



T/CECS XXX:XXXX

中国工程建设标准化协会标准

有轨电车工程路面路基设计标准

Design standard for pavement and subgrade of tram engineering

(送审稿)

XXXX 年 XX 月

中国工程建设标准化协会标准

有轨电车工程路面路基设计标准

Design standard for pavement and subgrade of tram engineering

主编单位：上海市城市建设设计研究总院（集团）有限公司
同济大学

批准部门：

施行日期：

目 录

1 总 则.....	7
2 术 语.....	8
3 基 本 规 定.....	11
4 路 基.....	12
4.1 一般规定	12
4.2 设计	12
4.3 施工要点	33
5 路 面.....	35
5.1 一般规定	35
5.2 设计	35
5.3 施工要点	42
6 接 口.....	45
附录 A 常用材料及重度.....	46
附录 B 常用地基处理方法及措施适用条件表	47
附录 C 常用坡面防护类型及适用条件	48
附录 D 常用支挡结构类型及适用条件	49
条 文 说 明.....	50
1 总 则.....	50
2 术 语.....	51
3 基 本 规 定.....	52
4 路 基.....	53
4.1 一般规定	53
4.2 设计	53

4.3	施工要点	59
5	路面	61
5.1	一般规定	61
5.2	设计	61
6	接口	64

Contents

1	General Principles	7
2	Terms	8
3	Basic Regulations	11
4	Subgrade	12
4.1	General Provisions	12
4.2	Designs	12
4.3	Construction Essentials	33
5	Pavement	35
5.1	General Provisions	35
5.2	Designs	35
5.3	Construction Essentials	42
6	Interface	45
	Appendix A Common Materials and Weights	46
	Appendix B Table of Applicable Conditions for Common Foundation Treatment Methods and Measures	47
	Appendix C Common Types and Applicable Conditions of Slope Protection.....	48
	Appendix D Common Types and Applicable Conditions of Retaining Structures	49
	Explanation of Provisions	50
1	General Principles	50
2	Terms	51
3	Basic Regulations	52
4	Subgrade	53
4.1	General Provisions	53
4.2	Designs	53

4.3	Construction Essentials	59
5	Pavement	61
5.1	General Provisions	61
5.2	Designs	61
6	Interface	64

1 总 则

1.0.1 为适应有轨电车工程建设与发展的需要，规范有轨电车路面与路基工程的设计与施工，使有轨电车路面路基工程达到安全可靠、功能合理、技术先进、经济适用、节能环保，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于最高运行速度不超过 70km/h，采用钢轮钢轨制式的有轨电车工程新建路面与路基的设计、施工、监测和验收。改建、扩建以及其他制式的有轨电车路面路基工程可参照执行。

1.0.3 有轨电车路面路基工程应协调建设、设计、运维等各方之间的关系，应考虑社会效益、环境效益与经济效益的协调统一，满足以人为本、环境友好、资源节约的要求。

1.0.4 有轨电车路面路基工程的设计与施工除符合本标准外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 有轨电车 tram

与道路上其他交通方式共享路权的低运量城市轨道交通方式,线路通常设在地面。

(参考 CJJ/T 295-2019《城市有轨电车工程设计标准》)

2.0.2 设计使用年限 design period

在一般维护条件下,保证工程正常使用的年限。

(参考 DG/TJ 08-2213-2016《有轨电车工程设计规范》)

2.0.3 专用路权 exclusive right way

经过交通管理部门确认,符合相关交通管理法律法规,为城市有轨电车规定的时间和空间范围内使用专用通道的权利。

(参考 CJJ/T 295-2019《城市有轨电车工程设计标准》)

2.0.4 混合路权 integrated on-street tram

其他车辆、行人与有轨电车在路段上共享路权。

(参考 DG/TJ 08-2213-2016《有轨电车工程设计规范》)

2.0.5 路基 earth structure

经开挖或填筑而形成的直接支承轨道结构的土工结构物。

参考(TB 10001-2016《铁路路基设计规范》)

2.0.6 基床 subgrade bed

路肩高程以下、受电车荷载作用影响显著的路基上部结构。基床由表层和底层组成。

参考(TB 10001-2016《铁路路基设计规范》)

2.0.7 过渡段 transition section

路基与桥台、横向结构物、隧道及路堤与路堑等衔接处,需作特殊处理的地段。

参考(TB 10001-2016《铁路路基设计规范》)

2.0.8 压实系数 compacting factor

填料压实后的干密度与重型击实试验得出的最大干密度的比值。

参考(TB 10001-2016《铁路路基设计规范》)

