

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：

XXXX XX

**目 录**

[1 总 则 7](#_Toc175578194)

[2 术 语 8](#_Toc175578195)

[3 基 本 规 定 11](#_Toc175578196)

[4 路 基 12](#_Toc175578197)

[4.1 一般规定 12](#_Toc175578198)

[4.2 设计 12](#_Toc175578199)

[4.3 施工要点 33](#_Toc175578200)

[5 路 面 35](#_Toc175578201)

[5.1 一般规定 35](#_Toc175578202)

[5.2 设计 35](#_Toc175578203)

[5.3 施工要点 42](#_Toc175578204)

[6 接 口 45](#_Toc175578205)

[附录A 常用材料及重度 46](#_Toc175578206)

[附录B 常用地基处理方法及措施适用条件表 47](#_Toc175578207)

[附录C 常用坡面防护类型及适用条件 48](#_Toc175578208)

[附录D 常用支挡结构类型及适用条件 49](#_Toc175578209)

[条 文 说 明 50](#_Toc175578210)

[1 总 则 50](#_Toc175578211)

[2 术 语 51](#_Toc175578212)

[3 基 本 规 定 52](#_Toc175578213)

[4 路 基 53](#_Toc175578214)

[4.1 一般规定 53](#_Toc175578215)

[4.2 设计 53](#_Toc175578216)

[4.3 施工要点 59](#_Toc175578217)

[5 路 面 61](#_Toc175578218)

[5.1 一般规定 61](#_Toc175578219)

[5.2 设计 61](#_Toc175578220)

[6 接 口 64](#_Toc175578221)

**Contents**

[1 General Principles 7](#_Toc175578224)

[2 Terms 8](#_Toc175578225)

[3 Basic Regulations 11](#_Toc175578226)

[4 Subgrade 12](#_Toc175578227)

[4.1 General Provisions 12](#_Toc175578228)

[4.2 Designs 12](#_Toc175578229)

[4.3 Construction Essentials 33](#_Toc175578230)

[5 Pavement 35](#_Toc175578231)

[5.1 General Provisions 35](#_Toc175578232)

[5.2 Designs 35](#_Toc175578233)

[5.3 Construction Essentials 42](#_Toc175578234)

[6 Interface 45](#_Toc175578235)

[Appendix A Common Materials and Weights 46](#_Toc175578236)

[Appendix B Table of Applicable Conditions for Common Foundation Treatment Methods and Measures 47](#_Toc175578237)

[Appendix C Common Types and Applicable Conditions of Slope Protection 48](#_Toc175578238)

[Appendix D Common Types and Applicable Conditions of Retaining Structures 49](#_Toc175578239)

[Explanation of Provisions 50](#_Toc175578240)

[1 General Principles 50](#_Toc175578241)

[2 Terms 51](#_Toc175578242)

[3 Basic Regulations 52](#_Toc175578243)

[4 Subgrade 53](#_Toc175578244)

[4.1 General Provisions 53](#_Toc175578245)

[4.2 Designs 53](#_Toc175578246)

[4.3 Construction Essentials 59](#_Toc175578247)

[5 Pavement 61](#_Toc175578248)

[5.1 General Provisions 61](#_Toc175578249)

[5.2 Designs 61](#_Toc175578250)

[6 Interface 64](#_Toc175578251)

1. **总 则**
   * 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。
     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。
     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。
     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**
   * 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》）

* + 1. 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》）

* + 1. 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》）

* + 1. 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》）

* + 1. 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》）

* + 1. 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》）

* + 1. 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》）

* + 1. 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》）

* + 1. 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》）

* + 1. 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》）

* + 1. 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》）

* + 1. 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。

* + 1. 路面 pavement

设置在有轨电车轨道混凝土道床上方的铺装层。

* + 1. 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》）

* + 1. 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》）

* + 1. 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》）

* + 1. 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》）

* + 1. 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》）

* + 1. 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。

* + 1. 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。

* + 1. 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。

* + 1. 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。

1. **基 本 规 定**
   * 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。
     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. 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。
     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。
     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。
     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。
     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。
     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。
     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。
2. **路 基**
   1. **一般规定**
      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。
      2. 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。
      3. 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. 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。
      5. 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。
      6. 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。
      7. 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。
      8. 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。
      9. 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.
      10. 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。
      11. 路基应推广采用安全可靠的新技术、新结构、新材料和新工艺。
      12. 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。
   2. **设计**
      1. 换填路基应符合下列规定：
3. 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。
4. 路基面形状及宽度。
5. 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：

