

备案号：正在报建设部备案之中

## 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》

Technical Code for Protection of Urban Rail Transit Structures

DB33/T1139—2017

2017-07-31 发布

2017-12-01 施行

---

浙江省住房和城乡建设厅 发布

# 前 言

本规程是根据浙江省住房和城乡建设厅《2015 年浙江省建筑节能及相关工程建设标准制修订计划》（建设发〔2015〕423 号）的要求，由浙江省建筑建筑设计研究院和杭州市地铁集团有限责任公司会同有关单位共同编制。在编制过程中，本规程编制组经广泛调查研究，总结实践经验，开展专题研究，参考有关国内外标准，并在广泛征求意见的基础上，经专家审查形成报批稿，最后经审查定稿。

本规程共分 9 章，主要技术内容有：总则、术语和符号、基本规定、外部基坑工程、外部隧道工程、外部其他工程、安全评估、轨道交通结构加固、检查和监测。

本规程具体技术内容的解释工作由浙江省建筑设计研究院负责，在执行过程中，请各单位结合工程实践，深入研究，不断总结经验，并将意见和建议寄交：浙江省建筑设计研究院科技研发中心《城市轨道交通结构安全保护技术规程》编制组（地址：杭州市安吉路 18 号，邮编 310006，E-mail: l\_x\_w2002@aliyun.com）。

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：浙江省建筑设计研究院

杭州市地铁集团有限责任公司

参编单位：宁波市轨道交通集团公司

浙江大学

北京城建设计发展集团股份有限公司

华东勘测设计研究院有限公司

浙江华展工程研究设计院有限公司

绍兴市轨道交通集团有限公司

宏润建设集团股份有限公司

浙江大学城市学院

浙江省建工集团有限责任公司

中天建设集团有限公司

浙江省国泰建设集团有限公司

上海善于建筑科技有限公司

中铁隧道勘测设计院有限公司

杭州市勘测设计研究院

浙江省地矿建设有限公司

浙江耀厦控股集团有限公司

主要起草人：刘兴旺、沈林冲、朱瑶宏、施祖元（以下按姓氏笔划排列）

丁 智、马少俊、边学成、方承宗、毛海和、卢敬科、卢慈荣、叶俊能、  
刘世明、刘爱德、成怡冲、朱 斌、朱连根、羊逸君、吴义明、吴才德、  
吴利泽、岑仰润、张金荣、张 戈、张兴周、李冰河、沈炳钱、单永华、  
单 通、金 睿、姜叶翔、胡德军、洪昌华、钟聪达、徐玉峰、秦建设、  
袁 静、袁 翔、崔彦凯、曹国强、黄先锋、黄杰卿、龚迪快、蒋金生、  
蓝建中、魏新江

主要审查人：龚晓南、金 淮、史海欧、赵宇宏、樊良本、顾仲文、李宏伟、倪士坎、  
姜天鹤

# 目 录

1 总 则.....	1
2 术语和符号.....	2
2.1 术 语.....	2
2.2 符 号.....	4
3 基本规定.....	5
4 外部基坑工程.....	9
4.1 一般规定.....	9
4.2 旁侧基坑.....	10
4.3 上方基坑.....	11
5 外部隧道工程.....	13
5.1 一般规定.....	13
5.2 穿越隧道.....	14
5.3 并行隧道.....	14
6 外部其他工程.....	15
6.1 浅基础.....	15
6.2 桩基础.....	15
6.3 道路及地下管线.....	16
7 安全评估.....	18
8 轨道交通结构加固.....	19
9 检查和监测.....	20
9.1 一般规定.....	20
9.2 检查.....	21
9.3 轨道交通监测.....	22
9.4 外部作业监测.....	23
附录 A 轨道交通结构安全控制指标值.....	25
附录 B 外部基坑工程的轨道交通结构安全保护等级.....	27
附录 C 隧道上方卸荷比、增荷比计算.....	30
附录 D 并行隧道的轨道交通结构安全保护等级.....	32
附录 E 浅基础的轨道交通结构安全保护等级.....	34
附录 F 桩基础的轨道交通结构安全保护等级.....	36
附录 G 轨道交通结构监测项目.....	38
附录 H 轨道交通监测点布置及监测仪器要求.....	39
本规范用词说明.....	40

引用标准名录.....	41
条文说明.....	42
1 总 则.....	43
3 基本规定.....	45
4 外部基坑工程.....	55
4.1 一般规定.....	55
4.2 旁侧基坑.....	58
4.3 上方基坑.....	58
5 外部隧道工程.....	59
5.1 一般规定.....	59
5.2 穿越隧道.....	60
5.3 并行隧道.....	61
6 外部其他工程.....	62
6.1 浅基础.....	62
6.2 桩基础.....	62
6.3 道路及地下管线.....	63
7 安全评估.....	64
8 轨道交通结构加固.....	65
9 检查与监测.....	68
9.1 一般规定.....	68
9.2 检查.....	70
9.3 轨道交通结构监测.....	70
9.4 外部工程监测.....	77

# 1 总 则

**1.0.1** 为规范浙江省城市轨道交通控制保护区内的外部作业，保障轨道交通结构安全和正常使用，制定本技术规程。

**1.0.2** 本规程适用于浙江省已建成的城市轨道交通结构的安全保护。

**1.0.3** 在城市轨道交通控制保护区进行外部作业时，应综合考虑工程与水文地质条件、轨道交通结构安全状况、外部作业特点、周边环境和地方经验等因素，制定安全可靠的作业方案和保护措施，严格过程控制和监测。

**1.0.4** 城市轨道交通控制保护区内的外部作业，除应符合本规程外，尚应符合国家及浙江省现行有关标准的规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 轨道交通控制保护区

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。

#### 2.1.2 轨道交通特别保护区

在城市轨道交通结构及紧邻结构的特定范围内设置的特别保护区域。

#### 2.1.3 外部作业

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。

#### 2.1.4 轨道交通结构安全状况

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。

#### 2.1.5 轨道交通结构安全保护等级

对外部作业提出的城市轨道交通结构安全保护要求的分级。

#### 2.1.6 结构安全控制指标

根据轨道交通结构安全状况及其保护要求,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。

#### 2.1.7 净距控制值

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。

#### 2.1.8 外部基坑工程

在轨道交通控制保护区内实施的基坑工程,分为旁侧基坑和上方基坑。

#### 2.1.9 旁侧基坑

轨道交通特别保护区外,且在控制保护区内实施的外部基坑工程。

#### 2.1.10 上方基坑

轨道交通特别保护区内实施的外部基坑工程。

#### 2.1.11 外部隧道工程

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。

#### **2.1.12 穿越隧道**

轨道交通特别保护区内实施的外部隧道工程。

#### **2.1.13 并行隧道**

轨道交通特别保护区外，且在控制保护区内实施的外部隧道工程。

#### **2.1.14 离缝**

轨道道床与结构底板或盾构管片出现脱离而形成的缝隙。

#### **2.1.15 卸荷比**

地下结构顶部卸载量与上方初始覆土重量的比值。

#### **2.1.16 增荷比**

地下结构顶部加载量与上方初始覆土重量的比值。



## 2.2 符 号

- $d$ —— 并行隧道外径(m)
- $D$ —— 既有盾构法或顶管法地下结构的外径或宽度(m)
- $D^*$ —— 外部隧道外径与既有盾构法或顶管法地下结构的外径或宽度的较大值(m)
- $G$ —— 监测项目实测值与结构安全控制指标值的比值。
- $G_1$ —— 隧道上方主要覆土区沿纵向最不利断面的单位长度堆载量 (kN/m)
- $h$ —— 基坑开挖深度 (m)
- $\Delta h$ —— 并行隧道与既有盾构法或顶管法地下结构的竖向净距(m)
- $H$ —— 既有盾构法或顶管法地下结构顶部埋深(m)
- $L$ —— 相邻柱基的中心距离 (mm)
- $L_1$ —— 与轨道交通设施平行方向的基坑边长 (m)
- $L_2$ —— 与轨道交通设施垂直方向的基坑边长 (m)
- $L_d$ —— 并行隧道与既有盾构法或顶管法地下结构的水平净距(m)
- $L_{pd}$ —— 桩基础承台外边线与既有盾构法或顶管法地下结构的水平净距(m)
- $L_{sd}$ —— 浅基础外边线与既有盾构法或顶管法地下结构的水平净距(m)
- $L_{wd}$ —— 基坑围护墙外边线和地面放坡坡顶线与轨道交通结构的最小水平净距(m)
- $q_1$ —— 作用效应标准组合时, 上部结构在其水平面投影面积的平均压力值 (kPa)
- $S_d$ —— 单体基坑面积 (m<sup>2</sup>)
- $S$ —— 隧道上方主要覆土区的断面面积 (m<sup>2</sup>)
- $S_1$ —— 隧道上方主要覆土区的基坑最大断面面积 (m<sup>2</sup>)
- $\Delta$ —— 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 (m)
- $\phi$ —— 隧道顶部以上土体的加权平均内摩擦角 (°)
- $\gamma$ —— 隧道上方主要覆土深度范围土的加权平均重度 (kN/m<sup>3</sup>)
- $V_1$ —— 卸荷比
- $V_2$ —— 增荷比

### 3 基本规定

**3.0.1** 需要保护的城市轨道交通结构应包括下列内容：

- 1 地下车站和区间结构；
- 2 高架车站和区间结构；
- 3 地面车站和区间结构；
- 4 车站附属结构，包括出入口、风亭、冷却塔等；
- 5 其他结构，包括联络通道、区间风井、出入段线（场）、车辆段（停车场）、控制中心、

主变电所、外线高压电缆管沟等。

**3.0.2** 轨道交通控制保护区的设置范围应综合考虑工程和水文地质条件、轨道交通结构安全状况、外部作业影响程度等因素，并符合下列规定：

- 1 地下车站主体结构及区间结构外边线外侧 50m 内；
- 2 地面车站、高架车站和区间结构外边线外侧 30m 内；
- 3 过江、过河隧道结构外边线 100m 内；
- 4 车站附属结构及其他结构外边线外侧 20m 内。

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。

**3.0.3** 下列范围应作为轨道交通特别保护区：

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

**3.0.4** 轨道交通控制保护区内进行外部作业，应制定安全可靠的作业方案、轨道交通结构安全保护措施和安全应急预案；外部作业不得影响轨道交通结构的承载能力、正常使用功能、耐久性和其他特殊功能。

**3.0.5** 外部作业前，应收集下列资料：

- 1 工程和水文地质资料；
- 2 需要保护的轨道交通结构资料，掌握轨道交通结构安全状况和保护要求；
- 3 外部作业和轨道交通结构的周边环境资料，包括邻近建（构）筑物、地下管线等等。

**3.0.6** 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、IV 类等四个类别，并应符合表 3.0.6 的要求。

表 3.0.6 轨道交通结构安全状况分类

轨道交通结构安全状况	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为严重
III 类	除 I 类、II 类、IV 类以外的情况
IV 类	未铺轨运营、变形较小且结构性能完好

3.0.7 根据轨道交通结构安全状况、工程和水文地质条件、外部作业影响程度等因素，外部作业的轨道交通结构安全保护等级分为 A 级、B 级和 C 级等三级，保护等级的划分应符合表 3.0.7 及本规程第 4、5、6 章的相关要求。

表 3.0.7 外部作业的轨道交通结构安全保护等级

外部作业的轨道交通结构安全保护要求	安全保护等级
高	A 级
较高	B 级
一般	C 级

3.0.8 轨道交通结构安全控制指标值应结合轨道交通结构安全状况、外部作业对轨道交通结构的主要响应特征及安全保护技术要求合理选用，并符合本规程附录 A 的要求；当存在时空相近的多项外部作业时，应综合考虑其影响的叠加效应，分配结构安全控制指标。

3.0.9 外部作业引起的轨道交通结构附加荷载及变形不得超过轨道交通结构安全控制指标值，轨道结构变形不得影响运营安全。

3.0.10 外部作业的轨道交通结构安全保护等级为 A 级时，应根据第 7 章的要求，针对外部作业对轨道交通结构的影响及保护，进行安全评估。

外部作业的轨道交通结构安全保护等级为 B 级，轨道交通结构安全状况为 I 类、II 类时，应进行安全评估；轨道交通结构安全状况为 III 类、IV 类时，宜进行安全评估。

3.0.11 外部作业净距控制值宜符合表 3.0.11 的规定。

表 3.0.11 外部作业净距控制值

轨道交通结构		地下结构		地面结构	高架结构
		盾构法	其他		
围护桩、地下连续墙 <sup>△</sup>		≥7m	≥5m	≥5m	≥5m
工程桩 <sup>△</sup>	非挤土桩	≥4m	≥3m	≥3m	≥3m
	挤土桩	≥30m	≥20m	≥15m	≥10m
土体加固 <sup>△</sup>	深层搅拌法	≥6m	≥5m	≥5m	≥5m
	高压喷射注浆法	≥20m	≥15m	≥6m	≥6m
锚杆、锚索、土钉（末端）		≥15m	≥10m	≥10m	≥6m

上方基坑*	≥2m	-	-	-
穿越隧道*	≥2m	-	-	-
钻探孔、监测孔 <sup>△</sup>	≥3m		≥3m	≥3m
起重、吊装设备	——		≥6m	≥6m
搭设棚架及宣传标志	——		≥6m	≥6m
存放易燃物料	——		≥6m	≥6m
浅孔爆破 <sup>△</sup>	≥15m		≥15m	≥15m
深孔爆破 <sup>△</sup>	≥50m		≥50m	≥50m

注：1) △指外部作业与轨道交通结构外边线之间的水平投影净距，\*指外部作业与轨道交通结构外边线之间的竖向净距；

- 2) 当灌注桩采用冲孔、振动工艺时，按挤土桩考虑；
- 3) 当地下结构采用矿山法、顶管法等工艺建成时，按盾构法要求控制；
- 4) 当地基土体以淤泥、淤泥质土为主时，表中的净距控制管理值宜适当调整，并从严控制。

**3.0.12** 勘探完成后应采取注浆、灌浆等措施封堵勘察孔。

**3.0.13** 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通结构上方覆土厚度不小于设计要求。

**3.0.14** 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。

**3.0.15** 与轨道交通结构交叉的市政道路应设置限高标志和防护、防撞设施。

**3.0.16** 轨道交通控制保护区内地下水作业，应符合下列规定：

- 1 应采用合适的排水、降水、截水或回灌等地下水控制技术，有效控制轨道交通结构周边地层的水位变化幅度；
- 2 地下水作业过程及结束后应采取措施避免因流砂、管涌而导致轨道交通结构受损；
- 3 应评估地下水作业引起的地基和结构变形，并根据监测数据指导施工；地下水作业对轨道交通结构影响较大时，地下水作业空间周边宜设置封闭的截水帷幕；
- 4 对含有承压水的地层，应验算外部作业过程土体突涌稳定性和地下结构的抗浮安全系数；
- 5 岩溶、土洞较发育地区的地下水作业，应避免降水诱发地层塌陷。

**3.0.17** 轨道交通控制保护区内的爆破作业，应符合下列规定：

- 1 不应进行硇室爆破、深孔爆破等药量较大的爆破作业；
- 2 爆破作业的轨道交通结构安全保护等级应为 A 级，并应符合国家标准《爆破安全规程》GB6722 的规定；

- 3 爆破作业不应在轨道交通运营时段进行；
  - 4 城市轨道交通结构的振速不应超过 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；
  - 5 爆破作业前应进行试爆作业和爆破震动监测，经安全评估或试爆作业发现爆破有害效应超过安全允许振速时，应优化爆破技术措施，降低爆破有害效应至安全允许振速；对采取优化爆破措施后，爆破有害效应仍不能满足轨道交通结构的安全允许振速时，应采用静态破碎法或其它作业方法；
  - 6 爆破作业前应采取安全防护措施，设立安全区，并进行安全警戒工作；
  - 7 爆破作业过程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；
  - 8 水下爆破作业方案，应通过爆破试验确定。
- 3.0.18** 外部作业的轨道交通结构安全保护等级为 A 级、B 级时，应在外部作业实施前，建立针对轨道交通结构安全保护的监测系统，外部作业过程应对轨道交通结构进行监测。

