

城市轨道交通结构安全保护技术规程

Technical code for projection structures of urban rail transit

(报批稿)

2022-XX-XX 发布

2022-XX-XX 实施

目 次

前 言	III
1 范围	4
2 规范性引用文件	4
3 术语和定义	4
4 基本规定	6
4.1 一般规定	6
4.2 外部作业影响等级	7
4.3 外部作业净距控制值	8
4.4 结构安全控制指标	9
5 既有结构保护	9
5.1 一般规定	9
5.2 现状调查和现场巡查	9
5.3 安全评估	10
5.4 地下结构保护	11
5.5 地面和高架结构保护	11
6 外部作业控制	12
6.1 一般规定	12
6.2 基坑工程	12
6.3 隧道工程	13
6.4 基础工程	13
6.5 降水工程	14
6.6 其他工程	14
7 接口改造	15
7.1 一般规定	15
7.2 技术要求	15
7.3 实施要求	16
8 安全监测	17
8.1 一般规定	17
8.2 监测项目	17
8.3 监测点布设	18
8.4 监测技术要求	19
9 地下结构病害治理	20
9.1 一般规定	20
9.2 安全状态分级	21
9.3 病害治理要求	23
附 录 A	25
附 录 B	29
附 录 C	30
附 录 D	33
附 录 E	34

附 录 F	37
附 录 G	39
本规程用词说明	42

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。

本文件由江苏省住房和城乡建设厅提出并归口。

本文件起草单位：华设设计集团股份有限公司、南京地铁集团有限公司、苏州轨道交通集团有限公司、同济大学、中铁第六勘察设计院集团有限公司

本文件主要起草人：余才高、王涛、张伯林、朱义欢、李浩、沈晓伟、张学华、郑军、张书丰、查红星、刘建国、肖军华、汪乐、高永

城市轨道交通结构安全保护技术规程

1 范围

本规程适用于江苏省内在建、已建成及已运营的城市轨道交通结构的安全保护。

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 50307 城市轨道交通岩土工程勘察设计规范
- GB 50497 建筑基坑工程监测技术规范
- GB 6722 爆破安全规程
- GB 50108 地下工程防水技术规范
- GB 50183 石油天然气工程设计防火规范
- GB 50251 输气管道工程设计规范
- GB 50156 汽车加油加气站设计与施工规范
- GB 50061 66KV 及以下架空电力线路设计规范
- GB 50545 110KV~750KV 架空输电线路设计规范
- GB 50289 城市工程管线综合规划规范
- GB/T 39559.4-2020 城市轨道交通设施运营监测技术规范 第四部分：轨道和路基

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

城市轨道交通结构 rail transit structure

保障城市轨道交通列车安全运营和结构体系稳定的主要受力结构，指城市轨道交通结构本体，即城市轨道交通既有结构，包括地面和高架结构、地下结构及相关附属结构，其中地下结构指采用明挖法、矿山法、盾构法等建设的地下车站、出入口或隧道。

3.2

控制保护区 control and protection area

为保证城市轨道交通结构的正常使用和安全，在其结构及周边的特定范围内设置的控制和保护区域。

3.3

特别保护区 special control and protection area

在城市轨道交通结构的控制保护区内，紧邻结构的一定范围内设置的重点保护区域。

3.4

外部作业 external action

在城市轨道交通结构周边进行的可能对其产生影响的各类外部工程，分为基坑、隧道、基础、降水及其他工程等，其他工程主要包括道路工程、绿化工程、管线工程、水利工程及冻结、起重、钻孔和爆破等作业。

3.5

安全评估 safety assessment

根据外部作业的设计及施工方案、城市轨道交通结构的安全保护方案及现状调查情况等，通过计算分析和工程类比，评估外部作业对城市轨道交通结构安全影响程度的工作。

3.6

影响等级 influence class

外部作业对城市轨道交通结构安全影响程度的分级。

3.7

净距控制值 value for net distance control

根据外部作业和城市轨道交通结构的特点，为保护结构安全，规定的外部作业区域外边线与城市轨道交通结构外边线之间的最小净距离。

3.8

安全控制标准 standard for safety control

根据城市轨道交通结构的安全现状及其保护要求，针对外部作业的特点，为保护城市轨道交通结构安全而制定的控制标准。

3.9

结构安全控制指标 control index for structural safety

根据城市轨道交通结构的安全现状及其保护要求，基于外部作业过程中城市轨道交通结构的响应特征，为保护城市轨道交通结构安全而选用的变形或内力等控制指标。

3.10

现状调查 investigation of present state

现状调查指对城市轨道交通结构的状态调查，包括外部作业实施时的工前调查、过程调查及工后确认。工前调查是对城市轨道交通结构原始状态的观察和记录；过程调查是外部作业过程中对城市轨道交通结构的跟踪监控；工后确认是在外部作业完成后对城市轨道交通结构现状的再次确认。

3.11

卸荷比 unloading ratio

地下结构顶部卸载量与其上方初始覆土重量的比值。

3.12

接口改造 interface transformation

当外部工程需与城市轨道交通结构相衔接时，采用改造城市轨道交通结构的方式，实现外部结构与城市轨道交通设施相连接的工程。

3.13

结构安全监测 structure safety monitoring

为保护城市轨道交通结构安全，采用仪器量测、现场巡查或远程视频监控等手段和方法，实时、动态地采集或收集反映城市轨道交通结构以及周边环境对象的安全状态、变化特征及发展趋势的信息，并进行分析和反馈。

3.14

监测预警等级 alarming class on monitoring

根据监测值与相应的结构安全控制指标值的比值，对城市轨道交通结构实行监测预警管理的分级。

3.15

地下结构病害 underground structural disease

影响城市轨道交通结构安全性和耐久性的现象，包括渗漏水、管片裂损、管片错台、不均匀沉降及横断面变形等。

4 基本规定

4.1 一般规定

4.1.1 城市轨道交通结构安全保护包含城市轨道交通结构保护、外部作业控制（含接口改造）、安全监测及地下结构病害治理等内容。

4.1.2 城市轨道交通结构安全保护工作应利用数字化技术手段搭建信息化管理平台。信息化管理平台应实现巡查、项目管理、安全监测及应急处置等各类数据的互联互通与共享。

4.1.3 在城市轨道交通周边进行外部作业时，应制定安全可靠的作业方案和保护措施，外部作业不得影响城市轨道交通结构的承载能力、正常使用、耐久性和其他特殊功能。

4.1.4 城市轨道交通沿线应设置控制保护区，设置范围应符合下列规定：

- a) 地下车站与隧道结构外边线外侧不小于 50m，其中，过江（河、湖）段隧道结构外边线不小于 100m；
- b) 地面和高架车站以及线路轨道结构外边线外侧不小于 30m；
- c) 出入口、换乘通道、通风亭、冷却塔、车辆段、停车场、控制中心、变电站牵引变电所等附属建、构筑物结构外边线外侧不小于 10m。

4.1.5 在城市轨道交通控制保护区范围内应设置特别保护区，设置范围应符合下列规定：

- a) 地下车站与隧道结构外边线外侧不小于 5m，其中，过江（河、湖）段隧道结构外边线不小于 50m；
- b) 地面和高架车站以及线路轨道结构外边线外侧不小于 3m；

- c) 附属结构（含出入口、换乘通道、通风道）、车辆段、停车场、控制中心、变电站牵引变电所等建（构）筑物结构外边线外侧不小于 5m。
- 4.1.6 遇特殊工程地质和水文地质、特殊的外部作业或既有结构存在较大结构病害时，城市轨道交通控制保护区和特别保护区范围应适当扩大。
- 4.1.7 城市轨道交通线网中相邻线路分期建设时，先建工程应充分考虑后建工程的建设需要，为后建工程预留实施条件。
- 4.1.8 城市轨道交通结构的安全控制应包括：外部作业影响等级、外部作业净距控制值、结构安全控制指标。

4.2 外部作业影响等级

- 4.2.1 外部作业影响等级应综合考虑其作业特点、与城市轨道交通结构的空間关系、城市轨道交通结构类型与现状及工程地质条件与水文地质条件等确定。
- 4.2.2 外部作业为基坑工程、隧道工程（矿山法、盾构法或顶管法工程）等时，其影响等级应按表 1 进行划分，其中接近程度和外部作业的工程影响分区宜按本规程附录 A 确定。

表1 外部作业影响等级的划分

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，表中的影响等级可降低一级，四级以下仍定为四级；软土地区，表中的影响等级应提高一级，特级时不再提高； 注2：围岩级别应按现行标准《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB50307中的有关规定确定。				

- 4.2.3 外部作业为其他工程（道路、绿化及外部管线工程等）时，其影响等级宜根据城市轨道交通的结构型式、外部作业与城市轨道交通结构的相对位置关系，由附录 B 确定；采用明挖工法的管线工程可参照基坑工程进行分级。
- 4.2.4 当外部作业影响范围内存在多种类型的城市轨道交通结构设施时，可根据城市轨道交通结构类型的不同，分别确定影响等级，并取其较高等级为工程影响等级。
- 4.2.5 特殊情况下外部作业影响等级按下列原则调整：
- 当城市轨道交通结构处于复杂的工程地质和水文地质条件或存在地质灾害的情况时，外部作业影响等级应提高一级；
 - 对于涉及降低或抽取承压水的外部作业工程，其影响等级应提高一级；
 - 联络通道等结构特殊区段、结构病害严重或结构变形过大时，外部作业影响等级可提高一级；
 - 当基坑深度超过 5m 时，其临近城市轨道交通结构侧边长超 100m 或开挖面积超 10000m²，其影响等级可提高一级。
- 4.2.6 重大影响外部作业指对城市轨道交通结构安全有重大影响的项目，主要包括：
- 影响等级划分为特级、一级的外部作业；

- b) 影响等级为二级的外部作业，但城市轨道交通结构周边土体以淤泥、淤泥质土或其他高压压缩性土为主或城市轨道交通结构处于断裂破碎带、岩溶、土洞、强风化岩、全风化岩或残积土等不良地质体或特殊性岩土发育区域；
- c) 对城市轨道交通结构影响较大的地下水作业，特别是抽降承压水；
- d) 穿越城市轨道交通地下结构的作业，不含尺寸及埋深较小的明挖小型管沟、明渠及牵引拖拉管等平面交叉作业。

4.3 外部作业净距控制值

4.3.1 外部作业净距控制值宜符合表2的规定。

表2 外部作业净距控制值 (m)

外部作业		既有结构类型	地下结构		地面结构	高架结构
		装配式	现浇			
围护桩、地下连续墙*			≥7.0	≥5.0	≥5.0	≥5.0
工程桩*	非挤土桩		≥5.0	≥3.0	≥3.0	≥3.0
	挤土桩		≥30.0	≥20.0	≥6.0	≥6.0
锚杆、锚索、土钉（末端）*			≥10.0	≥6.0	≥6.0	≥6.0
上方基坑#			≥4.0	—	—	—
穿越隧道#			≥2.0	—	—	—
卸荷比			≤0.15	—	—	—
钻探孔*			≥6.0	≥3.0	≥3.0	≥3.0
起重、吊装设备（站位及吊物）			—		≥6.0	≥6.0
搭建棚架及宣传标志			—		≥6.0	≥6.0
存放易燃物料			—		≥6.0	≥6.0
浅孔爆破*			≥15.0		≥15.0	≥15.0
深孔爆破*			≥50.0		≥50.0	≥50.0
注3：装配式地下结构指盾构法或顶管法隧道以及其他拼装地下结构；						
注4：灌注桩采用冲孔、振动工艺时，按挤土桩考虑；围护桩、地下连续墙不含接口改造作业；						
注5：上方基坑作业的竖向净距不宜小于1.0D，且不小于4.0m；下穿隧道作业的竖向净距不宜小于1.0.D，且不小于2.0m；D为新建隧道及既有结构外径或宽度的最大值；						
注6：当地基土以软弱土为主时，表中的净距控制值宜适当提高，并从严控制；对突破净距控制值的，须经专题专项研究确定。						
* 指外部作业与城市轨道交通结构外边线之间的水平投影净距						
# 指外部作业与城市轨道交通结构外边线之间的竖向净距						

