

江苏省地方标准

DB32

J 16588—2022

DB32/T 4351—2022

城市轨道交通结构安全保护技术规程

**Technical specification for protection structures of
urban rail transit**

2022-09-16 发布

2023-04-01 实施

江苏省住房和城乡建设厅
江苏省市场监督管理局

联合发布

江苏省地方标准

城市轨道交通结构安全保护技术规程

Technical specification for protection structures
of urban rail transit

DB32/T 4351—2022

主编单位：华设设计集团股份有限公司
南京地铁集团有限公司

批准部门：江苏省住房和城乡建设厅
江苏省市场监督管理局

实施日期：2023 年 4 月 1 日

东南大学出版社

2023 南京

江苏省地方标准

城市轨道交通结构安全保护技术规程

Technical specification for projection structures of urban rail transit

DB32/T 4351—2022

主 编 单 位 华设设计集团股份有限公司
南京地铁集团有限公司

责 任 编 辑 戴 丽 宋华莉

出 版 发 行 东南大学出版社

出版社地址 南京市四牌楼 2 号，邮编：210096，电话：025-83793330

出版社网址 <http://www.seupress.com>

照 排 南京布克文化发展有限公司

印 刷 南京碧峰印务有限公司

开 本 850 mm×1168 mm 1/32

印 张 3.875

字 数 98 千字

版 次 2023 年 2 月第 1 版

印 次 2023 年 2 月第 1 次印刷

统 一 书 号 75641·494

定 价 44.00 元

图书如有印装质量问题，可随时寄印刷厂调换。

前 言

根据《省住房城乡建设厅关于印发〈2018年度江苏省工程建设标准和标准设计编制、修订计划〉的通知》（苏建科〔2018〕609号）的要求，华设设计集团股份有限公司、南京地铁集团有限公司组织有关单位，以现行国家、行业和地方标准规范和有关规定为依据，经过大量调查研究，认真总结实践经验，在广泛征求意见的基础上制定本规程。

本规程于2022年9月16日经江苏省住房和城乡建设厅、江苏省市场监督管理局批准发布，自2023年4月1日起实施。

本规程共8章和6个附录，主要技术内容包括：1 总则；2 术语；3 基本规定；4 既有结构保护；5 外部作业控制；6 接口改造；7 安全监测；8 地下结构病害治理；附录A～附录F。

本规程由江苏省住房和城乡建设厅负责管理，由华设设计集团股份有限公司和南京地铁集团有限公司负责技术内容的解释。各单位在执行过程中若有修改意见或建议，请反馈至江苏省工程建设标准站（地址：南京市江东北路287号银城广场B座4楼；邮编：210036），以供今后修编时参考。

本规程主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人：

主 编 单 位：华设设计集团股份有限公司

南京地铁集团有限公司

参 编 单 位：苏州轨道交通集团有限公司

同济大学

中铁第六勘察设计院集团有限公司

主要起草人：余才高 王 涛 张伯林 朱义欢 李 浩

沈晓伟 张学华 郑 军 张书丰 查红星

刘建国 肖军华 汪 乐 高 永

主要审查人：刘加平 史海欧 刘松玉 王如路 樊有维
刘芝平 谢 波

目 次

1	总则	1
2	术语	2
3	基本规定	4
3.1	一般规定	4
3.2	外部作业影响等级	5
3.3	外部作业净距控制值	7
3.4	结构安全控制指标	9
4	既有结构保护	10
4.1	一般规定	10
4.2	现状调查和现场巡查	10
4.3	安全评估	12
4.4	地下结构保护	13
4.5	地面和高架结构保护	14
5	外部作业控制	16
5.1	一般规定	16
5.2	基坑工程	16
5.3	隧道工程	18
5.4	基础工程	19
5.5	降水工程	21
5.6	其他工程	22
6	接口改造	24
6.1	一般规定	24
6.2	技术要求	24
6.3	实施要求	25
7	安全监测	27

7.1	一般规定	27
7.2	监测项目	27
7.3	监测点布设	30
7.4	监测技术要求	32
8	地下结构病害治理	34
8.1	一般规定	34
8.2	安全状态与病害分级	34
8.3	病害治理要求	38
附录 A	接近程度和外部作业工程影响分区	40
附录 B	其他工程的作业影响等级	44
附录 C	结构安全控制指标	45
附录 D	安全评估技术要求	49
附录 E	监测频率要求	51
附录 F	地下结构病害治理措施	54
	本规程用词说明	58
	引用标准名录	59
	条文说明	61

1 总 则

1.0.1 为保护城市轨道交通结构，明确结构安全保护的技术要求和规范外部作业控制的技术标准，确保结构的承载能力和正常使用，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于江苏省内在建、已建成及已运营的城市轨道交通结构的安全保护工作。城际轨道交通和市域（郊）铁路的结构安全保护工作可参照执行。

1.0.3 城市轨道交通结构的安全保护除应符合本规程外，尚应符合国家及行业现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 城市轨道交通结构 urban rail transit structure

保障城市轨道交通列车安全运营和结构体系稳定的主要受力结构,指城市轨道交通结构本体,包括地面和高架结构、地下结构及相关附属结构。

2.0.2 控制保护区 control and protection area

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

2.0.3 特别保护区 special control and protection area

在城市轨道交通结构的控制保护区内,紧邻结构的一定范围内设置的重点保护区域。

2.0.4 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各类外部工程,主要包括基坑、隧道、基础、降水及其他工程等,其他工程主要有道路、绿化、管线和水利工程及冻结、起重、钻孔和爆破等作业。

2.0.5 安全评估 safety assessment

根据外部作业的设计与施工方案、城市轨道交通现状调查情况及保护方案等,通过计算分析、工程类比或相关试验等手段,评估外部作业对城市轨道交通结构安全影响程度的工作。

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 净距控制值 value for net distance control

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

2.0.8 安全控制标准 standard for safety control

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

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

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

2.0.10 现状调查 investigation of present state

现状调查指对城市轨道交通结构的状态调查,包括外部作业实施时的工前调查、过程调查及工后确认。工前调查是对既有结构初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状态的跟踪监控;工后确认是在外部作业完成后对既有结构状态的再次确认。

2.0.11 接口改造 interface modification

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

2.0.12 结构安全监测 structure safety monitoring

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

2.0.13 监测预警等级 alarming class on monitoring

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。

2.0.14 地下结构病害 underground structural disease

影响城市轨道交通结构安全性和耐久性的现象,包括渗漏水、管片裂损、管片错台、收敛变形及不均匀沉降等。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 城市轨道交通结构安全保护工作包含既有结构保护、外部作业控制、接口改造、安全监测及结构病害治理等内容。

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

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

3.1.4 城市轨道交通沿线应设置控制保护区，设置范围应符合下列规定：

1 地下车站与隧道结构外边线外侧不小于 50 m，其中，过江（河、湖）段隧道结构外边线外侧不小于 100 m。

2 地面和高架车站、路基和桥梁结构外边线外侧不小于 30 m。

3 附属建（构）筑物（含出入口、换乘通道、通风道、冷却塔和变电站等）结构外边线及车辆基地用地范围外侧不小于 10 m。

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

1 地下车站与隧道结构外边线外侧不小于 5 m，其中，过江（河、湖）段隧道结构外边线不小于 50 m。

2 地面和高架车站、路基和桥梁结构外边线外侧不小于 3 m。

3 附属建（构）筑物（含出入口、换乘通道、通风道、冷却塔和变电站等）结构外边线及车辆基地用地范围外侧不小于 5 m。

3.1.6 遇特殊工程地质和水文地质、特殊的外部作业或既有结构存在较大结构病害时，城市轨道交通控制保护区和特别保护区范围可适当扩大。

3.1.7 城市轨道交通线网中相邻线路分期建设时，先建工程应充分考虑后建工程的建设影响及需要，为后建工程预留实施条件。

3.1.8 城市轨道交通结构的安全控制应包括：外部作业影响等级、外部作业净距控制值、结构安全控制指标。

3.2 外部作业影响等级

3.2.1 外部作业影响等级应综合考虑其作业特点、与城市轨道交通结构的空間关系、轨道交通结构类型及现状、工程地质与水文地质条件等后确定。

3.2.2 外部作业为基坑工程、隧道工程（矿山法、盾构法或顶管法工程）等时，其影响等级应按表 3.2.2 进行划分，其中接近程度和外部作业工程影响分区宜按本规程附录 A 确定。

表 3.2.2 外部作业影响等级的划分

外部作业的 工程影响分区	接近程度			
	非常接近	接近	较接近	不接近
强烈影响区（A）	特级	特级	一级	二级
显著影响区（B）	特级	一级	二级	三级

(续表)

外部作业的 工程影响分区	接近程度			
	非常接近	接近	较接近	不接近
一般影响区 (C)	一级	二级	三级	四级
较小影响区 (D)	二级	三级	四级	四级

注：1. 本表适用于围岩级别为Ⅳ、Ⅴ的情况；围岩级别为Ⅰ～Ⅲ的情况，表中的影响等级可降低一级，四级以下仍定为四级；软土地区，表中的影响等级应提高一级，特级时不再提高。

2. 围岩级别应按现行标准《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB 50307 中的有关规定确定。

3.2.3 外部作业为其他工程（道路及地下管线工程等）时，其影响等级宜根据城市轨道交通的结构类型、外部作业与轨道交通结构的空間关系，参照附录 B 确定。采用明挖法的管线工程可参照基坑工程进行分级。

3.2.4 当外部作业影响范围内存在多种类型的城市轨道交通结构时，可根据结构类型的不同，分别确定影响等级，并取其较高等级作为工程影响等级。

3.2.5 特殊情况下外部作业影响等级按下列原则调整：

1 当城市轨道交通结构处于复杂的工程地质和水文地质条件或存在地质灾害的情况时，外部作业影响等级应提高一级。

2 对于涉及抽降承压水的外部作业工程，其影响等级应提高一级。

3 联络通道等结构特殊区段、结构病害严重或结构变形较大时，外部作业影响等级可提高一级。

4 当基坑深度超过 5 m，若临近城市轨道交通结构侧边长超 100 m 或开挖面积超 10 000 m²，其影响等级可提高一级。

3.2.6 重大影响外部作业指对城市轨道交通结构安全有重大影响的项目，主要包括：

1 影响等级划分为特级、一级的外部作业。

2 影响等级为二级的外部作业，但轨道交通结构周边土体以淤泥、淤泥质土或其他高压缩性土为主或轨道交通结构处于断裂破碎带、岩溶、土洞、松散岩土体等不良地质体或特殊性岩土发育区域。

3 对城市轨道交通结构影响较大的地下水作业，特别是抽降承压水作业。

4 穿越轨道交通地下结构的作业，不含尺寸及埋深较小的明挖小型管沟、明渠及牵引拖拉管等交叉作业。

3.3 外部作业净距控制值

3.3.1 外部作业净距控制值宜符合表 3.3.1 的规定。

表 3.3.1 外部作业净距控制值

单位：m

外部作业		轨道交通结构类型			
		地下结构		地面结构	高架结构
		装配式	现浇		
围护桩、地下连续墙*		≥7.0	≥5.0	≥5.0	≥5.0
工程桩*	非挤土桩	≥5.0	≥3.0	≥3.0	≥3.0
	挤土桩	≥30.0	≥20.0	≥6.0	≥6.0
锚杆、锚索、土钉（末端）*		≥10.0	≥6.0	≥6.0	≥6.0
上方基坑 [#]		≥4.0	—	—	—
穿越隧道 [#]		≥2.0	—	—	—
钻探孔*		≥6.0	≥3.0	≥3.0	≥3.0
起重、吊装设备 （站位及吊物）		—		≥6.0	≥6.0
搭建棚架及宣传标志		—		≥6.0	≥6.0
存放易燃物料		—		≥6.0	≥6.0

(续表)

外部作业	轨道交通结构类型			
	地下结构		地面结构	高架结构
	装配式	现浇		
浅孔爆破*	≥ 15.0		≥ 15.0	≥ 15.0
深孔爆破*	≥ 50.0		≥ 50.0	≥ 50.0

注：1. *、#分别指外部作业与城市轨道交通结构外边线之间的水平投影净距、竖向净距；装配式地下结构指盾构法或顶管法隧道以及其他拼装地下结构。

2. 灌注桩采用冲孔、振动工艺时，按挤土桩考虑；围护桩、地下连续墙不含接口改造作业。

3. 上方基坑作业的竖向净距不宜小于 $1.0D$ ，且不小于 4.0 m ；下穿隧道作业的竖向净距不宜小于 $1.0D$ ，且不小于 2.0 m ； D 为新建隧道及既有结构外径或宽度的最大值。

4. 当地基土以软弱土为主时，表中的净距控制值宜适当提高，并从严控制。

5. 对不满足净距控制值的，须经专题专项论证确定。

3.3.2 油气、燃气、天然气等易燃易爆物的净距控制值应按现行国家标准《石油天然气工程设计防火规范》GB 50183 和《输气管道工程设计规范》GB 50251 的要求，综合考虑其防火、防爆的安全保护要求后确定。

3.3.3 汽车加油加气站的净距控制值应按现行国家标准《汽车加油加气站设计与施工规范》GB 50156 的要求确定。

3.3.4 外部作业与越江（河、湖）城市轨道交通地下结构、跨江桥梁的净距控制值应根据实际情况进行确定，并不宜小于表 3.3.1 中相应数值的 3 倍。

3.3.5 高压电力管线、架空电力线等设施的净距控制值应按现行国家标准《66 kV 及以下架空电力线路设计规范》GB 50061、《110 kV~750 kV 架空输电线路设计规范》GB 50545 及《城市工程管线综合规划规范》GB 50289 等的要求确定。

3.4 结构安全控制指标

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

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

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

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

3.4.5 结构安全控制指标值宜符合本规程附录 C 的规定。

4 既有结构保护

4.1 一般规定

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

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

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

4.1.4 外部作业实施时，应结合现场巡查和监测数据，动态调整结构安全保护方案与措施。

4.2 现状调查和现场巡查

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

4.2.2 城市轨道交通结构的调查范围应根据外部作业类别及其影响等级综合确定，并宜符合表 4.2.2 的规定：

表 4.2.2 现状调查范围

外部作业类别	影响等级				
	特级	一级	二级	三级	四级
基坑工程	$L+6h$	$L+(4\sim6)h$	$L+4h$	$L+2h$	L
隧道工程	$L+6D$	$L+(4\sim6)D$	$L+4D$	$L+2D$	L
管线工程	$L+20\text{ m}$	$L+10\text{ m}$	$L+5\text{ m}$	L	—
道路工程	$L+30\text{ m}$	$L+20\text{ m}$	$L+10\text{ m}$	L	—

注：1. L 表示外部作业的平面投影范围， h 表示基坑深度， D 表示隧道外径或宽度。

2. 其他外部作业，如降水、桩基、地基加固等工程，应结合影响范围、接近程度、地质条件、施工工艺、地区工程经验等综合确定其调查范围。

4.2.3 工前调查应在安全评估之前进行，调查应包含但不限于以下内容：

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

4.2.4 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、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 既有结构原有病害出现较快发展或新增病害较多。

4.2.5 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。

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

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

4.2.8 当现场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。

4.3 安全评估

4.3.1 安全评估宜贯穿于外部作业的设计、实施等各阶段,包括城市轨道交通结构的现状评估、外部作业影响预评估、外部作业施工过程评估和外部作业影响后评估,安全评估的流程如图 4.3.1 所示。

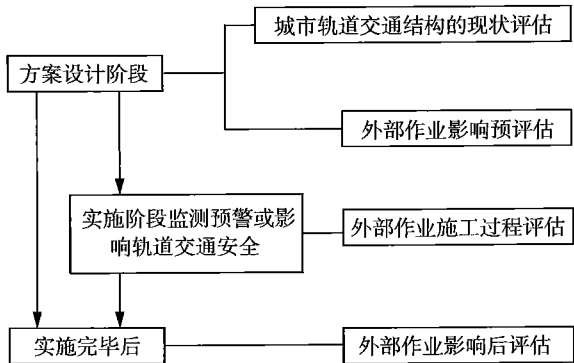


图 4.3.1 安全评估流程

4.3.2 城市轨道交通结构的现状评估应在外部作业实施前,通过现状调查、检测、测量和计算分析等手段,评估当前既有结构的安全状态及剩余抗变形能力、承载能力,并确定相应的结

构安全控制指标值。

4.3.3 外部作业影响预评估应在外部作业实施前,采用理论分析、数值模拟和工程类比等方法,预测外部作业对城市轨道交通结构的影响程度,评估外部作业方案和既有结构保护方案的可行性。

4.3.4 外部作业施工过程评估应根据城市轨道交通结构的监测数据、过程调查和外部作业预评估成果,及时评估既有结构当前的安全状态。

4.3.5 外部作业影响后评估应在外部作业完成后进行,根据外部作业对城市轨道交通结构造成的影响程度评估结构的安全状态;若结构变形较大或产生的病害较严重,则应根据轨道交通结构安全和运营安全要求,提出相应的修复、加固等治理措施。

4.3.6 安全评估应形成专项评估报告,内容包含对城市轨道交通结构的安全影响分析、结论及建议等,并应符合附录 D 的技术要求。

4.4 地下结构保护

4.4.1 城市轨道交通地下结构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。外部作业的重型设施和设备应与既有结构保持一定的安全距离。

4.4.2 在城市轨道交通控制保护区内进行加载或卸载作业时,应验算其对地下结构安全的影响,并应满足相应结构安全控制指标的要求。

4.4.3 在城市轨道交通控制保护区内进行工程勘探、拉锚、降水等钻孔作业时,应严格控制其与既有地下结构的净距,并制定安全可靠的作业方案。

4.4.4 在城市轨道交通控制保护区内新建建筑物时,应验算其

建成后在地层中产生的附加荷载对既有地下结构的影响。对于新建高层建筑，可采取增大建筑退界、减少结构荷载、增大桩基刚度或采用端承桩等措施，降低外部作业完成后地层的后续沉降对既有地下结构的影响。

4.4.5 在城市轨道交通结构上方进行原有建筑拆除时，应采取逐层拆除辅以监测等有效措施，避免既有地下结构上方荷载的急剧变化。

4.4.6 在城市轨道交通车站等明挖结构上方进行道路、管线等外部作业时，应与既有地下结构的防水保护层保持合理的安全距离。当外部作业需部分凿除结构压顶梁或冠梁时，不得影响既有结构本体安全和抗浮安全，并应满足防渗漏要求。

4.4.7 在城市轨道交通地下结构周边进行注浆、旋喷等有附加压力的外部作业时，宜通过工程类比或相似地层中的压力控制试验，合理确定压力控制参数，使作用于既有结构侧壁上的附加荷载不大于 20 kPa。

4.4.8 过江（河、湖）段城市轨道交通控制保护区内不应进行采砂、抛锚或拖锚等水下作业，水下清淤疏浚作业应保证城市轨道交通结构上方覆土厚度不小于设计要求。

4.4.9 临近城市轨道交通地下车站、敞口段的外部作业应采取有效的防淹、排涝措施，避免施工期间外部水源进入轨道交通地下空间内。

4.5 地面和高架结构保护

4.5.1 外部作业禁止施工侵限、车辆碰撞、设备侧翻、物体坠入，并应防止火灾、水淹等危及城市轨道交通结构和设备设施安全的事件。

4.5.2 上跨城市轨道交通地面或高架结构的外部作业，与轨道

及接触网等的净空应满足行车安全和运营维保的要求，并应针对轨道交通结构和行车安全设置防护措施，严禁物体坠入轨行区。

4.5.3 与城市轨道交通地面或高架结构交叉的市政道路应设置限高标志和防护、防撞设施。

4.5.4 与城市轨道交通地面或高架结构并行的桥梁等交通设施，应保持足够的安全距离或设置通长的防撞墙。

4.5.5 当城市轨道交通结构邻近高边坡、高挡墙、高压铁塔等高大建（构）筑物时，外部作业应保证高大建（构）筑物及其基础的安全。

4.5.6 城市轨道交通地面或高架结构上方进行跨线架空作业时，应满足本规程 3.3.1 条和现行国家标准《66 kV 及以下架空电力线路设计规范》GB 50061、《110 kV～750 kV 架空输电线路设计规范》GB 50545 的有关规定。

