

ICS
CCS

DB43

湖南省地方标准

DB43/Txxxx-2025

城市轨道交通既有结构安全保护技术规范

Technical specification for protection of existing urban rail
transit structures

征求意见稿

20xx-x-x-发布

20xx-x-x-实施

湖南省住房和城乡建设厅
湖南省市场监督管理局

联合发布

湖南省地方标准

城市轨道交通既有结构安全保护技术规范

Technical specification for protection of existing urban rail
transit structures

DB43/Txxxx-2025

主编单位：长沙市轨道交通建设有限责任公司

湖南大学

批准部门：湖南省市场监督管理局

xxxxxxxxxxxxx 出版社

前 言

为保护湖南省城市轨道交通既有结构安全和正常运营，控制和管理外部作业对其影响，根据湖南省市场监督管理局《关于设备更新和消费品以旧换新行动专项地方标准制修订项目立项计划的通知》（湘市监标函〔2024〕132号）文件要求，编制组经广泛调查研究，参考国内有关标准，结合湖南省城市轨道交通既有结构安全保护实际情况，并在广泛征求意见的基础上，制定本规范。

本规范共分 10 章，主要内容包括：1 总则；2 术语、符号；3 基本规定；4 既有结构安全保护要求；5 外部基坑工程；6 外部隧道工程；7 外部基础工程；8 外部其他工程；9 监测；10 既有结构病害处治。

根据住房和城乡建设部《工程建设标准涉及专利管理办法》（建办标〔2017〕3 号）的要求，编制单位声明：本规范不涉及任何专利，如在使用过程中发现涉及专利技术请及时与编制组联系。

本规范由湖南省住房和城乡建设厅负责管理，主编单位负责具体内容的解释。本规范在执行过程中，请各单位注意总结经验，积累资料，并及时将有关意见和建议反馈给长沙市轨道交通建设有限责任公司（地址：长沙市雨花区杜花路 166 号，邮政编码：41002，电子邮箱：xxx），以供今后修订时参考。

本规范主编单位：长沙市轨道交通建设有限责任公司
湖南大学

本规范参编单位：中铁第四勘察设计院集团有限公司
广州地铁设计研究院股份有限公司
北京城建设计发展集团股份有限公司
中国建筑第五工程局有限公司
湖南省轨道勘察设计有限公司
湖南中腾土木工程技术有限公司

本规范主要起草人：陈仁朋、罗国强、邓武、聂小沅、钟可、陈立、程红战、戴亚军、何丹、肖衡、秦宿钧、程世娟、刘翔、蒋超、吴怀娜、肖欣欣、高云、张帅、孟凡衍、张波、唐文鹏、雷军、刘源、杨亮、袁钰清、庄旺、陆平、李金光、杨文峰、阮世强

本规范主要审查人：

目 次

1 总 则	1
2 术语、符号	2
2.1 术语	2
2.2 符号	3
3 基本规定	5
4 既有结构安全保护要求	8
4.1 一般规定	8
4.2 结构调查	8
4.3 控制标准	11
4.4 安全巡查	13
4.5 安全评估	13
5 外部基坑工程	16
5.1 一般规定	16
5.2 旁侧基坑	17
5.3 上方基坑	18
6 外部隧道工程	19
6.1 一般规定	19
6.2 盾构法与顶管法隧道工程	20
6.3 矿山法隧道工程	21
7 外部基础工程	22
7.1 一般规定	22
7.2 浅基础	22
7.3 桩基础	23
8 外部其他工程	24
8.1 一般规定	24
8.2 高架工程	25

8.3 道路工程	25
8.4 爆破作业	26
8.5 河道疏浚和抛填作业	27
8.6 管线敷设	27
9 监测	29
9.1 一般规定	29
9.2 监测项目	30
9.3 测点布置	31
9.4 监测方法和频率	34
9.5 监测数据管理	36
10 既有结构病害处治	38
附录 A 外部作业的接近程度和工程影响分区	40
本规范用词说明	45
引用标准名录	46
条文说明	48

Contents

1 General Provisions	1
2 Terms、 Symbol	2
2.1 Terms	2
2.2 Symbols	3
3 Basic Requirements	5
4 Existing Structure Safety Protection Requirements	8
4.1 General Requirements	8
4.2 Recent Survey	8
4.3 Control Standard	11
4.4 Safety Patrol	13
4.5 Safety Assesment	13
5 External Foundation Excavation Engineering	16
5.1 General Requirements	16
5.2 Side Foundation Excavation	17
5.3 Upper Foundation Excavation	18
6 External Tunneling Engineering	19
6.1 General Requirements	19
6.2 Shield and Pipe Jacking Tunnels Engineering	20
6.3 Mine Method Tunnel Engineering	21
7 External Foundation Engineering	22
7.1 General Requirements	22
7.2 Shallow Foundation	22
7.3 Pile Foundation	23
8 Other External Engineering	24
8.1 General Requirements	24
8.2 Elevated Engineering	25

8.3 Roadbed Engineering	25
8.4 Blasting Action	26
8.5 Channel Dredging and Filling Operations	27
8.6 Pipe Laying	27
9 Monitoring	29
9.1 General Requirements	29
9.2 Monitoring Items	30
9.3 Monitoring Point Arrangement	31
9.4 Monitoring Methods and Frequency	34
9.5 Monitoring Data Management	36
10 Existing Structural Disease Treatment	38
Appendix A	40
Explanation of Wording in This Standard	45
List of Quoted Standards	46
Explanation of Provisions	48

1 总 则

1.0.1 为保护湖南省城市轨道交通既有结构安全和正常运营，控制和管理外部作业对其影响，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于湖南省城市轨道交通（含市域轨道交通）既有结构安全保护。

1.0.3 城市轨道交通既有结构的安全保护除应符合本规范外，尚应符合国家、行业、地方现行有关标准及长沙市轨道交通条例的规定。

2 术语、符号

2.1 术语

2.1.1 城市轨道交通 existing rail transit

采用专用轨道导向运行的已运营或已建成但未投入运营的公共客运交通系统，包括地铁系统、轻轨系统、单轨系统、有轨电车、磁浮系统、自动导向轨道系统、市域快速轨道系统。

2.1.2 安全保护区 safe protected area

为保护城市轨道交通既有结构的正常使用和安全，在其周边特定范围内设置的控制和保护区域。

2.1.3 外部作业 external action

在城市轨道交通既有结构安全保护区内进行的、对其存在潜在影响的作业。

2.1.4 安全控制指标 safety control index

根据城市轨道交通既有结构的健康现状及保护要求，针对外部作业时城市轨道交通既有结构的响应特征，为其安全保护而选用的结构变形、荷载等物理量。

2.1.5 安全控制指标值 value for safety control index

根据城市轨道交通既有结构的健康现状及保护要求，针对各城市轨道交通既有结构安全控制指标而制定的控制值。

2.1.6 影响等级 influencing grade

外部作业对城市轨道交通既有结构安全影响程度的分级。

2.1.7 工程影响分区 influenced zone due to construction

根据外部作业对城市轨道交通既有结构安全影响程度的大小而进行的区域划分。

2.1.8 重大影响外部作业 significant impact external action

指影响等级为特级、一级、二级的外部作业或可能对城市轨道交通既有结构产生严重影响的外部作业。

2.1.9 安全评估 safety assessment

根据城市轨道交通既有结构现状调查情况、外部作业的设计方案和施工组织方案及保护方案等，通过计算分析和工程类比等方法，评估外部作业对既有结构安全影响的工作。

2.1.10 外部基坑工程 external foundation pit

位于城市轨道交通既有结构安全保护区内，在其周边实施的基坑工程。

2.1.11 外部隧道工程 external tunneling

位于城市轨道交通既有结构安全保护区内，在其周边实施的上跨、下穿或与其平行的新建、改建、扩建隧道工程。

2.1.12 外部基础工程 external foundation

位于城市轨道交通既有结构安全保护区内，在其周边实施的浅基础和桩基础工程。

2.1.13 病害处治 disease treatment

针对城市轨道交通既有结构病害采取的修复措施。

2.2 符号

b —— 裂缝宽度

B_f —— 浅基础底面宽度

B_p —— 桩基础承台宽度，不规则承台取最大外廓宽度

D —— 盾构法或顶管法城市轨道交通既有结构的隧道外径，圆形顶管结构的外径或矩形顶管结构的长边宽度

D^* —— 外部隧道外径与城市轨道交通隧道结构外径或宽度的较大值

D_1 —— 地下管线外径与城市轨道交通隧道结构外径或宽度的较大值

D_0 —— 外部盾构隧道结构外径

D_0' —— 外部顶管隧道结构外径

ΔD —— 城市轨道交通盾构隧道结构直径变化量

G —— 监测比值

H ——明挖、盖挖法城市轨道交通既有结构的基坑开挖深度

h_1 ——明挖、盖挖法外部作业结构底板的深度

h_2 ——矿山法和盾构法外部作业的隧道底板深度

P ——高架桥梁桩基（单桩）结构的桩径

W ——矿山法城市轨道交通既有结构的隧道毛洞跨度

W' ——外部矿山法隧道的毛洞跨度

Δ ——相对变曲

3 基本规定

3.0.1 需要保护的城市轨道交通既有结构包括：

- 1 地下车站和区间结构；
- 2 地面车站和区间结构；
- 3 高架车站和区间结构；
- 4 车站附属结构，包括出入口、风亭、冷却塔等；
- 5 其他结构，包括联络通道、区间风井、出入段（场）线、车辆段（停车场）、控制中心、主变电所、外线高压电缆管沟等。

3.0.2 外部作业不得影响城市轨道交通的正常运营，不得影响既有结构的正常使用、承载能力、耐久性和其他功能。在城市轨道交通既有结构周边进行外部作业时，应制定安全可靠的设计、施工方案以及必要的控制措施。

3.0.3 城市轨道交通沿线应设置安全保护区，应符合以下规定：

- 1 地下车站和隧道结构外边线外侧 50m 内；
- 2 地面和高架车站以及线路轨道结构外边线外侧 30m 内；
- 3 轨道交通车站附属结构及其他结构用地范围外侧 10m 内；
- 4 轨道交通过江、过河隧道结构外边线外侧 150m 内；
- 5 外线高压电缆管沟结构外边线外侧 10m 内；
- 6 当安全保护区位于特殊工程地质，有大边坡或在安全保护区内实施特殊外部作业，宜适当扩大安全保护区范围。

3.0.4 外部作业实施前，应确定外部作业影响等级和轨道交通结构安全控制标准。

3.0.5 外部作业影响等级应综合考虑外部作业的接近程度、工程影响分区进行划定，应符合表 3.0.5 的规定。

表 3.0.5 外部作业影响等级划分

外部作业的 工程影响分区	外部作业的接近程度			
	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	三级
较小影响区 (D)	二级	三级	三级	四级 (简易工程)

- 注：1 该表适用于围岩级别为 IV~V 级；当围岩级别为 I~III 时，表中的影响等级可降低一级；当围岩级别为 VI 时，表中的影响等级应提高一级，特级时不再提高；
- 2 围岩级别应符合现行国家标准《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB50307 中的相关规定；
- 3 当轨道交通结构所处工程地质条件复杂或存在地质灾害的情况时，外部作业影响等级应结合类似工程经验确定，且不宜低于一级；
- 4 外部作业影响等级可以根据既有结构服役状态适当调整；
- 5 外部作业的接近程度和工程影响分区应按附录 A 确定。

3.0.6 外部作业净距控制管理值宜符合表 3.0.6 的规定。

表 3.0.6 外部作业净距控制管理值

外部作业类型		城市轨道交通既有结构		
		地下结构	地面结构	高架结构
工程桩*	非挤土桩	≥3m	≥3m	≥3m
	挤土桩	≥20m	≥6m	≥6m
围护结构、地下连续墙		≥5m	≥5m	≥5m
锚杆、锚索、土钉 (末端) *		≥6m	≥6m	≥6m
钻探孔、监测孔		≥3m	≥3m	≥3m
上方基坑#		≥3m	—	—
隧道穿越#		≥3m	—	—
起重、吊装设备		—	≥6m	≥6m
搭建棚架及宣传标志		—	≥6m	≥6m
存放易燃物料		—	≥6m	≥6m
浅孔爆破*		≥15m	≥15m	≥15m
深孔爆破*		≥50m	≥50m	≥50m

- 注：1*指外部作业与城市轨道交通既有结构外边线之间的水平投影净距。地面结构为路基时，指外部作业与路基坡的水平投影净距；高架结构时，指外部作业与承台外边线的水平投影净距；
- 2 #指外部作业与轨道交通结构外边线之面的竖向净距；
- 3 当城市轨道交通既有结构位于不良地质条件时，外部作业净距控制管理值应进行专项论证。

3.0.7 安全保护区内的外部作业均不宜进行降水作业，如需进行降水作业应进行专项论证。

3.0.8 石油、天然气等易燃易爆物的设施净距控制管理值应符合现行国家标准《石油天然气工程设计防火规范》GB50183 的有关规定；加油加气加氢设备的净距控制管理值应符合《汽车加油加气加氢技术标准》GB50156 的有关规定；供电设备（接触网）的净距控制管理值应符合《110kV-750kV 架空输电线路设计规范》GB50545 的有关规定。

3.0.9 穿越江河的城市轨道交通地下结构，净距控制管理值应根据实际情况进行确定，且不宜小于本规范第 3.0.6 条中的 3 倍。

4 既有结构安全保护要求

4.1 一般规定

4.1.1 在城市轨道交通安全保护区内的外部作业，应综合考虑工程与水文地质条件、轨道交通结构安全状况、外部作业的特点、周边环境和地方经验等因素，采取可靠的技术措施，制定城市轨道交通专项保护方案，控制城市轨道交通既有结构变形在允许的限值内并保障轨道交通设施设备功能，以确保城市轨道交通既有结构安全。

4.1.2 在城市轨道交通安全保护区从事重大影响外部作业时，作业单位应当对城市轨道交通既有结构进行安全评估和监测，并制定保护专项技术方案和应急预案报相关单位备案。

4.1.3 外部作业应保障作业安全，避免发生险情。当出现险情时，应优先确保城市轨道交通安全。

4.1.4 城市轨道交通既有结构安全保护区内存在多项时空相近的外部作业时，应综合考虑其对城市轨道交通既有结构产生的叠加效应。

4.2 结构调查

4.2.1 对于影响等级为二级及以上的外部作业，应在安全评估前对城市轨道交通既有结构进行调查，影响等级为三级、四级时可进行调查。结构调查应包括工前调查、过程调查及工后确认。调查应准确、全面反映结构的安全现状。

4.2.2 城市轨道交通既有结构的调查范围应根据外部作业类型和对既有结构的影响程度确定，应包括外部作业的投影区域及既有结构可能受影响的范围。

4.2.3 工前调查应在外部作业施工之前进行，调查应包含但不限于以下内容：

- 1 调查外部作业施工范围内城市轨道交通既有结构技术资料等；

2 外部作业和既有结构的周边环境资料，包括邻近建（构）筑物、地下管线等；

3 前期其他外部作业影响扰动记录及监测数据等资料；

4 既有结构现状情况，重点是既有结构的裂缝、破损、渗漏水、道床脱空、不均匀沉降、水平位移、管片接缝张开与错台等。

4.2.4 工前调查应查明城市轨道交通既有结构初始状况，根据既有结构病害情况，评估轨道交通结构安全状态，不同既有结构安全状态分级应符合表 4.2.4-1～4.2.4-2 的规定。