## 4 外部基坑工程

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 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、拆除支撑、回填等外部作业对轨道交通结构的不利影响。

**4.1.2** 外部基坑工程同时具有旁侧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旁侧基坑和上方基坑,分别进行设计与施工,并综合考虑二者的影响叠加效应。

**4.1.3** 旁侧基坑对轨道交通结构的安全保护等级可根据基坑开挖深度、基坑与轨道交通结构的距离以及轨道交通结构安全状况由附录 B 确定。

**4.1.4** 上方基坑坑底与盾构法或顶管法地下结构顶部的竖向净距不宜小于  $0.5D$  ( $D$  为地下结构外径或宽度),且不应小于 2m,上方基坑对轨道交通结构的安全保护等级可由附录 B 确定。

**4.1.5** 基坑的不同部位可采用不同的轨道交通结构安全保护等级,相邻部位的级差不应超过一级,并应有可靠的延伸过渡;轨道交通结构安全保护等级为 A 级、B 级时,基坑支护应采用整体刚度较大的支护结构体系。

**4.1.6** 基坑支护设计应根据浙江省工程建设标准《建筑基坑工程技术规程》DB33/T1096 的要求进行基坑稳定性、强度和变形计算,当基坑底部存在淤泥、淤泥质土或粘性土时,围护墙底端土体抗隆起安全系数及绕最下道支点圆弧滑动的抗隆起安全系数取值,对应于轨道交通结构安全保护等级 A 级、B 级、C 级时,分别不应小于 2.2、2.0、1.8,计算时墙体深度宜按最不利工况采用截水帷幕和围护墙深度的较小值。

**4.1.7** 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,规定单体基坑的施工时间及次序。

**4.1.8** 基坑工程的出入口及施工道路宜远离轨道交通结构布置。

**4.1.9** 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。

**4.1.10** 基坑土方开挖及地下结构施工应符合下列规定:

- 1 充分考虑基坑的时空效应,严格分层分块作业,减少基坑暴露时间;
- 2 轨道交通结构安全保护等级为 A 级时,邻近轨道交通结构侧的主体结构基础混凝土应

延伸至围护墙边，支撑拆除应采用静力切割措施，围护墙与地下室外墙之间的空隙应采用素混凝土回填密实；

3 轨道交通结构安全保护等级为 B 级时，邻近轨道交通结构侧的主体结构基础混凝土宜延伸至围护墙边，支撑拆除宜采用静力措施，围护墙与地下室外墙之间的空隙宜采用素混凝土回填密实。

## 4.2 旁侧基坑

4.2.1 当地质条件以软土为主时，邻近轨道交通结构的单体基坑平面尺寸应符合表 4.2.1 的要求。

表 4.2.1 旁侧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（ $m$ ）， $L_1$ 为与轨道交通设施平行方向的基坑边长（ $m$ ）， $L_2$ 为与轨道交通设施垂直方向的基坑边长（ $m$ ）。

4.2.2 轨道交通结构安全保护等级为 A 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。

**4.2.3** 轨道交通结构安全保护等级为 B 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。

**4.2.4** 轨道交通结构侧的基坑及地下结构施工宜根据表 4.2.4 的要求实施时空效应控制，并应符合下列规定：

**表 4.2.4 基坑及地下结构施工技术要求**

轨道交通结构安全保护等级	A	B	C
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：土质条件较差时，一次性开挖长度及施工时间应进一步从严控制。

- 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。

## 4.3 上方基坑

**4.3.1** 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，轨道交通结构安全保护等级为 A 级时不宜超过 0.2，



B 级时不宜超过 0.3，卸荷比可根据附录 C 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。

**4.3.2** 对盾构法或顶管法地下结构，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，保持其结构性及强度，加固体与地下结构的水平及竖向净距均不宜小于 2m。

**4.3.3** 基坑及地下结构施工宜根据表 4.3.3 的要求实施时空效应控制，并应符合下列规定：

**表 4.3.3 基坑及地下结构施工技术要求**

轨道交通结构安全保护等级	A	B	C
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：土质条件较差时，纵横向一次性开挖长度及施工时间应进一步从严控制。

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。

## 5 外部隧道工程

### 5.1 一般规定

**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** 穿越隧道对轨道交通结构的安全保护等级应为 A 级。

**5.1.3** 并行隧道的轨道交通结构安全保护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安全状况由附录 D 确定。

**5.1.4** 外部隧道工程对轨道交通结构的安全保护等级为 A 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，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 轨道交通结构的安全保护等级为 A 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安全保护等级为 A 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，安排施工工序，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。

**5.2.2** 隧道穿越既有盾构法或顶管法地下结构时，应符合下列规定：

1 二者的竖向净距不宜小于  $0.5D^*$  ( $D^*$ 为外部隧道外径与既有盾构法或顶管法地下结构外径或宽度的较大值)；

2 有条件时宜选择从既有盾构法或顶管法地下结构上部穿越。

**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 优化隧道的平面线型布置，隧道与轨道交通结构的桩基净距不宜小于 2.0m；

2 对软弱地层，可采取地基预加固措施减少穿越施工时对轨道交通结构地基基础承载力的不利影响。

**5.2.4** 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。

**5.2.5** 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安全保护等级为 A 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** 轨道交通结构的安全保护等级为 B 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，应采取措施减少地层冻胀、融沉对轨道交通结构产生的不利影响。

## 6 外部其他工程

### 6.1 浅基础

**6.1.1** 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。

**6.1.2** 浅基础对轨道交通结构的安全保护等级可综合考虑其基底压力大小、与轨道交通结构的距离、轨道交通结构安全状况等因素，由附录 E 确定。

**6.1.3** 浅基础对轨道交通结构的安全保护等级为 A 级时，设计与施工应符合下列规定：

- 1 地基最终变形量最大值不宜超过 20mm；
- 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 C 估算的增荷比不宜超过 0.2。

**6.1.4** 浅基础对轨道交通结构的安全保护等级为 B 级时，地基最终变形量最大值不宜超过 30mm。

**6.1.5** 对软弱地基，可采用地基处理措施减少地基变形，浅基础对轨道交通结构的安全保护等级为 A 级、B 级时，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）密等对周边环境影响较大的地基处理工艺；
- 2 正式施工前应选择典型部位进行试验性施工，评估地基处理效果及环境影响，确定施工工艺和施工参数。

### 6.2 桩基础

**6.2.1** 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。

**6.2.2** 桩基础对轨道交通结构的安全保护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、轨道交通结构安全状况等因素，由附录 F 确定。

**6.2.3** 桩基础对轨道交通结构的安全保护等级为 A 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于  $1D$  ( $D$  为地下结构外径或宽度)；

2 桩基最终变形量最大值不宜大于 15mm。

**6.2.4** 桩基础对轨道交通结构的安全保护等级为 B 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设施底部不小于  $0.5D$ ；

2 桩基最终变形量最大值不宜大于 25mm。

**6.2.5** 桩基础施工应符合下列规定：

1 正式施工前应进行试成桩，数量不少于 3 根；

2 成桩施工顺序应遵循先近后远的原则；

3 灌注桩距离轨道交通结构较近时，可采取减小桩径、钢套管护壁、增加泥浆比重、地基预加固、间隔跳开施工等措施减少成桩施工影响；

4 挤土桩施工可采用预钻孔、设置防挤沟、隔离墙等措施减少挤土效应。

## 6.3 道路及地下管线

**6.3.1** 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。

**6.3.2** 道路设计与施工对轨道交通结构的保护应符合本规程第 6.1 节的规定。

**6.3.3** 地下管线采用明挖法铺设时，设计与施工应符合本规程第 4 章外部基坑工程的规定。

**6.3.4** 地下管线采用顶管法或拖拉管施工工艺时，轨道交通结构的安全保护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 A 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 C 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。

**6.3.5** 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承载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 轨道交通结构安全保护等级为 A 级时，施工过程应采取跟踪注浆措施，形成完整泥浆环套。

**6.3.6** 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。

## 7 安全评估

**7.0.1** 轨道交通结构安全评估应包括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及外部作业影响后评估。

**7.0.2** 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，评估当前轨道交通结构的安全状况、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。

**7.0.3** 外部作业影响预评估应在外部作业实施前，采用理论分析、模型试验、数值模拟等方法，预测外部作业对轨道交通结构的不利影响，并结合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。

**7.0.4** 外部作业施工过程评估应在外部作业施工过程中，结合轨道交通结构的监测数据、病害情况、外部作业实施状况以及预评估结果，确定轨道交通结构当前的结构安全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三级；
- 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。

**7.0.5** 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，评估轨道交通结构安全状况、持续抗变形能力和承载能力。

## 8 轨道交通结构加固

**8.0.1** 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。

**8.0.2** 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；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。

**8.0.3** 轨道交通结构安全状况为 I 类，外部作业的轨道交通结构安全保护等级为 A 级时，宜在外部作业实施前对轨道交通结构进行加固。

**8.0.4** 有条件时，可在外部作业过程中对轨道交通结构采取设置内支撑、压重等有利于结构安全保护的临时措施。

**8.0.5** 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 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；

3 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；

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。

**8.0.6** 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，并具有较好的抗变形能力。

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



## 9 检查和监测

### 9.1 一般规定

**9.1.1** 外部作业前应检查轨道交通结构的原始状况，外部作业开始直至影响停止、轨道交通结构变形及病害稳定期间，应加密轨道交通结构检查频率，及时发现安全隐患。

**9.1.2** 外部作业实施过程，应结合外部作业对轨道交通结构安全影响的主要因素及监测数据，对工程和水文地质条件、外部作业实施情况及轨道交通结构安全保护效果等进行检查。

**9.1.3** 对检查发现的问题应进行整改、处理，符合要求后方可进入下道施工工序。

**9.1.4** 轨道交通结构及外部作业的监测，应采用仪器监测与巡视相结合的方法。

**9.1.5** 仪器、设备应在检定或校准周期内，并满足下列要求：

- 1 应满足观测精度和量程要求，具有良好的稳定性和可靠性；
- 2 应定期标定，并在标定合格的有效期内使用；
- 3 应定期进行维护、保养和检测，如对仪器的某一部件质量有怀疑，应及时检验；
- 4 更换和调整应不低于原仪器、设备的配置；
- 5 近景摄影测量应符合相关规范的规定。

**9.1.6** 应定期检查与复测监测控制网，监测基准点应符合下列规定：

- 1 应位于外部作业影响范围以外的区域，并在外部作业实施前埋设；
- 2 稳定可靠的基准点应不少于 3 个。

**9.1.7** 历次监测，应采用相同的监测网形、监测路线、监测方法和数据处理方法，并宜固定监测人员、仪器和设备。

**9.1.8** 监测项目的初始值应在监测点埋设稳定后及时采集，应将连续测量不少于3次的稳定观测数据的平均值作为初始值。

**9.1.9** 监测标志应稳固、明显，位置应便于观测和保护。

**9.1.10** 采用新技术、新方法代替传统方法时，应进行新技术、新方法与传统方法的试验性对比验证，其精度不应低于所代替方法的精度要求。

**9.1.11** 监测项目正负号的约定应符合下列规定：

- 1 基坑水平位移以向坑内位移为正，反之为负；
- 2 轨道交通结构水平位移以结构向对应外部作业侧位移为正，反之为负；
- 3 竖向位移以隆起为正，反之为负；
- 4 轨道交通结构收敛以所测直径增大为正，反之为负；
- 5 裂缝以增大为正。

**9.1.12** 对监测点应有保护措施，监测过程应有工作人员的安全保护措施。

**9.1.13** 应根据外部作业特点，确定施工全过程分阶段的监测控制指标；施工过程中加强监测，及时分析各阶段的监测数据，必要时调整设计和施工方案，实行信息化动态施工。

**9.1.14** 轨道交通结构的检查和监测工作，不得影响轨道交通的正常运营；外部作业的轨道交通结构安全保护等级为 A 级、B 级时，对已投入运营的轨道交通结构，应采用自动化监测。

## 9.2 检 查

**9.2.1** 轨道交通结构的检查应包括轨道交通结构密闭状态、完整状态和变形状态等内容，必要时对轨道交通结构构件的力学性能进行抽查，检查应符合下列规定：

- 1 密闭状态检查应记录渗漏出现的位置、程度及发展趋势；
- 2 完整状态检查应记录结构损伤出现的位置、程度及发展趋势，包括变形缝开合及错台、结构裂缝、管片错台及接缝张开、道床离缝等；
- 3 力学性能检查应包括材料的强度、弹性模量、极限应变、延伸率等；
- 4 变形状态检查应结合轨道交通结构变形监测，记录地下结构竖向和水平位移、相对收敛、隧道断面形状及尺寸等，分析各数据的变化趋势；
- 5 对发现的病害应进行摄影并附文字描述。

**9.2.2** 对外部基坑工程，检查应符合下列规定：

- 1 应检查施工现场平面和竖向布置，包括出土坡道及出土口位置、堆场位置及堆载大小、重车行驶区域、大型施工机械停靠点、塔吊位置及垂直度等内容；
- 2 围护结构施工阶段，应对桩墙定位、施工机械、施工工艺、施工参数等进行检查；
- 3 土方开挖前，应复核设计条件，对已经施工的围护结构质量进行检查；轨道交通结构安全保护等级为 A 级且基坑设置封闭的截水帷幕时，开挖前应通过坑内预降水措施检查帷幕截水效果；
- 4 基坑土方开挖及地下结构施工过程中，每个工序施工结束后，均应对该工序的施工情况进行检查，包括各工况的基坑开挖深度、支撑施工及拆除、时空参数等内容；
- 5 应检查降排水系统的工作状况，包括截水帷幕渗漏水情况、地面及坑内排水系统、坑内外降水系统等内容；
- 6 基坑施工完成后应检查围护墙与主体结构之间的回填质量。

**9.2.3** 对外部隧道工程，检查应包括下列内容：

- 1 施工设备、施工工艺和施工参数；

- 2 定位放样和施工精度；
- 3 对盾构法或顶管法隧道，推进姿态控制、同步注浆和二次注浆效果；
- 4 对矿山法隧道，开挖导洞布设和施工步骤。

**9.2.4** 对外部其他工程，检查应包括下列内容：

- 1 地基处理施工工艺、施工参数；
- 2 桩基施工工艺、施工速度和次序；
- 3 道路施工时堆载、卸载情况；
- 4 顶管、拖拉管施工时定位放样、施工精度、施工参数。

**9.2.5** 外部作业过程，应检查外部作业及轨道交通结构的周边环境条件变化情况。

## 9.3 轨道交通监测

**9.3.1** 外部作业实施前，应根据外部作业特点及其环境影响机理、轨道交通结构类型及其安全保护等级、安全评估成果等编制轨道交通结构监测方案，并符合《城市轨道交通结构安全保护技术规范》CJJ/T202、《城市轨道交通工程监测技术规范》GB50911、《城市轨道交通工程测量规范》GB50308、《建筑变形测量规范》JGJ9、《工程测量规范》GB50026 等规范的相关要求。

**9.3.2** 轨道交通结构监测项目应能反映外部作业对轨道交通结构安全影响的重要变化，并符合附录 G 的要求。

**9.3.3** 当外部作业需进行爆破时，应监测轨道交通结构的振动速度。

**9.3.4** 监测点的布置及监测仪器应符合附录 H 的要求。

**9.3.5** 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，并符合下列规定：

- 1 外部作业的轨道交通结构安全保护等级为 A 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安全保护等级为 B 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；
- 3 当监测数据达到二级及以上监测预警等级时，应提高监测频率；
- 4 当发现轨道交通结构有异常情况或外部作业有危险事故征兆时，应不间断实时监测。