4.3.2 油气、燃气、天然气等易燃且易爆物的净距控制值应按现行国家标准《石油天然气工程设计防火规范》GB50183 和《输气管道工程设计规范》GB50251 的要求，综合考虑其防火、防爆的安全保护要求后确定。

4.3.3 汽车加油加气站的净距控制值应按现行国家标准《汽车加油加气站设计与施工规范》GB50156 的要求确定，并应在临近城市轨道交通结构侧设置防爆墙体，防爆墙体的设置应符合《建筑设计防火规范》GB50016 的相关规定。

4.3.4 外部作业与越江（河、湖）城市轨道交通地下结构的净距控制值应根据实际情况进行确定，不宜小于表2中相应数值的3倍。

4.3.5 高压电力管线、架空电力线等设施的净距控制值应按现行国家标准《66kV及以下架空电力线路设计规范》GB 50061、《110kV~750kV 架空输电线路设计规范》GB50545及《城市工程管线综合规划规范》GB50289等的要求确定。

4.4 结构安全控制指标

4.4.1 结构安全控制指标包括：位移、差异沉降、相对收敛、变形曲率半径、变形相对曲率、变形速率、结构裂缝、管片接缝张开量与管片错台、附加荷载、振动速度等。

4.4.2 结构安全控制指标值的选择应遵循可操作性原则，并结合城市轨道交通结构的特点、安全现状、结构保护及运营安全要求、外部作业对既有结构的影响特征等合理选用。当存在时空相近的多项外部作业时，应综合考虑叠加效应，合理分配结构安全控制指标。

4.4.3 外部作业引起的城市轨道交通结构附加荷载及变形不得超过安全控制指标的控制值，累计变形不得超过安全控制指标的累计值，道床与轨道结构变位不得影响列车运营安全。

4.4.4 既有结构变形或病害较严重、存在维修或加固情况的，结构安全控制指标值应根据现状评估结果确定，并从严控制。

4.4.5 结构安全控制指标值宜符合本规程附录C的规定。

5 既有结构保护

5.1 一般规定

5.1.1 在城市轨道交通控制保护区内从事外部作业时，事先应开展现状调查、地质条件调查及环境调查，并制定结构安全保护方案。

5.1.2 在城市轨道交通控制保护区内从事重大影响外部作业时，应对既有结构进行安全评估和安全监测，在结构专项保护方案的基础上制定应急预案；外部作业影响等级为二级时，宜按上述规定执行。

5.1.3 当外部作业发生重大设计变更或施工变更时，应重新编制结构安全保护方案，并进行可行性论证。

5.1.4 外部作业实施时，应结合现场巡查和监测数据，动态调整结构安全保护实施方案。

5.2 现状调查和现场巡查

5.2.1 城市轨道交通结构现状调查包括工前调查、过程调查及工后确认。现状调查应准确、全面反映结构的安全现状。

5.2.2 城市轨道交通结构的调查范围应根据外部作业的类别及其影响等级综合确定，并宜符合下列规定：

表3 现状调查范围

影响等级 外部作业类别	特级	一级	二级	三级	四级
基坑工程	L+6h	L+（4~6）h	L+4h	L+2h	L
隧道工程	L+6D	L+（4~6）D	L+4D	L+2D	L
管线工程	L+20m	L+10m	L+5m	L	-

道路工程	L+30m	L+20m	L+10m	L	-
<p>注7：L表示外部作业的平面投影范围，h表示基坑埋深，D表示隧道外径或宽度，“m”为单位米；</p> <p>注8：其他外部作业，如降水、桩基、地基加固等工程，应结合降水影响范围、接近程度、桩径、地质条件、施工工艺、地区工程经验等综合确定其调查范围。</p>					

5.2.3 工前调查应在安全评估之前进行，调查应包含但不限于以下内容：

- 地质条件和外部作业场地周边环境条件；
- 勘察、设计、施工、竣工、大修和专项维修、前期外部作业影响扰动记录及监测数据等资料；
- 既有结构的变形及病害情况，重点是地下结构的渗漏水、道床脱空、不均匀沉降、管片裂损、管片接缝张开与错台等；
- 重大影响外部作业调查范围内的结构断面测量，其中盾构法隧道宜进行逐环测量，明挖及矿山法隧道断面测量间距不宜大于5m。

5.2.4 施工过程中出现以下情况时，宜开展过程调查工作：

- 既有结构监测数据的变化量、变形速率均超过安全控制指标的60%或变化量与变形速率之一超过安全控制指标的80%；
- 既有结构原有病害出现较快发展或新增病害较多。

5.2.5 工后确认应在外部作业完成且监测数据稳定之后开展。确认范围与内容应与工前调查一致，当外部作业对既有结构造成较大影响时，应适当扩大工后确认的范围与内容。

5.2.6 工后确认应与工前调查结果进行对比，结合病害及变形的发展情况，综合评估既有结构的安全性、耐久性及对运营安全的影响。

5.2.7 外部作业现场巡查应采取日常巡查和重点巡查相结合的方式，对重大影响外部作业，应进行重点巡查。

5.2.8 当城市轨道交通结构预留外部接口时，外部作业实施期间还应检查接口处的安全防护情况。

5.2.9 当现场巡查发现既有结构出现异常时，应结合监测数据等过程调查的资料，对结构进行安全状态分析，并采取有效措施降低不利影响。

5.3 安全评估

5.3.1 安全评估宜贯穿于外部作业的设计、实施等各阶段，包括城市轨道交通结构的现状评估、外部作业影响预评估、外部作业施工过程评估和外部作业影响后评估，安全评估的流程如图1所示。

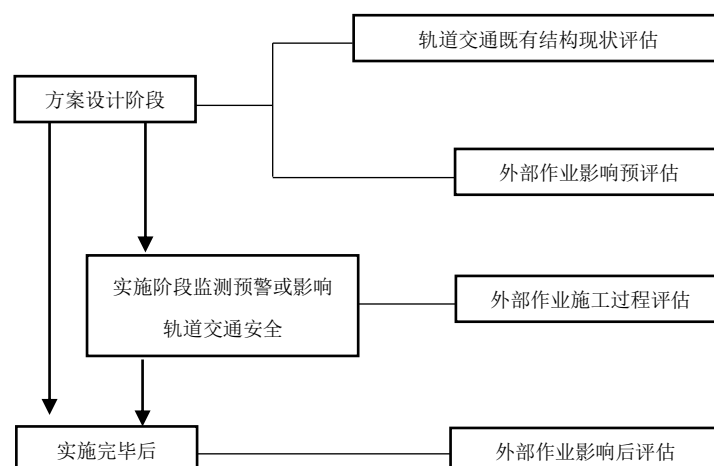


图1 安全评估流程

- 5.3.2 城市轨道交通结构的现状评估应在外部作业实施前,通过现状调查、检测、测量和计算分析等手段,评估当前城市轨道交通结构的安全状态,并确定相应的结构安全控制指标值。
- 5.3.3 外部作业影响预评估应在外部作业实施前,采用理论分析、数值模拟和工程类比等方法,预测外部作业对城市轨道交通结构的影响程度,评估外部作业方案和既有结构保护方案的可行性。
- 5.3.4 外部作业施工过程评估应综合城市轨道交通结构的监测数据、过程调查和外部作业预评估成果,及时评估结构当前的安全状态。
- 5.3.5 外部作业影响后评估应在外部作业完成后进行,根据对城市轨道交通结构造成的影响程度评估结构的安全控制指标;若结构变形或产生的病害较严重,应根据城市轨道交通结构安全和运营安全要求,提出相应的修复、加固等治理措施。
- 5.3.6 安全评估应形成专项评估报告,内容包含对城市轨道交通结构的安全影响分析、结论及建议等,并应符合附录 D 的技术要求。

5.4 地下结构保护

- 5.4.1 城市轨道交通地下结构上方区域不应作为外部作业的加载范围。确需加载的,如土方、材料堆场,外部作业的重型设施、设备及重型车辆等,应严格控制荷载范围或采取有效措施转移结构上方荷载。
- 5.4.2 在城市轨道交通控制保护区内进行加载或卸载作业时,应验算对地下结构安全的影响,并应满足相应的结构安全控制指标。
- 5.4.3 在城市轨道交通控制保护区内进行工程勘探、拉锚、降水试验等钻孔作业时,应严格控制其与既有地下结构的净距,并制定安全可靠的作业方案。
- 5.4.4 在城市轨道交通控制保护区内新建建筑物时,应验算其建成后在地层中产生的附加荷载对既有地下结构的影响。对于新建高层建筑,可采取增大建筑退界、减少结构荷载、增大桩基刚度或采用端承桩等措施,降低外部作业完成后地层的后续沉降对既有地下结构的影响。
- 5.4.5 在城市轨道交通结构上方进行原有建筑拆除时,应采取逐层拆除辅以监测等有效措施避免既有地下结构上方荷载的急剧变化。
- 5.4.6 在城市轨道交通结构上方进行道路、管线等外部作业时,应与既有地下结构的防水保护层保持合理的安全距离。当外部作业需部分凿除结构压顶梁或冠梁时,不得影响既有结构本体安全和抗浮安全,并满足防渗漏要求。
- 5.4.7 临近城市轨道交通地下结构进行注浆、旋喷等有附加压力的外部作业时,宜通过工程类比或相似地层中的压力控制试验,合理确定压力控制参数,使作用于既有结构侧壁上的附加荷载不大于 20kPa。
- 5.4.8 过江(河、湖)段城市轨道交通控制保护区内不应进行采砂、抛锚或拖锚等水下作业,水下清淤疏浚作业应保证城市轨道交通结构上方覆土厚度不小于设计要求。

5.5 地面和高架结构保护

- 5.5.1 外部作业禁止施工侵限、车辆碰撞、设备侧翻、物体坠入与占用轨道上方空,并应防止火灾、水淹等危及城市轨道交通结构和设备设施安全的事件。
- 5.5.2 上跨城市轨道交通地面或高架结构的外部作业,与轨道及接触网等的净空应满足行车安全和运营维保的要求,并应针对城市轨道交通结构和行车安全设置防护措施,严禁掉落任何物体。
- 5.5.3 与城市轨道交通地面或高架结构交叉的市政道路应设置限高和防护、防撞设施。
- 5.5.4 与城市轨道交通地面或高架结构并行的桥梁等交通设施,应保持足够的安全距离或设置通长的防撞墙。
- 5.5.5 当城市轨道交通结构邻近高边坡、高挡墙、高压铁塔等高大建(构)筑物时,外部作业应保证高大建(构)筑物及其基础的安全。
- 5.5.6 城市轨道交通地面或高架结构上方进行跨线架空作业时,应满足本规程 3.3.1 条和现行国家标

准《66KV 及以下架空电力线路设计规范》GB 50061、《110KV~750KV 架空输电线路设计规范》GB50545 的有关规定。

5.5.7 在水域段临近城市轨道交通高架结构进行外部作业时，应采取有效措施避免撞击水中桥墩和桥面结构。

5.5.8 外部作业完成后，还应考虑建（构）筑物使用阶段对城市轨道交通运营可能产生的影响，并采取对应的安全防护措施。

6 外部作业控制

6.1 一般规定

6.1.1 在城市轨道交通控制保护区内进行外部作业前，应根据作业场地、工程地质和水文地质条件、城市轨道交通结构现状，确定既有结构的安全控制标准和外部作业工程的实施方案。

6.1.2 外部作业工程实施方案包括外部作业设计方案、安全评估、城市轨道交通结构专项保护方案和应急预案等。同一场地存在多项外部作业时，应综合考虑各项作业对城市轨道交通结构产生的叠加影响。

6.1.3 临近城市轨道交通线路建设对振动、噪声等作用敏感的建筑时，应充分考虑城市轨道交通运营对其产生的环境影响，并做好相关控制措施。

6.1.4 外部作业引起城市轨道交通结构损伤时，应及时采取加固措施，加固后的城市轨道交通结构承载能力、正常使用功能及耐久性能等应满足后续使用年限内的安全运营要求。