2.0.9 地基系数 K30 foundation deformation coefficient K30

通过试验测得的直径 30cm 荷载板下沉 1.25mm 时对应的荷载强度（MPa）与其下沉量（mm）的比值。

参考（TB 10001-2016《铁路路基设计规范》）

2.0.10 地基处理 ground treatment

提高地基承载力、改善其变形性能或渗透性能而采取的技术措施。

参考（TB 10001-2016《铁路路基设计规范》）

2.0.11 支挡结构 retaining structure

支承侧向土压力或抵御土体滑动的结构物。

参考（TB 10001-2016《铁路路基设计规范》）

2.0.12 装配式一体化轨道路基结构 assembled Integrated structure of track and subgrade

采用工厂预制，将预制桩、预制轨道梁、钢轨、扣件等，运输至现场以机械化、焊接等方式连接的轨道路基结构。

2.0.13 路面 pavement

设置在有轨电车轨道混凝土道床上方的铺装层。

2.0.14 沥青路面 asphalt pavement

铺筑沥青面层的路面。

参考（CJJ 169-2012《城镇道路路面设计规范》）

2.0.15 水泥混凝土路面 cement concrete pavement

铺筑水泥混凝土面层的路面。

参考（CJJ 169-2012《城镇道路路面设计规范》）

2.0.16 砌块路面 block stone pavement

用一定形状的石料或人工预制砌块铺筑面层的路面。

参考（CJJ 169-2012《城镇道路路面设计规范》）

2.0.17 设计基准期 design reference period

在进行路面结构可靠度设计时，考虑持久设计状况下各项基本变量与时间关系所取用的基准时间参数。

参考（CJJ 169-2012《城镇道路路面设计规范》）

2.0.18 可靠度 reliability

结构在规定的时间内，规定的条件下，完成预定功能的概率。

参考（CJJ 169-2012《城镇道路路面设计规范》）

2.0.19 半柔性过渡层 semi-flexible transition layer

设置在钢轨与沥青路面层之间的一种半柔性层结构层，该结构层兼具承载力和柔韧性，具有吸收变形、消化应力、提升沥青路面层荷载承受能力和抗疲劳能力。

2.0.20 刚性过渡层 rigid transition layer

设置在钢轨与路面层之间的一种刚性结构层，该结构应具有高强度、抗冲击性能。

2.0.21 嵌入式连续支撑轨道 embedded continuous support track

将钢轨嵌入到 U 型槽中，无扣件固定，采用高分子材料连续支撑钢轨的一种轨道结构。

2.0.22 扣件式轨道 fastener-style track

采用扣件点支撑固定钢轨的一种轨道结构。

3 基本规定

- 3.0.1** 有轨电车工程路面和路基范围应为最外侧轨道外扩 3m；有轨电车路面应包括轨道板顶面至轨面设计标高之间的结构。
- 3.0.2** 有轨电车工程应根据采用专用路权、混合路权和交叉口情况采用相应的路面形式。
- 3.0.3** 有轨电车路面与钢轨应满足界面过渡要求，有轨电车路面与道路应满足衔接要求。
- 3.0.4** 路面与钢轨界面过渡和有轨电车路面与道路衔接应考虑工程养护维修，并应考虑与周围路面的景观协调性。
- 3.0.5** 主体结构工程以及结构损坏会对运营安全有严重影响的结构工程设计年限不应小于 100 年，其他结构工程宜按道路及相应构筑物相同的使用年限设计。
- 3.0.6** 路基应通过地质调绘、综合勘探、试验和分析，查明路基基底、边坡、支挡结构地基等的岩土结构及物理力学性质，查明填料性质和分布，在取得可靠的地质资料基础上开展设计。
- 3.0.7** 利用既有道路改建时，应对既有道路路基性状进行调查和评价，采取合理的技术方案和工程措施。
- 3.0.8** 路基应加强与轨道、机电、道路等工程的接口设计，预留必要的预埋件。
- 3.0.9** 工程建设应采用成熟的新技术、新结构与新工艺；在不影响安全可靠和使用功能的前提下，采取有利于节约能源和降低工程造价的技术方法与措施。

4 路 基

4.1 一般规定

- 4.1.1** 本章节适用于有轨电车工程无砟轨道路基，有砟轨道路基可参照现行行业标准《城市有轨电车工程设计标准》CJJ/T 295 有关规定执行。
- 4.1.1** 路基应满足承载力要求，工后差异沉降量应满足轨道线路的平顺性要求。
- 4.1.2** 路基设计包括基床、地基处理、桩板结构、装配式一体化轨道路基结构、过渡段、边坡防护、支挡结构、路基排水等内容。
- 4.1.3** 根据工程地质、水文地质、环境条件宜选用换填路基，也可采用桩板结构或装配式一体化轨道路基结构等型式。
- 4.1.4** 换填路基设计采用安全系数法或极限状态设计法；桩板结构、装配式一体化轨道路基结构设计采用极限状态设计法。
- 4.1.5** 装配式一体化轨道路基结构应采用成熟的设备、合理结构及先进的工艺技术，宜按互换修的理念设计，以便于施工和养护维修。
- 4.1.6** 路基与桥台、横向结构物，有砟轨道与无砟轨道连接处等易产生差异沉降处均宜设置过渡段。
- 4.1.7** 路基防护设计应遵循因地制宜、安全可靠、经济适用、便于施工养护的原则。
- 4.1.8** 路基支挡结构应根据地质条件、轨道荷载及列车荷载等进行设计,并考虑大气降水、地下水、周边环境等自然因素的影响。
- 4.1.9** 路基应有完整、系统通畅的排水设施，并与市政道路排水系统合理衔接。
- 4.1.10** 路基应推广采用安全可靠的高新技术、新结构、新材料和新工艺。
- 4.1.11** 路基工后沉降不应超过 50 mm，工后不均匀沉降量不应超过扣件允许的可调高量。路桥或路隧交界处差异沉降不应大于 15 mm，过渡段与桥梁间的折角不应大于 1/1000。

4.2 设计

- 4.2.1** 换填路基应符合下列规定：

- 1 有轨电车换填路基是指经开挖或填筑而形成的直接支承轨道结构的土工结构物，主要包括支承层、基床及基床以下部分。特殊区域需进行相应地基处

理。

2 路基面形状及宽度。

- 1) 单线标准路基面宽度应按式 4.2.1-1 计算，单线路基标准横断面如图 4.2.1-1 所示：

$$\chi=B+B1 \quad \text{式 (4.2.1-1)}$$

式中：

B——限界宽度的数值，单位为米（m）；

B1——限界及设备宽度的数值，单位为米（m），含电缆槽、信号灯、接触网布置宽度等（m）；

m——路基边坡坡率倒数，有轨电车与市政道路同步新建时可取0。

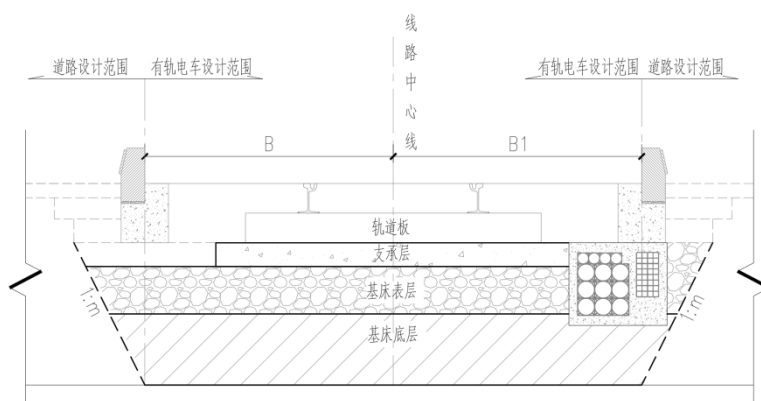


图 4.2.1-1 单线路基标准横断面示意图

- 2) 双线标准路基面宽度应按式 (4.2.1-2) 计算，无接触网供电方式路基断面示意图如图 4.2.1-2 所示，单接触网供电方式路基断面示意图如图 4.2.1-3 所示：