**9.3.6** 监测周期应从外部作业实施前不少于 1 周开始，至外部作业完成、对轨道交通结构的影响停止且监测数据趋于稳定后结束。

**9.3.7** 监测预警等级划分及应对管理措施应符合表 9.3.7 的规定。

**表9.3.7 监测预警等级划分**

监测预警等级	监测比值 $G$	应对管理措施
一	$G < 0.6$	可正常进行外部作业
二	$0.6 \leq G < 0.8$	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轨道交通结构的监测
三	$0.8 \leq G < 1.0$	宜暂停外部作业，进行过程安全评估工作，并根据过程安全评估结果，改进外部作业方案，制定轨道交通结构安全保护措施，开展后续工作
四	$1.0 \leq G$	启动安全应急预案

注：监测比值 $G$ 为监测项目实测值与结构安全控制指标值的比值。

**9.3.8** 监测预警等级的划分，应结合轨道交通结构监测数据的变化速率值，下列情况下监测预警等级应评定为三级或以上：

- 1 轨道交通结构安全状况为I类时，变形的变化速率值连续3天超过0.3mm/天；
- 2 轨道交通结构安全状况为II类时，变形的变化速率值连续3天超过0.5mm/天；
- 3 轨道交通结构安全状况为III类时，变形的变化速率值连续3天超过0.8mm/天；
- 4 轨道交通结构安全状况为IV类时，变形的变化速率值连续3天超过1mm/天。

**9.3.9** 轨道交通结构的监测信息应及时反馈给相关单位。

## 9.4 外部作业监测

**9.4.1** 外部作业实施前，应根据外部作业相关规范的要求、轨道交通结构类型及其安全保护等级、安全评估成果、周边环境等编制外部作业监测方案。

**9.4.2** 外部基坑工程的轨道交通结构安全保护等级为 A 级时，监测应符合下列规定：

- 1 应监测轨道交通结构侧的围护墙和土体深层水位位移，监测点间距不宜大于 15m，土体测斜管的深度宜保证其底端进入稳定土层和轨道交通结构底部标高以下均不小于 2m；
- 2 应设置坑外水位及地表沉降监测剖面，监测点的布置应能反映基坑侧壁与轨道交通结构之间的地下水位及地表沉降变化情况；
- 3 围护墙及土体深层水平位移、围护墙顶部位移、地表沉降、地下水位、支撑轴力等监测点应埋设在同一监测断面；
- 4 对上方基坑，应监测坑底隆起量，监测点应沿轨道交通结构纵向和横向布置，监测剖面不应少于 2 个，同一剖面监测点间距不宜大于 10m，数量不应少于 2 个；
- 5 宜监测轨道交通结构侧围护墙侧向土压力、土体孔隙水压力和深层竖向位移，并与其

他监测项目设置在同一监测断面。

**9.4.3** 外部基坑工程的轨道交通结构安全保护等级为 B 级时，监测应符合下列规定：

1 应监测轨道交通结构侧的围护墙和土体深层水位位移，监测点间距不宜大于 25m；

2 对上方基坑，应监测坑底隆起量，监测点应沿轨道交通结构纵向和横向布置，监测剖面不应少于 2 个，同一剖面监测点间距不宜大于 15m，数量不应少于 2 个；

3 宜设置坑外水位及地表沉降监测剖面。

**9.4.4** 外部隧道工程及地下管线工程的轨道交通结构安全保护等级为 A 级、B 级时，应加密监测断面；对软弱地基中的并行隧道，宜监测深层土体水平位移、竖向位移及孔隙水压力。

**9.4.5** 浅基础、桩基础及道路工程的轨道交通结构安全保护等级为 A 级时，监测应符合下列规定：

1 应监测轨道交通结构受影响较大侧的深层土体水平位移，可结合基坑工程监测点设置；

2 应设置地表沉降监测剖面，监测点的布置应能反映轨道交通结构周边的地表沉降变化情况；

3 宜监测轨道交通结构受影响较大侧的深层土体竖向位移、孔隙水压力。

**9.4.6** 浅基础、桩基础及道路工程的轨道交通结构安全保护等级为 B 级时，监测应符合下列规定：

1 宜监测轨道交通结构受影响较大侧的深层土体水平位移；

2 宜设置地表沉降监测剖面。

**9.4.7** 外部作业实施过程，每天应由专人进行巡视检查。

**9.4.8** 遇到连续降雨等不利天气状况时，应加强外部作业监测，监测工作不得中断；并应同时采取措施确保监测工作的安全。

**9.4.9** 轨道交通控制保护区内的测斜管、水位观测孔等监测孔应在监测工作结束后封堵填实。

## 附录 A 轨道交通结构安全控制指标值

A.0.1 轨道交通结构安全控制指标值应符合表 A.0.1-a~ A.0.1-c 的要求。

表 A.0.1-a 盾构法或顶管法地下结构安全控制指标值

结构安全控制指标控制值	轨道交通结构安全状况			
	I	II	III	IV
水平位移 (mm)	<5	<8	<14	<20
竖向位移 (mm)	<5	<10	<15	<20
相对收敛 (mm)	<5	<8	<14	<20
车站与区间交接处差异沉降 (mm)	<5	<8	<12	<16
变形曲率半径 (m)	>15000	>15000	>15000	>15000
变形相对曲率	<1/2500	<1/2500	<1/2500	<1/2500
管片接缝张开量 (mm)	<1	<1	<2	<2
外壁附加荷载 (kPa)	≤10	≤15	≤20	≤20
裂缝宽度 (mm)	≤0.1	≤0.1	≤0.2	≤0.2

表 A.0.1-b 明挖法地下结构安全控制指标值

结构安全控制指标控制值	轨道交通结构安全状况				
	I	II	III	IV	
水平位移 (mm)	<5	<10	<15	<20	
竖向位移 (mm)	<5	<10	<15	<20	
车站与附属结构交接处差异沉降 (mm)	<5	<8	<12	<16	
裂缝宽度 (mm)	迎水面	≤0.1	≤0.1	≤0.2	≤0.2
	背水面	≤0.2	≤0.2	≤0.3	≤0.3

表 A.0.1-c 高架及地面结构安全控制指标值

结构安全控制指标控制值	轨道交通结构安全状况			
	I	II	III	IV
水平位移 (mm)	<5	<10	<15	<20
竖向位移 (mm)	<5	<10	<15	<20
车站与附属结构交接处差异沉降 (mm)	<5	<8	<12	<16
相邻柱基沉降差 (mm)	<0.0003L	<0.0005L	<0.001L	<0.0015L
裂缝宽度 (mm)	≤0.2	≤0.2	≤0.3	≤0.3

注：L 为相邻柱基的中心距离 (mm)。

**A.0.2** 外部作业的轨道交通结构安全保护等级为 A 级时，结构安全控制指标值应根据轨道交通结构现状评估结果确定。

外部作业的轨道交通结构安全保护等级为 B 级，轨道交通结构安全状况为 I 类、II 类时，结构安全控制指标值应根据轨道交通结构现状评估结果确定；轨道交通结构安全状况为 III 类、IV 类时，结构安全控制指标值宜根据轨道交通结构现状评估结果确定。

## 附录 B 外部基坑工程的轨道交通结构安全保护等级

**B.0.1** 地基条件以淤泥质土、软塑~可塑的粘性土、松散~中密的粉砂土和碎石土等为主时，旁侧基坑对盾构法或顶管法地下结构的安全保护等级可根据表 B.0.1-a、B.0.1-b、B.0.1-c、B.0.1-d 确定。

**表 B.0.1-a I 类盾构法或顶管法地下结构安全保护等级**

$L_{wd}(m)$	$L_{wd} \leq 10$	$10 < L_{wd} \leq 15$	$15 < L_{wd} \leq 25$	$25 < L_{wd} \leq 40$	$L_{wd} > 40$
$h < 2$	B	B	C	C	C
$5 > h \geq 2$	A	A	B	B	C
$10 > h \geq 5$	A	A	A	A	B
$15 > h \geq 10$	A	A	A	A	A
$20 > h \geq 15$	A	A	A	A	A
$h \geq 20$	A	A	A	A	A

**表 B.0.1-b II 类盾构法或顶管法地下结构安全保护等级**

$L_{wd}(m)$	$L_{wd} \leq 10$	$10 < L_{wd} \leq 15$	$15 < L_{wd} \leq 25$	$25 < L_{wd} \leq 40$	$L_{wd} > 40$
$h < 2$	B	B	C	C	C
$5 > h \geq 2$	A	A	B	C	C
$10 > h \geq 5$	A	A	A	B	C
$15 > h \geq 10$	A	A	A	A	B
$20 > h \geq 15$	A	A	A	A	A
$h \geq 20$	A	A	A	A	A

**表 B.0.1-c III 类盾构法或顶管法地下结构安全保护等级**

$L_{wd}(m)$	$L_{wd} \leq 10$	$10 < L_{wd} \leq 15$	$15 < L_{wd} \leq 25$	$25 < L_{wd} \leq 40$	$L_{wd} > 40$
$h < 2$	B	B	C	C	C
$5 > h \geq 2$	A	B	B	C	C
$10 > h \geq 5$	A	A	B	B	C
$15 > h \geq 10$	A	A	A	B	B
$20 > h \geq 15$	A	A	A	A	B
$h \geq 20$	A	A	A	A	A



表 B.0.1-d IV 类盾构法或顶管法地下结构安全保护等级

$L_{wd}(m)$	$L_{wd} \leq 10$	$10 < L_{wd} \leq 15$	$15 < L_{wd} \leq 25$	$25 < L_{wd} \leq 40$	$L_{wd} > 40$
$h < 2$	B	C	C	C	C
$5 > h \geq 2$	A	B	C	C	C
$10 > h \geq 5$	A	A	B	C	C
$15 > h \geq 10$	A	A	A	B	C
$20 > h \geq 15$	A	A	A	A	B
$h \geq 20$	A	A	A	A	A

注： $h$  为基坑开挖深度(m)， $L_{wd}$  为基坑围护墙外边线和地面放坡坡顶线与轨道交通结构的最小水平净距(m)

**B.0.2** 符合下列条件之一时，表 B.0.1 的轨道交通结构安全保护等级应提高一级，保护等级为 A 级时不再提高：

- 1 地基条件以淤泥、松散的新填土等为主；
- 2 基坑支护没有隔断承压水，而采取承压水降水措施。

**B.0.3** 旁侧基坑开挖深度小于 15m 且基坑与轨道交通结构的最小水平净距  $L_{wd}$  大于 15m，符合下列条件之一时，表 B.0.1 的轨道交通结构安全保护等级可降低一级采用，保护等级为 C 级时不再降低：

- 1 盾构法或顶管法地下结构以外的其他轨道交通结构；
- 2 地基条件以密实的粉砂土及碎石土、硬塑以上的粘性土以及岩石为主；
- 3 轨道交通结构的顶部埋深大于两倍旁侧基坑开挖深度。

**B.0.4** 上方基坑对轨道交通结构的安全保护等级可根据下列原则确定：

1 I 类盾构法或顶管法地下结构，卸荷比大于 0.1 或基坑开挖深度大于地下结构顶部埋深的 1/4 时，保护等级为 A 级；卸荷比小于 0.05 且基坑开挖深度小于地下结构顶部埋深的 1/8 时，保护等级为 C 级；除 A 级和 C 级以外的保护等级均为 B 级；

2 II 类盾构法或顶管法地下结构，卸荷比大于 0.11 或基坑开挖深度大于地下结构顶部埋深的 1/4 时，保护等级为 A 级；卸荷比小于 0.05 且基坑开挖深度小于地下结构顶部埋深的 1/8 时，保护等级为 C 级；除 A 级和 C 级以外的保护等级均为 B 级；

3 III 类盾构法或顶管法地下结构，卸荷比大于 0.12 或基坑开挖深度大于地下结构顶部埋深的 1/4 时，保护等级为 A 级；卸荷比小于 0.05 且基坑开挖深度小于地下结构顶部埋深的 1/8 时，保护等级为 C 级；除 A 级和 C 级以外的保护等级均为 B 级；

4 IV 类盾构法或顶管法地下结构，卸荷比大于 0.15 或基坑开挖深度大于地下结构顶部埋深的 1/3 时，保护等级为 A 级；卸荷比小于 0.06 且基坑开挖深度小于地下结构顶部埋深

的 1/5 时，保护等级为 C 级；除 A 级和 C 级以外的保护等级均为 B 级；

5 其他结构在同样条件下的安全保护等级可降低一级采用，保护等级为 C 级时不再降低。

**B.0.5** 隧道上方的卸荷比可根据附录 C 估算，矩形截面地下结构可将其宽度等效为隧道直径。

## 附录 C 隧道上方卸荷比、增荷比计算

**C.0.1** 隧道上方卸荷比 $\nu_1$ 可根据上方基坑与隧道的空间关系，选取最不利断面按式 (C.0.1)

计算：

$$\nu_1 = \frac{S_1}{S} \quad (\text{C.0.1})$$

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

$S$ ——隧道上方主要覆土区的断面面积（ $\text{m}^2$ ）

$\phi$ ——隧道顶部以上土体的加权平均内摩擦角（ $^\circ$ ）

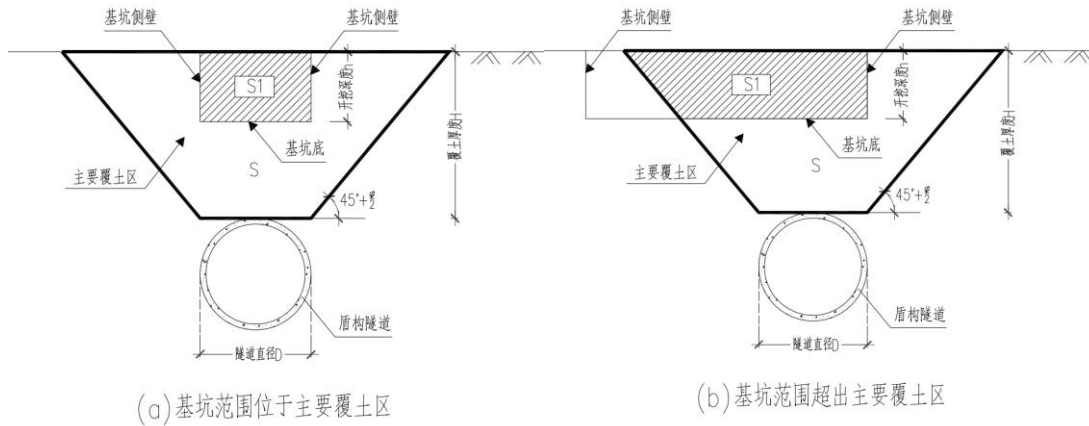


图 C.0.1 隧道上方卸荷比计算简图

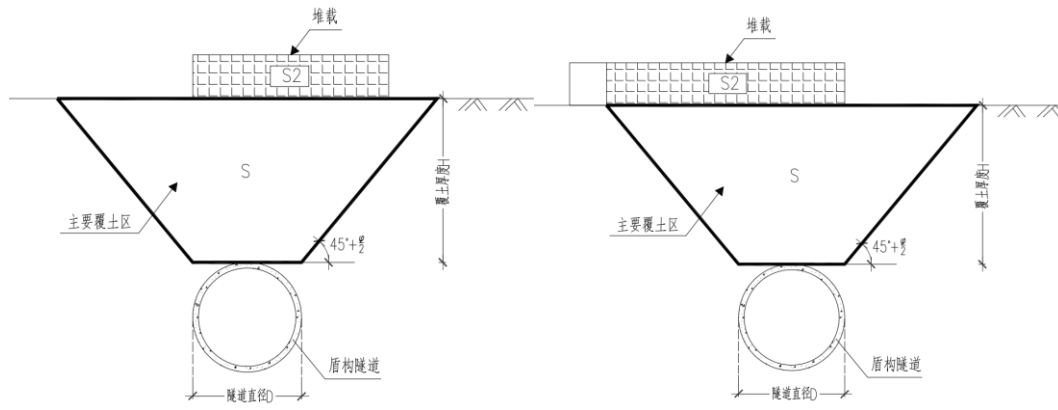
**C.0.2** 隧道上方增荷比 $\nu_2$ 应根据上方堆载与隧道的空间关系，选取最不利断面按式 (C.0.2)

