附 录 B
(资料性)

城市轨道交通结构巡查记录表

城市轨道交通结构巡查检查可按表B.1规定的信息采集要求，制定城市轨道交通结构巡查记录表。
如有照片等资料可单独编辑成册。将其编号填入表中对应栏中。

表A.7 城市轨道交通结构巡查记录表

线路名称：_____ 区间名称：_____ 里程桩号：_____						
隧道结构形式：_____ 巡查人：_____ 记录人：_____						
巡查日期：_____						
里程桩号	结构名称	部件名称	病害位置	状况描述 (类型、性质、范围、程度)	病害照片 编号	备注
填写说明： 1、本表应当场及时填写，无病害时填写正常； 2、详细记录和描述病害（包括病害种类、数量、部位、程度），病害无发展则填写无变化； 3、对巡查过程中发现的严重病害，应在备注中说明； 4、本表填写后及时整理归档。						
第 页 共 页						

参 考 文 献

- [1] GB/T 15314 精密工程测量规范
 - [2] GB/T 38707 城市轨道交通运营技术规范
 - [3] GB 50157 地铁设计规范
 - [4] GB/T 50299 地下铁道工程施工质量验收标准
 - [5] GB/T 50308 城市轨道交通工程测量规范
 - [6] GB 50911 城市轨道交通工程监测技术规范
 - [7] GB 50982 建筑与桥梁结构监测技术规范
 - [8] CJJ/T 202 城市轨道交通结构安全保护技术规范
 - [9] CJJ/T 289 城市轨道交通隧道结构养护技术标准
-

武汉市地方标准
DB4201/T 646—2021
轨道交通工程运营期结构监测
技术规程

条文说明

1 范围

界定规程的适用范围。本文件适用于武汉市域范围内城市轨道交通运营期结构监测，已建成但尚未投入运营的城市轨道交通结构监测可参照本文件执行。正在进行施工的轨道交通结构，如正在进行基坑开挖和地下结构施工的地铁车站或附属结构、正在推进施工的盾构隧道等不属于本文件的应用范围。

1 本文件与其他有关标准的关系是：凡本文件有规定的，应按本文件执行；本文件未作规定的，应符合国家现行有关标准的规定，或参照其他国家有关现行标准的规定执行。

5 基本规定

5.1 本文件的长期监测，主要指在不考虑外部施工作业影响的情况下，为掌握长期运营过程中轨行区结构的变形状态和变形过程而定期开展的监测。长期监测在南京、杭州等地也称为“永久结构监测”或“长期结构监测”。本文件的工程影响监测，主要指保护区内有施工作业时，为监控施工作业对轨道交通结构安全的影响而进行的监护测量，工程影响监测应能反映施工作业对轨道交通结构的影响程度和影响过程。工程影响监测也有地方称之为“保护区监测”。

1 城市轨道交通运营期间应进行持续性的结构巡检，巡检的项目内容依据不同的轨道交通结构形式可按表 I 确定。巡查记录表可参照附录 B。

表 I 城市轨道交通结构巡检的项目、内容

轨道交通结构形式	检查项目	检查内容
明挖法	主体结构	裂缝、压溃等破损
		起毛、酥松、起鼓等材料劣化
		剥落剥离
		渗漏水
		钢筋锈蚀
	施工缝、变形缝	错台、压溃、渗漏水
矿山法	道床	裂缝、脱空、下沉、隆起、渗漏水
	洞口	边（仰）坡滑坡、危石
		边坡、护坡、挡土墙、排水沟等构造物的破损
	洞门	墙身裂缝、渗漏水、墙身填料流失
		结构倾斜、沉陷和断裂
	衬砌	裂缝、压溃等破损
		起毛、酥松、起鼓等材料劣化
		剥落剥离
		渗漏水
		钢筋锈蚀
	施工缝、变形缝	错台、压溃、渗漏水
	道床	裂缝、脱空、下沉、隆起、渗漏水

表 I 城市轨道交通结构巡检的项目、内容（续）

轨道交通结构形式	检查项目	检查内容
盾构法	管片	裂缝、压溃等破损
		起毛、酥松、起鼓等材料劣化
		剥落剥离
		渗漏水
		钢筋、螺栓和钢管片的锈蚀
	管片接缝、变形缝	错台、压溃、渗漏水、接缝止水条脱落
	螺栓孔、注浆孔	填塞物脱落
		渗漏水
	道床	裂缝、脱空、下沉、隆起、渗漏水

5.2 本条规定了城市轨道交通结构监测宜采用的坐标系统。武汉市轨道交通建设期采用的是武汉市 2000 坐标系统和 1985 国家高程系统，长期监测宜沿用建设期采用的坐标系统。工程影响监测宜采用武汉市平面坐标系统和高程系统，也可采用独立坐标和高程系统。

