

云南省城市轨道交通结构安全保护技术规程

Technical regulations for safety protection of urban rail transit structures in
Yunnan Province

(征求意见稿)

2022-XX-XX 发布

2022-XX-XX 实施

云南省住房和城乡建设厅 发布

本规程系根据云南省住房和城乡建设厅《关于印发云南省[2020]年工程建设地方标准编制计划的通知》的要求,由昆明理工大学和昆明市轨道交通集团有限公司等单位会同设计、施工、安评、监测、检测等单位编制而成。

本标准共分 12 章,主要技术内容包括:1.总则;2.术语;3.基本规定;4.控制保护要求;5.外部基坑工程;6.外部隧道工程;7.外部其他工程;8.安全评估;9.监测;10.检查和检测;11.轨道交通加固与修复;12.信息管理。

本规程由云南省住房和城乡建设厅负责管理,昆明理工大学负责具体技术内容的解释。在执行过程中如有意见或建议,请将意见和有关资料寄送昆明理工大学呈贡校区(邮编:650093, E-mail: 2306103533@qq.com)以供修订时参考。

本标准主编单位:昆明理工大学

昆明市轨道交通集团有限公司

本标准参编单位:昆明市交通运输局

中铁开发投资集团有限公司

中国安全生产科学研究院

北京城建设计发展集团

中国中铁二院工程集团有限公司

中国中铁四院工程集团有限公司

中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司

北京安捷工程咨询有限公司

北京联安纵横交通科技有限公司

上海隧道工程有限公司

中铁第 18 局集团有限公司

云南云智工程检测鉴定有限公司

主要起草人:

主要审查人:

目 次

1 总 则.....	6
2 术 语.....	7
3 基本规定.....	9
3.1 一般规定.....	9
3.2 安全控制.....	10
4 控制保护要求.....	14
4.1 基本规定.....	14
4.2 地下结构.....	14
4.3 地面结构和高架结构.....	15
5 外部隧道工程.....	16
5.1 基本规定.....	16
5.2 穿越隧道.....	17
5.3 并行隧道.....	17
6 外部基坑工程.....	19
6.1 一般规定.....	19
6.2 侧方基坑.....	20
6.3 上方基坑.....	21
7 外部其他工程.....	23
7.1 一般规定.....	23
7.2 爆破工程.....	23
7.3 地下水作业.....	24
7.4 桩 基 础 工 程	24
7.5 浅基础工程.....	25
7.6 道路及地下管线.....	26
8 安全评估.....	27
9 监 测.....	28
9.1 一般规定.....	28
9.2 监测项目.....	28
9.3 监测频率.....	30
9.4 监测预警.....	31
10 检查和检测.....	32
11 轨道交通加固与修复.....	33
12 信息管理.....	34
12.1 一般规定.....	34
12.2 监测信息.....	34
12.3 视频信息.....	34
附录 A 接近程度和外部作业的工程影响分区.....	36
附录 B 轨道交通结构安全控制指标值.....	43
附录 C 城市轨道交通结构健康状况分类.....	45
附录 D 隧道上方卸荷比、增荷比计算.....	46
本标准用词说明.....	48
引用标准名录.....	49

条 文 说 明.....	51
--------------	----

Contents

1	Basic Provisions.....	6
2	Terms.....	7
3	Basic Requirements.....	9
3.1	General provisions.....	9
3.2	Security control.....	10
4	Control protection requirements.....	14
4.1	General provisions.....	14
4.2	Underground structures.....	14
4.3	Ground structure and elevated structure.....	15
5	External foundation pit engineering.....	16
5.1	General provisions.....	16
5.2	The side of foundation pit.....	17
5.3	The above the foundation pit.....	17
6	External tunnel engineering.....	19
6.1	General provisions.....	19
6.2	Through the tunnel.....	20
6.3	Parallel the tunnel.....	21
7	Other external engineering.....	23
7.1	General provisions.....	23
7.2	Blasting engineering.....	23
7.3	Groundwater operation.....	24
7.4	Pile foundation engineering.....	24
7.5	Shallow foundation engineering.....	25
7.6	Roads and underground pipelines.....	26
8	The safety assessment.....	27
9	Monitoring.....	28
9.1	General provisions.....	28
9.2	Monitoring project.....	28
9.3	Monitoring frequency.....	30
9.4	Monitoring and early warning.....	31
10	Inspection and testing.....	32
11	Rail transit reinforcement and repair.....	33
12	Information management.....	34
12.1	General provisions.....	34
12.2	Monitoring information.....	34
12.3	Video information.....	34
Supplement A	Proximity and engineering impact zones for external operations.....	36
Supplement B	Rail transit structure safety control index value.....	43
Supplement C	Urban rail transit structure health status classification.....	45
Supplement D	Calculation of unloading ratio and loading ratio above the tunnel.....	46
	Description of terms used in this standard.....	48
	Reference Standard Directory.....	49

Statement of provisions.....	51
------------------------------	----

1 总 则

1.0.1 为保护云南省城市轨道交通结构安全和正常使用，避免或降低外部作业对其造成不利影响，制定本规程。

1.0.2 本规范适用于已建成和正在修建的城市轨道交通结构的安全保护。

1.0.3 城市轨道交通结构的安全保护除应符合本规范外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 城市轨道交通 urban rail transit

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

2.0.2 控制保护区 control and protection area

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

2.0.3 外部作业 exterior action

在城市轨道交通结构周边进行的可能对其产生影响的作业，包括后续新建和改、扩建的轨道交通工程作业。

2.0.4 轨道交通结构健康状况 Safety condition of rail transit structure

根据城市轨道交通结构已有变形和损伤情况，对其结构安全的评价结果。

2.0.5 安全控制标准 standard for safety control

根据城市轨道交通结构的健康状况及其保护要求，针对外部作业的特点，为保护结构而制定的控制标准。

2.0.6 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。

2.0.7 结构安全控制指标 structural safety value

根据轨道交通结构健康状况及其保护要求，针对外部作业时结构的响应特征，为结构安全而选用的控制指标

2.0.8 净距控制值 the minimum distance

根据外部作业和城市轨道交通结构的特点，规定外部作业与城市轨道交通结构外边线之间的最小净距。

2.0.9 外部隧道工程 adjacent tunnel

在轨道交通控制保护区内实施的隧道工程(包括盾构法或顶管法隧道、矿山法隧道等)，分为穿越隧道和并行隧道

2.0.10 安全评估 safety assessment

根据外部作业的设计方案、施工组织方案、城市轨道交通保护方案及现状调查情况等，通过理论分析与经验对比分析，评估外部作业对城市轨道交通结构安全影响的工作，包括既有结构的现状评估和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。

2.0.11 上方基坑 foundation pit engineering above existing structure

在城市轨道交通结构上方实施的基坑工程

2.0.12 侧方基坑 foundation pit engineering adjacent to existing structure

位于轨道交通保护区范围内，在城市轨道交通结构侧方实施的基坑工程。

2.0.13 穿越工程 traversing engineering

在轨道交通保护区范围内，以上穿、下穿、上跨等方式穿越城市轨道交通结构的新建、改建、扩建工程等，主要为采用盾构法、顶管法等工法施工的建设工程。本技术要求中，上穿和下穿是指新建工程和既有结构均在地面以下，新建工程从既有结构上方或下方穿过。

2.0.14 地下水作业 operation of groundwater

直接或间接诱发城市轨道交通结构周边水位变化或水质变化的外部作业，包括地表水的抽排、引导以及地下工程中的排水、降水、截水或回灌水作业等。

2.0.15 控制爆破 control blasting

通过严格控制爆破能量和爆破规模，准确控制起爆时间和延期时间等措施，确保不对城市轨道交通结构产生安全影响的爆破。

2.0.16 实时监测 real-time monitoring

对监测对象实施连续测量并即时反馈测量成果。

2.0.17 监测预警等级 alarmingclassonmonitoring|

根据监测值与其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。

2.0.18 预加固 pre-reinforcement

外部作业施工前，对轨道交通结构预先采取的防护和加固措施。

2.0.19 应急预案 emergency plan

为保证既有轨道交通基础设施安全，对外部作业施工过程中可能发生的各种突发性事件应急处置方案

2.0.20 附属结构及其他结构 accessory structures and other structures

车站附属结构，包括出入口、风亭、冷却塔等；

其他结构，包括联络通道、区间风井、出人段线（场）、车辆段（停车场）、控制中心、主变电所、外线高压电缆管沟等

2.0.21 离缝 clearance

轨道道床与结构底板或盾构管片出现脱离而形成的缝隙。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 在城市轨道交通结构周边进行外部作业时，应制定安全可靠的作业方案、既有结构保护专项方案及应急预案等，外部作业不得影响城市轨道交通结构的正常使用功能、承载能力、耐久性和其他特殊功能。

3.1.2 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：

- 1 地下车站与区间结构外边线外侧 50m 内；
- 2 地面和高架车站，以及线路区间结构外边线外侧 30m 内；
- 3 过江、过河隧道结构，跨江桥梁结构外边线 100m 内；
- 4 出入口、通风亭、变电站等车站附属结构及外边线外侧 20m 内（浙江、天津定义为 20m，甘肃定义为 10m，广东既有结构定义为 10m，国标定义为 10m）。对接轨道集团

3.1.3 轨道交通特别保护区范围应符合下列规定：

- 1 地下车站主体结构及区间结构外边线外侧 5m 内；
- 2 其余结构外边线外 3m 内。

3.1.4 当轨道交通控制保护区遇特殊的工程和水文地质或特殊的外部作业时，应适当扩大控制保护区范围。

3.1.5 当城市轨道交通线网中相交、平行、邻近的城市轨道交通工程不同期建设时，先期建设工程应充分考虑后建工程的影响，后建工程对既有结构的安全保护应按本规范的相关规定执行。

3.1.6 外部作业实施前，应结合城市轨道交通结构的安全保护要求，以及外部作业与城市轨道交通结构的接近程度、工程影响分区及其结构的健康状况（见附录 C），确定其影响等级。

3.1.7 结构安全控制指标应结合外部作业对城市轨道交通结构的主要响应特征、城市轨道交通结构健康状况和安全保护要求合理选用。

3.1.8 城市轨道交通周边物业开发时拟建项目场地标高应征询城市轨道交通管理部门的意见。（此条为本规程新增内容，是否必要，请斟酌）

3.2 安全控制

3.2.1 安全控制主要内容应包括：外部作业影响等级、外部作业净距控制管理指标、结构安全控制指标。

3.2.2 外部作业影响等级应按表 3.2.2-1、2-2、2-3 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范附录 A 确定。

表 3.2.2-1 外部作业影响等级划分（轨道交通结构健康状况为Ⅰ类）

接近程度 外部作业工程影响分区	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	——

表 3.2.2-2 外部作业影响等级划分（轨道交通结构健康状况为Ⅱ类）

接近程度 外部作业工程影响分区	非常接近	接近	较接近	不接近
强烈影响区（A）	特级	特级	特级	二级
显著影响区（B）	特级	特级	一级	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	——

表 3.2.2-3 外部作业影响等级划分（轨道交通结构健康状况为Ⅲ类）

接近程度 外部作业工程影响分区	非常接近	接近	较接近	不接近
强烈影响区（A）	特级	特级	特级	一级
显著影响区（B）	特级	特级	特级	二级
一般影响区（C）	特级	一级	二级	三级
较小影响区（D）	一级	二级	三级	四级

注：1 本表适用于围岩级别为Ⅳ-Ⅵ类的情况；围岩级别为Ⅰ-Ⅲ类的情况，表中的影响等级可降

一级；围岩级别为 VI 类的软土地区，安全评估时应根据城市轨道交通结构健康状况和埋设深度，外部作业的特点和工程风险情况，综合考虑是否需要提高影响等级，特级时不再提高。

2 围岩级别应按现行国家标准《城市轨道交通岩土工程勘察规范》（GB50307）、《云南省城市轨道交通岩土工程勘察规程》（DBJ53 / T-113）中的有关规定确定。

3 外径或最大边长小于 2.5m 的明挖管沟、顶管和拉管等外部作业应根据与城市轨道交通结构的相互位置关系适当降低影响等级。

4 浅基础施工时，应综合考虑基槽开挖卸载、上部结构施工后基底应力对轨道交通结构的影响程度，由根据安全评估结果确定影响等级。

3.2.3 城市轨道交通结构处于复杂的工程地质条件或存在工程地质灾害的情况，其外部作业影响等级应结合当地具体的工程经验综合确定，不宜低于一级。

3.2.4 外部作业净距控制管理值宜符合表 3.2.4-1 的规定。

表 3.2.4-1 外部作业净距控制值（m）

外部作业		地下结构		地面结构	高架结构
		盾构法施工	其他方法施工		
基坑围护桩、地下连续墙*		≥7	≥5	≥5	≥6
工程桩*	非挤土桩	≥4	≥3	≥3	≥3
土体 加固	深层搅拌法	≥8	≥5	≥5	≥5
	高压喷射注浆法	≥20	≥15	≥6	≥6
锚杆、锚索、土钉（末端）		≥10	≥15	≥10	≥6
上方基坑		≥2 且 ≥0.5D	≥2	-	-
穿越隧道		≥2	≥2	-	-
钻深孔、监测孔		≥6	≥3	≥6	≥6
起重、吊装设备		-	-	≥10	≥6
搭设棚架及宣传标志		-	-	≥8	≥8
存放易燃物料		-	-	≥20	≥20
冲孔、震冲、挤土 *		≥20	≥20	≥15	≥10
浅孔爆破 *		≥15	≥15	≥15	≥15
深孔爆破 *		≥50	≥50	≥20	≥50

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。

2 上方基坑作业净距控制值为竖向净距，竖向净距不宜小于 0.5D（D 为地下结构的外

径或宽度), 且不应小于 2m。

- 3 当围岩级别为 I~III 时, 表中的净距控制管理值宜结合当地的工程经验进行适当调整。
围岩级别应按现行国家标准《城市轨道交通岩土工程勘察规范》(GB50307)、《云南省城市轨道交通岩土工程勘察规程》(DBJ53/T-113) 中的有关规定确定。

3.2.5 石油、天然气等易燃易爆物的净距控制管理值应按现行国家标准《石油天然气工程设计防火规范》(GB50183)、《输气管道工程设计规范》(GB5025) 等的要求确定。

3.2.6 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。

3.2.7 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, 且不宜小于本规程表 3.2.4 中相应数值的 3 倍。过水段轨道交通结构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轨道交安通结构上方覆土厚度满足设计。

3.2.8 当外部作业为基坑工程、矿山法工程、顶管工程和盾构工程时, 应根据外部作业影响等级(见表 3.2.2) 和结构安全控制指标(见附录 B) 确定城市轨道交通结构的安全控制标准。

表 3.2.8 城市轨道交通结构安全控制指标值

位置、施工工艺	安全控制指标		轨道交通健康状况		
			I 类	II 类	III 类
盾构法或顶管法 地下结构	隧道水平位移 (mm)		<15	<8	<5
	隧道竖向位移 (mm)		<15	<10	<5
	隧道径向收敛 (mm)		<15	<8	<5
	车站与区间交接处差异沉降 (mm)		<15	<8	<5
	隧道轴线变形曲率半径 (m)		>15000	>15000	>15000
	隧道变形相对曲率 (m)		<1/2500	<1/2500	<1/2500
	盾构管片接缝张开量 (mm)		<2	<1	<1
	隧道结构外壁附加荷载 (kPa)		≤20	≤15	≤10
	背水面裂缝宽度 (mm)		0.3	0.1	0.1
	振动速度 cm/s		≤ 2.5	≤ 2.5	≤ 2.5
明挖法地下结构	水平位移 (mm)		<15	<10	<5
	竖向位移 (mm)		<15	<10	<5
	车站与区间交接处差异沉降 (mm)		<15	<8	<5
	裂缝宽度 (mm)	迎水面	<0.2	<0.1	<0.1
		背水面	<0.3	<0.2	<0.2
	振动速度		≤ 2.5	≤ 2.5	≤ 2.5
高架及地面结构	水平位移 (mm)		<15	<10	<5

	竖向位移 (mm)	<15	<10	<5
	车站与附属结构交接处 差异沉降 (mm)	<15	<8	<5
	相邻柱基沉降差 (mm)	<0.0015L	<0.0005L	<0.0003L
	裂缝宽度 (mm)	<0.3	<0.2	<0.2
	振动速度 (cm/s)	≤ 2.5	≤ 2.5	≤ 2.5

3.2.9 结构安全控制指标应包括：位移、变形、差异沉降、结构裂缝、相对收敛、变形曲率半径、管片接缝张开量、渗漏、附加荷载、振动速度、轨道横向高差、轨向高差、轨间距、道床脱空量等。结构安全控制指标值宜符合本规范附录 B 的规定。

4 控制保护要求

4.1 基本规定

4.1.1 外部作业勘察、设计及施工对城市轨道交通产生影响时,其作业应满足城市轨道交通结构的安全控制标准。

4.1.2 当外部作业影响等级为特级、一级时,应根据城市轨道交通结构的安全评估成果制定相应的安全应急预案。

4.1.3 地下水作业、爆破作业不得影响城市轨道交通结构的安全和正常使用,爆破作业不得危及人员安全

4.1.4 城市轨道交通结构的监测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。

4.1.5 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结构的安全。

4.1.6 城市轨道交通结构控制保护区内的结构拆除应采用冲击、振动较小的作业方案。

4.1.7 城市轨道交通结构控制保护区内时空相近的多项外部作业应综合考虑其对城市轨道交通结构产生的叠加效应。

4.2 地下结构

4.2.1 在城市轨道交通地下结构控制保护区内进行加载或卸载作业时,应验算对结构的安全影响,并应满足相应的结构安全控制指标值。

4.2.2 当外部作业采用钻孔、抓孔、冲孔和人工挖孔等工法时,应采取措施避免发生土体坍塌事故,并应控制城市轨道交通地下结构周边地层的水位变化幅度。

4.2.3 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,作用于城市轨道交通地下结构外壁上的附加荷载不应大于 20kPa