计算：

$$\nu_2 = \frac{G_1}{\gamma \cdot S} \quad (\text{C.0.2})$$

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量（图 C.0.2 中阴影部分面积， $\text{kN/m}$ ）；

$\gamma$ ——隧道上方主要覆土深度范围土的加权平均重度（ $\text{kN/m}^3$ ）。



(a) 堆土范围位于主要覆土区

(b) 堆土范围超出主要覆土区

图 C.0.2 隧道上方增荷比计算简图

## 附录 D 并行隧道的轨道交通结构安全保护等级

**D.0.1** 地基条件以淤泥质土、软塑~可塑的粘性土、松散~中密的粉砂土和碎石土等为主时，并行隧道对盾构法或顶管法地下结构的安全保护等级可根据表 D.0.1-a、D.0.1-b、D.0.1-c 确定。其他结构在同样条件下的安全保护等级可降低一级采用，保护等级为 C 级时不再降低。

**表 D.0.1-a I 类盾构法或顶管法地下结构安全保护等级**

$L_d(m)$	$L_d \leq (D+d)$	$(D+d) < L_d \leq 2(D+d)$	$2(D+d) < L_d \leq 3(D+d)$	$L_d > 3(D+d)$
$\Delta h > D^*$	A	B	B	C
$D^* \geq \Delta h > 0$	A	A	B	B
$0 \geq \Delta h > -(D+d)$	A	A	A	B
$-(D+d) \geq \Delta h$	A	A	B	B

**表 D.0.1-b II 类、III 类盾构法或顶管法地下结构安全保护等级**

$L_d(m)$	$L_d \leq (D+d)$	$(D+d) < L_d \leq 2(D+d)$	$2(D+d) < L_d \leq 3(D+d)$	$L_d > 3(D+d)$
$\Delta h > D^*$	A	B	C	C
$D^* \geq \Delta h > 0$	A	A	B	C
$0 \geq \Delta h > -(D+d)$	A	A	A	B
$-(D+d) \geq \Delta h$	A	A	B	B

**表 D.0.1-c IV 类盾构法或顶管法地下结构安全保护等级**

$L_d(m)$	$L_d \leq (D+d)$	$(D+d) < L_d \leq 2(D+d)$	$2(D+d) < L_d \leq 3(D+d)$	$L_d > 3(D+d)$
$\Delta h > D^*$	A	B	C	C
$D^* \geq \Delta h > 0$	A	A	B	C
$0 \geq \Delta h > -(D+d)$	A	A	B	C
$-(D+d) \geq \Delta h$	A	A	B	C

注： 1  $\Delta h$  为并行隧道与既有盾构法或顶管法地下结构的竖向净距(m)，数值为正时，表示并行隧道位于既有盾构法或顶管法地下结构上方；数值为负时，表示并行隧道位于既有盾构法或顶管法地下结构下方；数值为零时，表示并行隧道与既有盾构法或顶管法地下结构在竖向标高上部分重合； $L_d$  为并行隧道与既有盾构法或顶管法地下结构的水平净距(m)；

2  $d$  为并行隧道外径(m)， $D$  为既有盾构法或顶管法地下结构的外径或宽度(m)， $D^*$  为  $D$  与  $d$  的较大值。

**D.0.2** 当地基条件以淤泥、松散的新填土等为主时，保护等级应提高一级，保护等级为 A

级时不再提高。

**D.0.3** 符合下列条件之一时，表 D.0.1 的轨道交通结构安全保护等级可降低一级采用，保护等级为 C 级时不再降低：

- 1、保护对象为盾构法或顶管法地下结构以外的其他轨道交通结构；
- 2、地基条件以密实的粉砂土及碎石土、硬塑以上的粘性土以及岩石为主。

## 附录 E 浅基础的轨道交通结构安全保护等级

**E.0.1** 地基主要压缩层范围的土体以淤泥质土、软塑~可塑的粘性土、松散~中密的粉砂土和碎石土等为主时，浅基础对盾构法或顶管法地下结构的安全保护等级可根据表 E.0.1-a、E.0.1-b、E.0.1-c 确定。

**表 E.0.1-a I类盾构法或顶管法地下结构安全保护等级**

$L_{sd}(m)$	$L_{sd} \leq (D+H)$	$(D+H) < L_{sd} \leq (2D+H)$	$(2D+H) < L_{sd} \leq (3D+H)$	$L_{sd} > (3D+H)$
$q_1 \leq 15$	B	C	C	C
$15 < q_1 \leq 30$	A	B	C	C
$30 < q_1 \leq 45$	A	A	B	C
$45 < q_1 \leq 60$	A	A	B	B
$60 < q_1$	A	A	A	B

**表 E.0.1-b II类、III类盾构法或顶管法地下结构安全保护等级**

$L_{sd}(m)$	$L_{sd} \leq (D+H)$	$(D+H) < L_{sd} \leq (2D+H)$	$(2D+H) < L_{sd} \leq (3D+H)$	$L_{sd} > (3D+H)$
$q_1 \leq 15$	B	C	C	C
$15 < q_1 \leq 30$	B	C	C	C
$30 < q_1 \leq 45$	A	B	C	C
$45 < q_1 \leq 60$	A	A	B	C
$60 < q_1$	A	A	A	B

**表 E.0.1-c IV类盾构法或顶管法地下结构安全保护等级**

$L_{sd}(m)$	$L_{sd} \leq (D+H)$	$(D+H) < L_{sd} \leq (2D+H)$	$(2D+H) < L_{sd} \leq (3D+H)$	$L_{sd} > (3D+H)$
$q_1 \leq 15$	B	C	C	C
$15 < q_1 \leq 30$	B	C	C	C
$30 < q_1 \leq 45$	B	C	C	C
$45 < q_1 \leq 60$	A	B	C	C
$60 < q_1$	A	A	B	C

注： 1  $q_1$  为作用效应标准组合时，上部结构在其水平面投影面积的平均压力值 (kPa)；  
 2  $H$  为既有盾构法或顶管法地下结构顶部埋深(m)；  
 3  $D$  为既有盾构法或顶管法地下结构的外径或宽度(m)；  
 4  $L_{sd}$  为浅基础外边线与既有盾构法或顶管法地下结构的水平净距(m)。

**E.0.2** 符合下列条件之一时，保护等级应提高一级，保护等级为 A 级时不再提高：

- 1 地基条件以淤泥、松散的新填土等为主；
- 2 基础顶面水平力较大。

**E.0.3** 符合下列条件之一时，保护等级可降低一级采用，保护等级为 C 级时不再降低：

- 1 保护对象为盾构法或顶管法地下结构以外的其他轨道交通结构；
- 2 地基条件以密实的粉砂土及碎石土、硬塑以上的粘性土以及岩石为主。



## 附录 F 桩基础的轨道交通结构安全保护等级

**F.0.1** 地基主要压缩层范围的土体以淤泥质土、软塑~可塑的粘性土、松散~中密的粉砂土和碎石土等为主时，桩基础对盾构法或顶管法地下结构的安全保护等级可根据表 F.0.1-a、F.0.1-b、F.0.1-c 确定。

**表 F.0.1-a I 类盾构法或顶管法地下结构安全保护等级**

$L_{pd}(m)$	$L_{pd} \leq (D+H)$	$(D+H) < L_{pd} \leq (2D+H)$	$(2D+H) < L_{pd} \leq (3D+H)$	$L_{pd} > (3D+H)$
$q_1 \leq 60$	B	C	C	C
$60 < q_1 \leq 150$	A	B	C	C
$150 < q_1 \leq 300$	A	A	B	C
$300 < q_1 \leq 450$	A	A	B	B
$450 < q_1$	A	A	A	B

**表 F.0.1-b II 类、III 类盾构法或顶管法地下结构安全保护等级**

$L_{pd}(m)$	$L_{pd} \leq (D+H)$	$(D+H) < L_{pd} \leq (2D+H)$	$(2D+H) < L_{pd} \leq (3D+H)$	$L_{pd} > (3D+H)$
$q_1 \leq 60$	B	C	C	C
$60 < q_1 \leq 150$	B	C	C	C
$150 < q_1 \leq 300$	A	B	C	C
$300 < q_1 \leq 450$	A	A	B	C
$450 < q_1$	A	A	A	B

**表 F.0.1-c IV 类盾构法或顶管法地下结构安全保护等级**

$L_{pd}(m)$	$L_{pd} \leq (D+H)$	$(D+H) < L_{pd} \leq (2D+H)$	$(2D+H) < L_{pd} \leq (3D+H)$	$L_{pd} > (3D+H)$
$q_1 \leq 60$	B	C	C	C
$60 < q_1 \leq 150$	B	C	C	C
$150 < q_1 \leq 300$	B	C	C	C
$300 < q_1 \leq 450$	A	B	C	C
$450 < q_1$	A	A	B	C

注：1  $q_1$  为作用效应标准组合时，上部结构在其水平面投影面积的平均压力值 (kPa)；

2  $H$  为既有盾构法或顶管法地下结构顶部埋深(m)；

3  $D$  为既有盾构法或顶管法地下结构的外径或宽度(m)；

4  $L_{pd}$  为桩基础承台外边线与既有盾构法或顶管法地下结构的水平净距(m)。

**F.0.2** 符合下列条件之一时，保护等级应提高一级，保护等级为 A 级时不再提高：

1 地基条件以淤泥、松散的新填土等为主；

2 桩顶水平力较大。

**F.0.3** 符合下列条件之一时，保护等级可降低一级采用，保护等级为 C 级时不再降低：

1 保护对象为盾构法或顶管法地下结构以外的其他轨道交通结构；

2 地基条件以密实的粉砂土及碎石土、硬塑以上的粘性土以及岩石为主。

## 附录 G 轨道交通结构监测项目

**G.0.1** 盾构法或顶管法地下结构监测项目应符合表 G.0.1 的要求。

**表 G.0.1 盾构法或顶管法地下结构监测项目**

序号	监测项目	轨道交通结构安全保护等级		
		A 级	B 级	C 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

**G.0.2** 明挖法地下结构监测项目应符合表 G.0.2 的要求。

**表 G.0.2 明挖法地下结构监测项目**

序号	监测项目	轨道交通结构安全保护等级		
		A 级	B 级	C 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

**G.0.3** 高架及地面结构监测项目应符合表 G.0.3 的要求。

**表 G.0.3 高架及地面结构监测项目**

序号	监测项目	轨道交通结构安全保护等级		
		A 级	B 级	C 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	相邻柱基沉降差	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

**G.0.4** 轨道交通结构安全保护等级为 A 级时，应监测道床与轨道变位；轨道交通结构安全保护等级为 B、C 级时，宜监测道床与轨道变位。

## 附录 H 轨道交通监测点布置及监测仪器要求

**H.0.1** 轨道交通监测点布置及监测仪器应符合表 H.0.1 的要求。

**表 H.0.1 监测点布置及监测仪器要求**

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
			A 级	B 级	C 级		
1	竖向位移	地下结构底板、拱顶、侧墙；地面及高架结构底层柱、桥面、桥墩	按 3m~8m 一个断面	按 6m~12m 一个断面	按 10~20m 一个断面	水准仪、静力水准仪、全站仪	水准仪：±0.3mm/km；全站仪：±0.5"，±(1mm+1ppm)
2	水平位移	地下结构底板、拱顶、侧墙；地面及高架结构桥面、结构顶部、桥墩	按 3m~8m 一个断面	按 6m~12m 一个断面	按 10~20m 一个断面	全站仪	±0.5"，±(1mm+1ppm)
3	相对收敛	每监测断面布置不少于两条测线	按 3m~8m 一个断面	按 6m~12m 一个断面	按 10~20m 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	道床与轨道变位	道床的纵、横断面上，两条轨道上	按 3m~8m 一个断面	按 6m~12m 一个断面	按 10~20m 一个断面	水准仪、静力水准仪、全站仪、道尺	水准仪：±0.3mm/km； 全站仪：±； 道尺：<±0.3mm
6	结构倾斜	高架墩柱、明挖区间或车站侧墙等轨道交通结构	按 3m~8m 一个断面	按 6m~12m 一个断面	按 10~20m 一个断面	电子水平尺、全站仪	电子水平尺：不低于±3"； 全站仪：±0.5"，±(1mm+1ppm)；
7	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	±1.0%F.S

注：1 表中 A 级、B 级、C 级为外部作业的轨道交通结构安全保护等级；

2 监测点及监测断面的布置，应根据外部作业的影响特征综合确定。

**H.0.2** 监测点的布置应覆盖受外部作业影响的全部轨道交通结构，并能反映影响的时间、空间变化规律。

**H.0.3** 监测点应位于监测对象变形和内力的关键特征点上。

**H.0.4** 地下结构曲线段监测点应加密布置。

## 本规范用词说明

**1** 为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词，说明如下：

(1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

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用词：

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用词：

正面词采用“宜”或“可”；反面词采用“不宜”或“不可”。

**2** 条文中指定应按其他有关标准、规范执行时，写法为“应按……执行”或“应符合……要求或规定”。非必须按所指定的标准、规范或其他规定执行时，写法为“可参照……”。

## 引用标准名录

- 1 《地铁设计规范》 GB 50157
- 2 《建筑地基基础设计规范》 GB 50007
- 3 《建筑基坑工程监测技术规范》 GB 50497
- 4 《城市轨道交通工程监测技术规范》 GB50911
- 5 《盾构法隧道施工与验收规范》 GB50446-2008
- 6 《建筑地基处理技术规范》 JGJ 79
- 7 《城市轨道交通结构安全保护技术规范》 CJJ/T 202
- 8 《建筑基坑支护技术规程》 JGJ 120
- 9 《建筑基坑工程技术规程》 DB33/T 1096

# 浙江省工程建设标准

## 《城市轨道交通设施结构安全保护技术规程》

### 条文说明

# 1 总 则

**1.0.1** 在城市轨道交通建设如火如荼的全国背景下，我省城市轨道交通建设处在高速发展阶段。根据国务院批复，杭州、宁波、温州、绍兴等地市先后获批建设城市轨道交通，2012年杭州地铁1号线投入运营标志着浙江省已进入地铁时代。迄今为止，杭州已开通地铁1号线、地铁2号线东南段、地铁4号线一期首通段地铁线路共计82公里；宁波市轨道交通第一轮建设已经完成并贯通运营，形成轨道交通十字骨架，共计72.1公里。其中1号线一期工程，线路长21.3km，设车站19座；2号线一期工程，线路长27.5km，设车站17座；1号线二期工程，线路长23.3km，设车站7座。