χ=B+B1 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。

图示

描述已自动生成

图 4.2.1-1 单线路基标准横断面示意图

1. 双线标准路基面宽度应按式式（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：

χ=B+A+B 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。

图示

描述已自动生成

图4.2.1-2无接触网供电方式路基标准横断面示意图

图示

描述已自动生成

图4.2.1-3接触网供电方式路基标准横断面示意图

1. 设计荷载。
2. 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 | 偶然何载 | 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。 | | |

1. 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）十特殊力（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）十特殊力（可变）十附加力（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） |

1. 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。

图片包含 游戏机, 天线, 物体, 炉子

描述已自动生成

图 4.2.1-4均布荷载示意图

注：

*q1*——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/m2）；

*q2*——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/m2）；

*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/m2）；

*b*——每股道均布荷载分布宽度的数值，单位为米（m）

*q0*——线间回填均布荷载强度的数值，单位为千牛每平方米（kN/m2）；

*b0*——线间回填均布荷载分布宽度的数值，单位为米（m）

1. 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：

 式（4.2.1-3）

式（4.2.1-4）

式中：

——动荷载，单位为千牛（kN）；

——静荷载，单位为千牛（kN）；

——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；

1. 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。
2. 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。
3. 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。
4. 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。
5. 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。
6. 交叉口路基结构验算应考市政道路荷载的作用。
7. 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：
8. 支承层采用素混凝土，混凝土强度不宜低于C20。
9. 支承层厚度宜为0.2m，宽度不宜小于道床板宽度加0.2m。
10. 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Ps＞1.0MPa或容许承载力＞0.12MPa。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Kh | 0.97 | ≥0.95 | ≥0.95 | ≥0.95 |
| K30（MPa/m） | 190 | — | ≥130 | ≥150 |
| 7d饱和无侧限抗压强度（MPa） | 3（/） | ≥0.35 | — | — |

注：1 Kh为重型击实试验的压实系数；

2 K30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。

1. 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K30（MPa/m） | — | ≥110 | ≥130 |
| 7d饱和无侧限抗压强度（MPa） | ≥0.25 | － | － |

1. 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。
2. 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）。
3. 地基处理按下列原则采取适宜的措施。
4. 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。
5. 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。
6. 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。
7. 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。
8. 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。
9. 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：
10. 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。
11. 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。
12. 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。
13. 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

*Sr ≤Cd* 式（4.2.1-5）

式（4.2.1-6）

式（4.2.1-7）

式（4.2.1-8）

式中

Sr —工后沉降（m）；

Cd—工后沉降控制限值（m），按4.1.10条取值。

—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；

—铺轨工程完成后路堤填料的剩余沉降量（m）；

—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；

—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；

—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。

1. 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：

式（4.2.1-9）

式（4.2.1-10）

式中：

S—地基总沉降量（m）

—沉降经验修正系数，与地基条件、荷载强度、加荷速率等有关；

—沉降计算值（m），一般采用分层总和法计算；

—主固结沉降量（m），一般采用分层总和法计算；

—瞬时沉降量（m ），可按弹性理论计算

—次固结沉降量（m）可采用次固结系数计算

1. 复合地基的总沉降量可按公式（4.2.1-11）计算：

式（4.2.1-11）

式中：

—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；

—加固区沉降计算值（m）；

—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；

—下卧层沉降计算值（m）。

1. 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：

式（4.2.1-12）

式中：

—沉降计算深度 Z 处的地基垂直附加应力，单位为千帕（kPa）)；

—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。

* + 1. 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

1. 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。
2. 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。
3. 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） |