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

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

5 外部作业控制

5.1 一般规定

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

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

5.1.3 临近城市轨道交通线路建设对振动、噪声等敏感的建（物）筑物时，应充分考虑城市轨道交通运营对其产生的环境影响，并做好相关控制措施。

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

5.1.5 外部作业应综合考虑施工、工后沉降或运营振动等对城市轨道交通结构造成的直接不利影响，同时也应考虑因外部作业导致周边建（构）筑物、地下管线变形过大或破坏对轨道交通结构造成的间接不利影响。

5.2 基坑工程

5.2.1 外部基坑工程应遵循“近浅远深，近小远大，先远后近”的设计和施工原则，并应综合考虑基坑施工全过程及上部

建筑施工对城市轨道交通结构的不利影响。

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

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

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

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

5.2.6 当外部基坑横跨城市轨道交通结构时,分坑措施宜符合下列规定:

1 采取地基土体加固措施时,加固体与轨道交通结构的水平及竖向净距均不宜小于 2 m。

2 单体基坑施工对轨道交通结构影响较大,且结构安全状态达到 3 级及以上时应从严控制,必要时可在基坑内设置临时压重措施。

3 基坑沿既有结构纵向分区长度不宜超过基坑与既有结构的竖向净距。

4 既有结构上方地下室宜增加抗浮措施。

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

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

施工辅助措施以降低施工影响。

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

5.2.10 基坑开挖影响深度内的潜水、微承压水与承压水控制应符合本规程第 5.5 节的相关规定。

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

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

5.2.13 临近城市轨道交通结构侧的基坑围护结构与地下室结构之间存在空隙时，宜采用素混凝土回填密实，不得采用杂填土、建筑垃圾等性质较差或不稳定的材料。当空隙较大且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 600 mm 厚的混凝土或不小于 400 mm 厚的钢筋混凝土支撑板带。

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

5.3 隧道工程

5.3.1 新建隧道上穿、下穿或侧穿城市轨道交通结构时，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、顶管法等非开挖工法。

5.3.2 新建隧道与城市轨道交通结构交叉时，线路宜设计为直线，并优先以大角度从结构上方穿越；从结构下方穿越时应符

合表 3.3.1 和第 3.3.4 条的相关规定，并应避开变形缝、结构开洞等薄弱位置。

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

5.3.4 新建隧道采用盾构法、顶管法等非开挖工法施工时，应符合以下规定：

1 穿越施工前设置试验段，根据试验结果优化并确定施工参数。

2 在结构交叉段宜设置特殊管片并增加预留注浆孔数量，遵循微扰动掘进原则，减小穿越影响。

3 不得在穿越影响区内进行换刀、停机和姿态大幅度调整等作业。

4 实施高精度自动化监测。

5.3.5 新建隧道穿越施工时不宜进行降水作业，如需降水应进行专项论证。

5.3.6 新建隧道为有水、有压管道时，应加强接头渗漏和腐蚀防护，防止结构渗漏对轨道交通结构造成不利影响。

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

5.4 基础工程

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

5.4.2 地基处理作业应采用对环境影响小、施工质量好的施工

工艺,不宜采用预压、强夯、挤(振、冲)等对环境影响较大的作业方式,并应预先在城市轨道交通结构安全影响范围外进行试验施工,以确定施工工艺和参数。

5.4.3 桩基作业应综合考虑下列因素对城市轨道交通结构的不利影响:

- 1 桩基的成孔质量。
- 2 不同桩型及成桩工艺的振动效应、挤土效应。
- 3 上部结构通过桩基传递至土层中的附加应力。

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

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

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

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

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

- 1 对垂直于既有结构轴线的横向排桩,应遵循“先近后远”的实施原则。
- 2 对平行于既有结构轴线的纵向排桩,宜遵循“先中间后两端”的实施原则。
- 3 对沿既有结构轴线两侧的桩基,宜对称实施。

4 控制挤土桩的沉桩速率，单日沉桩数量不宜过多，并根据监测情况及时调整。

5.5 降水工程

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

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

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

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

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

1 采用悬挂式竖向隔水帷幕和水平封底隔渗相结合的方案。

2 按照近浅远深的原则布置降水系统。

3 增大止水帷幕深度、设置坑外地下水回灌井。

4 分区分坑按需降水。

5.5.6 当需要抽降承压水时，降水作业还应符合下列规定：

1 坑内降压井的滤管底部宜高于止水帷幕底，其高差应根据水文地质条件和降水试验或地区经验综合确定。

2 选择合适的滤网、滤料，并确保成孔和回填滤料的施工

质量，防止抽水带走土层中的细颗粒。

3 根据现场抽水试验及渗流场计算结果，结合开挖工况，根据“按需降压”的原则确定降水方案。

5.6 其他工程

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

5.6.2 城市轨道交通控制保护区内的地下管线工程应符合下列规定：

1 采用顶管法施工时，应考虑工作井的基坑、进出洞加固措施、工作井后背墙的承载力对轨道交通结构的不利影响；穿越城市轨道交通施工区段宜采取跟踪注浆措施。

2 采用拖拉管施工时，应严格控制导向钻孔轴线，管线与回钻扩孔之间的空隙应注浆充填饱满。

3 采用明挖法施工时，应符合本规程第 5.2 节基坑工程的规定。

4 输油、输气、供水等压力管道不应下穿轨道交通地下和地面结构。

5 管道接头部位应采取可靠的密封、刚度加强或土体加固等措施，防止接头渗漏引起的轨道交通结构周边水土流失。

6 采用钢管、铸铁等易腐蚀材料的管道，应结合轨道交通杂散电流的影响采取主动防护措施。

5.6.3 城市轨道交通控制保护区内的爆破作业应符合下列规定：

1 不应在轨道交通控制保护区内进行爆破作业。由于特殊情况需要爆破作业的，应进行爆破安全评估和爆破设计与施工

技术论证，并满足本规程第 3.3.1 条和现行国家标准《爆破安全规程》GB 6722 的规定。

2 爆破作业在轨道交通结构上产生的振动速度不应超过 2.5 cm/s，有特殊要求或安装有精密设备时，振动速度应从严控制；爆破作业时间应选择在轨道交通非运营期间进行。

3 应采取控制爆破作业，不得进行硐室爆破、深孔爆破等药量较大的爆破作业。

5.6.4 城市轨道交通控制保护区内的其他作业，应符合下列规定：

1 冻结法外部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。

2 塔吊等起重吊装设备与轨道交通结构的净距应满足表 3.3.1 的要求，其作业半径不应覆盖轨道交通地面或高架结构，并与既有结构保持一定的安全距离，且应采取有效措施防止起重吊装设备倾倒。

3 钻探（孔）作业与轨道交通结构的净距应严格满足表 3.3.1 的要求，探孔完成后应采取有效封堵措施。

4 河道整治等水利工程应综合考虑河道疏浚、堤防加固、蓄水等作业对轨道交通结构的不利影响。

5 建（构）筑物拆除时，应采取有效措施控制倒塌或坠落物体对轨道交通结构产生的冲击和振动影响。

6 接口改造

6.1 一般规定

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

6.1.2 地下接口施工或改造作业对城市轨道交通结构的影响等级参照外部基坑作业执行，当未预留接口时，相应的影响等级应提高一级。

6.1.3 接口改造作业应符合国家、地方相关规范及技术标准的要求，应综合考虑改造作业需求和既有结构特点，除满足新建结构的自身安全外，还应保证既有结构、设施安全及线路运营安全。

6.2 技术要求

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

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

6.2.3 既有结构的破除、改造和新建结构的基坑支护、开挖、降水等作业应尽量减少对既有结构的影响，避免造成结构构件

损伤；当既有结构构件产生损伤时，应及时采取有效的加固措施，治理后构件应满足后续使用年限的要求。

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

6.2.5 接口改造工程应采取安全可靠的防淹措施，以满足改造中及改造后工程的防洪和排水要求，并进行防洪防涝评估。对采用下沉式结构连接的接口工程，连接处地坪标高应低于相连城市轨道交通结构的地坪标高，且外部排水系统应满足百年一遇的设防标准，采用双电源供电，严禁倒灌至车站。

6.2.6 改造后的接口应满足城市轨道交通结构的建筑功能需求，在新建结构与轨道交通结构之间宜视情况设置变形缝，并不得降低既有结构的使用年限、耐久性和安全性。

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

6.3 实施要求

6.3.1 城市轨道交通结构的接口改造设计与施工，应具备以下资料：

1 场地岩土工程勘察资料、既有结构及机电设备的设计图纸、既有结构施工记录及竣工图等资料，并应通过现场调查、测绘、物探或检测等手段进行补充。

2 既有结构使用现状的监测或鉴定资料，包括变形观测、裂缝观测、倾斜观测等数据。

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

1 当采用柔性连接方式时，接口部位应设置变形缝，并采

取相应的防水措施。

2 当采用刚性连接方式时,接口部位可采取地基加固、沉降调节桩等措施提高抗变形能力。

3 接口的防渗要求不低于与之相接的既有结构。

6.3.3 接口改造的基坑工程,应采取措施控制单边卸载对既有结构的影响。

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

6.3.5 既有结构接口应采用静力切割的方式进行破除。未预留接口时,在距离保留结构 300 mm 范围内宜采用人工凿除方式,凿除范围内钢筋应保持完整性,并应采取临时支撑、分块拆除等措施。

6.3.6 新建结构应与既有结构直接连接,连接面应采用人工凿毛处理,凿毛后应清理干净,连接面宜涂刷界面剂,提高黏结强度。

6.3.7 当城市轨道交通结构未预留连接条件时,可采用植筋方式连接或凿出既有结构钢筋进行焊接。采用植筋时,植筋深度应满足设计要求;采用凿出既有结构钢筋进行焊接时,焊接长度应符合规范要求。

6.3.8 接口改造作业应满足以下要求:

1 细化组织设计,尽量缩短工期,以减小对城市轨道交通正常运营的影响。

2 采取临时防雨、防淹措施,确保雨水不倒灌至既有结构接口处,并做好施工期间运营车站内乘客的疏导及防护工作。

3 采取有效措施控制施工现场的各种粉尘、废气、废弃物、噪声、振动等对周围环境造成的污染和危害。

7 安全监测

7.1 一般规定

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

7.1.2 应在外部作业实施前完成监测点的布设并采集初始值，施工过程中应进行动态监测，监测成果应能准确及时反映监测对象的变化特征和安全状态。

7.1.3 监测方法宜采用仪器量测、现场巡视或远程视频监控等多种手段相结合的综合监控方法，当外部作业影响等级为特级、一级时，宜采用自动化监测。

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

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

7.1.6 监测的技术标准、测量精度等应符合现行国家标准的规定。

7.2 监测项目

7.2.1 监测项目应根据外部作业影响等级确定，与各监测对象匹配，满足工程设计、施工要求，并能及时反映外部作业对城

市轨道交通结构安全的影响。

7.2.2 地面结构的监测项目应根据表 7.2.2 选择。

表 7.2.2 地面结构监测项目

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

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

7.2.3 地下结构的监测项目应根据表 7.2.3 确定。

表 7.2.3 地下结构监测项目

序号	监测对象	监测项目	外部作业影响等级				
			特级	一级	二级	三级	四级
1	明挖法或矿山法地下结构	竖向位移	应测	应测	应测	宜测	宜测
2		水平位移	应测	应测	应测	宜测	宜测
3		接缝处差异沉降	应测	应测	应测	宜测	可测
4		结构裂缝	应测	应测	宜测	可测	可测
5		立柱竖向位移	应测	宜测	可测	可测	可测
6		结构倾斜	宜测	可测	可测	可测	可测

(续表)

序号	监测对象	监测项目	外部作业影响等级				
			特级	一级	二级	三级	四级
7	盾构法或顶管法地下结构	竖向位移	应测	应测	应测	宜测	宜测
8		水平位移	应测	应测	应测	宜测	可测
9		相对收敛	应测	应测	宜测	宜测	宜测
10		接缝、裂缝	应测	应测	宜测	可测	可测
11		隧道断面尺寸	应测	宜测	宜测	可测	可测

7.2.4 高架结构的监测项目应根据表 7.2.4 选择。

表 7.2.4 高架结构监测项目

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

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

7.2.6 当遇到下列情况时，应对城市轨道交通结构附近的环境进行监测：

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，若实施抽降承压水作业，还应监测既有结构附近的承压水位。

2 软土地区，轨道交通结构对外部作业敏感时，应对既有结构附近的土体分层竖向位移或深层水平位移进行监测。

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

7.2.8 当外部作业需要采用爆破施工时，应监测城市轨道交通结构的振动速度。

7.2.9 当外部作业影响等级为特级时，应监测道床与轨道变位；当外部作业影响等级为一级时，宜监测道床与轨道变位；其他情况道床与轨道变位可根据工程实际情况选测，并应符合《城市轨道交通设施运营监测技术规范 第4部分：轨道和路基》GB/T 39559.4 的有关规定。

7.3 监测点布设

7.3.1 监测点的布设位置、数量，应根据监测对象的类型和特征、外部作业影响等级、监测项目和监测方法的要求等综合确定，并能反映轨道交通结构和周边环境安全状态的要求。

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

7.3.3 监测点的布设范围应覆盖受外部作业影响的全部城市轨道交通结构，反映影响的时间和空间的变化规律，并不宜小于本规程表 4.2.2 的调查范围。

7.3.4 在城市轨道交通结构周边采取抽降承压水作业时，应根据降水影响范围和影响程度调整监测点的布设范围。

7.3.5 监测点位置应结合安全评估成果，布设在监测对象变形和内力的关键特征部位上，监测点的布置要求宜符合表 7.3.5 的规定。地下结构曲线段监测断面的间距可适当加密。

表 7.3.5 监测点布置要求

序号	监测项目	监测点位置	监测断面间距		
			强烈影响区	显著影响区	一般及较小影响区
1	竖向位移	地下结构底板、拱顶、侧墙、道床；地面及高架结构底层柱、桥面、桥墩	3 m~5 m	5 m~10 m	10 m~20 m
2	水平位移	地下结构底板、拱顶、侧墙；地面及高架结构桥面、结构顶部、桥墩	3 m~5 m	5 m~10 m	10 m~20 m
3	相对收敛	地下结构每监测断面布置不少于两条测线	3 m~5 m	5 m~10 m	10 m~20 m
4	隧道断面变形	监测断面与线路纵向垂直，点位于断面上均匀布置	3 m~5 m 或重点位置布设	5 m~10 m 或重点位置布设	10 m~20 m 或重点位置布设
5	接缝、裂缝	结构接缝位置、裂缝位置两侧	缝的两侧均匀布置		
6	地下水水位	外部作业空间与轨道交通结构之间	孔间距 15 m~25 m		
7	土体深层水平位移	临近地下结构的支护结构和土体位置	按变形断面或重点位置布设		
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		

注：表中外部作业工程影响分区可参照附录 A 执行，对于无明确影响分区划分的其他工程可根据工程实践合理确定。

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

7.4 监测技术要求

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

7.4.2 城市轨道交通结构的监测基准点应设置在远离外部作业施工影响区且变形稳定之处。

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

7.4.4 监测频率可按照本规程附录 E 的要求执行。其中基坑工程的监测频率可根据施工作业工况对轨道交通结构的影响程度进行调整。监测实施过程中，可根据变形速率合理调整监测频率，当测量数据达到报警值后，应加大监测频率、加强外部作业的工况巡查和轨道交通结构安全状态巡查，必要时应采用自动化监测手段进行连续监测。

7.4.5 监测预警等级，应根据结构监测值的大小和变化趋势，以及相应的结构安全控制指标值进行划分。等级划分及应对措施应符合表 7.4.5 的规定。

表 7.4.5 监测预警等级划分及应对管理措施

监测预警等级	监测比值 G	应对管理措施
—	$G < 0.6$	可正常进行外部作业
黄色预警	$0.6 \leq G < 0.8$	监测报警，并采取加密监测点或提高监测频率等措施加强对城市轨道交通结构的监测
橙色预警	$0.8 \leq G < 1.0$	应暂停外部作业，进行施工过程安全评估工作，各方共同制定相应安全保护措施，并经技术审查后，开展后续工作
红色预警	$1.0 \leq G$	启动安全应急预案

注：1. 监测比值 G = 监测项目实测值/结构安全控制指标值。

2. 当同一测点每天的监测数据变化率值连续三天超过 2 mm 时，监测预警等级应评定为橙色。

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

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

7.4.8 城市轨道交通结构数据趋于稳定的标准为最后 100 d 的平均变形速率小于 0.04 mm/d 时,软土地区变形稳定标准可放宽至小于 0.06 mm/d。

7.4.9 应定期分析监测数据,当对变形监测成果存疑时,应进行复测并检核。

7.4.10 进行高层建筑附加变形影响测量的,应满足下列规定:

1 在城市轨道交通结构与新建建筑结构之间的土体内设置分层沉降观测项目,深度范围宜自地面至隧道结构底部以下 5 m。

2 分层沉降观测点布设密度应结合土层设置,间距不宜大于 5 m,且在隧道结构的顶部、腰部、底部对应的深度宜设置观测点。

3 应结合外部作业施工工况及时开展,至外部建筑沉降稳定为止。

4 监测频率可根据变形情况确定,但不宜低于 1 次/季度。

8 地下结构病害治理

8.1 一般规定

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

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

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

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

8.2 安全状态与病害分级

8.2.1 城市轨道交通地下结构类型主要有盾构法、明挖法和矿山法等，结构安全状态分级应符合表 8.2.1 的规定。

表 8.2.1 城市轨道交通地下结构安全状态分级

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

8.2.2 城市轨道交通地下结构病害导致既有设施设备侵入建筑限界的,应将结构安全状态评定为 5 级。当结构安全状态达到 4 级及以上时,应进行病害治理专项论证。

8.2.3 盾构法结构病害主要包括渗漏水、管片裂缝与破损、管片接缝错台、收敛变形及纵向不均匀沉降等,各类型病害分级标准可按表 8.2.3-1~8.2.3-6 划分。

表 8.2.3-1 盾构法结构渗漏水病害分级标准

分级	分级标准
1 级	无;表面有少量湿渍,无肉眼可见漏水源
2 级	有渗水,无滴漏
3 级	有滴水,无漏泥,滴水频率小于 60 滴/min,位于侧面,不影响行车安全
4 级	隧底涌流、道床下沉,影响正常运行;拱部滴漏,边墙滴水,影响正常运行
5 级	涌水;漏泥漏砂;拱部线漏、涌流或直接传至接触网,危及行车安全

注:1.“,”表示均需满足,“;”表示任意满足,不均匀沉降、收敛变形严重区段可酌情提高等级。

2. 本表适用于接触网位于拱顶的常规盾构隧道,接触网位于隧道侧面可参照执行。

表 8.2.3-2 盾构法结构管片裂缝病害分级标准

分级	分级标准
1 级	$W < 0.2 \text{ mm}$
2 级	$0.2 \text{ mm} \leq W < 0.5 \text{ mm}$
3 级	$0.5 \text{ mm} \leq W < 1.0 \text{ mm}$
4 级	$1.0 \text{ mm} \leq W < 2.0 \text{ mm}$
5 级	$W \geq 2.0 \text{ mm}$

注:W 表示裂缝宽度。

表 8.2.3-3 盾构法结构管片破损病害分级标准

分级	分级标准
1 级	保护层无剥落，无掉角掉块现象，无可见裂缝
2 级	压溃面积很小； $S \leq 5 \text{ mm}$ ； $D \leq 50 \text{ mm}$
3 级	压溃面积小于 1 m^2 ； $5 \text{ mm} < S \leq 30 \text{ mm}$ ； $50 \text{ mm} < D \leq 75 \text{ mm}$
4 级	压溃面积 $1 \text{ m}^2 \sim 3 \text{ m}^2$ ； $30 \text{ mm} < S \leq$ 衬砌厚度的 $1/4$ ； $75 \text{ mm} < D \leq 150 \text{ mm}$ ；可能掉块
5 级	压溃面积大于 3 m^2 ； $S >$ 衬砌厚度的 $1/4$ ； $D > 150 \text{ mm}$ ；剥落面积超过该构件表面积的 $1/3$