$$\chi=B+A+B \quad \text{式 (4.2.1-2)}$$

式中：

A——线间距的数值，单位为米（m）；

B——限界宽度的数值，单位为米（m）；

m——路基边坡坡率倒数，有轨电车与市政道路同步新建时可取0。

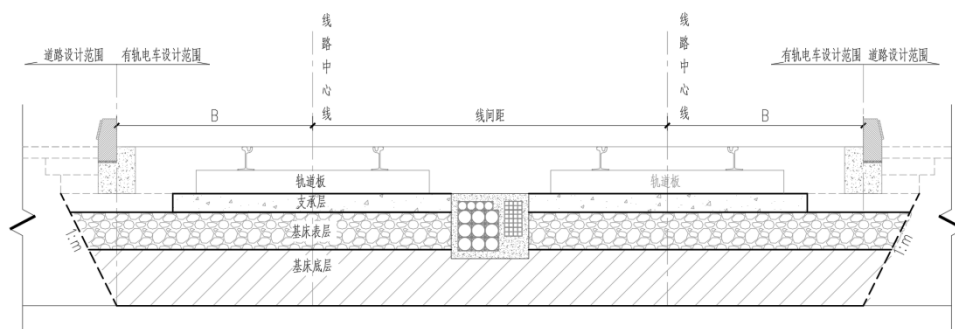


图4.2.1-2无接触网供电方式路基标准横断面示意图

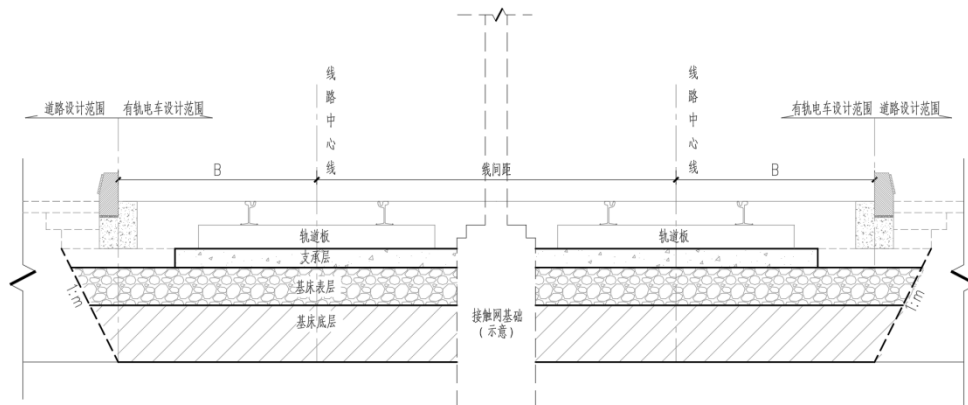


图4.2.1-3接触网供电方式路基标准横断面示意图

3 设计荷载。

1) 有轨电车路基结构上承受的荷载可按表 4.2.1-1 进行分类。

表4.2.1-1 荷载分类

荷载分类		荷载名称
主力	永久荷载	轨道荷载
		结构重力
		结构顶面上的恒载
		土压力
		常水位时静水压力和浮力
		滑坡推力
	可变荷载	列车荷载
		人行道荷载
		路口处车辆荷载
附加力	可变荷载	设计水位的静水压力和浮力
		渗透力
		波浪压力、风压力
		膨胀力、冻胀力和冰压力

特殊力	偶然荷载	地震作用
	可变荷载	施工及临时荷载
注 1: 冻胀力和冰压力, 不与波浪压力同时计算; 注 2: 洪水和地震不同时考虑; 注 3: 墙背填料为渗水土时, 可不计墙身两侧静水压力和墙背渗透力。		

- 2) 路基工程采用总安全系数法设计时, 荷载及作用应采用计算值, 荷载组合应满足表 4.2.1-2 规定; 采用极限状态法设计时, 荷载及作用应采用设计值, 荷载组合中的分项系数取值应符合相关规定。

表4.2.1-2 荷载组合

环境		荷载组合
一般地区		永久荷载 (主)
		永久荷载 (主) + 列车荷载 (主可变)
		永久荷载 (主) + 特殊力 (可变)
浸水地区	常水位和无水	与一般地区相同
	洪水位	永久荷载 (主) + 列车荷载 (主可变) + 附加力 (可变)
		永久荷载 (主) + 附加力 (可变)
		永久荷载 (主) + 特殊力 (可变) + 附加力 (可变)
地震地区	无震	与一般地区相同
	有震	永久荷载 (主) + 特殊力 (偶然)
		永久荷载 (主) + 列车荷载 (主可变) + 特殊力 (偶然)
		永久荷载 (主) + 特殊力 (可变) + 特殊力 (偶然)

3) 荷载分布与取值

有轨电车无砟轨道路基结构, 路基面竖向设计荷载应采用图4.2.1-4所示的均布荷载。

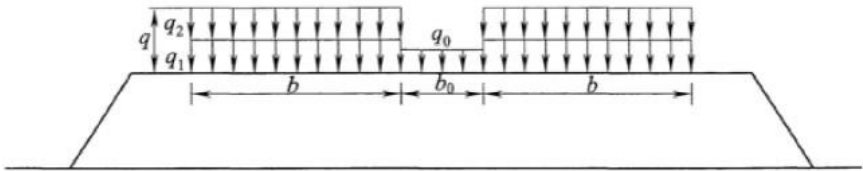


图 4.2.1-4均布荷载示意图

注：

q_1 ——轨道结构自重均布荷载强度的数值，单位为千牛每平方米 (kN/m^2)；

q_2 ——列车荷载（有轨电车标准荷载）均布荷载强度的数值，单位为千牛每平方米 (kN/m^2)；

q ——轨道结构自重数值与列车荷载均布荷载强度数值之和，单位为千牛每平方米 (kN/m^2)；

b ——每股道均布荷载分布宽度的数值，单位为米 (m)

q_0 ——线间回填均布荷载强度的数值，单位为千牛每平方米 (kN/m^2)；

b_0 ——线间回填均布荷载分布宽度的数值，单位为米 (m)