6.1.5 外部作业应综合考虑施工、工后沉降或运营振动等对城市轨道交通结构的直接不利影响，同时也应考虑因外部作业引起周边建（构）筑物、地下管线变形过大或破坏对城市轨道交通结构产生的间接不利影响。

6.2 基坑工程

6.2.1 外部基坑工程应遵循“近浅远深，近小远大，先远后近”的设计、施工原则，并综合考虑基坑施工全过程及建筑施工对城市轨道交通结构的不利影响。

6.2.2 外部基坑的不同部位可采用不同的外部作业影响等级，相邻部位的级差不宜大于一级，并应设置可靠的过渡措施。

6.2.3 当外部基坑横跨城市轨道交通结构上方时，宜通过分坑措施将外部基坑分为上方基坑和侧方基坑，根据其不同属性分别进行设计与施工，并综合考虑各分坑的叠加影响。

6.2.4 当外部基坑位于城市轨道交通结构正上方时，竖向净距控制宜满足本规程表 3.3.1 的相关规定，有特殊要求时应通过专项评估确定既有结构上方的覆土厚度。

6.2.5 对于软土地区规模较大的外部基坑工程，应通过分区或分坑措施降低单体基坑的开挖面积，并明确单体基坑的施工时序，减少时空效应影响。

6.2.6 当外部基坑横跨城市轨道交通结构时，分坑措施应符合下列规定：

- a) 采取地基土体加固措施时，加固体与城市轨道交通结构的水平及竖向净距均不宜小于 2m；
- b) 单体基坑卸荷比不宜超过 0.15，城市轨道交通结构安全状态高于 2 级时应从严控制，必要时可在基坑内设置临时压重措施，卸荷比可根据附录 E 估算；
- c) 基坑沿既有结构纵向分区长度不宜超过基坑与既有结构的竖向净距；
- d) 既有结构上方地下室宜增加抗拔措施。

6.2.7 基坑土方开挖应充分利用时空效应规律，遵循“分层、分块、限时”的原则。重型机械设备、土方运输车辆的行进路线应避开城市轨道交通正上方区域，地面荷载应满足设计要求。

6.2.8 基坑工程的围护结构及支撑系统应保证与城市轨道交通结构的安全距离，当外部作业影响等级为特级、一级或有特殊要求时，应采用整体刚度较大的支护结构体系，并匹配相应的施工辅助措施以降

低施工影响。

6.2.9 支撑系统应根据基坑安全等级、规模、平面形状及城市轨道交通保护要求综合确定。当城市轨道交通结构安全保护要求较高或有特殊要求时，针对钢支撑体系宜采用自动伺服系统。

6.2.10 基坑开挖影响深度内的潜水、微承压水与承压水控制应符合本规程第 6.5 节的相关规定。

6.2.11 基坑开挖至基底设计高程时，应及时施做垫层和结构底板，严禁基坑长时间暴露，邻近城市轨道交通结构侧的结构底板混凝土宜延伸至围护结构边。基坑内的局部深坑应在浅部底板施工完成后进行。

6.2.12 临近城市轨道交通结构侧的基坑围护结构宜与地下室结构侧墙密贴，且应按一级防水要求设计。

6.2.13 临近城市轨道交通结构侧的基坑围护结构与地下室结构之间存在空隙时，宜采用素混凝土回填密实，不得采用杂填土、建筑垃圾等性质较差或不稳定的材料。当空隙较大，回填素混凝土不经济时，可在地下室各层楼板标高处浇筑不小于 600mm 厚的混凝土或不小于 40mm 厚的钢筋混凝土支撑板带。

6.2.14 临近城市轨道交通结构侧的基坑支撑拆除及换撑等应采取安全可靠的作业方案，并应采用影响较小的支撑拆除方式。

6.3 隧道工程

6.3.1 新建隧道上穿、下穿或侧穿城市轨道交通结构的设计与施工方案，应综合考虑工程地质与水文地质条件、穿越净距、场地环境等因素选用合理的工法，并应优先选用施工扰动较小的盾构法、顶管法等非开挖技术，距离较近时应考虑设置隔离措施。

6.3.2 新建隧道与城市轨道交通结构交叉时，线路宜设计为直线，宜优先从结构上方垂直穿越，尤其是大口径压力管；从结构下方穿越时应符合表 3.3.1 和第 3.3.4 条的相关规定，并应避开变形缝、结构开洞等薄弱位置。

6.3.3 新建隧道施工前，应对城市轨道交通结构进行变形和受力验算，制定抗隆起、抗沉降专项方案和应急预案。当不满足控制指标时，应采取地层预加固、隧道刚度增强等措施，以降低穿越施工对既有结构的影响。

6.3.4 新建隧道采用盾构法、顶管法等非开挖工法施工时，应符合以下规定：

- a) 穿越施工前设置试验段，根据试验结果确定一套优化的施工参数；
- b) 在结构交叉段设置特殊管片并预留更多注浆孔以备不时之需，遵循微扰动掘进原则，进行组织施工，减小穿越影响；
- c) 不得在穿越影响区内进行换刀、停机和姿态大幅度调整等作业；
- d) 实施高精度自动化监测。

6.3.5 新建隧道穿越施工时不宜进行降水作业，如需降水应进行专项论证。

6.3.6 新建隧道为有水、有压管线时，需加强防护，防止结构渗漏对城市轨道交通结构造成不利影响。当新建隧道采用钢管、铸铁等导电材料时，还应采取主动防护措施，防止杂散电流对新建管道的腐蚀。

6.3.7 软弱地层中盾构法或顶管法隧道近距离侧穿城市轨道交通结构时，宜采取设置隔离桩、地层加固等措施，加固措施应选用扰动较小的施工工法。

6.4 基础工程

6.4.1 浅基础作业在城市轨道交通结构上产生的附加荷载，并与其他附加荷载叠加不宜超过 20kPa。

6.4.2 地基处理作业应采用对环境影响小、施工质量好的施工工法工艺，不宜采用预压、强夯、挤（振、冲）等对环境影响较大的施工工艺，并应预先在城市轨道交通结构安全影响范围外进行试验施工，确定施工工艺和参数。

6.4.3 桩基作业应综合考虑下列因素对城市轨道交通结构的不利影响：

- a) 桩基的成孔质量；
- b) 不同桩型及沉桩工艺的振动效应、挤土效应；

- c) 上部结构通过桩基传递至土层中的附加应力;
- d) 单桩荷载水平和桩顶荷载。

6.4.4 对距离城市轨道交通隧道 $2D$ (D 为地下结构外径或宽度) 范围内的非嵌岩桩, 其桩底深度宜超过隧道底部 $0.5D$ (影响等级为一级及以上时取 $1.0D$), 并不小于 $3m$ 。

6.4.5 桩基作业应优先选用施工影响小的桩型和非挤土桩。当采用挤土或半挤土桩时, 应评估挤土效应对城市轨道交通结构的影响, 并采取预钻孔、设置防挤沟或隔离墙等措施。

6.4.6 钻孔桩距离城市轨道交通结构较近时, 可采用减少桩径、提高泥浆护壁质量、间隔跳开施工等措施提高成桩质量, 减少孔壁坍塌等的不利影响; 有特殊要求时, 应采用减少施工影响的措施, 如套筒护壁或加固土体等形式。

6.4.7 采用套筒施工时, 套筒回旋下压、成孔与成桩等应连续进行, 同时应结合地层条件, 确定套筒分节长度。

6.4.8 桩基施工前应进行试桩确定施工工艺, 数量不宜小于 3 根; 成桩施工顺序应按“先近后远, 跳浜施工”的原则, 并符合下列规定:

- a) 对垂直于既有结构轴线的横向排桩, 应遵循先近后远的实施原则;
- b) 对平行于既有结构轴线的纵向排桩, 宜遵循先中间后两端的实施原则;
- c) 对沿既有结构轴线两侧的桩基, 宜对称实施;
- d) 宜控制挤土桩的沉桩速率, 单日沉桩数量不宜过多, 并根据监测情况及时调整。

6.5 降水工程

6.5.1 城市轨道交通控制保护区内的降水工程, 应采取措施避免降水作业期间的流砂、管涌、坑底突涌及降水引起的地层较大沉降等破坏, 编制降水方案, 预估承压水或微承压水水位降低情况及降水施工影响。

6.5.2 当外部降水作业引起城市轨道交通结构周边地下水位变化时, 应验算既有结构的受力安全。

6.5.3 城市轨道交通结构周边为深厚砂层、软土等特殊性地层时, 宜采用合适的排水、降水、截水或回灌等地下水控制技术, 控制既有结构周边地层的水位变化幅度。

6.5.4 降水对城市轨道交通结构会产生重大影响的外部项目宜采用封闭截水设计, 并在作业前进行抽水试验, 也可通过水下声呐等检测技术确认截水系统的隔水效果和质量。

6.5.5 强透水性地层中, 若因客观条件难以形成封闭止水系统, 可采取下列措施减少降水对城市轨道交通结构的影响:

- a) 采用悬挂式竖向隔水帷幕和水平封底隔渗相结合;
- b) 按照近浅远深的原则布置降水系统;
- c) 增大止水帷幕深度、设置坑外地下水回灌井;
- d) 采用分区分坑按需降水。

6.5.6 当需要降承压水时, 降水作业还应符合下列规定:

- a) 坑内降压井的滤管底部宜高于止水帷幕底, 其高差应根据水文地质条件和降水试验或地区经验综合确定;
- b) 选择合适的滤网、滤料, 并确保成孔和回填滤料的施工质量, 防止抽水带走土层中的细颗粒;
- c) 根据现场抽水试验及渗流场计算结果, 结合开挖工况, 根据“按需降压”的原则确定降水井布置方案。

6.6 其他工程

6.6.1 道路与桥梁工程的外部作业应综合考虑堆载和卸载、施工荷载、道路使用期间的车辆荷载等对城市轨道交通结构安全的影响。

6.6.2 城市轨道交通控制保护区内的地下管线工程应符合下列规定：

- a) 采用顶管法施工时，应考虑工作井的基坑、进出洞加固措施、工作井后背墙的承载力对城市轨道交通结构的不利影响；穿越城市轨道交通施工区段宜采取跟踪注浆措施；
- b) 采用拖拉管施工时，应严格控制导向钻孔轴线，管线与回扩孔之间的空隙应注浆充填饱满；
- c) 采用明挖法施工时，应符合本规程第 5.2 节基坑工程的规定；
- d) 输油、输气、供水等压力管道不应下穿城市轨道交通地下和地面结构；
- e) 管道接头部位应采取可靠的密封、刚度加强或土体加固等措施，防止接头渗漏引起的城市轨道交通结构周边水土流失；
- f) 采用钢管、铸铁等易腐蚀材料的管道，应结合城市轨道交通杂散电流的影响采取主动防护措施。

6.6.3 城市轨道交通控制保护区内的爆破作业应符合下列规定：

- a) 不应在城市轨道交通控制保护区内进行爆破作业。由于特殊情况需要爆破作业的，应进行爆破安全评估和爆破设计与施工审查，并满足本规程第 3.3.1 条和现行国家标准《爆破安全规程》GB 6722 的规定；
- b) 爆破作业在城市轨道交通结构上产生的振动速度不应超过 2.5cm/s，有特殊要求或安装有精密设备时，振动速度应从严控制；爆破作业时间应选择在城市轨道交通非运营期间进行；
- c) 当采取爆破作业拆除建（构）筑物时，应采取有效措施控制重物倒塌或坠落对城市轨道交通结构产生的冲击和振动影响；
- d) 应采取控制爆破作业，不得进行硐室爆破、深孔爆破等药量较大的爆破作业。

6.6.4 城市轨道交通控制保护区内的其他作业，应符合下列规定：

- a) 冻结法外部作业宜采取快速冻结或间歇冻结、注浆填充和工作面防水或强制解冻等措施降低地层冻胀、融沉对结构产生的不利影响；
- b) 塔吊等起重吊装设备与城市轨道交通结构的净距应满足表 2 的要求，其作业半径不应与城市轨道交通特别保护区范围重叠，且应采取有效措施防止起重吊装设备倾倒在城市轨道交通结构上方；
- c) 钻探（孔）作业与城市轨道交通结构的净距应严格满足表 3.3.1 的要求，探孔完成后应采取有效封堵措施；
- d) 河道整治等水利工程应综合考虑河道疏浚、堤防加固、蓄水等作业对城市轨道交通结构的不利影响。