5.3 监测实施前应搜集邻近区域的地质、施工及运营期的变形观测成果，这些资料是编制方案的主要依据，也是监测实施期数据分析的基础资料。监测方案需经运营单位技术审查，审查认可并进行专家论证后方可实施。当外部作业有重大变更时，监测单位应及时调整监测方案，监测方案的重大变更应重新报轨道交通运营单位技术审查及专家论证。

5.5 依据相关工程监测工作经验，要掌握本监测对象的变形规律，需要较高的监测精度，由于城市轨道交通工程施工周期较长，且大部分施工控制网按区间进行控制，很少对地下段控制网进行整网平差，因此提出了当施工控制网无法满足监测需要时建立独立控制网，联测施工控制网提供相应的转换关系。

5.6 基准点应设置在变形影响范围以外且位置稳定、易于长期保存的地方，应避开外部作业直接影响的区段。基准点布设的目的是为了建立多期变形观测的统一、可靠基准。由于自然环境的变化及人为破坏等原因，不可避免地可能有个别点位会发生变化，为验证基准点的稳定性，确保每期变形测量成果的可靠性，每期进行监测点观测前，应先进行基准点的检测，当检测结果怀疑基准点有可能发生变动时，应立即对其进行复测。对基准点进行定期复测，复测时间间隔应根据点位稳定程度及环境条件的变化情况确定。实际上，很多变形测量生产实践中，当基准点数不多，观测比较方便时，每期观测监测点时一般也同时进行基准点之间的观测。

5.8 本条给出了观测点布设的基本要求。观测点的布设应能全面反映监测对象的变形状况，应能与现场位置对应，轨行区的观测点应有对应的里程，盾构法隧道区段还应与环号关联。高架的墩柱观测点应与里程、墩柱号关联。

5.9 监测仪器、设备的检定周期应符合《测绘计量管理暂行办法》的相关规定。满足监测精度和量程要求，具有良好的稳定性和可靠性，监测仪器设备按规定进行检定或校准，并在有效期内使用。

5.10 工程影响监测等级是按照外部作业影响等级和轨道交通结构所处地质条件复杂程度确定，是本文在参考 GB 50911 工程监测等级划分的基础上提出的概念。对于工程影响监测，在确定了工程影响监测等级后，监测点布设间距、监测范围、监测频率等都可以参考工程影响监测等级来确定。

5.11 轨道交通结构监测天窗期时间有限，对于工程影响监测等级较高或者监测范围较大的项目应采用自动化监测。自动化监测应补充人工监测手段，并定期对远程自动化监测成果进行校核。

5.12 基准点布设的目的是为了建立多期变形观测的统一、可靠基准。基准点复测的目的就是为了检验

基准点的稳定性和可靠性。定期复测时间间隔应根据点位稳定程度及环境条件的变化情况确定。长期监测宜每期监测前对监测基准网复测一次。工程影响监测外部作业实施期间每 1 月~2 月宜对监测基准网复测一次，延续监测期间基准网复测频率可根据情况适当调整。

5.13 各期监测在尽可能短的时间内完成，可以保证同期的变形观测数据在时态上保持基本一致。对于不同期的变形监测，特别是高等级的变形监测，应尽可能采用相同的观测网形、观测路线、观测方法、仪器设备，并宜固定监测人员在同等或相近的环境条件下观测。这样规定的目的是为了尽可能地减弱系统误差影响，提高观测精度，保证成果质量。

5.16 对于工程影响监测，外部作业完成定义为外部作业施工对轨道交通结构周边土体不再产生扰动，土体应力状态不再发生改变。对于主体结构采用嵌岩桩基础的，外部作业完成以基坑回填为界，对于非嵌岩桩基础，外部作业完成以靠地铁侧主楼封顶为界。

1 延期监测完成后且监测数据稳定，由工程影响监测单位提出申请，经轨道交通运营单位同意后方可停止监测。数据稳定标准为最后三个较长监测周期（每个周期不少于 1 月）的三维结构变形量均小于 0.6 mm 每月。

6 长期监测

6.1 一般规定

6.1.3 随着电子技术、激光测量技术及遥感技术的发展，传感器和近景摄影测量、三维激光扫描测量技术在变形监测中已得到应用。基于此，增加了一些新的测量技术方法。

6.2 监测点布设

6.2.1 轨道交通工程地下段运营监测一般仅在道床上布设一处沉降监测点，对于不同施工形式的地下段，道床与地下段主体结构容易产生差异变形。盾构区间道床脱空、离缝后管片与道床会出现差异沉降，矿山法施工地下段仰拱与二衬也会出现差异变形；在变形监测过程中，若能及时发现道床与其它结构位置差异沉降时，可以及时发现相关病害，因此建议沉降监测时一处断面在不同结构物位置布设多处监测点。