表 4.2.4-1 盾构法隧道安全状态分级标准

安全状态 指标	一级	二级	三级	四级
直径变化量 ΔD (‰)	$0 \leq \Delta D < 3$	$3 \leq \Delta D < 6$	$6 \leq \Delta D < 10$	$\Delta D \geq 10$
裂缝宽度 b (mm)	$0 \leq b < 0.2$	$0.2 \leq b < 1.0$	$1.0 \leq b < 2.0$	$2.0 \leq b$
渗漏水状态	无	渗漏水使得道床状态恶化、钢轨腐蚀及养护周期缩短；隧道湿迹、渗水及排水不良等引起隧道内局部道床积水	隧底涌流、拱部滴漏，隧道两侧渗水、渗泥沙，道床下沉，不能保持轨道几何尺寸，影响正常运行	水（砂）突然涌入隧道，淹没钢轨，危及行车安全；拱部线漏、涌流或直接传至接触网
压溃、剥落、剥离	无	管片局部压碎，剥落剥离区域直径小于 50mm	压溃范围小于 3m ² ，剥落剥离区域直径小于 150mm	压溃范围大于 3m ² 或衬砌掉块最大厚度大于衬砌厚度的 1/4，剥落剥离区域直径大于 150mm，危及行车安全
材料劣化	无	混凝土有轻微的起毛、酥松	混凝土表层多处出现起毛、酥松	材料劣化，稍有外力或振动，即会崩塌或剥落，对行车产生重大影响
钢筋、螺栓及钢管片锈蚀	无	表层存在轻微锈蚀	钢筋存在局部锈蚀；螺栓存在浅层锈蚀；钢管片表层存在多处锈蚀	钢筋主筋严重锈蚀并外露；螺栓全断面存在锈蚀，断面截面明显减少；钢管片表层存在明显点蚀
道床病害	无	道床两侧边缘出现轻微的破损变形、湿渍及浸渗	道床存在破损、下沉及隆起，道床和主体结构之间出现脱空	道床多处存在破损、变形，道床和主体结构之间多处出现脱空，脱空量已超过 3mm，局部涌

安全状态 指标	一级	二级	三级	四级
				流、漏泥沙，影响轨道的稳定性
管片接缝错台 $d_0(\text{mm})$	$0 \leq d_0 < 4$	$4 \leq d_0 < 8$	$8 \leq d_0 < 10$	$d_0 \geq 12$

表 4.2.4-1 非盾构结构安全状态分级标准

安全状态 指标	一级	二级	三级	四级
相对变曲 Δ	$\Delta \leq 1/2500$	$(1/2500, 1/1700]$	$(1/1700, 1/650]$	$\Delta > 1/650$
裂缝宽度 $b(\text{mm})$	肉眼不可见	$b \leq 0.3$	$0.3 < b \leq 0.4$	$0.4 < b$
渗漏水状态	无	渗漏水使得道床状态恶化、钢轨腐蚀及养护周期缩短；隧道湿迹、渗水及排水不良等引起隧道内局部道床积水	隧底涌流、拱部滴漏，隧道两侧渗水、渗泥沙，道床下沉，不能保持轨道几何尺寸，影响正常运行	水（砂）突然涌入隧道，淹没钢轨，危及行车安全；拱部线漏、涌流或直接传至接触网
压溃、剥落、剥离	无	管片局部压碎，剥落剥离区域直径小于 50mm	压溃范围小于 3m^2 ，剥落剥离区域直径小于 150mm	压溃范围大于 3m^2 或衬砌掉块最大厚度大于衬砌厚度的 1/4，剥落剥离区域直径大于 150mm，危及行车安全
材料劣化	无	混凝土有轻微的起毛、酥松	混凝土表层多处出现起毛、酥松	材料劣化，稍有外力或振动，即会崩塌或剥落，对行车产生重大影响
钢筋、螺栓及钢管片锈蚀	无	表层存在轻微锈蚀	钢筋存在局部锈蚀；螺栓存在浅层锈蚀；钢管片表层存在多处锈蚀	钢筋主筋严重锈蚀并外露；螺栓全断面存在锈蚀，断面截面明显减少；钢管片表层存在明显点蚀
道床病害	无	道床两侧边缘出现轻微的破损变形、湿渍、浸渗	道床存在破损、下沉、隆起，道床和主体结构之间出现脱空	道床多处存在破损、变形，道床和主体结构之间多处出现脱空，脱空量已超过 3mm，局部涌流、漏泥沙，影响轨道的稳定性

4.2.5 施工过程中出现以下情况时，宜开展过程调查工作：

1 既有结构监测数据的变化量与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%；

- 2 既有结构产生新增病害；
- 3 既有结构原有病害出现较快发展。

4.2.6 工后确认应在外部作业完成且既有结构变形稳定之后开展。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。

4.2.7 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、耐久性以及对运营安全的影响。

4.3 控制标准

4.3.1 由外部作业引起城市轨道交通（除磁悬浮）既有结构的综合影响限度应满足表 4.3.1-1~4.3.1-4 的要求，且不应影响其正常使用。

表 4.3.1-1 盾构法隧道变形控制指标值

结构变形控制指标(脱变量)	轨道交通结构安全状态		
	一级	二级	三级
隧道结构沉降 (mm)	≤20	≤10	≤5
隧道结构上浮 (mm)	≤10	≤5	≤3
隧道结构水平位移 (mm)	≤20	≤10	≤5
隧道结构径向收敛 (mm)	≤20	≤10	≤5
隧道轴线变形曲率半径(m)	>15000		
隧道变形相对曲率	<1/2500		
盾构管片接缝张开量 (mm)	≤2	≤1.5	≤1
隧道结构外壁附加荷载 (kPa)	≤20	≤15	≤10
盾构管片裂缝宽度 (mm)	≤0.2	≤0.15	≤0.1
振动速度 (cm/s)	≤2.5		

注：城市轨道交通既有结构安全状态为四级时，表示既有结构服役状态差，应预先进行结构加固后方可进行外部作业，应根据加固的情况确定既有结构的控制指标值。

表 4.3.1-2 桥梁变形控制指标值

结构变形控制指标	桥墩竖向位移	墩顶纵向水平位移	墩顶横向水平位移	桥墩倾斜
控制值	<10mm	≤10mm	≤10mm	≤2‰

表 4.3.1-3 地面线、地下车站、出入段等变形控制指标值

结构变形控制指标	城市轨道交通既有结构安全状态		
	一级	二级	三级
竖向位移 (mm)	≤20	≤10	≤5
水平位移 (mm)	≤20	≤10	≤5
轨行区变形缝差异沉降 (mm)	≤5	≤3	≤2
结构外壁附加荷载 (kPa)	≤20	≤15	≤10
结构裂缝宽度 (mm)	迎水面<0.2 背水面<0.3	迎水面<0.15 背水面<0.2	迎水面<0.1 背水面<0.15
振动速度 cm/s	≤2.5		
墙体倾斜	≤1‰		
注：轨道交通结构安全状态为四级时，表示既有轨道交通结构服役状态差，应预先进行结构加固后方可进行外部作业。			

表 4.3.1-4 轨道及道床变形控制指标值

控制指标	控制值
轨道横向高差	<4mm
轨向高差 (矢度值)	<4mm/10m
轨间距	>-4mm, <6mm
道床脱空量	<5mm

4.3.2 在外部作业影响下，时速 160km/h 及以下的磁浮隧道、路基等主体结构控制标准可参照第 4.3.1 条相关要求，磁浮桥梁主体结构控制标准可参照第 4.3.3 条相关要求，磁浮轨道静态平顺度应符合表 4.3.2 的规定。

表 4.3.2 磁浮轨道静态平顺度控制指标值

序号	项目	容许偏差	备注
1	轨距	±1mm	两轨面中心距离
2	水平	±1.5mm/3m	四磁极面水平共面度
3	高低	1.5mm/4m	单磁极面沿轨道方向平面度；

		3mm/10m	前后高低：测量弦长 4m 或 10m
4	轨向	1.5mm/4m	单磁极面沿轨道方向直线度； 轨道方向：测量弦长 4m 或 10m
		3mm/10m	
5	轨缝错位	±1mm	前后相邻轨排之间的竖向(横向)轨缝错位

4.3.3 在外部作业影响下，时速 160km/h 及以下的磁浮桥梁墩台顶位移控制指标值应符合表 4.3.3 的规定：

表 4.3.3 墩台顶位移控制指标值

墩顶位移	横向水平位移	纵向水平位移	竖向位移
控制值	2mm	2mm	2mm
注：当不满足表 4.3.3 要求时，宜进行专项论证，但轨道平顺性应符合本规范第 4.3.2 条的规定。			

4.4 安全巡查

4.4.1 外部作业单位安全巡查应采取定期巡查、随机巡查和重点巡查相结合的方式，对轨道交通安全保护区的安全隐患实行定期巡查，对轨道交通安全保护区内作业项目视情况进行随机巡查，对安全保护区内风险较大的项目以及监测数据变化较大的项目，根据需要进行重点巡查。

4.4.2 特级、一级、二级项目安全巡查按不少于 1 次/1 周，三、四级项目不少于 1 次/2 周的频率进行。

4.4.3 当城市轨道交通既有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。

4.4.4 当巡查发现既有结构出现异常时，应结合监测数据等资料，对结构进行安全状态分析，并采取有效措施降低不利影响。

4.5 安全评估

4.5.1 外部作业影响等级为特级、一级、二级时，应进行安全评估；外部作业影响等级为三级时，应根据地质情况、工程建设规模及城市轨道交通既有结构受影响程度，判定是否需要进行安全评估。

4.5.2 安全评估应贯穿于外部作业的设计、实施及竣工使用全过程，应包括外部

作业影响预评估、外部作业施工过程评估、外部作业影响后评估，并应符合下列规定：

1 外部作业影响预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既有结构的安全状态及持续抗变形能力和承载能力，并应确定相应的结构安全控制指标值；预测外部作业的施工阶段、使用阶段对既有结构安全和运营安全的影响，论证外部作业设计方案和既有结构保护方案的可行性，提出既有结构安全保护措施及监测建议；

2 外部作业实施过程评估应在外部作业实施过程中，定期调查分析既有结构安全和运营安全状态，评估后续外部作业设计方案和既有结构保护方案的可行性，必要时可重新制定既有结构保护方案或调整外部作业设计和实施方案；

3 外部作业影响后评估应在外部作业完成后，评估既有结构安全和运营安全状态，明确既有变形与承载力冗余度，必要时可提出病害处治和结构加固措施，并对采取措施后的既有结构安全和运营安全状态进行再评估。

4.5.3 重大影响外部作业的城市轨道交通既有结构保护专项技术方案应经过专项技术论证，内容应包括外部作业的设计方案、安全评估报告、城市轨道交通既有结构保护专项方案、施工方案、监测方案、应急预案等。

4.5.4 安全保护区内存在多项外部作业时，安全评估应综合考虑其对城市轨道交通既有结构产生的叠加影响，后实施的外部作业安全评估应考虑先行实施的外部作业对地层扰动的影响。

4.5.5 安全评估内容应形成专项评估报告，评估报告内容应包含外部作业的影响等级、对城市轨道交通既有结构的影响分析、结论和建议等。

4.5.6 安全评估可采用工程类比、数值模拟、理论分析等方法，必要时可结合模型试验、原位试验进行。

4.5.7 安全评估宜评估外部作业引起的城市轨道交通既有结构位移、纵向差异沉降、纵向曲率半径、径向收敛、接缝张开量、路基沉降、桥桩沉降和轨道沉降等，相关控制指标值应符合本规范第 4.3 节的规定。

4.5.8 采用工程类别法评估外部作业对城市轨道交通既有结构影响时，应符合下列规定：

1 应选择与待评估外部作业工况相似的工程作为类比对象，应在地质条件、

结构形式、地下水位、施工工艺等方面具有可比性；

2 应对类比工程资料进行详细分析，包括在外部作业过程中城市轨道交通既有结构变形、病害发展规律等；

3 在进行类比时，应识别和分析可能影响城市轨道交通既有结构安全的各类因素。

4.5.9 采用数值模拟评估外部作业对城市轨道交通既有结构影响时，应符合下列规定：

1 土体宜采用考虑小应变特性的弹塑性本构模型，岩石可采用理想弹塑性的 Mohr-Coulomb 模型或 Drucker-Prager 模型，模型参数应根据岩土勘察报告提供的相关参数及工程经验综合确定；

2 盾构隧道可简化为连续均质壳体，并考虑纵缝和环缝接头对结构刚度弱化的影响，在管片刚度基础上引入刚度折减系数，纵向刚度折减系数可取 0.2~0.3，横向刚度折减系数可取 0.6~0.8；

3 地下结构-土体界面宜设置接触面单元模拟地下结构与土体的相互作用；

4 分析范围应根据工程范围、工程结构方案以及工程施工方案综合研究确定。

4.5.10 采用理论方法评估外部作业对城市轨道交通既有结构的影响时，应符合下列规定：

1 评估过程宜采用两阶段法，引起的既有结构附加荷载可根据外部作业引起的地层应力场或位移场计算；

2 地层-地下结构相互分析宜采用荷载-结构法，隧道纵向和横向结构宜分别进行评估，地层可简化为文克尔地基；

3 矿山法隧道纵向结构宜简化为欧拉梁，盾构法隧道纵向结构宜简化为铁木辛柯梁；

4 隧道横向结构宜等效为截面刚度相同的匀质圆环。

5 外部基坑工程

5.1 一般规定

5.1.1 在城市轨道交通安全保护区内进行基坑工程作业时，应综合考虑工程地质与水文地质条件、相对位置关系、场地环境、基坑开挖尺寸、轨道交通结构现状等因素确定设计与施工方案。

5.1.2 基坑工程设计与施工应综合考虑施工过程中下列因素对城市轨道交通既有结构的不利影响：

- 1 基坑侧壁位移及坑底隆起；
- 2 基坑土方开挖卸载及回填加载；
- 3 土体加固；
- 4 降排水；
- 5 永久结构的附加荷载；
- 6 支护结构选型、结构体系及施工；
- 7 临时堆土、施工机具、重载车辆行驶等地面超载；
- 8 工后变形；
- 9 其他不利影响。

5.1.3 有压力的基坑工程作业（如注浆、旋喷及施工机具超载等），地面超载不应大于 20kPa。如果基坑周边环境复杂或存在特殊情况，地面超载的限值可根据实际设计要求进行调整。

5.1.4 基坑开挖应遵循分段、分层、对称、限时、先撑后挖的原则。土方开挖的分层厚度应根据土质条件和城市轨道交通既有结构变形控制要求综合确定，软土地层不宜大于 1.5m，一般地层不宜大于 3m。重型机械设备、土方运输车辆的行进路线宜避开城市轨道交通正上方区域。

5.1.5 在城市轨道交通安全保护区内进行基坑工程作业时，宜采用合适的地下水控制技术，维持城市轨道交通既有结构周边地层的水位。

5.1.6 外部基坑工程中同时存在旁侧基坑和上方基坑时，宜将旁侧基坑与上方基坑分期实施，并综合考虑二者叠加效应的影响。

5.1.7 基坑工程作业时，应注意对城市轨道交通既有结构、防水及设施设备等的保护。

5.2 旁侧基坑

5.2.1 对位于城市轨道交通既有结构侧方的基坑工程，当外部作业影响等级为特级、一级或有特殊要求时，应符合下列规定：

1 基坑应采用整体刚度较大的支护结构体系，如支挡式、支撑式、双排桩、支护结构与主体结构结合的逆作法、重力式挡土墙（基坑深度 $<7\text{m}$ ）等，应尽量避免采用锚拉式支护结构体系；

2 基坑的拆撑、换撑应采取安全可靠的作业方案；

3 基坑围护结构与轨道交通结构侧墙之间的空隙，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；

4 采用排桩支护时，应采取间隔成桩的施工顺序；对混凝土灌注桩，应在混凝土终凝后，再进行相邻桩的成孔施工；

5 成孔、成槽前应选择合适的机械设备，并应进行试验确定施工工艺及施工参数；当存在松散或稍密的砂土、稍密的粉土、软土等易坍塌或流动的软弱土层，可采取改善泥浆性能、加固孔壁、套筒跟进等措施防止塌孔；不得采用施工振动较大的施工机械和工艺，如冲击钻成桩、振动地基加固、锤击管孔等；

6 当基坑与轨道交通结构净距不足0.5倍基坑深度时，施工前宜对基坑与轨道交通结构间土体采取注浆、旋喷等措施进行加固，可采用支撑轴力伺服控制系统主动控制基坑围护结构变形，也可设置隔离桩或隔离墙；