到2021年绍兴将建设城市轨道交通总里程41.1公里；到2018年，温州市将开工建设3条轨道交通线路，总里程约140.7公里。

轨道交通工程实现网络化运营后，设施设备实现了互联、互通与资源共享，运营过程中某设施如发生非正常情况，非但会对运营网络上该节点带来影响，而且还可能会对整座城市的正常运转秩序造成巨大影响，因此轨道交通运营安全深受政府、市民与社会的广泛关注。受到地质条件、施工环境和施工技术经验等多种因素影响，轨道交通结构自运营开始就存在不同程度的结构病害与安全隐患，加之周边大量市政或商业开发建设，导致既有轨道交通结构沉降、弯曲和扭曲变形、开裂、变形缝的扩展和错动，造成结构性能指标下降。结构变形严重时，会引起结构与道床剥离、轨道设备几何形位改变（如轨道水平、轨道前后高低、直线轨向或曲线正矢的改变），严重时形成“三角坑”、“吊板”、“暗坑”等病害，使行车平顺性变差，诱发冲击、摇晃甚至造成脱轨，对行车安全造成重大威胁。

为保证轨道交通结构的安全和正常运营，在其结构及其周边特定范围均需设置控制和保护区域。保护区范围可能存在的外部作业包括：桩基施工、基坑开挖、地面堆卸载、管道或隧道穿越施工等等。地铁沿线因人流量大、交通便利等特殊优势而成为商业、居住和办公的理想地段，为最大限度地开发和利用这一有限区域的地下空间，地铁沿线的新建建筑往往设置地下室，因此，桩基施工和基坑开挖对邻近地铁隧道和车站的影响问题量大面广，最为普遍。邻近工程建设不当易引起既有轨道交通结构变形、开裂和渗水等问题，影响轨道交通结构安全使用、耐久性能和服役寿命。

我省杭州、宁波和温州等地的地质条件以湖沼相-海相沉积的深厚软粘土为主，这类软粘土具有含水量高、抗剪强度低、压缩性高、灵敏度高以及极易被扰动等特点，建立于此类



软弱地基上的轨道交通结构保护面临更为严峻的形势。杭州某待建高架道路在运营地铁盾构隧道附近进行试桩施工，引起的隧道累计沉降最大值达 20mm，区间隧道出现明显的 V 形沉降漏斗；杭州城东某处盾构隧道正上方的地面堆土致使隧道产生最大值达 57mm 的轨面沉降，管片开裂严重，不得不采用钢环加固；杭州下沙某深基坑施工致使邻近地铁盾构隧道收敛变形超过 20mm，隧道变形严重而需进行系统加固；宁波地铁 1 号线某盾构区间受邻近基坑开挖影响，隧道管片发生大面积破损，出现多处纵向贯通裂缝，隧道沉降累计达 39mm，水平位移达 50mm，严重超过控制值，隧道呈“扁鸭蛋”型、整体向基坑方向偏移并抬升，地铁结构呈不稳定、不安全状态，后通过钢环加固、注浆抬升等技术手段，对隧道结构进行了加固。总体而言，外部作业造成轨道交通结构变形、开裂及漏水等现象直接威胁到轨道交通结构安全、正常运营和作为百年工程的耐久性能。

因此，需要对轨道交通结构周边的外部作业进行规范，保障轨道交通结构安全和正常使用。

**1.0.2** 本工程适用于已建成轨道交通结构的安全保护，具体包括两种情况：

- 1 轨道交通结构已经施工完成，但尚未投入运营；
- 2 轨道交通结构已投入运营。

正在进行施工的轨道交通结构，如正在进行基坑开挖和地下结构施工的地铁车站或附属结构、正在推进施工的盾构隧道等，不属于本规程的应用范围。正在施工的轨道交通结构与邻近外部作业的相互影响复杂，不确定因素多，需结合具体工程特点，从各自设计、施工、监测及管理方面采取合理的措施，减少相互影响，保证彼此的安全。

### 3 基本规定

**3.0.1** 区间结构一般采用盾构法施工完成，地下车站及附属结构一般采用明挖法施工完成，联络通道较多采用冷冻结合矿山法施工完成。不同施工工艺形成的轨道交通结构对外部作业的敏感程度和应力应变响应有显著差异。

**3.0.2** 特殊的工程和水文地质指在该水文地质条件下，条文中控制保护区以外的普通外部作业仍可能对轨道交通结构产生明显影响，比如：

- 1、轨道交通结构所处的地基存在岩溶等不良地质现象；
- 2、地基中存在压力较高的承压水或气体。

特殊的外部作业指其作业影响范围可能超过条文中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 50m；
- 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、承压水降水作业。

**3.0.3** 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。

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

**3.0.6** 实际工程中，盾构隧道对外部作业的影响最为敏感，其结构安全状况类别的确定可参

考下列原则：

1、盾构隧道累计变形达到下列条件之一时，结构安全状况为 I 类：

通缝隧道：

- 1) 水平位移超过 40mm；
- 2) 竖向位移超过 40mm；
- 3) 径向收敛超过 40mm。

标准环错缝隧道（杭州地区常用）：

- 4) 水平位移超过 30mm；
- 5) 竖向位移超过 30mm；
- 6) 径向收敛超过 30mm。

通用环错缝隧道（宁波地区常用）：

- 7) 水平位移超过 25mm；
- 8) 竖向位移超过 25mm；
- 9) 径向收敛超过 25mm。

盾构隧道累计变形未超过上述要求，但管片开裂、混凝土剥落、钢筋腐蚀等结构损伤严重，结构安全状况也应划分为 I 类。

2、通缝隧道，当水平位移、竖向位移、径向收敛等累计变形均小于 40mm，但某一项指标超过 25mm 时，结构安全状况可划分为 II 类；

标准环错缝隧道，当水平位移、竖向位移、径向收敛等累计变形均小于 30mm，但某一项指标超过 20mm 时，结构安全状况可划分为 II 类；

通用环错缝隧道，当水平位移、竖向位移、径向收敛等累计变形均小于 25mm，但某一项指标超过 17mm 时，结构安全状况可划分为 II 类；

盾构隧道累计变形未超过上述要求，但管片开裂、混凝土剥落、钢筋腐蚀等结构损伤较严重，结构安全状况也应划分为 II 类。

3、通缝隧道，当水平位移、竖向位移、径向收敛等累计变形均小于 25mm，但某一项指标超过 10mm 时，结构安全状况可划分为 III 类；

标准环错缝隧道，当水平位移、竖向位移、径向收敛等累计变形均小于 20mm，但某一项指标超过 10mm 时，结构安全状况可划分为 III 类；

通用环错缝隧道，当水平位移、竖向位移、径向收敛等累计变形均小于 17mm，但某一项指标超过 10mm 时，结构安全状况可划分为 III 类。

4、盾构隧道刚施工完成，隧道内尚未进行铺轨作业，水平位移、竖向位移、径向收敛等累计变形均小于 10mm，且隧道结构性能良好时，结构安全状况可划分为 IV 类。

**3.0.7** 保护等级不同，要求采取的轨道交通结构安全保护措施也有所区别，在以下各章均有具体规定。

轨道交通控制保护区内的外部作业，均应考虑对轨道交通结构可能造成的不利影响，以满足轨道交通结构安全控制指标的要求。同一项目的不同部位可能与邻近轨道交通结构有不同的空间位置关系，不同部位的保护等级可根据与轨道交通结构的最不利空间位置关系确定，同一项目可以分区或分段采取不同的保护等级，相互交接处应采取必要的过渡。

**3.0.8** 轨道交通控制保护区内可能出现距离相近、实施时间相近或交叉重叠影响的多项外部作业，如时空相近的基坑工程、隧道工程及其他外部工程，由于这些工程可能隶属于不同的业主，外部作业的设计和实施方案不能保证综合考虑对轨道交通结构产生的影响，可能出现各种不利组合。因此，应综合考虑多项外部作业的时空特点及影响机理，充分考虑多项外部作业所产生的叠加影响，合理地分配结构安全控制指标值，有效的协调外部作业的施工时间，使累积的各项指标满足结构安全控制指标要求。

#### 1、盾构隧道灾变现象及机理

由于地基变形，隧道灾变变形主要表现在沿隧道纵向变形和横（径）向变形。隧道纵向变形的表现形式为纵向沉降（上浮）水平位移和曲率半径变化；在结构上，引起纵向接缝的张开、错台和管片构件纵向的挤压；在运营上，导致轨道纵向不平顺。隧道横（径）向变形的表现形式包括隧道横（径）向椭圆度（径向收敛）的变化；在结构上，引起管片横向连接的张开、错位和管片构件横向的挤压（压碎）拉伸（裂缝）变形；在运营上，引起轨道横向高差、轨间距的变化。

#### 2、车站灾变现象及机理

（1）车站结构纵向变形过大，轨道变形，影响列车运行。

地铁车站周边基坑降水，引起车站底板下地基土失水固结沉降，使车站结构纵向变形差过大；基坑开挖土体、卸载、坑底土体隆起，引起车站结构纵向变形差过大，导致轨道变形过大，影响列车的正常运行。

（2）混凝土开裂，大量渗漏水。

地铁车站周边基坑降水、基坑开挖土体、卸载、坑底土体隆起，引起车站结构纵向变形差过大，由于车站结构为超静定结构，差异变形必然在车站顶、底板内引起附加内力，由于地铁车站纵向配筋为构造分布钢筋，附加内力如果超过构造钢筋的承载能力，将在结构顶、

底板产生较大的裂缝，地下水通过裂缝大量渗入车站内部，影响地铁车站的正常使用，严重者地下水沿车站中板渗流到受电弓，将影响列车的运行安全。

(3) 车站整体上浮、车站横向倾覆。

地铁车站上方土体开挖卸载，致使车站抗浮需要的配重减少，引起车站整体上浮；车站一侧基坑开挖破坏土体与围护结构之间的侧壁摩阻力，致使车站一侧上浮，引起车站的横向变形差过大，影响结构的正常使用，严重者将影响列车的运行安全。

(4) 车站主体与附属差异沉降过大，造成结构大量渗漏水或结构破坏。

车站主体结构一般为 2 层或 3 层，附属结构一般为 1 层，主体结构与附属结构的刚度相差比较大，并且主体结构基底持力层与附属结构基底持力层往往差异较大，附属结构的持力层更差，因此车站主体与附属之间往往会产生较大的差异沉降，故车站结构设计时一般在主体与附属结构之间设置变形缝，以适应差异沉降，保证此处尽量不渗漏水。而当地铁车站周边再行进行基坑降水、开挖等时，将大大加大主体与附属之间的差异沉降，变形缝缝隙间填充的密封胶将被拉裂，导致地下水及地表水渗入，严重影响车站的正常使用。

### 3、高架结构灾变现象及机理。

邻近工程建设相关的地面堆载、基坑开挖易导致高架结构基础沉降过大、结构倾斜变形；车辆撞击、船舶撞击和爆炸荷载等偶然冲击荷载轻则导致结构受损，重则导致结构瞬间垮塌。

由于盾构隧道与工作井、车站设计构造和施工方法等存在很大差异，它们对周围土体的扰动程度、沉降特点也截然不同，因此在外部环境发生改变后，很容易在隧道与工作井、车站的连接处产生差异沉降，发生接头开裂、漏水、漏泥等情况。

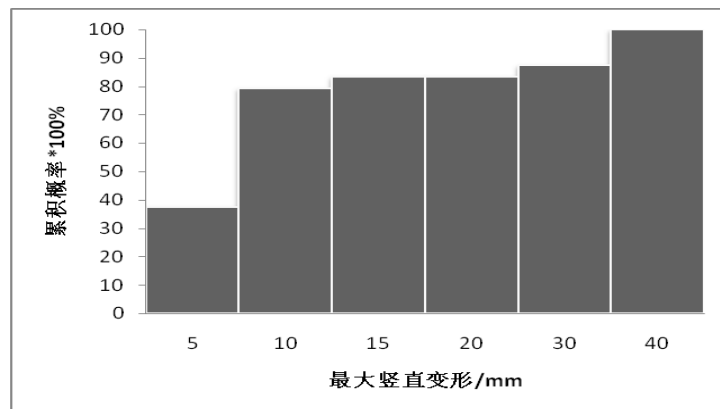
编制组对杭州、宁波等 30 余项外部基坑工程对轨道交通结构影响的变形监测结果进行了统计。以杭州为例，表 3.0.8 为外部基坑工程对盾构隧道的影响汇总表。

**表 3.0.8 基坑开挖对近邻盾构隧道的影响数据汇总表**

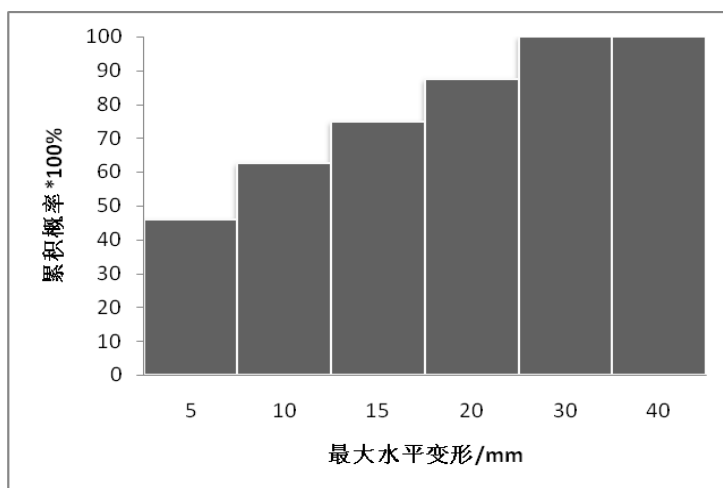
项目编号	最大上浮	最大沉降	最大水平位移	最大水平收敛
1	4	41.3	16	40.6
2	2.9	3.3	11.4	11.3
3	0.9	2.1	12.9	11.8
4	0	3.89	2.9	5.78
5	2	3.3	3.4	3.3
6	3	44.26	16.1	32.78
7	1.5	5.7	9.1	3.3

8	0.5	6.4	19.98	10.83
9		8.2	9.1	15.2
10		9.8	21.4	23.7
11		3.4	9.7	8.89
12		6.7	4.7	20
13		7.6	4	8.5
14		5.9	4.4	3.5
15		26.38	28.68	22.03
16		24.02	10.5	8.53
17		5.2	9.2	7.7
18		3.45	3.81	3.27
19		2.8	3.2	3.5
20		2	21	8
21	12	6	0	0
22	5.8	6.6	4	5.1
23	8.8	11.3	2	
24		2.65	4.8	5

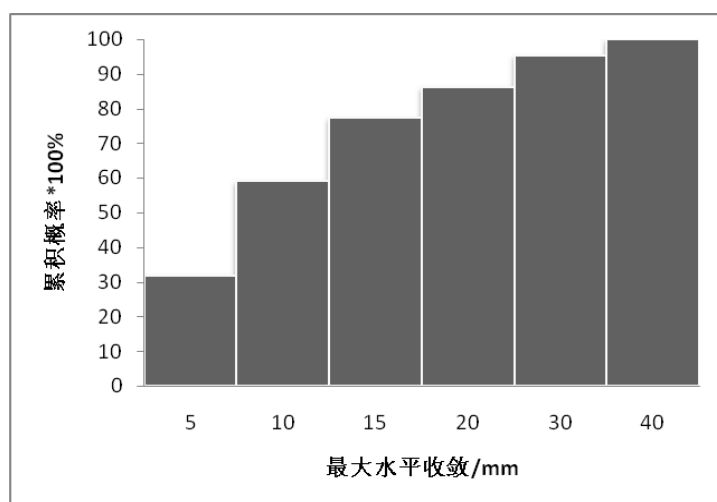
从表 3.0.8 可以看出，在基坑开挖影响下，隧道最大上浮在 0-10mm 之间，最大沉降在 0-45mm 之间，最大水平位移在 0-30mm 之间，最大收敛在 0-45mm 之间；进一步对杭州已有案例中轨道交通结构最大竖直变形、最大水平变形及最大水平收敛等监测数据进行统计分析（图 3.0.8）。最大竖直变形在 0-10mm 范围内的案例占到约 80%，最大水平变形在 0-15mm 范围内的案例占约 75%，最大水平收敛在 0-15mm 范围内的案例占约 74%。