7 接口改造

7.1 一般规定

7.1.1 接口施工或改造作业对城市轨道交通结构的影响等级参照外部基坑作业执行，当地质条件复杂或降承压水影响较大或未预留接口时，相应的影响等级应提高一级。

7.1.2 接口改造作业应充分考虑对已运营车站的影响，且应满足车站消防疏散、防洪、人防、安保、系统设备等正常使用功能和安全要求。

7.1.3 接口改造作业应符合国家、地方相关规范及技术标准的要求，应综合考虑改造作业需求和既有结构特点，除满足新建结构的自身安全外，还应保证既有结构及设施的安全，并满足既有线路的运营安全。

7.2 技术要求

7.2.1 接口改造作业前应查明场地环境、既有结构的设计及施工资料、结构使用情况及安全状态等，根据改造要求和目标，制定专项作业方案。存在重大影响的接口改造作业，应进行安全评估，并采取有

效措施保证结构安全。

7.2.2 接口改造作业应明确改造内容和范围，考虑结构的整体性，按变形协调的原则进行设计，并与实施方案紧密结合，采取有效措施保证新增结构与既有结构可靠连接。

7.2.3 既有结构的破除、改造和新建结构的基坑支护、降水等实施方案应尽量减少对既有结构的影响，避免造成结构构件损伤；当既有结构构件产生损伤时，应及时采取有效的处置措施，治理后构件应满足后续使用年限的要求。

7.2.4 改造中及改造后的既有结构和新建结构应分别进行施工和使用阶段的承载力计算、变形计算和稳定性验算。

7.2.5 接口改造工程应采取安全可靠的防淹措施，满足改造后工程的防洪和排水要求。对采用下沉式结构连接的接口工程，连接处地坪标高应低于相连城市轨道交通结构地坪标高，且外部排水系统应满足百年一遇设防标准，采用双电源供电，严禁倒灌。

7.2.6 改造后的接口应满足城市轨道交通结构的建筑功能需求，在接口与城市轨道交通结构之间应视情况设置变形缝，并不得降低既有结构的使用年限、耐久性和安全性。

7.2.7 城市轨道交通结构接口改造工程的防水等级和防水标准要求，不应低于城市轨道交通结构的相关标准，并应符合现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108 的规定。

7.3 实施要求

7.3.1 城市轨道交通结构的接口改造设计与施工，应具备以下资料：

- a) 场地岩土工程勘察资料、既有结构及机电设备的设计图纸、既有结构施工记录及竣工图等资料，并应通过现场调查、测绘、物探或检测等手段进行补充；
- b) 既有结构使用现状的监测或鉴定资料，包括沉降观测、裂缝、倾斜观测等数据；
- c) 对既有结构可能产生影响的临近工程的勘察、设计、施工、监测等资料。

7.3.2 新建结构与既有结构的接口可采用柔性连接或刚性连接，并应满足以下要求：

- a) 当采用柔性连接方式时，接口部位应设置变形缝，并采取相应的防水措施；
- b) 当采用刚性连接方式时，接口部位可采取地基加固、沉降调节桩等措施提高抗变形能力；
- c) 接口的防渗要求不低于与之相接的既有结构。

7.3.3 接口改造的基坑工程，应采取措施控制单边卸载对既有结构的影响。

7.3.4 既有结构接口破除前，应对车站内现有设备、设施进行检查确认，拆除施工不得影响现有设备、设施的正常运行。

7.3.5 既有结构接口应采用静力切割的方式进行破除，在距离保留结构 300mm 范围内应采用人工凿除方式，凿除范围内钢筋应保持完整性。对未预留接口的改造工程应采取临时支撑、分块拆除的方式进行破除。

7.3.6 新建结构应与既有结构直接连接，不应将新建结构通过围护结构与既有结构相连。

7.3.7 新建结构施工前，应确定其与既有结构连接的施工流程，确定新建结构施工缝的位置。当接口部位结构设置后浇带时，新建结构应设置传力构件，新建结构悬臂长度超过设计允许值时，还应设置临时支撑。

7.3.8 新建结构与既有结构连接面应采用人工凿毛处理，凿毛应避免造成既有结构损伤，凿毛后应清理干净；既有结构混凝土面宜涂刷界面剂，提高粘结强度。

7.3.9 当城市轨道交通结构没有预留连接接口时，可采用植筋或凿出钢筋连接。采用植筋时，植筋深度应满足设计要求；采用钢筋焊接时，焊接长度应符合规范要求。

7.3.10 城市轨道交通结构接口改造作业应满足以下要求：

- a) 细化组织设计，尽量缩短工期，减小对城市轨道交通正常运营的影响；

- b) 采取临时防雨、防淹措施，确保雨水不倒灌向既有结构接口处，并做好施工期间运营车站乘客的疏导及防护工作；
- c) 采取有效措施控制施工现场的各种粉尘、废气、废弃物、噪声、振动等对周围环境造成的污染和危害。

7.3.11 新建结构未完成之前，不得破除既有结构与其连通。

8 安全监测

8.1 一般规定

8.1.1 在城市轨道交通控制保护区内从事外部作业时，应对受其影响的城市轨道交通结构进行安全监测，监测工作不得影响城市轨道交通的正常运行。

8.1.2 应在外部作业实施前完成监测点的布设并采集初始值，施工过程中应严格执行监测方案，监测成果应能准确及时反映监测对象的变化特征和安全状态。

8.1.3 监测方法宜采用常规量测、现场巡视或远程视频监控等综合监控方法，当外部作业影响等级为特级、一级时，宜采用自动化监测。

8.1.4 除采用常规监测方法外，可积极采用光纤光栅、三维激光扫描、近景摄影测量、微波遥感测量等新技术、新方法；新技术、新方法应用时，应进行对比验证，监测精度不应低于其替代方法的精度要求。

8.1.5 同一监测项目应采用相同的监测网、监测方法和监测路线，并固定监测人员、仪器和设备。

8.1.6 监测的技术标准、测量精度等应符合现行国家标准的规定。

8.2 监测项目

8.2.1 监测项目应根据外部作业影响等级确定，与各监测对象匹配，满足工程设计、施工要求，并能及时反映外部作业对城市轨道交通结构安全影响。

8.2.2 地面结构的监测项目应根据表4选择。

表4 地面结构监测项目

序号	监测对象	监测项目	外部作业影响等级				
			特级	一级	二级	三级	四级
1	地面建筑	结构竖向位移	应测	应测	应测	宜测	宜测
2		地面竖向位移	应测	应测	宜测	可测	可测
3		水平位移	应测	应测	宜测	可测	可测
4		结构裂缝	应测	应测	宜测	可测	可测
5		结构倾斜	宜测	可测	可测	可测	可测
6	地面区间及出入线	路基竖向位移	应测	应测	应测	宜测	可测
7		过渡段差异沉降	应测	应测	应测	宜测	宜测

注：地面建筑包括地面车站、出入口、通风亭、冷却塔、无障碍电梯、主变电站、车辆基地库房等。

8.2.3 地下结构的监测项目应根据表5确定。

表5 地下结构监测项目

序号	监测对象	监测项目	外部作业影响等级				
			特级	一级	二级	三级	四级
1	明挖法或矿山法 地下结构	竖向位移	应测	应测	应测	宜测	宜测
2		水平位移	应测	应测	应测	宜测	宜测
3		接缝处差异沉降	应测	应测	应测	宜测	可测
4		结构裂缝	应测	应测	宜测	可测	可测
5		立柱竖向位移	应测	宜测	可测	可测	可测
6		结构倾斜	宜测	可测	可测	可测	可测
7	盾构法或顶管法 地下结构	竖向位移	应测	应测	应测	宜测	宜测
8		水平位移	应测	应测	应测	宜测	可测
10		相对收敛	应测	应测	宜测	宜测	可测
11		接缝、裂缝	应测	应测	宜测	可测	可测
12		隧道断面尺寸	应测	宜测	宜测	可测	可测

8.2.4 高架结构的监测项目应根据表 6 选择。

表6 高架结构监测项目

序号	监测对象	监测项目	外部作业影响等级				
			特级	一级	二级	三级	四级
1	高架车站及 高架线路	竖向位移	应测	应测	宜测	可测	可测
2		相邻桥墩沉降位移差	应测	应测	应测	宜测	可测
3		墩台、墩顶横向位移	应测	应测	宜测	宜测	可测
4		结构裂缝	应测	应测	宜测	可测	可测
5		接头侧向位移 (预制拼接墩柱)	应测	宜测	可测	可测	可测

8.2.5 控制保护区内采用非嵌岩摩擦桩的超高层建设项目，结构封顶后还应继续进行附加变形影响测量。

8.2.6 当遇到下列情况时，应对城市轨道交通结构附近的环境进行监测：

- 外部降水作业时，应对既有结构附近的地下水位进行监测，若实施降承压水作业，还应监测既有结构附近的承压水位；
- 软土地区，城市轨道交通结构对外部作业敏感时，应对既有结构附近的土体分层竖向位移或深层水平位移进行监测。

8.2.7 当外部作业为基坑工程时，监测项目除满足本规程的要求外，还应符合《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497 的有关规定。

8.2.8 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。

8.2.9 当外部作业影响等级为特级时，应监测道床与轨道变位；当外部作业影响等级为一级时，宜监测道床与轨道变位；其他情况道床与轨道变位可根据工程实际情况选测，并应符合《城市轨道交通设施运营监测技术规范》GB/T 39559 第四部分的有关规定。

8.3 监测点布设

8.3.1 监测点的布设位置、数量，应根据监测对象的类型和特征、外部作业影响等级、监测项目和监测方法的要求等综合确定，并能反映既有结构和周边环境安全的要求。

8.3.2 监测点的埋设应便于观测，不应影响监测对象的正常受力和使用。监测点应埋设稳固、标识应清晰，并采取有效的保护措施，宜利用建设阶段已布设的基准点和监测点或长期观测的控制点。

8.3.3 监测点的布设范围应覆盖外部作业影响的全部城市轨道交通结构，反映影响的时间和空间的变化规律，并不宜小于本规程表3的调查范围。

8.3.4 在城市轨道交通结构周边进行降承压水措施时，应根据降水影响范围和影响程度调整监测点的布设范围。

8.3.5 监测点位置应结合安全评估成果，布设在监测对象变形和内力的关键特征点上，监测点的布置要求应符合表7的规定。地下结构曲线段监测断面的间距应适当加密。

表7 监测点布置要求

序号	监测项目	监测点位置	监测断面间距		
			特级、一级	二级	三级、四级
1	竖向位移	地下结构底板、拱顶、侧墙； 地面及高架结构底层柱、桥面、 桥墩	3m~5m	8m~10m	15m~20m
2	水平位移	地下结构底板、拱顶、侧墙； 地面及高架结构桥面、结构顶 部、桥墩	3m~5m	8m~10m	15m~20m
3	相对收敛	地下结构每监测断面布置不少 于两条测线	3m~5m	8m~10m	15m~20m
4	接缝、裂缝	结构接缝位置、 裂缝位置两侧	缝的两侧均匀布 置	缝的两侧均匀布 置	缝的两侧均匀布 置
5	隧道断面变形	监测断面与线路纵向垂直，点 位于断面上均匀布置	3m~5m 或重点位置布设	8m~10m 或重点位置布设	15m~20m 或重点 位置布设
6	道床与轨道变 位	道床的纵、横断面上，两条轨 道上	3m~5m	8m~10m	15m~20m
7	地下水水位	在临近地下结构的支护结构和 土体位置	孔间距 10m~15m	孔间距 15m~25m	孔间距 25m~35m
8	土体深层水平 位移	在临近地下结构的支护结构和 土体位置	3m~5m 或重点位置布设	8m~10m 或重点位置布设	15m~20m 或重点 位置布设
9	振动速度	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	结构薄弱部位或 结构与爆破点之 间	结构薄弱部位或 结构与爆破点之 间