4) 有轨电车路基结构，设计时应考虑列车动荷载。

路基道床顶面上的列车荷载可按式4.2.1-3、4.2.1-4计算，即：

$$P_d = P_s \vartheta \quad \text{式 (4.2.1-3)}$$

$$\quad \quad \quad \text{式 (4.2.1-4)}$$

式中：

P_d ——动荷载，单位为千牛 (kN)；

P_s ——静荷载，单位为千牛 (kN)；

ϑ ——动应力冲击系数，根据具体轨道形式及车辆速度确定，无具体数据值时可取1.2；

- 5) 土压力荷载应根据路基工程结构的具体情况采用主动土压力、静止土压力或被动土压力，并结合工程经验乘以相应的增大或折减系数。
- 6) 挡土墙前的被动土压力可不计算，当基础埋深较深且底层稳定、不受水流冲刷和扰动破坏时，根据墙身的位移条件，可采用 1/3 被动土压力值。
- 7) 支挡结构作为防浪建筑物时，作用在支挡结构上的波浪压力，应根据墙前风向、风速、风区长度（吹程）、风区内水平水深以及墙前实际波态等，按相关标准的规定计算确定。
- 8) 冻土地区支挡结构设计荷载应考虑作用在基础及墙背上的冻胀力。土压力、冻胀力应按暖季和寒季分别计算，土压力和冻胀力不应叠加。
- 9) 地震工况下路基结构应考虑地震力。刚性结构和土体破裂棱体上的地震

力计算方法可采用静力法。

10) 交叉口路基结构验算应考市政道路荷载的作用。

4 路基基床表层顶面设置支承层，支承层顶面一般水平布置，应符合下列要求

- 1) 支承层采用素混凝土，混凝土强度不宜低于 C20。
- 2) 支承层厚度宜为 0.2m，宽度不宜小于道床板宽度加 0.2m。

5 路基基床由表层和底层组成，应符合下列要求：

- 1) 基床厚度应满足车辆产生的最大动应力与路基自重应力之比不大于 0.2 的要求。基床总厚度不宜小于 1.0m，其中基床表层厚度不小于 0.4m，基床底层厚度不小于 0.6m。
- 2) 路基基床表层的强度应能承受车辆荷载的长期作用，刚度应满足车辆运行时弹性变形控制要求。
- 3) 基床表层宜选用级配碎石或水泥稳定碎石（水泥掺量 5%）。水泥稳定碎石填料要求宜按《公路沥青路面设计规范》JTG D50 的有关规定执行。
- 4) 基床底层范围内的天然地基应满足 $P_s > 1.0\text{MPa}$ 或容许承载力 $> 0.12\text{MPa}$ 。天然地基不满足基床底层土质要求时，可采取换填、地基改良或加固措施。
- 5) 基床底层填料可选用 A、B 组填料或改良土。在高地下水位的黏性土地基上填筑路堤时，应填筑渗水性材料。基床底层范围内填料最大粒径不应大于 60mm，填料分类要求宜按现行行业标准《铁路路基设计规范》TB 10001 的有关规定执行。
- 6) 基床压实标准应符合表 4.2.1-3 的规定。

表4.2.1-3 路基基床各层的压实标准

压实指标	表层填料	底层填料		
	水泥稳定碎石 (级配碎石)	化学改良土	砂类土及 细砾土	碎石类及粗砾土
压实系数 K_h	0.97	≥ 0.95	≥ 0.95	≥ 0.95
K_{30} (MPa/m)	190	—	≥ 130	≥ 150
7d 饱和和无侧限抗压强度 (MPa)	3 (/)	≥ 0.35	—	—

注：1 K_h 为重型击实试验的压实系数；

2 K_{30} 为直径 30cm 直径平板荷载试验的地基系数，取下沉量为 0.125cm 的荷载强度。

6 基床以下的天然地基为软弱土层时，可采取换填、地基改良或加固措施。基

床以下填料可选用 A、B 组填料和 C 组碎石、砾石类填料，其粒径级配应满足压实性能要求。基床以下路堤内不得大于 75 mm；当选用 C 组细粒土填料时，应根据填料性质进行改良。基床以下压实标准应符合表 4.2.1-4 的规定。浸水部位的填料，应选用渗水土填料。

表4.2.1-4 基床以下填料及压实标准

压实标准	化学改良土	砂类土 及细砾土	碎石类 及粗砾土
压实系数 K	≥0.92	≥0.92	≥0.92
地基系数 K_{30} (MPa/m)	—	≥110	≥130
7d 饱和和无侧限抗压强度 (MPa)	≥0.25	—	—

- 7 路基工程的地基如不满足承载力和路基工后沉降的要求，应进行地基处理，路基工程地基处理措施应根据线路设计标准、地质资料、路堤高度、填料、建设工期等要求确定，常用地基处理方式见附录 B。
- 8 地基处理设计与施工相关技术要求可参考《建筑地基处理技术规范》（JGJ79-2012）、《铁路工程地基处理技术规程》（TB 10106-2023）。
- 9 地基处理按下列原则采取适宜的措施。
- 1) 处理深度不大于 3m 时，宜采用压实、换填、垫层法等浅层处理措施。
 - 2) 淤泥、淤泥质土、饱和粘性土等软土地基及饱和的粉土、黄土、吹填土地基，宜采用预压排水固结或强夯置换墩、碎石桩、水泥搅拌桩、旋喷桩等置换桩复合地基处理措施。
 - 3) 非饱和粘性土、湿陷性黄土、粉土、松散粗粒土、填土地基，可采用强夯或砂桩、碎石桩、桩锤冲扩桩、灰土挤密桩、水泥土搅拌桩、旋喷桩、水泥粉煤灰碎石桩、素混凝土桩等挤密、置换桩复合地基等处理措施。
 - 4) 地基软弱层深厚、成层分布较复杂或路堤较高时，可采用排水固结、复合地基等综合加固措施。
 - 5) 软弱层底横坡较陡或斜坡软弱地基，应加强抗滑动稳定性，宜采用复合地基等处理措施。
- 10 地基沉降应分别计算加固区沉降和下卧层沉降。地基压缩沉降量计算方法宜根据地基处理措施类型按下列原则确定：
- 1) 采用浅层处理法、排水固结法处理地基,宜按本节第 12 条规定的方法计

算。

2) 散体材料桩、柔性桩复合地基加固区沉降宜按复合模量法,下卧层宜按 Boussinesq 法、应力扩散法计算。

3) 刚性桩复合地基加固区沉降宜按承载力比法,下卧层宜按 Boussinesq 法、应力扩散法、L/3 法等计算。

11 沉降计算参数应根据土工试验、现场原位测试、地区经验及类似工程计算参数等因素综合选取。路基工后沉降应满足式(4.2.1-5)的要求,可按式(4.2.1-6)~式(4.2.1-8)计算确定

$$S_r \leq C_d \quad \text{式 (4.2.1-5)}$$

$$S_r = S_{\text{有荷}} + S_D - S_T \quad \text{式 (4.2.1-6)}$$

$$S_D = CH \quad \text{式 (4.2.1-7)}$$

$$S_T = \eta S_{\text{无荷}} \quad \text{式 (4.2.1-8)}$$

式中

S_r —工后沉降 (m);