6.3 沉降监测

6.3.5 轨道交通工程运营期沉降监测长期观测周期一般为 1 次/年~4 次/年，结合现行相关规范及作业经验，结构物长期观测 100 天左右沉降变形速率在 0.01 mm/d~0.04 mm/d 时可以判断为稳定，结合武汉轨道交通工程运营期监测特点，对预警值按 0.02 mm/d 的标准进行控制，对控制值按 0.04 mm/d 的标准进行控制。

6.4 收敛监测

6.4.2 运营后隧道结构收敛基本趋于稳定，其变形量相对于施工前期小很多，因此需要提高测量精度，便于分析隧道结构变形情况，目前国内现行的相关规范主要考虑隧道结构水平及净空的变形，但实际中隧道结构变形极为复杂，因此本文件提出根据测点构建大量的测线进行变形分析的方式，可以更直观的分析隧道不同位置的变形情况。

1 收敛监测主要对比 5 处测点之间距离变化量，从而分析隧道结构不同位置的变形情况，由于测点位置布设了反射片，考虑到测量照准误差，因此对相同测线间不同测回距离较差进行了限制，从而提高测量的精度。

6.5 水平位移监测

6.5.5 视准线法主要用于单一方向水平位移测量，本条给出了作业的具体要求。

6.5.6 正垂线法可在高桥墩和斜拉桥塔体挠度观测中采用。对正垂线的主要构成和要求如下：

1 正垂线由悬线装置、不锈钢丝或不锈钢瓦丝、带止动叶片的重锤、阻尼箱、防锈抗冻液体、观测墩、强制对中基座、安全保护观测室等组成；

2 悬挂点要考虑换线及调整方便且必须保证换线前后位置不变；观测墩宜采用带有强制对中底盘的钢筋混凝土墩，必要时可建观测室加以保护；不锈钢丝或钢瓦丝的极限拉力大于重锤重量的2倍；在竖井、野外等易受风影响的地方，设置直径大于100 mm的防风管。

6.5.7 激光测量技术，在变形监测项目中有所应用。基于安全的考虑，要求在光路附近设立安全警示标志。

6.5.8 卫星实时定位技术，主要适用于变形量大、需要连续监测、适时处理数据、即时预报的监测项目。

6.5.9 采用自由设站边角交会方式进行水平位移监测时，可以很好的利用城市轨道交通工程内已建成的CPIII控制点，便于建设期及运营期测量数据的融合对比分析，可以更好的掌握城市轨道交通工程结构变形的规律。

6.5.10 已运营的城市轨道交通水平位移监测过程中，受监测条件、作业时间及作业手段的限制，水平位移测量绝对精度很难提高，但相邻测点间的相对精度可以通过相应的手段予以保证，因此本文件里面相对相邻测点水平位移变形量进行了明确，同时也更易于发现结构所产生的差异变形。

6.6 三维激光扫描

6.6.1 武汉市现阶段对已运营的城市轨道交通地下段开展了普查性三维激光扫描工作，相对于传统的测量而言，三维激光扫描可以快速获取大量的点云信息，通过点云可以及时的了解隧道内部现状（通过点云可以计算隧道内部结构收敛变形、隧道内渗漏水、错台及限界情况）。三维激光扫描设备精度直接关系到获取点云数据的精度，对于隧道内部结构收敛变形的分析需要点云数据具有足够的精度，因此提出了三维激光扫描仪10 m范围内重复测量精度不应低于2 mm，重复精度测试可采用三维激光扫描仪测量10 m左右间距的两处非靶标特征点空间关系。

6.6.2 考虑到现有三维激光扫描仪种类较多，因此要求参与轨道交通工程三维激光扫描仪提供统一格式的的点云数据，便于后续不同类型三维激光扫描仪数据的对比。

6.6.3 通过三维激光扫描点云数据，可以对管片数据进行拟合分析，从而快速获取逐个管片椭圆度信息，为后续运营监测及结构维护提供参考依据；以点云建立的三维模型可以快速的进行限界检测；通过点云转换的灰度影像可以自动识别隧道内渗漏水情况。结合武汉市现有三维激光扫描数据处理成果及相关设计专业需求，限界、管片椭圆度、错台信息便于分析管片结构现状，且三维激光扫描数据也可以方便的获取这类信息，因此提出了配套软件应该对上述类别数据进行分析。

6.6.7 现阶段武汉城市轨道交通工程地下段移动三维激光扫描数据获取结果主要针对管片结构现状进行分析，对点云相对于既有控制网的绝对坐标要求不高，以分析相对变形为主，且现阶段将移动三维激光扫描数据用于水平位移、沉降位移监测难度较大，因此针对特殊需求时提出了联测既有控制点的要求。