7 基坑开挖位于强透水地层，应采取封闭止水措施；

8 当基坑与轨道交通结构共线距离较长时，可进行分坑设计，靠近轨道交通结构侧宜采用小基坑开挖。

5.2.2 对位于城市轨道交通隧道结构侧方的基坑工程，当外部作业影响等级为二级且无特殊要求时，应符合本规范第5.2.1条的规定。

5.2.3 对位于城市轨道交通隧道结构侧方的基坑工程，当外部作业影响等级为三级或四级且无特殊要求时，基坑应采用安全可靠的支护结构体系，如支挡式结构、土钉墙结构、重力式水泥土墙（基坑深度 $<7\text{m}$ ）、放坡等。

5.3 上方基坑

5.3.1 对位于城市轨道交通既有结构上方的基坑工程，应分别考虑施工阶段及使用阶段城市轨道交通既有结构的内力和变形。

5.3.2 对位于城市轨道交通地下结构上方的基坑工程，应控制地下结构上方的覆土厚度，覆土厚度应满足城市轨道交通既有结构的抗浮要求，且覆土厚度应通过安全评估确定。

5.3.3 外部作业项目设计时应尽量加大基坑底与城市轨道交通既有结构的净距。对于盾构法、顶管法及矿山法等城市轨道交通隧道结构，其净距不应小于 0.5 倍洞径，且不宜小于 0.8 倍洞径。当净距小于 0.8 倍洞径时，应综合考虑地质条件、施工方法及轨道交通结构的安全性，采取结构抗浮和抗隆起措施。

5.3.4 在城市轨道交通既有结构上方进行基坑工程作业时，应符合下列规定：

1 应充分利用“时空效应”，开挖时应分层、分块，开挖到底后应及时封闭基坑底板；

2 上方基坑平行城市轨道交通既有结构范围较大或剩余覆土较小时，应采取跳仓法施工，必要时可采用抗隆起框架、在混凝土垫层或底板上设置临时压重等措施；

3 采用地层加固限制既有结构上浮时，地层加固宜采用“门式”布置；

4 城市轨道交通既有结构上方基坑支护宜采取支挡式结构，桩（墙）底距离城市轨道交通既有结构顶板净距不应小于 3m，应采用低振动、低噪音的施工工艺，禁止采用振动钻、冲击钻、爆扩等影响大的工法。

6 外部隧道工程

6.1 一般规定

6.1.1 新建隧道上穿、下穿或侧穿城市轨道交通既有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。

6.1.2 外部隧道工程设计与施工应综合考虑施工过程中土体应力状态变化、地层土体损失、工后变形等不利因素对城市轨道交通既有结构的影响。

6.1.3 新建隧道与城市轨道交通既有结构交叉时，线路宜设计为直线，条件受限时，宜采用较大的曲线半径。隧道线路纵坡形式宜采用单向坡，当采用双向坡时，宜采用较大的竖曲线半径，宜优先从结构上方垂直穿越，从结构下方穿越时应符合安全净距的相关规定，并应避开既有结构的变形缝、结构开洞等薄弱位置。

6.1.4 新建隧道施工前，应对城市轨道交通既有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、城市轨道交通既有结构加强等措施。

6.1.5 新建隧道的工作井、联络通道及泵房不宜设置在城市轨道交通既有结构安全保护区内。当条件受限必须设置于安全保护区内时，应采取可靠措施确保城市轨道交通既有结构安全。

6.1.6 城市轨道交通安全保护区内外部隧道工程施工前，应进行试验性施工，试验段长度不宜小于 50m，据此确定施工工艺和施工参数。

6.1.7 外部作业穿越城市轨道交通既有结构时，宜在城市轨道交通停运期间连续、匀速穿越，不应间断施工；城市轨道交通运营期实施穿越工程时，城市轨道交通宜根据穿越工程的影响程度大小考虑采取限速运营措施。

6.1.8 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既有结构造成不利影响。新建隧道采用钢管、铸铁等导电材料时，应采取主动防护措施，防止杂散电流对新建管道的腐蚀。

6.1.9 城市轨道交通安全保护区内新建隧道应加强结构强度和防水措施，防水等级应满足现行《建筑与市政工程防水通用规范》GB55030 规定的一级防水等级，矿山法隧道应采用全包防水。

6.1.10 隧道穿越高架车站及区间、地面车站及区间时，应符合下列规定：

- 1 优化隧道的平面线型布置，隧道与轨道交通结构的桩基净距不宜小于 2m；
- 2 对软弱地层，可采取地基预加固措施减少穿越施工时对城市轨道交通既有结构地基基础承载力的不利影响。

6.1.11 隧道穿越既有盾构法或顶管法结构时，应符合下列规定：

- 1 二者的竖向净距不宜小于 $0.5D^*$ ；
- 2 有条件时应选择从既有盾构法或顶管法结构上部穿越。

6.2 盾构法与顶管法隧道工程

6.2.1 外部盾构法、顶管法隧道工程应根据工程地质、水文地质条件，结合穿越既有轨道交通结构关系等特点对盾构与顶管设备选型进行专项论证。

6.2.2 外部盾构法、顶管法隧道工程施工宜采用土压式、泥水加压式。

6.2.3 外部盾构法、顶管法隧道工程穿越前，应符合下列规定：

- 1 应做好盾构和顶管设备的检查保养及姿态调整工作，不应在城市轨道交通影响区内进行换刀、停机、姿态大幅度调整等作业；
- 2 应预判穿越过程中可能发生的沉降、空洞或喷涌等危险情况，必要时可采用有效措施及时止水、充填及支撑稳定地层；
- 3 外部作业的影响等级为一级及以上时，外部隧道结构应预先增设注浆孔。

6.2.4 外部盾构法、顶管法隧道工程穿越时，应遵循微扰动掘进的原则，并符合下列规定：

- 1 工作井宜设置于轨道交通安全保护区之外，当位于安全保护区之内时，应采取可靠的进出洞加固措施；
- 2 穿越既有轨道交通结构前应设置试验段，穿越前检查设备，轨道交通保护区应避免停机；
- 3 应保持稳定姿态，避免过大纠偏；

4 应稳定刀盘的正面压力，保持土仓压力与开挖地层压力的相对平衡；

5 同步注浆应遵循多点同时压注、实时适量注浆原则，注浆压力与地层压力应保持相对平衡；浆液配比应根据地层特点及工程经验选取，浆液的早期强度可根据需要合理提高；

6 应加强既有轨道交通结构变形监测，做到信息化施工；既有轨道交通结构变形较大或快速发展时，应及时进行外部隧道结构壁后二次注浆，减少后续变形；

6.2.5 外部盾构法、顶管法隧道工程穿越后，应持续监测既有轨道交通结构变形直至稳定。

6.3 矿山法隧道工程

6.3.1 软弱地层中外部隧道工程的作业等级为特级时，不宜采用矿山法施工。

6.3.2 外部隧道工程采用矿山法施工，应遵循“管超前、严注浆、短开挖、强支护、快封闭、勤量测”的施工原则。

6.3.3 外部隧道工程采用矿山法施工时，应符合下列规定：

1 对软弱地层，宜对开挖全断面及周边不小于 2m 范围内的土体进行加固处理；

2 采用管幕法进行初期支护时，应严格控制钢管定向钻进的施工精度，并在管幕外侧跟进注浆回填，补偿地层松弛变形；

3 开挖阶段应合理布设开挖导洞，安排施工步序，预先采取地下水处理措施，避免流砂和管涌。

6.3.4 采用矿山法穿越施工时，不宜采用冻结法加固地层，初期支护宜采用拼装式钢架结合喷射混凝土。

6.3.5 矿山法隧道不应采用爆破施工。

7 外部基础工程

7.1 一般规定

7.1.1 外部基础的选型应结合对既有城市轨道交通的影响综合确定。

7.1.2 在轨道交通安全保护区内的浅基础和桩基础作业，应根据基础设计方案和施工方案开展安全评估工作。

7.2 浅基础

7.2.1 浅基础应避免布置于城市轨道交通车站和区间隧道结构正上方，浅基础设计与施工应综合考虑下列因素对轨道交通结构安全的不利影响：

- 1 基底应力、基础侧向压力等引起的城市轨道交通既有结构受力状态变化；
- 2 施工及长期使用期间的地基变形引起的城市轨道交通既有结构附加应力及变形。

7.2.2 浅基础对轨道交通结构的外部作业影响等级为特级时，应采用加大基础整体刚度、采用轻质材料换填等措施，以减少轨道交通结构变形影响。

7.2.3 对软弱地基，可采用地基处理措施减少地基变形，浅基础作业影响等级为特级和一级时，地基处理设计与施工应符合下列规定：

- 1 不应采用预压、强夯、挤（振、冲）密等对周边环境影响较大的地基处理工艺；
- 2 正式施工前应选择典型部位进行试验性施工，评估地基处理效果及环境影响，确定施工工艺和施工参数；
- 3 对注浆、旋喷等有压力的外部作业，实施前应制定安全可靠的作业方案，压力控制值宜在相似地层试验的基础上确定。

7.3 桩基础

7.3.1 桩基础设计与施工应综合考虑下列因素对城市轨道交通既有结构安全的不利影响：

- 1 成桩施工引起的城市轨道交通既有结构附加应力及变形；
- 2 承台侧面及底部土体压力、桩顶水平力、桩侧摩阻力和桩端阻力等引起的轨道交通结构受力状态变化；
- 3 桩基础使用期间引起的城市轨道交通既有结构附加应力及变形。

7.3.2 桩基应选择中、低压缩性土层作为桩端持力层。对非嵌岩桩，桩基础影响等级为特级时，桩端应超过城市轨道交通既有结构底部不小于 $1D$ ；桩基础影响等级为一级时，桩端应超过城市轨道交通设施底部不小于 $0.5D$ 。

7.3.3 桩基础施工应符合下列规定：

- 1 正式施工前应进行试成孔；
- 2 成桩施工顺序应遵循先近后远的原则；
- 3 灌注桩距离轨道交通结构较近时，可采取减小桩径、钢套管护壁、增加泥浆比重、地基预加固、间隔跳开施工等措施减少成桩施工影响；
- 4 钻孔桩施工时控制泥浆比重，防止塌孔或过量抽排地下水导致隧道周围土体流失，必要时采用回灌井维持地下水位平衡；
- 5 挤土桩施工可采用预钻孔、设置防挤沟、隔离墙等措施减少挤土效应；
- 6 桩基础施工时不得采用振动较大的机械和工艺。

7.3.4 当采用桩筏基础跨越城市轨道交通既有结构时，宜在筏板基础与地基之间柔性垫层，减小作用于既有结构的附加荷载。

8 外部其他工程

8.1 一般规定

- 8.1.1** 改变城市轨道交通既有结构构件或其用途的外部作业宜进行安全评估。
- 8.1.2** 轨道交通设施上方外部作业（含改扩建工程、拆除工程、注浆）引起的既有轨道交通隧道结构外壁附加荷载不应大于 20kPa；对于附加荷载较大的工程，应采取桩基等形式将荷载转移或分散，或采取隔离桩等保护措施。
- 8.1.3** 外部作业施工前应调查地质和地下结构情况，施工过程中应对周边带水、带压、易燃、易爆管线进行严格监测；对于废弃后的地下结构，应采取可靠的回填措施。
- 8.1.4** 城市轨道交通严格保护区内的钻探施工作业，应严格控制偏移量，应根据产权单位竣工测量资料进行坐标点位复核，无误后方可实施，施工完毕后应及时封孔回填。
- 8.1.5** 不宜在城市轨道交通结构安全保护区内进行土方堆载、卸载作业。对于在城市轨道交通既有结构影响保护区内进行加载或卸载作业，应验算其对既有结构的影响，并应满足相应结构安全控制指标要求。
- 8.1.6** 塔式起重机等外部高空作业吊重时，严禁经过城市轨道交通地面结构和高架结构的正上方，并应保持安全距离。
- 8.1.7** 城市轨道交通既有结构正上方区域不应作为材料堆场，不宜设置基坑出土口或运输车道。
- 8.1.8** 城市轨道交通既有结构邻近高边坡、高挡墙时，外部作业应保证高边坡、高挡墙及其基础的安全。
- 8.1.9** 与城市轨道交通地面及地上结构交叉的外部作业应设置限高标志和防护、防撞设施，与城市轨道交通既有结构的净空必须满足本规范第 3.07 条的规定。
- 8.1.10** 城市轨道交通结构安全保护区内的冻结法作业，应采取降低地层冻胀、融沉对城市轨道交通既有结构产生的不利影响。

8.1.11 对城市轨道交通结构周边土体采取注浆加固措施时，宜采用微扰动注浆工艺；在注浆过程中应对城市轨道交通既有结构进行实时监测，根据监测情况，合理调整注浆压力，优化浆液配比，并判定注浆的终止与否。应合理提高浆液的早期强度，保证加固的综合效果，并进行取芯验证。

8.1.12 城市轨道交通结构安全保护区内既有房屋改造、加固施工应采取安全可靠的作业方案。

8.1.13 改扩建工程中改变城市轨道交通主体结构构件时，应进行现状鉴定和安全评估，必要时进行加固处理；改造过程中应采取可靠措施保证城市轨道交通结构和运营安全。

8.1.14 外部作业与城市轨道交通结构间增设连通口时，城市轨道交通结构开设洞口部位应采取可靠的洞口加固措施及接缝处的防水加强措施。

8.2 高架工程

8.2.1 高架工程作业应综合考虑下列因素对城市轨道交通结构安全的不利影响：

- 1 施工荷载及使用荷载等引起的城市轨道交通结构附加应力及变形；
- 2 桩基在长期使用期间的地层变形引起的城市轨道交通既有结构附加应力及变形。

8.2.2 当高架工程邻近城市轨道交通既有结构基础时，实施前应评估其对城市轨道交通基础的安全影响。

8.2.3 高架工程与城市轨道交通交叉部位，桥下净空必须满足城市轨道交通行车安全、与接触网的安全距离及维修的要求。

8.2.4 高架工程与城市轨道交通交叉部位应设置安全防护措施，防止火灾、积水、车辆或其他物体坠入、碰撞等事件危及城市轨道交通既有结构安全。

8.2.5 高架工程与城市轨道交通交叉部位应采取防落梁等措施。

8.2.6 高架工程中桩基础的设计和施工应符合本规范第 7.3 节的规定。

8.3 道路工程

8.3.1 道路工程应综合考虑下列因素对城市轨道交通既有结构安全的不利影响：

1 施工过程中堆载、卸载和施工荷载等引起的城市轨道交通既有结构附加应力及变形；

2 道路运营阶段引起的城市轨道交通既有结构附加应力及变形。

8.3.2 市政道路上跨城市轨道交通地面线路或下穿城市轨道交通高架结构时，应设置防护、防撞，限高设置及警示标志。

8.3.3 对软弱地基，道路施工时宜采用地基处理措施减少地基变形，地基处理设计与施工应符合本规范第 7.2.3 条的规定。

8.4 爆破作业

8.4.1 城市轨道交通安全保护区内原则上不应进行爆破作业。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专项审查，并满足现行国家标准《爆破安全规程》GB6722 的规定。

8.4.2 城市轨道交通安全保护区内的爆破作业，应采用控制爆破作业，不得进行硇室爆破、深孔爆破等药量较大的爆破作业。

8.4.3 城市轨道交通安全保护区内的爆破作业前，应制定技术方案、安全措施、安全应急预案和爆破安全监控方案，并通过爆破测试和专家论证后方可实施，应进行试爆作业和爆破振动监测，同时应根据试爆效果及监测信息优化爆破作业。

8.4.4 城市轨道交通既有结构的安全允许振速应为 2.5cm/s，对安装有精密设备的结构应满足精密设备的安全允许振速。

8.4.5 经爆破评估或试爆作业，发现爆破有害效应超过本规范规定的安全允许振速时，应优化爆破技术措施，降低爆破有害效应至安全允许振速；对采取优化爆破措施后，爆破有害效应仍不能满足安全允许振速时，应采用静态破碎法或其他作业方法。