4.2.4 城市轨道交通地下结构控制保护区内修建平行或下穿隧道,应按本规范附录 A 判定接近程度和外部作业的工程影响分区。当判定为非常接近或接近时,应采用安全可靠的隧道施工方案,细化施工控制参数,制定安全保护控制措施。

4.2.5 对位于城市轨道交通地下结构正上方的基坑工程,应控制地下结构上方的覆土厚度,确保结构抗浮能力、变形及附加应力符合本规程附录 B 的要求。

4.2.6 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特级、一级和有特殊要求时,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。

2 基坑的拆撑、换撑应采取安全可靠的作业方案

3 基坑围护结构与其地下室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。

4.2.7 进行外部作业时，在区间隧道、地下车站及附属结构特别保护区范围内不宜采用重型、振动大的机械设备。

4.2.8 城市轨道交通结构控制保护区内的冻结法作业，应采取措施降低地层冻胀、融沉对结构产生的不利影响。

4.2.9 船只的抛锚、拖锚作业净距控制管理值应大于 100m,航道的清淤疏浚作业应保证城市轨道交通结构上方覆土不小于设计厚度。

4.3 地面结构和高架结构

4.3.1 外部作业应防止火灾、积水、车辆或其他物体坠入、碰撞等事件危及城市轨道交通结构安全。

4.3.2 下穿城市轨道交通地面结构的外部作业，实施前应评估其对地面结构的安全影响，实施过程应进行实时监测。

4.3.3 上跨城市轨道交通地面结构和高架结构的外部作业部位，与轨道的净空必须满足轨道交通行车安全的要求，并应设置安全防护措施。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轨行区和人流出入口地面结构和高架结构的正上方，并应保持安全距离。

4.3.4 当外部作业紧邻城市轨道交通高架结构基础时，实施前应评估其对高架结构基础的安全影响。

4.3.5 当城市轨道交通结构邻近高边坡、高挡墙时，外部作业应保证高边坡、高挡墙及其基础的安全。

5 外部隧道工程

5.1 基本规定

5.1.1 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轨道交通结构的影响。

5.1.2 穿越隧道对城市轨道交通结构的外部作业影响等级应根据现场情况定为特级或一级

5.1.3 并行隧道的轨道交通结构外部作业影响等级划分可根据二者的竖向净距、水平净距以及轨道交通结构健康状况由表 3.2.2 确定。

5.1.4 外部隧道工程对轨道交通结构的外部作业影响等级为特级或一级时，宜在轨道交通运营收车时段停运期间连续、匀速施工；当在轨道交通运营行车时段施工时，轨道交通应采取限速运营措施。

5.1.5 轨道交通控制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，试验段施工过程应加强监测，据此确定施工设备、施工工艺和施工参数。

5.1.6 外部隧道工程采用盾构法或顶管法施工时，应遵循微扰动掘进的原则，并符合下列规定：

1 工作井宜设置于既有或在建轨道交通控制保护区之外，当位于控制保护区之内时，应采取可靠的进出洞加固措施；

2 推进时应保持稳定姿态，避免过大纠偏；

3 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；

4 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；

5 及时进行衬砌环壁后的二次注浆，减少后续变形；

6 轨道交通结构的外部作业影响等级为特级和一级时，隧道管片应预先增设注浆孔。

5.1.7 软弱地层中外部隧道工程的轨道交通结构外部作业影响等级为特级和一级时，不宜采用矿山法施工。

5.1.8 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，安排施工步骤，预先采取地下水处理措施，避免流砂和管涌。

5.2 穿越隧道

5.2.1 穿越区段隧道不宜采用小半径曲线线型，不应采用平曲线、竖曲线叠加的线型

5.2.2 隧道穿越盾构法或顶管法既有或在建地下结构时，应符合下列规定：

1 二者的竖向净距不宜小于 $0.5D$ (D 为外部隧道外径或宽度与盾构法或顶管法既有或在建地下结构外径或宽度的较大值)；

2 条件允许时宜选择从既有或在建结构上方穿越。

5.2.3 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 隧道与轨道交通结构的桩基净距不宜小于表 6.2.3 的限值；

2 对软弱地层，可采取地基预加固、隔离桩等措施降低对既有结构基础承载力的不利影响。

表 6.2.3 隧道与轨道交通结构桩基净距限制表

工 法	盾构法	明挖法	顶管法	拉管法
限 制	应优化盾构线路的平面线型，并应严格控制隧道与既有城市轨道交通结构的桩基的净距，净距不宜小于 3.0m。	施工机具与高架桥梁底部的净距不宜小于 2.0m；基坑维护外边线与桥墩承台水平净距不宜小于 5.0m。	顶管荆楚洞的上下加固范围不宜小于 2.0m，长度应超过一节管节 0.5m 以上，且不宜小于 3.0m。	拉管设计轨迹最低点与既有城市轨道交通结构净距不宜小于 6m

5.2.4 盾构法隧道穿越既有地下结构时，应符合下列规定：

1 穿越影响范围内的土体宜采取预加固处理；

2 盾构隧道管片应预先增设注浆孔；

3 盾构管片应加大配筋和加强管片间连接螺栓，被穿越地下结构为盾构隧道时，宜采取环形预加内支撑、增设纵向拉紧联系条等加强措施。

5.2.5 采用矿山法穿越施工时，不应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。

5.2.6 不宜采用顶管法下穿既有盾构法或顶管法地下结构。

5.3 并行隧道

5.3.1 软弱地层中轨道交通结构的外部作业影响等级为特级、一级时，宜采取设置隔离桩、地基加固等措施，减少并行隧道施工对轨道交通结构的不利影响。

5.3.2 轨道交通结构的外部作业影响等级为特级、一级、二级，采用矿山法施工时，不宜采用冻结法加固地层；采用冻结法加固地层时，应采取减少地层冻胀、融沉对轨道交通结

构产生的不利影响。

6 外部基坑工程

6.1 一般规定

6.1.1 外部基坑工程设计与施工应综合考虑围护墙、土体加固、降水、土方开挖、支撑拆除及换撑、主体结构施工、基坑回填等外部作业对轨道交通结构的不利影响。

6.1.2 在城市轨道交通控制保护区内的基坑作业,应根据基坑设计方案开展安全性预评估工作,并根据预评估结果优化调整基坑设计方案。

6.1.3 外部基坑施工场地的出土口及施工道路应远离既有轨道交通结构进行布置,城市轨道交通结构上方及侧方严禁超荷堆载。

6.1.4 在城市轨道交通控制保护区内的基坑作业,如果采用锚索,宜采用可回收锚索,可回收锚索回收时,应确保锚索回收拆除的施工安全。

6.1.5 外部基坑工程同时具有侧方基坑和上方基坑的属性时,宜通过分坑措施将整体基坑分为侧方基坑和上方基坑,分别进行设计与施工,并综合考虑二者的影响叠加效应。

6.1.6 基坑的不同部位可采用不同的轨道交通结构外部作业影响等级,相邻部位的级差不应超过一级,保护措施应有可靠的延伸过渡;轨道交通结构外部作业影响等级为特级、一级时,基坑支护应采用整体刚度较大的支护结构体系。

6.1.7 当地质条件以软土为主时,对平面尺寸较大的基坑,应通过分坑措施控制单体基坑的平面尺寸,单体基坑平面尺寸宜符合 6.1.7-1 的要求,并规定单体基坑的施工时间及次序。

表 6.1.7-1 单体基坑平面尺寸控制值

L_{wd}	$L_{wd} \leq 10$	$10 < L_{wd} \leq 15$	$15 < L_{wd} \leq 25$	$25 < L_{wd} \leq 40$	$L_{wd} > 40$
$5 > h \geq 2$	$S_d < 2000$ $L_1 < 40$	$S_d < 5000$ $L_1 < 60$	—	—	—
$10 > h \geq 5$	$S_d < 1500$ $L_1 < 30$	$S_d < 3000$ $L_1 < 50$	$S_d < 5000$ $L_1 < 70$	$S_d < 10000$ $L_1 < 90$	—
$15 > h \geq 10$	$S_d < 1000$ $L_2 < 20$	$S_d < 1200$ $L_2 < 20$	$S_d < 2000$ $L_1 < 40$	$S_d < 5000$ $L_1 < 60$	$S_d < 10000$ $L_1 < 80$
$20 > h \geq 15$	$S_d < 800$ $L_2 < 20$	$S_d < 1000$ $L_2 < 20$	$S_d < 1500$ $L_2 < 20$	$S_d < 3000$ $L_1 < 40$	$S_d < 5000$ $L_1 < 60$
$h \geq 20$	$S_d < 700$ $L_2 < 20$	$S_d < 800$ $L_2 < 20$	$S_d < 1000$ $L_2 < 20$	$S_d < 1500$ $L_2 < 20$	$S_d < 3000$ $L_1 < 40$
注: S_d 为单体基坑面积 (m^2); h 为基坑开挖深度 (m); L_{wd} 为基坑围护墙外边线和地面放坡顶线与轨道交通结构的最小水平净距 (m); L_1 为与轨道交通结构平行方向的基坑边长 (m); L_2 为与轨道交通结构垂直方向的基坑边长 (m)。					

6.1.8 轨道交通结构周边进行围护墙、截水帷幕和地基加固等施工，应根据环境影响最小的原则，通过试成桩或试成墙确定施工设备、施工工艺及施工参数，合理选择各种桩型的施工次序，严格控制施工速度。

6.1.9 邻近城市轨道交通结构的基坑作业，应遵循“分区、分块、分层、对称、限时、先支撑后开挖”的原则，实行信息化施工；基坑开挖至坑底设计高程时，及时浇筑地下室底板结构，避免基坑长时间暴露。

6.2 侧方基坑

6.2.1 侧方基坑对轨道交通结构的外部作业影响等级可根据影响分区、接近程度以及轨道交通结构健康状况等按表 3.2.2 确定。

6.2.2 城市轨道交通结构侧方有重大影响的基坑作业，在满足基坑稳定性和变形要求状态下，应采用整体刚度较大的基坑支护结构体系，确保拆、换撑施工安全和侧方施工间隙的回填质量，侧方施工间隙的回填材料宜选用素混凝土。

6.2.3 轨道交通结构外部作业影响等级为特级时，轨道交通结构侧的基坑支护设计应符合下列规定：

- 1 作用于围护墙的侧向土压力应采用静止土压力；
- 2 基坑开挖深度超过 10m，围护墙宜采用地下连续墙，并在平面上封闭设置，轨道交通结构侧宜采取槽壁加固措施；
- 3 围护墙宜紧贴地下室外墙布置；
- 4 对盾构法或顶管法地下结构，不宜采取坑外降水措施；
- 5 截水帷幕应切断坑内外潜水的水力联系；当坑内进行承压水降水作业时，截水帷幕应切断坑内外承压水的水力联系；
- 6 软土地基中旁侧单体基坑采用钢支撑时，宜设置自动轴力补偿系统。

6.2.4 轨道交通结构外部作业影响等级为一级时，轨道交通结构侧的基坑支护设计应符合下列规定：

- 1 作用于围护墙的侧向土压力宜采用静止土压力；
- 2 基坑开挖深度超过 15m，围护墙宜采用地下连续墙；
- 3 对盾构法或顶管法地下结构，坑外地下水位应严格控制并保持稳定。

6.2.5 轨道交通结构侧方基坑及地下结构施工宜根据表 6.2.5-1 的要求实施时空效应控制，并应符合下列规定：

- 1 在沿围护墙一次性开挖长度范围内的基础垫层或支撑施工完成、具备设计要求的承载性能且变形基本稳定后，方可进行邻段的土方开挖；可采取分段跳开施工的技术措施；

2 严格控制施工分段交接处的土体高差和坡度，保持其稳定性，必要时对交接处的土体采取加固措施；

3 在沿围护墙一次性拆撑范围内的楼板结构及换撑施工完成、具备设计要求的承载性能且变形基本稳定后，方可进行邻段的支撑拆除；可采取分段跳开拆撑的技术措施。

表 6.2.5-1 基坑及地下结构施工技术要求

轨道交通结构外部作业影响等级	特级、一级	二级	三级、四级
沿围护墙一次性开挖长度（m）	<15	<20	<25
挖土至标高后钢支撑施工完成时间（h）	<8	<14	<24
挖土至标高后混凝土支撑施工完成时间（h）	<48	<60	<72
挖土至标高后垫层和基础底板施工完成时间（h，d）	<8, <7	<12, <10	<24, <15
沿围护墙分段拆撑控制长度（m）	<30	<40	<50
注：土质条件太差时，一次性开挖长度及施工时间应进一步从严控制。			

6.3 上方基坑

6.3.1 上方基坑对轨道交通结构的外部作业影响等级可由表 3.2.2 确定。

6.3.2 当地质条件以软土为主时，对盾构法或顶管法地下结构上方平面尺寸较大的基坑，分坑措施应符合下列规定：

1 分坑后形成的单体基坑卸荷比，轨道交通结构外部作业影响等级为特级时不宜超过 0.2，一级时不宜超过 0.3，卸荷比可根据附录 D 估算；

2 单体基坑沿轨道交通结构纵向的长度不宜超过地下结构顶部埋深。

6.3.3 对盾构法或顶管法施工的地下结构，当采取地基土体加固措施时，应避免扰动地下结构周边原状土体，加固体与地下结构的水平及竖向净距均不宜小于 2m。

6.3.4 基坑及地下结构施工宜根据表 5.3.4-1 的要求实施时空效应控制，应满足城市轨道交通结构的抗浮稳定性要求，并应符合下列规定：

1 土方开挖应遵循分段、分层、对称、均衡的原则，在沿围护墙一次性开挖长度范围内的基础垫层或支撑施工完成、具备设计要求的承载性能且变形基本稳定后，方可进行邻段的土方开挖；可采取分段跳开施工的技术措施；

2 严格控制施工分段交接处的土体高差和坡度，保持其稳定性，必要时对交接处的土体采取加固措施；

3 宜在已经施工完成的混凝土垫层和基础上设置临时压重措施。

表 6.3.4-1 基坑及地下结构施工技术要求

轨道交通结构外部作业影响等级	特级、一级	二级	三级、四级
纵横向一次性开挖长度 (m)	<5	<8	<12
竖向分层厚度 (m)	<1.0	<1.2	<1.5
挖土至标高后钢支撑施工完成时间 (h)	<6	<10	<15
挖土至标高后混凝土支撑施工完成时间 (h)	<36	<48	<60
挖土至标高后垫层和基础底板施工完成时间 (h, d)	<6, <3	<10, <6	<15, <10
注：土质条件太差时，纵横向一次性开挖长度及施工时间应进一步从严控制。			

7 外部其他工程

7.1 一般规定

7.1.1 在城市轨道交通控制保护区内实施外部作业前,应当根据城市轨道交通结构现状并结合工程地质条件等因素,开展方案设计、安全评估、城市轨道交通结构专项保护方案制订等工作。

7.1.2 城市轨道交通控制保护区内的冻结法作业,应采取措施降低地层冻胀、融沉对结构产生的不利影响。

7.2 爆破工程

7.2.1 城市轨道交通控制保护区内应采取控制爆破作业,不得进行硇室爆破、深孔爆破等药量较大的爆破作业。

7.2.1 城市轨道交通控制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。

7.2.1 城市轨道交通控制保护区内的爆破作业,应进行爆破安全评估和爆破设计审查,应对爆破作业影响范围内的城市轨道交通工程进行安全评估。

7.2.1 城市轨道交通控制保护区内的爆破作业应满足本规范第 3.2.4 条和现行国家标准《爆破安全规程》GB6722 的规定。

7.2.1 城市轨道交通结构的爆破安全监控应包括局部监测和宏观调查。

1 局部监测应包括对城市轨道交通结构的爆破振动监测和结构薄弱部位的应变监测。

2 宏观调查应包括对城市轨道交通结构的摄像、摄影和对既有裂缝、新生裂缝的观测记录。

7.2.1 城市轨道交通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。

7.2.1 城市轨道交通控制保护区内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的作业记录。

7.2.1 城市轨道交通控制保护区内的爆破作业前,应进行试爆作业和爆破震动监测,并应根据试爆效果及监测信息优化爆破作业。

7.2.1 城市轨道交通控制保护区内的水下爆破作业方案,应通过爆破测试和专家论证后确定。

7.2.1 城市轨道交通控制保护区内的爆破作业不应在运营高峰期进行,实施前应进行试爆作业并采取安全防护措施,设立安全区,并应进行安全警戒工作。

7.3 地下水作业

7.3.1 城市轨道交通控制保护区内的地下水作业,应采取措施避免既有结构周边地层发生流砂、管涌等渗流破坏。

7.3.2 在城市轨道交通控制保护区内的地下水作业,应根据地下水作业方案开展安全性预评估工作,并根据预评估结果优化调整地下水作业方案。

7.3.3 地下水作业前应预测水位变化对城市轨道交通结构的变形和沉降影响,作业过程应控制既有结构周边水位变化幅度,并应监测水位变化和既有结构位移。

7.3.4 城市轨道交通控制保护区内的地下水作业,应采用合理的降水、排水、截水或回灌等地下水控制技术。

7.3.5 对影响等级为特级、一级的外部作业,其地下水作业空间宜形成封闭的截水系统。当不能形成封闭截水系统时,应按本规范第8章的规定,评估地下水作业对城市轨道交通结构的安全影响

7.3.6 化诱发城市轨道交通结构发生过大的沉降、差异沉降、水平位移、倾斜。

7.3.7 交通结构位于欠固结地层时,地下水作业不应大面积降水。

7.3.8 透水性的地层进行地下水作业,当采用落底式竖向截水帷幕难以形成有效的封闭截水系统时,可采用悬挂式竖向截水帷幕与水平封底隔渗相结合的地下水控制措施。

7.3.9 外部作业影响城市轨道交通地下结构周围的水位变化时,应验算作用于地下结构上的水土压力,并应验算地下结构的安全。

7.3.10 交通地下结构下方地层存在承压水时,应验算外部作业基坑开挖土方过程中基坑突涌稳定性和地下结构的抗浮安全系数,必要时可采用钻孔降水减压措施或水平封底隔渗措施。

7.4 桩基础工程

7.4.1 桩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 成桩施工引起的轨道交通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 桩基础施工及长期使用期间的地基变形引起的轨道交通结构附加应力及变形。