6.7 重点段加密监测

6.7.1 重点段加密监测主要为局部区段的监测，针对部分小区域的段落，基准点布设于监测范围两端，考虑到大范围可能出现整体性的变形，因此提出可根据长期监测成果对加密监测工作基点成果进行定期改正，进而可以保证加密监测数据与长期监测数据基准的统一。

6.7.2 重点段加密监测采用人工监测时，目前天窗作业点每周最多为 3 天，因此提出了人工监测频次最高为每周 3 次。

7 工程影响监测

7.1 一般规定

7.1.1 本条摘录了《武汉市轨道交通运营安全管理办法》（武汉市政府令第 262 号）中关于城市轨道交通控制保护区的相关规定。

7.1.2 对于特殊工程地质条件下的外部作业和特殊的外部作业，对结构造成较大影响的，应适当扩大城市轨道交通安全保护区。如岩溶土洞发育地区、强透水砂层地区、欠固结地域等特殊工程地质条件，以上控制保护区外的地下水作业等也可能对结构造成较大的影响，因此，应根据工程经验适当扩大城市轨道交通安全保护区。

7.1.4 本条摘录了交通运输部令 2018 年第 8 号文《城市轨道交通运营管理规定》中关于外部作业类型及工程影响监测的相关规定。

7.1.5 初始状态调查应由具有丰富调查经验的人员通过详细人工观察和仪器量测获取隧道结构病害和几何尺寸的关键信息，并做好标识、准确记录，获取的调查信息应做到全面、直观、可量化，并结合影像数据对病害发生部位及当前状态进行详细描述。初始状态调查应清晰、准确，宜采用技术先进、信息全面的检测手段，宜结合三维激光扫描仪、激光断面仪、自动全站仪、裂缝测宽仪、摄影测量设备等对隧道结构现状进行定量的测量和记录。调查应由外部作业建设单位组织，轨道交通运营单位、工程影响监测单位、外部作业施工及监理单位参与调查见证下开展，可作为证据保全的依据之一。

1 初始状态调查应依次检查各个结构部位，详实记录各检查项目的病害类型，范围和程度，调查内容应包含但不限于以下内容：

1) 渗漏水的内容应包括渗漏水的位置、渗漏水大小、浑浊程度等。根据隧道结构渗漏水量的大小，可分为湿迹、渗水、滴漏、涌水；根据渗漏水浑浊程度可分为漏泥沙、冒浆等。具体的定义和调查方法见表 II；

表 II 渗漏水病害的划分及调查方法

渗漏水		定义	调查方法
渗漏大小	湿迹	隧道内表面呈现明显色泽变化的潮湿斑	目测结构物表面水迹；用干手触摸有潮湿感，但无水分浸润感
	渗水	水渗入隧道，导致隧道表面水分浸润	用灯光照射，结构物表面有反光；用干手触摸，明显沾有水分
	滴漏	水量达到一定程度，从上方滴落	目测滴漏程度；必要时采用秒表确定滴水频率
	涌水	有明显的出水点，水从出水点涌出，形成水流	目测涌水大小；必要时采用量筒量测涌水量，或采用容积法、投浮子法、堰法或堵塞估算法在隧道的中央排水沟或侧沟进行量测
浑浊程度	漏泥沙	因渗水通道扩大或防水失效，渗水量增加，同时夹带泥沙	目测渗出物成分
	冒浆	因渗水通道扩大或防水失效，渗水量增加，同时夹带浆液	目测渗出物成分

2) 结构缺损病害调查包含隧道结构有无开裂、露筋、掉块、压溃、错台；管片连接件（螺杆、螺

栓等)有无缺失、松脱;道床有无开裂、拱起;排水沟有无开裂,调查内容应包括病害位置、大小和分布等,应对结构缺损状况进行详细记录,做好标识并留存影像数据记录;

3) 材质劣化(隧道表面有无蜂窝麻面、起层、剥落;钢筋有无锈蚀;止水带有无脱落)。

2 既有结构调查应采用技术先进、信息全面的检测手段,结合三维激光扫描仪、激光断面仪、自动全站仪、裂缝测宽仪、摄影测量设备等对隧道结构现状进行定量的测量和记录。

激光断面仪和三维激光扫描仪可用于观测隧道断面尺寸、建模、诊断掉块和错台位置等。当采用激光扫描方法时,应优先采用推扫式扫描进行快速检测。

3 近景摄影测量的方法可用于隧道结构几何尺寸检测、裂缝数量、宽度和位置的观测、隧道建模等方面,当采用近景摄影测量方法进行作业时,应尽量采用高影像分辨率、长焦距的数码相机;施测时可选用单基线立体摄影测量方法或多基线摄影测量方法,摄站点宜布设在与隧道长轴线相平行的一条直线上,并使摄影主光轴垂直于隧道结构;单独布设的摄站点应与基准点进行联测。