注：1. “，”表示均需满足，“；”表示任意满足。

2. S 表示剥落深度， D 表示剥落区直径。

表 8.2.3-4 盾构法结构管片接缝错台病害分级标准

分级	分级标准
1 级	纵缝错台 $\leq 5 \text{ mm}$ ；环缝错台 $\leq 6 \text{ mm}$
2 级	$5 \text{ mm} <$ 纵缝错台 $\leq 8 \text{ mm}$ ； $6 \text{ mm} <$ 环缝错台 $\leq 12 \text{ mm}$
3 级	$8 \text{ mm} <$ 纵缝错台 $\leq 10 \text{ mm}$ ； $12 \text{ mm} <$ 环缝错台 $\leq 15 \text{ mm}$
4 级	$10 \text{ mm} <$ 纵缝错台 $\leq 12 \text{ mm}$ ； $15 \text{ mm} <$ 环缝错台 $\leq 18 \text{ mm}$
5 级	纵缝错台 $> 12 \text{ mm}$ ；环缝错台 $> 18 \text{ mm}$

注：“，”表示任意满足。

表 8.2.3-5 盾构法结构收敛变形病害分级标准

分级	分级标准		
	常用管片（单位：mm）	错缝拼装管片	通缝拼装管片
1 级	$c < 24.8$	$c < 4\% D$	$c < 5\% D$
2 级	$24.8 \leq c < 37.2$	$4\% D \leq c < 6\% D$	$5\% D \leq c < 8\% D$
3 级	$37.2 \leq c < 55.8$	$6\% D \leq c < 9\% D$	$8\% D \leq c < 12\% D$
4 级	$55.8 \leq c < 74.4$	$9\% D \leq c < 12\% D$	$12\% D \leq c < 16\% D$
5 级	$c \geq 74.4$	$c \geq 12\% D$	$c \geq 16\% D$

注：1. c 为隧道收敛变形量， D 为隧道直径。

2. 本表量化的分级标准依据江苏省内常用的外径 6.2 m 盾构法隧道结构拟定，其他直径盾构法结构可根据管片拼装方式参考制定。

表 8.2.3-6 盾构法结构纵向不均匀沉降病害分级标准

分级	分级标准
1 级	$\rho \geq 15\,000\text{ m}$
2 级	$8\,000\text{ m} < \rho < 15\,000\text{ m}$
3 级	$1\,200\text{ m} < \rho \leq 8\,000\text{ m}$
4 级	$300\text{ m} < \rho \leq 1\,200\text{ m}$
5 级	$\rho \leq 300\text{ m}$

注：1. ρ 为盾构法结构纵向变形曲率半径。

2. 本表适用于外径 6.2 m 盾构法隧道，其他尺寸可参考制定。

8.2.4 明挖法或矿山法结构病害主要包括渗漏水、结构裂缝、结构破损、接缝（施工缝、变形缝）错台与纵向不均匀沉降等，其中渗漏水病害和结构破损病害分级分别按表 8.2.3-1、表 8.2.3-3 划分，其余病害分级可按表 8.2.4-1~8.2.4-3 划分。

表 8.2.4-1 明挖法或矿山法结构裂缝病害分级标准

等级	分级标准
1 级	无肉眼可见裂缝； $W < 0.3\text{ mm}$
2 级	$L \leq 5\text{ m}$ ， $0.3\text{ mm} \leq W < 3\text{ mm}$
3 级	$L \leq 5\text{ m}$ ， $3\text{ mm} \leq W < 5\text{ mm}$ ；裂缝多于三条，且存在交叉；裂缝发展不快
4 级	$10\text{ m} \geq L > 5\text{ m}$ ， $W \geq 5\text{ mm}$ ；裂缝呈网状分布，在外力作用下可能掉块；裂缝出现渗漏，但不影响行车安全
5 级	$L > 10\text{ m}$ ， $W \geq 5\text{ mm}$ ，且裂缝继续发展；拱部开裂呈块状，有掉块风险；裂缝出现漏泥、漏砂现象，影响行车安全

注：1. “，”表示均需满足，“；”表示任意满足；衬砌裂纹沿纵向或斜向时，应提高一级。

2. L 表示裂缝长度， W 表示裂缝宽度。

表 8.2.4-2 明挖法或矿山法结构接缝错台病害分级标准

等级	分级标准
1 级	明挖法 $b \leq 10 \text{ mm}$, 矿山法 $b \leq 20 \text{ mm}$; 接缝无渗漏水
2 级	明挖法 $10 \text{ mm} < b \leq 20 \text{ mm}$, 矿山法 $20 \text{ mm} < b \leq 30 \text{ mm}$; 接缝出现湿渍
3 级	明挖法 $20 \text{ mm} < b \leq 30 \text{ mm}$, 矿山法 $30 \text{ mm} < b \leq 40 \text{ mm}$; 接缝浸渗、滴漏
4 级	明挖法 $30 \text{ mm} < b \leq 40 \text{ mm}$, 矿山法 $40 \text{ mm} < b \leq 50 \text{ mm}$; 接缝线漏
5 级	明挖法 $b > 40 \text{ mm}$, 矿山法 $b > 50 \text{ mm}$; 接缝涌流或漏泥、漏砂

注：“,”表示均需满足,“;”表示任意满足; b 表示接缝(施工缝、变形缝)错台量。

表 8.2.4-3 明挖法或矿山法结构纵向不均匀沉降病害分级标准

等级	分级标准
1 级	隧道的相对变曲 $\leq 1/2\ 500$
2 级	$1/2\ 500 < \text{隧道的相对变曲} \leq 2\ 000$
3 级	$1/2\ 000 < \text{隧道的相对变曲} \leq 1/1\ 500$
4 级	$1/1\ 500 < \text{隧道的相对变曲} \leq 1/500$
5 级	隧道的相对变曲 $> 1/500$

8.3 病害治理要求

8.3.1 轨道交通地下结构病害应分类分级治理,对第 2~3 级病害进行维护与修复,对 4~5 级病害进行重点治理,不同分级的病害采取不同的治理措施,分类分级治理措施宜按本规程附录 F 执行。

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

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

8.3.4 对于严重影响结构安全和运营安全的不均匀沉降，须对结构下方软弱土层进行加固，并根据线路平顺性及限界调整要求，采用微扰动注浆方式对既有地下结构进行适量抬升，治理后既有结构的承载能力、正常使用功能及耐久性等不应低于原技术标准。

附录 A 接近程度和外部作业工程影响分区

A.0.1 接近程度应根据城市轨道交通结构的施工方法及其与外部作业的空间位置关系确定。

A.0.2 接近程度的判定标准宜按表 A.0.2 确定。

表 A.0.2 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	$L \leq 0.5 H$	非常接近
	$0.5 H < L \leq 1.0 H$	接近
	$1.0 H < L \leq 2.0 H$	较接近
	$L > 2.0 H$	不接近
矿山法	$L \leq 1.0 W$	非常接近
	$1.0 W < L \leq 1.5 W$	接近
	$1.5 W < L \leq 2.5 W$	较接近
	$L > 2.5 W$	不接近
盾构法或顶管法	$L \leq 1.0 D$	非常接近
	$1.0 D < L \leq 2.0 D$	接近
	$2.0 D < L \leq 3.0 D$	较接近
	$L > 3.0 D$	不接近
高架结构 (桥梁桩基)	$L \leq 3.0 P$	非常接近
	$3.0 P < L \leq 10.0 P$	接近
	$10.0 P < L \leq 20.0 P$	较接近
	$L > 20.0 P$	不接近

注：1. L 为城市轨道交通结构与外部作业的最小相对净距； H 为明挖、盖挖法的基坑开挖深度； W 为矿山法的隧道毛洞跨度； D 为盾构法隧道外径，圆形顶管外径或矩形顶管隧道的长边宽度； P 为高架桥梁桩基（单桩）结构的桩径。

2. 相对净距指外部作业的结构外边线与城市轨道交通结构外边线的最小净距离。
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。
4. 城市轨道交通非轨行区结构可按相关经验进行适当调整。

A. 0.3 外部作业的工程影响分区宜根据外部作业的施工方法确定。

1 明挖、盖挖法外部作业的工程影响分区宜按表 A. 0. 3-1 和图 A. 0. 3-1 确定。

表 A. 0. 3-1 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 $0.7 h_1$ 范围内
显著影响区 (B)	结构外侧 $0.7 h_1 \sim (1.0 \sim 1.5) h_1$ 范围
一般影响区 (C)	结构外侧 $(1.0 \sim 1.5) h_1 \sim (2.0 \sim 3.0) h_1$ 范围
较小影响区 (D)	结构外侧 $(2.0 \sim 3.0) h_1$ 范围以外

注: 1. h_1 为明挖、盖挖法外部作业结构底板的深度; 基坑开挖范围内存在基岩时, h_1 可为覆盖土层和基岩强风化层厚度之和; 基坑开挖范围为软弱土层时, 工程影响分区临界范围取大值。
 2. 软弱土指淤泥、淤泥质土、松散粉细砂或新近沉积的黏性土和粉土, 以及地基承载力特征值 $f_{ak} \leq 130 \text{ kPa}$ 的填土。
 3. 明挖排管类的管线工程、地下通道工程可参照明挖、盖挖法外部作业进行分区。

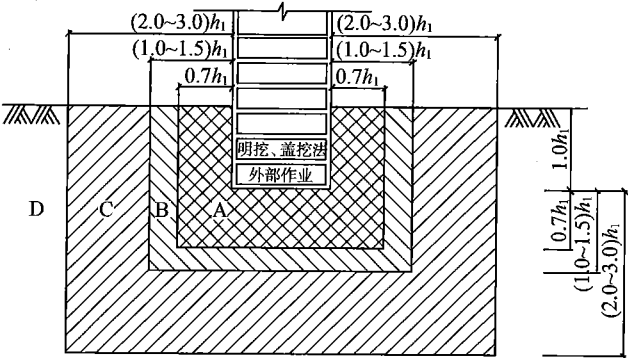


图 A. 0. 3-1 明挖、盖挖法外部作业的工程影响分区

2 浅埋矿山法和盾构法外部作业工程影响分区宜按表 A. 0. 3-2 和图 A. 0. 3-2 确定。

表 A. 0. 3-2 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)	隧道正上方及外侧 $0.7 h_2$ 范围内
显著影响区 (B)	隧道外侧 $0.7 h_2 \sim 1.0 h_2$ 范围
一般影响区 (C)	隧道外侧 $1.0 h_2 \sim 2.0 h_2$ 范围
较小影响区 (D)	隧道外侧 $2.0 h_2$ 范围以外

注: h_2 为矿山法和盾构法外部作业的隧道底板深度。

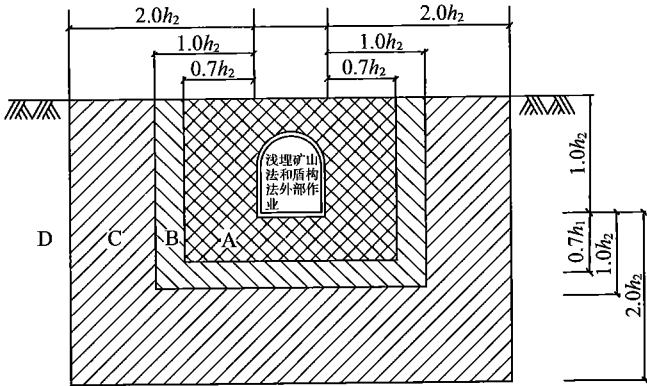


图 A. 0. 3-2 浅埋矿山法和盾构法外部作业的工程影响分区

3 深埋矿山法和盾构法外部作业工程影响分区宜按表 A. 0. 3-3 和图 A. 0. 3-3 确定。

表 A. 0. 3-3 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)	隧道正上方及外侧 $1.0 b$ 范围内
显著影响区 (B)	隧道外侧 $1.0 b \sim 2.0 b$ 范围
一般影响区 (C)	隧道外侧 $2.0 b \sim 3.0 b$ 范围
较小影响区 (D)	隧道外侧 $3.0 b$ 范围以外

注: 1. b 为深埋矿山法和盾构法隧道的毛洞跨度。

2. 本表适用于矿山法和盾构法隧道顶埋深大于 $3b$ 的深埋隧道。

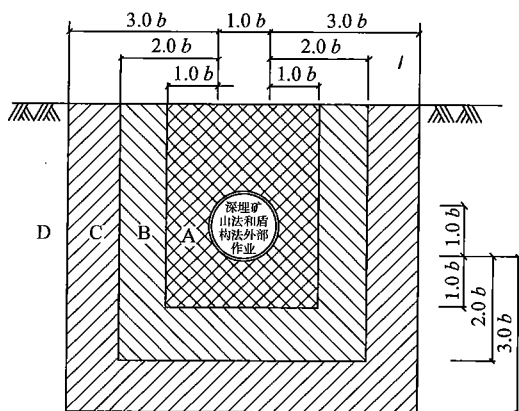


图 A.0.3-3 深埋矿山法和盾构法外部作业的工程影响分区

4 拉管或顶管法外部作业的工程影响分区参照矿山法和盾构法外部作业的工程影响分区执行。

5 当外部作业需施工锚杆、锚索、土钉时，作业边界以锚杆、锚索、土钉末端的水平和竖向投影位置为准。

附录 B 其他工程的作业影响等级

B.0.1 外部作业为道路及地下管线工程时，其影响等级应根据城市轨道交通的结构型式、外部作业与城市轨道交通结构的相对位置关系等因素，参照表 B.0.1 确定。

表 B.0.1 道路工程、管线工程作业影响等级划分

等级	管线工程 [#]		道路工程	
	非高架线路	高架线路	路基路面施工 [*]	桥梁工程 ^{**} (桩基作业)
特级	下穿已建结构 且 $t \leq 3$ m	$d \leq 3$ m	—	$D \leq 3$ m
一级	下穿已建结构 且 $t > 3$ m；或 上穿已建结构 且 $t \leq 3$ m	$3 \text{ m} < d \leq 6 \text{ m}$	—	$3 \text{ m} < D \leq 6 \text{ m}$
二级	上穿已建结构 且 $3 \text{ m} < t \leq 6 \text{ m}$	$6 \text{ m} < d \leq 10 \text{ m}$	—	$6 \text{ m} < D \leq 10 \text{ m}$
三级	上穿已建结构 且 $t > 6 \text{ m}$	$d > 10 \text{ m}$	填方引起的附加 荷载大于 20 kPa	$D > 10 \text{ m}$

注：1. t 为外部作业穿越既有结构的竖向净距； d 为外部作业距轨道交通高架桥墩的水平净距； D 为桥梁工程桩基与轨道交通地下结构的水平净距。

2. # 表示埋深或尺寸小于 3 m 的明挖小型管沟、明渠及顶管或牵引拖拉管等，其他情况明挖作业可参照基坑工程进行分级，顶管或牵引拖拉管作业宜参照盾构法工程进行分级。
3. * 表示道路工程挖方较大宜参照本规程 5.2 基坑工程的规定执行，并可适当提高影响分级；当道路工程填方较大时可适当提高影响分级。
4. ** 表示群桩作业的影响等级可适当提高一级，特级时不再提高。

附录 C 结构安全控制指标

C.0.1 城市轨道交通结构安全控制指标应根据其结构安全保护技术的要求及现行国家标准确定，并应符合表 C.0.1-1～表 C.0.1-4 的要求。

表 C.0.1-1 地面结构安全控制指标

安全控制指标		控制值	安全限值
路基沉降	整体道床*	<10 mm	<20 mm
	碎石道床	<20 mm	<200 mm
	过渡段	≤5 mm	≤10 mm

注：1. *表示路基沉降均匀且调整后竖曲线满足舒适度要求，安全限值可调整为 30 mm，过渡段变形指标为路桥或路隧过渡段的差异沉降。

2. 地面车站结构沉降应符合《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的相关规定。

3. 路基沉降除满足上表变形控制要求外，沉降变化速率应不大于 1.5 mm/d。

表 C.0.1-2 盾构法或顶管法地下结构安全控制指标

安全控制指标		控制值	安全限值
水平位移*		<10 mm	—
竖向位移	上浮	<5 mm	—
	沉降	<10 mm	—
相对收敛 [#]		<10 mm	<55.8 mm
变形曲率半径		>15 000 m	>1200 m
变形相对曲率		<1/2500	<1/1500
管片接缝张开量		<2 mm	<6 mm
接缝错台	纵缝	<5 mm	<10 mm
	环缝	<6 mm	<15 mm
结构外壁附加荷载		—	≤20 kPa
管片裂缝宽度		<0.2 mm	<1.0 mm
振动速度		—	≤2.5 cm/s

注：1. 盾构法地下结构差异沉降安全控制指标可根据变形相对曲率换算获得。

2. 附加荷载包括地面超载、降水、桩基及地层加固等外部作业作用在盾构管片外壁上的附

加荷载。

3. * 表示位移为地下结构拟合中心线的偏移量；水平位移、竖向位移的安全限值不应超出相应变形曲率半径安全限值换算获得的位移值。
4. # 表示安全限值适用于错缝拼装、直径 6.2 m 的管片，通缝拼装或其他直径的安全限值可参照本规程表 8.2.3-5 选取。

表 C.0.1-3 明挖法或矿山法地下结构安全控制指标

安全控制指标		控制值	安全限值
水平位移*		$<10\text{ mm}$	—
竖向位移*	上浮	$<5\text{ mm}$	—
	沉降	$<10\text{ mm}$	—
接缝处差异沉降		$<4\text{ mm}$	$<8\text{ mm}$
变形相对曲率		$<1/2500$	$<1/1500$
结构裂缝宽度	迎水面	$<0.2\text{ mm}$	$<3\text{ mm}$
	背水面	$<0.3\text{ mm}$	$<3\text{ mm}$
振动速度		—	$\leq 2.5\text{ cm/s}$

注：1. 明挖法或矿山法地下结构差异沉降安全控制指标可根据结构变形相对曲率换算获得。

2. * 表示位移为地下结构拟合中心线的偏移量；水平位移、竖向位移的安全限值不应超出相应变形相对曲率安全限值换算获得的位移值。

表 C.0.1-4 高架结构安全控制指标

安全控制指标		控制值	安全限值
梁体 竖向变形*	$L_1=30\text{ m}$	$L_1/2200$	$L_1/1400$
	$L_1=60\text{ m}$	$L_1/2000$	$L_1/1350$
	$L_1\geq 120\text{ m}$	$L_1/1800$	$L_1/1300$
桥墩墩顶 横向位移	25 m~40 m 简支梁	$3\sqrt{L}$	$4.5\sqrt{L}$
	50 m~100 m 连续梁	$2\sqrt{L}$	$3\sqrt{L}$
相邻桥墩沉降位移差#	无砟桥面	$\leq 10\text{ mm}$	$\leq 60\text{ mm}$
	有砟桥面	$\leq 20\text{ mm}$	$\leq 70\text{ mm}$
梁体裂缝宽度		$<0.3\text{ mm}$	$<3\text{ mm}$
振动速度		—	$\leq 2.5\text{ cm/s}$

注：1. 适用于梁式区间结构；* 给出固定跨度桥梁梁体竖向变形值，其他跨度的梁桥可用插值法确定；# 表示适用于跨度不大于 40 m 的区间简支梁桥和连续梁桥的相邻桥墩位移差。

2. L_1 表示跨度, 以 mm 计; L 表示简支梁单跨长或连续梁相邻跨的较小跨长, 以 m 计, $L < 25$ m 时, 按 25 m 计。
3. 高架车站相邻框架柱之间的沉降差应符合《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的相关规定。