7.4.2 桩基础对轨道交通结构的外部作业影响等级可综合其上部结构荷重、桩型、布桩密度、与轨道交通结构的距离、轨道交通结构健康状况等因素。

7.4.3 桩基础对轨道交通结构的外部作业影响等级为特级或一级时,桩基础设计应符合下列规定:

1 桩基应选择中、低压缩性土层作为桩端持力层；对非嵌岩桩，桩端应超过轨道交通结构底部不小 $1D$ (D 为地下结构外径或宽度)；

2 桩基不应发生影响轨道交通结构安全的过大变形；

7.4.4 桩基础对轨道交通结构的外部作业影响等级为二级时，桩基础设计应符合下列规定：

1 桩基宜选择中、低压缩性土层作为桩端持力层；对非嵌岩桩，桩端应超过轨道交通结构底部不小于 $0.5D$ ；

2 桩基最终变形量最大值不宜大于 25mm 。

7.4.5 桩基础施工应符合下列规定：

1 桩位应进行严格复核；

2 正式施工前应进行试成桩，数量不少于 3 根；

3 成桩施工顺序应遵循先近后远的原则；

4 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。

7.4.6 外部作业应优先采用非挤土桩，当采用挤土或半挤土桩时，应合理安排成桩施工顺序，并应评估挤土效应对城市轨道交通地下结构的影响，可采用预钻孔、设置防挤沟、隔离墙等措施减少挤土效应。

7.5 浅 基 础 工 程

7.5.1 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 基底压力、基础侧向压力等引起的轨道交通结构受力状态变化；

2 施工及长期使用期间的地基变形引起的轨道交通结构附加应力及变形。

7.5.2 浅基础对轨道交通结构的外部作业影响等级可综合考虑其基底压力大小、与轨道交通结构的距离、轨道交通结构健康状况等因素，由表 3.2.2 确定。

7.5.3 浅基础对轨道交通结构的外部作业影响等级为特级、一级时，设计与施工应符合下列规定：

1 地基不应发生影响轨道交通结构安全的过大变形；

2 加大基础刚度，减少沿轨道交通结构纵向的不均匀变形；3 当浅基础进入轨道交通特别保护区范围，按附录 D 估算的增荷比不宜超过 0.2。

7.5.4 浅基础对轨道交通结构的外部作业影响等级为二级时，地基不应发生影响轨道交通结构安全的过大变形。

7.5.5 对软弱地基，可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下列规定：

- 1 不宜采用预压、强夯、挤(振、冲)密等对周边环境影晌较大的地基处理工艺;
- 2 正式施工前应选样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,对压力的控制宜在相似地层试验的基础上进行,作用于城市轨道交通地下结构外壁上的附加荷载不应大于 20 kPa。

7.6 道路及地下管线

7.6.1 城市轨道交通控制保护区的管道、箱涵施工,应采用耐久性高、整体性强的材质和可靠的连接形式。

7.6.2 道路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 施工过程堆载、卸载和施工荷载等引起的轨道交通结构附加应力及变形;
- 2 道路长期使用期间的地基变形引起的轨道交通结构附加应力及变形。

7.6.3 道路设计与施工对轨道交通结构的保护应符合本规程 7.5 节的规定。

7.6.4 地下管线采用明挖法铺设时,设计与施工应符合本规程第 5 章外部基坑工程的规定。

7.6.5 地下管线采用顶管法或拖拉管的施工工艺时,轨道交通结构的外部作业影响等级确定应符合下列规定:

- 1 管道直径小于 2m 时,对下穿管线,保护等级为特级、一级,其余情况可按同样条件下外部隧道工程确定的保护等级降低一级采用,保护等级为四级时,不再降低;
- 2 管道直径不小于 2m 时,可按同样条件下外部隧道工程确定的保护等级采用。

7.6.6 地下管线采用顶管法施工时,应符合下列规定:

- 1 工作井宜设置于轨道交通控制保护区之外,当位于控制保护区之内时,应采取可靠的进出洞加固措施,加固范围,洞口周边以外不宜小于 2.0m,加固长度应超过单节管节长度 0.5m 以上,且不应小于 3.0m;
- 2 应充分考虑顶管工作井后背墙的支承力对轨道交通结构可能产生的不利影响;
- 3 顶进施工过程应保证管道接头密封;
- 4 轨道交通结构外部作业影响等级为特级、一级时,施工过程应采取跟踪注浆措施,形成完整泥浆环套。

7.6.7 地下管线采用拖拉管施工工艺时,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

8 安全评估

8.0.1 当外部作业影响等级为特级、一级时，应对城市轨道交通结构进行安全评估；当外部作业影响等级为二级时，宜进行安全评估

8.0.2 安全评估应包括城市轨道交通结构的现状评估和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。

8.0.3 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。

8.0.4 外部作业影响预评估应在外部作业实施前，采用理论分析、模型试验、数值模拟等方法，预测外部作业对城市轨道交通结构的不利影响，并结合城市轨道交通结构现状评估确定的结构安全控制指标值，评估外部作业方案的可行性，提出外部作业方案的改进建议。

8.0.5 外部作业施工过程评估应在外部作业实施过程中，结合城市轨道交通结构的监测数据和施工前评估的预测值，确定轨道交通结构当前的结构健康状况和结构安全控制指标值，评估后续外部作业方案的可行性。施工过程中出现下列情况时宜进行过程评估：

- 1 轨道交通结构监测预警等级达到 C 级；
- 2 外部作业方案有较大变动，对轨道交通结构安全保护不利。

8.0.6 外部作业影响后评估应在外部作业完成且对轨道交通结构的影响停止后，根据对轨道交通结构造成的影响程度，评估轨道交通结构健康状况、持续抗变形能力和承载能力。

8.0.7 城市轨道交通结构的计算分析宜采用荷载-结构模型、地层-结构模型进行，应采用与设计时一致的计算模型，并应根据现行国家相关规范标准进行验算。

8.0.8 重大影响外部作业的城市轨道交通保护专项技术方案应经过专项技术论证，内容包括外部作业的设计方案、安全评估报告、城市轨道交通结构保护专项方案、监测方案、（证据保全）检测方案等。

8.0.9 城市轨道交通控制保护区内时空相近的多项外部作业，应综合考虑其对城市轨道交通结构产生的叠加影响。

9 监 测

9.1 一 般 规 定

9.1.1 外部作业影响等级为特级、一级、二级时,应对受其影响的城市轨道交通结构进行监测;根据监测数据,结合结构安全控制指标值,应对外部作业实行过程监控。

9.1.2 城市轨道交通结构的监测工作,不得影响城市轨道交通的正常运营

9.1.3 城市轨道交通结构的监测方法,应采用仪器监测与巡视检查相结合的方法。

9.1.4 城市轨道交通结构的监测方案,应依据结构受外部作业的影响特征、结构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。

9.1.5 监测方案中的监测布点和频率,应根据外部作业影响等级确定,结合城市轨道交通结构变形动态调整。

9.1.6 城市轨道交通结构的水平位移、竖向位移测量应分别符合现行国家一级导线、二等水准变形测量技术规范的规定,其他监测项目应符合国家现行标准《工程测量标准》GB50026.

《城市轨道交通工程测量标准》(GB50308)和《建筑变形测量规范》(JGJ 8)的有关规定。

9.1.7 城市轨道交通结构沉降达到稳定状态可由沉降量与时间关系曲线判定。当最后 100d 的最大沉降速率小于 0.01mm/d~0.04mm/d 时,可认为已达到稳定状态,可终止观测。

9.1.8 城市轨道交通结构监测新技术、新方法应用前,应与传统方法进行验证,监测精度应符合本规程的要求。

9.2 监 测 项 目

9.2.1 监测项目应能及时反映外部作业对城市轨道交通结构安全影响的重要变化,并应根据表 9.2.1-1、1-2 进行选择。

表 9.2.1-1 盾构法或顶管法地下结构监测项目

序号	监测项目	轨道交通结构外部作业影响等级		
		特级、一级	二级	三级、四级
1	水平位移	应测	应测	宜测
2	竖向位移	应测	应测	宜测
3	相对收敛	应测	应测	宜测
4	车站与区间交接处差异沉降	应测	应测	宜测
5	管片接缝张开量	应测	应测	宜测
6	裂缝宽度	应测	应测	宜测

表 9.2.1-2 明挖法地下结构监测项目

序号	监测项目	轨道交通结构外部作业影响等级		
		特级、一级	二级	三级、四级

1	水平位移	应测	应测	宜测
2	竖向位移	应测	应测	宜测
3	车站与附属结构交接处差异沉降	应测	应测	宜测
4	车站与区间交接处差异沉降	应测	应测	宜测
5	裂缝宽度	应测	应测	宜测
6	结构倾斜	宜测	可测	可测

表 9.2.1-3 高架及地面结构监测项目

序号	监测项目	轨道交通结构外部作业影响等级		
		特级、一级	二级	三级、四级
1	水平位移	应测	应测	宜测
2	竖向位移	应测	应测	宜测
3	车站与附属结构交接处差异沉降	应测	应测	宜测
4	相邻桩基沉降差	应测	应测	宜测
5	裂缝宽度	应测	应测	宜测
6	结构倾斜	宜测	可测	可测

9.2.2 当外部作业需进行爆破时，应监测城市轨道交通结构的振动速度。

9.2.3 城市轨道交通结构监测方式应根据外部作业的影响等级和监测对象现场情况选取，并应符合以下原则：

- 1 关键外部作业和外部作业的影响等级为特级、一级、二级时，应对受其影响的城市轨道交通结构进行自动化监测；
- 2 外部作业的影响等级为三级时，宜进行自动化监测；
- 3 外部作业的影响等级为四级时，可进行人工监测和巡视，必要时宜进行人工监测；
- 4 已运营隧道、车站轨行区宜采用自动化监测的方式，其它监测对象应根据现场实际情况选择自动化监测、人工监测或人工巡视的监测方式。

9.2.4 监测点布置位置应在监测对象变形和内力的关键特征点上，监测点的布置要求及监测仪器的要求应符合表 9.2.4-1 的规定。地下结构曲线段监测断面的间距应加密布置。

表 9.2.4-1 监测点布置和监测仪器要求

序号	监测项目	监测点布置位置	监测点布置间距	监测仪器	仪器精度
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	按 3m~10m 一个断面	水准仪、静力水准仪、全站仪	水准仪：±0.3 /km； 全站仪：±0.5"，±(1mm + 1ppm)
2	水平位移	地下结构底板、拱顶、侧墙；地面及高架结构底层柱、桥面、桥墩	按 3m~10m 一个断面	全站仪	±0.5"， ±(1mm + 1 ppm)
3	相对收敛	地下结构每监测断面布置不少于两条测线	按 3m~10m 一个断面	全站仪、收敛计	全站仪：±0.5"，±(1mm+1ppm)； 收敛计：±0.1mm
4	变形缝 张开量、裂缝	结构裂缝位置、结构变形裂缝两侧	缝的两侧均匀布置	裂缝计 游标卡尺	裂缝计、游标卡尺：±0.1mm； 全站仪：±0.5"，±

					(1mm+1ppm)
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	全站仪	1mm+ 2 ppm
6	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	水准仪、静力水准仪、全站仪、道尺	水准仪: $\pm 0.3\text{mm/km}$; 全站仪: $\pm 0.5''$, 道尺: $< \pm 0.3\text{mm}$
7	地下水水位	外部作业空间与城市轨道交通结构之间	孔间距 15m~25m	水位计	10. 0mm
8	围护结构顶部水平位移	外部作业的围护结构	按基坑监测要求布置	全站仪	1", 1mm + 2 ppm
9	围护结构顶部竖向位移	外部作业的围护结构	按基坑监测要求布置	水准仪、全站仪	水准仪: 0.3mm/km ; 全站仪: ", 1mm + 2 ppm
10	岩、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	按变形断面或在重点位置布设	测斜仪	0. 5mm/m
11	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	速度传感器	$\pm 1.0\%F.S$
注: 监测点和监测断面的布置, 应根据外部作业影响等级和城市轨道交通结构的响应特征确定。					

9.2.1 外部作业对城市轨道交通结构影响的监测范围应符合下列规定:

1 影响等级为特级、一级时, 监测范围应在基坑平面向既有结构垂直投影范围外扩不小于 3 倍基坑深度, 且不小于 50m;

2 影响等级为二级时, 监测范围外扩不小于 2 倍基坑深度, 且不小于 50m。

9.2.1 监测的技术标准、测量精度应符合现行国家标准《工程测量标准》(GB50026)及《城市轨道交通工程测量规范》(GB/T 50308)中变形监测的规定。

9.2.1 变形监测网基准点、工作基点的布设, 应符合现行国家标准《工程测量标准》(GB50026)及《城市轨道交通工程测量规范》(GB/T 50308)中的相应规定。

9.3 监测频率

9.3.1 城市轨道交通结构的监测频率, 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 B 级及以上监测预警等级时或结构出现异常、外部作业有危险事故征兆等情况时, 应加强对外部活动实施过程的监控, 结合城市轨道交通结构保护需要, 有针对性地采取或选择以下措施: 实施实时监测、扩大监测范围、增加监测项目、加密监测点和提高监测频率等。

9.3.2 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监测数据趋于稳定后结束。

9.3.3 监测项目的初始值应在外部作业实施前测定, 应取至少连续测量 3 次的稳定值的平均值作为初始值

9.4 监测预警

9.4.1 监测预警等级划分及应对管理措施应符合表 9.4.1-1 的规定。

表 9.4.1-1 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
A	$G < 0.6$	可正常进行外部作业
B	$0.6 < G < 0.8$	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
C	$0.8 < G < 1.0$	应暂停外部作业，进行过程安全评估工作，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	$1.0 < G$	启动安全应急预案

9.4.2 监测预警等级的划分，应结合城市轨道交通结构监测值的变化速率，当每天的变化速率连续 3 天超过 2mm 时，监测预警等级应评定为 C 级。

9.4.3 城市轨道交通结构的监测信息应及时反馈给相关单位。

城市轨道交通结构的监测信息应形成正式监测报告，在监测期间及时提供给相关单位。监测结束后，应对监测工作进行总结，并提交最终监测成果报告。

9.4.4 监测单位应定期核查监测基准网、基准点、工作基点的准确性。

10 检查和检测

10.0.1 城市轨道交通结构现状调查和检测,包括工前调查、过程调查及工后确认。重大影响外部作业在开工前,应对城市轨道交通结构进行工前调查,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。结构现状调查应清晰、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。

10.0.2 城市轨道交通结构工前调查和检测应在安全评估和专项设计前开展、为安全评估和专项设计等的实施提供既有城市轨道交通设施相关现状基础数据、资料和建议。

10.0.3 施工过程中出现以下情况之一时,应及时开展过程调查和检测:

- 1 累计监测数据达到或超过控制值的 60%;
- 2 城市轨道交通结构出现新增病害;
- 3 城市轨道交通结构原有病害出现发展趋势。

10.0.4 城市轨道交通结构工后确认应在外部作业完成且监测数据稳定之后开展。

10.0.5 城市轨道交通结构现状调查及检测工作应在各方见证下开展,并编制结构现状调查检测报告,作为证据保全的依据之一。

10.0.6 检测所用仪器、设备应满足观测精度和量程要求,具有良好的稳定性和可靠性,应在检定或校准周期内。

11 轨道交通加固与修复

11.0.1 城市轨道交通结构的加固与修复应兼顾结构的安全性、适用性和耐久性，同时应综合考虑方案的加固与修复效果与经济性。

11.0.2 轨道交通结构加固方案应综合轨道交通结构损伤情况、建筑限界、施工时效等因素确定。

11.0.3 外部作业致使轨道交通结构受损，应及时采取加固措施，加固时机应结合结构损伤程度及发展趋势、运营安全、外部作业状况等因素确定。

11.0.4 轨道交通结构变形大、结构损伤和病害严重时，宜在外部作业实施前对轨道交通结构进行加固。

11.0.5 加固后的轨道交通结构承载能力、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。

11.0.6 结构变形缝处渗漏时，采用的堵漏材料应满足变形缝受力性能要求，并具有一定的抗变形能力，堵漏材料与原材料相容且应减少对环境造成污染。

11.0.7 盾构法或顶管法地下结构加固应符合下列规定：

1 加固前应调查结构损伤及变形情况，从纵向变形、横向变形、混凝土裂缝、结构渗漏水、材质劣化等内容进行伤损评定；

2 采用环向内张钢圈加固方案时，应采取有效措施保证环向内张钢圈与既有结构形成叠合结构；加固之前应对既有结构的裂缝、缺角等进行修复，内张钢圈除满足限界及承载性能要求外，尚需满足防腐、防火、防坠落、防杂散电流等要求；

3 对结构周边土体采用注浆加固措施时，应严格控制注浆压力，优化浆液配比，减少对原状土体的扰动，宜采用微扰动注浆工艺；应合理提高浆液的早期强度，保证加固的综合效果；

4 结构裂缝修补应在基面干燥条件下进行，采用骑缝压浆处理措施时，注浆材料不应采用发泡类浆液。

11.0.8 外部作业致使道床离缝、轨枕与道床离缝等现象时应及时采取加固措施。当采取注浆加固措施时，应符合下列规定：

1 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；

2 注浆前应清除道床脱空处的泥沙以及杂物，以及道床下方积水；

3 注浆材料宜选用流动性好的速硬性无收缩注浆材料；

4 注浆应连续进行。

12 信息管理

12.1 一般规定

12.1.1 城市轨道交通经营单位宜围绕轨道交通线网既有结构保护的各項业务需求,统筹设计信息管理系统,为线网既有结构保护管理创建信息管理平台。

12.1.2 信息平台的建设应以业务工作划分为基础,采用模块化和可扩展性设计,分批分期逐步组织实施。

12.1.3 信息平台宜实现城市轨道交通结构控制保护区的安全巡检管理、外部作业审批和作业过程管控、既有结构监测、预警处置等业务的标准化、规范化、精细化与信息化管理。

12.1.4 外部作业影响等级为特级的项目可考虑建立反映其与城市轨道交通结构空间关系的建筑信息模型(BIM),集成项目设计、实施、使用全过程中城市轨道交通结构保护的数据,建立城市轨道交通结构保护的动态管理平台。