8.3.6 风井、冷却塔、主变电站、车辆基地等地面建筑或设施的竖向位移监测点宜布置于结构角点处，地表竖向位移监测点宜布置于竖向位移监测点附近；联络通道等结构特殊区段、结构存在初始缺陷或使用状况恶化区段以及地质条件复杂区段的监测点，宜结合现场特点布设。

8.4 监测技术要求

8.4.1 监测方案应依据外部作业特点及其影响等级、城市轨道交通结构类型和安全评估成果编制，并符合国家及行业现行标准、规范的相关要求。

8.4.2 城市轨道交通结构的基准点应设置在远离施工影响区且沉降稳定之处。

8.4.3 监测项目的初始值应在监测点埋设稳定后、外部作业实施前及时采集，应取至少连续测量 3 次的稳定值的平均值作为初始值。

8.4.4 监测频率可按照本规程附录 F 的要求执行。监测实施过程中，可根据变形速率合理调整监测频率，当测量数据达到报警值后，应加大观测频率、加强施工作业的工况巡查和城市轨道交通结构安全状态巡查，必要时应采用自动化监测手段进行连续监测。

8.4.5 监测预警等级，应根据结构监测值的大小和变化趋势，以及其相应的结构安全控制指标进行划分。划分等级与应对管理措施应符合表 8 的规定。

表8 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
—	$G < 0.6$	可正常进行外部作业
黄色预警	$0.6 \leq G < 0.8$	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
橙色预警	$0.8 \leq G < 1.0$	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
红色预警	$1.0 \leq G$	启动安全应急预案
注9：监测比值 G =监测项目实测值/结构安全控制指标值；		
注10：当同一测点每天的监测数据变化率值连续三天超过2mm时，监测预警等级应评定为橙色。		

8.4.6 当监测数据达到预警条件时，应按相应的预警状态发出预警并启动相应的预警响应。

8.4.7 城市轨道交通结构的监测周期，应贯穿于外部作业的全过程，从测定监测项目初始值开始，直至外部作业完成且受影响的城市轨道交通结构变形监测数据趋于稳定后结束。

8.4.8 城市轨道交通结构变形监测数据趋于稳定的标准为最后 100 天的平均变形速率小于 $0.02 \sim 0.04 \text{ mm/d}$ 时，软土地区变形稳定标准可放宽至不大于 0.06 mm/d 。

8.4.9 监测数据应定期进行分析，当对变形监测成果存疑时，应进行复测并检核。

8.4.10 进行高层建筑附加变形影响测量的，应满足下列规定：

- 在城市轨道交通结构与新建建筑结构之间的土体内设置分层沉降观测项目，深度范围宜自地面至隧道结构以下 5m；
- 分层沉降观测点布设密度应结合土层设置，间距不宜大于 5m，且在隧道结构的顶部、腰部、底部对应的深度宜设置观测点；
- 应结合外部作业施工工况及时开展，至外部建筑沉降稳定为止；
- 观测频率可根据变形情况确定，但不宜低于 1 次/季度。

9 地下结构病害治理

9.1 一般规定

9.1.1 外部作业会引起城市轨道交通地下结构出现较大变形，产生结构渗漏水、开裂及破损、错台等病害。

9.1.2 城市轨道交通地下结构病害治理应根据结构类型、病害类型和病害等级确定。

9.1.3 重大影响外部作业应按照“外控内治、动态平衡”的原则对城市轨道交通地下结构进行预加固、过程加固或后加固。

9.1.4 城市轨道交通地下结构病害治理完成后，应对治理后的结构进行监测、检测与后评估。

9.2 安全状态分级

9.2.1 城市轨道交通地下结构类型主要有盾构法结构、明挖法结构和矿山法结构等，结构安全状态分级由低到高应符合表9的规定。

表9 城市轨道交通地下结构安全状态分级

分级	分级定义	维护措施
1级	性能完好	日常检查
2级	性能退化，趋于稳定，不影响运营安全	保证结构耐久性的维护
3级	性能劣化，发展较慢，将来影响运营安全	重点监护、对应修复
4级	性能恶化，发展较快，影响但不危及安全	修复或加固
5级	性能严重恶化，发展迅速，危及安全	加固或更换

9.2.2 城市轨道交通地下结构病害导致构造物侵入建筑限界的，应将结构安全状态评定为5级。当结构病害达到4级及以上时，宜进行病害治理专项论证。

9.2.3 盾构法结构病害主要包括渗漏水、管片裂缝、管片破损、管片错台、横向收敛及纵向不均匀沉降等，各类型病害分级标准可按表10~15划分。

表10 盾构法结构渗漏水病害分级标准

分级	分级标准
1级	无；表面有少量湿渍，无肉眼可见漏水源
2级	有渗水，无滴漏
3级	有滴水，无漏泥，滴水频率小于60滴/min，位于侧面，不影响行车安全
4级	隧底涌流、道床下沉，影响正常运行；拱部滴漏，边墙滴水，影响正常运行
5级	涌水；漏泥漏砂；拱部线漏、涌流或直接传至接触网，危及行车安全
注11：“，”表示均需满足，“；”表示任意满足，不均匀沉降、收敛严重区段可酌情提高等级；	
注12：本条款适用于接触网位于拱顶的常规地铁盾构隧道，接触网位于隧道侧面可参照执行。	

表11 盾构法结构管片裂缝病害分级标准

分级	分级标准
1级	$W < 0.2\text{mm}$
2级	$0.2\text{mm} \leq W < 0.5\text{mm}$
3级	$0.5\text{mm} \leq W < 1.0\text{mm}$
4级	$1.0\text{mm} \leq W < 2.0\text{mm}$
5级	$W \geq 2.0\text{mm}$
注13：“，”表示均需满足，“；”表示任意满足；	
注14：W表示裂缝宽度。	

表12 盾构法结构管片破损病害分级标准

分级	分级标准
1 级	保护层无剥落，无掉角掉块现象，无可见裂缝
2 级	$S \leq 5\text{mm}$ ； $D \leq 50\text{mm}$
3 级	$5\text{mm} < S \leq 10\text{mm}$ ； $50\text{mm} < D \leq 75\text{mm}$ ；内部脱空
4 级	$S > 10\text{mm}$ ； $75\text{mm} < D \leq 150\text{mm}$ ；可能掉块；
5 级	剥落深度超过保护层厚度，钢筋裸露； $D > 150\text{mm}$ ；剥落面积超过该构件表面积的 1/3；
注15：“，”表示均需满足，“；”表示任意满足；	
注16：S表示剥落深度，D表示剥落区直径。	

表13 盾构法结构管片接缝错台病害分级标准

分级	分级标准
1 级	纵缝错台 $\leq 5\text{mm}$ ；环缝错台 $\leq 6\text{mm}$
2 级	$5\text{mm} < \text{纵缝错台} \leq 8\text{mm}$ ； $6\text{mm} < \text{环缝错台} \leq 12\text{mm}$
3 级	$8\text{mm} < \text{纵缝错台} \leq 10\text{mm}$ ； $12\text{mm} < \text{环缝错台} \leq 15\text{mm}$
4 级	$10\text{mm} < \text{纵缝错台} \leq 12\text{mm}$ ； $15\text{mm} < \text{环缝错台} \leq 18\text{mm}$
5 级	纵缝错台 $> 12\text{mm}$ ；环缝错台 $> 18\text{mm}$
注：“，”表示均需满足，“；”表示任意满足。	

表14 盾构法结构横断面变形病害分级标准

分级	分级标准	
	通缝管片	错缝管片
1 级	$c < 5\text{‰}D$	$c < 4\text{‰}D$
2 级	$5\text{‰}D \leq c < 8\text{‰}D$	$4\text{‰}D \leq c < 6\text{‰}D$
3 级	$8\text{‰}D \leq c < 12\text{‰}D$	$6\text{‰}D \leq c < 9\text{‰}D$
4 级	$12\text{‰}D \leq c < 16\text{‰}D$	$9\text{‰}D \leq c < 12\text{‰}D$
5 级	$c \geq 16\text{‰}D$	$c \geq 12\text{‰}D$
注17：c为隧道直径变化量，D为隧道直径；		
注18：本表分级标准依据外径6.2m盾构法隧道结构拟定，其它直径盾构法结构可参考制定。		

表15 盾构法结构纵向不均匀沉降病害分级标准

分级	分级标准
1 级	$\rho \geq 15000\text{m}$
2 级	$8000\text{m} < \rho < 15000\text{m}$
3 级	$1200\text{m} < \rho \leq 8000\text{m}$
4 级	$300\text{m} < \rho \leq 1200\text{m}$
5 级	$\rho \leq 300\text{m}$
注： ρ 为盾构法结构纵向变形曲率半径；本表适用于外径6.2m盾构法隧道，其他尺寸可参考制定。	

9.2.4 明挖法或矿山法结构病害主要包括渗漏水、结构裂缝、结构破损、接缝（施工缝、变形缝）错台与不均匀沉降等，其中渗漏水病害和结构破损病害分级分别按表 10、表 12 划分，其余病害分级可按

表 16~18 划分。

表16 明挖法或矿山法结构裂缝病害分级标准

等级	分级标准
1 级	无肉眼可见裂缝； $W < 0.3\text{mm}$
2 级	$L \leq 5\text{m}$ ， $0.3\text{mm} \leq W < 3\text{mm}$
3 级	$L \leq 5\text{m}$ ， $3\text{mm} \leq W < 5\text{mm}$ ；裂缝多于三条，且存在交叉；裂缝发展不快
4 级	$10\text{m} \geq L \geq 5\text{m}$ ， $W \geq 5\text{mm}$ ；裂缝呈网状分布，外力作用可能掉块；裂缝出现渗漏，但不影响行车安全
5 级	$L > 10\text{m}$ ， $W \geq 5\text{mm}$ ，且裂缝继续发展；拱部开裂呈块状，有掉块风险；裂缝出现漏泥漏沙现象，影响行车安全
注19：“，”表示均需满足，“；”表示任意满足；衬砌裂纹为沿纵向或斜向时，应提高一级； 注20：L表示裂缝长度，W表示裂缝宽度。	

表17 明挖法或矿山法结构接缝错台病害分级标准

等级	分级标准
1 级	明挖法 $b \leq 10\text{mm}$ ，矿山法 $b \leq 20\text{mm}$ ；接缝无渗漏水
2 级	明挖法 $10\text{mm} < b \leq 20\text{mm}$ ，矿山法 $20\text{mm} < b \leq 30\text{mm}$ ；接缝出现湿渍
3 级	明挖法 $20\text{mm} < b \leq 30\text{mm}$ ，矿山法 $30\text{mm} < b \leq 40\text{mm}$ ；接缝浸渗、滴漏
4 级	明挖法 $30\text{mm} < b \leq 40\text{mm}$ ，矿山法 $40\text{mm} < b \leq 50\text{mm}$ ；接缝线漏
5 级	明挖法 $b > 40\text{mm}$ ，矿山法 $b > 50\text{mm}$ ；接缝涌流或漏泥、漏沙
注：“，”表示均需满足，“；”表示任意满足；b表示接缝（施工缝、变形缝）错台量。	

表18 明挖法或矿山法结构不均匀沉降病害分级标准

等级	分级标准
1 级	隧道相对变曲 $\leq 1/2500$
2 级	$1/2500 < \text{隧道相对变曲} \leq 2000$
3 级	$1/2000 < \text{隧道相对变曲} \leq 1/1500$
4 级	$1/1500 < \text{隧道相对变曲} \leq 1/500$
5 级	相对变曲 $> 1/500$

9.3 病害治理要求

9.3.1 城市轨道交通地下结构病害应分类分级治理，对第一类病害进行修复，第二类病害重点治理，不同分级的病害采取不同的治理措施。

9.3.2 城市轨道交通地下结构病害治理方案应根据既有结构的病害类别与分级、建筑与设备限界、工程地质条件、场地条件、外部作业影响程度等因素综合确定。

9.3.3 治理后的城市轨道交通结构承载能力、正常使用功能及耐久性等应满足设计使用年限内的安全运营要求。

9.3.4 对于严重影响结构安全和运营安全的不均匀沉降，须对结构下方软弱土层进行加固，并根据线

路平顺性及限界调整要求，采用微扰动注浆方式对既有地下结构进行适量抬升，治理后既有结构承载能力、正常使用功能及耐久性等不应低于原技术标准。

9.3.5 城市轨道交通地下结构病害治理，应根据结构类型、病害类别与分级采取相应的治理措施。不同类型城市轨道交通地下结构的病害分类分级治理措施按本规程附录 G 执行。