7.1.7 工程影响监测项目所采用的监测方法多种多样,监测对象和监测项目不同,监测方法就不同,工程监测等级和监测精度不同,场地条件和工程经验不同,监测方法也不一样。总之,监测方法的选择应根据设计要求、施工需要,现场条件等综合确定,并便于现场操作实施。同时根据现场实际,同一个项目可以同时选择和组合多种观测方法,以便相互校验。传统监测方法一般是采用全站仪、水准仪、收敛计等仪器设备,并结合人工巡视的方法进行现场观察。随着监测技术的发展,三维激光扫描法、摄影测量法以及各种不同功能的光电传感器的应用等,逐渐成为城市轨道交通结构监测的新技术、新方法。

7.1.8 工程影响监测应遵循下列工作流程如图 I 所示。

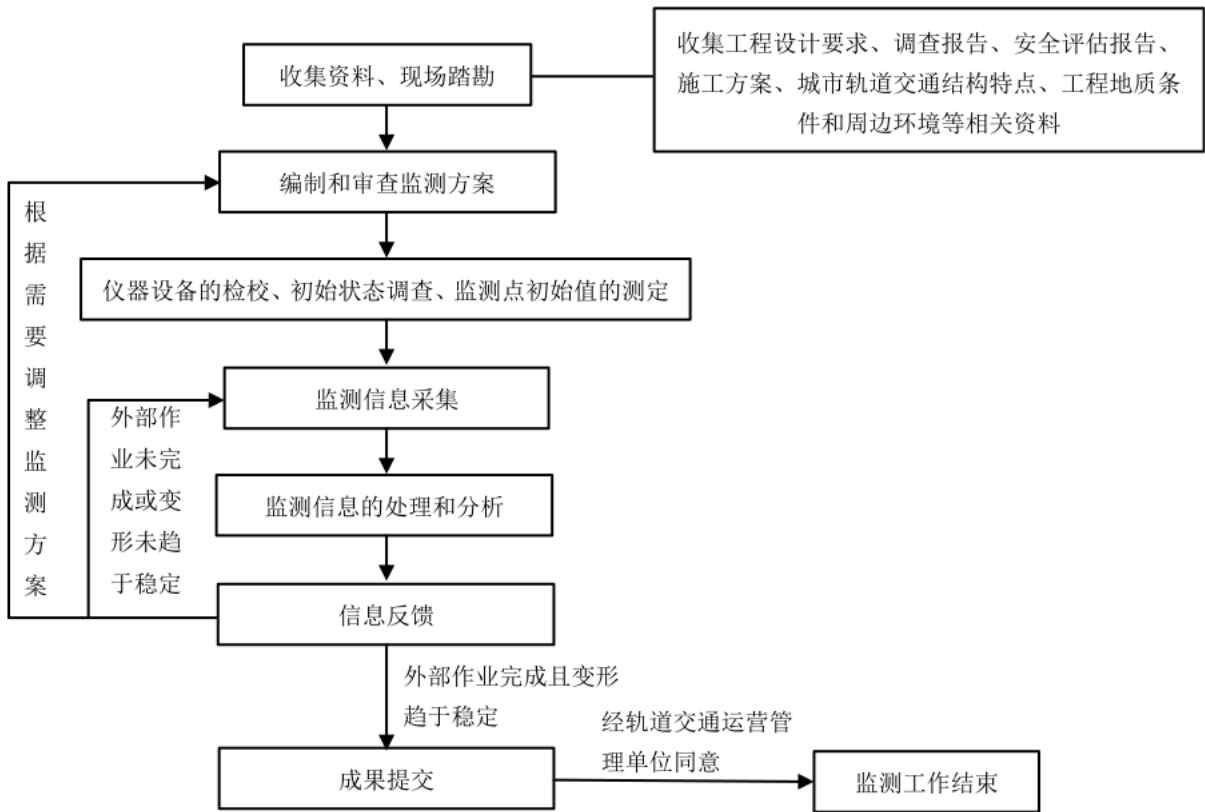


图 I 工程影响监测流程

7.2 工程影响监测等级划分

7.2.1 工程影响监测等级为本文件提出的一个新概念，是在行业标准 CJJ/T 202 外部作业影响等级的基础上，结合城市轨道交通结构所处地质条件复杂程度确定。

7.2.2 地质条件复杂程度是决定工程影响监测等级的一个重要指标，主要根据工程地质条件、水文地质条件和地质灾害及不良地质现象进行划分：

- 1 工程地质条件：城市轨道交通结构隧道、U 型槽洞身结构影响范围内，或地面轨道基础、高架轨道桥墩基础持力层及受力影响范围工程地质条件；
- 2 水文地质条件：地下水分布及年度变幅；
- 3 地质灾害及不良地质现象：岩溶地面塌陷危险性大小、滑坡、崩塌等不良地质条件易发程度。