12.1.5 信息平台宜录入所有在控工点现场巡线的图片及文字资料等,各层级管理人员根据权限上传、编辑、查阅或下载。

12.1.6 城市轨道交通线路巡查人员可配备手持定位设备,实时反映现场状况与城市轨道交通线路的相对关系,便于现场人员和管理人员对巡线信息的判读。

12.2 监测信息

12.2.1 监测信息应包括城市轨道交通结构历史健康监测信息和外部作业实施全过程中的既有结构监测信息。

12.2.2 信息平台应录入监测方案、监测数据、监测报告等,并保证监测数据的及时性。

12.2.3 信息平台应具备监测实时预警的功能,及时将预警信息反馈到不同层级的管理人员。

12.2.4 为实现监测数据的无干预传输,信息平台宜直接与仪器设备进行交互。

12.3 视频信息

12.3.1 为了有效、及时地监管外部作业实施过程中城市轨道交通结构保护方案的落实情况,重大影响外部作业实施前应由外部作业建设单位建立现场视频监控系统。

12.3.2 现场视频监控系统的主要监控范围为外部作业可能危害城市轨道交通结构安全的作业现场。

12.3.3 现场视频应能够实现监视、录像、回放、备份、报警及网络浏览等功能,存储设备能够满足对所有摄像机 24 小时不间断录像,录像保存时间应至外部作业施工完毕且城市轨道交通结构的监测数据稳定一个月后为止。

12.3.4 城市轨道交通运营单位应能够远程实时查阅外部作业的实时监控视频和历史录像

视频。

12.3.5 外部作业建设单位应负责管理和维护现场视频监控系统,确保作业实施全过程的视频信息传输至信息平台。

附录 A 接近程度和外部作业的工程影响分区

A. 1 城市轨道交通地下结构

A. 1.1 城市轨道交通地下结构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，接近程度的判定标准宜按表 A. 1.1 和图 A. 1.1-1~图 A. 1.1-3 确定。

表 A. 1.1 城市轨道交通地下结构接近程度的判定标准

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	$< 0.5H$	非常接近
	$0.5H \sim 1.0H$	接近
	$1.0H \sim 2.0H$	较接近
	$> 2.0H$	不接近
矿山法	$< 1.0W$	非常接近
	$1.0W \sim 1.5W$	接近
	$1.5W \sim 2.5W$	较接近
	$> 2.5W$	不接近
盾构法或顶管法	$< 1.0D$	非常接近
	$1.0D \sim 2.0D$	接近
	$2.0D \sim 3.0D$	较接近
	$> 3.0D$	不接近
注： 1. H 为明挖、盖挖法城市轨道交通结构的基坑开挖深度；W 为矿山法城市轨道交通结构的隧道毛洞跨度；D 为盾构法或者顶管法城市轨道交通结构的隧道外径，圆形顶管结构的外径或矩形顶管结构的长边宽度； 2. 相对净距指外部作业的结构外边线到城市轨道交通结构外边线的最小净距离；当外部作业位于结构外边线以外时，最小净距为 $\sqrt{x^2 + y^2}$ ，其中 x 为外部作业到市轨道交通结构外边线的水平净距，y 为竖向净距；（是否合理，请各参编单位及专家提出宝贵意见，还是取 $\max(x, y)$ ？） 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。		

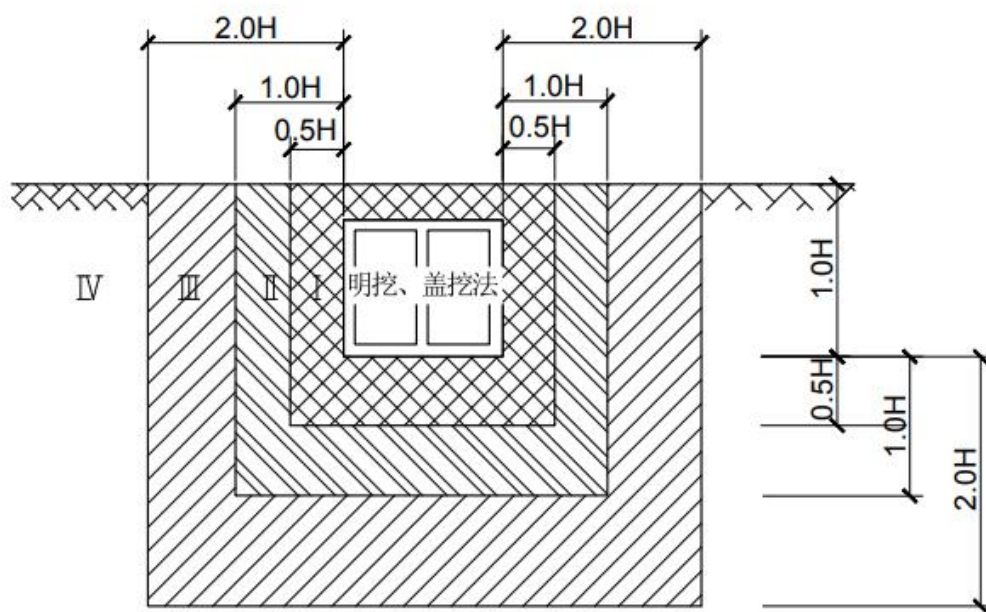


图 A. 1. 1-1 明挖、盖挖法结构的接近程度判定

注：图中 I、II、III、IV 表示接近程度。其中 I 表示非常接近、II 表示接近、III 表示较接近、IV 表示不接近。下图同上，不再赘述。

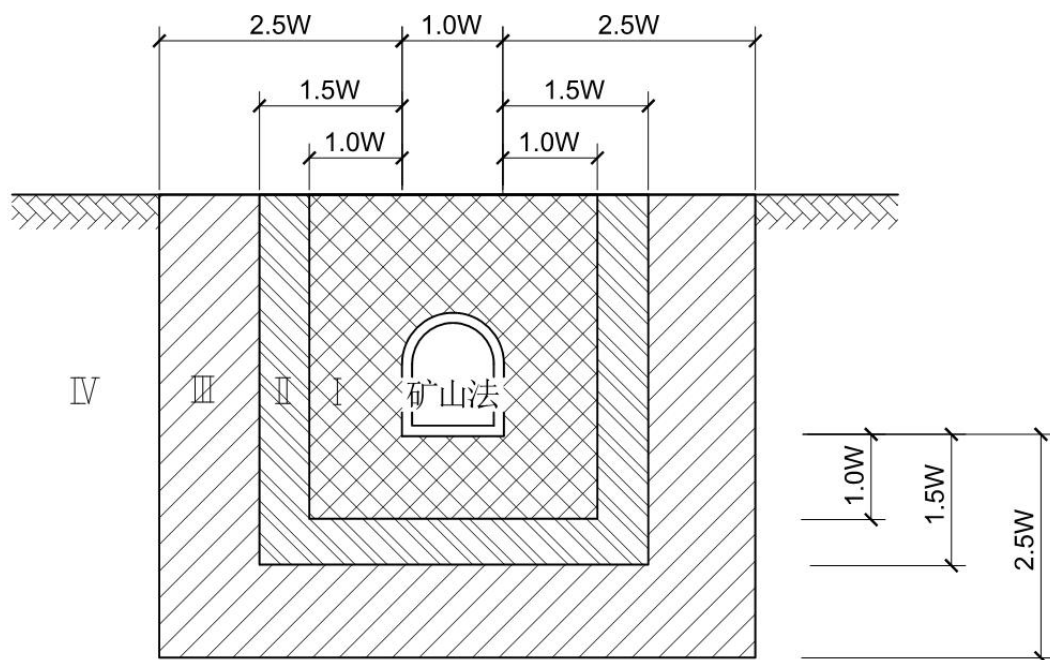


图 A. 1. 1-2 矿山法结构的接近程度判定

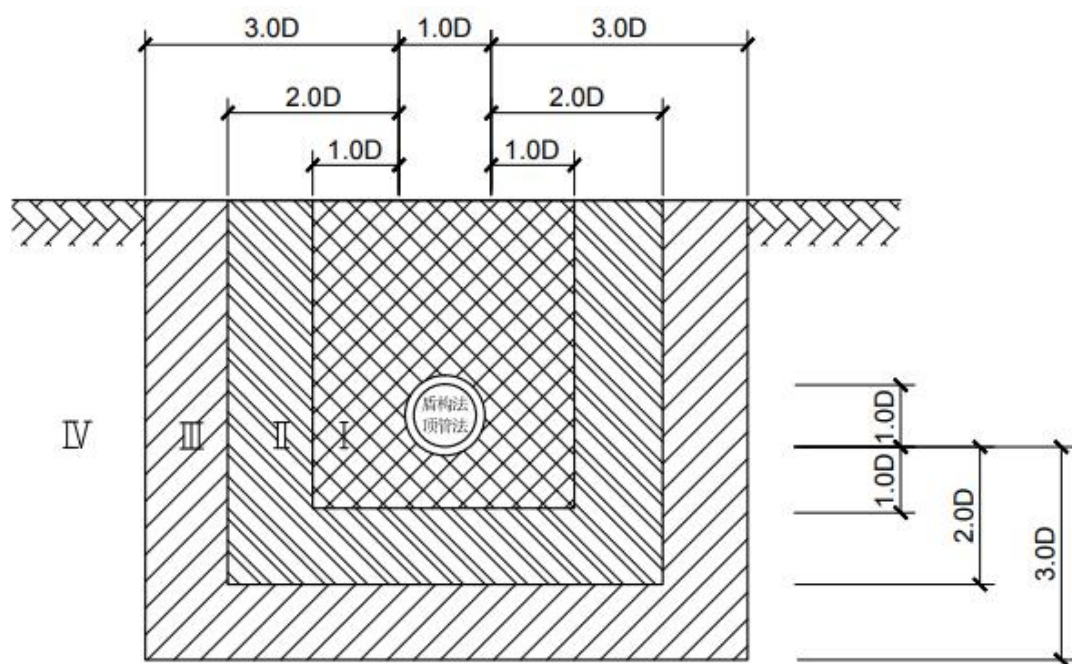


图 A. 1. 1-3 盾构法或顶管法结构的接近程度判定

A. 1. 2 外部作业的工程影响分区宜根据外部作业的施作方法确定，并应符合下列规定：

明挖、盖挖法外部作业的工程影响分区宜按表 A. 1. 2-1 和图 A. 1. 2-1 确定。

表 A. 1. 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 $0.7h_1$ 范围内
显著影响区（B）	结构外侧 $0.7h_1 \sim 1.0h_1$ 范围内
一般影响区（C）	结构外侧 $1.0h_1 \sim 2.0h_1$ 范围内
较小影响区（D）	结构外侧 $2.0h_1$ 范围以外
注： 1. h_1 为明挖、盖挖法外部作业结构底板埋深。 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。	

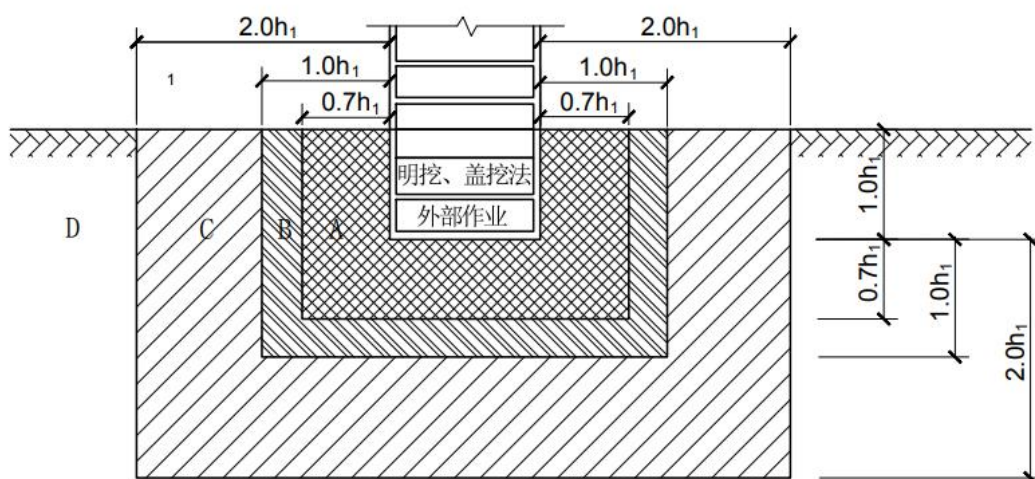


图 A. 1. 2-1 明挖法、盖挖法外部作业的工程影响分区

2、浅埋矿山法和盾构法外部作业的工程影响分区宜按表 A.1.2-2 和图 A.1.2-2 确定

表 A. 1. 2-2 浅埋矿山法和盾构法外作业的工业影响分区

工程影响分区	区域范围
强烈影响区 (A)	结构正上方及外侧 $0.7h_2$ 范围内
显著影响区 (B)	结构外侧 $0.7h_2 \sim 1.0h_2$ 范围内
一般影响区 (C)	结构外侧 $1.0h_2 \sim 2.0h_2$ 范围内
较小影响区 (D)	结构外侧 $2.0h_2$ 范围以外
注： 1. b 为矿山法和盾构法城市轨道交通结构的毛洞跨度， h_2 为矿山法和盾构法外部作业隧道底板的埋深。 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。 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 $3b$ 。	

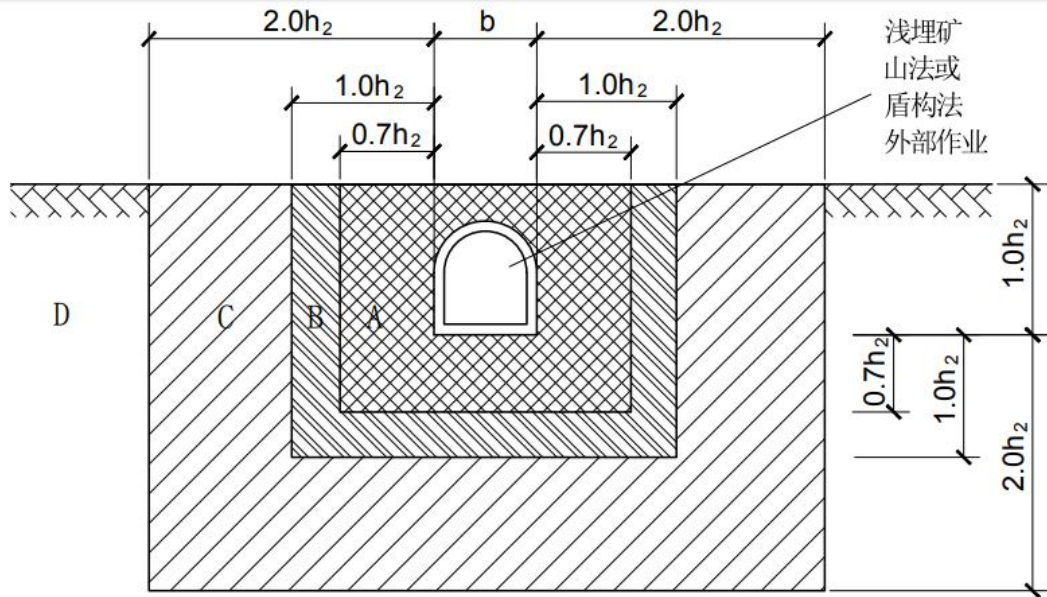


图 A. 1. 2-2 浅埋矿山法或盾构法外部作业的工程影响分区

3、深埋矿山法和盾构法外部作业的工程影响分区宜按表 A.1.2-3 和图 A.1.2-3 确定。

表 A. 1. 2-3 深埋矿山法和盾构法外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)	隧道结构正上方及外侧 $1.0b$ 范围内
显著影响区 (B)	隧道结构外侧 $1.0b \sim 2.0b$ 范围内
一般影响区 (C)	隧道结构外侧 $2.0b \sim 3.0b$ 范围内
较小影响区 (D)	隧道结构外侧 $3.0b$ 范围外
注：	
1. b 为矿山法和盾构法城市轨道交通结构的毛洞跨度	
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。	
3. 本表适用于矿山法和盾构法隧道顶埋深大于 $3b$ 的埋深隧道。	

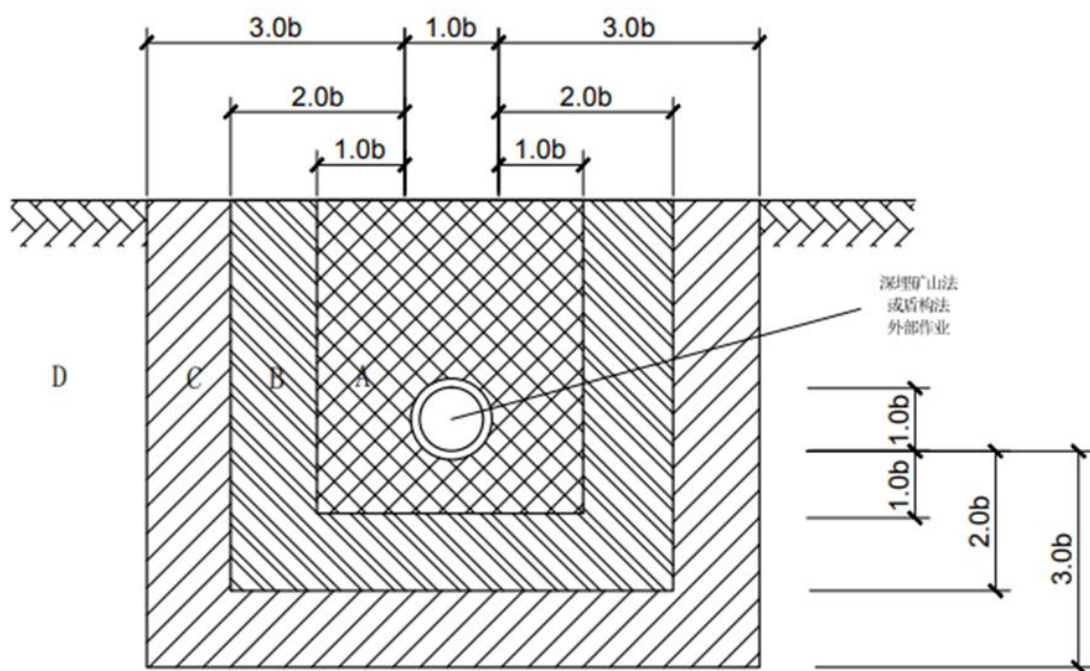


图 A.1.2-3 深埋矿山法和盾构法外部作业的工程影响分区

A. 2 地面或高架结构

A.2.1 城市轨道交通地面或高架结构接近程度应根据结构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.2.1 确定。