8.4.6 城市轨道交通安全保护区内的爆破作业不应在运营期进行，实施前应进行试爆作业并采取安全防护措施。

8.4.7 城市轨道交通安全保护区的爆破作业应做好包括爆破作业点、爆破规模、爆破参数、爆破效果及爆破有害效应等内容的作业记录，爆破后应评价本次作业对城市轨道交通既有结构的影响。

8.5 河道疏浚和抛填作业

8.5.1 穿河、湖段城市轨道交通既有结构安全保护区内不宜进行采砂、抛锚或拖锚等水下作业，河道的清淤疏浚、取石、采砂作业应分层进行，并保证城市轨道交通既有结构上方覆土不小于设计厚度，应满足城市轨道交通既有结构的抗浮要求。

8.5.2 城市轨道交通既有结构安全保护区内从事疏浚作业前，应进行详细的水下地形调查，应避免采用爆破方式作业，疏浚作业产生的淤泥排放应远离城市轨道交通安全保护区。

8.5.3 船只的抛锚、拖锚作业与城市轨道交通既有结构净距控制值应大于 100m。

8.5.4 城市轨道交通既有结构安全保护区内从事抛填作业，应控制抛填速度和抛填厚度，应采用分层、分段、对称的方式进行，避免集中抛填。

8.5.5 城市轨道交通既有结构安全保护内的河道疏浚和抛填作业，应加强施工过程的结构安全监测。

8.6 管线敷设

8.6.1 采用明挖法施工地下管线的基坑应符合本规范第 5 章的规定，明挖法施工的管线周边应回填密实。暗挖大直径地下管线应符合本规范第 6 章的规定，暗挖小直径地下管线应符合本节的规定。

8.6.2 地下管线（不包括拖拉管）与城市轨道交通既有结构最小净距不宜小于 $0.5D_1$ （ D_1 为地下管线外径与城市轨道交通隧道结构外径或宽度的较大值），且不小于 2m。

8.6.3 地下管线采用拖拉管施工工艺时，施工前应进行详细管线调查，应严格控制导向钻孔轴线；施工结束后，产品管与回扩孔之间空隙应注浆充填饱满；地下管线与城市轨道交通既有结构最小净距不宜小于 $0.7D_1$ ，且不宜小于 3m。

8.6.4 地下管线有条件时宜优先考虑从城市轨道交通既有结构上方穿越。

8.6.5 城市轨道交通安全保护区的管道、箱涵工程，应采用耐久性高、整体性强的材质和可靠的连接形式。

8.6.6 雨（污）水管、自来水管、燃气管等管线临近城市轨道交通既有结构时，应采取相应的防渗、防爆、防电气腐蚀措施；管线在安全保护区内可采用外加保护套管的方式下穿，通信电力电缆可采用封包保护直埋通过；气体、液体压力管线应在影响区两头设置安全阀门，以利于运营期间的应急控制、检修、安全保护。

8.6.7 城市轨道交通既有结构上方进行跨线架空作业应符合本规范和现行国家标准《66kV及以下架空电力线路设计规范》GB50061、《110kV~750kV架空输电线路设计规范》GB50545的有关规定。

8.6.8 与城市轨道交通既有结构邻近的市政燃气管道新建、改线、维修等作业前，应将相关作业方案报城市轨道交通管理部门备案，以提前做好应急预案的措施准备。

9 监测

9.1 一般规定

9.1.1 在城市轨道交通既有结构安全保护区内进行外部作业时，应按外部作业影响等级，并按本章要求实施城市轨道交通既有结构监测。外部作业自身监测应符合国家、行业和湖南省相关现行技术标准的规定。

9.1.2 城市轨道交通既有结构的监测工作，不得影响城市轨道交通的正常运营。

9.1.3 城市轨道交通既有结构的监测方案，应依据既有结构受外部作业的影响特征、安全保护要求及外部作业实施前所开展的安全评估成果编制。外部作业方案重大调整时，监测方案应相应调整。

9.1.4 城市轨道交通既有结构监测新技术、新方法应用前，应与传统方法进行验证，监测精度应符合国家标准规定。

9.1.5 城市轨道交通既有结构安全保护监测宜采用与结构长期运营监测一致的地方坐标系统和地方高程基准。安全保护监测期间，每季度宜对监测基准网复测一次。

9.1.6 监测初始值应在监测点埋设稳定后、外部作业实施前采集，且宜取不少于3次连续测量的稳定观测数据的平均值作为初始值，施工过程中遵循连续监测的原则，监测成果应能准确及时反映结构的实际状态及外部作业对结构安全的动态影响。

9.1.7 应根据外部作业特点和城市轨道交通既有结构安全保护要求，及时分析各阶段的监测数据，指导设计和施工方案调整，实行信息化动态施工。

9.1.8 城市轨道交通既有结构的水平位移、竖向位移测量应分别符合现行国家一级、二级变形测量技术规范的规定，其他项目监测应符合国家现行标准《工程测量规范》GB50026、《城市轨道交通工程测量规范》GB50308和《建筑变形测量规范》JGJ8的有关规定。

9.1.9 监测使用的仪器设备应在检定或校准周期内，并满足相关规定的要求。

9.1.10 与城市轨道交通既有结构安全保护有关的外部作业监测点，应加强测点现场保护。如遇损坏，应及时修复。

9.1.11 城市轨道交通安全保护区内的测斜管、水位观测孔等监测孔应在监测工作结束后封堵填实。

9.1.12 外部作业仅涉及车站及附属结构时宜采用人工监测，人工监测点位应布置在车站及附属结构上；涉及车站道床、区间、场段股道等有列车通行等地段及部位时应采用全自动化监测，监测范围应在施工影响区域内向两侧再外延不小于50m，施工影响重点区域监测断面相隔不应大于5m，一般影响区域不应大于10m。

9.2 监测项目

9.2.1 城市轨道交通既有结构的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既有结构安全影响，宜按但不限于表 9.2.1 中所列项目。

表 9.2.1 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
1	地下结构	结构竖向位移	应测	应测	应测	宜测
2		结构水平位移	应测	应测	应测	宜测
3		相对收敛	应测	应测	宜测	可测
4		变形缝张开量、结构裂缝	应测	应测	宜测	可测
5		隧道断面尺寸	应测	应测	宜测	可测
6		振动速度	应测	应测	宜测	可测
7		道床与轨道变位	应测	应测	应测	宜测
8	地面结构	地面建筑结构竖向位移	应测	应测	应测	宜测
9		地面建筑结构水平位移	应测	应测	宜测	可测
10		地面建筑结构裂缝	应测	应测	宜测	可测
11		地面建筑结构倾斜	宜测	可测	可测	可测
12		路基竖向位移	应测	应测	应测	宜测
13		过渡段差异沉降	应测	应测	应测	宜测
14		地表沉降	应测	应测	应测	宜测

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
15		振动速度	应测	应测	宜测	可测
16		道床与轨道变位	应测	应测	应测	宜测
17	高架结构	结构竖向位移	应测	应测	宜测	宜测
18		结构水平位移	应测	应测	宜测	宜测
19		基础沉降	应测	应测	应测	宜测
20		墩台倾斜	应测	应测	宜测	可测
21		接头侧向位移（预制拼装墩柱）	应测	宜测	可测	可测
22		结构裂缝	应测	应测	应测	宜测
23		结构应变	应测	应测	宜测	可测
24		结构变形缝	应测	应测	应测	宜测
26		振动速度	应测	应测	宜测	可测
27		道床与轨道变位	应测	应测	应测	宜测

9.2.2 当外部作业需进行爆破时，应监测城市轨道交通既有结构的振动速度，必要时还应监测结构薄弱部位的应力变化情况。已发生开裂结构，应监测裂缝变化情况；尚未发生开裂的结构，宜监测结构的应力变化。

9.2.3 当遇到下列情况时，应对城市轨道交通既有结构附近的环境进行监测，应符合下列规定：

1 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；

2 软土地区，既有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。

9.3 测点布置

9.3.1 监测点应布置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 9.3.1 的规定。各监测项目宜布置在同一监测断面。

表 9.3.1 监测点布置要求

序号	监测对象	监测项目	监测点布置位置	监测断面间距	
				特级、一级	二级、三级

序号	监测对象	监测项目	监测点布置位置	监测断面间距	
				特级、一级	二级、三级
1	地下结构	结构竖向位移	地下结构底板、拱顶、侧墙	≤5m	≤10m
2		结构水平位移	地下结构底板、拱顶、侧墙	≤5m	≤10m
3		相对收敛	地下结构每监测断面布置不少于两条测线	≤5m	≤10m
4		变形缝张开量、结构裂缝	变形缝、已有裂缝、新增裂缝的两侧	缝的两侧均匀布置	缝的两侧均匀布置
5		隧道断面尺寸	隧道衬砌结构	按变形断面或在重点位置布置	按变形断面或在重点位置布置
6		地下水位	外部作业空间与城市轨道交通既有结构之间	≤20m	≤50m
7		岩土体位移	在临近地下结构的支护结构和土体位置	≤20m	≤50m
8		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
9		道床与轨道变位	道床的纵、横断面上,两条轨道上	按 3m~20m 一个断面	按 3m~20m 一个断面
10	地面结构	地面建筑结构竖向位移	风井、冷却塔、主变电站、车辆基地等地面建筑或设施的结构角点	≤5m	≤10m
11		地面建筑结构水平位移	承重墙、柱子下方	≤5m	≤10m
12		地面建筑结构裂缝	裂缝两端及中间	≤2m	≤2m
13		地面建筑结构倾斜	外墙角、承重墙和柱子上、连接处	≤10m	≤10m
14		路基竖向位移	路基结构路肩、坡岸	≤20m	≤50m
15		过渡段差异沉降	结构交界线两侧	≤5m	≤5m
16		地表沉降	基础和承重结构	≤3m	≤3m
17		深层土体变形	基坑边缘、隧道轴线附近或软土地基中	≤5m	≤10m
18		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

序号	监测对象	监测项目	监测点布置位置	监测断面间距	
				特级、一级	二级、三级
19		道床与轨道变位	道床的纵、横断面上，两条轨道上	按 3m~20m 一个断面	按 3m~20m 一个断面
20	高架结构	结构竖向位移	高架结构桥面、桥墩	≤5m	≤10m
21		结构水平位移	高架结构桥面、桥墩	≤5m	≤10m
22		基础沉降	承重墙、柱子下方	≤10m	≤20m
23		墩台倾斜	沿墩柱顶、底部上下对应按组布置	采用全站仪监测时，每个墩柱的监测点不少于 1 组，每组不少于 2 个；采用倾斜仪测量时，每组的监测点不应少于 1 个	采用全站仪监测时，每个墩柱的监测点不少于 1 组，每组不少于 2 个；采用倾斜仪测量时，每组的监测点不应少于 1 个
24		接头侧向位移	接头的两侧	≤2m	≤5m
25		地基深层水平位移	靠近外部作业区的关键位置	≤5m	≤10m
26		结构裂缝	结构裂缝位置	缝的两侧均匀布置	缝的两侧均匀布置
27		结构应变	主梁的跨中、支座附近	≤10m	≤20m

9.3.2 监测点标志应稳固、明显、结构合理，易于保护，便于观测，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。监测点编号应统一、规范，便于数据管理。

9.3.3 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，宜结合现场特点布置监测点。

9.3.4 地下结构曲线段监测断面的间距应加密布置。

9.3.5 在城市轨道交通既有结构周边进行降承压水措施时，应根据降水影响范用和影响程度调整监测点的布设范围。在城市轨道交通既有结构周边原则上禁止采用降水施工，并应设置水位观测井兼回灌井，当监测水位下降超过 50cm 应及时进行回灌。

9.4 监测方法和频率

9.4.1 城市轨道交通既有结构的监测方法应根据监测对象和监测项目的特点、外部作业影响等级、设计要求、精度要求、场地条件和当地工程经验等综合确定，并应合理易行。城市轨道交通既有结构的监测应采用仪器监测、巡查和远程视频监控相结合的方法，对于外部作业影响较大的区段宜采用远程自动化的监测。其中仪器监测方法宜符合表 9.4.1 中规定。

表 9.4.1 仪器监测方法

序号	监测项目	监测方法	监测设备	监测精度
1	结构竖向位移	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	0.5"~1"级的全站仪、静力水准仪	外部作业影响等级为特级时，监测点测站高差中误差 $\leq 0.6\text{mm}$ ；外部作业影响等级为一级时，监测点测站高差中误差 $\leq 1.2\text{mm}$ ；外部作业影响等级为二级及以下时，监测点测站高差中误差 $\leq 1.5\text{mm}$
2	结构水平位移	小角法、方向线偏移法、视准线法、投点法、激光准直法等大地测量法	测角精度优于 1"的智能全站仪、激光准直仪	外部作业影响等级为特级时，监测点坐标中误差 $\leq 0.6\text{mm}$ ；外部作业影响等级为一级时，监测点坐标中误差 $\leq 0.8\text{mm}$ ；外部作业影响等级为二级及以下时，监测点坐标中误差 $\leq 1.2\text{mm}$
3	相对收敛	收敛计、全站仪、红外激光测距仪或三维激光扫描仪等方法	收敛计、测角精度优于 1"的全站仪	收敛计监测精度不应小于 1mm；全站仪监测精度不应低于 $\pm 2\text{mm}$
4	结构裂缝	量测、观测、检测与监测方法独立或互相结合的方法	钢尺、游标卡尺、裂缝测宽仪	宽度精度不低于 0.02mm；长度和深度精度不低于 1.0mm
5	隧道断面尺寸	激光扫描、全站仪、收敛计及摄影测量	全站仪、收敛计、摄影机	收敛计监测精度不应小于 1mm；全站仪监测精度不应低于 $\pm 2\text{mm}$
6	地下水位	水位计、自动化系	压力式水位计	仪器观测精度不宜低于

序号	监测项目	监测方法	监测设备	监测精度
		统及数据记录方法进行		0.5%F·S(人工观测地下水位的测量精度不宜低于20mm)
7	深层水平位移	测斜仪观测各深度处的水平位移	测斜仪	精度不宜低于0.25mm/m, 分辨率不宜低于0.02mm/500mm
8	土体分层竖向位移	磁环分层沉降标、深层沉降标	分层沉降仪、水准仪	精度不宜低于0.25mm/m
9	结构倾斜	投点法、全站仪水平角观测和倾斜仪法等观测方法	全站仪、倾斜仪	精度不低于±3mm
10	结构应变	应变计或应力计进行监测	电阻应变计、振弦式应变计、光纤类应变计	量测的精度为0.5%FS
11	振动速度	速度传感器或加速度传感器监测法	垂直、水平单向传感器或三天量体传感器	灵敏度为±5%

9.4.2 城市轨道交通既有结构的监测频率应能系统反映监测对象所测项目的重要变化过程及其变化时刻。当监测数据达到城市轨道交通既有结构安全控制指标值的预警值或既有城市轨道交通运营单位有要求时,应提高监测频率;当发现城市轨道交通既有结构有异常情况或外部作业有危险事故征兆时,应采用不间断实时监测。外部作业施工期城市轨道交通既有结构的监测频率可参考表 9.4.2-1~表 9.4.2-3 确定,当两表中监测频率不一致时,取频率高值。

表 9.4.2-1 外部基坑工程施工期城市轨道交通既有结构监测频率

影响等级	特级	一级	二级	三级
监测频率	2次/d	1~2次/d	1次/d	1次/2d

表 9.4.2-2 外部隧道工程施工期城市轨道交通既有结构监测频率

施工工法	监测部位	开挖面与监测点或监测断面的距离	监测频率
盾构法	开挖面前方	$5D_0 \sim 8D_0$	1次/(3d-5d)
		$3D_0 \sim 5D_0$	1次/2d
		$\leq 3D_0$	1~2次/d
	开挖面后方	$\leq 3D_0$	1~2次/d
盾构法	开挖面后方	$3D_0 \sim 8D_0$	1次/(1d-2d)
		$> 8D_0$	1次/(3d-7d)