7.2.3 外部作业影响等级分为特级、一级、二级、三级和四级。外部作业与既有结构的空间关系是确定外部作业影响等级的重要因素，接近程度和外部作业的工程影响分区宜按本文件附录 A 确定。本文件较行业标准 CJJ/T 202 外部作业影响等级部分做了如下修改：

- 1 接近程度部分增加高架结构基础、墩柱、上部结构分类；
- 2 接近程度部分修改外部作业位于轨道交通结构上部时对于接近程度的定义；
- 3 外部作业的工程影响分区部分增加较小影响区、外部作业类型增加桩基础、独立基础。

7.3 监测项目

7.3.2 鉴于爆破作业的特殊性及其危害性，在城市轨道交通安全保护区内实施爆破作业，应进行爆破振动速度监测，必要时还应监测结构薄弱部位的应力变化。

7.4 监测点布置

7.4.3 工程影响监测应在监测区内布设监测横断面，断面的布设应满足隧道结构的形式和受力特点，应符合本文件表 16 的要求，每个断面监测点的数量和部位可参考表III确定。监测断面布置间距参考行业标准 CJJ/T 202 相关规定，本文件根据工程影响监测等级进行了细化，同时监测断面布置间距还应参考地质条件复杂程度，当所处地质条件复杂时，监测断面间距在范围内取小值。

表 III 监测点位布设要求

结构工法	示意图
盾构隧道	

表 III 监测点位布设要求（续）

结构工法	示意图
矿山法隧道	
双洞明挖结构	
单洞明挖结构	

表Ⅲ 监测点位布设要求（续）

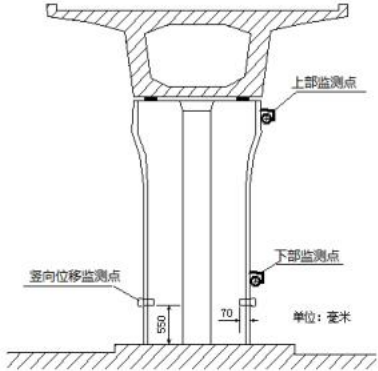
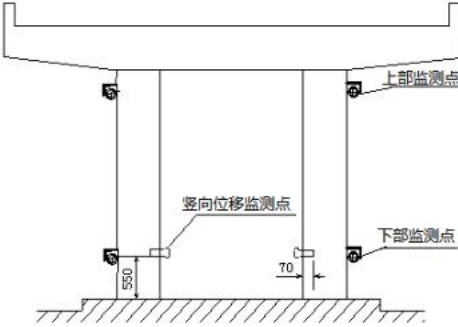
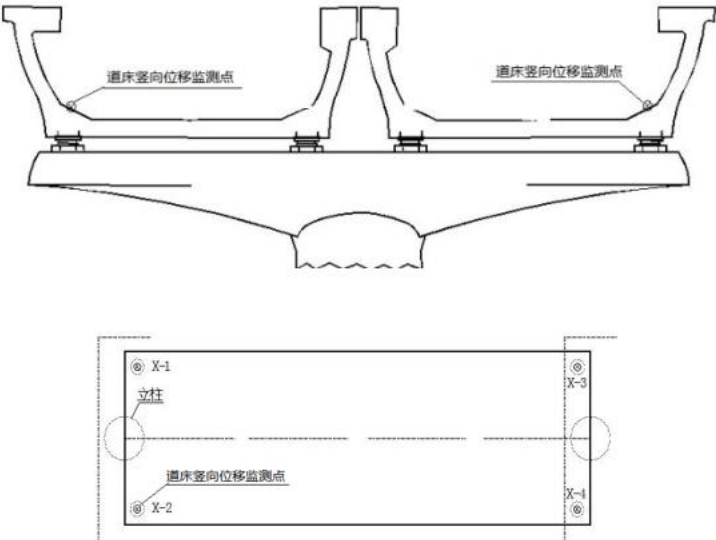
结构工法	示意图
高架单立柱结构	
高架双立柱结构	
高架道床	

表 III 监测点位布设要求（续）

结构工法	示意图
站厅及站厅与附属结构变形缝	
附属结构	
注1：具体到实际监测埋点的位置及数量还需综合考虑现状条件、设计方案及安全评估报告的要求； 注2：由于部分隧道顶部有接触网供电等设施，顶部监测点安装困难和通视受限，可适当偏离顶部中心线，但不宜过远。同时应充分考虑城市轨道交通运营管理的要求和意见，做到既能满足监测需求，也不影响运营秩序和形成安全隐患。 注3：对于采取高等减震措施、特殊减震措施（钢弹簧浮置板）的结构区段来说，由于特殊减震措施自身会有一定的变形发生，在道床上布设监测点的同时，应在同一横断面的结构上布设监测点。	