附录 A

(规范性)

接近程度和外部作业工程影响分区

A.1

接近程度应根据城市轨道交通结构的施工方法及其与外部作业的空间位置关系确定。

A.2

接近程度的判定标准宜按表A.1确定。

表A.1 接近程度的判断标准

城市轨道交通结构的施工方法	相对净距	接近程度
明挖、盖挖法	$L \leq 0.5H$	非常接近
	$0.5H < L \leq 1.0H$	接近
	$1.0H < L \leq 2.0H$	较接近
	$L > 2.0H$	不接近
矿山法	$L \leq 1.0W$	非常接近
	$1.0W < L \leq 1.5W$	接近
	$1.5W < L \leq 2.5W$	较接近
	$L > 2.5W$	不接近
盾构法或顶管法	$L \leq 1.0D$	非常接近
	$1.0D < L \leq 2.0D$	接近
	$2.0D < L \leq 3.0D$	较接近
	$L > 3.0D$	不接近
高架结构 (桥梁桩基)	$L \leq 3.0P$	非常接近
	$3.0P < L \leq 10.0P$	接近
	$10.0P < L \leq 20.0P$	较接近
	$L > 20.0P$	不接近
注：L为城市轨道交通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为盾构法隧道外径，圆形顶管外径或矩形顶管隧道的长边宽度；P为高架桥梁桩基（单桩）结构的桩径。 注：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（空间距离）； 注：外部作业采用爆破法实施时，应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； 注：城市轨道交通非轨行区结构可按相关经验进行适当调整。		

A.3

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。

a) 明挖、盖挖法外部作业的工程影响分区宜按表A.2和图A.1确定。

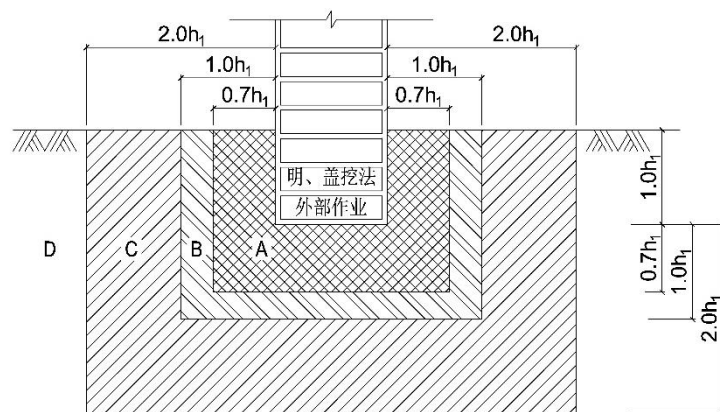
表A.2 明挖、盖挖法外部作业的工程影响分区

工程影响分区	区域范围
强烈影响区 (A)	结构正上方及外侧 $0.7h_1$ 范围内
显著影响区 (B)	结构外侧 $0.7h_1 \sim (1.0 \sim 1.5)h_1$ 范围
一般影响区 (C)	结构外侧 $(1.0 \sim 1.5)h_1 \sim (2.0 \sim 3.0)h_1$ 范围
较小影响区 (D)	结构外侧 $(2.0 \sim 3.0)h_1$ 范围以外

注： h_1 为明、盖挖法外部作业结构底板的深度；基坑开挖范围内存在基岩时， h_1 可为覆盖土层和基岩强化分层厚度之和；基坑开挖范围为软弱土层时，工程影响分区临界范围取大值；

注：软弱土指淤泥、淤泥质土、松散粉、细砂层或新近沉积的黏性土和粉土，地基承载力特征值 $f_{ak} \leq 130kPa$ 的填土；

注：明挖排管类的管线工程、地下通道工程可参照明挖、盖挖法外部作业进行分区。



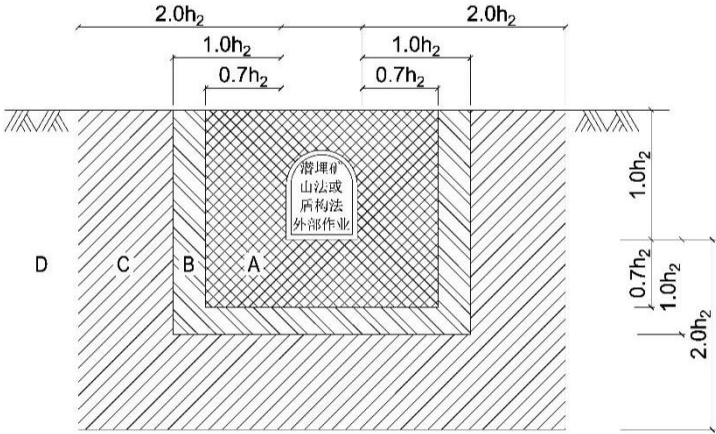
图A.1 明、盖挖法外部作业的工程影响分区

b) 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.2 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 $0.7h_2 \sim 1.0h_2$ 范围
一般影响区 (C)	隧道外侧 $1.0h_2 \sim 2.0h_2$ 范围
较小影响区 (D)	隧道外侧 $2.0h_2$ 范围以外

注： h_2 为矿山法和盾构法外部作业的隧道底板深度；



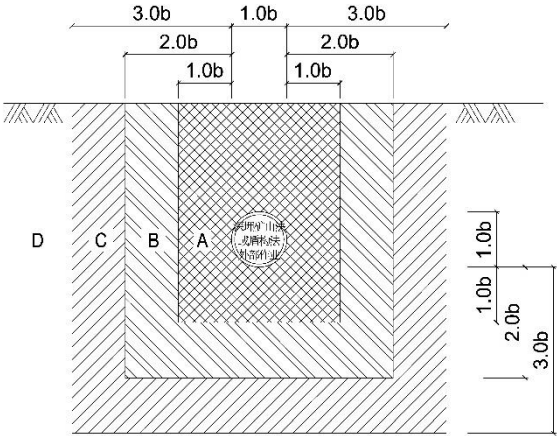
图A. 2 潜埋矿山法和盾构法外部作业的工程影响分区

c) 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.3 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 1.0 b 范围内
显著影响区（B）	隧道外侧 1.0b~2.0 b 范围
一般影响区（C）	隧道外侧 2.0 b~3.0 b 范围
较小影响区（D）	隧道外侧 3.0 b 范围以外

注：b 为深埋矿山法和盾构法隧道的毛洞跨度；
注：本表适用于矿山法和盾构法隧道顶埋深大于 3b 的深埋隧道。



图A. 3 深埋矿山法和盾构法外部作业的工程影响分区

- d) 拉管或顶管法外部作业的工程影响分区参照矿山法和盾构法外部作业的工程影响分区执行。
- e) 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。
- f) 外部作业工程影响分区界线除应按上述要求确定外，还应结合当地的工程经验进行调整。当遇到下列情况时，应适当增大工程影响分区界线：

- 1) 明、盖挖法基坑及暗挖隧道周围岩土体以淤泥、淤泥质土或软—流塑状土等高压缩性软土为主或遇有不良地质条件时，应扩大工程强烈影响区、显著影响区和一般影响区。
- 2) 工程施工采用降水措施时，应根据降水影响范围和预计地面沉降大小扩大工程影响分区界线。
- 3) 施工期间出现严重的涌砂、涌土或管涌以及较严重的渗漏水等异常情况时，应根据现场具体情况扩大工程强烈影响区和显著影响区。
- 4) 在明、盖挖法基坑及暗挖隧道施工期间，对周围环境有特殊要求时，应适当扩大工程影响分区界线。

附录 B

(规范性)

其他工程的作业影响等级

B.1

外部作业为道路及地下管线工程时，其影响等级应根据城市轨道交通的结构型式、外部作业与城市轨道交通结构位置关系等因素，由表B.1确定。

表 B.1 道路工程、管线工程风险等级分级标准

等级	管线工程 [#]		道路工程	
	非高架线路	高架线路	路面施工	桥梁工程* (桩基作业)
特级	下穿已建结构 且 $t \leq 3\text{m}$	$d \leq 3\text{m}$	-----	$D \leq 3\text{m}$
一级	下穿已建结构 且 $t \geq 3\text{m}$; 或上穿已建结构 且 $t \leq 2\text{m}$	$3\text{m} < d \leq 6\text{m}$	-----	$3\text{m} < D \leq 6\text{m}$
二级	上穿已建结构 ($t \geq 2\text{m}$) 且管径不小于 2.0m	$6\text{m} < d \leq 10\text{m}$	道路位于城市轨道交通 结构正上方	$6\text{m} < D \leq 10\text{m}$
三级	上穿已建结构 ($t \geq 2\text{m}$) 且管径小于 2.0m	$d > 10\text{m}$	道路位于城市轨道交通 结构两侧	$D > 10\text{m}$
注：t为外部作业穿越既有结构的竖向净距；d为外部作业距城市轨道交通高架桥墩水平净距；D为桥梁工程桩基与城市轨道交通地下结构的水平净距； 注：“#”表示尺寸及埋深较小的明挖小型管沟、明渠及顶管或牵引拖拉管等，其中明挖作业可参照基坑工程进行分级，顶管或牵引拖拉管作业宜参照盾构法工程和表B.0.1进行分级，并取其较高等级； 注：“*”表示软土地区或群桩作业的影响等级可适当提高一级，特级时不再提高。				

附录 C

(规范性)

结构安全控制指标

C.1

城市轨道交通结构安全控制指标应根据其结构安全保护技术的要求及现行国家标准确定,并应符合表C.1~表C.4的要求。

表 C.1 地面结构安全控制指标

安全控制指标		控制值	累计值	变化速率
路基 差异沉降	整体道床*	<10mm	<20mm	1.5mm/d
	碎石道床	<15mm	<30mm	
	过渡段	≤5mm	≤10mm	
注：*表示路基沉降均匀且调整后竖曲线满足舒适度要求累计值可调整为30mm；				
注：地面车站结构沉降应符合《建筑地铁基础设计规范》GB50007的相关规定。				

表 C.2 盾构法或顶管法地下结构安全控制指标

安全控制指标		控制值	累计值
水平位移*		<10mm	-
竖向位移	上浮	<5mm	-
	沉降	<10mm	-
径向收敛		<10mm	$c\%D$
变形曲率半径		>15000m	>1200m
变形相对曲率		<1/2500	<1/1500
管片接缝张开量		<2mm	<6mm
接缝错台	纵缝	<5mm	<10mm
	环缝	<6mm	<15mm
结构外壁附加荷载		-	≤20kPa
管片裂缝宽度		<0.2mm	<1.0mm
振动速度		-	≤2.5cm/s
注: D为隧道外径, c 为直径变化量, 其中通缝管片 $c=12$, 错缝拼装 $c=9$; 注: 盾构法隧道差异沉降安全控制指标可根据变形相对曲率换算; 注: *表示位移为隧道拟合中心线的偏移量; 水平位移、竖向位移的累计值不应超出相应变形曲率。			

表 C.3 明挖法或矿山法地下结构安全控制指标

安全控制指标		控制值	累计值
水平位移*		$<10\text{mm}$	-
竖向位移*	上浮	$<5\text{mm}$	-
	沉降	$<10\text{mm}$	-
接缝处差异沉降		$<5\text{mm}$	$<8\text{mm}$
变形相对曲率		$<1/2500$	$<1/1500$
结构裂缝宽度	迎水面	$<0.2\text{mm}$	$<5\text{mm}$, $L \leq 5\text{m}$
	背水面	$<0.3\text{mm}$	$<5\text{mm}$, $L \leq 5\text{m}$
振动速度		-	$\leq 2.5\text{cm/s}$
注：明挖法或矿山法隧道差异沉降安全控制指标可根据结构变形相对曲率换算获得； 注：*表示位移为隧道拟合中心线的偏移量；L表示裂缝长度；水平位移、竖向位移的累计值不应 注：超出相应变形曲率半径或变形相对曲率累计值。			