C.0.2 城市轨道交通地下结构道床脱空量控制值为 3 mm, 安全限值为 5 mm。

C.0.3 控制值、安全限值分别为单项外部作业引起的轨道交通结构附加变形控制指标和考虑既有结构初始状态的累计变形控制指标, 不包括测量、施工等误差等。

C.0.4 变形曲线的曲率半径指标主要反映地下结构纵向变化的平顺情况和变形曲率的大小, 变形相对曲率指标主要反映地下结构的相对弯曲程度。一般是以地下结构内所布置的相邻三个监测点的监测数据为分析依据, 计算它们的差异变位量和地下结构相邻点的弯曲曲率半径。在对地下结构沉降观测的基础上, 采用三点曲率半径计算方法, 对于任意一点 P_i , 计算曲率半径时该点的前一点 P_{i-1} 、后一点 P_{i+1} 的曲率半径, 如图 C.0.4 所示:

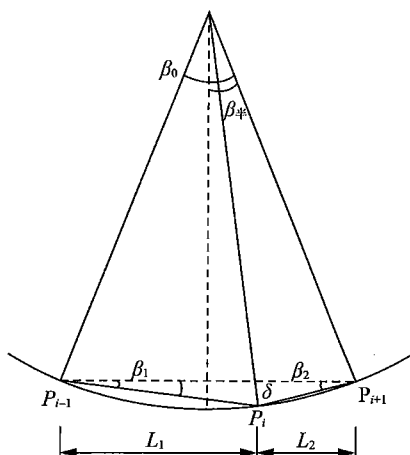


图 C.0.4 变形曲率计算示意图

相对曲率半径 R 可表示为:

$$R = \frac{L_1 + L_2}{2 \times \sin \beta_{\#}} \quad (\text{C. 0. 4-1})$$

式中: L_1 —— i 点与 $i-1$ 点的水平距离;

L_2 —— i 点与 $i+1$ 点的水平距离;

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

β_0 —— 圆弧 $P_{i-1}P_iP_{i+1}$ 对应的圆心角, 根据几何关系 $\beta_0 = 2(\beta_1 + \beta_2)$, $\beta_1 = \arctan(\delta_1/L_1)$, $\beta_2 = \arctan(\delta_2/L_2)$, 由于 $\beta_{\#} = \beta_0/2$, $\beta_{\#} = \beta_1 + \beta_2$, 因此式 (C. 0. 4-1) 还可表示为:

$$R = \frac{L_1 + L_2}{2 \sin \left(\arctan \frac{\delta_1}{L_1} + \arctan \frac{\delta_2}{L_2} \right)} \quad (\text{C. 0. 4-2})$$

附录 D 安全评估技术要求

D.0.1 安全评估应符合表 D.0.1 的技术要求。

表 D.0.1 安全评估的技术要求

安全评估阶段	技术要求	主要依据
城市轨道交通结构的现状评估	1. 受外部作业影响范围内的城市轨道交通结构区域,开展既有结构的工前现状调查和分析; 2. 评估当前既有结构的安全状态及抗变形能力和承载能力; 3. 结合外部作业对既有结构的主要响应特征及其安全保护要求,合理选用结构安全控制指标	1. 岩土工程勘察资料; 2. 既有结构设计、竣工资料; 3. 既有结构历史监测数据; 4. 现状调查报告
外部作业影响预评估	1. 校核外部作业设计方案、计算文件,提出优化建议; 2. 根据外部作业与轨道交通结构的空間位置关系,建立反应外部作业影响特征的平面或三维计算模型; 3. 预测外部作业实施及使用阶段可能诱发既有结构各种风险的影响因素,计算既有结构的附加内力和变形; 4. 当预测值超过相应的结构安全控制指标值,应要求设计单位调整外部作业设计方案; 5. 结合对应区段既有结构竣工资料,分别以裂缝宽度和强度控制进行计算,验算既有结构的安全; 6. 综合评定外部作业设计方案和轨道交通保护方案的可行性; 7. 提出既有结构安全保护措施及监测的建议; 8. 必要时提出加固修复措施	1. 岩土工程勘察资料; 2. 既有结构现状评估报告; 3. 外部作业设计和施工方案; 4. 轨道交通保护专项方案; 5. 既有结构竣工资料,包括结构形式、尺寸、配筋等

(续表)

安全评估阶段	技术要求	主要依据
外部作业施工过程评估	1. 根据既有结构监测数据, 分析实际变形值与预测值的吻合性, 评估外部作业后续施工期间轨道交通结构可能的变形发展情况; 2. 及时跟踪评估既有结构的当前状态和继续抗变形能力、承载能力, 及时修正安全控制指标值; 3. 必要时重新制定既有结构保护方案、增加控制保护措施, 或调整外部作业实施方案; 4. 必要时提出既有结构加固措施, 动态平衡外部作业的影响	1. 既有结构的监测数据; 2. 外部作业影响预评估报告、预测值; 3. 过程调查报告
外部作业影响后评估	1. 对外部作业影响范围内的既有结构区段, 开展工后现状调查和分析; 2. 结合监测数据、结构安全控制指标值评价外部作业对既有结构的影响; 3. 综合评估轨道交通结构工后的安全状态及抗变形能力和承载能力; 4. 必要时提出修复既有结构的措施	1. 轨道交通结构的监测数据; 2. 外部作业影响预评估报告、预测值; 3. 工后调查报告

附录 E 监测频率要求

E.0.1 外部基坑工程作业期间可根据外部作业影响等级、外部作业施工方法和进度、轨道交通结构评估结果、监测项目、工程地质和水文地质条件等，结合表 E.0.1 的要求确定合适的监测频率。

表 E.0.1 基坑工程作业期间城市轨道交通结构监测频率表

影响等级	测项类型	施工作业工况				
		轨道交通侧围护结构、首道支撑施工	首道支撑以下土方开挖施工	底板浇筑至封闭 28 天	地下结构施工	地上结构施工*
特级	自动监测	1 次/1 天	1 次/1 天	1 次/1 天	1 次/2 天	1 次/1 周
一级	自动监测	1 次/2 天	1 次/1 天	1 次/1 天	1 次/2 天	1 次/1 周
二级	人工监测	1 次/1 周	1 次/2 天	1 次/2 天	1 次/1 周	1 次/4 周
三、四级	人工监测	1 次/1 周	1 次/3 天	1 次/3 天	1 次/1 周	1 次/4 周

注：1. 围护结构施工包含挡土与止水结构、主动区与被动区土体加固。

2. 支撑结构拆除过程中及拆除完成后 3 天内监测频率应当增加。

3. 涉及降承压水的基坑工程跟踪监测自出正负零至封井且不低于 6 个月，监测频率 1 次/10 天；不降承压水的基坑工程自出正负零起 3 个月，监测频率 1 次/10 天。

4. * 表示对采用非嵌岩桩的高层建筑，地上结构沉降引起临近城市轨道交通结构的附加变形。特级基坑工程临近城市轨道交通侧塔楼结构封顶后（以下简称工后）2 年内、一级工程工后 1 年内、二级及三级工程工后半年内，沉降和收敛测项宜继续观测，其他测项可停止观测。

E.0.2 外部管线工程作业期间，可根据外部作业的实际情况，结合表 E.0.2-1～表 E.0.2-2 的要求确定合适的城市轨道交通结构监测频率。

表 E.0.2-1 盾构法、顶管法管线工程作业期间城市轨道交通结构监测频率表

影响等级	施工作业工况			
	掘进面前方		掘进面后方	
	$3D < L \leq 8D$	$L \leq 3D$	$L \leq 3D$	$3D < L \leq 8D$
特级、一级	1次/1天	实时	实时	1次/1天
其他等级	1次/1周	1次/4天	1次/4天	1次/1周

注：D为盾构法、顶管法隧道开挖直径（m），L为开挖面至监测点或监测断面的水平距离（m）。

表 E.0.2-2 矿山法施管线工程作业期间轨道交通结构监测频率表

影响等级	施工作业工况			
	掘进面前方		掘进面后方	
	$1B < L \leq 5B$	$L \leq 1B$	$L \leq 1B$	$1B < L \leq 5B$
特级、一级	1次/1天	实时	实时	1次/1天
其他等级	1次/1周	1次/4天	1次/4天	1次/1周

注：B为矿山法隧道开挖宽度（m），L为开挖面至监测点或监测断面的水平距离（m）。

E.0.3 外部道路工程作业期间，可根据外部作业的实际情况，结合表 E.0.3 的要求确定合适的城市轨道交通结构监测频率。

表 E.0.3 道路工程作业期间轨道交通结构监测频率表

影响等级	施工作业工况			
	桥桩施工	承台施工	墩柱及桥梁结构施工	路面施工
特级	实时	1次/1天	—	—
一级	1次/1天	1次/2天	—	—
二级	1次/2天	1次/4天	1次/2周	1次/2周
三、四级	1次/4天	1次/周	1次/1月	1次/1月

E. 0.4 城市轨道交通结构监测频率的确定还应满足以下要求：

1 上述表 E. 0. 1～表 E. 0. 3 中未列及的施工作业应根据外部作业影响等级、进度要求、城市轨道交通结构评估结果、监测项目、工程地质和水文地质条件等参照上述三个表确定监测频率。

2 对于现状结构安全状态为 3 级及以上的轨道交通结构，应适当提高监测频率。

3 发生报警或突发结构病害等情况时，应适当提高监测频率。

E. 0.5 城市轨道交通结构的现场巡查频率不应低于其人工监测频率。

附录 F 地下结构病害治理措施

F.0.1 根据城市轨道交通地下结构类型、病害类别与分级确定的盾构法结构病害分类分级治理措施宜按表 F.0.1-1 执行，明挖法或矿山法结构病害分类分级治理措施宜按表 F.0.1-2 执行。

表 F.0.1-1 盾构法结构病害分类分级治理措施

类别	措施	
不均匀沉降	a1	注浆抬升
	a2	基底加固
	a3	周边加卸载控制
	a4	轨道养护维修
收敛变形	b1	钢环加固或复合腔体加固
	b2	周边土体加固
	b3	上方卸载或换填轻质土
渗漏水	c1	壁后注浆
	c2	骑缝注浆配合弹性环氧封缝
	c3	嵌缝修复
管片破损	d1	钢环加固
	d2	粘贴芳纶布
	d3	植筋或挂网植筋修复
	d4	裂缝或掉块堆胶修复
道床脱空	e1	道床注浆

表 F.0.1-2 明挖法或矿山法结构病害分类分级治理措施

类别	措施	
不均匀沉降	a1	注浆抬升
	a2	基底加固
	a3	周边加卸载控制
	a4	轨道养护维修
渗漏水	b1	壁后注浆
	b2	骑缝注浆(聚氨酯)
	b3	凿槽嵌补(聚氨酯)
裂缝	c1	骑缝注浆(环氧)
	c2	凿槽嵌补(环氧)
	c3	直接涂抹
道床脱空	e1	道床注浆

F.0.2 城市轨道交通地下结构不同结构类型、不同病害类别与分级对应的治理措施宜按表 F.0.2-1~F.0.2-2 执行。

表 F.0.2-1 盾构法结构不同病害分级治理措施

病害分级指标		治理措施	说明
类别	安全状态等级		
不均匀沉降	5级	a1、a2、a3、a4、e1	①应兼顾沉降绝对值，沉降速率以及变坡值。变坡按线路不设竖曲线控制为 2‰。 ②不均匀沉降影响大，治理难，即使是 2 级病害，若变形仍持续发展宜尽早介入。 ③a3、a4 类措施应根据实际情况采用。依据轨道养护标准，经常保养高低不平顺为 7 mm，对应曲率半径约为 8 km，因此建议 3 级以上加强 a3 类措施。 ④不均匀沉降会导致道床脱空，病害治理需结合道床注浆综合处置
	4级	a2、a3、a4、e1	
	3级	a2、a3、e1	
		a2	
	2级	无	

(续表)

病害分级指标		治理措施	说明
类别	安全状态等级		
收敛变形	5 级	<i>b1、b2</i>	①在 <i>b1</i> 及 <i>d2</i> 类治理之前, 均需配合进行 <i>c</i> 类渗漏水修复。
	4 级	<i>b2</i>	②周边基坑开挖卸载引起的收敛变形超过 3 级的, 应根据病害的发展情况, 配合采用 <i>d1</i> 类治理措施; 存在裂缝的, 应配合采用 <i>d2</i> 类治理措施。
	3 级	<i>b2</i>	③对于上部堆土引起的收敛变形, 应配合采用 <i>b3</i> 类上部卸载措施。 <i>b3</i> 类换填轻质土一般不予采用, 可配合改扩建或新建工程进行
	2 级	无	
渗漏水	5 级	<i>c1、c2</i>	①由于盾构法结构接缝较多, 因此应先采取 <i>c1</i> 类治理, 再采取 <i>c2</i> 类治理措施。 ②位于拱顶的少量滴漏或渗漏水可只采取 <i>c2</i> 类治理措施
	4 级	<i>c1、c2</i>	先进行 <i>c2</i> 类治理, 再根据治理效果决定是否进行 <i>c1</i> 类治理
	3 级	<i>c2</i>	无
管片破损	5 级	<i>d1、d2</i>	①当剥离深度超 5 cm、裸露主筋且破损面积大于 1000 cm ² 时, 需进行 <i>d1</i> 类加固。 ②在 <i>d1、b1</i> 类治理之前, 需先进行 <i>c</i> 类渗漏水治理
	4 级	<i>d2、d3</i>	对位于两腰侧的裂损可降低一个等级
	3 级	<i>d3、d4</i>	①对位于拱顶的裂损采用 <i>d2</i> 类修复措施。 ②对位于两腰侧的裂损采用 <i>d3</i> 类修复措施, 或可酌情降低一个等级
	2 级	<i>d4</i>	无

表 F.0.2-2 明挖法或矿山法结构不同病害分级治理措施

病害分级指标		治理措施	说明
类别	安全状态等级		
不均匀沉降	5 级	a1、a2、a3、a4、e1	①按线形要求确定相对变曲容许值为 1/2500，以此为标准约取相对变曲容许值的 4 倍作为治理限值，为 1/650，对应曲率半径为 6500 m。
	4 级	a2、a3、a4、e1	②应兼顾沉降绝对值、沉降速率以及变坡值。变坡按线路不设竖曲线控制为 2‰。
	3 级	e1	③a3、a4 类措施应根据实际情况采用。依据轨道养护标准，经常保养高低不平顺为 7 mm，对应相对变曲约为 1/1500，因此建议 3 级以上加强 a3 类措施。
	2 级	无	④不均匀沉降会导致道床脱空，病害治理需结合道床注浆综合处置
渗漏水	5 级	b1、b2	对明挖法结构，应优先考虑采取 b2 类处理措施，当渗漏十分严重且成片出现时才考虑 b1 类治理
	4 级	b2	先进行 b2 类治理，根据治理效果决定是否进行 b1 类治理
	3 级	b2	无
	2 级	b3	无
裂缝	5 级	b2、c1	注聚氨酯堵漏和环氧补强
	4 级	b1、c1	对不影响结构安全的可只采用 b1 类修复措施
	3 级	c2	①对位于拱顶的裂损采用 c1 类修复措施。 ②对位于两腰侧的裂损采用 c2 类修复措施，或可酌情降低一个等级
	2 级	c3	无

本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

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) 表示允许有选择，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“应按……执行”或“应符合……的规定（或要求）”。

引用标准名录

- 1 《城市轨道交通岩土工程勘察设计规范》GB 50307
- 2 《建筑基坑工程监测技术标准》GB 50497
- 3 《爆破安全规程》GB 6722
- 4 《地下工程防水技术规范》GB 50108
- 5 《石油天然气工程设计防火规范》GB 50183
- 6 《输气管道工程设计规范》GB 50251
- 7 《汽车加油加气站设计与施工规范》GB 50156
- 8 《66 kV 及以下架空电力线路设计规范》GB 50061
- 9 《110 kV~750 kV 架空输电线路设计规范》GB 50545
- 10 《城市工程管线综合规划规范》GB 50289
- 11 《城市轨道交通设施运营监测技术规范 第 2 部分：桥梁》GB/T 39559.2
- 12 《城市轨道交通设施运营监测技术规范 第 4 部分：轨道和路基》GB/T 39559.4
- 13 《城市轨道交通结构安全保护技术规范》CJJ/T 202

江苏省地方标准

城市轨道交通结构安全保护技术规程

DB32/T 4351—2022

条 文 说 明

制定说明

本规程在编制过程中，编制组进行了广泛的调查研究，认真总结了江苏省及全国其他省的城市轨道交通结构安全保护实践经验，参考有关国内标准、江苏省地方轨道交通条例和国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，对主要问题进行了反复讨论、协调，最终确定各项技术要求。

为便于广大城市轨道交通运营单位和设计、施工、监理、科研、学校等单位有关人员在使用本规程时能正确理解和执行条文规定，《城市轨道交通结构安全保护技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是本条文不具备与规程正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

南通城市轨道交通有限公司、常州地铁集团有限公司、苏州高新有轨电车集团有限公司和王怀东、王军、朱剑、刘敏杰、肖玉刚、宫全美、金浩、宋磊、徐洪宇、汤长悦、李苍楠、顾歆甜、刘春晓、张杰、葛宇文、孙宁、胡政、任洁在本规程编制过程中提供了技术支持。

目 次

1	总则	65
3	基本规定	67
3.1	一般规定	67
3.2	外部作业影响等级	69
3.3	外部作业净距控制值	71
3.4	结构安全控制指标	73
4	既有结构保护	80
4.1	一般规定	80
4.2	现状调查和现场巡查	80
4.3	安全评估	81
4.4	地下结构保护	84
4.5	地面和高架结构保护	85
5	外部作业控制	87
5.1	一般规定	87
5.2	基坑工程	87
5.3	隧道工程	90
5.4	基础工程	91
5.5	降水工程	92
5.6	其他工程	93
6	接口改造	94
6.2	技术要求	94
6.3	实施要求	94
7	安全监测	96
7.1	一般规定	96
7.2	监测项目	97

7.3	监测点布设	98
7.4	监测技术要求	105
8	地下结构病害治理	107
8.1	一般规定	107
8.2	安全状态与病害分级	107
8.3	病害治理要求	115

1 总 则

1.0.1 江苏省开通城市轨道交通的城市数量居全国之首,是名副其实的城市轨道交通大省。城市轨道交通沿线因人流量大、交通便利等特殊优势而成为商业、居住和办公等的集中地段,周边存在大量的市政和开发建设,这些建设活动容易导致轨道交通结构附加内力和变形过大,造成结构性能指标的下降。结构变形严重时,除造成结构本身破坏外,还会引起结构与道床剥离、轨道设备几何形位改变,对结构安全和行车安全造成重大影响。

为避免或降低外部作业对城市轨道交通的不利影响,保障轨道交通结构安全和正常使用,促进城市建设和轨道交通运营安全的可持续发展,在现行行业标准《城市轨道交通结构安全保护技术规范》CJJ/T 202—2013 的基础上,总结了江苏省南京、苏州等城市的轨道交通结构安全保护工作的经验及教训,并结合江苏省城市轨道交通结构安全保护的特点和需要制定本规程。

1.0.2 城市轨道交通结构从建设阶段来说主要包括三种:一是已成型的在建结构;二是已建成但尚未投入运营的既有结构,如同期实施的预留条件的换乘车站、通道等;三是正式投入运营的城市轨道交通结构。对于已规划但尚未建设的城市轨道交通线路,也需要对沿线外部作业进行规划控制,以保障后续城市轨道交通的顺利修建和安全运营。

城市轨道交通指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、市域快速轨道等系统。江苏省境内的城际轨道交通、市(域)郊铁路等其他类型的轨道交通结构安全保护,也可参考本

规程执行。

1.0.3 本规程与其他相关标准的关系是：对于江苏省内城市轨道交通结构的安全保护，凡本规程有规定的，应按本规程执行；本规程未做规定的，应符合国家现行相关标准的规定，或参照其他相关现行标准的规定执行。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 城市轨道交通结构的安全保护是一项系统工作，需对结构现状及其健康状况有充分的认知和预判，并以此为基础对外部作业采取针对性的技术措施，保护既有结构的安全。当既有结构存在初始病害或外部作业过程中引起结构发生病害时，还应及时评估，进行预加固、过程加固或后加固，控制并降低不利影响。

3.1.3 城市轨道交通作为城市的生命线工程，其安全重要性不言而喻，且由于其设计使用年限长，结构的维修和加固困难，应严格控制和规范城市轨道交通结构周边的外部作业。