表 A. 2. 1 城市轨道交通地面或高架结构接近程度的判定标准

城市轨道交通结构形式	相对净距	接近程度
地面或高架结构的基础	水平净距<8m	非常接近
	竖向间距<8m	
	水平净距 8m~15m	接近
	竖向间距 8m~15m	
	水平净距 15m~20m	较接近
	竖向间距 15m~20m	
	水平净距>20m	不接近
	竖向间距>20m	
注： 净距指外部作业结构外边线与城市轨道交通高架结构基础外边线的最小净距。		

A.2.2 地面或高架结构外部作业的工程影响分区宜根据表 A.2.2 进行工程影响分区判定。

表 A. 2. 2 地面或高架结构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)	地面或高架结构外侧 5. 0m 范围内
显著影响区 (B)	地面或高架结构外侧 5. 0m~8. 0m 范围内
一般影响区 (C)	地面或高架结构外侧 8. 0m~12. 0m 范围内
较小影响区 (D)	地面或高架结构外侧 12. 0m 范围外

附录 B 轨道交通结构安全控制指标值

B.0.1 城市轨道交通结构安全控制指标值应根据城市轨道交通的结构安全保护技术的要求及现行国家标准《地铁设计规范》

GB 50157 确定。

B.0.2 城市轨道交通结构安全控制指标值应符合表 B.0.2 的要求。

表 B. 0. 2 城市轨道交通结构安全控制指标值

位置、施工工艺	安全控制指标		轨道交通健康状况		
			I 类	II 类	III类
盾构法或顶管法地下结构	隧道水平位移 (mm)		<15	<8	<5
	隧道竖向位移 (mm)		<15	<10	<5
	隧道径向收敛 (mm)		<15	<8	<5
	车站与区间交接处差异沉降 (mm)		<15	<8	<5
	隧道轴线变形曲率半径 (m)		>15000	>15000	>15000
	隧道变形相对曲率 (m)		<1/2500	<1/2500	<1/2500
	盾构管片接缝张开量 (mm)		<2	<1	<1
	隧道结构外壁附加荷载 (kPa)		≤20	≤15	≤10
	背水面裂缝宽度 (mm)		0.3	0.1	0.1
	振动速度 cm/s		≤ 2.5	≤ 2.5	≤ 2.5
明挖法地下结构	水平位移 (mm)		<15	<10	<5
	竖向位移 (mm)		<15	<10	<5
	车站与区间交接处差异沉降 (mm)		<15	<8	<5
	裂缝宽度 (mm)	迎水面	<0.2	<0.1	<0.1
		背水面	<0.3	<0.2	<0.2
	振动速度		≤ 2.5	≤ 2.5	≤ 2.5

续表 B.0.2

高架及地面结构	水平位移 (mm)	<15	<10	<5
	竖向位移 (mm)	<15	<10	<5
	车站与附属结构交接处差异沉降 (mm)	<15	<8	<5
	相邻柱基沉降差 (mm)	<0.0015L	<0.0005L	<0.0003L
	裂缝宽度 (mm)	<0.3	<0.2	<0.2
	振动速度 (cm/s)	≤ 2.5	≤ 2.5	≤ 2.5
轨道及道床	轨向高差 (矢度值) (mm)	< 4	< 4	< 4
	轨道横向高差 (mm)	< 4	< 4	< 4
	轨间距 (mm)	> - 4 < + 6	> - 4 < + 6	> - 4 < + 6
	道床脱空量 (mm)	≤ 5	≤ 5	≤ 5
	振动速度 (cm/s)	≤ 2.5	≤ 2.5	≤ 2.5
	裂缝宽度 (mm)	<0.3	<0.2	<0.2

附录 C 城市轨道交通结构健康状况分类

C.0.1 轨道交通结构安全状况，根据其变形和结构损伤情况,分为 I 类、II 类、III 类三个类别，并应符合表 C.0.1 的要求。

C. 0. 1 城市轨道交通结构健康状况分类

城市轨道交通结构健康状况	城市轨道交通结构变形或结构损伤情况
I 类	变形大或结构损伤严重
II 类	变形较大或结构损伤较严重
III 类	除 I 类、II 类、III 类、IV 类以外的情况

附录 D 隧道上方卸荷比、增荷比计算

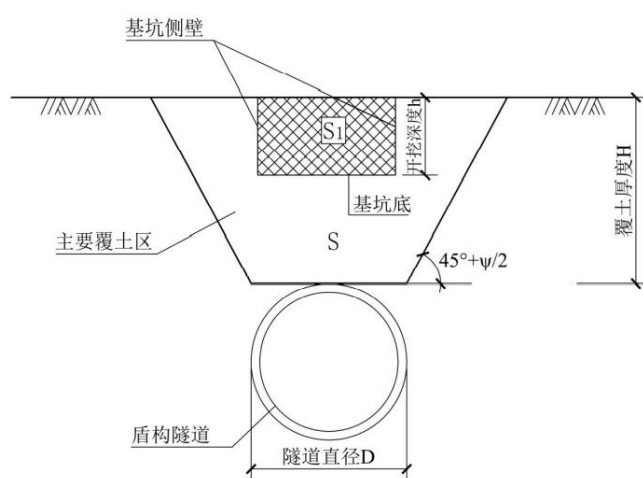
D.0.1 隧道上方卸荷比 v_1 可根据上方基坑与隧道的空间关系，选取最不利断面按式 (D.0.1) 计算：

$$v_1 = \frac{S_1}{S} \quad (\text{D.0.1})$$

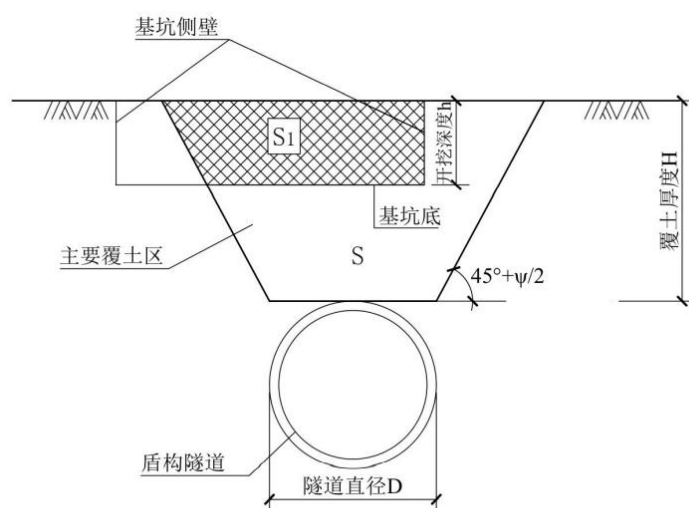
式中： S_1 ——隧道上方主要覆土区的基坑最大断面面积（图 D.0.1 中阴影部分面积, m^2 ）

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 ($^\circ$)



(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 D.0.1 隧道上方卸荷比计算简图

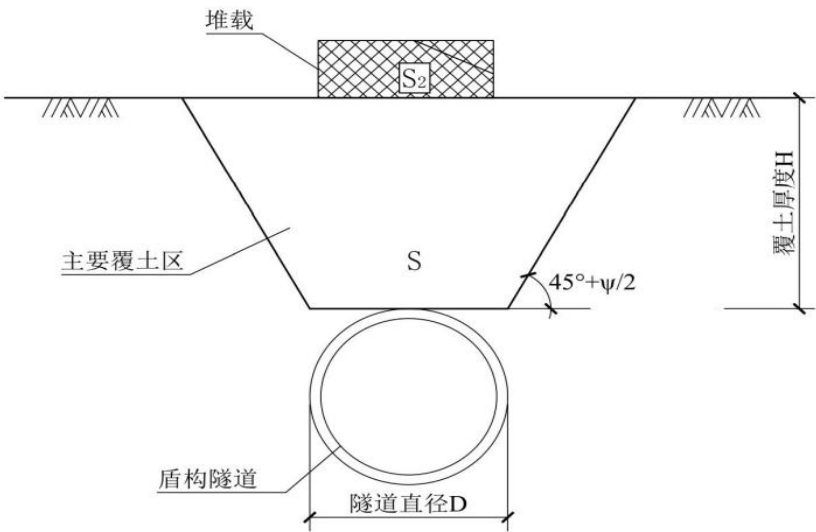
D. 0.2 隧道上方增荷比 v_2 应根据上方堆载与隧道的空间关系, 选取最不利断面按式 (D. 0. 2) 计算:

$$v_2 = \frac{G_1}{\gamma \cdot S}$$

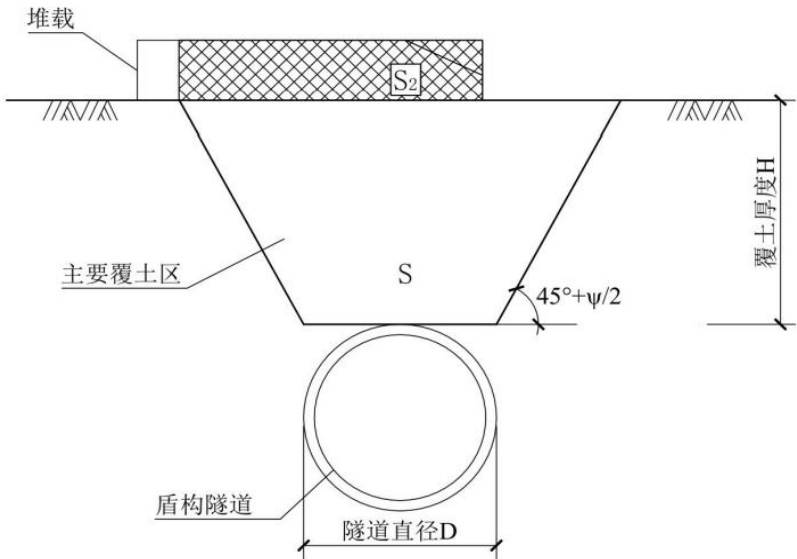
(C. 0. 2)

式中:

G_1 ——隧道上方主要覆土区沿纵向最不利断面的单位长度堆载标准值 (kN/m) ;
 γ ——隧道上方主要覆土深度范围土的加权平均重度 (kN/m³) 。



(a) 堆载范围位于主要覆土区



(b) 堆载范围超出主要覆土区

D. 0. 2 隧道上方增荷比计算简图

本标准用词说明

- 1 为准确辨别和执行本标准条文，对条文中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”。
- 2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《混凝土结构设计规范》 GB 50010 2
- 2 《地铁设计规范》 GB50157
- 3 《城市轨道交通岩土工程勘察规范》 GB 50307
- 4 《云南省城市轨道交通岩土工程勘察规程》（DBJ53 / T-113）
- 5 《城市轨道交通结构安全保护技术规范》 CJJ/T 202
- 6 《城市轨道交通工程测量规范》 GB/T50308
- 7 《城市轨道交通工程监测技术标准》 GB 50911
- 8 《工程测量标准》 GB 50026
- 8 《建筑变形测量规范》 JGJ8
- 9 《建筑基坑工程监测技术规范》 GB 50497
- 10 《66KV 及以下架空电力线路设计规范》 GB 50061
- 11 《汽车加油加气站设计与施工规范》 GB 50156 5
- 12 《石油天然气工程设计防火规范》 GB 50183 7
- 13 《输气管道工程设计规范》 GB50251
- 14 《110KV~750KV 架空输电线路设计规范》 GB50545
- 15 《爆破安全规程》 GB6722

云南省地方规程
云南省城市轨道交通结构安全保护技术规程

DBJ53/T XXX-202X

条 文 说 明

条文说明 目录

1	总则.....	53
3	基本规定.....	54
3.1	一般规定.....	54
3.2	安全控制.....	55
4	控制保护要求.....	57
4.1	一般规定.....	57
4.2	地下结构.....	58
4.3	地面结构和高架结构.....	59
5	外部基坑工程.....	59
5.1	一般规定.....	59
5.2	侧方基坑.....	62
6	外部隧道工程.....	63
6.1	一般规定.....	63
6.2	穿越隧道.....	63
6.3	并行隧道.....	64
7	外部其他工程.....	64
7.2	爆破工程.....	64
7.3	地下水作业.....	66
7.4	桩基础工程.....	66
7.5	浅基础工程.....	67
7.6	道路及地下管线.....	67
8	安全评估.....	67
9	监测.....	70
9.1	一般规定.....	70
9.2	监测项目.....	71
9.3	监测频率.....	72
9.4	监测预警.....	74
10	检查和检测.....	75
11	轨道交通加固与修复.....	75
12	信息管理.....	78
12.1	一般规定.....	78
12.2	监测信息.....	78
12.3	视频信息.....	78

1 总 则

1.0.1 作为云南政治、经济、文化、科技、交通中心的昆明，地铁规划建设起步较晚，但发展较快。2011 年编制完成了第二轮线网规划，远景规划线网由 14 条线路组成放射普线网+穿越快线的线网形态，全长 561.8 公里，车站 184 座。截至 2020 年底，昆明地铁开通运营里程 139.4 公里，车站 83 座。目前在建线路共 3 条，分别为 1 号线西北延、2 号线二期、5 号线，在建总里程 48.33 公里、车站 40 座。

随着城市轨道交通的大规模建设和运营，以及城市轨道交通沿线的高强度物业开发，城市轨道交通结构的安全保护工作已日益突出。城市轨道交通是保证城市正常活动秩序的重要交通系统，因此，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。为此，需规范城市轨道交通沿线的外部作业，以确保城市轨道交通结构的安全和正常使用。

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/T50833 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。

对应于外部作业，内部作业一般在城市轨道交通的内部进行，在运营间隙对设备设施进行必要的维修和保养等。内部作业应按《地铁运营安全评价标准》GB/T50438 地铁运营相关部门的规定执行。

1.0.2 由于城市轨道交通为大型建设工程，其建设周期较长，外部作业的实施尚应考虑为后续城市轨道交通的结构施作提供保障和方便，因此，结构包括已投入运营、建成但尚未投入运营和正在修建的城市轨道交通。对于已规划修建的城市轨道交通，也要提前考虑对其建设过程中的影响，对外部作业进行必要控制，以保障其顺利修建和安全运营。

其他类型的结构，如城际轨道交通等，因其保护与本规范的规定相近或相同，故相应部分也可参照执行。（回答了专家对于云南省城市轨道交通包括的范围）

1.0.3 本条明确了本规范与其他相关标准的关系。本规范与其他有关标准的关系是：凡本规范有规定的，外部作业应按本规范执行；本规范未作规定的，应符合国家现行有关标准的规定，或参照其他的国家有关现行标准的规定执行。

2 基本规定

2.1 一般规定

2.1.1 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 and 规范城市轨道交通工程周边的外部作业，严禁外部作业影响结构的正常使用功能、承载能力和耐久性。

另外，根据《中华人民共和国人民防空法》第十四条，城市的地下交通干线以及其他地下工程的建设，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，外部作业不得降低结构作为人防、防淹等工程使用时应具备的防护能力及防护标准。

2.1.2 《城市轨道交通运营管理办法》（中华人民共和国交通运输部令 2018 年第 8 号）第二十九条规定，城市轨道交通工程项目应当按照规定划定保护区。《昆明市轨道交通安全管理条例》第三十九条，轨道交通线路根据实际情况，按照下列标准设置安全保护区：

- （一）地下车站和隧道结构外边线外侧 50 米内；
- （二）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 30 米内；
- （三）出入口、通风亭、冷却塔、主变电所、残疾人直升电梯等建(构)筑物外边线和基地用地范围外侧 10 米内；
- （四）通过江河、湖泊等水域的隧道结构外边线外侧 100 米内。

本条在《昆明市轨道交通安全管理条例》基础上，参照浙江、甘肃、天津、广州等地保护区要求，考虑到出入口、通风亭、变电站、电缆隧道等附属建、构筑物的重要性，控制保护区范围较行业标准严格，取为 20m。电缆隧道指专供轨道交通使用的、由轨道交通单位管养的电缆隧道。

2.1.3 外部作业与轨道交通结构之间的距离越近，影响越大，安全保护的难度也就越大。通过设置特别保护区，将外部作业基本控制在特别保护区范围之外，利于提高轨道交通结构安全保护的效果。特别保护区范围进行的外部作业主要以城市重要基础设施项目、与轨道交通正常运营密切相关的项目等为主，主要包括：

- 1 重要的城市基础设施项目，如后期实施的城市轨道交通项目、河道、城市道路、高架道路、管道、公路及铁路隧道等；
- 2 邻近地下空间与地铁车站的连通口；
- 3 轨道交通运营维护、结构加固等相关的施工作业。

2.1.4 对于特殊工程地质或特殊的外部作业对结构造成较大影响的，应适当扩大控制保护区范围，如淤泥质软土、区域沉降、地震液化层、软土震陷、古河道等特殊工程地质条件，

超大超深工程、沉管工程、降承压含水层、抽取深层地下水等特殊外部作业，应根据外部作业实际可能影响范围划定轨道交通控制保护区。

根据其他地区城市轨道交通工程案例，某项目在城市轨道交通控制保护区范围外开采承压水，引起城市轨道交通地下结构发生较大位移。因此，在城市轨道交通地下结构外边线及地面车站、高架车站与线路结构外边线外侧 200m 范围内严禁开采承压水，当必须抽取承压水时应有可靠的措施隔断承压水层，并征得轨道交通管理单位及相关政府主管部门同意。

2.1.5 当城市轨道交通工程在不同期建设时，先期修建的工程应充分考虑后期修建工程可能产生的不利影响，提前采取相应的控制措施，以降低后期修建工程对先期结构的不利影响，同时降低后期修建工程难度及工程投资，做到技术经济合理。