表 C.4 高架结构安全控制指标

安全控制指标		控制值	累计值
梁体 竖向变形 [#]	$L_1=30\text{m}$	$L_1/2200$	$L_1/1400$
	$L_1=60\text{m}$	$L_1/2000$	$L_1/1350$
	$L_1 \geq 120\text{m}$	$L_1/1800$	$L_1/1300$
桥墩墩顶 横向位移	25m~40m 简支梁	$3\sqrt{L}$	$4.5\sqrt{L}$
	50m~100m 连续梁	$2\sqrt{L}$	$3\sqrt{L}$
相邻桥墩沉降位移差 *	无砟桥面	$\leq 10\text{mm}$	$\leq 60\text{mm}$
	有砟桥面	$\leq 20\text{mm}$	$\leq 70\text{mm}$
结构裂缝宽度		$<0.3\text{mm}$	$<0.5\text{mm}$
振动速度		-	$\leq 2.5\text{cm/s}$
注：表中数值为考虑恒载作用下的桥梁结构正常使用状态下的安全控制值标； 注： L_1 表示跨度（m）；L表示简支梁单跨长或连续梁相邻跨的较小跨长（m）， $L < 25\text{m}$ 时，按 注：25m计； [#] 给出固定跨度梁桥梁体竖向变形值，其他跨度的梁桥可用插值法确定；*表示适用 注：于跨度小于等于40m的区间简支梁桥和连续梁桥的相邻桥墩； 注：高架车站相邻框架柱之间的沉降差应符合《建筑地铁基础设计规范》GB50007的相关规定。			

C.2

控制值、累计制分别为单项外部作业附加变形控制指标和既有结构累计安全控制指标，并不包括测量、施工等误差。

C.3

隧道变形曲线的曲率半径指标主要反映地铁隧道纵向变化的平顺情况和变形曲率的大小，变形相对曲率指标主要反映地铁隧道的相对弯曲程度。一般是以地铁区间隧道内所布置在道床上的相邻三个监测点的监测数据作为数据分析依据，计算它们的差异变位量和地铁区间隧道相邻点的弯曲曲率半径。在对

隧道道床结构沉降观测的基础上,采用三点曲率半径计算方法,对于任意一点 P_i ,在计算曲率半径时该点的前一点 P_{i-1} 、后一点 P_{i+1} 纳入曲率半径计算,如图C.1所示:

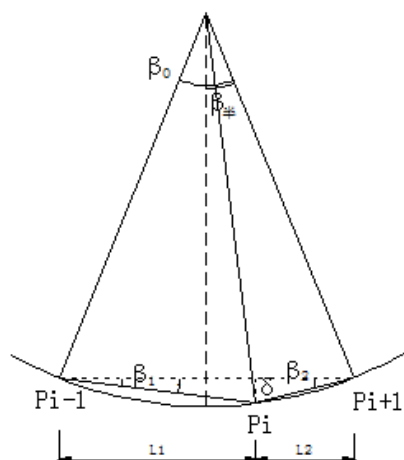


图 C.1 变形曲率计算示意图

相对曲率半径 R 可表示为:

$$R = \frac{L_1 + L_2}{2 \times \sin \beta_{\frac{\pi}{2}}} \quad (\text{C.1})$$

式中:

L_1 — i 点与 $i-1$ 点的距离;

L_2 — i 点与 $i+1$ 点的距离;

δ — i 点相对相邻两点的差异沉降, δ_1 为 P_{i-1} 点相对 P_i 的差异沉降, δ_2 为 P_{i+1} 点相对 P_i 的差异沉降;

β_0 —圆弧 $P_{i-1}P_iP_{i+1}$ 对应的圆心角, 根据几何关系 $\beta_0 = 2(\beta_1 + \beta_2)$, $\beta_1 = \arctan(\delta_1 / L_1)$,

$\beta_2 = \arctan(\delta_2 / L_2)$, 由于 $\beta_{\frac{\pi}{2}} = \beta_0 / 2$, $\beta_{\frac{\pi}{2}} = \beta_1 + \beta_2$, 因此 C.0.1 还可表示为:

$$R = \frac{L_1 + L_2}{2 \times \sin(\arctan \frac{\delta_1}{L_1} + \arctan \frac{\delta_2}{L_2})} \quad (\text{C.2})$$

附录 D

(资料性)

安全评估技术要求

D.1

安全评估应符合表D.1的技术要求。

表 D.1 安全评估的技术要求

安全评估阶段	技术要求	主要依据
城市轨道交通结构现状评估	1.受外部作业影响范围内的城市轨道交通结构区域，开展既有结构的工前现状调查和分析； 2 评估当前既有结构的安全状态及抗变形能力和承载能力； 3 结合外部作业对既有结构的主要响应特征及其安全保护要求，合理选用结构安全控制指标，确定相应的指标值。	1 岩土工程勘察资料； 2 既有结构竣工资料；3 既有结构历史监测数据； 4 现状调查报告。
外部作业影响预评估	1 根据外部作业与既有结构的平面位置关系，建立能反应外部作业影响特征的平面或三维计算模型； 2 预测分析外部作业实施全过程及永久使用阶段可能诱发既有结构各种风险的影响因素，包括周边卸载或超载、水位变化等，并系统计算既有结构的内力和变位预测值； 3 当预测值超过相应的结构安全控制指标值，应要求设计单位调整外部作业设计方案； 4 结合对应区段既有结构竣工资料，分别以裂缝宽度和强度控制进行计算，验算既有结构的安全； 5 综合评定外部作业设计方案和城市轨道交通保护方案的可行性； 6 提出既有结构安全保护措施及监测的建议。	1 岩土工程勘察资料； 2 既有结构现状评估报告； 3 外部作业设计方案； 4 城市轨道交通保护方案； 5 既有结构竣工资料，包括结构形式、尺寸、配筋等。
外部作业施工过程评估	1 根据既有结构监测数据，模拟城市轨道交通结构可能的变形发展情况； 2 及时跟踪评估既有结构的当前状态和继续抗变形能力、承载能力，及时修正安全控制指标值； 3 必要时重新制定既有结构保护方案、增加控制保护措施，或调整外部作业设计方案。	1 既有结构的监测数据； 2 外部作业影响预评估报告、预测值； 3 施工过程的调查报告。
外部作业影响后评估	1 进入受外部作业影响范围内的既有结构区段，开展工后现状调查和分析； 2 结合结构安全控制指标值评价外部作业对既有结构的影响； 3 综合评估城市轨道交通结构工后的安全状态，及抗变形能力和承载能力； 4 必要时提出修复既有结构的措施。	1 城市轨道交通结构的实时监测数据； 2 外部作业影响预评估报告、预测值。

附录 E

(资料性)

隧道上方卸荷比、附加荷载计算

E.1

假定基坑为一矩形，且基坑边和隧道走向平行，隧道上方主要覆土区长度为 L ，主要覆土区宽度为 B ，主要覆土区高度为盾构隧道顶上方覆土厚度 H 。隧道上方卸荷比 V_1 可根据上方基坑与隧道的空间关系，分别按基坑长度 $l < \text{主要覆土区长度 } L$ 和基坑长度 $l \geq \text{主要覆土区长度 } L$ 两种情况，选取最不利断面按式 (E.1) 和 (E.2) 计算：

a) 当基坑长度 $l < \text{主要覆土区长度 } L$ 时：

$$v_1 = \frac{V_1}{V} \quad (\text{E.1})$$

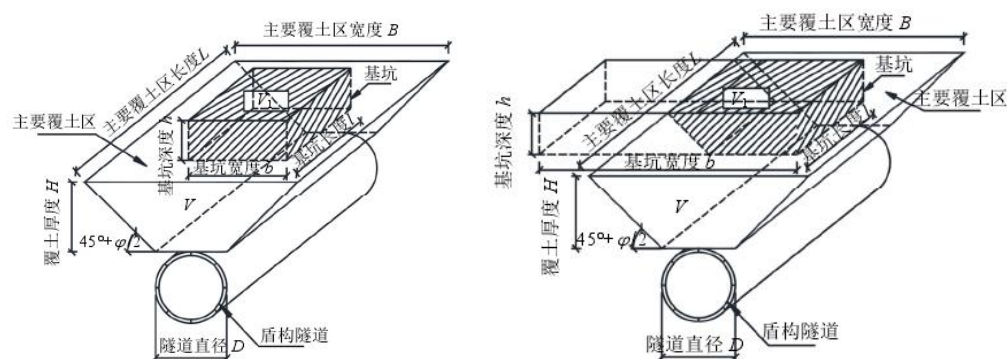
式中：

V_1 —隧道上方主要覆土区的基坑最大体积 (图 E.1 中阴影部分体积 m^3)；

V —隧道上方主要覆土区的体积 (m^3)；

D —隧道外径 (m)；

φ —隧道顶部以上土体的加权平均内摩擦角 ($^\circ$)。



(a) 基坑范围位于主要覆土区 (b) 基坑范围超出主要覆土区

图 E.1 隧道上方卸荷比计算简图

b) 当基坑长度 $l \geq \text{主要覆土区长度 } L$ 时：

$$v_1 = \frac{S_1}{S} \quad (\text{E.2})$$

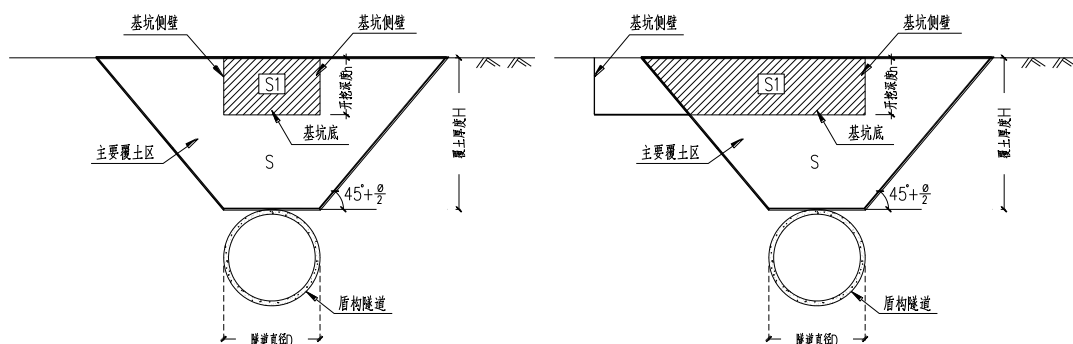
式中：

S_1 —隧道上方主要覆土区的基坑最大面积 (图 E.2 中阴影部分面积 m^2)；

S —隧道上方主要覆土区的断面面积 (m^2)；

φ —隧道顶部以上土体的加权平均内摩擦角 ($^\circ$)。

- c) L 为关于 B 的函数, 即 $L=nB$ 。对软土地区地铁盾构隧道外径 $D=6.2\text{m}$, 隧道顶上方覆土厚度与隧道上方主要覆土区宽度的比值 H/B 在 $0.36\sim 0.43$ 之间, 此时隧道上方主要覆土区长度近似为 $L=B$ 。



(a) 基坑范围位于主要覆土区 (b) 基坑范围超出主要覆土区

图 E.2 隧道上方卸荷比计算简图

E.2

位于碎石土、沙土、标贯击数大于8的粉土或粘性土中的盾构隧道, 隧道上方堆载引起的隧道附加荷载, 选取最不利断面按式 (E.3或E.4) 计算:

a) 按全土柱重量 ($H \leq 3D$):
$$P_a = P_0 \quad (\text{E.3})$$

b) 按太沙基理论 ($H > 3D$):
$$P_a = P_0 e^{-k_0 n \tan \varphi} \quad (\text{E.4})$$

式中:

P_0 —隧道上方主要覆土区沿纵向最不利断面的单位长度堆载;