(a)最大竖直变形累积概率分布



(b)最大水平变形累积概率分布



(c)最大水平收敛累积概率分布

图 3.0.8 统计案例中轨道交通结构变形监测数据累积概率分布图

综合宁波地区的统计数据，提出了本规程附录 A 的轨道交通结构安全控制指标值。

**3.0.9** 地基不均匀沉降、结构变形、裂缝开展等因素将引起道床沉降变形、轨道几何形位变化、轮轨游间变化、轨道不平顺险增大、形成三角坑、空板等。这些不良变化最终将影响列车运行的平稳性和线路的稳定性，增加轮轨磨耗和动能损失，引起列车摇晃和蛇行运动，严重时甚至产生挤翻钢轨、爬轨脱轨事故。根据结构物变形程度及性质，对于轨道-车轮这一交通工具，其运营安全主要包括轨道不平顺性和列车运行空间（建筑限界）两个方面。建筑限界是供列车通行、而任何结构和设备不能侵入的空间，这是最基本的要求，另一方面，轨道不平顺性是引起列车振动、轮轨动力作用增大的主要原因，列车服务对象是人类，行驶过程中需保证列车安全，更深层次的要求则是列车运行的舒适性，这就要求轨道具有较高的平顺性。表 3.0.9-1 给出了道床损伤形式及损伤判定标准，表 3.0.9-2 给出了 整体道床线路轨

道静态几何尺寸容许偏差管理值。

**表 3.0.9-1 道床损伤形式及损伤判定标准**

伤损部位	伤损形式	判定项目	判定标准			备注
			预警值	报警值	控制值	
轨枕	裂缝	宽度 (mm)	0.1	0.2	0.3	掉块、缺损应 适时修补,挡 肩失效效应及 时修补
	界面裂缝	宽度 (mm)	0.2	0.3	0.5	
	轨枕空吊	高度 (mm)	0.5	1	2	
		连续个数 (根)	1	2	3	
道床	裂缝	宽度 (mm)	0.2	0.5	1.0	掉块、缺损应 适时修补
	离缝	宽度 (mm)	0.5	0.5~1.0	1.0	
		纵向长度 (mm)	3a	3a~5a	5a	

注: a 为扣件间距;

**表 3.0.9-2 整体道床线路轨道静态几何尺寸容许偏差管理值**

项目	作业验收 (mm)		经常保养 (mm)		临时补修 (mm)	
	正线	车辆段	正线及试车线	车辆段	正线	车辆段
轨距	+6、-2	+6、-2	+7、-4	+9、-4	+9、-4	+10、-4
水平	4	5	6	8	10	11
高低	4	5	6	8	10	11
轨向 (直线)	4	5	6	8	10	11
三角坑 (扭曲)	缓和曲线	4	5	5	7	8
	直线和圆曲线	4	5	6	8	10

注: 1 轨距偏差含曲线上按规定设置的轨距加宽值, 但最大轨距 (含加宽值和偏差) 不得超过 1456mm。

- 2 水平不平顺即轨道同一横断面上左右两轨面的高差 (扣除超高值)。
- 3 高低不平顺是指轨道沿钢轨长度方向在垂向的凹凸不平。
- 4 轨向不平顺指轨头内侧沿长度方向的横向凹凸不平顺。轨向偏差和高低偏差为 10m 弦测量的最大矢度值。
- 5 三角坑即左右两轨顶面相对于轨道平面的扭曲, 用相隔一定距离的两个横断面水平幅值的代数差度量。三角坑偏差含曲线超高顺坡造成的扭曲量, 检查三角坑时基长为 5m, 但在延长 18m 的距离内无超过表列的三角坑。

**3.0.10** 评估一般由外部作业各参建主体之外的第三方专业单位承担。

**3.0.11** 轨道交通控制保护区内的钻孔、桩基施工、地基加固等作业应对定位进行严格复核,



避免因定位失误造成的钻头直接破坏轨道交通设施结构的事故。由于定位不准、施工精度不高等因素造成勘察孔打穿既有轨道交通结构的事故已发生多次；实际工程中，超过设计超载要求的大型车辆在轨道交通控制保护区附近行驶、违规堆土等行为，造成盾构隧道收敛变形过大、结构开裂甚至渗水的工程事故屡见不鲜，加强轨道交通控制保护区的堆载、车辆和大型设备控制非常重要。

**3.0.12** 勘察孔未有效封堵时，容易形成潜水和承压水的上升通道，影响轨道交通结构安全。

**3.0.13** 本条文为对轨道交通过水段控制保护区范围内的水下作业进行安全控制，避免水下作业对过水段轨道交通结构造成不利影响。

**3.0.14** 轨道交通结构邻近高边坡、高挡墙时，应对边坡稳定进行验算，并采取适当的边坡支护措施，以保障轨道交通结构的安全。

**3.0.15** 对上跨轨道交通结构的外部作业，应采取有效措施防止坠物；在高架结构下方设置施工便道时，应核对相关车辆和设备的高度是否满足高架结构净高要求，避免碰撞；应避免向地势较低的轨道交通地上设施区域排水；在轨道交通结构上方的市政道路，设置清晰的限高标志，并在控制保护区内做好防护和防撞措施。

**3.0.16** 地下工程事故大部分与地下水有关，地下水的计算和分析目前亦难以准确预测，因此应特别注意地下水作业可能对轨道交通结构产生的不利影响，地下水作业过程中应采取合理有效的技术措施。

1 地下水位变化、地下水快速流动引起的地层应力状态变化及土体流失，将导致结构外壁压力的变化，影响结构受力状态，另一方面，将导致土体发生位移，进而影响结构的稳定。以上问题在深厚软弱土和高渗透性、级配较差的砂土地层环境尤为突出。因此，应根据地层情况有效控制轨道交通结构周边地层的水位变化幅度和流动速度。

2 轨道交通结构附近的地层若发生流砂、管涌等渗蚀破坏，土体的结构和应力状态发生改变，容易对轨道交通结构产生较大的危害。因此在外部作业时，应提前采取有效措施避免流砂、管涌等渗蚀灾害的发生，在发生先兆现象时，立即采取有效措施避免险情的进一步发展。

3 降水对周边环境的影响，一方面是降水引起地层有效应力的增加使地层发生固结沉降，另一方面是水体流动带动土体细颗粒的运移，使原有地层微观孔隙和土骨架结构发生改变，从而令局部地层发生变形；在降水工程中出现浑水则表明土体颗粒的流失。因此，在降水过程中，严禁出现浑水。当降水时间过长、降水面积较大或降水水位较深时，可能对周边地下水位造成很大影响，从而造成周边地层的沉降和变形。因此，应尽量采用竖向截水控

制技术，如采用落底式竖向截水帷幕插入下卧不透水层，形成封闭的截水系统，避免周边地下水水位发生大幅度变化，影响轨道交通结构的安全。欠固结地区的大面积地下水水位下降，将加速地层固结，引起地层沉降，在新吹填区、河漫滩、沿海淤泥区等区域，进行降水作业将引起地层大范围大幅度沉降，进而引起轨道交通结构的受力改变和变形，影响其安全和正常使用。因此，在欠固结地层，不应进行大面积降水作业，保持轨道交通结构周边地层条件的稳定。

4 外部作业产生承压水突涌事故时，其影响范围较大，对周边的轨道交通结构所处的地基条件将有较大扰动，进而影响轨道交通结构安全。

5 岩溶、土洞较发育地区在其原始平衡条件发生改变时，往往伴随二次发育，其中土洞具有埋深浅、发育快、洞体强度低等特点，往往比岩溶对轨道交通结构的安全和正常使用影响更大。因此，在岩溶、土洞较发育地区，应特别注意探明岩溶土洞的发育情况、强度等参数，并合理采用岩溶处理和地下水控制技术，避免对轨道交通结构造成不利影响。

### 3.0.17 在轨道交通结构周边进行外部作业应慎重考虑对轨道交通结构的不良影响。

1 硐室爆破、深孔爆破等药量较大的爆破作业的有害效应、影响范围及程度较大，容易对轨道交通结构造成影响，导致乘客产生恐慌情绪，因此在轨道交通控制保护区内，应严格控制药量较大的爆破作业。

4 爆破震动加速度的主频率一般在10Hz~30Hz，对于浅孔爆破，高达40Hz~100Hz，远大于一般结构的自振频率，爆破震动一般不易引起结构破坏。由于爆破震动频率的测定较为复杂，爆破震动引起结构质点的震动加速度的安全判据暂无统一标准，目前，爆破专业一般采用震动速度允许值作为结构安全控制指标。经香港、北京、上海、广州、天津等地区的实践经验，爆破震动速度小于2.5cm/s以下，可以有效保证轨道交通结构和运营安全。

5 试爆作业和其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 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规定》中对控制保护区内的爆破作业时间规定的条文，控制保护区内的爆破作业不应在城市轨道交通的运营期进行，以避免列车上的乘客产生心理恐慌等不适感，并避免严重的公共安全事故。

### 3.0.18 轨道交通结构的保护要求高，受损后修复困难；外部作业对轨道交通结构的影响机理

复杂，影响程度及评估涉及的因素众多，且存在较大的不确定性。因此，建立对轨道交通结构的监测系统非常重要，通过外部作业过程的实时监测，及时了解轨道交通结构的变形和服役状态，实行信息化施工，通过过程控制达到有效保护目的。

## 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临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设施的变形是一个比较复杂的过程。以盾构隧道为例，旁侧基坑开挖时，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垂直方向的移动量。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。

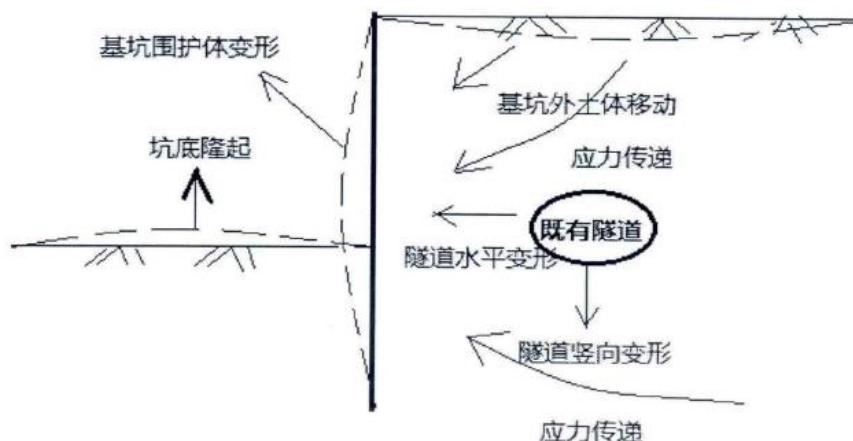


图 4.1.1 基坑开挖对地铁隧道影响示意图

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。

**4.1.3** 基坑围护墙外边线为地下连续墙、槽壁加固体、灌注桩、截水帷幕、主动区水泥搅拌桩或高压旋喷桩加固体等与轨道交通结构最为接近的桩或墙外边线,在围护墙与轨道交通结构之间设置的独立于围护墙之外的隔离桩除外。

基坑开挖对既有轨道交通结构的影响程度与工程和水文地质条件、二者的水平净距及竖向标高、基坑开挖深度、基坑面积等因素有关,经对杭州、宁波已有的大量工程实践分析,基坑开挖深度、基坑面积及基坑与轨道交通结构之间的距离等因素较为关键,为便于实际操作,本规程主要根据基坑开挖深度及水平净距来确定轨道交通结构安全保护等级,根据地质条件、竖向标高不同,保护等级可适当调整;基坑面积影响因素在分坑措施中得到体现。

**4.1.4** 轨道交通结构上方由于市政道路、管道工程、市政过街通道、河道等项目的建设需要进行开挖,轨道交通结构由于顶部卸载会产生隆起变形,变形过大易产生结构开裂、渗水等病害。根据既有盾构隧道工程经验,分层开挖每层卸土厚度应严格控制,平面上横向宜先开挖盾构隧道上方两侧的土体,最后开挖盾构隧道正上方的土体,宜保持对称均匀原则;施工过程中盾构隧道抗浮不满足要求时,可采取合理压重措施。

图 4.1.4 给出了隧道上方基坑的宽度、深度、土性等参数变化对卸荷比的影响,根据基坑开挖对隧道影响的数值分析以及工程经验,提出附录 B 的轨道交通结构安全保护等级确定原则。

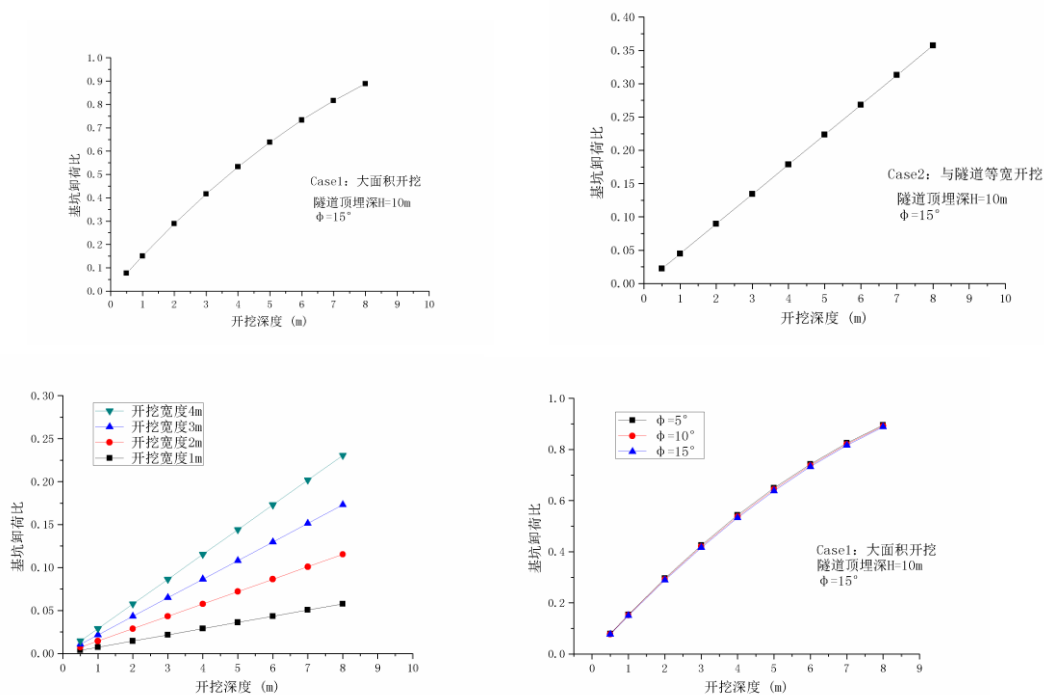


图 4.1.4 卸荷比的主要影响因素

**4.1.5** 基坑变形受多方面因素制约,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。

**4.1.6** 基坑抗隆起安全系数与基坑变形及环境影响具有直接的关系，通过大量工程反分析，提出本条规定的抗隆起安全系数要求，较浙江省工程建设标准《建筑基坑工程技术规程》DB33/T1096-2014 的最低要求有较大幅度的提高。

**4.1.9** 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 应采取间隔成桩的施工次序，待混凝土终凝后，才能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 单元墙幅的长度不应超过 6m，应间隔跳开施工；
- 2 应选用黏度大、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。

## 4.2 旁侧基坑

**4.2.1** 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，限制旁侧基坑面积，采取分坑措施，是必要的。表 4.2.1 主要是基于以下几点考虑：

1  $L_2 < 20\text{m}$  主要针对旁侧基坑开挖深度超过 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，上海等地区已有成熟的应用经验；