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求。因此，考虑到城市轨道交通结构的其他特殊功能，本条还规定外部作业不得降低结构作为人防工程等使用时应具备的防护能力及防护标准。

3.1.4 保护区范围参照国家和省市法律法规进行设置。本规程在行业标准《城市轨道交通结构安全保护技术规范》CJJ/T 202—2013 的基础上，充分考虑了江苏省内六个拥有城市轨道交通城市（南京、苏州、无锡、常州、徐州、南通）发布的轨道交通条例中的相关规定，扩充了附属结构的内容。

3.1.6 对于特殊的工程地质和水文地质条件，如以长江漫滩或江海交互等地层为代表的软弱地层，降水影响范围可达上百米。控制保护区范围以外的外部作业仍可能对城市轨道交通结构造

成明显影响，比如：

1 城市轨道交通结构所处的地基存在岩溶等不良地质现象；

2 强透水砂层地区、欠固结地域（河漫滩、新开发区）等；

3 地基中存在压力较高的承压水或气体。

特殊外部作业指其作业影响范围可能超出控制保护区规定的距离，比如：

1 深厚软土地基上的超深超大基坑，其开挖影响范围超过50 m；

2 深厚软土地基上布置密集或较深的挤土桩；

3 爆破作业；

4 大幅抽取承压水作业。

上述情况应根据当地的工程经验适当扩大城市轨道交通控制保护区范围。省内南京、苏州、无锡、常州、徐州、南通六地出台的地方条例均明确了保护区调整要求和实施路径。例如《南京市轨道交通条例》第十九条中，针对特殊工程地质和水文地质条件的情况，分别设定控制保护区和特别保护区的范围为：“长江、秦淮河等地质条件复杂、存在安全隐患的漫滩地区，轨道交通结构外边线外侧一百五十米内”“长江、秦淮河等地质条件复杂、存在安全隐患的漫滩地区，轨道交通结构外边线外侧十五米内。”

3.1.7 当相邻城市轨道交通线路不同期建设时，后建工程对先建工程的不利影响主要体现在换乘站施工、上跨、下穿或近距离平行施工等。先建工程应提前采取工程措施降低后建工程对其的不利影响，并为后建工程预留实施的条件。对于换乘站施工，应优先考虑同步设计和同步施工，尽可能同步施工换乘节点的结构；若同步施工难以实现，宜进行同步设计。

3.1.8 对轨道交通结构影响较大的基坑工程、隧道工程（矿山法、盾构法或顶管法工程）等，应结合外部作业影响等级和结构安全控制指标进行联合控制；其他影响较小的外部作业，应结合外部作业净距控制值和结构安全控制指标进行联合控制。

3.2 外部作业影响等级

3.2.1 外部作业特点包括作业的类型、施工方法和施工步骤等。外部作业与轨道交通结构的空間关系是确定外部作业影响等级的重要因素。轨道交通结构类型主要包括明挖现浇结构、暗挖矿山法现浇结构、盾构法或顶管法施工的装配式地下结构等，不同结构类型对外部作业扰动影响的响应程度不同，这也是影响外部作业分级的重要因素之一。当轨道交通结构存在较严重的初始病害，对外部作业扰动影响尤为敏感时，对外部作业的控制要求更加严格。此外，工程地质和水文地质条件也会对影响等级的确定产生较大影响。

3.2.2 与行业标准《城市轨道交通结构安全保护技术规范》CJJ/T 202—2013 相比，本规程增加了外部作业“较小影响区（D）”这一工程影响分区，对行业标准中的外部作业影响区划分进行了补充。

外部作业影响等级主要根据接近程度和工程影响分区进行划分，可分为特级、一级、二级、三级和四级，四级以下仍判定为四级，其中影响等级为四级的外部作业对既有结构的影响不明显。此外，工程地质和水文地质的影响不容忽视，因此需根据围岩等级对外部作业影响等级进行调整。

3.2.3 其他工程主要包括道路及地下管线等工程，是城市轨道交通控制保护区内较为常见的外部作业。针对该类工程采用本规程表 3.2.2 判定其影响等级，实际操作缺乏便利性，有时可

能给出偏离实际的结果，为此在汲取南京、苏州等地道路及地下管线等市政作业管控的基础上，借鉴周边城市的相关经验，总结凝练了该类项目影响等级判定的依据，具体参照附录 B。

当道路填挖高度较小、管线沟槽挖深较浅时，虽与轨道交通结构临近或交叉，但经判断对轨道交通结构本体无显著影响时，各地可根据实际情况进行作业控制，无需按本规程进行分级。但仍需注意管线建成后长期可能引发次生灾害，如压力管的使用运行过程中突涌或溢出引起的安全问题等。

3.2.4 不同类型指施工工法、结构形式或敷设方式等的差异，如明挖和暗挖结构、现浇结构和装配式结构、地下结构和地面结构等。外部作业影响范围内如存在不同类型的城市轨道交通结构设施，可根据结构形式、工法的区别，分别评定外部作业对其的影响等级，并针对性地采取相应的结构安全保护措施，但最终外部作业对临近既有结构的工程影响等级应按最高影响等级选定。

3.2.5 特殊情况下外部作业的影响等级需要结合实际情况进行相应调整：

1 城市轨道交通结构周边若存在岩溶土洞、深厚富水砂层、欠固结地域、顺向发育的软弱结构面、软弱下卧层、遇水易软化崩解的地层等，应结合当地工程经验适当提高外部作业影响等级。

条文中所述复杂的地质工程，在行业标准《城市轨道交通结构安全保护技术规范》CJJ/T 202—2013 中并未明确。本规程参照《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB 50307—2012，将复杂的工程地质条件和水文地质条件明确为复杂场地，根据第 3.0.8 的规定，符合下列条件之一者为复杂场地：

1) 地形地貌复杂。

- 2) 建筑抗震危险和不利地段。
- 3) 不良地质作用强烈发育。
- 4) 特殊性岩土需要专门处理。
- 5) 地基、围岩或边坡的岩土性质较差。
- 6) 地下水对工程的影响较大需要进行专门研究和治理。

复杂场地条件下外部作业对城市轨道交通结构的影响等级在表 3.2.2 的基础上宜适当提高。

外部作业影响等级可以根据影响条件的不同进行叠加,如外部作业初始影响等级为三级,但涉及抽降承压水,影响等级应提高一级。此外,如外部作业临近的轨道交通结构已产生较大的初始病害,则相应的影响等级宜再提高一级。当多因素叠加的影响等级达到特级时不再提高。

3.3 外部作业净距控制值

3.3.1 本规程在行业标准的基础上,借鉴国内各地的经验,将地下结构细分为装配式地下结构和现浇地下结构。由于装配式地下结构薄弱环节多,外部作业易对其造成较大影响,且病害维修治理难度大,因此针对装配式地下结构外部作业的净距控制相较现浇地下结构有所提高。

围护桩作业净距按 $1D$ 控制 (D 为常规盾构隧道直径或顶管法通道宽度),按 7 m 选取;非挤土桩对临近地下结构的影响不同于围护桩,单桩点式作业较条状面式作业影响稍小,非挤土桩对装配式地下结构的作业净距控制较行业规范提高至 5 m,现浇结构桩基作业净距控制与行业标准一致;对于挤土桩,挤土效应与沉桩方式、桩长、桩径和地层特性等诸多因素相关,上海地方规范《地基基础设计规范》在“沉桩监测”一节里提到:“在挤土桩和部分挤土桩的沉桩过程中,应根据工程性质与

要求、施工场地与周围环境影响程度等情况对周围建筑物和地下管线进行监测，监测范围为：陈旧的三层以下砌体结构房屋监测范围为 1.5 倍桩长，采用条基的多层建筑物、砖砌人防、脆性材料构成的管道和接头等的监测范围为 1 倍桩长。工程实践和文献资料也多表明挤土桩的显著影响范围为 1 倍桩长。”本规程针对现浇结构的挤土效应净距控制值按 1 倍桩长选取，为简便操作，可用 20 m 来代替桩的长度；针对临近装配式结构的挤土效应净距控制值，可按 1.5 倍桩长选取，为简便操作，可取为 30 m。

上方基坑与装配式地下结构的竖向净距常规宜不小于 1 倍地下结构洞径（或宽度），同时需满足地下结构的抗浮要求，特殊情况下净距不小于 4.0 m；穿越隧道竖向净距可按 0.5 倍洞径取，最小控制距离根据现有盾构机的误差控制精度和工程实践经验等取为 2.0 m。下方穿越隧道相较上方穿越不利影响更大，因此下方穿越隧道竖向净距宜按不小于 1.0 倍洞径考虑（本段所述洞径指新建隧道及既有结构外径或宽度的最大值）。

3.3.4 在越江（河、湖）城市轨道交通地下结构周边进行外部作业风险程度高、应急处置困难，应严格控制其与轨道交通结构的作业净距，并不宜小于本规程 3.3.1 中的相应数值的 3 倍。如净距不满足要求时，应经专题论证后确定。

当采用盾构法或顶管法等扰动较小施工工法下穿既有越江（河、湖）城市轨道交通地下结构时，竖向净距可适当减小，但不应小于表 3.3.1 关于穿越隧道的净距要求。

3.3.5 《电力设施保护条例》中关于架空电力线路保护区设定的相关要求，也是确定架空电力线与城市轨道交通结构、设施净距控制值的重要依据。如采用隧道形式建设高压管线的，可参照表 3.3.1 执行。

3.4 结构安全控制指标

3.4.1 结构安全控制指标内容包括地面结构、高架结构和地下结构安全控制的主要指标，关于轨道结构的安全控制指标本规程未做具体要求，相关规定可参考《城市轨道交通设施运营监测技术规范 第4部分：轨道和路基》GB/T 39559.4—2020。

3.4.2 结构安全控制指标的选择应遵循可操作性原则，并结合城市轨道交通结构的特点、安全现状、结构保护及运营安全要求、外部作业对既有结构的影响特征等有所侧重选用。如地面结构或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，应特别关注控制轨道交通结构的振动速度。

存在多个时空相近的外部作业时，工程活动对临近的轨道交通结构的影响是叠加的，因此需要控制总量，不对每项单体工程均按本规程给出的安全控制指标执行，否则，将会产生很大的变形叠加量。应综合分析各项作业对轨道交通结构变形或荷载影响的叠加效果，一方面通过优化施工组织设计降低叠加影响的总量，另一方面根据允许的变形总量，结合各单项作业影响程度，分配相应的单项作业的安全控制指标。

3.4.3 变形控制标准应体现附加量和累计量（或剩余量），根据结构既有变形的累计情况，确定外部作业允许的变形控制标准。单项外部作业经常根据既有结构不均匀变形（附加变形）、累计变形量（剩余量）和变形速率这三项指标来明确变形控制问题，将静态保护标准调整为动态保护标准，考虑既有结构的相对变形和实际发生量，更符合结构安全变形控制要求。

本规程城市轨道交通结构安全保护采用双控指标，即附加

变形控制和安全限值控制，既有结构变形的附加值不应大于安全控制值，且既有结构变形的累计值不应大于安全限值。

双指标安全控制要求对城市轨道交通结构变形量从建设期至运营期进行累计连续测定，当不能全面掌握或者数据不准确时，指标值需要结合既有结构本体的安全状况综合确定。

3.4.4 结构变形或病害较严重、存在维修或加固情况的，应通过结构现状的安全状态评估确定既有结构变形的累计情况，根据安全限值与结构变形累计量动态调整外部作业附加变形的安全控制值，并考虑结构长期运营安全需求从严控制。

3.4.5 本规程给出的城市轨道交通结构安全控制指标值，主要参考了《城市轨道交通结构安全保护技术规范》CJJ/T 202—2013、《地铁设计规范》GB 50157—2013、《盾构法隧道施工及验收规范》GB 50446—2017、《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911—2013、《城市轨道交通隧道结构养护技术标准》CJJ/T 289—2018、《城市轨道交通设施运营监测技术规范 第2部分：桥梁》GB/T 39559.2—2020、《城市轨道交通设施运营监测技术规范 第3部分：隧道》GB/T 39559.3—2020 及国内一些城市和地区的城市轨道交通结构技术标准和规定等。

本规程结构安全控制指标分为控制值和安全限值。其中控制值表示城市轨道交通日常养护范围内，外部作业期间既有结构允许的最大变化幅值，超出控制值则需要对既有结构采取超出日常养护的应对措施；安全限值表示在保证结构安全条件下既有结构累计变化量允许的最大值，轨道交通结构已发生的变形量与外部作业引起的附加变形量之和应在安全限值范围内，超出安全限值则会影响列车的运营安全，需要限制使用，并尽快采取维修措施恢复结构功能，并通过安全评估确定控制值。

附录 C 表 C.0.1-1 中城市轨道交通地面结构变形的安全限值以满足线路运营舒适度为基本要求。参考《城市轨道交通工

程监测技术规范》GB 50911—2013 第 9.3.6 条外部作业引起的既有铁路路基沉降控制值如表 1 所示,且路基差异沉降控制值宜小于 $0.04\%L_s$,其中 L_s 为沿铁路走向两监测点间距。

表 1 既有铁路路基沉降控制值

安全控制指标		累计值/mm	变化速率/(mm/d)
路基沉降	整体道床	10~20	1.5
	碎石道床	20~30	1.5

根据《地铁设计规范》GB 50157—2013 第 8.3.5 条:“有砟轨道线路的累计沉降不应大于 200 mm,路桥过渡段不应大于 100 mm,沉降速度不应大于 50 mm/年;无砟轨道线路的不均匀沉降,不应超过扣件运行的调高量,路桥或路隧交界处差异沉降不应大于 10 mm,过渡段沉降造成的路基和桥梁或隧道的折角不应大于 $1/1000$ 。”

城市轨道交通轨道结构通常采用包含整体道床、长轨枕的无砟轨道系统,长轨枕两端凹槽部分的深度仅有 20 mm~40 mm,凹槽内有固定轨道的扣件系统、减振降噪的橡胶垫等装置,其扣件运行的调高量超过 20 mm 时,固定轨道的扣件系统就相应抬高,使轨道处于非稳定状态,垫高过大也会导致接触网和钢轨等都不能满足安全正常运营需要。因此本规程表 C.0.1-1 中整体道床沉降安全限值取为 20 mm,碎石道床沉降安全限值参考《地铁设计规范》GB 50157—2013 取为 200 mm,路桥或路隧交界处差异沉降的安全限值参照《地铁设计规范》GB 50157—2013 取为 10 mm。根据《江苏省城市轨道交通工程设计标准》DB 32/T 3700—2019 当路基整体沉降均匀且调整后竖曲线半径满足行车舒适度要求时,整体道床的路基变形安全限值可以调整为 30 mm。地面车站的变形控制要求参照《建筑地基基础设计规范》GB 50007—2011 的相关规定执行。表

C.0.1-1 中的整体道床的沉降控制值和路桥或路隧过渡段的差异沉降控制值按其安全限值的 50% 选取, 碎石道床的沉降控制值按前述表 1 的既有铁路路基沉降控制值, 从严选取为 20 mm。

表 C.0.1-2 中盾构法隧道结构的竖向变形、水平位移与行业标准《城市轨道交通结构安全保护技术规范》CJJ/T 202—2013 有所差异。该规范给出的城市轨道交通结构水平位移和竖向位移的安全控制标准为 20 mm, 如前所述实际上 20 mm 是针对无砟轨道的线路平顺指标的安全控制要求。公开资料表明, 软土地区盾构隧道结构的竖向沉降累计值超出控制限值 20 mm, 甚至超过 100 mm, 但隧道结构仍处于正常工作状态。因此本规程结合《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911—2013、《城市轨道交通结构安全保护技术规程》CJJ/T 202—2013 给出的单项外部作业的控制值, 将竖向位移上浮量取为 5 mm, 沉降量取为 10 mm, 水平位移取为 10 mm (《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911—2013 为 5 mm, 综合考虑江苏工程实际情况取为 10 mm), 但相应的安全限值则应基于结构变形结果根据隧道结构变形曲率半径、变形相对曲率综合确定。对于运营初期线路周边存在大量外部作业以及既有结构工后初始变形较大的情况, 该控制值还应从严选取, 并考虑相近时空外部作业的叠加影响, 根据安全限值动态调整。

关于管片裂缝宽度、接缝错台、收敛变形、变形曲率半径、变形相对曲率分别根据本规程第 8 章节表 8.2.3-2、表 8.2.3-4~表 8.2.3-6 和表 8.2.4-3 给出的病害分级标准确定其中控制值对应安全等级 1 级时的临界值, 安全限值对应安全等级 3 级时的临界值。

管片接缝张开量控制值参照行业标准《城市轨道交通结构安全保护技术规范》CJJ/T 202—2013 取为 2 mm, 安全限值取为 6 mm, 该值为软土地区盾构隧道防水设计指标。当管片张开

量超出6 mm, 隧道管片可能会出现接缝渗漏现象, 结构安全存在不稳定性。表 8.2.3-6 盾构法隧道纵向不均匀沉降病害 3 级、4 级的分界标准, 即曲率半径为 1200 m 时对应的接缝张开量为 6 mm。

结构外壁附加荷载和振动速度指标的安全限值参照行业标准分别选取为 20 kPa 和 2.5 cm/s。《城市轨道交通设施运营监测技术规范 第 3 部分: 隧道》GB/T 39559.3—2020 表 8 还给出了盾构法隧道接缝差异沉降的指标, 相应的预警值为 6 mm/12 m, 安全值为 9 mm/12 m, 该指标在《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911—2013 表 9.3.5 中为 0.04% L_s , 其中 L_s 为沿隧道轴向两监测点间距。本规程以 GB 50911—2013 中的 0.04% L_s 作为盾构法隧道差异沉降控制值, 其中 0.04% 换算为变形相对曲率即为表 C.0.1-2 中的对应的控制值 1/2500, 差异沉降安全限值按表 C.0.1-2 中的累计变形相对曲率 1/1500 换算至 GB/T 39559.3—2020 表 8 中 $L_s=12$ m 时对应的安全值为 8 mm/12 m $\leq$ 9 mm/12 m, 此时对应的安全限值以 GB/T 39559.3—2020 为准。

表 C.0.1-3 中明挖法或矿山法地下结构安全控制指标中的水平位移、竖向位移控制指标取值同表 C.0.1-2 盾构法地下结构, 但表 C.0.1-2 仅给出了单项外部作业控制值, 安全限值仍需根据线路曲线线型指标确定。接缝处差异沉降、变形相对曲率安全限值参照 GB/T 39559.3—2020 中表 8 分别取为 8 mm 和 1/1500。变形相对曲率的控制值前述表 8 给出了 1/2000 的预警值, 本规程延续行业标准以及上海等地的标准按表 8.2.4-3 取为 1/2500。接缝处差异沉降的控制值的选取, GB/T 39559.3 中表 8 按预警值 1/2000 (10 m 测点间距) 对应为 5 mm, 本规程依据变形相对曲率 1/2500 安全限值换算得相应控制值为 4 mm, 本规程取为 4 mm。明挖结构最大裂缝宽度设计值为 0.3 mm,