施工工法	监测部位	开挖面与监测点或监测断面的距离	监测频率
注: D_0 为外部盾构隧道结构外径(m)。			
顶管法	开挖面前方	$5D_0' \sim 8D_0'$	1次/(3d-5d)
		$3D_0' \sim 5D_0'$	1次/d
		$\leq 3D_0'$	2次/d
	开挖面后方	$\leq 3D_0'$	1~2次/d
		$3D_0' \sim 8D_0'$	1次/(1d-2d)
		$> 8D_0'$	1次/(3d-7d)
注: D_0' 为外部顶管隧道结构外径(m)。			
矿山法	开挖面前方	$2W' \sim 5W'$	1次/(3d-5d)
		$\leq 2W'$	1次/2d
	开挖面后方	$\leq 1W'$	1~2次/d
		$1W' \sim 2W'$	1次/1d
		$2W' \sim 5W'$	1次/1d
		$> 5W'$	1次/(3d-7d)
注: W' 为外部矿山法隧道的毛洞跨度(m)。			

表 9.4.2-3 外部基础工程和其他工程施工期城市轨道交通既有结构监测频率

外部基础工程和其他工程与城市轨道交通既有结构位置	监测频率
非常接近	3次/d
接近	1~2次/1d
较接近	1次/1d
不接近	1~2次/7d

9.4.3 城市轨道交通既有结构的监测周期，应从测定监测项目初始值开始，至外部作业完成且监测数据趋于稳定后结束。

9.5 监测数据管理

9.5.1 城市轨道交通既有结构的监测预警等级，根据现场监测项目测点变形量及变形速率情况判断，以及其相应的结构安全控制指标值进行划分，监测预警等级划分及应对管理措施应符合表 9.5.1 的规定。

表 9.5.1 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
--------	--------	--------

蓝色	$G < 0.6$	可正常进行外部作业
黄色	$0.6 \leq G < 0.8$	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既有结构的监测
橙色	$0.8 \leq G < 1.0$	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防护措施，并经组织审查后，开展后续工作
红色	$1.0 \leq G$	启动安全应急预案
注：1 监测比值 $G = \text{检测项目实测值} / \text{结构安全控制指标值}$ ； 2 监测预警等级的划分，尚应充分考虑城市轨道交通既有结构监测数据的变化速率； 3 同一测点连续两天变形增量达到 2mm/d 时，监测预警应视作黄色。		

9.5.2 监测数据应真实、有效。

9.5.3 应对已测数据根据日报、阶段报告要求及时整理，并结合施工进度对监测数据的变化趋势及发生预警的可能性进行分析。当对变形监测成果存疑时，应进行复测并校核。当出现异常监测数据时，应对其原因及风险征兆进行及时分析和报告。

9.5.4 监测数据应定时报送，当发生预警或出现塌方、管涌等突发事件时应实时报送。

9.5.5 城市轨道交通既有结构监测预警处置后外部作业重新组织施工，宜根据结构的现状进行安全评估，重新制定监测项目预警值。

9.5.6 为满足轨道交通结构安全分析需要，宜建立监测成果管理信息系统。结构检测、安全评估和监测单位之间应相互联动，密切配合。

10 既有结构病害处治

10.0.1 外部作业导致的城市轨道交通既有结构及轨道等出现变形、管片破损、道床破损、道床脱空、结构渗漏水等病害时，应及时制定处治方案并采取处治措施，处治时机应结合结构类型、病害类型、程度及发展趋势等因素确定，处治后的结构承载能力、耐久性能及使用功能等应满足后续使用年限内的安全运营要求。

10.0.2 城市轨道交通既有结构病害处治方案应综合结构损伤情况、建筑限界、施工时效等因素确定。

10.0.3 城市轨道交通既有结构病害处治不宜损伤原结构性能，应避免不必要的拆除及更换，处治过程中不应造成新的结构损伤或病害。

10.0.4 城市轨道交通既有结构病害处治不得影响列车运营安全。

10.0.5 城市轨道交通既有结构病害处治完成后，应对处治后的结构进行监测、检测与后评估。

10.0.6 城市轨道交通既有结构渗漏水应根据渗漏水的程度和部位确定。局部点渗漏可采用注浆（环氧树脂、聚氨酯等）或表面封堵；渗漏水程度严重的部位宜采用壁后注浆、结构内堵漏相结合的处治方式；变形缝处渗漏时，采用堵排相结合的方式，堵漏材料应满足变形缝受力性能要求，并具有较好的抗变形能力。

10.0.7 城市轨道交通既有结构裂缝、破损应及时修补，修补质量应满足结构强度设计要求，并应符合下列规定：

1 混凝土结构构件的裂缝修补可采用表面封闭法、注射法、压力注浆法、填充密封等方法进行处理；

2 对于承载力不足引起的荷载裂缝，应根据裂缝种类进行加固设计，确定修补材料和修补方法，且采用适当的方法进行加固处理；

3 对于非荷载裂缝修补应根据混凝土结构裂缝深度与城市轨道交通既有结构厚度的关系选择处理方法。

4 裂缝修补材料可按现行国家标准《混凝土结构加固设计规范》GB50367的规定执行，修补裂缝的胶液和注浆材料安全性指标应符合现行国家标准《工程

结构加固材料安全性鉴定技术规范》GB50728 的规定。

11.0.8 城市轨道交通既有结构地基基础沉降过大时，可采用地面注浆等方式进行地层注浆加固，宜采用袖阀管等扰动小、压力可控的注浆方式；注浆期间应对既有结构进行监测，反馈监测结果指导注浆作业。

11.0.9 外部作业致使轨道出现道床离缝、轨枕与道床离缝等现象时应及时采取加固措施，道床离缝采取注浆加固措施时，注浆孔宜位于道床中部，遇道床缝时适当调整，并避开道床钢筋；注浆前应清除道床下方积水，注浆材料宜选用高渗透亲水性环氧树脂材料。

11.0.10 城市轨道交通既有结构变形和损伤严重时，应对结构进行加固，并应符合下列规定：

1 应根据既有结构变形和损伤部位与程度，确定进行整体结构、局部结构或构件的加固设计和施工方案；

2 加固前应先进行道床脱空处理、隧道渗漏水处治及管片错台修正填平，并应对加固范围内隧道管片进行手孔填充、环纵缝处理、管片修补等界面处理；

3 应采取措施保证加固结构与既有结构能够共同工作，加固结构应有良好的稳定性，避免产生不利的附加应力；

4 钢构件加固可采用增大截面法、粘贴钢板法、外包钢筋混凝土法、钢管构件内填充混凝土等加固技术；

5 混凝土构件加固可采用增大截面法、置换混凝土法、粘贴钢板法、粘贴碳纤维复合材法、钢-超高性能混凝土等加固技术；

6 加固前应按加固设计规定卸除或部分卸除结构上的活载，加固过程中可能出现倾斜、失稳、过大变形或坍塌的结构，应在加固设计文件中提出相应的临时性安全措施。

附录 A 外部作业的接近程度和工程影响分区

A.0.1 外部作业的接近程度应根据城市轨道交通既有结构的施工工法及与外部作业的空间位置关系确定，接近程度的判定标准宜按表 A.0.1 确定。

表 A.0.1 外部作业的接近程度

城市轨道交通既有结构的施工工法	相对净距	接近程度
明挖、盖挖法	$<0.5H$	非常接近
	$0.5H\sim1.0H$	接近
	$1.0H\sim2.0H$	较接近
	$>2.0H$	不接近
矿山法	$<1.0W$	非常接近
	$1.0W\sim1.5W$	接近
	$1.5W\sim2.5W$	较接近
	$>2.5W$	不接近
盾构法或顶管法	$<1.0D$	非常接近
	$1.0D\sim2.0D$	接近
	$2.0D\sim3.0D$	较接近
	$>3.0D$	不接近
高架结构 (桥梁桩基)	$<3.0P$	非常接近
	$3.0P\sim10.0P$	接近
	$10.0P\sim20.0P$	较接近
	$>20.0P$	不接近

注：1 H 为明挖、盖挖法城市轨道交通既有结构的基坑开挖深度； W 为矿山法城市轨道交通既有结构的隧道毛洞跨度； D 为盾构法或顶管法城市轨道交通既有结构的隧道外径，圆形顶管结构的外径或矩形顶管结构的长边宽度； P 为高架桥梁桩基（单桩）结构的桩径。

2 相对净距指外部作业的结构外边线与城市轨道交通既有结构外边线的最小净距离；

3 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。

A.0.2 外部作业的工程影响分区应该根据其施工工法确定, 并应符合下列规定:

1 明挖、盖挖法外部作业的工程影响分区按表 A.0.2-1 和图 A.0.2-1 确定。

表 A.0.2-1 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
显著影响区 (B)	结构外侧 $0.7h_1-1.0h_1$ 范围
一般影响区 (C)	结构外侧 $1.0h_1-2.0h_1$ 范围
较小影响区 (D)	结构外侧 $2.0h_1$ 范围外

注: $1 h_1$ 为明挖、盖挖法外部作业结构底板的深度;

2 当外部作业需要施工锚杆、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。

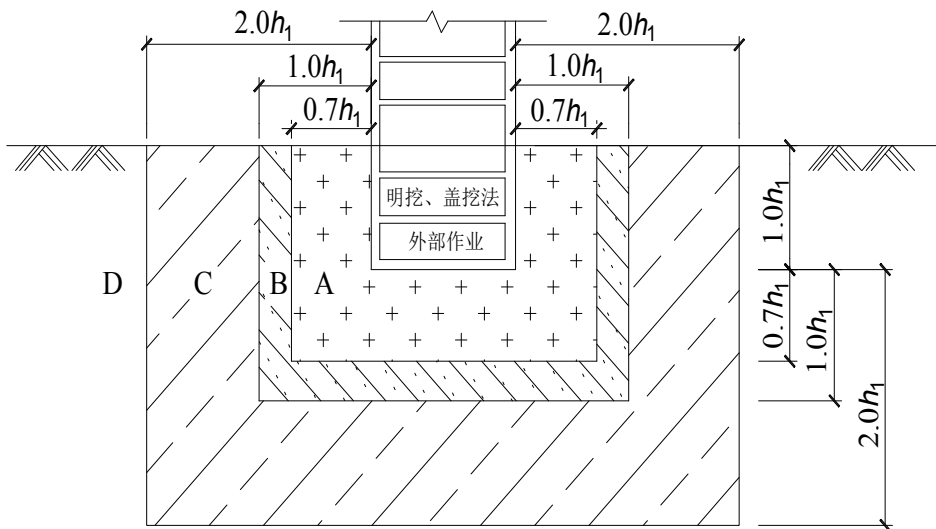


图 A.0.2-1 明挖、盖挖法外部作业的工程影响分区

2 浅埋矿山法和盾构法外部作业的工程影响分区按表 A.0.2-2 和图 A.0.2-2 确定。

表 A.0.2-2 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)	结构正上方及外侧 $0.7h_2$ 范围
显著影响区 (B)	结构外侧 $0.7h_2-1.0h_2$ 范围

一般影响区 (C)	结构外侧 $1.0h_2-2.0h_2$ 范围
较小影响区 (D)	结构外侧 $2.0h_2$ 范围外

注：1. h_2 为矿山法和盾构法外部作业的隧道底板深度。

- 当外部作业需要施工锚杆、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。
- 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 $3W$ (W 为隧道毛洞跨度)。

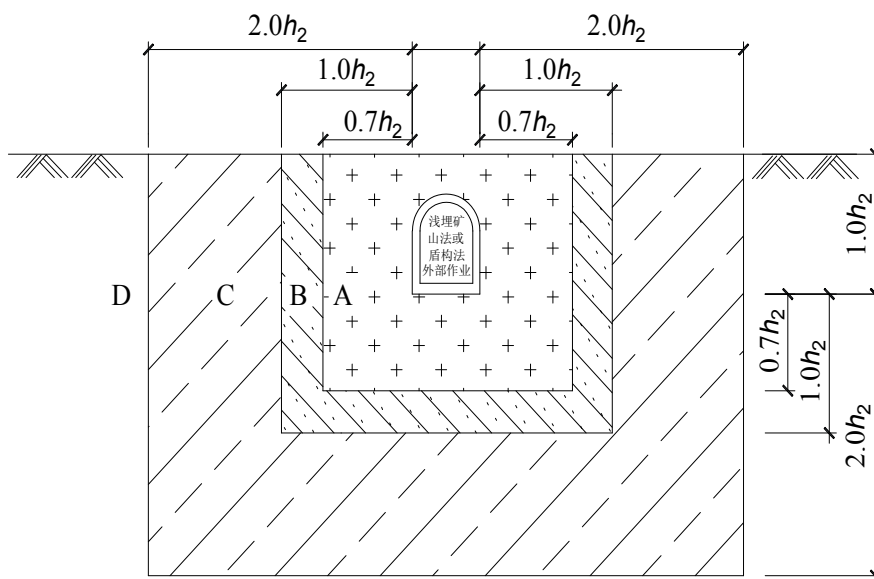


图 A.0.2-2 浅埋矿山法和盾构法外部作业的工程影响分区

3 深埋矿山法和盾构法外部作业的工程影响分区按表 A.0.2-3 和图 A.0.2-3 确定。

表 A.0.2-3 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)	结构正上方及外侧 $1.0b$ 范围
显著影响区 (B)	结构外侧 $1.0b-2.0b$ 范围
一般影响区 (C)	结构外侧 $2.0b-3.0b$ 范围
较小影响区 (D)	结构外侧 $3.0b$ 范围外

注：1. b 为矿山法和盾构法隧道的毛洞跨度。

- 当外部作业需要施工锚杆、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。
- 本表适用于矿山法和盾构法外部作业的浅埋隧道，隧道顶埋深大于 $3b$ (b 为隧道毛洞跨度)。

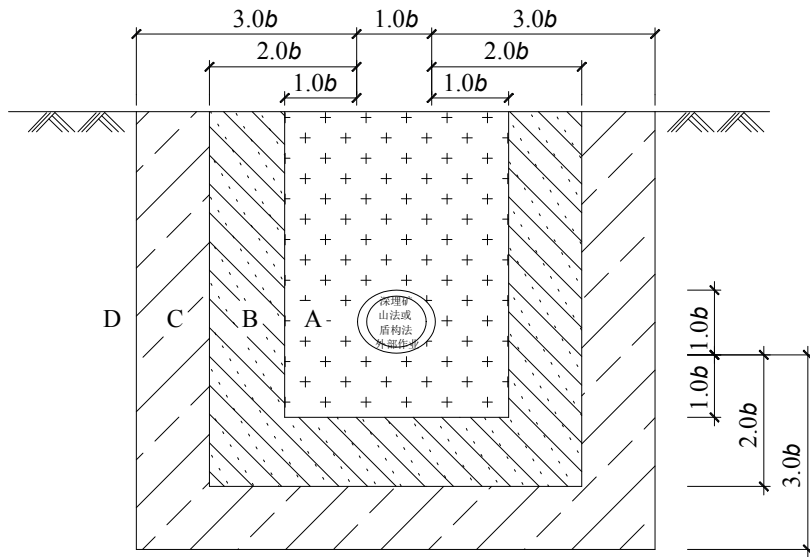


图 A.0.2-3 深埋矿山法和盾构法外部作业的工程影响分区

4 外部浅基础作业的工程影响分区宜按表 A.0.2-4 和图 A.0.2-4 的规定确定。

表 A.0.2-4 外部浅基础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)	基础底部 $0.5B_f$ 和外侧 $0.1B_f$ 范围内
显著影响区 (B)	基础底部 $0.5B_f \sim 1.0B_f$ 和外侧 $0.1B_f \sim 0.5B_f$ 范围
一般影响区 (C)	基础底部 $1.0B_f \sim 2.0B_f$ 和外侧 $0.5B_f \sim 1.0B_f$ 范围
较小影响区 (D)	基础底部 $2.0B_f$ 和外侧 $1.0B_f$ 范围以外