C_d —工后沉降控制限值 (m),按 4.1.10 条取值。

$S_{\text{有荷}}$ —有荷状态下地基总沉降量 (m),按本规范 4.2.1 第 13、14 条计算请确定;

S_D —铺轨工程完成后路堤填料的剩余沉降量 (m);

S_T —施工期沉降量 (m)一般按元荷状态计算,当采用堆载预压或超载预压措施处理时宜按相应荷载状态计算

C —路堤填料的沉降比,应结合填料、路基填筑完成放置时间、压实设备、压实标准及地区经验综合确定;

H —路堤边坡高度;

η —施工期沉降量完成比例系数,应结合地基条件、地基处理措施、路基填筑完成放置时间及地区经验综合确定;

$S_{\text{无荷}}$ —无荷状态下地基总沉降量 (m),按本规范 4.2.1 第 14 条条计算确定。

12 天然地基的总沉降量可按式 4.2.1-9 计算确定,采取排水固结法处理后地基的总沉降量也可按公式 4.2.1-10 计算:

$$S = m_s S_j \quad \text{式 (4.2.1-9)}$$

$$S = S_C + S_I - S_S \quad \text{式 (4.2.1-10)}$$

式中:

S —地基总沉降量 (m)

m_s —沉降经验修正系数, 与地基条件、荷载强度、加荷速率等有关;

S_f —沉降计算值 (m), 一般采用分层总和法计算;

S_C —主固结沉降量 (m), 一般采用分层总和法计算;

S_I —瞬时沉降量 (m), 可按弹性理论计算

S_S —次固结沉降量 (m) 可采用次固结系数计算

13 复合地基的总沉降量可按公式 (4.2.1-11) 计算:

$$S = m_{js}S_1 + m_{xs}S_2 \quad \text{式 (4.2.1-11)}$$

式中:

m_{js} —加固区沉降经验修正系数, 与地基条件、荷载强度、地基处理措施及路基填筑完成放置时间等因素有关;

S_1 —加固区沉降计算值 (m);

m_{xs} —下卧层沉降经验修正系数, 与地基条件、荷载强度、加荷速率等有关

S_2 —下卧层沉降计算值 (m)。

14 地基压缩层计算深度应考虑路基高度、地层结构及地基土特性等因素按下列要求综合确定地基压缩层的计算深度应满足公式 (4.2.1-12) 要求:

$$\sigma_t = 0.1 \times \sigma_z \quad \text{式 (4.2.1-12)}$$

式中:

σ_z —沉降计算深度 Z 处的地基垂直附加应力, 单位为千帕 (kPa);

σ_t —沉降计算深度 z 处的地基自重应力, 单位为千帕 (kPa)。

公式 (4.2.1-12) 确定的计算深度以下有软土层时, 应继续增加计算深度。

4.2.2 桩板结构应符合下列规定:

- 1** 桩板结构指通过加强道床板的厚度及配筋, 提高其抗弯及抗剪性能, 使其作为直接支撑轨道及电车荷载的承载结构, 其下可采用减沉复合疏桩、复合地基等基础型式。
- 2** 桩板结构应根据不同的环境条件和地质条件选择合适的桩型。采用桩基础的桩板结构, 底板设置横梁与基桩连接; 采用复合地基的桩板结构, 底板与桩

顶之间应设置褥垫层。如图 4.2.2-1、4.2.2-2 所示：

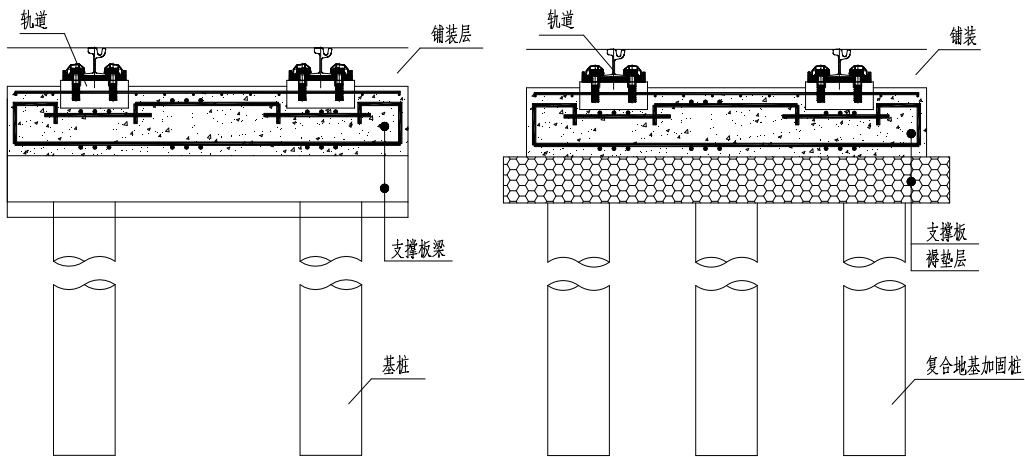


图 4.2.2-1 桩基础桩板结构 图 4.2.2-2 复合地基桩板结构

- 3 桩板结构主要用于深厚软土地区及换填路基与基础刚度有显著差异的横向结构物相接的过渡段。
- 4 桩板结构宜用以概率论为基础、按分项系数表达的承载能力极限状态和正常使用极限状态设计方法进行设计。
- 5 有轨电车桩板结构的作用应符合表 4.2.2-1 的规定。

表4.4.2-1 桩板结构作用

作用分类	作用名称
永久荷载	结构自重
	混凝土收缩及徐变的影响
	土的重力及侧压力
	水压力及浮力
	固定设备自重
	基础下沉影响
可变荷载	有轨电车列车荷载及其动力作用
	社会车辆列车荷载及其动力作用
	制动力或牵引力
	列车横向摇摆力
	温度作用
	施工荷载
偶然荷载	地震作用
	脱轨力