迎水面最大裂缝宽度设计值为 0.2 mm, 以此为结构裂缝宽度控制值, 安全限值参照《城市轨道交通隧道结构养护技术标准》CJJ/T 289—2018 表 5.4.2-1 取为 3 mm。振动速度取为 2.5 cm/s。高架结构的安全控制指标根据结构对行车的安全影响确定, 本规程指标主要适用于高架区间结构较为常见的梁式结构桥, 拱桥、斜拉桥、悬索桥等桥型可参照《城市轨道交通设施运营监测技术规范 第 2 部分: 桥梁》GB/T 39559.2—2020 执行。根据《城市轨道交通设施运营监测技术规范 第 2 部分: 桥梁》GB/T 39559.2—2020, 城市轨道交通列车影响评价指标包括列车荷载作用指标和恒载作用指标, 其中列车荷载作用指标值来源于静动荷载试验等, 恒载作用指标值来源于定期检查、专项检查以及沉降变形监测。本规程给出了梁式结构桥恒载作用下的行车安全控制指标, 主要包括梁体最大竖向变形、桥墩墩顶横向位移和相邻桥墩沉降位移差。表 C.0.1-4 给出了相应的安全控制指标值。当梁体竖向位移 $L_1 \geq 120$ m 时, GB 39559.2—2020 控制值为 $L_1/2300$ 、安全限值为 $L_1/1600$, 本规程通过与 GB 39559.2—2020 中的列车作用下梁体最大竖向变形限值比对, 综合考虑后取控制值为 $L_1/1800$ 、安全限值为 $L_1/1300$ 。桥墩墩顶横向位移中 L 的单位为 m, 位移控制值的单位为 mm, 例 25 m~40 m 简支梁控制值为 $3\sqrt{L}$, 当 $L=25$ m, 则控制值为 $3\sqrt{25}$ mm=15 mm。相邻桥墩沉降位移差的控制值取设计值, 根据《城市轨道交通桥梁设计规范》GB/T 51234—2017、《地铁设计规范》GB 50157—2013, 对于跨度小于 40 m 的梁的相邻桥墩, 其工后沉降之差无砟桥面不应超过 10 mm, 有砟桥面不应超过 20 mm。对于设计值为未考虑支座抬高的情况, 根据《城市桥梁养护技术标准》(CJJ 99—2017) 第 6.1.2 条: “对需抬高的支座, 抬高量在 50 mm 及以下可垫入不锈钢板或调整支座型号; 抬高量在 50 mm 以上的应进行专项设计, 及

时修复。”，《城市轨道交通桥梁设计规范》GB 51234—2017 第 7.1.7 条：“区间桥梁墩台基础的沉降应按恒载计算。计算总沉降量不应大于 50 mm。”《城市轨道交通桥梁设计规范》（GB 39559.2—2020）第 7.3.7 条：“25 m~40 m 简支梁桥相邻桥墩沉降位移差的预警值为 45 mm，安全值为 60 mm。”根据上述规定，本规程相邻简支梁桥桥墩差异沉降安全限值按无砟桥面取为 60 mm，有砟桥面取为 70 mm。此外，对于外部超静定结构，其相邻墩台不均匀沉降量之差的安全限值还应根据沉降对结构产生的附加影响确定。梁体裂缝宽度的控制值取设计值 0.3 mm，安全限根据《城市桥梁养护技术标准》CJJ 99—2017 第 5.1.2 的第 2 条：“对于宽度大于 3 mm 的桥面裂缝，应检查其发生原因，在确定无结构破坏和延续发展的条线下，可进行灌缝处理。”可见 3 mm 的桥面裂缝已需要开展病害治理工作，根据本规程结构安全状态分级的标准，梁体裂缝的安全限值应取为 3 mm。振动速度指标不考虑控制值，安全限值取 2.5 cm/s。

总体上，城市轨道交通结构的安全控制指标值难以严格量化，需综合考虑各方面因素确定合理的结构安全控制指标值。

4 既有结构保护

4.1 一般规定

4.1.1 对结构现状、地质条件和场地环境进行调查是掌握城市轨道交通结构现场实际情况和外部作业条件最直接和最有效的途径，也是制定既有结构保护方案的重要依据。

4.1.2 条文中明确了对于重大影响外部作业、影响等级为二级的外部作业的保护要求。三级、四级等影响可控的外部作业，虽不要进行安全评估工作，但仍需根据影响情况进行针对性的结构安全监测。

4.2 现状调查和现场巡查

4.2.1 现状调查指对城市轨道交通结构的状态进行调查，包括外部作业实施时的工前调查、过程调查及工后确认。工前调查是对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。

将对结构状态进行过程调查和工后确认得到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。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，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，并完善各项确认手续。

4.2.3 工前调查是对既有结构进行安全评估的基础。工前调查

应尽可能收集城市轨道交通结构的设计、施工及验收等各阶段的资料,获取结构监测、维修加固等信息,观察并记录既有结构的外观情况,以全面反映其安全状态。在进行结构的断面测量时,宜优先采用精密的仪器设备对特定里程的断面进行现场量测,测量完成后应按要求编制结构断面测量成果并绘制相关断面图。

4.2.4 外部作业实施期间当出现既有结构监测数据的变化量、变形速率或病害发展较快等情况时,说明外部作业对结构造成的安全影响较大,应及时开展过程调查工作。过程调查应满足评估结构当前安全状态的要求,并为进一步采取处置措施提供依据。

4.2.5 对城市轨道交通结构的工后确认,应在监测数据稳定之后开展,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。

4.3 安全评估

4.3.1 安全评估分析宜采用荷载-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》GB 50010—2010,分别按裂缝控制(正常使用极限状态)、强度控制(承载能力极限状态)两种工况进行验算,估算结构的安全度。对于较为重要的结构,亦可考虑采用足尺或缩尺模型,模拟实际状态下结构的受力和变形特征。

城市轨道交通结构现状评估及外部作业影响预评估、施工过程评估和后评估一般采用荷载-结构和地层-结构这两种基本计算模型:

1 荷载-结构模型

该模型(图1)认为地层对结构的作用只是产生作用于地下

结构上的荷载，包括主动地层土压力和被动地层抗力，从而计算出结构在荷载作用下所产生的内力和变形。

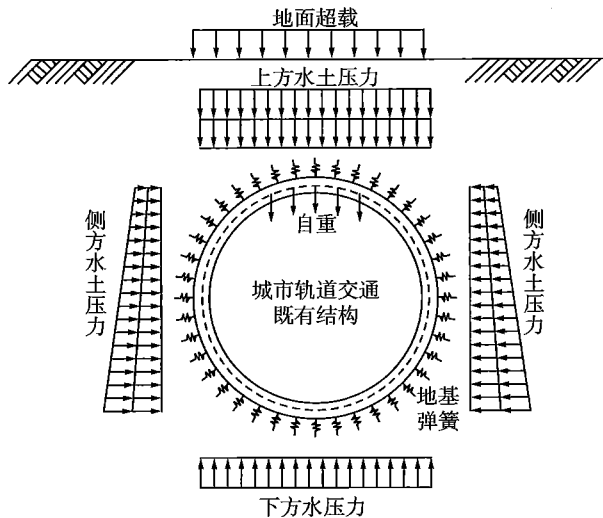


图 1 荷载-结构模型

2 地层-结构模型将城市轨道交通结构和地层作为共同受力的统一体系，此模型（图 2）充分考虑了地下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。

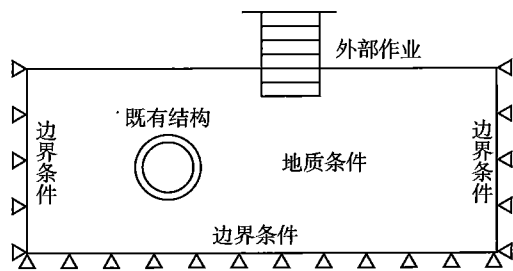


图 2 地层-结构模型

4.3.2 城市轨道交通结构的现状评估的目的是掌握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，结合场地工程地质条件、外部作业与城市轨道交通结构的空间位置关系，合理选用结构安全控制指标，并初步确定相应的控制值，为后续的评估工作起到一定的指导作用。此项评估在外部作业实施前进行，起到证据保全作用，便于外部作业实施后对实际造成的影响进行责任认定；对造成严重后果的，应根据我国现行的《中华人民共和国建筑法》有关规定，向责任者要求赔偿。

4.3.3 外部作业影响预评估指在外部作业实施前，结合城市轨道交通结构的特点，以及既有结构与外部作业的位置关系，并根据外部作业施工方案的实际工况，采用理论分析、模型试验、数值模拟等方法，预测外部作业对既有结构的安全影响，提出相应的结构安全控制指标预测值，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。

4.3.4 外部作业施工过程评估指外部作业施工过程中，以结构监测数据为基础和依据，进行现场监测数据与安全评估预测值的对比分析，及时评估结构当前的安全状态，并判断外部作业继续实施过程结构的安全性。若监测数据超过预评估结果，则须根据外部作业实际工况进行反演分析调整计算参数，并重新建立计算模型，评估既有结构的当前状态和继续抗变形能力、承载能力，预估后续施工期间轨道交通结构的变形增量，综合评定外部作业后续施工对轨道交通结构的影响及保护措施的可性；必要时可根据分析结果及时修正安全控制指标，要求外部作业增加保护措施、重新制订或调整设计、施工方案，并提出相应的意见及建议。

4.3.5 外部作业影响后评估指在外部作业完成后，根据外部作

业对城市轨道交通结构已经产生的影响程度，再次评估轨道交通结构本体的安全。若实测数据已接近相应的安全控制值并呈增大趋势，或实测数据已超过相应的结构安全控制值，则应及时进行现状调查、检测，并结合调查结果进行结构验算，评估外部作业完成后轨道交通结构继续抗变形能力和承载能力，提出结构的安全控制指标和相应的处理意见和建议，必要时提出修复、加固轨道交通结构的措施。待实测数据稳定后，还应再次进行外部作业影响后评估。

4.4 地下结构保护

4.4.1 在城市轨道交通地下结构上方区域进行堆载、重载运输将会对结构产生附加荷载，导致结构出现变形，甚至开裂破坏等结构病害。因此，城市轨道交通地下结构，特别是盾构隧道上部一定范围内的加载必须控制在安全容许范围内，加载引起的附加荷载不得超出 20 kPa，附加荷载的计算可参照《盾构隧道工程设计标准》GB/T 51438—2021 中第 5.2.3 和第 5.2.4 条执行。

4.4.4 城市轨道交通控制保护区内的新建建筑物，特别是新建高层建筑物，其下卧地基土中会形成一定范围的沉降位移场，如轨道交通结构位于其沉降位移场内则会受到沉降影响，可能造成轨道交通结构产生不均匀沉降。

新建高层建筑对相邻轨道交通设施的影响，可以划分为几个阶段：基坑工程施工阶段、结构施工加载阶段和结构封顶之后的工后沉降阶段。由于高层建筑沉降发展历时较长，因此对邻近轨道交通设施的沉降扰动也是个长期过程。

应尽量采用对控制保护区内地层影响较小的方案，将新建建筑物对既有结构产生的附加荷载控制在允许范围内。建（构）

筑物的工程桩基宜采用端承桩，直接将荷载传递到基岩上；如基岩埋置较深，采用端承桩不经济时则可通过增加桩基数量或降低上部结构荷载等方式降低单桩的设计荷载，以控制桩基的沉降影响。

4.4.7 在进行有压力的外部作业前，可通过工程类比法预测轨道交通结构外壁的附加荷载，没有压力扩散相关研究或类似经验时，应进行注浆、旋喷压力控制试验。试验应在轨道交通影响范围外相似地层条件下进行，宜分区段进行压力试验。

4.4.8 在过江（河、湖）段城市轨道交通控制保护区内进行采砂等作业易引起轨道交通结构上方覆土的变化，进行抛锚或拖锚等作业易使隧道结构受到锚击的附加动荷载，且水下作业环境复杂，因此，过江（河、湖）段城市轨道交通控制保护区内不应进行采砂、抛锚或拖锚等作业。当无法避免时，应制定合理的安全保护方案，以降低作业影响。

4.4.9 临近轨道交通地下结构敞口段的外部作业，应进行施工期间的防洪防涝设计，防止施工期间外部水源（洪水、内涝等）灌入轨道交通地下空间内。

4.5 地面和高架结构保护

4.5.1 与地下结构所处的隐蔽空间不同，地面和高架结构处于敞开的地表空间，外部作业除影响结构安全外，还会因作业过程中出现的其他问题影响城市轨道交通的运营安全。

应避免在净高小于或略高于施工车辆（施工设备）高度的高架结构下方设置施工行车便道；不得向地势低的轨道交通地面结构和高架结构区域排水；上跨轨道交通结构的外部作业，应采取有效措施防止坠物；临近轨道交通施工时，应防止轻体易漂浮物进入轨行区，导致接触网断电等事故的发生。

4.5.2 上跨城市轨道交通地面和高架结构的外部作业应充分考虑轨道交通行车安全及维护保养所必要的空间，并设置防撞墙、防抛网等设施。上跨施工应避开轨道交通运营高峰时段，有条件时应在停运后进行。

4.5.4 与城市轨道交通地面或高架结构长距离平行设置的外部工程，安全距离的控制应重点考虑以下因素：1) 施工期间及运营后的防护，包括防撞、防止车辆设备侧翻、防抛物、防坠落等；2) 应当留有必要的应急施救条件，以满足消防和施救空间的要求。

4.5.5 本条文主要针对的是邻近高边坡、高挡墙等高大建（构）筑物的城市轨道交通地面或高架结构，防止因外部作业导致高边坡、高挡墙、高压铁塔等高大建（构）筑物发生险情，进而危及城市轨道交通结构安全和行车安全。

4.5.8 外部作业实施完成后，临近城市轨道交通地面和高架结构的建（构）筑物进入使用阶段，使用过程中对城市轨道交通的影响一时难以发现，如功能干扰（灯照）等，此时，应及时针对出现的问题采取必要的防护措施，比如可通过设置防眩网、防眩格栅等方式降低外部灯照的干扰。

5 外部作业控制

5.1 一般规定

5.1.2 城市轨道交通结构专项保护方案应根据外部作业对既有结构的影响特征，基于结构安全保护技术要求，选择合理的工法、工艺及参数，并制订针对性的保护措施。重大影响外部作业实施前应制订应急预案，应急预案应包括外部作业工程自身的应急预案和轨道交通的应急预案。

5.1.3 运营轨道交通列车的振动不可避免地会对临近的建构筑物产生一定的影响，其影响程度按《环境影响评价技术导则：城市轨道交通》HJ 453—2018 确定。在城市轨道交通控制保护区内规划建设环境敏感建筑物时，宜优先考虑建筑退界；若无退界条件的，应采取主动隔振、减振等防护措施。

5.2 基坑工程

5.2.1 城市轨道交通周边地下空间开发需求日益增加，临近轨道交通的深大基坑工程越来越多，从轨道交通结构的长期安全考虑，需要对该类作业制定科学、完整和可靠的实施方案，切实平衡好城市发展需求和轨道交通安全。根据外部基坑作业过程中周边环境和变形影响规律的研究以及大量的工程实践，基础基坑实施一般遵循“近浅远深，近小远大，先远后近”的设计施工原则，同时需要综合考虑基坑作业各阶段不同分项实施的可能影响，比如围护结构作业、地基加固、土方开挖、支撑拆除和上部建筑施工等。

5.2.2 外部基坑工程对城市轨道交通结构的影响等级与工程地质和水文地质条件、两者的净距、基坑开挖深度、基坑开挖面积等因素有关，为便于操作，本规程仍沿用行业标准的惯用分级方式，根据开挖深度和相对净距确定外部作业影响等级，再根据工程地质条件和基坑开挖面积对影响等级进行适当调整。

5.2.4 与车站结构相比，既有隧道特别是盾构隧道，因自身接缝多，结构刚度相对较小，基坑开挖卸荷不仅会引起隧道变形，还会使隧道产生附加内力和接头位移，隧道变形过大会引发各类病害甚至影响结构安全。

根据基坑和隧道的不同位置关系，基坑施工对隧道的影响可以主要分为两类：隧道上方基坑开挖的影响 [图 3 (a)] 和隧道侧方基坑开挖的影响 [图 3 (b)]，分别简称为上方基坑和侧方基坑。

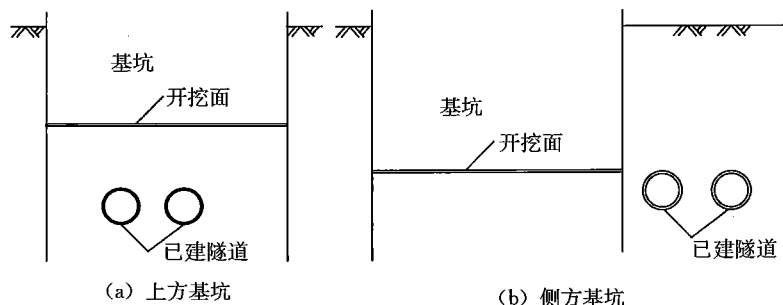


图 3 基坑开挖与既有盾构隧道的典型相对位置

上方基坑开挖卸荷导致隧道周围土体隆起和竖向土压力的变化，隧道横断面会产生“竖鸭蛋”变形，沿纵向会产生不均匀沉降变形；侧方基坑开挖卸荷导致坑外土体产生位移，隧道随土层变化产生纵向不均匀变形。上述变形均会对隧道结构和防水产生不利影响。

当外部作业同时包含上部基坑和侧方基坑两种属性时，工

程设计与施工中宜将外部作业按照不同属性切割为上方基坑和侧方基坑两部分,并分别根据其开挖卸荷影响的不同机理采取针对性的保护措施,最终叠加两部分对隧道的影响以评估外部作业对既有结构的最终影响程度。

上方基坑通常单次卸荷量更大,可采取的保护措施较为有限,工程中对隧道的保护也更为困难。工程实践表明,软土地区开挖面以下土体的隆起大小与开挖面积和暴露时间有密切关系,因此,需要采取分区分块的措施,并在限定时段内完成分区分块的基坑开挖和内部结构施工,通过分区分块和限时施工并压载的方式,以有效控制基坑下方轨道交通结构的变形。

5.2.5 依据《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010,软土或软弱土,是指淤泥、淤泥质土,松散粉、细砂或新近沉积的黏性土和粉土以及地基承载力特征值 $f_{ak} \leq 130$ kPa 的填土。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。

5.2.8 外部基坑影响等级为特级、一级或既有结构存在初始病害,保护要求高时,宜采用地下连续墙或其他刚度较大的围护结构体系。软土地区可根据成槽情况或当地工程经验,合理增设槽壁加固措施。

5.2.9 对于采用多道钢筋混凝土支撑的外部基坑工程,当保护要求较高时,也可采用混凝土支撑自动伺服系统。

5.2.12 城市轨道交通结构周边的外部工程地下室结构,长期渗漏水会导致周边水土流失,改变周围土体的应力和位移场,进而影响轨道交通结构安全。因此,有必要明确此类地下结构的防水设计要求。

5.2.13 基坑工程的肥槽回填不密实时,会导致临近的轨道交通结构发生位移,因此,宜采用不低于 C15 的素混凝土回填。当地下室侧墙与围护结构间的肥槽空隙较大,回填素混凝土不

经济时，可在地下室各层楼板标高处浇筑支撑板带，并应密实回填相邻板带间的空隙。

5.2.14 支撑拆除是控制轨道交通结构侧基坑变形的核心因素之一。支撑拆除应遵循“先换撑，后拆除”的原则，支撑拆除宜采用人工或静力切割等影响较小的拆除方案，并可采取分段拆除支撑的措施。

5.3 隧道工程

5.3.1 外部隧道工程与城市轨道交通结构的关系包括上穿、下穿、侧穿、并行等。外部隧道施工工法主要包括明挖法和暗挖法两种，其中暗挖法是指矿山法、盾构法、顶管法和其他非开挖工法。明挖法隧道按本规程 5.2 节基坑工程有关规定执行。

5.3.2 新建隧道从轨道交通结构上部穿越，造成既有结构上方卸载，且对既有结构抗浮不利，需要通过压载措施控制既有结构的上浮。若从既有结构下方穿越，则造成既有结构下沉，产生较大的竖向差异沉降，相比既有结构上浮，差异沉降的危害更大也更难治理。因此，新建隧道宜优先选择从既有结构上方穿越。

小半径曲线（转弯半径小于 500 m），平曲线、竖曲线叠加地段盾构姿态控制及成型管片质量容易出现质量问题。地铁隧道通常线间距为 12 m，控制夹角为 18° 时，穿越距离增加 1 倍（约 35 m），相应的风险也增加一倍。因此，控制夹角宜采用与既有结构大角度相交的直线穿越。