注： B_f 为浅基础底面宽度。

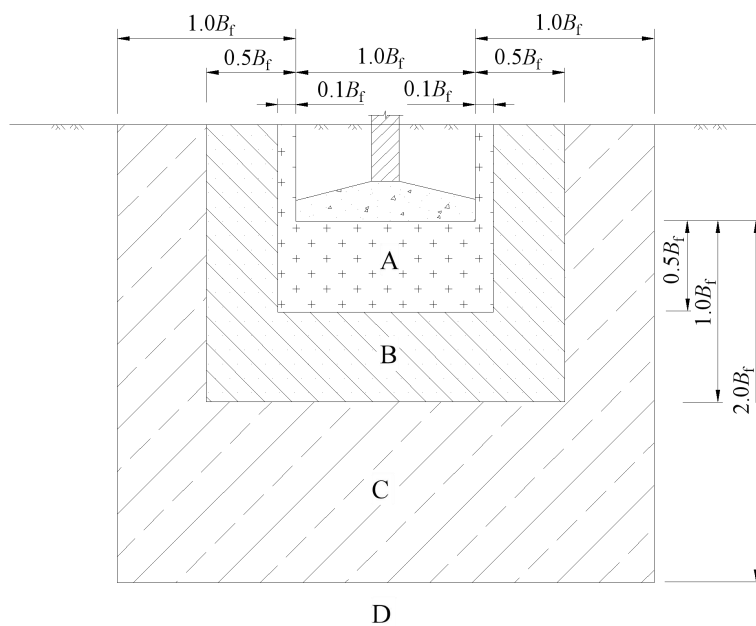


图 A.0.2-4 外部浅基础作业的工程影响分区

5 非挤土桩工程影响分区宜按表 A.0.2-5 和图 A.0.2-5 的规定确定。对于采用挤土桩和部分挤土桩施工工艺的，应专门论证桩基施工对既有隧道结构的影响。对于大面积桩基础工程，可分区、分片确定桩基础对隧道的影响分区。

表 A.0.2-5 外部非挤土桩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)	基础底部 $0.5B_p$ 和外侧 $0.1B_p$ 范围内
显著影响区 (B)	基础底部 $0.5B_p \sim 1.0B_p$ 和外侧 $0.1B_p \sim 0.5B_p$ 范围
一般影响区 (C)	基础底部 $1.0B_p \sim 2.0B_p$ 和外侧 $0.5B_p \sim 1.0B_p$ 范围
较小影响区 (D)	基础底部 $2.0B_p$ 和外侧 $1.0B_p$ 范围以外

注： B_p 为桩基础承台宽度，不规则承台取最大外廓宽度。

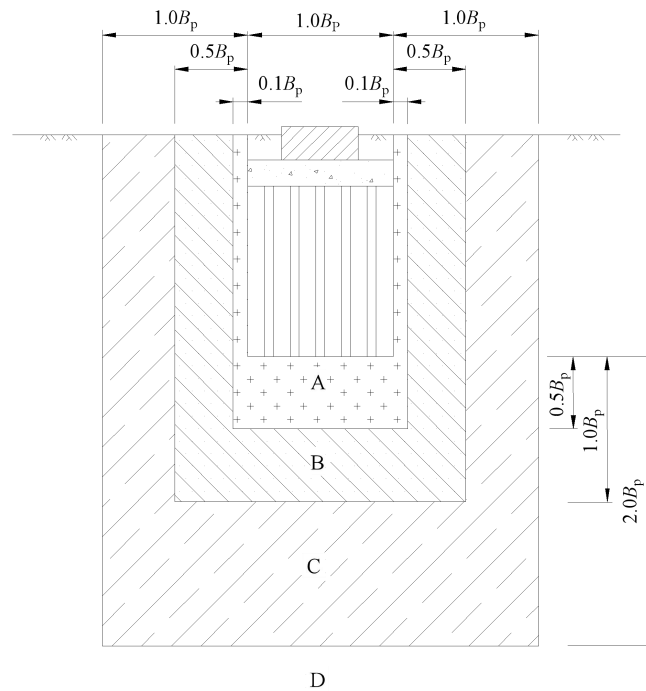


图 A.0.2-5 外部非挤土桩作业的工程影响分区

本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的；

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，采用“可”。

引用标准名录

- 1、《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB 50307
- 2、《石油天然气工程设计防火规范》GB 50183
- 3、《汽车加油加气加氢技术标准》GB 50156
- 4、《110kV-750kV 架空输电线路设计规范》GB 50545
- 5、《城市轨道交通工程基本术语标准》GB/T 50833
- 6、《城市轨道交通运营技术规范》GB/T 38707
- 7、《建筑与市政工程防水通用规范》GB 55030
- 8、《爆破安全规程》GB 6722
- 9、《66kV 及以下架空电力线路设计规范》GB 50061
- 10、《110kV~750kV 架空输电线路设计规范》GB 50545
- 11、《工程测量规范》GB 50026
- 12、《城市轨道交通工程测量规范》GB 50308
- 13、《混凝土结构加固设计规范》GB 50367
- 14、《工程结构加固材料安全性鉴定技术规范》GB 50728
- 15、《城市轨道交通工程基本术语标准》GB/T 50833
- 16、《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911
- 17、《城市轨道交通结构安全保护技术规范》CJJ/T 202
- 18、《建筑变形测量规范》JGJ 8
- 19、《城市轨道交通隧道结构养护技术标准》CJJ/T 289
- 20、《地铁设计规范》GB 50157
- 21、《磁浮铁路技术标准（试行）》TB 10630
- 22、《中低速磁浮交通设计规范》CJJ/T 262
- 23、《公路与市政工程下穿高速铁路技术规程》TB 10182
- 24、《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120
- 25、《建筑桩基技术规范》JGJ 94

- 26、 《城市轨道交通工程测量规范》 GB/T 50308
- 27、 《160km/h 短定子磁浮交通设计技术要求》 DB 43/T 2557
- 28、 《湖南省中低速磁浮交通设计标准》 DBJ43/T 007
- 29、 《既有轨道交通盾构隧道结构安全保护技术规程》 T/CCES 36

城市轨道交通既有结构安全保护技术规范

Technical specification for protection of existing urban rail transit structures

条文说明

目 次

3 基本规定	51
4 既有结构安全保护要求	53
4.1 一般规定	53
4.2 结构调查	53
4.3 控制标准	55
4.4 安全巡查	55
4.5 安全评估	55
5 外部基坑工程	59
5.1 一般规定	59
5.2 旁侧基坑	59
5.3 上方基坑	60
6 外部隧道工程	61
6.1 一般规定	61
6.2 盾构法与顶管法隧道工程	62
6.3 矿山法隧道	63
7 外部基础工程	65
7.2 浅基础	65
7.3 桩基础	65
8 外部其他工程	66
8.1 一般规定	66
8.2 高架工程	66
8.5 河道疏浚和抛填作业	67
8.6 管线敷设	67
9 监测	69
9.1 一般规定	69
9.3 测点布置	69

9.4 监测方法和频率	70
9.5 监测数据管理	70
10 既有结构病害处治	71

3 基本规定

3.0.1 城市轨道交通是城市的重要基础设施，承载着大量的通勤和出行需求，确保其安全直接关系到居民的生活质量和出行效率。城市轨道交通结构一旦受损，不仅会导致运营中断，还可能引发严重的安全事故，对乘客和工作人员的生命安全构成威胁。城市轨道交通结构保护能够延长使用寿命，降低维护和修复成本，提升整体运营效率。此外，由于施工工法和功能属性的不同，导致城市轨道交通结构类型复杂多样，对应的安全保护要求和措施也会有所差异，因此有必要进行分类保护。城市轨道交通结构包括车站、区间、车辆段、附属建（构）筑物等地下结构、地面结构和高架结构。此外，根据《城市轨道交通工程基本术语标准》GB/T 50833 的规定，保护对象尚应涉及轨道以及机电系统如排水系统、屏蔽门、通信信号系统等可能影响城市轨道交通安全和正常使用的内部设备设施。

3.0.2 城市轨道交通结构设计使用年限长，运营期间结构的维修和加固难度大，因此应严格规范和控制城市轨道交通结构的外部作业。根据《中华人民共和国人民防空法》第十四条，城市地下交通干线以及其它地下工程的建设，应当兼顾人民防空需要。因此，考虑到城市轨道交通结构尚可兼有的其他特殊功能，本条还规定外部作业不得降低既有结构作为人防、防淹等工程使用时应具备的防护能力及防护标准。

3.0.3 为保证轨道交通结构的安全和正常使用，控制城市轨道交通沿线一定范围内设置安全保护区。安全保护区的划定应考虑轨道交通结构类型和功能，因地质条件或者其他特殊情况，可适当扩大安全保护区范围。根据《长沙市轨道交通条例》、《城市轨道交通运营技术规范》GB/T 38707 和《城市轨道交通结构安全保护技术规范》CJJ/T 202 等制定本条文。

3.0.4 外部作业影响等级和轨道交通结构安全控制标准是开展外部作业影响评估和轨道交通结构保护工作的重要基础条件。外部作业种类众多，对轨道交通结构的影响程度差异性明显，在外部作业实施前确定外部作业影响等级有利于规范外部作业。轨道交通结构安全控制标准是判断外部作业对其影响程度的重要依据。

在城市轨道交通结构安全保护区内进行外部作业类型包括以下：

1 建造或者拆除建（构）筑物；

- 2 从事打桩、挖掘、地下掘进、爆破、架设、降水、地基加固等施工作业；
- 3 修建塘堰、开挖河道水渠、疏浚作业、采石挖砂、打井取水；
- 4 大面积增加或者减少建（构）筑物载荷的活动；
- 5 敷设管线或者设置跨线等架空作业，埋设电缆、管道设施，穿凿通过轨道交通路基的地下坑道，建设地下管廊、隧道；
- 6 在运营线路地面段、高架段保护区内使用塔吊、起重机开展吊装作业，或者吊装悬臂有可能进入保护区的作业；
- 7 需移动、拆除和搬迁轨道交通设施的作业；
- 8 其他可能危害轨道交通设施的活动。

在安全保护区内进行上述作业前，外部作业单位应向轨道交通集团进行报批，并签订安全协议。

3.0.5 外部作业影响等级主要与外部作业特点、外部作业与轨道交通结构的空間关系、工程地质和水文地质条件等因素相关。本规范基本沿用现行国家行业标准《城市轨道交通结构安全保护技术规范》CJJ/T 202 中的规定，对外部作业影响等级加以分类，根据外部作业与既有结构的空間关系判定外部作业的接近程度，分为非常接近、接近、较接近、不接近 4 种程度。外部作业影响等级划分为特级、一级、二级、三级和四级，其中影响等级为四级的外部作业对轨道交通结构的影响不明显，一般情况下可以忽略。轨道交通结构周边若存在岩溶土洞、深厚砂层、欠固结地域（河漫滩、新开发区）、顺向发育的软弱结构面、软弱下卧层、遇水易软化崩解地层等情况，应结合当地工程经验适当提高外部作业影响等级，且不宜低于一级。

3.0.6 对轨道交通结构影响不显著的外部作业（如锚杆、锚索、起吊设备、钻探孔等），可采用外部作业净距控制管理值进行管理。

3.0.7 新建隧道穿越施工时不宜进行降水作业，如需进行降水作业，必须进行专项论证，以确保施工安全和对环境的影响得到合理评估和控制。

3.0.8 石油、天然气等易燃易爆构筑物或管线和加油加气站尚应考虑其泄漏或爆炸对既有轨道交通工程的影响，其与轨道交通工程净距控制应满足现行国家相关规定。

3.0.9 考虑跨越江河外部作业特殊性、水下工程的不确定性、引发事故的严重性、维修加固的难度等特性，穿越江河的城市轨道交通地下结构，净距控制应适当增大，并严格控制安全保护区内影响轨道交通覆盖层的采砂、抛锚或拖锚、水下清淤疏浚等作业。

4 既有结构安全保护要求

4.1 一般规定

4.1.1 城市轨道交通作为城市的生命线工程，其安全关系国计民生，且由于其设计使用年限长，结构的维修和加固极为困难，故应严格控制和规范城市轨道交通结构周边的外部作业，严禁外部作业影响既有轨道交通结构的正常使用功能、承载能力和耐久性。

根据《长沙市轨道交通条例》第六十二条，在安全保护区内进行可能影响既有轨道交通结构安全的外部作业，应当向有关行政主管部门提交有相应资质的专业机构出具的轨道交通结构及运营安全影响评估报告、安全保护方案，并对作业影响区域进行动态监测。

4.1.2 重大影响外部作业是指影响等级为特级、一级、二级的外部作业或可能对城市轨道交通既有结构产生严重影响的外部作业，这类外部作业需根据设计方案、水文地质条件和工程经验制定结构保护专项技术方案和应急预案。

4.1.3 城市轨道交通是保证城市正常活动秩序的重要交通系统，在城市轨道交通沿线的外部作业不得影响城市轨道交通结构的安全和正常使用，当发生险情时应确保城市轨道交通结构的安全。

4.1.4 针对城市轨道交通安全保护区内可能出现的距离上相近、实施时间相近或交叉影响的多项外部作业，譬如时空相近的多个基坑工程，由于工程可能隶属于不同的业主，外部作业的设计和实施方案难以保证同步进行，可能在外部作业实施过程中出现种种不利的组合情况，因此，应综合多项外部作业的时空特点，充分考虑多项外部作业所产生的叠加影响，确保在最危险工况下也能保证结构的安全和正常运营。

4.2 结构调查

4.2.1 重大影响外部作业在开工前应对城市轨道交通既有结构进行工前调查，在施工过程中对出现的问题进行过程调查，完工后进行工后确认。既有结构调查应清晰、准确，宜采用技术先进、信息全面的检测手段，并充分结合影像数据。

4.2.2 既有轨道交通结构的调查范围应根据外部作业类型和对既有结构的影响程度确定，当外部作业为基坑、隧道、基础工程和加卸载作业时，调查范围宜为外部作业在既有轨道交通结构投影的基础上向外侧延伸，延伸范围不宜小于外部作业的显著影响区范围；当外部作业为爆破作业时，调查范围宜依据爆破设计审查结果确定；当外部作业为地下降水、地基处理、施工排水等其他作业时，调查范围宜覆盖外部作业在既有结构的影响区域。

4.2.3 岩土工程勘察资料、既有结构竣工资料、既有结构历史监测和检测资料是判断既有结构服役状态的重要依据。既有结构历史监测数据应能反映既有结构以往的变形历史，历史检测数据应能反映调查区段既有结构病害发展历史。

轨道交通结构在建造过程中具有一定的初始变形，也可能存在结构损伤、开裂等初始缺陷；在运营过程中，车辆行驶长期循环荷载作用和各种外部作业的影响下，变形和结构缺陷将有所发展。因此，建立长期安全监测与健康检测机制非常重要，可以科学掌握轨道交通结构的服役状况，对发现的问题进行处理。通过定期对结构安全进行鉴定和评估，可以保证既有轨道交通结构安全，同时掌握其耐久性能，为确定外部作业允许的结构安全控制指标值提供依据。

4.2.4 城市轨道交通既有结构安全状态分级参考了《城市轨道交通隧道结构养护技术标准》CJJ/T 289 的相关规定。

4.2.5 外部作业施工过程中，若出现既有结构监测数据的变化量与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%、既有结构产生新增病害、原有病害出现较快发展，均表明外部作业施工已经对既有结构产生了较为显著的影响，此时开展过程调查工作是为了及时掌握既有结构的实时安全状态，同时为后期施工控制措施、维修加固处治或控制标准调整提供依据。本规范中关于病害发展快慢程度的判断可以参考《城市轨道交通隧道结构养护技术标准》CJJ/T 289 相关规定执行。

4.2.6 城市轨道交通既有结构的工后确认，应在监测数据稳定后开展，以便全面客观地判定外部作业对既有结构的影响。监测数据稳定表示外部作业对既有结构基本无进一步的影响，既有结构处于基本稳定状态。