	无缝线路纵向力（伸缩力、挠曲力和断轨力）
--	----------------------

- 6 有轨电车工程桩板结构按承载力极限状态设计时，对持久设计状况和短暂设计状况应采用作用的基本组合，对偶然设计状况应采用作用的偶然组合，对地震设计状况应采用作用的地震组合。

1) 基本组合

作用基本组合的效应设计值可按下式计算：

$$S_d = \gamma_0 S \left(\sum_{i=1}^n \gamma_{Gi} G_{ik} + \gamma_{Q1} Q_{1k} + \sum_{j=2}^m \gamma_{Qj} \psi_{cj} Q_{jk} \right) \quad \text{式 (4.2.2-1)}$$

式中 S_d ——作用组合的效应设计值；

γ_0 ——结构重要性系数 1.1，

$S(\)$ ——作用组合的效应函数；

γ_{Gi} ——第 i 个永久作用的分项系数，除有特别规定外，一般取 1.3；

G_{ik} ——第 i 个永久作用的标准值；

γ_{Q1} ——主导可变作用的分项系数，除有特别规定外，一般取 1.5；

Q_{1k} ——主导可变作用的标准值；

γ_{Qj} ——第 j 个可变作用的分项系数，除有特别规定外，一般取 1.5；

ψ_{cj} ——第 j 个可变作用的组合值系数，除有特别规定外，一般取 1.0；

Q_{jk} ——第 j 个可变作用的标准值；

m ——参与组合的永久作用的个数；

n ——参与组合的可变作用的个数；

2) 偶然组合

作用偶然组合的效应设计值可按下式计算：

$$S_d = S \left(\sum_{i=1}^n G_{ik} + A_d + (\psi_{f1} \text{ 或 } \psi_{q1}) Q_{1k} + \sum_{j=2}^m \psi_{qj} Q_{jk} \right) \quad \text{式 (4.2.2-2)}$$

式中 A_d ——偶然作用的设计值；

ψ_{f1} ——主导可变作用的频遇值系数，除有特别规定外，一般取 1.0；

ψ_{q1} 、 ψ_{qj} ——主导可变作用和第 j 个可变作用的准永久系数，除有特别规定外，一般取 1.0；

3) 地震组合

地震组合的效应设计值可按下式计算：

$$S_d = S \left(\sum_{i=1}^n G_{ik} + \gamma_1 A_{EK} + \sum_{j=2}^m \psi_{qj} Q_{jk} \right) \quad \text{式 (4.2.2-3)}$$

式中 A_{EK} ——地震作用的标准值；

γ_1 ——地震作用分项系数，除有特别规定外，一般取 1.4；

ψ_{qj} ——第 j 个可变作用的准永久系数，除有特别规定外，一般取 1.0；

7 有轨电车工程桩板结构按正常使用极限状态设计时，应根据不同的设计要求，采用作用的频遇组合或准永久组合，并应符合下列规定：

1) 频遇组合

作用频遇组合的效应设计值可按下式计算：

$$S_d = \sum_{i=1}^n G_{ik} + \psi_{f1} Q_{1k} + \sum_{j=2}^m \psi_{qj} Q_{jk} \quad \text{式 (4.2.2-4)}$$

式中 ψ_{f1} ——主导可变作用的频遇值系数，除有特别规定外，一般取 1.0；

ψ_{qj} ——第 j 个可变作用的准永久系数，除有特别规定外，一般取 1.0；

2) 准永久组合

作用准永久组合的效应设计值可按下式计算：

$$S_d = \sum_{i=1}^n G_{ik} + \sum_{j=2}^m \psi_{qj} Q_{jk} \quad \text{式 (4.2.2-5)}$$

式中 ψ_{qj} ——第 j 个可变作用的准永久系数，除有特别规定外，一般取 1.0；

8 混凝土的原材料和配比、最低强度等级、最大水胶比和单方混凝土的胶凝材料最小用量等，应符合耐久性要求，满足抗裂、抗渗、抗冻和抗侵蚀的需要。

一般环境条件下的混凝土设计强度等级不得低 C40。

9 混凝土结构的钢筋应符合下列规定：

- 1) 钢筋应采用 HPB300、HRB400、HRBF400、HRB500、HRBF500 级钢筋；
- 2) 有抗震设防要求的结构，受力钢筋应采用 HRB400E、HRBF400E、HRB500E、HRBF500E 级钢筋，并应符合下列规定：
 - a) 抗拉强度实测值与屈服强度实测值的比值不应小于 1.25；
 - b) 屈服强度实测值与屈服强度标准值的比值不应大于 1.30；
 - c) 最大拉力下的总延伸率实测值不应小于 9%。

- 10 计算结构承载力、截面和配筋时，作用效应采用基本组合；计算挠度时，作用效应采用准永久组合；计算裂缝宽度时，作用效应采用准永久组合并考虑长期作用影响的效应；
- 11 处于一般环境中的结构，按荷载准永久组合并计及长期作用影响计算时，构件的最大计算裂缝宽度允许值取 0.2mm，当厚度大于 300mm 时取 0.3mm；处于冻融环境或侵蚀环境等不利条件下的结构，其最大计算裂缝宽度允许值应根据具体情况另行确定。
- 12 桩板结构的支撑板计算时，桩基础结构段可采用非均匀支撑连续结构板模型，可考虑跨中桩间土的支撑作用；复合地基处理段采用弹性地基上的板模型。
- 13 桩板结构底板应满足作为轨道支撑结构的变形控制要求。
- 14 减沉复合疏桩基础承载力及沉降计算可按现行行业标准《建筑桩基基础设计规范》（JGJ94）沉降控制复合桩基的有关规定计算。
- 15 复合地基承载力及沉降计算参考本标准 4.2.1 条并满足现行行业标准《建筑地基处理设计规范》（JGJ 79）的有关规定计算。
- 16 桩板结构应设置变形缝，变形缝间距宜为 25~30m。
- 17 桩板结构作为过渡段时，总长度不宜小于 60m。

4.2.3 装配式一体化轨道路基结构应符合下列规定：

- 1 装配式一体化轨道路基结构底部采用预制桩，上部采用预制轨道梁，中间通过可靠的连接节点装配而成。
- 2 连接方式应根据结构形式、施工工艺、场地条件等因素确定，可采用干式接头或湿式接头。如图 4.2.3-1、4.2.3-2 所示：