1. 有轨电车工程桩板结构按承载能力极限状态设计时，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：

式（4.2.2-1）

式中 ──作用组合的效应设计值；

──结构重要性系数1.1，

──作用组合的效应函数；

──第i个永久作用的分项系数，除有特别规定外，一般取1.3；

──第i个永久作用的标准值；

──主导可变作用的分项系数，除有特别规定外，一般取1.5；

──主导可变作用的标准值；

──第j个可变作用的分项系数，除有特别规定外，一般取1.5；

──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；

──第j个可变作用的标准值；

──参与组合的永久作用的个数；

──参与组合的可变作用的个数；

* 1. 偶然组合

作用偶然组合的效应设计值可按下式计算：

式（4.2.2-2）

式中 ——偶然作用的设计值；

——主导可变作用的频遇值系数，除有特别规定外，一般取1.0；

——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；

* 1. 地震组合

地震组合的效应设计值可按下式计算：

式（4.2.2-3）

式中 ——地震作用的标准值；

——地震作用分项系数，除有特别规定外，一般取1.4；

——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；

1. 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：

式（4.2.2-4）

式中 ——主导可变作用的频遇值系数，除有特别规定外，一般取1.0；

——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；

* 1. 准永久组合

作用准永久组合的效应设计值可按下式计算：

式（4.2.2-5）

式中 ——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；

1. 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。
2. 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：
      1. 抗拉强度实测值与屈服强度实测值的比值不应小于1.25；
      2. 屈服强度实测值与屈服强度标准值的比值不应大于1.30；
      3. 最大拉力下的总延伸率实测值不应小于9%。
3. 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；
4. 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。
5. 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。
6. 桩板结构底板应满足作为轨道支撑结构的变形控制要求。
7. 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。
8. 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。
9. 桩板结构应设置变形缝，变形缝间距宜为25~30m。
10. 桩板结构作为过渡段时，总长度不宜小于60m。
    * 1. 装配式一体化轨道路基结构应符合下列规定：
11. 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。
12. 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：

图示, 工程绘图

描述已自动生成 图示, 工程绘图

描述已自动生成

图 4.2.3-1干式接头断面 图 4.2.3-1湿式接头

1. 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社会效益。
2. 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
3. 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。
4. 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。
5. 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。
6. 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。
7. 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。
8. 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。
9. 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。
10. 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。
11. 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。
12. 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）。
13. 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。
14. 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。
15. 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。
16. 预制梁之间设置伸缩缝，宽度宜为20mm~30mm。

* + 1. 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。

* + 1. 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。

* + 1. 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。

1. 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。
2. 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。
3. 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。
4. 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。
5. 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。
6. 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。

* + 1. 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：
   * + 1. 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。
       2. 硬化路基面针对槽型轨轨槽内的雨水，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。
       3. 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。
       4. 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。
       5. 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。
   * 1. 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设应符合下列规定：

**1)** 在直线地段宜每100m布设1个监测点；

**2)** 在曲线地段宜每50m布设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设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。