4.2.7 工前调查是对既有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既有结构的跟踪监控，工后确认是在外部作业完成后对既有结构现状的再次确认。将过程调查和工后确认的结果与原始状态进行比较，能有效的分析外部作业对既有结构的影响大小，为采取预防和补救措施提供直接的依据，保障既有结构的安全及正常运营。在实际调查工

作中，应尽量采取可靠先进的技术和设备进行检测，如三维激光扫描法、摄影测量法等，获取的调查信息应做到全面、直观、可量化，同时做好数据的整理、分析工作，完善各项确认手续。

4.3 控制标准

4.3.1 本规范给出的城市轨道交通既有结构安全控制指标值，主要参考了《地铁设计规范》GB50157、《铁路线路维修规则》及国内部分城市和地区的城市轨道交通结构保护技术标准等。

4.3.2~4.3.3 本条借鉴了《160km/h 短定子磁浮交通设计技术要求》DB43/T2557、《湖南省中低速磁浮交通设计标准》DBJ43/T007、《磁浮铁路技术标准（试行）》TB10630、《中低速磁浮交通设计规范》CJJ/T262 等规范的相关规定。考虑到中低速磁浮规范对桥梁结构变形的要求和高速铁路基本相当，故借鉴了《公路与市政工程下穿高速铁路技术规程》TB10182 的相关规定。

4.4 安全巡查

4.4.1 根据《长沙市轨道交通条例》相关要求，轨道交通建设单位、运营单位应当对安全保护区的安全状况进行日常巡查和管理，确有必要进入安全保护区内的施工现场查看的，有关责任单位或者个人应当予以配合。

4.4.3 既有轨道交通结构预留有接口的外部作业，如需对既有结构进行凿除或改造，应重点进行安全巡查，避免接口处安全防护措施不足或失效导致影响轨道交通运营。

4.5 安全评估

4.5.1 外部作业影响等级为特级、一级、二级时，对轨道交通结构安全影响大，为确保外部作业期间轨道交通结构安全，应进行专项技术方案论证。在外部作业期间，如有方案变更、地质条件变化等，应重新进行技术方案论证。

4.5.2 外部作业影响预评估、外部作业施工过程评估以及外部作业影响后评估并应符合下列规定：

在外部作业实施前，通过收集调查范围内岩土工程勘察资料、城市轨道交通结构竣工资料、城市轨道交通结构历史监测和检测资料等，并结合现状调查、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及持续抗变形能力和承载能力，判断城市轨道交通结构安全状态等级，并应确定相应的结构安全控制指标值；外部作业影响预评估预测外部作业诱发的城市轨道交通结构变形及内力响应，提出保障既有隧道结构安全的控制措施，包括外部作业施工工况和保护措施等。提出相关监测要求，如城市轨道交通结构的监测范围、监测布点位置及间距、监测断面、特殊监测项目等。如预测结果不能满足城市轨道交通结构安全控制标准，预评估的结论应为外部作业方案不可行，应调整外部作业方案，重新制定防护措施，再次进行预评估，直至外部作业方案可行。

外部作业施工过程评估是在外部作业施工过程中，通过对比现场监测数据与外部作业影响预评估的结果，判断既有隧道结构是否处于可控状态。若监测数据超过预评估结果，应根据外部作业实际工况进行反分析调整地层参数，重新评估城市轨道交通结构的当前状态和继续抗变形能力和承载能力，综合评定后续外部作业施工方案和城市轨道交通结构保护方案的可行性。必要时，可根据分析结果及时修正安全控制标准，要求外部作业重新制定城市轨道交通结构保护方案、增加防护措施，甚至调整设计或施工方案。评估单位需根据新设计或施工方案，重新评估其可行性。

外部作业影响后评估是在外部作业完成后，评估城市轨道交通结构的安全状态。若监测数据接近安全控制标准并呈增大趋势，或超过安全控制标准，应及时对城市轨道交通结构进行调查和检测，并进行结构验算，评估城市轨道交通结构的持续抗变形能力和承载能力，必要时提出城市轨道交通结构的修复措施。待监测数据稳定后，应再次进行外部作业影响后评估。安全评估应形成专项评估报告，内容应包含对城市轨道交通结构的安全影响评估、结论及对外部作业的设计、施工、监测建议等。

4.5.3 重大影响外部作业主要是指影响等级为特级、一级、二级的外部作业，如近距离基坑开挖、堆载等。

4.5.6 外部作业影响的评估方法类型较多，不同的评估方法的适用情况有所差异，需要针对不同的外部作业种类和评估需求选取合适的评估方法。工程类比法是一种较为可靠的评估方法，前期类似工况条件下的工程经验，尤其是控制措施的实施效果，可为新建工程提供较好的参考价值，但是该方法不能直接给出定量化的评估结果。数值模拟方法是目前较为常用的一种评估方法，该方法可以模拟复杂的工况条件，得到的计算结果也较为丰富，

但是该方法的评估过程与本构模型及其参数密切相关，评估结果差异性大。理论分析方法主要以两阶段方法为主，计算精度较高，借助于相应的评估软件可以实现评估过程的简单化、快速化。离心模型试验或大比尺的模型试验可以较好地反映实际的工程情况，但是试验费用高、周期长。原位试验是指通过选取试验场地进行外部作业施工，可以更直接地获得外部作业对城市轨道交通结构的影响规律和程度。

4.5.7 外部作业对城市轨道交通地下结构的影响主要以变形为主，因此在评估中主要选用变形类的控制指标，包括城市轨道交通地下结构位移、纵向差异沉降、纵向曲率半径、径向收敛、接缝张开量和轨道沉降。如存在爆破施工时，还需评估爆破引起的地下结构振动速度。

4.5.8 选择与待评估外部作业类型和地下结构相似的工程作为类比对象，这些对象应在地质条件、结构形式、使用功能、施工工艺等方面具有可比性，以确保评估结果的可靠性。对类比对象进行详细的数据收集，包括其在外部作业过程中出现的变形、损伤、维修记录等，通过对比分析，提取出有价值的经验和教训。在进行类比时，应识别和分析可能影响地下结构安全的各类因素，以便更全面地评估潜在影响。在评估过程中，建议邀请相关领域的专家进行评审，确保类比方法和结果的科学性与合理性。

4.5.9 基坑与周围环境是一个相互作用的系统，数值模拟方法可考虑复杂地层条件、围护结构、土层开挖以及既有结构变形控制措施等方面的影响。随着数值模拟技术、计算机软硬件和土体本构模型的发展，数值模拟方法为外部作业影响评估提供了重要的分析手段。

1 数值模拟方法中的一个关键问题是要采用合适的岩土体本构模型。对于岩石地层，可采用 Mohr-Coulomb 模型、Drucker-Prager 模型等，对于黏土、砂土地层，可采用修正剑桥模型、Hardening Soil 模型、HS-Small 模型等；

2 数值模拟应根据模拟软件的类型，选择合适的结构单元模拟地下结构。结构单元通常为连续均质的，其刚度的选取需要考虑管片纵缝和环缝接头对隧道结构刚度弱化的影响。结构单元刚度可在管片刚度基础上进行一定程度的折减，纵向刚度折减系数可取 0.2~0.3，横向刚度折减系数可取 0.6~0.8；

3 地下结构与岩土体的接触面性质对地下结构的变形和内力、周边岩土体的变形等均会产生一定程度的影响。因此，在数值模拟中，为使分析结果更加符合实际，有必要考虑地下结构与岩土体的界面接触问题。

4.5.10 理论分析方法是以前两阶段方法为基础：第一阶段计算外部作业引起的地下结构附加

荷载；第二阶段基于地层-地下结构相互作用模型计算附加荷载作用下的地下结构变形。在地层-隧道相互作用模型中，地层简化为文克尔地基，其中盾构隧道简化为铁木辛柯梁。文克尔地基反力系数可根据勘察报告或地区经验值进行选取。铁木辛柯梁模型可以反映附加荷载作用下盾构隧道结构的剪切变形，并且能够获得管片环间接缝的张开量和错台量，铁木辛柯梁抗弯刚度和剪切刚度取值方法可参考《既有轨道交通盾构隧道结构安全保护技术规程》T/CCES 36。

5 外部基坑工程

5.1 一般规定

5.1.1 在城市轨道交通安全保护区内的基坑工程，应综合考虑工程地质与水文地质条件、相对位置关系、场地环境、基坑开挖尺寸、轨道交通结构现状等因素，因地制宜，选取较合适且对城市轨道交通影响小的设计及施工方案。

5.1.2 在城市轨道交通安全保护区内基坑工程的施工可能会对城市轨道交通结构的不利影响主要由基坑施工可能存在坍塌、管涌、流砂等自身风险、施工措施引起周边环境变化进而引起轨道结构变形、内力超限的间接风险组成，在基坑工程设计及施工阶段，应尽可能详细地考虑可能存在的风险，并针对性地采取安全可靠的技术方案、加固措施。

5.1.5 基坑降水会导致地下水位下降，形成“降水漏斗”，进而导致地基固结沉降，这种不均匀沉降可能对邻近的建（构）筑物和地下管线造成损害。此外，降水不当还可能引起地面沉降、建（构）筑物倾斜和开裂等问题。在降水施工过程中，可能会出现降水泥沙含量超标、降水控制不到位、出现淤井等问题。突然停电会导致降水无法进行，使水位上升，可能导致基坑涌水、涌砂和坑底隆起，直接影响基坑的稳定。此外，降水过程中渗水现象会扰动现场砂砾层，影响基坑的整体稳定。因此，在城市轨道交通安全保护区内基坑工程应采取可靠的地下水控制技术，控制城市轨道交通结构周边地层的水位变化幅度。

5.2 旁侧基坑

5.2.1~5.2.3 对位于城市轨道交通结构侧方的基坑工程应根据作业影响等级、相对位置关系、安全性与经济性等综合比选确定基坑支护型式，基坑支护结构的技术要求按照现行的《建筑基坑支护技术规程》JGJ120、《建筑桩基技术规范》JGJ 94 等规范执行。当外部作业影响等级为特级、一级和有特殊要求时，应适当加强设计，采取足够的安全保护措施，保证城市轨道交通结构的安全。

5.3 上方基坑

5.3.1~5.3.5 对于城市轨道交通地下结构上方的基坑工程，土体卸载过程对城市轨道交通影响极大，在设计及施工方案中应充分论证方案的安全性及可行性，制定安全、合理、可行的技术方案。

6 外部隧道工程

6.1 一般规定

6.1.1 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。

6.1.3 新建隧道与城市轨道交通结构交叉时，应尽量从线路设计上优化平、纵断面以减少结构影响，并避免城市轨道交通结构薄弱部位。

6.1.4 新建隧道施工前，应对城市轨道交通结构进行结构计算和数值模拟分析，理论计算与工程类比相结合，合理制定措施、降低风险，确保安全。

6.1.5 新建隧道的工作井、联络通道或泵房距离城市轨道交通结构较近时，施工过程中引起的变形与下穿隧道施工引起的桩基变形产生叠加效应，加大了对既有结构的影响。新建隧道长期运营后，联络通道（包括泵房）以及位于联络通道附近的隧道极易发生差异沉降而导致漏水，从而对城市轨道交通产生长期影响。因此，原则上隧道工作井、联络通道、泵房需设置在城市轨道交通结构安全保护区外。

6.1.6 盾构、顶管施工本身存在试验段，但是由于其变形控制标准可能低于轨道交通结构保护要求，故应进行针对性的试验并确定各项施工参数。通过试验性施工可以预先评估施工方案的有效性和安全性，以及可能遇到的技术和地质问题。这样的措施有助于减少正式施工中的风险，提高工程质量，保障施工安全。

6.1.8 此要求为防止结构渗漏对城市轨道交通结构造成不利影响，保障城市轨道交通的安全运营。城市轨道交通杂散电流可能会导致金属管道腐蚀，从而影响管道的使用寿命和安全性。

6.1.9 新建隧道施工引起城市轨道交通结构不均匀沉降，导致城市轨道交通结构开裂、漏水、轨面平顺性降低。城市轨道交通安全保护区内的隧道可采用配筋量适当增加或掺钢纤维等结构强度加强措施。同时，为减小新建隧道漏水对城市轨道交通结构的影响，需加强隧道防水措施，如提高防水等级、半包防水改为全包防水等。

6.1.10 高架站及高架区间一般采用桩基础，且多为端承桩，盾构施工掘进中开挖面支护压力及刀盘转动引起土体变位，将对桩身产生作用力，距离宜控制在 $1D$ 范围外，对于近距离，为减少应力传递影响，可采取隔离桩措施。部分工程采用地基加固增加轨道交通结构的抗变形能力，但方案中应结合土体传力效应分析，综合确定地基加固可行性。

6.1.11 理论上穿越施工距离控制在 1 倍隧道直径外能保证安全，考虑到地铁隧道及相关穿越工程通常埋深，并结合已有近距离安全穿越多个工程案例，明确竖向净距控制在 $0.5D^*$ (D^* 外部隧道外径与城市轨道交通隧道结构外径或宽度的较大值)；穿越工程竖向净距控制不满足 $0.5D^*$ 时，应对穿越方案进行充分论证。盾构法、顶管法穿越工程中，隧道直径大小对穿越影响密切相关，当直径大于地铁隧道直径后，开挖控制不当引起的地层损失波动对运营地铁的变形较为敏感，尤其是近年来较多 10m 以上大直径盾构在市政隧道工程中大量采用，应予以充分重视。穿越工程宜采用与地铁设施平面正交，以便快速穿越并减少不均匀沉降影响。穿越工程为上穿且采用非开挖施工时，穿越影响显著减小，通常的市政管道铺设采用非开挖技术，且直径在 2m 内，实践表明穿越工程正常实施时对地铁既有设施的影响不明显。设计阶段，在已知后期尚有其他工程穿越的情况下，宜提前考虑后期穿越的不利工况，并从社会成本最小化的角度，尽可能提前实施必要的地层或结构加固措施。在软土地层，穿越影响区采取地基预加固措施，可以确保地铁设施底部置于较好土层，能显著改善穿越工程引起的软土长期沉降问题，同时降低穿越工程土体损失率。由于地铁隧道已经运营，通常难以采取自身加强措施，确有必要时，采取环形内支撑纵向拉近方式，能够满足地铁正常运营。

6.2 盾构法与顶管法隧道工程

6.2.1 新建盾构法、顶管法隧道工程应根据工程地质、水文地质条件，并结合穿越轨道交通既有结构关系等因素进行设计。设备的选型应综合考虑多种因素，包括盾构机的性能及其与地质条件的适应性、刀盘型式、刀具形状与布置等，应遵循一定的规范和原则，以确保工程的安全性和可靠性。

6.2.2 顶管隧道施工包括手掘式、挤压式、泥水平衡式、土压平衡式等，为减小施工风险及对城市轨道交通结构的影响，宜采用对周围环境影响较小的泥水平衡式及土压平衡式。随着顶管施工技术的不断发展，以后可能会出现各种形式的顶管施工技术，如管套式、气

泡式等，新技术应用于下穿工程前应有充分的工程实践经验。顶管法被广泛应用于排水管道、通讯管道等工程，当下穿工程位于透水性砂层时，采用顶管工艺有管涌或流砂风险；对软土地层，由于挤土效应明显，不建议采用顶管法施工。

6.2.3 外部盾构法、顶管法隧道工程穿越前，应符合下列规定：

1 为了减小隧道施工对城市轨道交通的影响，盾构在穿越前应使盾构机设备及姿态达到最佳状态，避免停机、换刀、机械设备维修、停机更换以及大的姿态调整，一方面保证盾构下穿施工的顺利实施，同时也可以保证管片拼装质量，减小运营期可能出现的隧道渗漏水；

2 在盾构穿越既有城市轨道交通工程前，应预判盾构掘进可能发生的沉降、空洞或喷涌等风险，并采取相应的安全控制措施；

3 盾构、顶管施工对周围地层影响不可避免，应保证推进施工时开挖压力及注浆压力可控，注浆材料的选择非常重要，理论上双液浆具有早期强度，可以快速实现盾尾填充，但由于双液浆通常容易堵塞注浆管路，工程上实施存在困难，故盾构工程一般采用具有一定早期强度的惰性浆液；盾构管片预设注浆孔可用于变形控制。