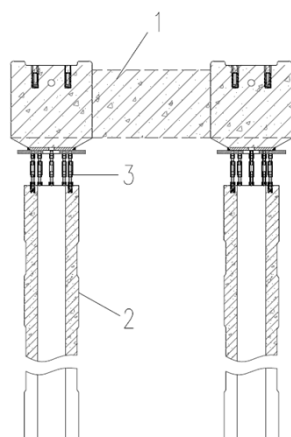


图 4.2.3-1 干式接头断面

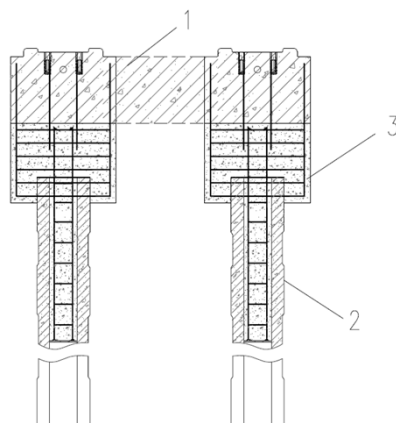


图 4.2.3-1 湿式接头

- 3 装配式一体化轨道路基结构主要用于地下管线密集或地基软弱土层较厚区域，并通过构件标准化、规模化生产产生经济效益。
- 4 装配式一体化轨道路基结构应具有较强的整体性能，具有足够的强度、适当的刚度和弹性，满足稳定性、耐久性和绝缘性要求，确保车辆安全、平稳和舒适度
- 5 装配式一体化轨道路基结构应对其在施工阶段和使用阶段各种不利组合作用下的承载力、裂缝宽度及挠度进行验算，荷载作用及荷载组合可参考 4.2.2 条。
- 6 预制构件在翻转、吊装、运输、安装等短暂设计工况下的施工验算时，应将构件自重标准值乘以动力系数后作为等效静力荷载标准值。构件运输、吊运时，动力系数宜取 1.5；构件翻转及安装过程中就位、临时固定时，动力系数可取 1.2。
- 7 装配式一体化轨道路基结构的混凝土原材料及钢筋以及裂缝控制要求可参考 4.2.2。
- 8 钢构件宜采用 Q235 钢、Q355 钢或 Q390 钢，其质量等级不应低于 B 级。钢材应符合下列规定：
 - 1) 屈强比不应大于 0.85；
 - 2) 钢材应有明显的屈服台阶，且伸长率不应小于 20%；
 - 3) 钢材应有良好的焊接性和合格的冲击韧性。
- 9 预制构件的连接材料应符合下列规定：
 - 1) 当混凝土构件的受力钢筋在同一连接区段内钢筋接头面积百分率为 100%

- 时，应选用 I 级机械连接接头；
- 2) 钢筋套筒灌浆连接接头采用的套筒应符合现行行业标准《钢筋连接用灌浆套筒》JG/T 398 的有关规定，灌浆料应符合现行行业标准《钢筋连接用套筒灌浆料》JG/T 408 的有关规定；
 - 3) 连接用焊接材料和紧固件材料应符合国家现行标准《钢结构设计标准》GB 50017 、《钢结构焊接规范》GB 50661 和《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18 的有关规定。
 - 4) 受力预埋件的锚板及锚筋材料应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 的有关规定；
 - 5) 预制构件的吊环应采用未经冷加工的 HPB300 钢筋或 Q235B 圆钢制作。
- 10 预制梁的长度结合轨枕标准间距的整数倍设置，宜为 5~8m，曲线段结合线路、限界、轨道、基础布置等条件适当减小。
 - 11 预制梁的高度应考虑轨道荷载、预制梁跨度、路面铺装、施工条件等因素计算确定，宜为 0.4m~0.7m。
 - 12 预制桩的选型和沉桩工艺应考虑工程地质情况、建设区域抗震设防烈度、上部结构特点、荷载大小及性质、施工条件、沉桩设备等因素综合分析后选用，可采用预应力混凝土管桩、预应力混凝土异型预制桩等。
 - 13 预制桩的截面尺寸应根据荷载大小、桩基形式和施工条件等因素综合确定。
 - 14 预制桩承载力及沉降计算可按现行行业标准《建筑桩基基础设计规范》（JGJ94）。
 - 15 连接节点应具备竖向位置调节功能，调节范围应包络构件制作误差、施工误差以及沉降差。
 - 16 当采用干式接头时，应对外露钢结构作防腐处理或采用混凝土包封等措施，接头的受压、受弯、受剪能力宜根据现场载荷试验确定。
 - 17 当采用湿式接头时，接缝处后浇混凝土强度等级不应低于预制构件的混凝土强度等级。
 - 18 预制梁之间设置伸缩缝，宽度宜为 20mm~30mm。

4.2.4 路基过渡段应符合下列规定：

- 1 路基与桥梁、涵洞、隧道等构筑物，路堤与路堑，无砟轨道与有砟轨道的路基之间应设置过渡段，使线下基础变形和刚度实现均匀过渡。
- 2 过渡段可采用桩板结构、地基处理或倒梯形换填等形式。
- 3 倒梯形换填梯形底宽 3m~5m；桥路过渡段长度应不小于 20m，路基与涵洞、隧道过渡段按 1:2 坡率确定范围。
- 4 桥梁、涵洞及隧道等结构工程之间的路基长度小于 40m 时，应按过渡段进行特殊设计。
- 5 无砟轨道与有砟轨道路基相接处，应在有砟轨道范围设置过渡段，过渡段地基处理、填料及压实标准应满足无砟轨道路基技术条件。
- 6 过渡段内基床填料宜选用水泥稳定碎石，基床表层水泥掺量 5%，基床表层以下水泥掺量 3%。
- 7 桥台背及横向结构物两侧设置的过渡段，需挖除硬质岩时，宜根据挖方高度进行特殊设计，可采用回填混凝土措施处理。
- 8 当路堤与硬质岩石路堑连接时，在路堑一侧顺原地面纵向开挖台阶，每级台阶宽度不应小于 1.0m，并在路堤一侧设置过渡段，过渡段按 1:2 坡率确定范围。
- 9 当路堤与软质岩石或土质路堑连接时，应顺原地面纵向开挖台阶，每级台阶宽度不小于 1.0m。开挖部分填筑要求应与路堤相应位置相同。