* 1. **施工要点**
     1. 有轨电车无砟轨道路基施工质量检测标准应根据设计标准合理选择。建议施工单位在开工前根据设计路基标准要求，制定有轨电车路基施工质量检测方案，包括但不限于项目技术和标准、质量检测频率要求、试验管理组织架构、现场管理责任分工等内容。有轨电车路基施工质量检测方案应报监理、设计、业主方批准。
     2. 路基施工应重视地质核查，作好地基处理、填料生产供应及压实成型、过渡段处理、支挡结构、边坡防护及防排水、变形观测评估、接口工程等关键环节的施工。
     3. 换填路基填筑前应对选定的填料取土场进行核对，核对的主要内容应包括填料的性质、可取用量，填料应进行抽样检验，不符合设计要求时应进行及时反馈；当换取土场或填料性质发生变化时，应重新进行抽样检验。
     4. 换填路基宜依据地形和设备组合选取代表性地段进行填筑压实工艺性试验，确定松铺厚度、碾压遍数、最优含水率等施工参数，并报监理单位确认。
     5. 水泥稳定碎石不宜在雨天和气温5℃以下时填筑，降雨前应对已经摊铺的水泥稳定碎石尽快碾压密实并覆盖。
     6. 地基处理施工前应核查地质资料，并进行地基处理的各项工艺性试验。工艺性试验应对单桩承载力或复合地基承载力进行验证。核查或施工中发现地质情况与设计不符时，应及时反馈给有关单位。
     7. 采用桩基础进行地基处理时，施工前应进行成桩工艺性试验，确定各项施工工艺参数后，进行单桩或复合地基承载力试验，确认设计参数。监理单位、勘察设计单位应参加工艺性试验，并确认试验结论后，方可进行施工。
     8. 桩基检测应符合《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106的相关要求。复合地基的检测应符合《复合地基技术规范》GB/T 50783的相关要求。
     9. 装配式一体化轨道路基结构的安装，应按照先施工预制桩、后测量定位预制轨道梁、再施工连接接头，最后安装钢轨、扣件的顺序。
     10. 预制构件制作单位应具备相应的生产工艺设施，并应有完善的质量管理体系和必要的试验检测手段。
     11. 预制构件的进场质量验收应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204的有关规定。结构焊接、螺栓等连接用材料的进场验收应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205的有关规定。
     12. 预制桩施工宜采用静压沉桩，宜选择液压式和绳索式压桩工艺，宜根据单节桩的长度选用顶压式液压压桩基和抱压式压桩基。
     13. 过渡段路基填筑应与相邻路基工程同步施工。
     14. 过渡段地基加固工程宜在桥涵基础施工前完成，基底处理与桥台、相邻路基同时进行。
     15. 边坡防护工程应安排在适宜时间施工，路堑边坡防护应随路堑开挖施工同时进行。软土地基地段的路基防护工程应在沉降稳定后进行施工。
     16. 路基防护工程采用土工合成材料时，其施工应符合《铁路路基土工合成材料应用设计规范》（TB 10118）的相关规定。
     17. 路基排水施工前，应核对管段内全线路基排水系统的设计文件，全线的沟、渠、管、桥、涵、隧等应构成完整的排水体系。
     18. 有轨电车项目进行轨道板（铺轨）施工前，其路基沉降值必须符合设计标准。
     19. 施工单位应在工程竣工后将永久沉降观测装置和数据移交业主和运营公司。
     20. 有轨电车路基范围内不应设置沿轨道线路方向的市政管线。