轨道交通地下结构变形缝、结构开洞等位置抵抗变形的能力较弱，因此，线路交叉设计应主动避开这些薄弱环节。无法避让的应采取有效的措施控制风险，以确保安全穿越。

5.3.6 采用明挖工法新建的污水管道、引水管道采用承插式接

头时,接头适应地层变形能力强,但接头容易渗漏导致水土流失,间接影响被穿越轨道交通结构的安全,因此可采取注浆加固周围地层或在穿越既有结构段管道内增设阀门等措施。此外,采用直流供电的轨道交通系统会在周围土层持续产生杂散电流,钢管、铸铁管外壁在杂散电流的长期作用下,会加速管材的腐蚀,导致管材劣化、破损产生渗漏,因此需要采取主动防护措施。

5.4 基础工程

5.4.1 浅基础外部作业一般指基础埋深为3 m~5 m,或者基础埋深小于基础宽度,且只需排水、挖槽等普通施工即可建造的基础。浅基础分为扩展基础、联合基础、柱下条形基础、柱下交叉条形基础、筏板基础、箱形基础、壳体基础等。

浅基础作业会改变轨道交通结构的设计荷载和边界条件,因此设计时应考虑施工期、使用期作用在轨道交通结构上的附加荷载及其引起的附加变形,同时尚应考虑其他荷载的叠加影响。

5.4.2 地基处理施工对城市轨道交通结构的影响主要与地基处理方法、施工工法、地基处理施工与城市轨道交通结构的距离、工程地质等因素有关。

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,其近距离作业对城市轨道交通结构的影响较大,因此不宜采用此类工法,并应优先采用对周边环境影响较小的措施和参数。

5.4.3 桩型的选择主要是考虑桩基施工过程中的挤土影响,采用预制桩难以控制沉桩挤土影响时,宜考虑采用灌注桩。

高层建筑传递到桩基上的荷载较大,会产生一定的地基沉

降,进而传递到临近的轨道交通结构上,在既有结构上产生附加荷载和附加变形。因此,高层建筑的桩基应进行桩基承载力计算和沉降验算,对于高层建筑宜根据既有结构保护要求控制单桩荷载水平(单桩承载力设计值),沉降不满足要求时可通过增加桩长或者桩基数量等措施控制沉降。

5.4.6 软~流塑性的软土、密实度不高的粉土和砂土地层中灌注桩施工易发生孔壁坍塌,当桩基距离既有结构小于 $6D$ 范围内时,宜考虑采用部分套筒或者全套筒护壁。

5.5 降水工程

5.5.3 外部作业过程中进行大面积降水,首先会引起地层有效应力增加,导致轨道交通结构产生附加变形;其次降水会引起地层固结沉降,导致轨道交通结构发生竖向位移;另外,大幅降水也可能导致土体失稳和涌水涌砂等险情,从而对轨道交通结构的稳定性造成不利影响甚至导致其变形损坏等。因此,在上述不良地质区域进行外部降水作业时,应采取合理的措施,严格控制地下水位下降的幅度。

5.5.4 经验表明,地下工程事故大部分都与地下水有关,因此需要特别注意降水作业对城市轨道交通结构的不利影响。

例如,南京河西地区是典型的长江漫滩软土区,土体的灵敏度高、渗透性好,局部淤泥质粉土与粉砂互层水平渗透系数高,降水引起的坑外变形影响大,甚至出现围护结构接缝处涌泥、涌砂等现象;此外,根据工程经验降水作业的影响范围可达100 m以上。因此,南京河西地区临近轨道交通的深大基坑降水较多采用嵌岩的地下连续墙(或TRD)等进行封闭式止水。为确保止水帷幕的止水效果,在基坑降水作业前应开展局部抽水试验,通过观测坑内外水位变化或采取水下声呐检测等方法

确认止水系统的质量及效果。

5.6 其他工程

5.6.2 临近轨道交通结构的地下管道和箱涵，一旦出现泄漏不易及时发现，且难以处理。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。燃气、供水管等压力管道一般不得下穿轨道交通结构，必须下穿的，应采取套管等特殊加强措施。

外部管线为给水、排水或污水管道时，应选取合适的接头型式、采取有效的防护措施控制穿越段管线接头的渗漏水，同时采取设置阀门等措施，应对穿越段管线出现渗漏需应急检修的情况。

6 接口改造

6.2 技术要求

6.2.1 接口改造作业设计前应调查既有结构的建设期及运营相关资料，查明改造影响范围内设备设施现状，根据结构保护要求及运营管理要求，制订专项设计、施工方案等。

6.2.2 地下结构接口改造设计和施工方法应紧密结合。新建结构除满足地基承载力要求外，还应考虑新、老结构地基变形的差异，按变形协调的原则进行设计，同时采取可靠的连接方式，确保新、老结构连接的安全性及可靠性。

6.2.5 新建结构除应满足自身的排水要求外，还应满足与之相连的城市轨道交通车站的防淹、防洪和排水等相关要求。严禁发生雨水倒灌，特别是接口改造工程临近河流、湖泊，位于低洼区域或采用下沉式广场等情况时。在接口改造作业过程中及改造作业完成后均应采取安全可靠的防洪、防淹措施。

6.3 实施要求

6.3.7 当采用植筋方式连接时，新老混凝土交接面应进行凿毛接浆处理，植筋打孔时不得破坏既有结构内钢筋。植筋需要进行抗拔承载力现场非破坏性检验、破坏性检验，并满足《混凝土后锚固技术规程》JGJ 145—2013 中的相关要求。植筋用的黏剂量和性能需满足《混凝土结构加固设计规范》GB 50367—2013 的相关规定。

当采用凿出既有结构钢筋焊接时，钢筋的焊接接头应设置

在受力较小处，接头应相互错开，并满足《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18—2012 的相关规定。

6.3.8 近年来，国内发生多起因外部作业施工导致雨水倒灌至轨道交通车站的事故，对轨道交通运营造成较大影响。应严格控制接口处既有结构侧墙破除时机，且应在破除前落实相应的防淹措施，制订有效的应急预案。

7 安全监测

7.1 一般规定

7.1.3 采用仪器量测、现场巡视或远程视频监控等多种手段相结合的方法进行城市轨道交通结构的监测，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量测，以避免对列车运营产生干扰；运营停止期间，可采用仪器量测与巡视检查相结合的方法。仪器量测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，特别是仪器量测不到的区域和病害（如结构的裂缝分布、渗漏水情况等），从而避免片面地分析和处理问题。

7.1.4 轨道交通结构监测的传统方法一般是利用全站仪、水准仪、收敛计等仪器设备，采用人工观测的方法进行现场观测。随着监测技术的发展，光纤光栅、三维激光扫描法、近景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。在采用新技术、新方法进行结构监测前，应利用传统方法对新技术、新方法的精度、稳定性等进行验证，以确认其监测精度符合规范及现场要求。

7.1.6 监测的技术标准应按照《工程测量规范》GB 50026—2007 中明确的监测方法、监测技术和监测精度要求执行。还可以依据《建筑变形测量规范》JGJ 8—2016、《城市轨道交通工程测量规范》GB/T 50308—2017 等有关规范中明确的监测方法、监测技术和监测精度要求执行。

7.2 监测项目

7.2.1 城市轨道交通结构监测应根据外部作业影响程度大小、轨道交通结构型式及轨道交通结构自身状况选取监测项目，需考虑现场的可操作性，并能反映外部作业过程结构的响应。结构的力学响应可根据变形响应情况进行反算，通过受力情况评估结构的安全状态。结构变位监测，包括纵/横断面水平位移、竖向差异位移，对于已铺轨的既有结构可通过道床的纵、横断面监测获取，对于在建但尚未铺轨的结构，可通过结构底板的纵、横断面监测获取。

7.2.5 本规程所称超高层建设项目是指高度大于 100 m 的建筑。附加变形是指高层建筑地基基础沉降变形引起的临近轨道交通结构的变形。超高层建筑塔楼区域荷载大，封顶后地下室整体受上部荷载影响和土体固结向下沉降，工后沉降发展至稳定阶段是一个长期过程，会对临近轨道交通结构产生附加变形影响，因此需要开展附加变形影响的测量。

对高度小于 100 m 的高层建筑，宜综合考虑地下室整体情况，若因上部荷载较大，表现为整体沉降，则仍需在建筑封顶后开展附加变形影响的测量。

7.2.6 地下水位观测井或承压水水位观测井的布置应根据现场场地条件合理确定，尽可能体现轨道交通结构附近的水位变化。

7.2.7 本条所述监测项目主要指轨道交通结构周边的环境监测项目，环境监测项目除满足本规程的相关规定外还应符合《建筑基坑工程监测技术标准》GB 50497—2019 的有关规定。

7.2.8 当外部作业采取其他非爆破作业方式，但其振动对轨道交通结构影响较大时，可参照本条文执行。

7.2.9 道床和轨道的几何形位监测包括轨道轨距、轨顶水平、

轨道平顺度（轨向）、道床脱空、裂缝等内容。《城市轨道交通设施运营监测技术规范 第4部分：轨道和路基》GB/T 39559.4—2020明确了道床和轨道的监测项目、监测点布设要求、监测技术要求和变形的控制标准，需开展道床与轨道变位监测的应按 GB 39559.4—2020 或相关规范的有关内容执行。

7.3 监测点布设

7.3.1 监测点的布设是开展监测工作的基础，是反映工程自身和周边环境安全的关键。监测点的布设需要综合考虑监测对象的特点、地质条件、周边环境条件等因素，条文中外部作业影响等级确定时已考虑了保护对象工程地质和水文地质以及周边环境等因素，故未再做强调。

监测点布设时需要确保对轨道交通结构和周边环境对象受力和位移变化较大的部位进行有效监测，以真实地反映轨道交通结构和周边环境对象安全状态的变化情况。同时，还要兼顾监测工作量及费用，以达到既可控制安全风险，又可节约费用成本的目的。

7.3.2 监测点的埋设应以不妨碍结构的正常受力或正常使用为前提，要便于现场观测，如便于跑点、立尺和数据采集，同时要保证现场作业过程中的人身安全。在满足监测要求的前提下，应尽量避免在材料运输、堆放和作业密集区埋设监测点，以减少对现场观测造成的不利影响，同时也可避免监测点遭到破坏，保证监测数据的质量。

监测点的数值变化是监测对象安全状态的直接反映，监测点埋设质量的好坏对监测成果的准确性、可靠性有着较大影响，因此应埋设牢固，并采取可靠方法避免监测点受到破坏。若发现监测点被损坏，则需及时恢复或采取补救措施，以保证监测

数据的连续性。为便于监测和管理,应对监测点按一定的编号原则进行编号,标明测点类型、保护要求等,并在现场清晰喷涂标识或挂标示牌。此外,监测范围内有长期监测的基准点、观测点的,宜充分进行利用,既可避免重复工作,又能保证数据的连续性和一致性。

7.3.4 根据南京等地的工程实践经验,承压水水位变化的影响范围一般可达 100 m 以上。因此,对采取抽降承压水措施的外部作业,应先对通过降水分析或根据当地工程经验,预估降水的影响范围,根据该范围适当扩大轨道交通结构的监测范围。

7.3.5 监测点应在结构关键特征部位、薄弱部位布置,监测过程中尚应结合外部作业对既有结构的影响情况动态调整测点的布置。道路工程、管线工程等外部作业的监测点布设应结合其影响等级和影响范围综合确定。

框架隧道、地下车站、整体式高架桥梁上行线、下行线的竖向位移监测点宜设置在同一横断面上,以便判断结构横向的差异沉降或倾斜程度;车站与区间连接处、区间与联络通道连接处,附属结构与主体结构连接处应布置监测点;路基与桥梁或路基与隧道等结构连接处应布置监测点。具体监测点的布设可参考如下。

1 地下车站或框架隧道竖向位移监测点布设

一般道床地段,在地下车站站台层或框架隧道内纵向布设监测断面,在断面内的上行线、下行线上分别布设监测点,测点沿线路中心线布设在道床轨道中部轨枕上;对于采取高等减振措施、特殊减振措施(钢弹簧浮置板)的地段,竖向位移观测点应埋设在行车方向右侧结构底板上,并与道床位移动观测点同断面布设(图 4)。除对行车处结构进行监测外,还应对立柱、特殊部位(结构板与侧墙结合处)等进行监测,监测点应与站内竖向位移观测点同断面布设。

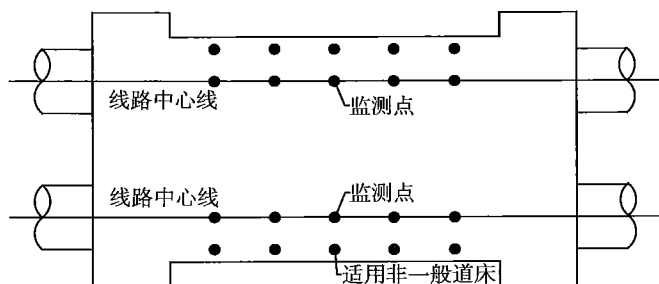


图 4 地下车站或框架隧道竖向位移监测点平面布置示意图

2 盾构隧道竖向位移监测点布设

盾构隧道一般道床地段，竖向位移观测点布置于整体道床上（竖向位移兼做道床沉降监测点），并位于线路中心线轨枕的中部，影响等级为特级、一级时宜按 3 m~5 m 间距布设，对于环宽 1.2 m 的管片，每 3~4 环布设一个监测点；对于采取高等减振措施、特殊减振措施（钢弹簧浮置板）的地段，竖向位移观测点应埋设在行车方向右侧管片结构上，并与道床位移观测点同断面布设；盾构隧道管片结构竖向位移监测点宜布设于管片结构与道床结构易脱空的特征位置，并与道床结构竖向位移监测点对应（图 5~图 6）。对于曲线段监测点宜布置在直缓、缓圆、曲线中点、圆缓、缓直等曲线要素上。

3 不同工法结构连接处、变形缝处差异沉降监测点布设

车站与区间连接处、区间明挖 U 槽段与路基段连接处、路基段与桥梁连接处、车站主体结构与附属结构变形缝处、隧道变形缝处两侧，沿线路上行线、下行线中心线各布设 1 对。高等减振道床、特殊减振道床（钢弹簧浮置板）处的监测点不应埋设在道床结构上，盾构法隧道应埋设在列车行进方向右侧管片结构上，明挖框架结构应埋设在列车行进方向右侧底板上，高架结构应埋设在道床两侧梁体结构上（图 7）。

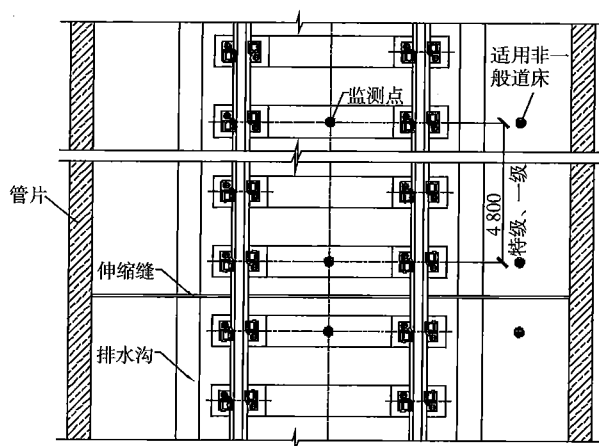


图5 盾构隧道竖向位移监测点平面布置示意图

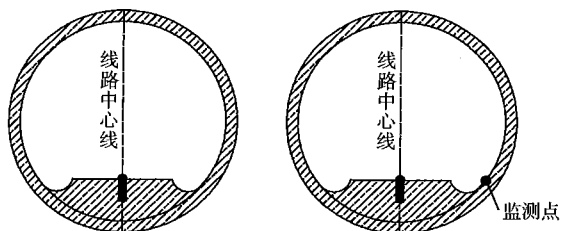


图6 盾构隧道竖向位移监测点剖面布置示意图

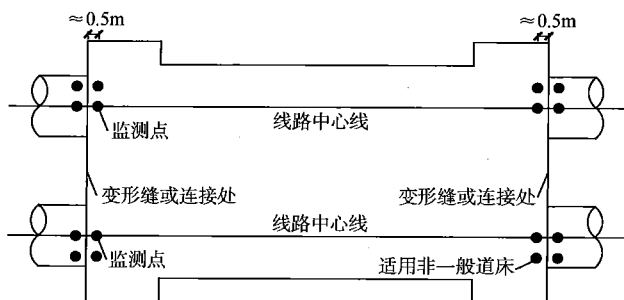


图7 结构连接处或变形缝处差异沉降监测点布置示意图

4 联络通道竖向位移监测点布设

联络通道竖向位移一般应沿联络通道中心线断面，在联络通道中心、两侧以及临近隧道结构上共布设不少于 5 个测点；联络通道兼做废水泵房时，联络通道中心测点宜布设于中心沿线的结构体上，以便于观测；联络通道两侧监测点在联络通道中心线上距联络通道和隧道连接处约 0.5 m 对称布设，且联络通道中心线与线路中心线交点处应布设隧道竖向位移监测点，以便于监测隧道和联络通道的差异沉降值；当采用高等减振措施、特殊减振措施（钢弹簧浮置板）时，隧道内监测点应沿联络通道中心线布设在临近隧道和联络通道连接处的管片结构上（图 8）。

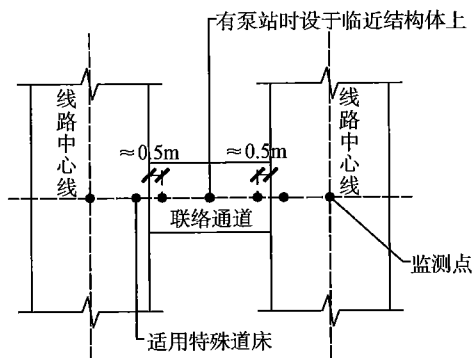


图 8 联络通道竖向位移监测点布置示意图

5 高架结构竖向监测点布设

高架结构竖向位移监测包括高架桥墩竖向位移监测和高架桥梁竖向位移监测。高架桥墩分为单柱墩和双柱墩，应在每柱墩上布设两个竖向位移监测点，监测点距离地面高度约 0.5 m（图 9）。高架区间简支梁应在每跨梁上沿上行线、下行线线路中心等距离布设不少于 5 个竖向位移监测点。监测点一般埋设于轨枕上，并在跨中位置的梁体结构上增设一个监测点。上行线、

下行线监测点应同断面设置（图 10）。

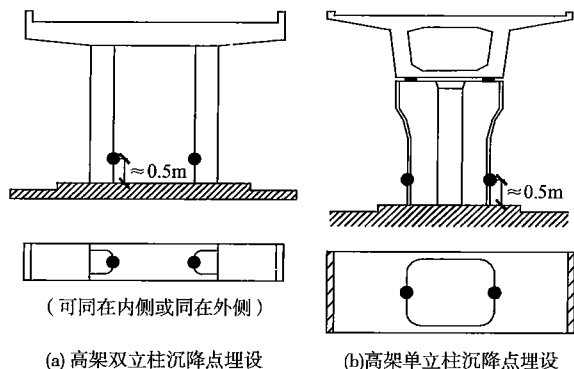
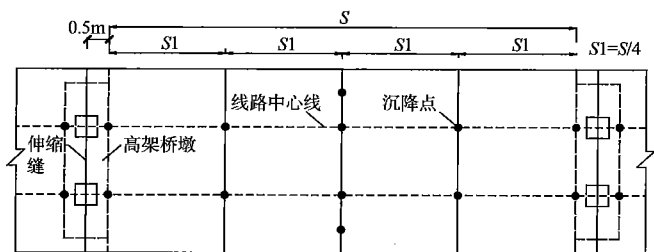


图 9 高架结构桥墩竖向位移监测点布置示意图



注：本图适用于 30 m 左右的标准跨，跨度较大的连续梁应以 5 m 间距呈跨中对称布设

图 10 高架结构桥梁竖向位移监测点布置示意图

6 隧道收敛变形监测点布设

江苏省内运营及在建盾构隧道以内径 5.5 m（外径 6.2 m）单圆错缝拼装为主，过江段采用内径 10.2 m（外径 11.2 m）的大盾构。近年来，南京、苏州等地开始采用内径 5.9 m（外径 6.6 m）的管片，为病害条件下盾构隧道建筑限界的调整预留更大的空间，以应对全寿命周期内可能出现的大变形情况。