2.1.6 外部作业实施前，应针对外部作业的影响特点，结合城市轨道交通结构的安全保护要求，根据本规程第 3.2 节安全控制的有关规定，对外部作业进行影响等级分级，作为后续安全保护程序、评估方法、保护措施、控制标准确定和现状调查的依据。

2.1.7 结构安全控制指标的选用，应从结构、轨道及道床、设备设施的正常使用要求出发，充分考虑外部作业可能产生的影响，结合轨道交通工程按健康状况综合确定。

2.1.8 郑州暴雨导致的地铁 5 号线的人员伤亡事故警示我们，对于一些重要的站点，需要根据规划充分估计由于大面积开发导致的地形、地貌、排水系统的改变，造成内涝，为正确评判产生内涝的标高做出准确界定。

2.2 安全控制

2.2.1 安全控制标准是判定外部作业是否影响城市轨道交通结构安全的标准，包括外部作业影响等级、外部作业净距控制指标、结构安全控制指标三个方面。对轨道交通影响较大外部作业工程，应结合外部作业影响等级和结构安全控制指标联合进行控制监管；其余外部作业应结合外部作业净距控制管理指标和结构安全控制指标进行联合控制监管。

2.2.2 外部作业影响等级主要与外部作业特点、轨道交通结构类型、外部作业与轨道交通空间关系、结构健康状况及等因素确定，并结合轨道交通使用功能、工程及水文地质条件、外部作业施工方法、轨道交通健康状况等因素进行调整。

2.2.3 城市轨道交通结构处于复杂的工程地质条件或存在工程地质灾害情况等，如结构周边存在岩溶土洞、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，则应结合当地工程经验综合考虑，适当提高外部作业影响等级，且不宜低于一级。

2.2.4 对轨道交通结构影响不显著的外部作业工程，可采用外部作业净距控制管理指标。外部作业对结构影响的显著性判定，主要依据理论分析，并通过工程概念加以判断。表 1 为行

业标准和各地方标准外部作业净距控制管理指标。

2.2.5 ~2.2.6 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。

2.2.7 考虑跨越江河外部作业特殊性、水下工程的不确定性、维修加固的难度、事故造成的后果不可挽回等特性，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。

2.2.8 当外部作业对轨道交通结构的景响显著时，如基坑工程、顶管法工程和盾构法工程，以及大范围堆卸载、抽降水等，应根据外部作业影响等级和结构安全控制指标进行联合控制监管。表 1 为行业标准，天津、广东、浙江、甘肃等地方标准的安全指标控制值，本规程参照了表 1 所列数值，结合《昆明市轨道交通管理条例》的相关规定，考虑昆明轨道交通结构健康状况综合取值。

2.2.9 结构安全控制指标的选择应遵循可操作性原则，应针对不同的结构类型特点和不同的外部作业特点等有所侧重选用。如高架结构应以控制沉降量和差异沉降量为主，地下结构应以控制位移、变形、裂缝、相对收敛、渗漏、附加荷载等为主。当外部作业采用爆破方案时，应特别关注城市轨道交通结构的振动速度。

结构安全控制指标值应综合城市轨道交通结构特点、结构安全现状、运营安全要求、外部作业特点等因素确定。不同类型的城市轨道交通结构，由于结构的功能要求不同，结构所处部位不同，且结构对外部作业的响应也有所不同，故其结构安全控制指标也应有所侧重。

本规范附录 B 给出的城市轨道交通结构常用的安全控制指标值，主要参考了国内一些城市和地区的城市轨道交通结构的保护管理规定、技术标准、以及《地铁设计规范》(GB50157)、《铁路线路维修规则》等，本规程考虑到昆明城市轨道交通存在高架区间及车站，在行业标准和其他地方标准的基础上，给出了高架及地面结构的变形控制指标，地下结构的安全控制指标按施工方法给予规定（本规程新增内容）城市轨道交通的结构安全控制指标值难以严格量化，主要原因有：

1 不同类型的结构，其安全控制要求不同；

2 结构周边地层对安全控制起至关重要的影响，而地层的差异性巨大；

3 城市轨道交通结构的现状即健康状态存在差异，其实际安全状态也不尽相同，如新建隧道与已投入运营经历多次扰动影响的隧道、施工时存在缺陷的结构与没有缺陷的结构、各时期各地城市轨道交通建设标准的差异等，现状的差异导致难以用统一的量化值进行安全评价。因此，需综合考虑各方面因素，才能合理确定具体的结构安全控制值。

对于在城市轨道交通周边的外部作业，因人为的测量、施工误差，可能对城市轨道交通

结构造成不利影响，应尽量避免。

3 控制保护要求

3.1 一般规定

3.1.1 城市轨道交通控制保护区内的外部作业，在外部作业的工程勘察（钻探）、设计、施工阶段，均应充分考虑对结构造成的不利影响，以满足城市轨道交通结构的安全控制标准。

3.1.2 影响等级为特级、一级的外部作业，往往引起城市轨道交通结构的原设计荷载和边界条件等发生改变。考虑到各时期、各地城市轨道交通建设标准的差异，对于外部作业改变城市轨道交通结构周边地层、围岩的应力状态，或改变结构最初设计时所采用的边界条件等的情况，都应重新核算新情况下结构的安全性。若安全评估结果表明，外部作业不能满足结构的安全要求，则应采取相应的加固和控制措施，否则不得进行该外部作业。例如，昆明既有轨道交通出现多起由于外部作业不当，导致隧道管片的开裂受损的情况，对轨道交通结构的安全和耐久性造成不良影响。对城市轨道交通结构影响较大的外部作业，应在作业前制定应急预案，以防一旦出现险情时可以及时采取应急措施，防止险情恶化，避免对结构造成无法修复的损害。

3.1.3 由于部分外部作业是临时工程，其安全系数相对较低，可能在外部作业过程发生作业安全，但考虑到保证城市轨道交通的安全要求，故应避免外部作业发生险情。即使外部作业出现险情时，也不得影响城市轨道交通结构的安全。譬如，城市轨道交通控制保护区内的基坑工程，由于属于临时工程，其设计使用年限一般较短，当超过其设计使用年限时，应重新评估基坑支护的可靠性，并采取相应的措施，以确保城市轨道交通结构的安全。

外部作业实施过程中出现的自身支护结构破坏、基础桩成孔坍土、土体失稳或位移过大等情况，不得影响城市轨道交通结构的安全。对于外部作业自身可能出现的险情，如支护结构破坏、基础桩成孔坍土、土体失稳或变位过大等，外部作业的设计方案和施工过程须严格控制，不得违规操作，确保即使外部作业发生险情时，也应优先保护城市轨道交通结构的安全。

3.1.4 对于冲孔、静压、锤击、爆破等振动和挤土效应较大的工法，由于近距离作业对城市轨道交通结构的影响较大，为此，应结合当地的工程经验，控制城市轨道交通结构周边此类工法的最小作业距离。譬如，广州地区的控制距离多采用 20m，浙江省的控制距离多采用 20m，昆明的控制距离多采用 20m，天津的控制距离多采用 20m，甘肃的控制距离多采用 20m

3.1.5 针对城市轨道交通控制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各种不利的组合情况，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，确保出现最危险工况也应能保证结构的安全和正常运营。

3.2 地下结构

3.2.1 在城市轨道交通地下结构控制保护区内进行加载或卸载作业，如在隧道上方堆土、堆放重型施工机械等，在隧道上方、侧方进行基坑开挖等，将影响隧道的正常使用和结构安全，为此，应进行结构安全验算。

3.2.2 本条文是基于国内外多数城市轨道交通结构进行设计时,结构外侧的附加荷载设计值为 20kPa 而制定的。《香港地铁控制保护技术管理规定》、《上海市地铁沿线建筑施工保护地铁技术管理暂行规定》、《城市轨道交通结构安全保护技术规范》（CJJ/T202）、《天津市城市轨道交通结构安全保护技术规程》（DB/T29-279）、《浙江省工程建设标准城市轨道交通结构安全保护技术规程》（DB33/T1139）、《甘肃省地方标准城市轨道交通结构安全保护技术标准》（DB62/T3188）、附加压力小于或等于 20kPa。当确有证据表明结构所能承受的附加荷载可大于 20kPa 时，结构外壁的附加荷载限值可适当提高。

3.2.3 要求控制结构上方的覆土厚度是出于结构的抗浮要求及抗隆起变形、结构沉降、附加应力控制考虑。以一般的双线明挖隧道为例，仅靠隧道上方的覆土及结构自重进行抗浮的最小覆土厚度约为 2.2m,当采取可靠措施保证隧道抗浮要求时，上方覆土厚度可减小。对于埋深较浅、开挖宽度较窄的地下管线等工程，其开挖面与明挖隧道的竖向最小距离可适当放宽，可通过开展安全评估确定。

存在软弱地层的地区，当结构正上方的覆土土性较差时，对城市轨道交通结构影响等级为特级、一级的基坑作业，进行基底地基加固是必要的。

3.2.4 本条文是考虑当隧道处于基坑侧向变形较大或最大位置时，基坑支护应采用抗变形能力强且止水效果好的结构。由于列车的安全运营要求，对结构的位移限制较为严格，譬如广州地区、浙江省、天津市、甘肃省等地的一般隧道的水平变形报警值分别为 15mm、15mm、15mm、15mm，CJJ/T 202 为 20mm。所以，靠近隧道侧的基坑宜采用整体刚度较大的地下连续墙加内支撑支护结构体系，以严格控制隧道的侧向位移。

新建地下室（或地下结构）与其基坑的排桩、地下连续墙等围护结构间存在施工空隙时，若采用一般的回填土填充，由于回填土水平方向的刚度较弱，将难以有效限制隧道的水平侧向变形；且当回填质量较差时，将降低对围护结构的侧向约束作用,将难以有效约束隧道的

侧向变形。当地下室侧墙与围护结构间的空隙较大,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 厚的素混凝土或不小于 400mm 厚的钢筋混凝土支撑板带,以确保地下室与围护结构间较为刚性的过渡,并应密实回填相邻板带间的空隙。

3.2.5 重型机械设备荷载作用区域宜在城市轨道交通结构地面投影线外延 5m 范围外。

3.2.6 城市轨道交通结构控制保护区内的冻结法作业,施工无噪声,无污染,可以取得良好的施工效果。但周围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。

3.2.7 本条文是针对城市轨道交通地下结构外部作业的安全控制,防止对沉管隧道等水下结构产生不利影响。

3.3 地面结构和高架结构

3.3.1 上跨城市轨道交通结构的外部作业,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。

3.3.2 本条文主要为避免外部作业影响高架结构的基础承载力,以防止由于降水和土体开挖等诱发高架结构基础沉降

4 外部基坑工程

4.1 一般规定

4.1.1 钻孔灌注桩作为围护桩在基坑工程中应用广泛。钻孔灌注桩钻孔过程中会对土压力和孔隙水压力造成一定的释放,如这种压力释放过于迅速则极易造成坍孔,钻孔灌注桩坍孔势必造成更大的压力释放,因此钻孔灌注桩施工对邻近轨道交通结构会产生一定的影响,造成其向钻孔灌注桩施工方向的位移趋势。

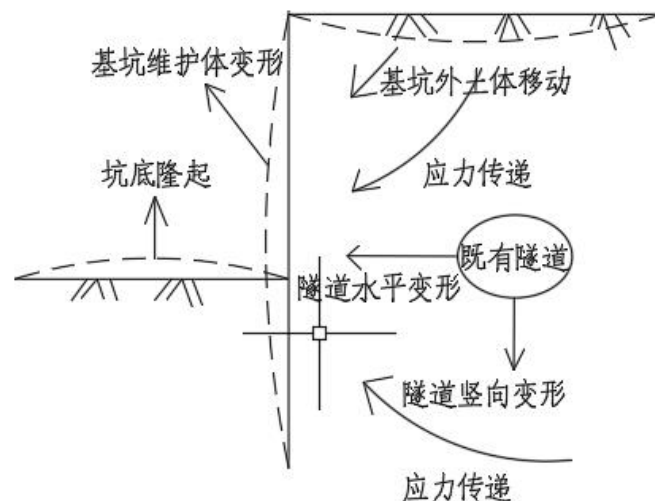
地下连续墙成槽施工对周边环境会产生较钻孔灌注桩更为明显的影响。开挖成槽时,槽的四面孔壁可能会因临空而失稳,尽管槽内注入的泥浆有利于槽壁稳定,槽壁土体的应力和变形仍会受到较大影响,在粉砂土地层,成槽施工的环境影响问题更为突出。

水泥搅拌桩和高压旋喷桩施工也有可能造成较大的环境影响。成桩过程对原土体进行搅拌或切割,使周边土体强度降低;浆液压力较大、连续施工、快速施工时,环境影响的叠加效应更加明显。

深基坑开挖引起邻近地铁结构的变形是一个比较复杂的过程,见图 1。以盾构隧道为例,侧方基坑开挖时,隧道主要产生斜向坑底的变形,隧道横截面主要表现为横鸭蛋形。隧道移

动总体表现是以水平为主，即水平方向上的移动量远大于竖直方向的移动量。由于卸荷，隧道衬砌结构靠近基坑部分主要以沉降为主,远离基坑部分主要以上浮为主。随着基坑开挖深度的逐渐增大，隧道横断面沉降和收敛变形呈现逐渐增大的趋势，两者关系一般近似线性比例。

在轨道交通结构周边采取降水措施时，降水引起的渗流力作用于轨道交通结构上，直接使其产生内力和变形；降水引起地基变形也同时加大了轨道交通结构的变形。



基坑开挖对地铁隧道影响示意图

4.1.2 城市轨道交通经营单位将核查外部作业与城市轨道交通结构的位置关系，针对性地提出相关技术要求，有利于保护地下结构的安全和保障外部作业的顺利实施。

4.1.3 基坑变形受多方面因素影响，主要包括：

- 1 客观因素，如水文地质条件、周边环境条件等；
- 2 设计因素，如围护结构选型、围护墙及支撑刚度、地基加固等；
- 3 施工因素,如超挖、施工周期、施工工法等。

国内外对于基坑围护墙（桩)的刚度、支撑刚度及地基加固等对基坑变形影响研究已较为深入，工程实践表明，下列设计措施有较好的变形控制效果：

- 1 加大支护结构刚度；
- 2 土体加固、改良；
- 3 基于时空效应控制的措施；
- 4 在围护墙与保护对象之间采取隔离措施；
- 5 设置截水帷幕，采取有效的地下水控制措施。

4.1.4 软土地基上，基坑面积越大，基坑开挖深度越深，基坑施工时间就越长，累计变形控制难度就越大，对设计与施工的要求也就越高。由于轨道交通结构对变形的控制要求相当严

格，特别是盾构隧道，其数值一般在 5~15mm 之间，因此，要有效达到变形控制目的，限制侧方基坑面积,采取分坑措施,是必要的。表 5.1.7 主要是基于以下几点考虑：

1 $L/2 < 20\text{m}$ 主要针对侧方基坑开挖深度超过 10m、且基坑较近的情况，当基坑宽度小于 20m 时,通过设置钢支撑和采取预加轴力自动补偿系统，可减少基坑暴露时间，有效控制基坑变形；

2 通过面积和单体基坑长度的控制，可以有效改善基坑的时空效应。一般的基坑工程常常由施工方通过分段分块施工措施来体现时空效应，实践表明，这种措施的人为因素多，实际操作难以控制，邻近轨道交通结构周边的项目中，已有不少这方面的教训；

3 50m 之外的超深基坑平面尺寸控制应结合项目特点通过专门研究确定。

4.1.5 轨道交通结构周边进行围护墙、截水帷幕和地基加固施工，宜采用数值分析和工程类比等手段预先评估成桩、成墙施工对轨道交通结构的影响。

钻孔灌注桩施工常采取的轨道交通结构保护措施包括：

1 采取间隔成桩的施工次序，待混凝土终凝后，再进行相邻桩的成孔施工；

2 可采用套管护壁、相对密度较高的优质泥浆、提高泥浆液面高度等措施保证成孔质量，避免槽壁坍塌；

3 成孔过程出现流砂、涌泥、塌孔等异常现象时,应暂停成孔施工，并采取有效补救措施，必要时回填已成桩孔。

地下连续墙施工常采取的轨道交通结构保护措施包括：

1 单元墙幅的长度不超过 6m，间隔跳开施工；

2 选用黏度大、失水量小、形成护壁泥皮薄且韧性强的优质泥浆，成槽过程实时监测槽壁稳定状况，出现异常时采取补浆、调整泥浆性能指标等措施；

3 宜综合采取槽壁加固、提高泥浆液面、控制单元墙幅长度等措施保证槽壁稳定；

4 严格控制从成槽至混凝土浇筑完成的时间。

水泥土搅拌桩的施工速度应根据与轨道交通设施的距离、相对深度、工程和水文地质条件等因素严格控制,减少对地基土的扰动。

4.1.6 土地上，基坑面积越大，基坑开挖深度越深，基坑施工时间就越长，累计变形控制难度就越大,对设计与施工的要求也就越高。由于轨道交通结构对变形的控制要求相当严格，因此，要有效达到变形控制目的,限制侧方基坑面积,采取分坑措施是必要的。通过面积和单体基坑长度的控制，可以有效改善基坑的时空效应。一般的基坑工程常常由施工方通过分段分块施工措施来体现时空效应。时空效应的最终落实在于工程施工，施工方案制定时应细化设计要求，体现设计意图。

为有效控制侧方基坑作业对既有城市轨道交通结构的影响,建议:基坑沿围护结构一次性开挖长度不宜超过 25m,沿围护结构分段拆撑控制长度不宜超过 50m,挖土至标高后,钢支撑施工宜在 24 小时内完成,混凝土支撑施工宜在 72 小时内完成,垫层施工宜在 24 小时内完成,基础底板施工宜在 15 天内完成;土质条件较差时,应进一步严格控制;基坑面积大于 10000 平方米时,宜进行分坑。

4.2 侧方基坑

4.2.1 由于列车的安全运营要求,靠近城市轨道交通结构的基坑宜采用抗变形能力强且止水效果好的支护结构体系,譬如整体刚度较大的地下连续墙加内支撑、咬合桩加内支撑和钢筋混凝土桩加内支撑,以严格控制既有结构的侧向位移。