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。

**4.2.4** 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。

## 4.3 上方基坑

**4.3.2** 上方基坑在平面上与轨道交通结构重合，桩基施工条件恶劣，成桩施工时应充分考虑桩架自重、成桩扰动以及动力作用等引起的地基变形对轨道交通结构的不利影响。建议选择重量轻、性能良好的施工机械，并通过铺设路基板等措施扩散荷载；对灵敏度较高的软土，严格控制成桩次序和速度，避免扰动轨道交通结构周边土体。

## 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、顶管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。

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要求标准。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。

**5.1.4** 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。

**5.1.5** 盾构施工本身存在试验段，但是由于其变形控制标准远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。

对于线间距较小的双线隧道，相同施工条件下，一般后掘进线造成的地层损失要大于先掘进线，引起的沉降变形也相对较大。因此宜选取不利地理位置处的线路作为先掘进线，这样可以避免第二线沉降劣势与被穿越的结构体地理位置沉降劣势重叠，从而分担风险。

**5.1.6** 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。

**5.1.8** 水泥搅拌桩、高压旋喷桩、冻结法等因加固工艺不同，对周边地层的扰动程度及范围也不同，距离轨道交通结构较近时，应避免采用扰动影响较大的旋喷桩工艺。

根据既有工程经验，对于淤泥质软土地层，地面无条件加固时，可对开挖隧道全断面及周圈不小于 2.0m 范围内的土体进行深孔注浆加固。



近年来，全方位高压喷射法（简介 MJS）逐渐在紧邻既有轨道交通结构的工程项目中有着良好的应用。MJS 工法在传统高压喷射注浆工艺的基础上，采用了独特的多孔管和前端造浆装置，实现了孔内强制排浆和地内压力监测，并通过调整强制排浆量来控制地内压力，大幅度减少对环境的影响，而地内压力的降低也进一步保证了成桩直径。

## 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 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质量问题，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例，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、纵向拉近方式，能够满足地铁正常运营。

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** 高架站及区间一般采用桩基础，且多为端承桩，盾构施工掘进中开挖面支护压力及刀

盘转动引起土体变位，将对桩身产生作用力，距离宜控制在  $1D$  范围外，对于近距离，为减少应力传递影响，可采取隔离桩措施。

部分工程采用地基加固增加轨道交通结构的抗变形能力，但方案中应结合土体传力效应分析，综合确定地基加固可行性。

**5.2.5** 顶管法被广泛应用于排水管道、通讯管道等工程，当下穿工程位于透水性砂层时，采用顶管工艺有管涌或流砂风险；对软土，挤土效应明显。因此不建议采用。

## 5.3 并行隧道

**5.3.2** 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 浅基础

**6.1.5** 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。

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。

浅基础对轨道交通结构的安全保护等级为 A 级、B 级时,往往引起轨道交通结构的原设计荷载和边界条件等发生改变,因此地基处理应优先采用对周边环境影响较小的措施和参数。

### 6.2 桩基础

**6.2.1** 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。

**6.2.2** 桩基础对轨道交通结构的安全保护等级主要与上部结构荷重、桩基础选型、施工工法、桩基与轨道交通结构的空间关系、工程地质等因素有关。

单体工程的桩基础往往由若干独立承台组成,也有项目采用整体桩筏基础,轨道交通结构保护等级确定时,应充分考虑桩基础可能对其影响的各项因素,重视群桩影响的叠加效应。

**6.2.3~6.2.4** 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。

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。

## 6.3 道路及地下管线

**6.3.6** 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，不能象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** 一般情况下，当外部作业施工过程中轨道交通结构的变形预警等级在三级以内时，可不进行施工过程评估。

**7.0.2** 外部作业实施前，对轨道交通结构采取现状调查、监测、测量和结构验算等手段，目的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指标值，以为后续评估工作起到一定的指导作用。现状调查主要指对施工质量缺陷的调查，如轨道交通结构现状裂缝数量、长度、宽度以及渗漏水情况等。

**7.0.3** 采用多种手段（包括理论和经验法评估、典型剖面计算复核、有限元软件的数值模拟分析）等定量分析外部作业引起的轨道交通结构的内力和变形，包括水平位移、竖向变形以及收敛等，判断相应指标是否满足结构安全控制指标值。

**7.0.4** 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，提出下一阶段地铁保护措施的建议。

## 8 轨道交通结构加固

**8.0.1~8.0.4** 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；对于施工过程中，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。

**8.0.5** 运营隧道结构的安全评估指标体系是一个多项目、多层次的复杂系统，每个层次又由多个评价指标组成。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。

杭州已建的地铁盾构隧道管片设计参数如表 8.0.5-1 所示：

表 8.0.5-1 杭州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

项 目	构 造
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）

针对杭州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，需考虑在管片内部采取环向内张圈加固。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》（J12360-2013）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  $\Delta D > 60\text{mm}$ （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，并应加强环向内张圈的材料的刚度。

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，螺栓应避免管片主筋、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 mPa 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 天小于 0.03mm/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。

盾构隧道防水等级为二级，即管片湿渍总面积不大于防水面积的 0.2%，单个湿渍面积不大于 0.2 m<sup>2</sup>，任意 100 m<sup>2</sup>防水面积不超过 3 处；平均渗水量不大于 0.05L / (m<sup>2</sup>.d)，任意 100 m<sup>2</sup>防水面积上的渗水量不大于 0.15L / (m<sup>2</sup>.d)。

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 8.0.5-2 采取措施。

表 8.0.5-2 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。

根据既有工程经验，常用的骑缝压浆方法为：采用粘贴式注浆嘴(粘合于缝上或凿小槽封埋)骑缝放置，为对准缝隙可用针插入缝隙。其孔间距约 300~500mm，并且应控制注入的压力在 0.05~0.5MPa。采用环氧树脂刮涂密封裂缝，且环氧树脂应为可粘合潮湿基面的材料。

注浆孔宜交叉布置在裂缝两侧，钻孔应斜穿裂缝，垂直深度宜为混凝土结构厚度  $h$  的  $1/3 \sim 1/2$ ，钻孔与裂缝水平距离宜为 100mm~250mm，孔径不宜大于 20mm，斜孔倾角宜为  $45^\circ \sim 60^\circ$ 。当需要预先封缝时，封缝的宽度宜为 50mm。注浆嘴深入钻孔的深度不宜大于钻孔长度的  $1/2$ 。

**8.0.7 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。应严格控制注浆压力，避免因注浆压力过大使道床上拱。



# 9 检查与监测

## 9.1 一般规定

**9.1.1** 该条主要就轨道交通结构在受外部作业影响的施工前、中、后的结构状况进行检查，并提出相关要求，以保留原始证录，掌握轨道交通结构的初始状态、过程状态及工后状态，作为施工影响及各类对比的依据。

检查对象一般包括：裂缝、渗漏、损伤、错台、脱空、接缝张开、连接螺栓松动、锈蚀等，可辅助采用裂缝测宽仪、钢尺、秒表、塞尺、激光测距仪、全站仪、超声测试仪等仪器，必要时可采取全断面扫描等方式，检查宜形成表 9.1.1 所示的调查成果表（样表）。

表 9.1.1 轨道交通结构缺陷及病害检查表

编号	XX	检查日期		20XX-X-XX
车站（区间）隧道	XX 站~XX 站	环号（里程）		XXXX
检查检查结果 （裂缝）	编号	大里程方向	长度（cm）	宽度（深度）（mm）
	1 号	1 点	XX	XX
	2 号	1 点	XX	XX
附裂缝展开图：				
附：现场裂缝照片				
检查结果 （渗漏）	编号	大里程方向	渗漏面（cm <sup>2</sup> ）	渗漏速度 L/(m <sup>2</sup> *d)/(滴/min)
	1 号	1 点	XX	XX
	2 号	1 点	XX	XX
渗漏水情况描述：				
附：渗漏水照片				
管片错台情况	编号	大里程方向	错台量（mm）	
	1 号	1 点	XX	
	2 号	1 点	XX	
错台情况描述：				

附管片错台照片				
管片接缝张开情况	编号	大里程方向	张开量情况描述(能否看到螺栓)	
		1点	XX	
		1点	XX	
附接缝张开情况照片				
检查结果 (道床缺陷)	编号	大里程方向	道床表面裂缝宽度 (mm)	道床与边墙开裂剥离宽度 (mm)
	1号	1点	XX	XX
	2号	1点	XX	XX
道床情况描述:				
附道床缺陷照片				
其他检查结果 (螺栓孔周边碎裂 情况)	编号	大里程方向	情况描述	
	1			
	2			
附对应照片:				

现场检测人:

现场记录人:

**9.1.14** 考虑到轨道交通控制保护区外部作业的危险程度和难易程度,基于安全保护等级要求实施差别化监测手段。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;针对C级保护等级的项目应视实际情况确定是否采用自动化监测。

## 9.2 检查

**9.2.1** 针对轨道交通结构的检查，重点在于准确、全面反映当前轨道交通结构缺陷及服役现状，需要综合运用检测、测量、物探、检验等多种手段实施，主要采用的仪器有水准仪、收敛计、激光测距仪、全站仪等，必要时还可采用裂缝超声检测、地质雷达空洞检测及全断面变形形态扫描、近景摄影测量、三维激光扫描、光纤光栅等技术手段，同时鼓励采用各类新技术以开展更加深入及全面的检测分析。

**9.2.2~9.2.5** 应建立现场检查机制及完善的施工监管机制，重点检查轨道交通控制保护区违法施工、外部作业工程重大风险源及风险隐患、监测实施、监测数据、资料整理等内容。

## 9.3 轨道交通结构监测

**9.3.1** 监测单位应根据设计方案、安全评估报告、施工方案等编制监测方案，主要内容应包括工程概况、监测项目、依据、测点布置、监测方法、仪器设备、人员、频率及周期、监测控制值、监测数据管理、日常巡查内容及要求、监测工作计划、信息反馈方案、质量安全保证措施、应急响应方案等，此外还应考虑监测工作的连续性及系统性。

轨道交通结构监测应贯穿其受外部作业影响全过程，针对邻近的超高层建筑，考虑到其建成后仍将继续发生沉降并导致周围岩土体继续变形，因此需要开展拖带影响测量。拖带影响测量应满足如下要求：

1 新建建筑体应在建筑、核心筒周边的转角处及外墙每 10m 处设置沉降观测点，层高变化交接处应增设观测点。

2 应在轨道交通结构与新建建筑结构之间的土体内容设置分层沉降观测项目，深度范围宜自地面至隧道结构以下 5m。分层观测点密度应随土层设置，间距不宜大于 5m，且在隧道结构顶部、中部、底部对应深度宜有观测点。

3 拖带影响测量应结合施工工况及时开展，至超高层建筑沉降稳定为止；观测频率可根据变形情况确定，但不宜低于 1 次/季度。

由于工程建设和地铁运营对轨道交通结构和周边环境的影响非常复杂，监测方案必须随轨道交通结构变形及发展趋势及时修订和完善，使之能适应轨道交通结构相应部位变化的情况。

9.3.2 轨道交通结构监测应根据外部作业影响程度大小及轨道交通结构自身情况选取监测项目及监测技术指标。

9.3.4 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变化；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。具体监测点布设方法可参考如下。

#### (1) 地下车站主体结构沉降监测点布设

标准长度车站（160~200m）：在地下车站站台层纵向布设监测横断面，每个断面的左、右线上各布设一个监测点，点位布设在道床轨道中间，监测断面布设间距宜按 10m（图 9.3.4-1）。

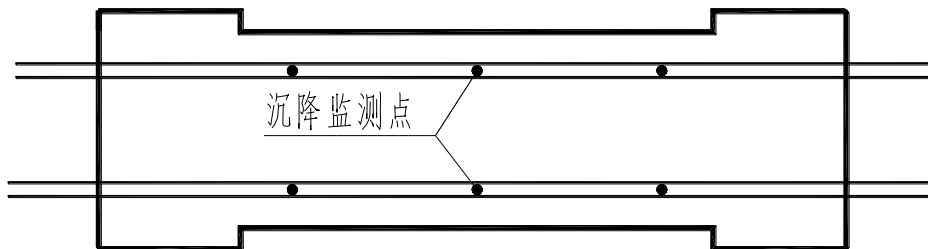


图 9.3.4-1 标准长度车站结构沉降监测点布置示意图

对于采取高等减震措施、特殊减震措施（钢弹簧浮置板）的结构区段来说，由于特殊减震措施自身会有一些的变形发生，在道床上布设监测点的同时，应在同一横断面的结构上布设监测点（图 9.3.4-2）。

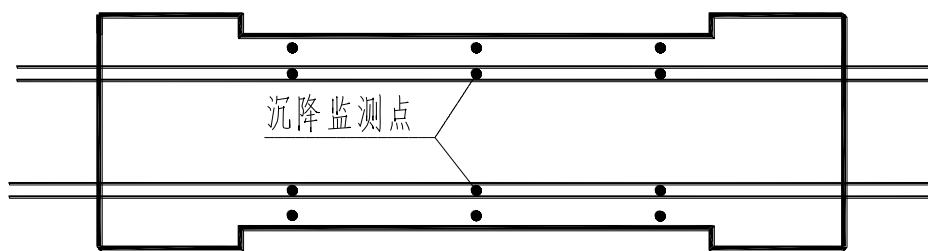


图 9.3.4-2 特殊减震地段地下结构沉降监测点布置示意图

## (2) 盾构隧道竖向沉降监测点布设

对于铺设一般道床的地段而言，宜按每 5 环（6m）布设一个沉降监测点，沉降监测点应布设在整体道床上，并位于线路中心线上的两根轨枕中间（图 9.3.4-3）。隧道首尾两环必须布点。对于曲线比较大的隧道，宜在直缓、缓圆、曲线中点、圆缓、缓直等部位应布设监测点；

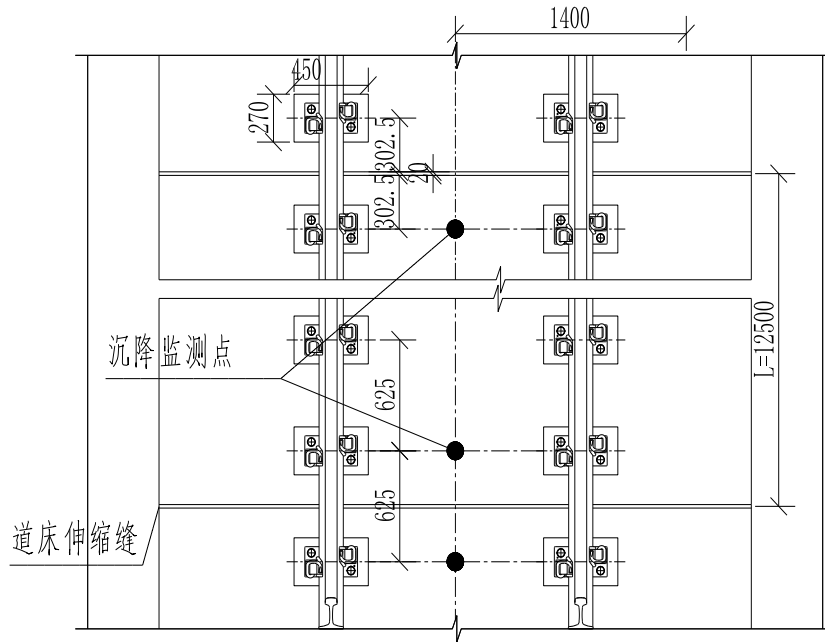
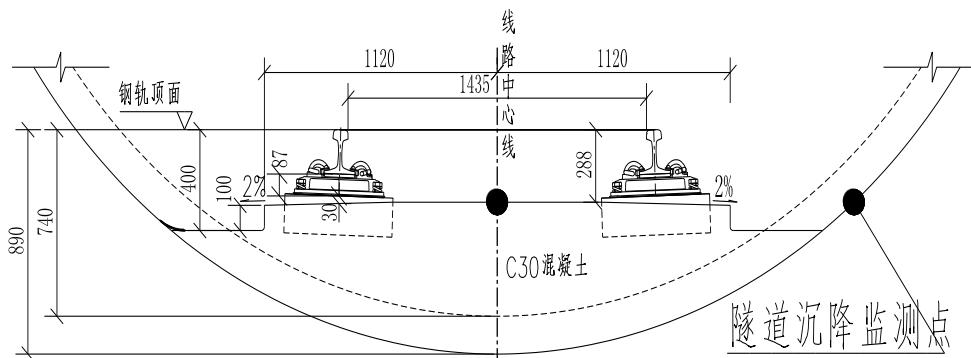