$P_a - P_0$ 引起的隧道上方附加荷载 (图 E.3);

k_0 —隧道上方主要覆土区的侧压力系数;

n —相对埋深系数, $n=H/B_1$, 其中 H 为隧道埋深, B_1 为隧道开挖影响宽度的一半,

$$B_1 = R_0 \cot\left(\frac{45^\circ + \varphi/2}{2}\right), \quad R_0 \text{ 为隧道半径。}$$

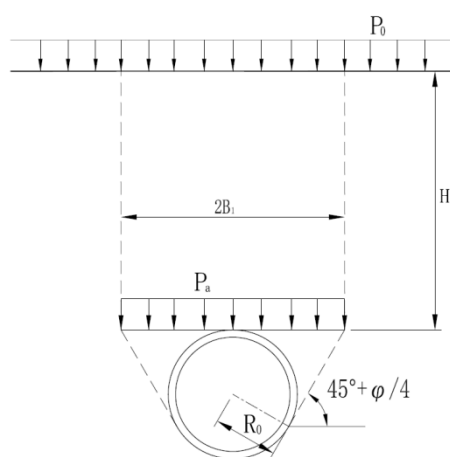


图 E.3 隧道上方堆载引起的结构附加荷载计算简图

E.3

位于标贯击数不大于8的粉土或黏性土中的盾构隧道，附加荷载按堆载计。

E.4

矩形截面的地下结构可将其宽度等效为隧道直径。

附 录 F

(资料性)

F.1

城市轨道交通临近外部作业为基坑工程、地下通道工程,作业期间城市轨道交通监测频率应根据外部作业影响等级、外部作业施工方法和进度、城市轨道交通结构评估结果、监测项目、地质条件等情况和特点,并结合表F.1的要求确定合适的监测频率。

表 F.1 基坑工程、地下通道工程施工期间城市轨道交通监测频率表

施工作业工况	特级基坑工程、一级基坑工程			二、三级基坑工程人工监测频率			
	人工监测频率		自动化监测频率	沉降	收敛	水平位移	其他测项
	沉降	除沉降外其他测项					
城市轨道交通侧槽壁加固	2次/周	1次/周	1次/d	1~2次/周	1次/1周~2周	1次/2周	1次/1周
城市轨道交通侧地墙施工	1~2次/周	1次/1周~2周		1次/1周	1次/1周~2周	1次/2周~3周	1次/2周
工程桩施工 [#]	1次/周	1次/2周		1次/1周	1次/2周	1次/2周~3周	1次/2周
城市轨道交通侧坑内加固	1~2次/周	1次/周		1~2次/周	1次/1周~2周	1次/2周	1次/2周
浅部土体开挖	1~2次/周	1~2次/周		1~2次/周	1~2次/周	1~2次/周	1~2次/周
深部土体开挖	2次/周	1~2次/周		—	—	—	—
底板浇筑期间	2次/周	1次/1周~2周	2~3次/1周	2次/周	1次/1周~2周	1次/2周~3周	
地下结构施工期间	1次/1周~2周	1次/1周~2周		1次/1周~2周	1次/1周~2周	1次/2周~3周	1次/2周
地上结构施工期间 [*]	1次/2~4周	1次/4周		1次/2周~4周	1次/4周	1次/4周	1次/4周
近城市轨道交通侧塔楼封顶后2年内 [*]	1次/月	1次/月	—	1次/月	1次/月	—	—
注：“浅部土体开挖”指挖深<10m、挖深小于隧道结构顶埋深或挖深小于车站结构站台顶板； 注：“深部土体开挖”指挖深≥10m、挖深大于隧道结构顶埋深或挖深大于车站结构站台顶板； 注：“#”表示针对未先施作围护结构的情况，当围护结构形成封闭墙体后，根据桩基施工影响情况可降低测量频次或不测； 注：“*”表示对采用非嵌岩桩的高层建筑，地上结构沉降引起临近城市轨道交通结构的附加变形。特级基坑工程近城市轨道交通侧塔楼结构封顶后（以下简称工后）2年内、一级工程工后1年内、二级及三级工程工后半年内，沉降和收敛测项宜继续观测，其他测项可停止观测； 注：支撑拆除期间城市轨道交通结构的监测应当加密。							

F. 2

外部管线工程作业施工期间，城市轨道交通结构可结合外部作业的实际情况、根据表F. 2的要求确定合适的监测频率。

表 F. 2 管线工程施工作业期间城市轨道交通监测频率表

影响等级	测项类型	工况		
		试验段	穿越中	穿越后
特级、一级盾构穿越	自动化测量频率	1次~2次/d	实时	1次~2次/d
	人工测量频率	1次~2次/周	2次~5次/周	1次~2次/周
特级、一级顶管穿越	自动化测量频率	1次/d	实时	1次/d
	人工测量频率	1次~2次/周	2次~5次/周	1次~2次/周
二级、三级顶管穿越	人工测量频率	1次/2周~3周	1次/1周~2周	1次/1周~2周

F. 3

外部道路工程作业施工期间，城市轨道交通结构可结合外部作业的实际情况、根据表F. 3的要求确定合适的监测频率。

表 F. 3 道路工程施工作业期间城市轨道交通监测频率表

影响等级	测项类型	工况		
		路面施工	桥墩施工	桥梁结构施工
特级	自动化测量频率	-	1次/d	2次~4次/周
	人工测量频率	-	2次~4次/周	1次~2次/周
一级	自动化测量频率	-	1次/d	1次~2次/周
	人工测量频率	-	2次~4次/周	1次~2次/周
二级	人工测量频率	1次/2周	1次/1周~2周	1次/1周~2周
三级	人工测量频率	1次/2周~4周	1次/2周~4周	1次/2周~4周

F. 4

城市轨道交通结构变形监测频率的确定还应满足以下要求：

- 采取了自动化监测措施后，相应的人工监测频率可适当降低。
- 上述表F.1、表F.2、表F.3三条中未列及的施工作业（如旋喷填充加固、非地墙的围护桩施工等）应根据外部作业影响等级、进度要求、城市轨道交通结构评估结果、监测项目、地质条件等确定监测频率。
- 对于现状较差的城市轨道交通结构，应适当提高监测频率。
- 发生报警或突发结构病害等情况时，应适当提高观测频率。

附录 G

(资料性)

地下结构病害治理措施

G.1

根据城市轨道交通地下结构类型、病害类别与分级确定的盾构法结构病害分类分级治理措施宜按表 G.1 执行，明挖法或矿山法结构病害分类分级治理措施宜按表 G.2 执行。

表 G.1 盾构法结构病害分类分级治理措施

类别	措施	
不均匀沉降	a1	注浆抬升
	a2	基底加固
	a3	周边加卸载控制
	a4	轨道养护维修
收敛变形	b1	钢环加固或复合腔体加固
	b2	周边土体加固
	b3	上方卸载或换填轻质土
渗漏水	c1	壁后注浆
	c2	骑缝注浆配合弹性环氧封缝
	c3	嵌缝修复
管片裂损	d1	刚环加固
	d2	粘贴芳纶布
	d3	植筋或挂网植筋修复
	d4	裂缝或掉块堆胶修复

表 G.2 明挖法或矿山法结构病害分类分级治理措施

类别	措施	
不均匀沉降	a1	注浆抬升
	a2	基底加固
	a3	周边加卸载控制
	a4	轨道养护维修
渗漏水	b1	壁后注浆
	b2	骑缝注浆（聚氨酯）
	b3	凿槽嵌补（聚氨酯）
裂缝	c1	骑缝注浆（环氧）
	c2	凿槽嵌补（环氧）
	c3	直接涂抹

G. 2

城市轨道交通地下结构不同结构类型、不同病害类别与分级对应的治理措施宜按表G.3~4执行。

表 G.3 盾构法结构不同病害分级治理措施

病害分级指标		治理措施	说明
类别	危害等级		
不均匀沉降	5 级	<i>a1</i>	①根据《地铁设计规范》(GB50157-2003)中关于竖曲线困难地段不小于3000m及上海治理经验确定; ②应兼顾沉降绝对值,沉降速率以及变坡值。变坡按线路不设竖曲线控制为2‰,按上海标准为1.6‰; ③不均匀沉降影响大,治理难,若2级病害,但变形仍持续发展宜尽早介入; ④ <i>a3,a4</i> 类措施应根据实际情况采用。依据轨道养护标准,经常保养高低不平顺为7mm,对应曲率半径约为8km,因此建议3级以上加强 <i>a3</i> 类措施。
	4 级	<i>a1</i>	
	3 级	<i>a2</i>	
		<i>a2</i>	
	2 级	无	
收敛变形	5 级	<i>b1</i>	①在 <i>b1</i> 及 <i>d1</i> 类治理之前,均需配合进行 <i>c</i> 类渗漏水修复; ②周边基坑开挖卸载引起的收敛变形超过3级的,存在裂缝的,应配合采用 <i>d1</i> 类治理措施; ③对于上部堆土引起的收敛变形,应配合 <i>b3</i> 类上部卸载。 <i>b3</i> 类换填一般不予采用,可配合改扩建或新建工程进行。
	4 级	<i>b1</i>	
	3 级	<i>b2</i>	
	2 级	无	
	1 级	无	
渗漏水	5 级	<i>c1,c2</i>	①由于盾构法结构接缝较多,应先采取 <i>c1</i> 类治理,再采取 <i>c2</i> 类治理,壁内外结合; ②位于拱顶的少量滴漏或渗漏可以只采用 <i>c2</i> 类治理;
	4 级	<i>c1,c2</i>	先进行 <i>c2</i> 治理,根据治理效果决定是否进行 <i>c1</i> 类治理
	3 级	<i>c2</i>	无
	2 级	<i>c3</i>	无
管片裂缝 管片破损	5 级	<i>d2,d1</i>	①当剥离深度超5cm且裸露主筋且破损面积大于1000cm ² 时,需进行 <i>d1</i> 类加固; ②在 <i>d1/b1</i> 类治理之前,需先进行 <i>c</i> 类渗漏水治理。
	4 级	<i>d2,d3</i>	对位于两腰侧的裂损可降低一个等级。
	3 级	<i>d3,d4</i>	①对位于拱顶的裂损采用 <i>d2</i> 类修复; ②对位于两腰侧的裂损采用 <i>d3</i> 类修复,或可酌情降低一个等级。
	2 级	<i>d4</i>	无

表 G.4 明挖法或矿山法结构不同病害分级治理措施

病害分级标准		治理措施	说明
类别	危害等级		
不均匀沉降	5 级	<i>a1</i>	①按线形要求确定相对变曲容许值为 1/2500，以此为标准取约 4 倍为治理限制，为 1/650，对应曲率半径 6500m； ②应兼顾沉降绝对值，沉降速率以及变坡值。变坡按线路不设竖曲线控制为 2‰，按上海标准为 1.6‰； ③ <i>a3,a4</i> 类措施应根据实际情况采用。依据轨道养护标准，经常保养高低不平顺为 7mm，对应曲率半径约为 8km，因此建议 B 级以上加强 <i>a3</i> 类措施。
	4 级	<i>a2</i>	
	3 级	无	
	2 级	无	
	1 级	无	
渗漏水	5 级	<i>b1,b2</i>	对明挖法结构，应优先考虑采取 <i>b2</i> 类处理措施，当渗漏十分严重且成片出现时才考虑 <i>b1</i> 类治理。
	4 级	<i>b2</i>	先进行 <i>b2</i> 治理，根据治理效果决定是否进行 <i>b1</i> 类治理
	3 级	<i>b2</i>	无
	2 级	<i>b3</i>	无
裂缝	5 级	<i>b2,c1</i>	先注聚氨酯堵漏，再注环氧补强
	4 级	<i>b1,c1</i>	对不影响结构安全的可只采用 <i>b1</i> 类修复。
	3 级	<i>c2</i>	①对位于拱顶的裂损采用 <i>c1</i> 类修复； ②对位于两腰侧的裂损采用 <i>c2</i> 类修复，或可酌情降低一个等级。
	2 级	<i>c3</i>	无

本规程用词说明

为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

- a) 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”。
- b) 表示严格，在正常情况下均应这样做：正面词采用“应”；反面词采用“不应”或“不得”。
- c) 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”。
- d) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

条文中指明应按其他有关标准、规范执行的，写法为“应按……执行”或“应符合……的规定”