4.2.5 路基防护应符合下列规定：

- 1 路基边坡防护设计应根据当地气候、水文、地形、地质条件，结合边坡的岩土性质、边坡朝向、边坡坡率和高度等采取工程防护和植物防护相结合的措施。
- 2 路基边坡防护应设置在稳定的边坡上。防护工程边坡坡率不应陡于岩土稳定边坡坡率。
- 3 地下水较为发育的路段，应进行边坡防护与地下排水措施的综合设计。在多雨地区，用砂质土和细粒土等填筑的路基，应采取坡面防护与截排水的综合措施。
- 4 路基施工过程中应采取边坡临时防护措施，边坡临时防护工程宜与永久防护工程相结合。
- 5 植物护坡设计应根据边坡岩土条件、种植目的、水源及周边环境条件等，结合边坡坡面情况、防护类型，合理确定植物种类及配置、建植方法、施工和养护要求，常用坡面防护设计选型见附录 C。
- 6 植物防护不得影响有轨电车行车和轨道设备的安全。
- 7 植物防护宜采用灌草结合，植草的最小土层厚度不应小于 0.15m，灌木最小土层厚度不应小于 0.30m。
- 8 实体护坡单级高度不宜超过 12m，超过时宜设平台、分级砌筑，平台宽度不宜小于 2m。
- 9 骨架护坡可多级设置，边坡坡率不应陡于 1:1，每级高度不宜大于 12m。
- 10 沿河路基护坡应充分考虑水对边坡稳定的影响，兼顾美观与经济性要求，通过边坡稳定性计算并结合实际情况确定沿河路基防护措施。

4.2.6 路基支挡结构应符合下列规定：

1 根据工程地形、地质、环境因素或节约用地等，宜在下列地段设置路基支挡结构：

1) 减少路堑边坡薄层开挖、路堤边坡薄层填方地段或加强路堤本体稳定地段的陡坡路基；

2) 避免大量挖方、降低边坡高度或加强边坡稳定性的路堑地段；

3) 不良地质条件下的地基、边坡、山体、危岩或落石地段；

4) 受水流冲刷影响路堤稳定的沿河、滨海路堤地段；

5) 节约用地、少占农田或保护重要的既有建筑物地段；

6) 保护生态环境地段；

7) 车站、景区等有需求的地段。

2 路基支挡工程的设计使用年限应不低于其服务的有轨电车路基工程和受其影响的相邻建、构筑物的使用年限。

3 路基支挡结构设计应满足各种设计荷载组合下支挡结构的稳定性、坚固性和耐久性要求。结构类型选择及设置位置应满足安全可靠、经济合理、便于施工养护的要求。结构材料应符合耐久、耐腐蚀的要求。

4 路基支挡结构应与桥台、隧道洞门、既有支挡结构物及边坡防护、排水系统等协调配合，平顺衔接。

5 对于改、扩建项目，支挡结构的设计应注意采取措施减少对既有线的影响。

6 支挡结构的设计应根据不同工况的荷载组合，按照《铁路路基支挡结构设计规范》TB10025 的规定进行稳定性验算、支挡结构和加固结构的设计计算及构造设计。

7 支挡结构类型应综合考虑荷载类型、地形条件、地质条件、周围环境、征地、拆迁及工程投资等因素，并结合支挡结构自身特点合理选用，必要时可选择两种或两种以上支挡结构相结合的型式，常用路基支挡结构形式见附录 D。

4.2.7 路基排水应符合下列规定：

- 1 有轨电车线路范围内的雨水应单独收集，其排放系统宜单独设置，并接入周边市政排水系统。
- 2 路基排水设施截面应根据流量计算确定，有轨电车线路范围内的雨水量计算可采用与该区域道路相同的暴雨重现期，但不得低于 5 年一遇暴雨重现期。
- 3 城市建成区内路基排水宜采用管道形式，城市外围路基排水设施可采用边沟排水，设计时应根据区域规划、道路设计和沿线地形环境条件综合选择。地面水必须采取可靠排水的排除措施，应保证迅速排除的原则。
- 4 市政道路路中或临近道路路侧的路基面排水需考虑沿线景观和交通混行需求，设计时轨行区两侧路基面宜硬化或绿化铺装处理，路基排水应满足以下规定：
 - a) 路基面硬化铺装处理通过设置横向人字坡，宜快速引排至两侧城市道路排水系统中。
 - b) 硬化路基面针对槽型轨槽内的雨水，宜通过在钢轨上固定收水盒进行收集，并局部设置横截沟以引入城市道路排水系统中。
 - c) 路基面绿化铺装路段，一般比城市道路路面高 10cm~15cm，绿化铺装区域内的径流水，可通过在路基两侧设置路缘石进行阻挡，引入路基内排水管道、排水暗沟等设施进行排放。
 - d) 绿化填土内的渗水，通过线路纵向坡度或排水设施进行收集，并在线路纵坡低点、路基结构分界点、车站两端等设置横截沟对排水沟内的雨水进行汇集，引排至两侧城市道路排水系统进行统一排放。
 - e) 接入市政排水，需满足市政排水的相关要求内容。
- 5 有轨电车在特殊的地形条件或周边无市政排水设施情况下应根据区域排水规划、道路设计和沿线地形环境条件综合选择，可适当提高所采用的暴雨重现期年限。

4.2.8 路基沉降监测与评估应符合下列规定：

- 1** 有轨电车路基应进行沉降监测。
- 2** 路基沉降监测分为路基面沉降监测和地基沉降监测。
- 3** 设计应明确需要监测的路基地段、监测项目、监测点的数量和布置要求，并根据不同的轨道类型确定地基沉降变形监测的控制标准。
- 4** 路基施工开始后应进行连续监测，路基填筑完成后应有沉降监测的观测和调整期。监测数据不足以评估或工后沉降评估不能符合要求时，应延长监测期，必要时可采取加速或控制沉降的措施。
- 5** 有轨电车路基的竖向监测点的布置应符合下列规定：
 - 1)** 在直线地段宜每 100m 布置 1 个监测点；
 - 2)** 在曲线地段宜每 50m 布置 1 个监测点，在直线、缓圆、曲线中点、圆缓、缓直等部位应有监测点控制；
 - 3)** 道岔区宜在道岔理论中心、道岔前端、道岔后端、辙叉理论中心等结构部位各布置 1 个监测点，道岔前后的线路应加密监测点；
 - 4)** 隧道、高架桥梁与路基之间的过渡段应有监测点或监测断面控制。
- 6** 路基沉降监测除应符合本文件外，尚应符合《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911 的有关规定。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/818075061035006133>