1. **路 面**
   1. **一般规定**

**5.1.1** 有轨电车路面应包括下列类型：

**1** 有轨电车采用专用路权管理并采用绿化铺面时，路面设计可采用绿化种植；有轨电车采用专用路权管理并采用硬质铺面时，可采用沥青路面、水泥混凝土路面和砌块路面等，并推荐采用装配式一体化路面施工技术。

**2** 有轨电车采用混合路权和交叉口范围，路面设计应与道路路面形式一致；

**5.1.2** 有轨电车轨行区范围内的硬质路面技术指标，应符合现行行业标准《城镇道路路面设计规范》CJJ 169、《公路沥青路面设计规范》JTG D50和《公路水泥混凝土路面设计规范》JTG D40的有关规定。

**5.1.3** 有轨电车路面设计应做到技术先进，经济合理，鼓励轨行区范围小、形状不规则、设备较多等路面不易压实的区段积极采用装配式一体化路面施工技术。

**5.1.4** 有轨电车路面设计中，路口有轨道道岔设计的，应对路口道路范围、轨道道岔平面布置和行人（人行道）、行车安全进行综合设计，确保路口平面设计符合整体安全需求。

**5.1.5** 有轨电车路面与钢轨界面过渡设计包括下列类型：

**1** 当轨道类型为扣件式轨道，采用沥青路面时宜采用半柔性过渡层设计，也可采用刚性过渡层设计；采用水泥混凝土路面和砌块路面时应采用刚性过渡层设计。

**2** 当轨道类型为嵌入式连续支撑轨道，其可兼作一种过渡层类型，沥青路面或水泥混凝土路面宜直接铺装至轨道U型槽边界处。

* 1. **设计**

**5.2.1** 有轨电车采用绿化铺面时，应满足绿化铺装的种植土厚度要求，应做好绿化路面的排水设计。混合路权和专用路权的时候

**5.2.2** 有轨电车采用混合路权和专用路权时，路面应根据轨道结构顶面至轨面标高的高差，进行结构组合设计；

**5.2.3** 有轨电车采用沥青路面时，应满足下列设计要求：

**1** 专用路权管理的有轨电车沥青路面，面层应具有足够的稳定性和平整度，并满足抗滑、耐磨与低噪声等表面特性，表面层宜选用密级配粗型AC-C混合料。

**2** 混合路权管理的有轨电车沥青路面，应与道路交通荷载等级以及相关使用要求相适应，表面层宜选用SMA混合料或密级配粗型AC-C混合料。

**3** 面层结构应满足抗疲劳开裂和沥青层抗变形的要求。

**4** 沥青路面的结构层设计应根据材料与设计参数确定，以及路面内部排水设计。

**5** 沥青路面结构层下方的路床顶面回弹模量不小于40MPa。

**6** 沥青面层应根据道路类型选择路表弯沉值、柔性基层沥青层层底拉应变、半刚性材料基层层底拉应力和沥青层剪应力作为沥青路面结构设计指标，应符合下列规定：

1）路表计算弯沉应小于或等于路表设计弯沉值，以保证路面结构整体刚度，应符合下式要求：

（5.1）

式中：

——沥青路面可靠度系数，可按表3.2确定；

——轮隙中心处路表计算的弯沉值（0.01mm）；

*——*路表的设计弯沉值（0.01mm）。

2）沥青层最大剪应力应小于或等于该层材料的容许抗剪强度，以防止路面出现车辙、波浪、挤推等损坏，应符合下式要求：

（5.3）

式中：

——沥青面层计算的最大剪应力（MPa）；

——沥青面层材料的容许抗剪强度（MPa）。

3）沥青层层底计算的最大拉应变应小于或等于材料的容许拉应变，以防止沥青层疲劳开裂，应符合下式要求：

（5.4）

式中：

——柔性基层沥青层层底计算的最大拉应变；

——沥青层材料的容许拉应变。

**7** 沥青面层的设计标准应符合下列规定：

1）沥青路面路表设计弯沉值应根据道路等级、设计工作年限内累计当量轴次、面层和基层类型按下式确定：

（5.5）

式中：

——道路等级系数（快速路、主干路为1.0，次干路为1.1，支路为1.2）；

——面层类型系数（沥青混合料为1.0，热拌和温拌或冷拌沥青碎石、沥青贯入式和沥青表面处治为1.1）；

——基层类型系数（半刚性基层，柔性结构层小于180mm时，为1.0；沥青类基层、粒料基层与柔性结构层大于300mm时，为1.6；柔性结构层厚度在180mm~300mm之间时，为线性内插值）。