图 9.3.4-3 隧道竖向沉降监测点布置示意图

对于采取高等减震措施、特殊减震措施（钢弹簧浮置板）的地段，除了其道床上布设监测点外，应在同一横断面的行车方向右侧盾构隧道结构上布设监测点（图 9.3.4-4），以便更进一步掌握隧道结构的沉降情况。



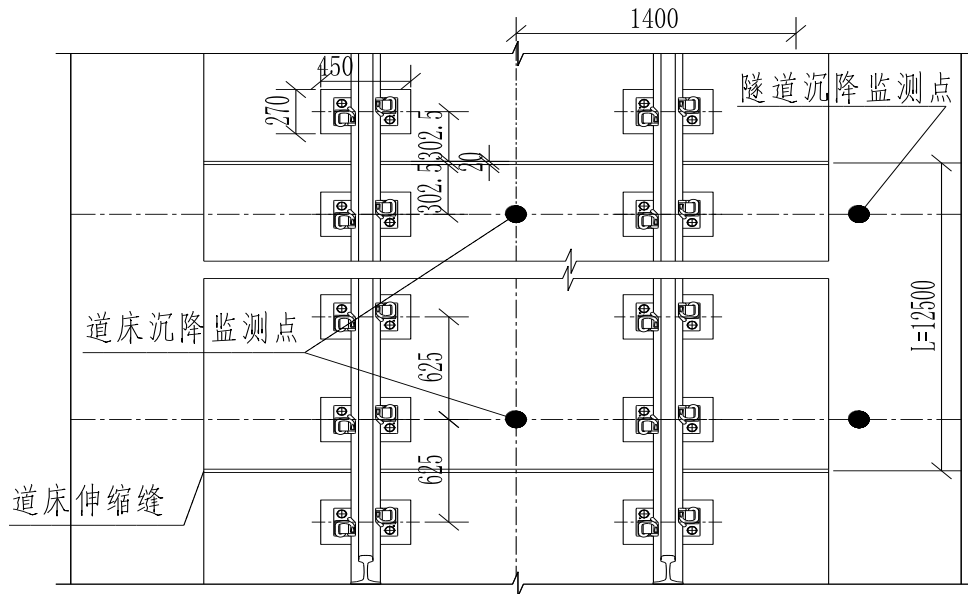


图 9.3.4-4 高等减震、特殊减震地段盾构隧道沉降监测点布设示意图

### (3) 不同工法结构交接处、变形缝处的差异沉降监测点布设

在车站结构、明挖矩形隧道与区间盾构隧道交接处、明挖结构和隧道变形缝处两侧道床轨道中间，应各布设一个监测点，左、右线各布设 1 对，每座车站共布设 4 对（图 9.3.4-5）。U 型槽结构与地面段交接处应设置差异沉降监测点。

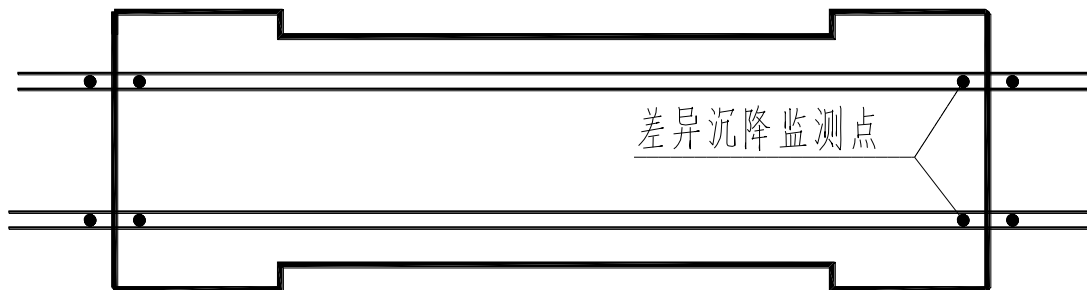


图 9.3.4-5 车站与隧道交接处结构差异沉降测点布置示意图

### (4) 联络通道沉降监测点布设

每个联络通道布设两个沉降监测点，且和联络通道中心相交的隧道中心处应布设一个沉降监测点（图 9.3.4-6），便于监测联络通道和隧道的差异沉降值。

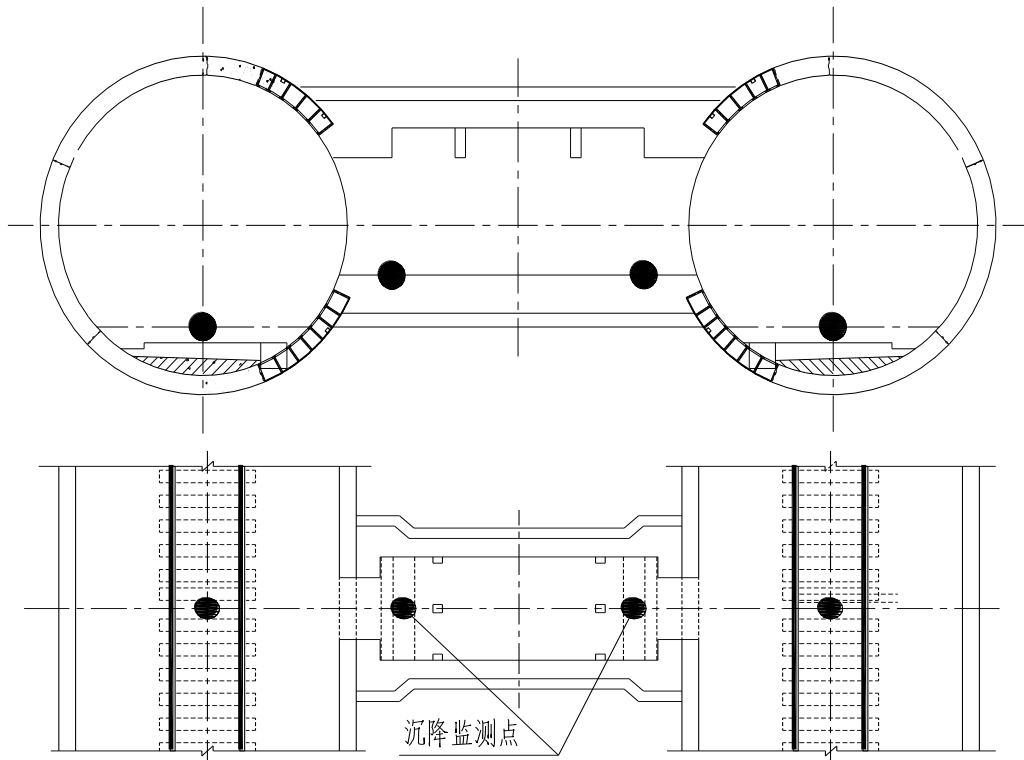
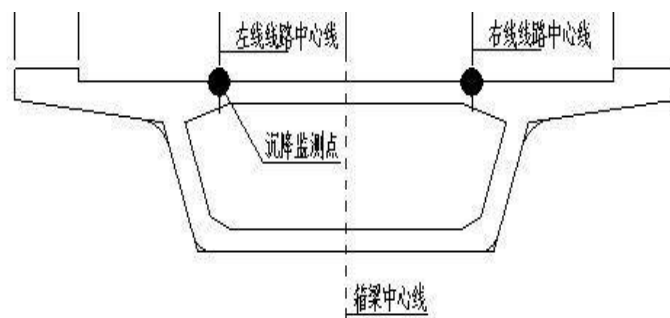


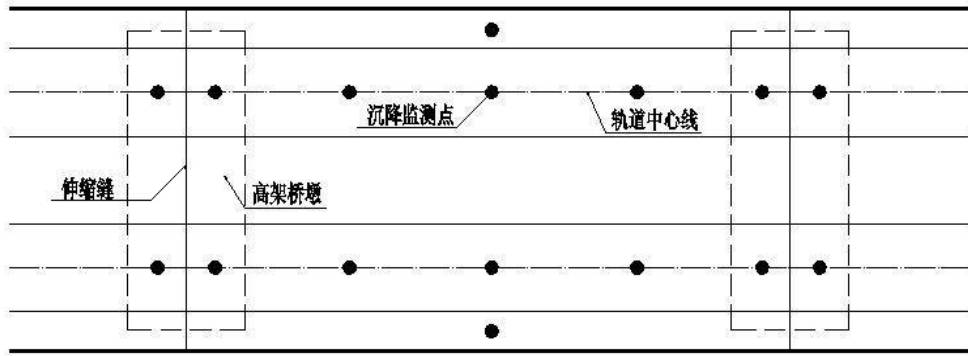
图 9.3.4-6 联络通道沉降监测点布置示意图

#### (5) 高架段沉降监测点布设

① 高架段简支梁在每跨梁上按上、下行线一般等距布设 5 个沉降监测点，两端各一个、中间等距布设三个；高架段连续梁在每跨梁上分上、下行线两端各布设一点，中间每 5m 布设一个沉降监测点，监测点一般埋于轨枕上，并在跨中位置的梁体结构上加设一个监测点，监测点上、下行线必须布设在同一横断面上（图 9.3.4-7）。



(a) 剖面示意图



(b) 平面示意图

图 9.3.4-7 高架段桥梁沉降监测点布设示意图

② 高架段在每柱桥墩上布设 2 个沉降监测点，分别布设在桥墩柱两侧，距地面高约 0.5m 处（图 9.3.4-8）。

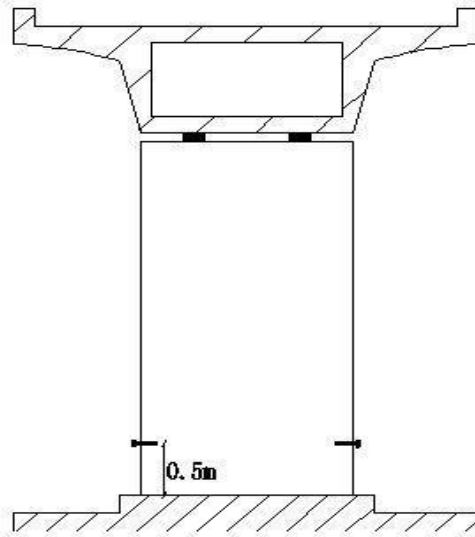


图 9.3.4-8 高架立柱沉降监测点布设示意图

③ 高架车站按上、下行线一般每 6m 布设一个沉降监测点，首尾两根轨枕必须布点，且上下行线布设在同一横断面上，监测点一般埋于轨枕上（图 9.3.4-9）。

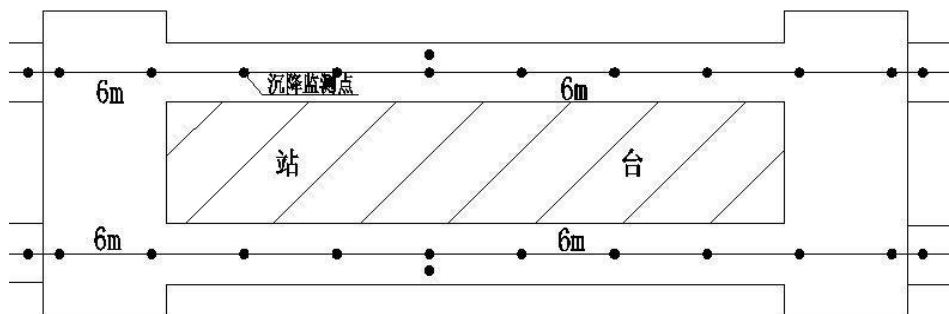


图 9.3.4-9 高架车站沉降监测点布设示意图



### (6) 道岔区沉降监测点布设

道岔区在道岔理论中心、道岔前端、道岔后端、辙叉理论中心等结构部位各布设 1 个监测点。

### (7) 隧道水平收敛监测点布设

隧道内径收敛监测点一般按 10 环（每 12m）间距布设一个监测断面，进出洞和联络通道各布置一个断面，隧道水平收敛监测点应和沉降监测点布置在同一横断面上（图 9.3.4-10）。

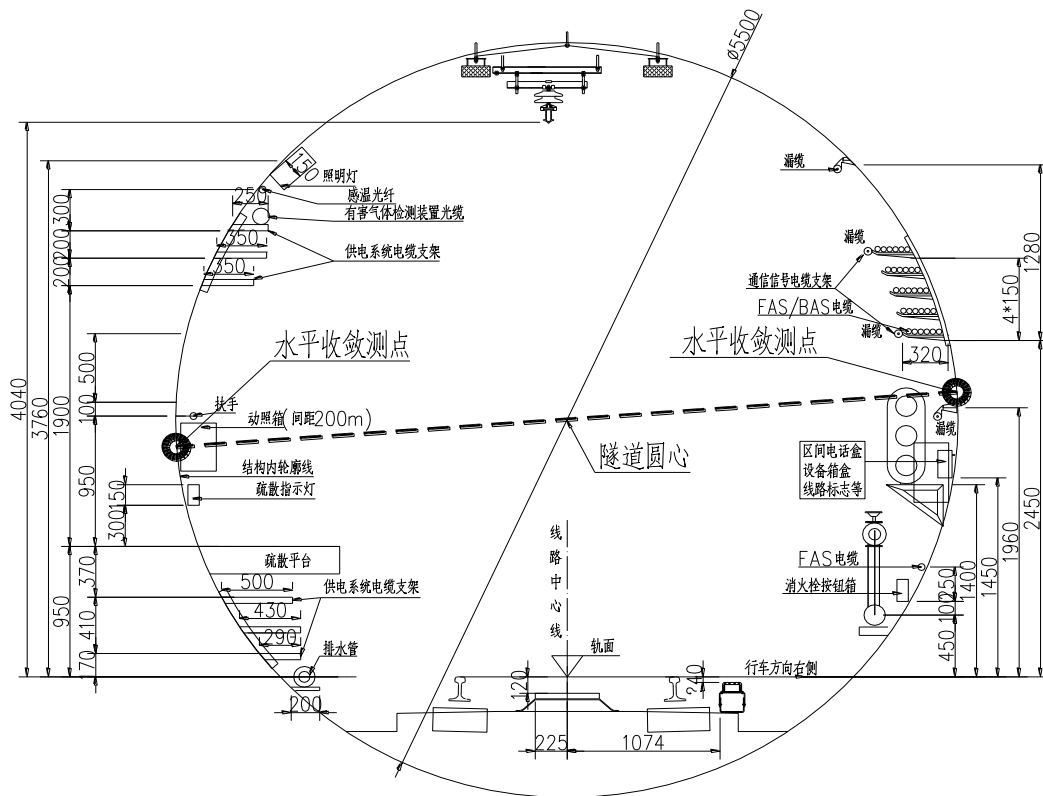


图 9.3.4-10 水平收敛变形监测点布设图

**9.3.5** 当监测数据接近轨道交通结构安全控制指标值的预警值或结构出现异常、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（一般为 1 次/1~2 小时）、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。

## 9.4 外部工程监测

**9.4.1** 周边环境包括周边各类建（构）筑物、管线、设施、周边岩土体等。外部作业都需在其实施过程中进行自身及周边环境安全监控，其监测方案应满足该类工程相关的规范、规程要求，但基于轨道交通保护区工程影响对象的特殊性，需要落实较为严格的控制，确保轨道交通结构的安全。