图 11 为内径 5.5 m 的单圆错缝拼装隧道水平收敛监测点的布置示意图，图 12 为内径 10.2 m 的大盾构隧道水平监测点的

布置示意图，其他形式可根据断面几何特征合理确定，并应沿隧道直径方向布设。

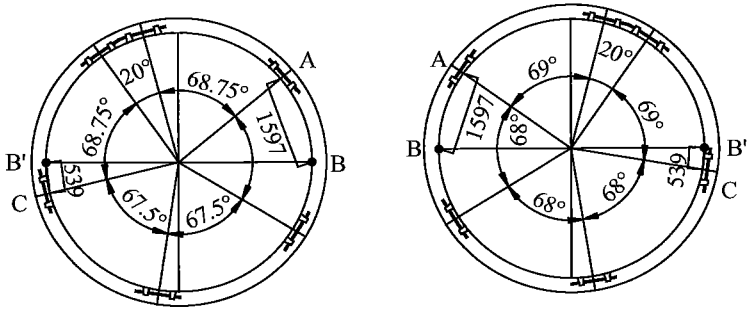
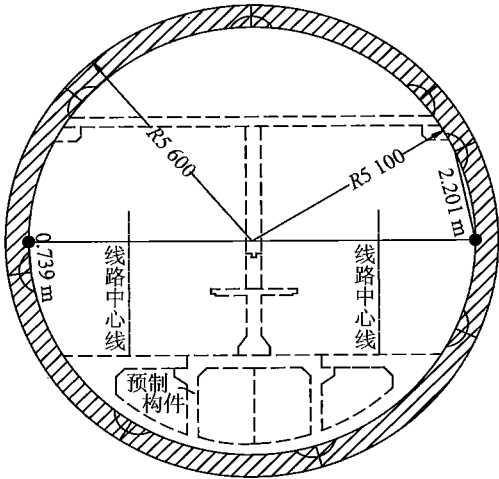


图 11 错缝拼装管片水平收敛监测点布置示意图



注：图示数据为测点与临近接缝净距

图 12 大盾构管片水平收敛监测点布置示意图

7.4 监测技术要求

7.4.1 监测方案是监测单位实施监测的重要技术依据和文件，是保证监测质量的主要前提。应依据外部作业特点及其对城市轨道交通结构的影响等级、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外部作业实施前，采用仪器量测和人工巡视相结合的方法，对城市轨道交通现有状况进行影像、照片、文字、监测数据等的全方位定量、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。

7.4.2 监测基准点不应受外部作业、城市轨道交通车辆振动及周边环境变化的影响，应设置在变形影响区域以外、位置稳定、易于长期保存，并应定期检核，以确保基准点的可靠性，进而保证监测数据的准确性与可靠性。

监测单位应定期检核监测基准网、基准点、工作基点的准确性。

7.4.5 城市轨道交通结构的监测预警等级，应根据结构监测值的大小和变化趋势，以及相应的结构安全控制指标值进行划分。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，能够较为简便地掌握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。

当监测数据接近轨道交通结构安全控制指标值的 60% 或结构出现异常、外部作业施工过程中出现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的

保护需要，有针对性地采取以下措施：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。

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%，监测预警等级达到橙色预警时，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，并提出相应的措施和建议，在通过后续技术评审后，方可继续进行外部作业。

7.4.7 监测周期应根据城市轨道交通结构的特性、变形速率、变形影响因子的变化和观测精度等综合确定，作为稳定标准的监测周期不应少于 1 个月。

7.4.8 参考《建筑变形测量规范》JGJ 8—2016 第 7.1.5 条，当最后 100 d 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，软土地区稳定标准适当予以放宽。实际应用中，最大沉降速率的具体取值尚需结合不同地区的工程地质条件合理确定，并在项目监测技术方案中予以明确。

8 地下结构病害治理

8.1 一般规定

8.1.3 重大影响外部作业可能会对城市轨道交通结构造成较大的影响，针对临近该类外部作业的城市轨道交通结构应遵循“外控内治、动态平衡”的基本原则，采取工前预加固、过程加固或后加固等措施保护既有结构的安全。

“外控内治、动态平衡”的基本内涵为通过加强外部作业控制，减少其引起的轨道交通结构变形；并通过对轨道交通结构的加固治理，提高其抗变形能力，动态平衡外部施工的影响。外部作业实施前，通过预评估识别其对既有结构可能造成的不利影响，视情况采取如增大外部作业净距、进行地层加固、增加围护结构刚度或分坑分区等措施，控制外部作业对既有结构的扰动；如既有结构存在一定程度的初始病害或外部作业可能产生较大的影响，应对轨道交通结构进行治理（内治），如隧底注浆、壁后微扰动注浆、管片槽钢拉条等方式，提高既有结构的抗变形能力。结构加固可分为预加固、过程加固和后加固。预加固目的是改善既有结构的安全状态，为外部作业实施提供变形余量；过程加固根据既有结构的监测情况启动，目的是动态平衡外部作业对轨道交通结构的影响；后加固在外部作业完成后实施，目的是保证轨道交通结构处于长期可控的安全状态。

8.2 安全状态与病害分级

8.2.1 城市轨道交通地下结构安全状态分级在结构安全状态评

估中有着极为重要的作用，在进行结构安全状态评估前，有必要明确安全状态分级，为后续评估提供指导。本规程规定的轨道交通地下结构安全状态分级标准，主要参考现行的各类规范标准，并在此基础上结合江苏省轨道交通结构安全保护要求制定。

《铁路桥隧建筑物劣化评定 第 2 部分：隧道》Q/CR 405.2—2019，对隧道劣化等级进行了划分，如表 2 所示。

表 2 隧道劣化等级划分

劣化等级		对结构功能和行车安全的影响	措施
A	AA (极严重)	结构功能严重劣化，危及行车安全	立刻采取措施
	A1 (严重)	结构功能严重劣化，进一步发展会危及行车安全	尽快采取措施
B (较重)		结构功能劣化，进一步发展会升为 A 级	加强监视，必要时采取措施
C (中等)		影响较少	加强检查，正常维修
D (轻微)		无影响	正常保养及巡检

该规范中将隧道劣化等级分为“A”“B”“C”“D”四级，并将“A”级分为了“AA”“A1”两级，同时提出了各个等级所对应的对结构功能、行车安全的影响，及所需采取的措施。

《铁路运营隧道衬砌安全等级评定暂行规定》(铁运函〔2004〕174 号)中提出隧道衬砌安全等级评定过程中应根据隧道衬砌缺陷及病害的分布情况，分段评定隧道衬砌缺陷及病害等级，其每段的长度不宜小于隧道内净空最大宽度。一座隧道衬砌的安全等级，应在分段评定的基础上，按各段中病害最严重地段的安全等级确定。将隧道衬砌的安全等级，按衬砌状态及危及行车安全的程度划分为完好(D)、轻微(C)、较严重(B)、严重(A1)、极严重(AA)五个等级。

《盾构法隧道结构服役性能鉴定规范》DG/TJ 08—2123—2013 中将隧道结构服役状态等级的评定单元划分为结构整体、结构区段、结构构件三个层次。其中隧道结构构件及连接的服役状态等级由高到低按表 3 划分。

表 3 隧道结构构件及连接的服役状态等级分级标准

分级	服役状态	分级定义	维护措施
a	正常	性能完好	日常检查
b	退化	性能退化，但不影响正常功能	保证结构耐久性的维护
c	劣化	性能劣化，功能受损，影响正常使用	恢复功能水平的维修
d	恶化	性能恶化，适用性能受影响，但暂时不危及安全	构件修复
e	危险	性能严重恶化，危及安全	构件加固或更换

隧道结构区段的服役状态等级由高到低按表 4 所示划分。

表 4 隧道结构区段服役状态等级及分级标准

分级	服役状态	分级定义	图示色彩
i	正常	结构区段中的构件无安全隐患、无显著变形、无渗漏	绿色
ii	退化	结构区段中部分构件耐久性退化，个别构件变形较大或结构连接渗漏，但构件无安全隐患	蓝色
iii	劣化	结构区段中多数构件的耐久性劣化，整体变形较大或部分结构连接渗漏，但构件无安全隐患	黄色
iv	恶化	结构区段中整体变形较大或多处结构连接明显渗漏，但无安全隐患	橙色
v	危险	结构区段中构件安全性不足、或结构区段变形过大或连接出现线流、漏泥砂	红色

隧道结构整体的服役状态等级由高到低按表 5 划分。

表 5 隧道结构整体服役状态等级及分级标准

分级	服役状态	分级定义	维护措施
I	正常	性能完好	日常维护
II	退化	性能退化，但不影响正常功能	日常维修
III	劣化	性能劣化，功能受损，影响正常使用	结构加固或修复
IV	恶化	性能恶化，适用性受影响，但暂时不危及安全	限制通行或局部封闭大修
V	危险	性能严重恶化，危及安全	关闭隧道或做废弃处置

《城市轨道交通隧道结构养护技术标准》CJJ/T 289—2018 中隧道结构健康度评定采用单项指标法，健康度由高到低按表 6 划分。

表 6 隧道结构健康度等级及评定标准

健康度	评定因素			
	病害程度	病害发展趋势	病害对运营安全的影响	病害对隧道结构安全的影响
1 级	无	无	无影响	无影响
2 级	轻微	趋于稳定	目前尚无影响	目前尚无影响
3 级	中等	较慢	将来影响运营安全	将来影响隧道结构安全
4 级	较严重	较快	已经影响运营安全	已经影响隧道结构安全
5 级	严重	迅速	严重影响运营安全	严重影响隧道结构安全

综合参照以上规范，并结合江苏省内运营轨道交通的结构状态，确定轨道交通结构安全评级标准及相应措施。其中，各分级标准对应的维护措施具体如表 7：

表 7 隧道结构安全分级及维护措施

分级	维护措施
1 级	结构安全状态良好, 正常检查与保养
2 级	正常维护, 下次的检查中重点关注
3 级	按需要实施特殊监测和保护, 依据监测结果确定是否采取维修措施
4 级	按需要限制使用, 尽快采取维修措施, 实施特殊监测
5 级	立即限制使用, 进行维修、更换, 实施特殊监测

8.2.3~8.2.4 《盾构法隧道结构服役性能鉴定规范》DG/TJ 08—2123—2013 中对于隧道结构服役状态性能的鉴定所采用的项目为: 结构裂损、渗漏水情况、接缝张开、接缝错台、结构收敛变形、结构区段纵断面变形、构件承载能力状态等。

《铁路运营隧道衬砌安全等级评定暂行规定》(铁运函〔2004〕174 号)、《铁路桥隧建筑物维修规则》TG/GW 103—2010 中隧道衬砌缺陷及病害的量化项目主要为: 衬砌厚度、混凝土强度、衬砌背后空洞、回填不密实、基底不密实、衬砌漏水、衬砌裂纹、衬砌位移或变形、净空、衬砌压溃或剥落、衬砌腐蚀、整体道床破损、仰拱或底板裂损、基床软化及翻浆等。

《城市轨道交通隧道结构养护技术标准》CJJ/T 289—2018 中对于隧道结构健康度的评定所采用的项目为: 结构裂缝、结构破损、材料劣化、渗漏水、钢筋锈蚀、背后空洞、强度不足、结构变形、接缝错台以及道床病害等。

参照现有规范, 并结合江苏省内既有轨道交通隧道结构特点及具体病害, 确定不同类型结构的安全分类项目如下:

盾构法结构主要有 6 项: 渗漏水、管片裂缝、管片破损、管片接缝错台、收敛变形、纵向不均匀沉降。其中, 盾构法结构收敛变形以直径变化量作为评估特征值, 结构纵向不均匀沉

降以隧道的纵向变形曲率半径作为评估特征值。

明挖法或矿山法地下结构主要有 4 项：渗漏水、结构裂缝、接缝（施工缝、变形缝）错台和不均匀沉降变形。明挖法或矿山法地下结构其纵向不均匀沉降更加关注结构底板的差异沉降，明挖法结构或矿山法结构的纵向不均匀沉降变形以其相对变曲作为评估特征值。

表 8.2.3-1 盾构隧道渗漏水病害分级的标准主要参考了《铁路桥隧建筑物劣化评定标准：隧道》TB/T 2820.2—1997、《铁路运营隧道衬砌安全等级评定暂行规定》（铁运函〔2004〕174 号）、《城市轨道交通设施养护维修技术规范》DB11/T 718—2010 和《上海轨交隧道病害检查标准化操作细则》的相关规定。

表 8.2.3-2~表 8.2.3-6 中基于盾构法结构管片裂缝、管片破损、管片接缝错台、收敛变形和纵向不均匀沉降等病害的分级均参考了《城市轨道交通隧道结构养护技术标准》CJJ/T 289—2018、《城市轨道交通设施运营监测技术规范 第 3 部分：隧道》GB/T 39559.3—2020 的相关规定。

其中表 8.2.3-4 盾构法结构管片接缝错台的分级标准，主要参考《盾构法施工及验收规范》GB 50446—2017、《城市轨道交通结构养护技术标准》CJJ/T 289—2018 关于管片接缝错台的施工误差、验收标准、接缝错台的健康度评定标准，确定了纵缝、环缝错台病害分级标准。

表 8.2.3-6 中盾构法结构纵向不均匀沉降病害根据盾构法隧道结构接缝的张开量确定。关于管片接缝张开量，国内各主要盾构法隧道结构防水设计指标如表 8 所示，本规程综合选取接缝张开 6 mm 作为隧道变形控制限值，认为接缝张开达 6 mm 及其以上时，隧道即存在较大的渗漏风险。

表 8 国内各主要盾构法隧道防水设计指标

工程	张开量/mm	防水压力/MPa
宁波地铁	5	0.8
成都地铁	6	0.6
上海地铁	6	0.6
上海崇明越江隧道	8	1.04
南京地铁	6	0.6

盾构法隧道纵向不均匀沉降病害分级的 1 级、2 级的分界标准参照《城市轨道交通结构安全保护技术规范》CJJ/T 202—2013 选取为 15 000 m，其他的分界标准通过常规尺寸盾构管片的结构计算结果，依据接缝张开量综合确定。计算参数及结果如表 9、表 10；

表 9 盾构法结构计算参数

外径/m	内径 /m	环宽 /m	混凝土弹性模量/kPa	螺栓圆 心角/°	螺栓直径 /mm
6.2	5.5	1.2	3.45×10^7	84.8	30
螺栓 个数	螺栓弹性模量/kPa	螺栓屈服应力/kPa	螺栓极限应力/kPa	弹塑性刚 度比	螺栓预应 力/kPa
16	2.06×10^8	4.0×10^5	5.0×10^5	0.01	5.0×10^4

表 10 计算结果

曲率半径/m	张开量/mm	临界状态
15 000	0.417	螺栓处于弹性状态
7832	0.8	螺栓处于屈服状态
1124	6	螺栓处于塑性状态
291	23.6	螺栓处于塑性极限状态

从计算结果可以看出：
当曲率半径达到规范规定的曲率半径限值 15 000 m 时，环

缝张开量为 0.417 mm, 螺栓处于弹性状态, 可认为管片结构是安全可靠的。

当曲率半径达到 7832 m 时, 环缝张开量值虽然仅为 0.8 mm, 但螺栓处于屈服状态, 结构安全受到一定影响, 需对管片结构安全状态进行分析, 并采取相应措施防止其进一步恶化。

当曲率半径达到 1124 m 时, 环缝张开量达到 6 mm, 且螺栓处于塑性状态, 隧道管片很可能会出现环缝渗漏现象, 结构安全存在不稳定性, 需对其进行严密监控, 及时采取保护措施, 保证隧道安全。

当曲率半径达到 291 m 时, 螺栓处于塑性极限状态, 环缝张开量达到 23.6 mm, 结构承载能力部分丧失处于极不安全状态。

由此确定盾构法结构纵向不均匀沉降病害分级指标曲率半径的分界标准分别为 15 000 m、8000 m、1200 m、300 m。

表 8.2.4-1~表 8.2.4-2 中基于明挖法或矿山法结构裂缝、接缝错台病害的分级参考了行业标准《城市轨道交通隧道结构养护技术标准》CJJ/T 289—2018 的相关规定。

表 8.2.4.1-3 中纵向不均匀沉降病害分级参照了《上海地铁监护实践》《上海市地铁沿线建筑施工保护地铁技术管理暂行规定》以 1/2500 作为 1 级、2 级的分界线, 参照《城市轨道交通设施运营监测技术规范 第 3 部分: 隧道》GB/T 39559.3—2020 表 8 的规定, 明挖法、矿山法、盾构法及沉管法隧道的纵向曲率变化预警值为 1/2000、安全值为 1/1500, 因此本规程将 1/2000 作为 2 级、3 级的分界线, 将 1/1500 作为 3 级、4 级的分界线; 以《盾构法隧道结构服役性能鉴定规范》DG/TJ 08—2123—2013 中提出明挖段纵断面相对变形允许值 2‰, 即 1/500 作为 4 级、5 级的分界线。

8.3 病害治理要求

8.3.1 城市轨道交通地下结构表观病害（包括裂缝、渗漏水、错台等）及变形（包括收敛变形及纵向不均匀沉降）是软土地区地下结构病害的主要表现形式，并且结构变形的发展往往会导致结构损伤的产生或加速。因此对于轨道交通地下结构病害的治理可以从两个层面进行，如图 13 所示。对 2~3 级病害，采取加强维护与修复治理，即正常维护保养的同时对可能影响结构安全和运营安全的病害进行重点维护和修复。而要从根本上解决地下结构的病害问题，则要对 4~5 级病害采取加固或其他恢复功能的治理措施。

钢环加固适用于盾构法隧道，通过盾构实际内径监测与设计标准圆的对比计算变形量，当变形较大或隧道结构存在较为严重的损伤，宜采用隧道内贴钢环的工艺进行加固，以提高隧道整体受力性能和抗变形能力。

根据南京地铁病害治理实践，隧道周边存在外部作业影响，当出现下列情形时需要隧道结构进行钢环加固：

1 盾构法隧道收敛变形量 ≥ 80 mm 提前做好加固准备，待结构稳定后再予以实施；但当收敛变形量 ≥ 100 mm 时，必须立即采取钢环加固，并同时采取其他措施控制隧道变形的进一步发展。

2 受拉区有 3 条以上纵向贯通裂缝，且裂缝宽度 $W \geq 0.3$ mm；受压部位出现挤压崩块，造成 2 根以上主筋外露。

3 隧道周边存在工程活动时，环缝错台变化增量 ≥ 6 mm，纵缝错台变化增量 ≥ 3 mm。

微扰动注浆适用于盾构法隧道，当隧道周边存在工程活动时，通过在盾构隧道两侧注入水泥+水玻璃双液浆，控制隧道进一步

外扩变形。根据南京地铁结构安全保护实践，微扰动注浆主要适用于收敛变形量 ≥ 60 mm的情况，且当外部条件允许时宜优先采用隧外地面注浆，否则采取隧内壁后注浆。

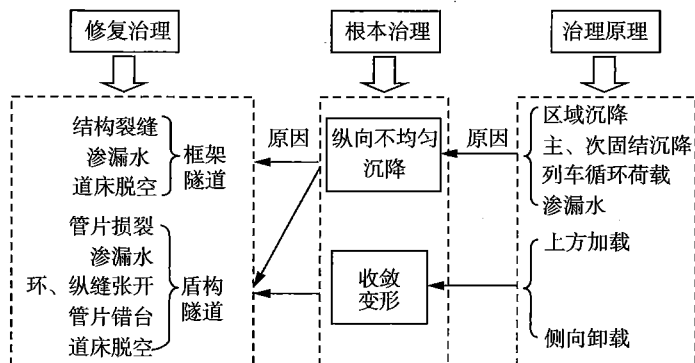


图 13 城市轨道交通地下结构病害治理层次

隧底注浆对盾构法隧道、矿山法隧道和明挖法隧道均适用，主要用于隧道底部注浆以控制和减小隧道沉降的发展。当隧道与车站、区间风井或联络通道处的差异沉降量大于 10 mm，并伴有漏水、涌砂等不良现象，当结构沉降导致轨道差异变形大于 10 mm，或当接触网导高的调整量低于 10 mm 时应采取隧道注浆加固措施。