2）沥青路面材料的容许拉应变应按下式计算确定：

（5.6）

（5.7）

式中：

——沥青混合料20℃动态回弹模量（MPa）；

*M* ——沥青混合料空隙率与有效沥青含量的函数；

——有效沥青含量，以体积比计（%）；

——空隙率（%）。

3）沥青面层材料的容许抗剪强度应按下式计算：

（5.11）

（5.12）

（5.13）

式中：

——沥青面层材料的60℃抗剪强度（MPa）；

——抗剪强度结构系数，一般行驶路段应按式5.12计算，交叉口和有轨电车停车站缓慢制动路段应按式5.13计算；

——交叉口或有轨电车停车站设计工作年限内同一位置停车的累计当量轴次。

**8** 轨行区的沥青路面与外部道路的路面相接时，应满足下列要求：

1）应设置不小于3m的过渡段。过渡段的路面应采用两种路面呈阶梯状叠合布置。

2）有轨电车硬化段，沥青路面基层宜采用钢筋混凝土，与轨道基层、轨道板合理衔接。

3）沥青路面与有轨电车的减震降噪设施应合理衔接，确保沥青路面碾压密实，使用中不开裂。

**5.2.4 有轨电车采用水泥混凝土路面时，应满足下列设计要求：**

**1** 专用路权管理的水泥混凝土路面，面层应具有足够的强度和耐久性，表面应抗滑、耐磨、平整，宜采用设置接缝的普通混凝土。

**2** 混合路权管理的水泥混凝土路面，应与道路交通荷载等级以及相关使用要求相适应，面层厚度不应小于120mm，应采用设置接缝的钢筋混凝土面层。

**3** 水泥混凝土路面的平面布局宜采用矩形分块，其纵向和横向接缝应垂直相交，纵缝两侧的横缝不得相互错位。接缝处理应符合现行行业标准JTG D40的有关规定。

**4** 水泥混凝土面层与沥青面层相接时，应设置不小于3m的过渡段。过渡段的路面应采用两种路面呈阶梯状叠合布置，其下面铺设的变厚度混凝土过渡板的厚度不得小于200mm。

**5** 水泥混凝土路面结构设计应以面层板在设计基准期内，在行车荷载和温度梯度综合作用下，不产生疲劳断裂作为设计标准；并以最重轴载和最大温度梯度综合作用下，不产生极限断裂作为验算标准。应分别符合下式规定：

（5.14）

（5.15）

式中：

——可靠度系数，依据所选目标可靠度、变异水平等级及变异系数通过计算确定；

——面层板在临界荷位处产生的行车荷载疲劳应力（MPa）；

——面层板在临界荷位处产生的温度梯度疲劳应力（MPa）；

——最重的轴载在临界荷位处产生的最大荷载应力（MPa）；

——最大温度梯度在临界荷位处产生的最大温度翘曲应力（MPa）；

——水泥混凝土弯拉强度标准值（MPa）。

**6** 水泥混凝土所用集料的碎石公称最大粒径不应大于31.5mm，砾石公称最大粒径不应大于19.0mm。砂的细度模数不宜小于2.5。

**5.2.5 有轨电车采用装配式一体化路面施工技术时，应满足下列设计要求：**

**1** 装配式一体化路面主要指装配式水泥混凝土路面、装配式水泥混凝土和沥青混凝土组合路面；

**2** 装配式一体化轨道路面应具有较强的整体性能，各项技术指标应满足5.2.2/5.2.3相对应的要求；应符合现行行业标准《城镇道路路面设计规范》CJJ 169、《公路沥青路面设计规范》JTG D50和《公路水泥混凝土路面设计规范》JTG D40的有关规定；