新建地下室(或地下结构)与其基坑围护结构间存在施工空隙时,一般回填土由于在水平方向的刚度较弱,将难以有效限制城市轨道交通结构的水平侧向变形,因此回填材料宜选用素混凝土。当地下室侧墙与围护结构间的空隙较大、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 400mm 厚的钢筋混凝土支撑板带,确保地下室与围护结构间的刚性过渡,并密实回填相邻板带间的空隙。

4.2.2 时空效应的最终落实在于工程施工,施工方案制定时应细化设计要求,体现设计意图。

5 外部隧道工程

5.1 一般规定

5.1.1 外部隧道工程施工对轨道交通结构尤其是运营盾构隧道的的影响与两者之间的空间关系密切相关，通常下穿工程采用盾构法等开挖影响可控的工法，高架车站一般采用桩基础，施工中应重点考虑对桩基承载力的影响。

5.1.2 轨道交通结构设计标准为 100 年，外部隧道工程，尤其是下穿工程,设计标准及耐久性应满足相应标准要求。外部隧道工程的运营安全直接关系到既有轨道交通结构的安全，所以应有可靠的运营监护机制，尤其是下穿的高压燃气管、大直径有压管道工程等。

5.1.3 为减少外部隧道工程施工中列车荷载的影响，并避免施工产生运营风险，影响较大且施工周期短的工程宜安排在夜间停运期间；若工程实施周期较长，无法在停运期间完成，视工程实施影响评估结果考虑列车降速运营；盾构、顶管穿越施工时，掘进过程中停机会导致周边土体的扰动相比一般情况下要大，同时推进速度的较大变化会导致开挖面支护压力较大波动，进而影响相关开挖参数，为确保安全，宜保持匀速通过。

5.1.4 盾构施工本身存在试验段,但是由于其变形控制标准远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。

5.1.5 盾构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（24 小时）。

盾构隧道预设注浆孔用于变形控制。

5.2 穿越隧道

5.2.1 已有盾构施工实践表明，小半径曲线（转弯半径小于 500m），竖曲线、平曲线叠加段的姿态控制及成型管片质量容易出现问題,宜在线性设计上予以避免。

5.2.2 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列，明确竖向净距控制在 0.5D；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。

研究表明，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。地铁隧道线间距通常为 11m (双线隧道结构边线距离为 17m),控制夹角 18 度时,穿越距离增加 1 倍 (约 35m),相应风险增加一倍。

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、纵向拉结方式,确保地铁正常运营。

双线隧道施工时,工筹上采取先下后上,能够减少隧道施工对已完成隧道的影响,从而利于地铁设施安全。

5.2.3 昆明地区高架站及区间,地面车站及区间采用的桩基础多为摩擦桩,隧道施工引起土体变位,将对桩身产生作用力,距离宜控制在 1D(隧道外径)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地铁结构的抗变形能力,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。在采取有效保护措施的情况下,净距可适当放宽。

5.2.4 在软土地层,穿越影响区采取地基预加固措施,可以确保地铁结构底部置于较好土层,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。盾构隧道预设注浆孔用于变形控制。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、纵向拉紧方式,能够满足地铁正常运营。

5.2.5 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,挤土效应明显,因此不建议采用。

5.3 并行隧道

5.3.1 区间联络通道通常采用冻结法施工,实践证明,软土地层冻胀融沉效应明显,对环境影响较大,因此,邻近既有轨道交通结构时,不宜采用冻结法加固土体。

6 外部其他工程

6.1 爆破工程

6.1.1 由于硇室爆破、深孔爆破等药量较大的爆破作业的有害效应、影响范围及影响程度比较大,容易对城市轨道交通结构产生不利影响,容易导致乘客产生恐慌心理,故对药量较大的爆破作业进行了严格限制。

6.1.2 爆破作业前,应根据爆破目的和爆破环境等,制定相应的技术方案和相应的安全措施,并制定安全应急预案和爆破安全监控方案,以保证爆破作业质量,控制爆破有害效应。当爆破作业出现意外情况时,也可做到有章可循。

6.1.3 爆破作业时,爆炸产生的有害效应包括飞石、震动、冲击波等,可能危及人员以及城市轨道交通结构的安全,应进行爆破安全评估和爆破设计审查,应对爆破作业影响范围内的城市轨道交通工程进行安全评估。施工中应采取有效的安全防护措施,以防止爆破有害效应对人员造成伤害,防止影响城市轨道交通结构安全。

6.1.4 局部监测侧重于监控结构重点部位的安全,宏观调查侧重于对比分析爆破作业前后结构及其设施受爆破作业的影响。

6.1.5 宏观调查包括爆破作业前后对结构的摄像、摄影以及裂纹长度、宽度、延伸方向的详细记录。重要的爆破作业,在作业前、作业过程、作业后,对受爆破影响范围内的结构进行宏观调查,可以直接反映爆破作业对结构的影响。

6.1.6 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,爆破震动不易引起周围结构破坏。由于爆破震动频率的测定比较烦琐,爆破震动引起建筑物结构质点的震动加速度的安全判据未有统一标准,目前,爆破界一直采用震动速度允许值作为安全控制指标。

6.1.7 在国内相关城市、地区的控制保护区内实施的爆破作业,审批机关控制结构的安全允许振速为 2.5cm/s。经实践检验,爆破震动速度小于 2.5cm/s 时,爆破作业对结构没有产生不良影响。因此,控制爆破震动速度在 2.5cm/s 以下,可以有效保护城市轨道交通结构的安全及运营安全。

6.1.8 本条文的目的是积累控制保护区内的爆破作业经验,为以后爆破作业的管理提供参考。

6.1.9 试爆作业和试爆作业过程监测应在公安部门人员的监督下完成,试爆效果是对爆破设计方案的检验,监测结果是调整和优化爆破技术参数的主要依据。

6.1.10 在车站附近进行爆破作业时,实施前应设立安全区,先做好安全告示的张贴宣传以及安全警戒工作,避免车站内的乘客以及工作人员受到惊吓,产生恐慌;在车站风亭的进、出风口以及人行出入口附近,尚应特别注意爆破作业产生扬尘的不利影响,确保城市轨道交通结构的正常使用和人员的舒适度。

参考《香港地铁控制保护技术管理规定》中对控制保护区内的爆破作业时间规定的条文,

目的在于避免列车上的乘客产生心理恐慌等不适感，并避免发生严重的公共安全事故。

6.2 地下水作业

6.2.1 地层发生流砂、管涌等渗流破坏时，往往难以采取有效措施及时进行事后处理，容易对城市轨道交通结构产生较大的危害，因此，应采取措施避免既有结构周边地层发生流砂、管涌等渗流破坏。地下水作业的方案设计时应依据场地典型地层的抽水试验、室内渗透试验和当地工程经验进行。地下水作业方案设计的关键在于获取可靠的水文地质参数，如地层的渗透系数等，因此，宜进行必要的试验，并结合当地的工程经验进行设计。

6.2.2 地下水水位变化如水位下降会诱发地层产生附加应力，一方面导致结构的外壁压力发生改变，影响结构的受力状态，进而诱发结构产生变形；另一方面会导致地层沉降，进而诱发结构发生沉降，在深厚软土地层水位下降诱发的沉降尤为突出。因此，地下水作业前应预测水位变化对城市轨道交通结构的变形和位移影响，作业过程应控制周边水位变化幅度，并应监测水位变化和既有结构位移，必要时，应采取相应的防控措施。

6.2.3 经验表明，地下工程事故大部分都与地下水有关，因此，应特别注意地下水作业对城市轨道交通结构产生的不利影响，地下水作业过程应采取合适的地下水控制技术。

6.2.4 对于影响等级为特级、一级的外部作业，应尽量采取竖向截水控制技术，如采用落底式竖向截水帷幕插入下卧不透水地层，以形成封闭的截水系统，避免水位发生大幅度下降，从而影响城市轨道交通结构的安全。

6.2.5 强透水地层的地下水作业，受条件所限不能形成封闭截水系统时，应预测地下水作业引起的水位变化幅度，按本安全评估的规定，评估城市轨道交通结构的受力、变形和沉降等，并据此评估地下水作业对结构的影响。

6.2.6 水位下降幅度和降水漏斗范围内的水力梯度及地层的差异性诱发城市轨道交通结构发生沉降、沉降差、水平位移、倾斜的主要原因之一。由于城市轨道交通结构的位移控制较为严格，宜采用地下水控制措施，避免城市轨道交通结构周边地层发生过大的水位下降幅度，并适当控制降水漏斗范围内的水力梯度。截水和回灌是较为有效的地下水控制措施。

6.2.7 欠固结地区的大面积水位下降，会加速地层固结，引起地层发生“锅型”沉降，进而诱发城市轨道交通结构发生过大沉降。已有工程经验表明，在新开发区、河漫滩等区域，大面积水位下降会诱发地层大范围大幅沉降，进而诱发结构随地层发生过大沉降，影响结构的安全和正常使用。

6.3 桩基础工程

6.3.1 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,对轨道交通结构产生附加荷载,整个桩基础作用于轨道交通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。

6.3.2 桩基础沉降后,其周边的地基土体产生变形,邻近的轨道交通结构相应产生拖带变形;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。

6.3.3 桩基础对邻近轨道交通结构的影响,与桩径、桩间距、桩长、桩型、施工工艺等均有一定关系,在保护要求较高时,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、采用较大桩间距等均为较为有效的保护措施。

6.4 浅基础工程

6.4.1 地基处理施工对轨道交通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,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。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结构的影响较大,因此不宜采用此类工法。

6.5 道路及地下管线

6.5.1 由于工艺成熟、占用场地少,市政工程中直径 300mm~1200mm 的排水、电力、通讯管道常采用拖拉管施工工艺。近年来,运营地铁周边此类工法不少,而且与地铁既有设施距离较近,为防止导向孔钻进过程中钻头偏移而损伤地铁设施,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,对于横穿地铁设施的管线部位,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。

7 安全评估

7.0.1 除有特殊要求的三级、四级的外部作业之外,其他三级、四级的外部作业无须进行安全评估,但外部作业方案应按正常程序进行审查。

7.0.2 外部作业实施前,对结构采取现状调查、检测、测量和结构验算等手段,目的就是掌握城市轨道交通结构的当前安全状态,评估结构的继续抗变形能力和承载能力,并确定相应的结构安全控制值,为后续的评估工作起到一定的指导作用。现状调查包括对施工质量缺陷的调查、现场结构裂缝、渗漏水调查、运营的疲劳损伤等。

7.0.3 评估时应考虑隧道结构运营疲劳损伤和现状下的健康状况等,对结构承载能力可进行适当折减。

7.0.4 外部作业影响预评估是在外部作业实施前,根据城市轨道交通结构的特点和所处的工程地质条件等,结合理论分析、模型试验、数值模拟等方法,预测外部作业对结构的安全影响,提出相应的结构安全控制指标的预测值,同时尚应结合结构的现状评估成果,评估外部作业方案的可行性,并提出保障结构安全的相应措施。当外部作业的预测值超过相应的结构安全控制值时,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,制定安全可靠的保护措施,并重新进行预评估,直至预评估的结论为外部作业方案可行,外部作业方可实施。

7.0.5 外部作业施工过程评估应结合轨道交通结构的监测数据,分析变形超标的原因;在此基础上再次评估结构在当前状态下的继续抗变形能力和承载能力,根据调整后的外部作业方案,预估下一阶段轨道交通结构的变形增量,提出下一阶段轨道交通结构安全保护措施的建议。

7.0.6 外部作业影响后评估是在外部作业完成后,评估对城市轨道交通结构造成的安全影响。当判定外部作业对结构造成的安全影响较大但结构的变化尚未稳定时,如实测数据已超过相应的结构安全控制值,应及时通过现状调查、检测,结合监测数据并通过结构验算等手段,评估结构的当前安全状态,并提出相应的处理意见和建议。待结构的变化稳定后,应再次进行外部作业影响后评估,并提出相应的处理意见和建议。

7.0.7 计算分析宜基于荷载-结构模型、地层-结构模型,并根据结构建成的年代按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 和相关地方标准,分别以裂缝、强度控制两种工况进行验算,估算既有结构的安全度。对于较为重要的既有结构,可考虑采用足尺或缩尺模型试验方法,模拟其受力和变形特征。

1 地层-结构模型

该模型(图1)将城市轨道交通结构和地层作为共同受力的统一体系,充分考虑既有结构与周围地层的相互作用,按照连续介质力学原理计算结构和地层的变形、地层应力和结构内力。

2 荷载-结构模型

该模型(图2)认为地层对于结构只是作用在其上的荷载,其中包括地层土压力和由于地层约束结构变形而产生的地层抗力,从而计算结构在荷载作用下产生的内力和变形。

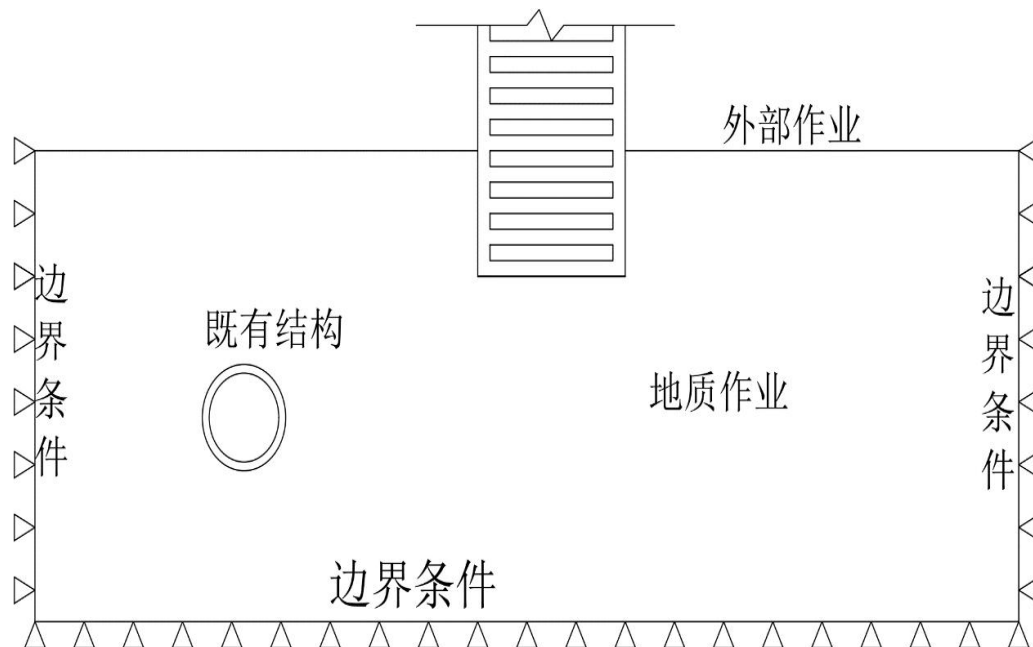


图 1 地层-结构模型

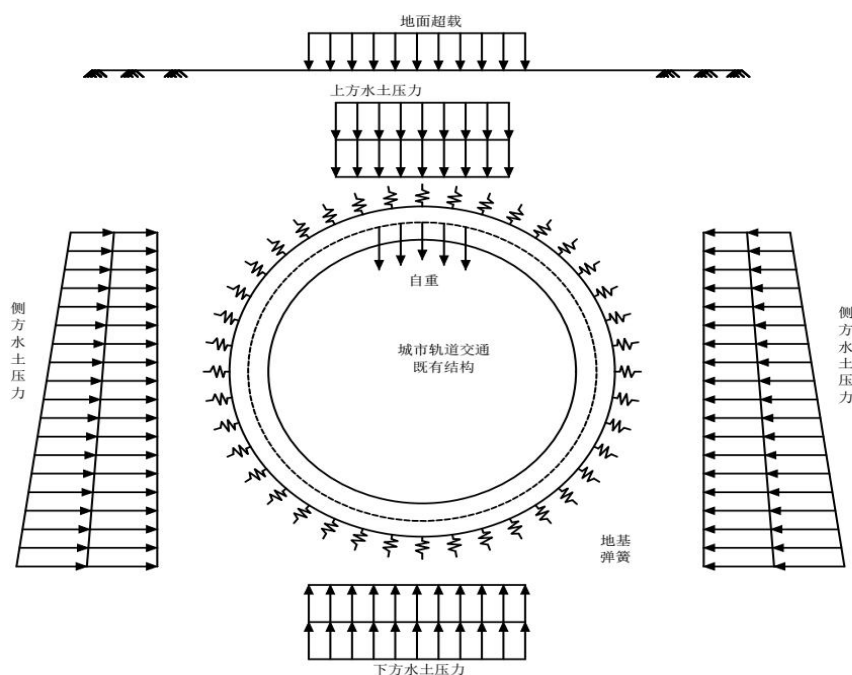


图 2 荷载-结构模型

7.0.8 重大影响外部作业设计方案应落实安全评估成果中的城市轨道交通结构保护措施和城市轨道交通结构监测和检测，包括设计监测和检测范围、监测断面、监测点布置、特殊监测和检测项目等。轨道交通保护专项技术方案在审查通过后，如改变工法、加深基坑、减弱支护结构、调整支撑体系、发现地质条件变差等，应重新论证变更方案的可行性，并组织审查。

7.0.9 城市轨道交通控制保护区内出现的时空相近、可能交叉影响的多项外部作业，譬如多个基坑工程，由于设计和施工方案难以保证同步进行，可能出现多种不利组合。应根据其时空特点，充分考虑多项外部作业的叠加影响，做到出现最危险工况时也能保证既有结

构的安全和正常运营。

8 监测

8.1 一般规定

8.1.1 通过对外部作业进行过程监控,可动态掌握外部作业对城市轨道交通结构的影响,及时采取针对性的防控措施,保障城市轨道交通结构的安全。

8.1.2 城市轨道交通结构的监测,应采用仪器监测与巡视检查相结合的方法,多种观测方法互为补充、相互验证。城市轨道交通运营期间,宜采用仪器测量,避免对运营产生干扰。运营停止期间,宜采用仪器测量与巡视检查相结合的方法。仪器测量可以取得定量的数据,进行定量分析;以目测为主的巡视检查,可以起到定性、补充的作用,特别是仪器测量不到的区域,从而避免片面地分析和处理问题。例如结构的裂缝分布、渗漏水情况等。