6.3 矿山法隧道

6.3.1 当新建隧道位于渗透性强、自稳能力差的地层时，矿山法施工对地层扰动大，地层沉降难以控制，因此不宜采用矿山法穿越城市轨道交通既有结构。

6.3.2 应遵循浅埋暗挖法八字方针，确保隧道施工的安全和质量，同时也可有效降低环境风险。

6.3.3 袖阀管注浆、高压旋喷桩法等因加固工艺不同，对周边地层的扰动程度及范围也不同，距离轨道交通既有结构较近时，应避免采用扰动影响较大的高压喷射注浆工艺。根据工程经验，对于软弱地层，地面无条件加固时，可对开挖隧道全断面及洞周不小于 2.0m 范围内的土体进行深孔注浆加固。近年来，全方位高压喷射法（MJS）逐渐在紧邻轨道交通既有结构的工程项目中有着良好的应用。MJS 工法在传统高压喷射注浆工艺的基础上，采用了独特的多孔管和前端强制吸浆装置，实现了孔内强制排浆和地层压力监测，并通过调整强制排浆量来控制地层压力，大幅度减少对环境的影响，而地层压力的降低也进一步保证了成桩直径。

6.3.4 采用矿山法进行穿越施工时，初期支护结构形式应优先考虑拼装式钢架结合喷射混凝土等，不宜采用冻结法加固地层。

6.3.5 矿山法施工常采用钻爆法。尽管目前我国工程爆破技术已达到较高水平，但爆破作业风险性仍然很大，爆破的振动效应、爆破冲击波等均可能对城市轨道交通乘客的舒适度等产生影响因此下穿工程尽量不采用爆破施工。必须采用爆破施工时，如硬岩地层，需进行专项设计，以确定最优的爆破参数，并评估对城市轨道交通的影响。爆破震动加速度的主频率大都在 10Hz~30Hz，对于浅孔爆破，高达 40Hz~100Hz，远大于一般结构的自振频率，爆破振动通常不易引起周围结构破坏。由于爆破振动频率的测定比较烦琐，爆破振动引起建（构）筑物结构质点的振动加速度的安全判据未有统一标准，目前，爆破界一直采用振动速度允许值作为安全控制指标。在国内相关城市、地区的安全保护区内实施的爆破作业，控制结构的安全允许振速为 2.5cm/s，多年以来，在上述地区的安全保护区内，实施过大量的爆破作业，经实践检验，爆破振动速度小于 2.5cm/s 时，爆破作业对结构没有产生不良影响。因此，控制爆破振动速度在 2.5cm/s 以下，可以有效保护城市轨道交通既有结构的安全。

7 外部基础工程

7.2 浅基础

7.2.3 由于预压、强夯等地基处理方法会改变土体的应力状态，使土体产生较大的固结沉降，其近距离作业对轨道交通既有结构的影响较大，因此不宜采用此类工法。

地基处理施工对轨道交通既有结构的影响主要与地基处理方法、施工工法、与轨道交通结构的距离、工程地质等因素有关。

浅基础外部作业影响等级为特级和一级时，往往引起轨道交通既有结构的原设计荷载和边界条件等发生改变，因此，地基处理应优先采用对周边环境影响较小的措施和参数。

7.3 桩基础

7.3.1 桩基础的承载力由侧摩阻力和端阻力组成，上部结构荷载通过桩传入地基，对轨道交通既有结构产生附加荷载，整个桩基础作用于既有结构的累计附加荷载应严格控制，并进一步考虑地面超载、地下水变化等引起的荷载，确保附加荷载总量满足设计要求。

桩基础沉降后，其周边的地基土体产生变形，邻近的既有结构相应产生变形；由于桩基础的变形发展是一个长期的过程，因此，应综合考虑成桩施工、基坑开挖、上部结构施工、使用荷载、地基固结等全过程各因素的影响，对工程建设的全程各阶段影响进行评估。

7.3.3 桩基础对轨道交通既有结构的影响，与桩径、桩间距、桩长、桩型、施工工艺等均有关系，应优先采用对周边环境影响较小的措施和参数，例如保证桩基的有效桩长、采用非挤土的端承桩或摩擦端承桩、采用较大桩间距等保护措施。

8 外部其他工程

8.1 一般规定

8.1.2 城市轨道交通上方的修路、架桥、盖房等上跨工程，将会对城市轨道交通既有结构产生堆卸载影响，20kPa 为作用于既有结构上的最大容许临时附加活荷载。

8.1.6 为防止高空坠物对城市轨道交通地面结构和高架结构造成破坏，塔式起重机等起重吊装设备作业半径不应与城市轨道交通特别安全保护区范围（地面车站和地面线路、高架车站和高架线路结构外边线外侧 3m 内）有重叠，且应有防止其向城市轨道交通结构倾倒的措施。

8.1.8 对于邻近高边坡、高挡墙等构筑物的城市轨道交通地面或高架结构，应防止因外部作业导致高边坡和高挡墙发生坍塌等，进而危及既有结构安全和行车安全。

8.1.9 市政道路上跨城市轨道交通地面线路和下穿城市轨道交通高架结构均属交叉范畴，前者应设置相应的防护、防撞及警示标志，后者应设置限高防护设施及警示标志。

8.1.10 城市轨道交通结构安全保护区内的冻结法作业，土体的一次冻融循环，会产生冻胀融沉的不利影响，应采取措施降低其不利影响。通过采取增大冻结速度、控制冻结范围、控制水分迁移量、设置压力释放孔、注浆充填、工作面释放水和强制解冻等措施，可有效解决冻胀融沉问题。

8.1.11 外部作业致使城市轨道交通既有结构变形超出其控制指标时，除了外部工程活动自身可采取的措施外，既有结构常见变形控制手段有外侧土体微扰动注浆，既有结构内微扰动注浆等。

8.2 高架工程

8.2.2 应避免外部作业影响高架结构的桩基承载力，以防止由于降水和土体开挖等诱发桩基沉降。

8.2.4 上跨城市轨道交通既有结构的外部作业，应采取有效措施防止坠物；应避免在净高

小于、略高于施工车辆或施工设备高度的城市轨道交通高架结构下方设置施工行车便道；不得向地势低的城市轨道交通地面结构和高架结构区域排水。

8.5 河道疏浚和抛填作业

8.5.4 抛填速度应根据城市轨道交通既有结构的类型、现状、抛填材料的性质、抛填区域与既有结构的距离等因素综合确定；抛填厚度应根据抛填材料的性质、抛填区域的地基承载力等因素综合确定。

8.6 管线敷设

8.6.1 非开挖大直径地下管线是指外径不小于 0.6m 的圆形、矩形采用非开挖方式（顶管、盾构、拖拉管等）进行施工的地下管线，其余为非开挖小直径地下管线。

8.6.2 考虑到城市轨道交通既有结构及相关穿越工程通常埋深较深，并结合已有近距离安全穿越工程案例，明确竖向净距控制在 $0.5D_1$ （ D_1 为地下管线外径与城市轨道交通隧道结构外径或宽度的较大值），且不小于 2m。穿越工程竖向净距控制不满足 $0.5D_1$ 时，应对穿越方案进行充分论证。穿越工程为上穿且采用非开挖施工时，穿越影响较小，如市政管道铺设采用非开挖技术，且直径在 2m 内，实践表明穿越工程正常实施时对既有结构的影响不明显。盾构法、顶管法穿越工程中，隧道直径大小对穿越影响密切相关，当直径大于城市轨道交通既有隧道直径时，既有隧道变形对开挖控制不当引起的地层损失较为敏感，尤其是近年来较多 10m 以上大直径盾构在市政隧道工程中大量采用，应予以充分重视。穿越工程宜选择与既有结构平面正交，以便快速穿越并减少不均匀沉降影响。

8.6.3 由于工艺成熟、占用场地少，市政工程中直径 300~1200mm 的排水、电力、通讯管道常采用拖拉管施工工艺。近年来，城市轨道交通周边此类工法不少，而且与既有结构距离较近，为防止导向孔钻进过程中钻头偏移而损伤既有结构，故严格控制其与设计轴线的偏离度；拖拉施工结束，产品管与回扩孔之间的空隙处理，不能像开槽埋管的施工方法回填密实，对于横穿既有结构的管线部位，孔内泥浆固结后，可能出现周边土体下沉，所以对于空隙填充应有针对性措施。

8.6.5 位于城市轨道交通安全保护区的管道、箱涵等，一旦出现泄漏，很难进行处理，且不易被及时发现，因此应使用耐久性好、整体性好的材质及可靠的连接形式，同时预留安

全、可行的维护条件。

8.6.6 石油、天然气等易燃易爆构筑物或管线，尚应考虑其泄露或爆炸对城市轨道交通既有结构的影响，其与既有结构净距控制应满足现行国家相关规定。

9 监测

9.1 一般规定

9.1.1 外部作业影响等级为二级及以上的城市轨道交通安全保护区建设工程，作业单位或个人应委托监测单位对轨道交通设施及与轨道交通密切相关的工程部位进行动态监测；外部作业影响等级为三级的城市轨道交通安全保护区建设工程，由方案审查牵头部门根据地质情况、工程建设规模及受影响段城市轨道交通设施现状，判定是否需要进行动态监测。

9.1.2 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。城市轨道交通运营期间，宜采用能够远程自动化监测的仪器测量，避免对运营产生干扰；运营停止期间，可采用仪器测量与巡视检查相结合的方法。

9.1.3 监测单位应根据外部作业设计、施工方案以及安全评估报告等资料编制监测方案，监测方案应包括监测项目、测点布置、监测方式、监测频率以及数据管理等内容。监测工作应贯穿外部作业影响全过程。

9.1.4 应根据监测对象选取合适的监测方式，且应满足城市轨道交通建设或运营单位的要求。针对有重大影响、对监测频率要求高、持续时间长的各类工程项目应采用自动化监测手段。

9.3 测点布置

9.3.1 城市轨道交通结构监测点布设应根据结构特点、外部作业、工程地质条件及环境条件等进行布设，应具有代表性，并能反映既有结构变形及内力变化特征，不同监测项目尽量布置在同一监测断面，可以形成关键监测断面，有利于各监测数据的分析和检验。监测点应以既有结构受影响较大位置为中线，按照近密远疏的原则进行布置，影响中心区域应适当加密。

9.3.2 监测点应稳固、明显、结构合理，且不影响城市轨道交通的正常运营，正常维修不影响监测点位置变化；应避开障碍物，且便于观测和长期保存；

9.3.3 城市轨道交通既有结构特殊区段主要是指结构形式和施工工法转换处，该区段结构性能薄弱，更易受到外部作业的影响，包括车站与区间衔接处，区间与联络通道衔接处，附属结构与线路结构衔接处以及隧道、高架桥梁与路基之间的过渡段等。

9.4 监测方法和频率

9.4.1 城市轨道交通既有隧道内监测仪器建议原则上不宜采用静力水准仪等仪器，以减少既有隧道内钻孔个数及管线，减小对结构的影响，消除异物隐患。

9.5 监测数据管理

9.5.1 参考《城市轨道交通工程测量规范》GB/T50308 和《城市轨道交通工程监测技术规范》GB50911，采用三级预警标准管理模式，将监测安全等级分为 3 个等级，分别用红色、橙色和黄色，红色为最高级别，同时设置好各级控制值。采用监测比值 G 反映外部作业施工过程中结构的安全状态，能够较为方便地掌握既有结构的动态影响程度，根据 G 值大小划分预警等级，并提出相应等级的应对措施。监测预警等级的划分，同时充分考虑监测数据的变化速率值。

10 既有结构病害处治

10.0.1 城市轨道交通既有结构服役状态诊断是结构处治与加固的依据，如果病害原因不明，处治与加固便会治标不治本，导致结构反复处治，但收效不大。因此，在既有结构处治前应根据本规范以及其他国家行业规范，查清病害的种类、数量、严重程度，明确病害产生的原因及其发展性，根据病害的分布情况，采取合理、有效的处治与加固措施。

10.0.3 城市轨道交通既有结构病害处治不仅要考虑荷载作用、结构类型，还要充分理解各种处治方案的特点，所采取的措施应尽量降低对既有结构损伤，使结构处治在可控的范围内实施。

10.0.4 城市轨道交通既有结构病害处治进场和撤场必须进行材料、工具、人员等的清点工作，确保无遗漏。

10.0.6 城市轨道交通既有结构渗漏处治应进行详细的现场勘查，确定渗漏水的具体位置、数量和成因，根据渗漏水的原因和程度，制定相应的处治方案。选择适合地下结构的防水材料，确保其具有良好的粘结性和耐水性。

10.0.7 裂缝修补方法应符合下列规定：

对于非荷载裂缝修补应根据混凝土结构裂缝深度 h 与城市轨道交通结构厚度 H 的关系选择处理方法。 h 小于或等于 $0.1H$ 的表面裂缝，应按表面封闭法进行处理； h 在 $0.1\sim 0.5H$ 时的浅层裂缝，应按填充密封法进行处理； h 大于或等于 $0.5H$ 的纵深裂缝以及 h 等于 H 的贯穿裂缝，应按压力注浆法进行处理，并保证注浆处理后界面的抗拉强度不小于混凝土抗拉强度。

对于表面封闭法，应利用混凝土表层微细独立裂缝（裂缝宽度 $b\leq 0.2\text{mm}$ ）或网状裂纹的毛细作用吸收低黏度且具有良好渗透性的修补胶液，封闭裂缝通道；对于注射法，以一定的压力将低黏度、高强度的裂缝修补胶液注入裂缝腔内，适用于 $0.1\text{mm}\leq b\leq 1.5\text{mm}$ 静止的独立裂缝、贯穿性裂缝以及蜂窝状局部缺陷的补强和封闭。注射前，应按产品说明书的规定，对裂缝周边进行密封；对于压力注浆法，在一定时间内，以较高压力将修补裂缝用的注浆料压入裂缝腔内，适用于处理大型结构贯穿性裂缝、大体积混凝土的蜂窝状严重缺陷以及深而蜿蜒的裂缝；对于填充密封法，在构件表面沿裂缝走向骑缝凿出槽深和槽宽分

别不小于 20mm 和 15mm 的 U 形沟槽；当裂缝较细时，也可凿成 V 形沟槽，然后用改性环氧树脂或弹性填缝材料充填，并粘贴纤维复合材料以封闭其表面，填充完毕后，其表面应做防护层。

10.0.8 地层注浆应选用注浆扰动小和压力可控注浆的设备，可以根据地层的特点，按不同的加固要求分别处理，同时针对同一范围内的地层可以反复进行注浆处理。在对既有结构抬升加固的同时，应兼顾既有结构线形的平顺，严格按设定参数实施注浆施工，注浆过程中保证施工协调一致性，注浆过程信息化施工，根据施工实际情况需多次进行抬升施工。

10.0.9 打设注浆孔前应仔细核查既有结构内相关设施及轨道板、盾构管片预埋件位置，确保注浆孔与预埋件、设施设备等的安全距离，保证线路设备安全；道床脱空一般采用流动性较高的灌浆料，确保填充浆液的流动性和凝结时间、强度满足要求，同时保证注浆对轨道板无竖向抬升；注浆过程中应实时监测轨道几何变位，确保不超限。注浆不能间断，并尽可能缩短灌浆时间。

10.0.10 城市轨道交通既有结构加固时，应符合下列规定：

3 应采取措施保证置换混凝土的协同工作；混凝土结构构件置换部分的界面处理及粘结质量，应满足按整体截面计算的要求；

5 粘贴钢板法适用于受弯，大偏心受压和受拉构件，且应将钢板受力方式设计成仅承受轴向应力作用；钢-超高性能混凝土加固，可以利用超高性能混凝土超高的抗压强度、韧性和极低的渗透性，薄钢板兼做受拉结构和模板，可以控制加固层的厚度，使加固后的隧道具有更高的强度和刚度，同时具有较好的耐久性。