**3** 装配式路面应保证预制块平整度要求，确保车辆安全、平稳和舒适度，应通过构件标准化、规模化生产产生社会效益；

**4** 装配式路面应根据道路实际情况进行专门设计，应考虑装配式路面的分块尺寸、接口处理、标高调平、接缝处理等，预制路面应考虑防水和排水相结合，保证路面和路基的耐久性。

**5** 装配式路面分块尺寸宽度根据实际确定，长度宜不小于2m，沥青面层厚度不宜小于5cm。

**6** 预制构件制作单位应具备相应的生产工艺设施，并应有完善的质量管理体系和必要的试验检测手段。

**7** 采用装配式一体化路面铺装完成后，应采用黏结力强、与预制构件的相容性好、耐久性好、耐高温的热熔沥青或无机胶凝材料及时进行灌缝。

**8** 为了防止预制装配式路面材料的热胀冷缩作用，应严格控制材料堆放，减小温度或湿度变化在路面结构内引起的收缩或翘曲应力，采用挠度比来表征路面接缝传荷能力，计算公式如下：

 （5‑16）

式中：—受荷板边缘的最大挠度；

—未受荷板边缘的最大挠度。

**5.2.6** 其他路面

**1** 有轨电车其他路面包括砌块路面、超高性能轻型组合路面、钢纤维混凝土路面等除沥青路面、水泥混凝土路面以外的路面结构形式。

**2** 有轨电车采用砌块路面应按照车行道和人行道的不同要求进行设计，设计要求应符合现行行业标准CJJ 169有关规定。

**3** 有轨电车超高性能轻型组合路面结构按超高韧性混凝土不开裂进行设计，设计基准期与主体结构一致。

**4** 有轨电车采用钢纤维混凝土路面应应符合现行行业标准JG/T 472的有关规定。

**5** 有轨电车桥面铺装结构形式应与线路一般路段和所在线路位置的道路路面结构层相协调，特大桥、大桥的桥面铺装宜采用沥青混凝土桥面铺装，桥面铺装应有完善的桥面防水、排水系统。

**5.2.7** 有轨电车路面与钢轨界面过渡设计顶面标高应低于钢轨面标高6mm。

**5.2.8** 半柔性过渡层设计应符合下列规定：

1. 半柔性过渡层宽度可采用50~100mm，深度不小于25mm。
2. 半柔性过渡层由半柔性过渡材料和底涂组成。
3. 半柔性过渡材料可采用聚合物改性粘胶混合料，施工时应具有自流平和自密实的特性，同时具有优异的强度、柔性、延展性、极低吸水率及耐老化性能，能够适应瞬时或长期的形变，其基本物理性能应满足表5.28-01的规定。

**表5.2.8-01 半柔性过渡材料基本物理性能**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 技术指标 | | 单位 | 指标要求 | 试验方法（附录） |
| 1 | 柔韧性（0℃） | | / | 通过 | ASTM D5329 |
| 2 | 外部附着力测试 | | psi | ≥25 | ASTM D5329 |
| 3 | 最低加热使用温度 | | °C | ≥190 | ASTM D5329 |
| 4 | 最高加热使用温度 | | °C | ≤204 | ASTM D5329 |
| 5 | 体积  电阻率 | 在干燥状态下 | Ω•km | ≥1×104 | ASTM D5329 |
| 耐水试验（0.1% NaCl溶液、24h） | Ω•km | ≥1×103 |

1. 底涂用于提升钢材、石材、橡胶制品等材料表面的粘结能力，为一种液态界面材料，应具有易于施工喷涂、快速成型的性能，其基本物理性能指标满足表5.2.8-02的规定。

**表5.2.8-02 底涂基本物理性能**

| 序号 | 技术指标 | 单位 | 指标要求 | 测试方法 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 粘度 | 秒 | 42±6.5 | GB/T 6753.4-1998 |
| 2 | 抗碱性 |  | 试样片上的漆层无变色、起泡、剥落、粉化、软化等现象 | GB/T 9265-2009 |
| 3 | 挥发成分的挥发性 | % | 60分钟后，90±5  90分钟后，95±5 | GB/T 1725-2007 |
| 4 | 固体含量 | % |  | GB/T 1725-2007 |
| 5 | 闪点 | °C | ≤-10 | GB/T 261-2021 |
| 6 | 表干时间 | 分钟 | 15~30 | GB/T 1728-2020（指触法） |

1. 半柔性过渡材料不应与周边材料发生反应。

**5.2.9** 刚性过渡层设计应符合下列规定：

1. 可采用环氧树脂混凝土、钢纤维混凝土或其他超高韧性材料。
2. 刚性过渡层靠钢轨一侧应采用钢板护边设计，钢板应锚固牢固，钢板顶面与路面平齐。

**5.2.10** 嵌入式连续支撑轨道设计应符合下列规定：

1. 轨道U型槽应采用钢板保护设计，钢板顶面与路面平齐。
2. 采用沥青路面时，轨道U型槽处道床面距路面高度不宜大于100mm，同时满足沥青路面最小厚度要求。
3. 采用水泥混凝土路面时，路面宜与轨道道床整体设计。