8.1.3 监测方案是监测单位实施监测的重要技术依据和文件,是保证监测质量的重要前提。应依据外部作业对结构的影响特征、结构的安全保护要求、外部作业实施前所开展的安全评估成果和所选监测项目、监测仪器、监测组织以及国家现行相关技术标准编制监测方案。监测方案中还应包括在外部作业实施前,采用仪器和人工巡视相结合的方法,对城市轨道交通结构现有状况进行影像、照片、文字、测量数据等全方位定量、定性记录和确认,如现有结构裂缝的长度、宽度测量,渗漏水的位置和面积、修补痕迹等记录,以便于比较得出外部作业对城市轨道交通结构影响的量值、速率、性质等。

8.1.4 监测方案中的监测布点和监测频率,不但应根据外部作业影响等级确定,还应结合城市轨道交通结构的结构形式、受力大小、承载余量以及周边地质构造、水文状况等确定。

8.1.5 根据《中华人民共和国测绘法》和《中华人民共和国计量法》规定,城市轨道交通结构的监测单位应具有相应的工程测量资质,依法进行测量和保护城市轨道交通结构地理信息等测量成果;应按照相关工程测量规范规定的测量精度以及测量方法实施监测;应依法按照相关计量检定规程对将使用的监测仪器进行检定;监测过程中应使用检定合格且在有效期内的监测仪器;监测技术人员须经培训合格后方能上岗,以保证监测数据的准确性、客观性和公正性。城市轨道交通管理部门应依据法律规定以及相关规范,对监测单位、监测仪器、监测技术和监测方法等进行监督检查。

8.1.6 外部作业施工前,应开始监测,取三次变形稳定值的平均值作为初值,外部作业施工过程中,应持续监测。终止变形监测的条件,本条参照了《建筑变形测量规范》(JGJ 8)、《工程测量标准》(GB50026)的相关规定。

8.1.7 其中《建筑变形测量规范》(JGJ 8)中 10.5.8 关于建(构)筑物的沉降观测周期和终止观

测的沉降稳定指标规定如下：

1 观测周期应全面反映整个沉降过程；

2 建（构）筑物沉降达到稳定状态可由沉降量与时间关系曲线判定。当最后 100d 的最大沉降速率小于 $0.01\text{mm/d} \sim 0.04\text{mm/d}$ 时，可认为已达到稳定状态。对具体沉降观测项目，最大沉降速率的取值宜结合当地地基土的压缩性能来确定。

3 对于终止观测的稳定指标值,编制组进行了调研,不同地域的指标有所差异,基本上在 $0.01\text{mm/日} \sim 0.04\text{mm/日}$ 之间。

4 本规程针对的主要对象为已经建成运营的城市轨道交通结构,根据昆明地铁运营过程中受外部作业影响的大量监测数据可知,外部作完成后,结构变形会在一定时间内持续发展,其中车站变形受外部作业影响较小,区间特别是浅埋区间、处于围岩级别 VI 的区间,以及区间的中部,结构变形明显较车站变形大。基于此,可终止变形监测的速率,车站可选择下限,区间可以适当放宽,可选择上限。为稳妥,采用相对较严的 0.02mm/日 ,作为统一的终止观测稳定指标值。

8.1.8 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,并结合人工观测的方法进行现场观测。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。

8.2 监测项目

8.2.1 表 9.2.1 列出的监测项目,主要考虑到现场的可操作性,并能反映外部作业过程结构的响应。结构的受力,可基于变形等监测数据进行反算,以评价结构的安全状态。道床与轨道变位的监测包括:道床的纵、横断面水平位移、差异竖向位移;轨道的水平位移、轨道的纵、横向差异竖向位移,轨道之间的相对水平位移。

8.2.2 鉴于爆破作业的特殊性及其危害性,在城市轨道交通控制保护区内实施爆破作业,应进行爆破震动速度监测。在控制保护区外,应由爆破作业单位根据爆破方式、用药量、城市轨道交通结构的埋深等综合确定是否需要进行爆破振动速度监测。

8.2.3 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;外部作业的影响等级为三级、四级时应视实际情况确定是否采用自动化监测。

8.2.4 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,并能反映轨道交通结构变形及内力变化特征。另外,监测点应稳固、明显、结构合理,且不影响轨道交通的正常运营,正常维修不影响监测点位置;应避开障碍物,且便于观测和长期保存;车站内左右线的沉降监测点宜设置在同一横断面上,以便判断车站结构横向沉降差异和倾斜程度;线路结构的沉降缝和变形缝,车站与区间衔接处,区间

与联络通道衔接处,附属结构与线路结构衔接处应有监测点;隧道、高架桥梁与路基之间的过渡段应有监测点控制;测点应以轨道交通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。

8.2.5 既有结构监测范围一般根据评估预测的外部施工影响范围确定,本条要求的监测范围根据各地相关工程经验总结推荐。

例如某市某项目基坑紧邻地铁车站和区间施工,基坑开挖深度约 15.75m。基坑距离风道的最小水平净距 2.66m,基坑距离盾构区间隧道的净距为 8.9m~14.1m,基坑施工期间引起地下车站及隧道变形范围为基坑外侧约 45~55m,约为基坑深度的 2.86 倍~3.5 倍。

某市某项目基坑开挖深度 17.7m,基坑距离地铁车站主体结构最小距离为 3.0m。根据施工期间地铁结构变形监测数据,基坑开挖影响范围为基坑外侧约 45.0m~60.0m,约为基坑深度的 2.54 倍~3.4 倍。

8.2.6 本条文所述的技术标准,应按照《工程测量标准》GB50026 及《城市轨道交通工程测量规范》GB/T 50308 中明确的监测方法、监测技术和测量精度要求执行。还可依据《建筑变形测量规范》JGJ 8 等有关规范中明确的监测方法、监测技术和测量精度要求。

8.2.7 监测的基准点应设置在变形影响区域以外,且需位置稳固可靠、易于长期保存。变形、变位监测网的基准点至少应设置 3 个。大型的监测项目,水平位移基准点应采用带有强制归心装置的观测墩,垂直位移基准点宜采用双金属标或钢管标。

监测的工作基点,应选在比较稳定且方便使用的位置。设立在大型外部作业影响区域内的水平位移监测工作基点,宜采用带有强制归心装置的观测墩,垂直位移监测工作基点可采用钢管标。

监测基准点、工作基点、变形监测点的设置都不得影响城市轨道交通的正常运营。

8.3 监测频率

8.3.1 当监测数据接近轨道交通结构安全控制指标值的控制值或结构出现异常、外部作业有危险事故征兆等情况时,应加强对外部作业实施过程的监控,结合轨道交通结构保护需要,有针对性地采取或选择以下措施:实施实时监测、扩大监测范围、增加监测项目、加密监测点和提高监测频率等。监测频率建议如下:

1 外部作业的轨道交通结构外部作业影响等级为特级,采用自动化监测时,频率不低于 1 次/4 小时,其余情况不低于 1 次/日;

2 外部作业的轨道交通结构外部作业影响等级为一级,采用自动化监测时,频率不低于 1 次/6 小时,其余情况不低于 1 次/2 日。

8.3.2 城市轨道交通结构的监测周期,即监测开始至监测结束,应从外部作业之前测定监测

项目初始值开始，至外部作业完成或结束，且城市轨道交通结构的变形、位移等已稳定，结构的安全隐患、风险消除后方可结束监测。

8.4 监测预警

8.4.1 该条文与第 3.3.6 条文相对应,采用监测比值 G 反映外部作业施工过程结构的安全状态。能够较为简便地掌握城市轨道交通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。

当外部作业对结构造成的安全影响较大时,如实测数据超过相应的结构安全控制值的 80%,监测预警等级达到 C 级时,应立即停止外部作业,及时开展现状调查、复测,结合监测数据通过结构验算等手段,评估结构的当前安全状态,并提出相应的处理意见和建议,在通过后续评审后,方可继续进行外部作业。

8.4.2 监测预警等级的划分,应充分考虑城市轨道交通结构监测数据的变化速率值。当城市轨道交通结构监测数据显示每天的变化速率值连续 3 天超过 2mm,应将监测预警等级评定为 C 级,采取相对应的应对管理措施,保障城市轨道交通结构的安全。

9.4.3 监测报表是反映监测信息的重要资料。每次测量完成后,监测人员应及时进行数据处理和分析,形成当日报表,提供给相关单位。监测报表应体现及时性和准确性,对监测项目应有正常、异常和危险的判断性结论。监测期间应及时提交监测报表,监测报表包括以下内容:

- 1 变位监测成果表,包括本次变化值、变化速率以及累计变化值;
- 2 监测点位置布置图;
- 3 水平位移和竖向位移变化量曲线图;
- 4 其他监测项目必要的布置图、变化量曲线图;
- 5 对达到或超过监测报警值的监测点应有报警标示,并有分析和建议;
- 6 其他相关说明和建议。

监测结束后应进行监测工作总结,提交最终监测成果报告,应包括以下内容:

- 1 外部工程概况,监测依据,监测项目,监测设备和监测方法,监测频率和监测报警值;
- 2 变位监测最终成果表,包括外部影响施工结束后平均变化速率以及最终变位累计变化值;
- 3 水平位移和竖向位移监测点位置布置图;水平位移和竖向位移随时间变化的累计变化值曲线图;
- 4 其他监测项目的布置图,随时间变化的累计变化值曲线图;
- 5 各监测项目全过程的发展变化分析及整体评述,对轨道交通结构的安全评估;
- 6 监测工作的结论和建议。

9 检查和检测

9.0.1 结构现状调查主要针对城市轨道交通结构影响较大的外部作业，在其开工的前、中、后三个阶段对结构进行的专项预防监控措施，在现状调查中应对结构变形、裂缝分布及发展、渗漏水情况、道床及轨道状态等结构健康表观指标进行详尽摸底，并留存相关图片、影像资料，必要时还应采用相应测试手段对结构混凝土强度、结构外侧地层脱空程度等予以检测判断，为后续指导应急预案编制、重点区间区段巡查工作开展和外部作业施工提供客观依据。既有结构现状调查与安全巡查的概念上有所交叉，在此处特别加以说明，以厘清其异同。

工程修建时间相对较久，当有外部作业工程邻近其施工时，应对其进行工前检测。处于运营初期的城市轨道交通结构应减少有损检测。

其中，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，能有效地分析外部作业对既有结构的影响程度，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。

9.0.2 当城市轨道交通结构累计监测数据达到或超过控制值的 60%或出现新的病害或原有病害出现发展趋势时，表明既有结构安全隐患增大或有进一步恶化的趋势，此时应开展过程调查工作。过程调查能反映既有结构的现场动态，为进一步采取措施提供依据。因既有结构可能存在不同的健康状态以及前期受扰动影响，所以此处的控制值以参考安全评估结论确定的具体值为宜。

10 轨道交通加固与修复

10.0.1 一般情况下，受损轨道交通结构的加固在外部风险源影响结束之后再予以实施；施工过程中，轨道交通结构受损较严重时，应考虑对其及时进行加固修复，以防止其进一步恶化。

轨道交通结构的修复加固一般按照如下原则进行：

- 1 加固对象包括既有结构及周围地层；
- 2 重点针对既有区间隧道、车站结构的变形裂缝、漏水及结构变形进行修复加固；
- 3 结构沉降量超过安全控制指标，产生安全影响，导致无法正常运营时，应对既有隧

道结构进行加固修复；

4 宜采用相关规范中的修复加固技术或经论证可行的修复加固技术进行修复加固。

10.0.2 影响隧道结构安全状态的因素主要包括如下 5 个层次；渗漏水、纵向沉降、横向变形、材质劣化、混凝土裂缝等，各层次的评价指标分别如下：

- 1 渗漏水：渗漏速率、PH 值、湿渍面积；
- 2 纵向沉降：接缝张开量、管片环间错台、纵向曲率半径；
- 3 横向变形：椭圆率；
- 4 材料劣化：混凝土强度、钢筋腐蚀、密封垫压缩量；
- 5 混凝土裂缝：裂缝长度、裂缝宽度、裂缝深度。

对于受损较严重、变形较大的管片，需在隧道内部对管片结构环向刚度进行修补加固，以改善隧道的受力性能，控制隧道结构的变形。由于盾构隧道建筑限界的限制，隧道结构环向刚度的加固方法有钢环加固、芳纶纤维加固、复合腔体加固等，目前常用的加固方案为内张钢环加固。对于盾构管片修补材料，《盾构法隧道施工与验收规范》（GB50446-2008）中 9.5.3 条中要求为：修补材料不应低于原管片强度。

昆明已建的地铁盾构隧道管片设计参数如表 10.0.2-1 所示：

表 10.0.2-1 昆明已建地铁盾构区间隧道衬砌圆环构造

项目	构造
管片内径	Φ 5500mm
管片厚度	350mm
管片宽度	1200mm
管片分块	六块(一个小封顶块、两个邻接块、三个标准块)
管片拼装方式	错缝拼装
封顶块插入方式	径向插入结合纵向插入式(先搭接 700mm 径向推上，再纵向插入)
管片连接	弯螺栓连接(环向：12 个 M30 螺栓；纵向：16 个 M30 螺栓)
榫槽设置	环、纵缝设凸凹榫
衬砌环类型	标准衬砌环+左、右转弯衬砌环(联络通道处设特殊衬砌环)

针对昆明地铁盾构隧道的结构特点，当运营盾构隧道管片出现下列情况之一时，可考虑在管片内部采取环向内张钢圈加固。盾构管片各项数据的检测手段可参照上海市《盾构法隧道结构服役性能鉴定规范》（DGTJ08-2123）实行。

- 1 结构缝出现漏泥沙；

- 2 错台量（含环缝和纵缝） $\Delta \geq 20\text{mm}$ ；
- 3 衬砌环横向收敛变形 $> 60\text{mm}$ （累积变化量）；
- 4 盾构隧道的衬砌管片间的连接螺栓有拉脱、剪断、较大滑移或严重损坏；
- 5 裂缝宽度 $W > 0.3\text{mm}$ 或管片存在贯通裂缝；
- 6 接缝（含环缝和纵缝）张开量 $\delta > 8\text{mm}$ 。

上述盾构管片修复标准，常常非单一情况出现，各标准之间存在一定的内在关联性。盾构隧道管片的加固尚不限于上述情况，对于管片结构出现纵缝压碎（一般情况不允许出现）、材料劣化等情况，应进行专项研究分析，并应加强环向内张钢圈的材料刚度。

加固钢环钢板各分块需现场放样确定尺寸，注浆孔位置应预留孔洞。在牛腿、邻接、封顶钢板全部安装完毕后，各钢板之间进行整体焊接，以保证形成受力整体，焊缝应采用坡口焊结合气体保护焊。

加固钢环与盾构管片间的缝隙应封堵填实，钢板应作防腐处理；加固钢环吊装到位后应植入螺栓锚固，螺栓应避开管片主筋、接缝及管线。

内张钢圈与管片之间宜采用环氧树脂类材料填充密实，环氧树脂的材料性能不宜低于以下指标：粘合强度（干） $\geq 2.0\text{MPa}$ ，粘结强度（湿） $\geq 1.0\text{MPa}$ ；抗压强度 $\geq 50\text{MPa}$ ，抗拉强度 $\geq 30\text{MPa}$ ；粘度（25 度） $75\text{mPa} \cdot \text{s}$ ；断裂延伸率 $< 10\%$ 。

根据既有软土地区盾构隧道的工程经验，当隧道结构的沉降变形速率连续 30 天在 $0.01\text{--}0.004\text{mm/d}$ 时，其可视为变形稳定状态。

外部工程活动致使盾构隧道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，隧道结构常见变形控制手段有外侧土体微扰动注浆，隧道内微扰动注浆等。

盾对于明显渗漏严重的管片，可利用管片上的二次注浆孔，向管片背后压注双液浆进行堵漏。针对不同渗漏部位，可参考表 10.0.2-2 管片不同渗漏部位的堵漏措施

表 10.0.2-2 管片不同渗漏部位的堵漏措施

渗漏部位	堵漏措施
管片吊装孔	压力注浆法，灌注改性环氧树脂浆液，环氧树脂胶泥缝外封闭处理。
管片接缝	压力注浆法，灌注超细水泥浆及改性环氧树脂浆液，环氧树脂胶泥缝外封闭处理。
管片裂缝	压力注浆法，灌注改性环氧树脂浆液，环氧树脂胶泥砼外封闭处理。

10.0.3 道床离缝、轨枕与道床离缝一般采用流动性较高的灌浆料：

- 1 打设注浆孔前应仔细核查隧道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；
- 2 注浆前应进行充分的调查研究，必要时进行模拟试验，确定合理的浆液配比，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；

3 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；

4 应严格控制注浆压力，避免因注浆压力过大使道床上拱；

轨枕与道床离缝处理步序如下：

1 沿轨枕边开槽，布置注浆孔，孔深至轨枕底部；

2 采用早强水泥进行封孔嵌缝埋管；

3 对注浆孔进行化学灌浆。

11 信息管理

11.1 一般规定

11.1.1 城市轨道交通信息管理是以现代信息技术为手段，对城市轨道交通结构安全保护信息进行计划、组织、指导和控制的管理活动。通过对城市轨道交通结构安全信息的科学管理，可以有效地了解城市轨道交通结构的健康状况，预警施工风险，动态控制及指导外部施工，避免事故的发生，使信息充分发挥作用。

11.2 监测信息

11.2.1 城市轨道交通结构的健康监测为其日常维修提供依据，主要包括沉降、位移、收敛等监测项目；外部作业实施全过程中的城市轨道交通结构监测为本标准中针对城市轨道交通结构保护的监测。

11.3 视频信息

11.3.1 现场视频监控系统是指由图像采集、传输、展示等设备及语音系统、控制软件组成的安全管理监控系统，对外部作业进行监视、跟踪和信息记录。这有利于进一步控制工程施工质量,避免事故发生。