7.4.4 不同外部作业的监测范围根据工程影响监测等级按本文件表 17 确定，监测范围分为主要影响区（外部作业垂直投影范围）和次要影响区（两侧延伸区域）。两侧延伸区域范围主要依据工程影响监测等级和目前武汉市通用的延伸区域不小于 50 m 的原则来确定。

1 基坑工程外部作业监测范围应综合考虑降水影响，监测范围宜大于 DB42/T 159-2012 表 A2.3 降水设计参数经验值中影响半径。

7.7 水平位移监测

7.7.2 运营期间城市轨道交通结构是封闭的，为了实施掌握结构变形监测信息，尽量采用自动化进行监测，同时小角度法、极坐标法、前方交会法和自由设站法是水平位移观测常采用的方法，条件允许的情况下可采用或结合使用。

7.10 监测频率

7.10.3 为保证轨道交通结构在周边工程施工和运营阶段的安全，当测量过程中出现异常情况时，必须立即实施安全应急预案。与此同时，应提高观测频率或增加其他观测内容，获取更多、更全面、更准确的变形信息，从而为采取安全技术措施提供信息支持服务。

7.10.4 部分外部作业项目建设周期较长，在建设过程由于其它原因中途停工的情况也较多，监测单位可以根据现场的实际情况和监测的结果进行综合判断并报轨道交通运营管理部门许可后，并在确保城市轨道交通结构安全的情况下可以适当调整监测频率，但应做好现场追踪和定期巡查工作。

7.11 监测控制值

7.11.4 城市轨道交通工程结构安全监测过程中，当监测数据达到预警指标时，必须及时进行警情报送，警情报送宜采用系统自动预警的方式，及时将预警信息反馈到不同层级的管理人员，包含外部作业建设方、轨道交通运营管理部门等单位。

7.11.5 采用监测比值 G 反映外部作业施工过程中既有结构的安全状态，能够较为简便地掌握外部作业对城市轨道交通既有结构的动态影响程度。当监测数据超过结构安全控制值的 70%，即监测预警等级达到 C 级时，应立即停止外部作业，并开展施工过程安全评估工作，通过评审后方可继续进行外部作业。此处对行业标准 CJJ/T 202 中表 7.4.1 进行了修改，将监测预警等级 B 中监测比值 G 改为 $0.5 \leq G < 0.7$ ，监测预警等级 C 中监测比值 G 改为 $0.7 \leq G < 1.0$ ，修改后的预警标准严于行业标准。

8 自动化监测

8.1 一般规定

8.1.1 本条说明了自动化监测系统的硬件构成、对传感器自身的稳定性、量程和精度要求，以及安装时的注意事项。这些要求对于测量的技术手段选择、现场安装规程的制定具有指导性的作用。从安全的角度讲，传感器布置得越多越好，但从经济的角度考虑传感器的数量要在保证安全的前提下坚持少而精的原则。

8.1.2 本条说明了自动化监测系统软件应该具备的基本功能，同时明确了为保证系统正常运行需落实的必要防护措施。由于监测数据是保密数据，对网络的安全、系统的安全管理都做了具体的规定。

8.1.3 数据采集是自动化监测系统的三大主要功能之一，也是自动化监测系统中最为重要的一个环节，数据采集的质量和连续性直接关系到后续数据分析的结果和质量，数据采集的灵活性直接影响用户的体验和使用的方便性。本条对数据采集的功能做了明确的规定：方式流程要符合国家相关技术标准、用户能远程调整数据采集的周期、采集的数据宜同时在本地存储和远端的数据管理系统存储，入库前进行分类管理，遇到异常情况要自动报警等。

8.1.4 数据管理和分析功能是自动化监测系统中除数据采集之外的两大功能。因为在自动化监测系统正式工作之前的监测工作都是人工完成的，这些既有数据必须进入系统中统一管理；同时由于通信信号的中断或停电等多种原因致使系统自动采集的数据无法自动上传到数据管理系统；另外还有一些其他途径获得的数据等，以上三个原因说明了人工导入数据的功能是十分必要的。对原始数据的预处理能及时发现异常值或粗差，保证入库数据的正确性。对系统的分析最终结果的表现形式亦做了相应说明。

8.1.5 新仪器、新设备、新方法的应用是科技工作者的追求和责任，但对如何使用设定了条件，即必须能满足自动化监测的各项要求。

8.2 全站仪自动化监测

8.2.1 明确指出全站仪自动化测量使用的具体任务。

8.2.2 这是对应用于自动化监测任务的全站仪的性能、精度指标要求。

8.2.3 明确指出与全站仪配合的观测目标的要求。

8.2.4 明确指出全站仪观测的方法。

8.2.5 这是保证观测结果质量具体措施。

8.2.6 多台全站仪联合组网观测时，坐标统一的优势是方便成果的分析，使分析成果更客观、准确。尽管目前绝大多数自动化监测系统都不具备这样的功能，但对于武汉市来讲是非常必要的；因为武汉有多条地铁穿江、穿湖。

8.2.7 基准网为变形监测提供起始数据，基准网的稳定性判断是保证起始数据正确性的前提。

8.3 静力水准自动化监测

8.3.1 静力水准仪是沉降监测常用的高精度自动化仪器，它仅仅能进行沉降监测，对于其他类型的监测不适用。

8.3.2 不管是连通管式的静力水准仪还是液压力的静力水准仪测量的精度都非常高，这里规定的测量精度是一般的精力水准仪能达到的精度，也是从变形监测的要求提出的精度指标。

8.3.3 此条规定了静力水准线路布设的原则。

8.3.4 此条规定了静力水准测量布点的密度要求。

8.3.5 此条规定了静力水准仪现场安装的要求。

8.3.6 不同的仪器厂家所生产的静力水准仪计算沉降观测值的公式不尽相同，在使用时应该注意以下两点：一是计算沉降观测值应该采用该仪器厂家提供的公式；二是为了方便起见，在同一测段内应该采用相同的静力水准仪。

8.4 激光测距仪自动化监测

8.4.1 此条说明激光测距仪在轨道交通自动变形监测中的应用范围。

8.4.2 此条说明在轨道交通自动变形监测中激光测距仪的性能指标要求。

8.4.3 此条说明激光测距仪的现场安装方法。

8.4.4 此条说明激光测距仪的现场安装密度。

8.4.5 此条说明累计收敛变化量的计算公式。

8.5 电水平尺自动化监测

8.5.1 此条说明电水平尺在轨道交通自动变形监测中的应用范围。

8.5.2 此条说明在轨道交通自动变形监测中电水平尺的性能指标要求。

8.5.3 此条说明在轨道交通自动变形监测中应用多支电水平尺的作业方法。

8.6 光纤光栅自动化监测

8.6.1 光纤光栅振动测试及传感网络的设计应坚持长远规划的原则，结合测试对象的具体特点和场地条件，要根据结构物所处的环境、地理位置和地质条件、使用功能及重要性、结构型式、受力特点来确定监测目的、监测内容、监测频率和持续时间。应做到目的明确，有的放矢、安全可常、方案可行、技术先进、经济合理和便于维护。

8.6.2 基于光纤传感的交通工程结合健康监测系统的总体目标是通过直接或间接监测结构的局部和整体参数，来综合评价结构的动态性能、状态参数及损伤状况。监测的目的和功能包括但不限于以下：

- 1 验证结构设计、分析、试验时的假定和所采用的参数；
- 2 提高结构在施工过程中的安全性并使施工后的结构尽可能符合设计要求；

- 3 为结构日常保养和管理提供建议；
- 4 在结构状态存在安全隐患时及时提供预警；
- 5 当发生意外或灾害后，为结构状态评估和处理提供实际数据；
- 6 为新方法新技术的发展及应用提供建议。

9 监测成果

9.1 成果整理与质量检查验收

9.1.1 运营监测成果包含外业测量数据和内业处理结果，资料形式可以为电子版和纸质版，如现场监测资料、计算分析资料、图表、变形曲线、文字报告等。

9.1.3 测量人员通过外业测量取得现场监测资料后，在内业处理发现监测数据异常时，必须认真分析原因。根据数据异常的原因，结合现场工况和巡查情况等，进行判断是否应进行现场复核或重测，特别是数据达预警或者报警时，必须认真复核内外业资料。

9.1.5 监测工作事关轨道交通运营安全，对监测方法、监测仪器、监测人员、监测成果处理等全过程应进行严格的设计和检查，不能违反国家有关法律、法规和强制性技术标准的相关要求，且监测成果精度必须满足技术设计书的要求，对于外业测量和内业处理都不允许伪造测量成果。

9.2 成果提交与资料归档

9.2.1 监测成果包括日报、周报、月报、预警报告、阶段报告和总结报告等。监测结论为正常时向相关方报送日报、周报、月报，根据工程建设阶段出具阶段报告。如监测数据预警则必须及时发送预警报告。在所有监测工作结束后出具总结报告。

9.3 成果信息管理系统

9.3.3 运营监测管理信息系统是一个独立的子系统，其主要功能就是对涉及地铁运营的长期监测和保护区安全检查进行在线管理、查询、浏览、汇总统计、预报警等，随着地铁运营部分信息化建设的普及，该系统应当与所在城市运营地铁综合管理一体化信息平台对接。