**5.2.11** 轨道排水

**1** 轨道排水方案应有专门排水设施或与市政管网衔接考虑。排水收集管应连接至邻近道路的排水系统或单独排管排放。

**2** 结合交叉口竖向设计，合理组织交叉口范围内路面排水，确保有轨电车轨行区范围不积水。

**3** 沿线路方向每隔一定间距以及在必要的位置（如平交口、纵断面的最低点）设置适当的横向排水设施，快速排除积水。

**4** 线路下穿隧道结构渗水和敞开段雨水，宜集中后就近提升排放。横向排水沟将水收集至隧道壁两侧的纵向边沟内，纵向边沟需满足最大暴雨时排水要求，在隧道两端或中部最低点设置排水泵房。

**5** 区间采用横向排水设施，每隔一段距离对钢轨打孔或设置排水沟（槽）不应对钢轨的导向和支撑产生影响。

**6** 有道路铺装轨道区域（含路口）道路横向排水应保证路面不得有积水。两股轨道线路同时过路口时，路口中间道路排水宜利用轨道排水系统进行排水，其道路横断面标高根据轨道标高进行调整、匹配，同时确保社会车辆行车平稳、安全。

* 1. **施工要点**

**5.3.1** 有轨电车路面施工质量标准根据设计要求确定，可按城市道路施工质量标准执行。

**5.3.2** 有轨电车路面施工质量检测标准应根据线路所在道路的设计等级标准合理选择。

**5.3.3**  沥青面层施工应符合下列规定：

**1** 沥青路面不得在气温低于10℃、以及雨天、路面潮湿的情况下施工。

**2** 上、中面层施工之前，应对下卧层的外观质量与内在质量进行全面检查，对局部质量缺陷（例如严重离析和开裂、油污染等）应按规定进行修复。

**3** 对下面层表面的污染物必须清扫干净，必要时用水冲刷，对于局部被水泥等杂物污染冲刷不掉的，应用人工将表面水泥砂浆凿除。

**4** 大规模施工前，必须铺筑试铺段，以确定松铺系数、压实顺序、碾压速度、静压与振压最佳遍数、压路机类型组合、压路机型号与吨位、压路机振幅、频率与行走速度的组合等工艺参数。

**5** 混合料应运输采用载重10t以上的自卸车运输，运输车辆数量应足够保证施工作业的连续进行。运输车辆应先将底盘及车轮清洗干净，防止泥土杂物掉落在铺装施工范围内。

**6** 为防止混合料粘于运输车车箱底部，在装料之前，应使用专门的沥青混合料隔离剂在车厢底部均匀涂一薄层，不得有隔离剂集中的现象。运输过程中，加盖帆布保温。

**7** 施工接缝处理应符合规定：

1） 对于采用三台摊铺机成梯队联合摊铺方式的纵向接缝，应在前部已摊铺混合料部分留下100～200mm宽暂不碾压作为后高程基准面，并有50～100mm左右的摊铺层重叠，以热接缝形式在最后作跨接缝碾压以消除缝迹。上中层纵缝应错开150mm以上。

2） 横向施工缝全部采用平接缝。用三米直尺沿纵向位置，在摊铺段端部的直尺呈悬臂状，以摊铺层与直尺脱离接触处定出接缝位置，用锯缝机割齐后铲除；继续摊铺时，应将接缝锯切时留下的灰浆擦洗干净，涂上少了粘层沥青，摊铺机熨平板从接缝后起步摊铺；碾压时钢筒式压路机进行横向压实，从先铺路面上跨缝逐渐移向新铺面层。

3） 横向施工缝应远离桥梁伸缩缝20m以外，不许设在伸缩缝处，以确保伸缩缝两边路面表面的平顺。

**5.3.4**  水泥混凝土路面施工应符合下列规定：

**1** 水泥混凝土路面的弯拉强度应达到设计要求；

**2** 混凝土面层厚度的允许误差为±5mm；

**3** 胀缝间距应符合设计规定，缝宽宜为20mm，设置于与结构物衔接处、道路交叉口处等；胀缝上部的预留填缝空隙，宜用提缝板留置，提缝板应直顺，与胀缝板密合、垂直于面层。

**4** 缩缝应垂直面板，宽度宜为4~6mm。切缝深度：设传力杆时，不应小于面层厚度的1/3，且不得小于70mm；不设传力杆时，不应小于面层厚度的1/4，且不应小于60mm。

**5** 切缝时，宜在水泥混凝土强度达到设计强的的25%~30%时进行。

**6**  水泥混凝土面层成活后，应及时养护，可选用保湿法和塑料薄膜覆盖等方案；气温较高时，养护不宜少于14d；低温时，养护期不宜少于21d。

**7** 养护期间应封闭交通，不应堆放重物，混凝土板再达到设计强度的40%以后，方可允许行人通行；养护终结，应及时清除面层养护材料。

**5.3.5**  其他路面施工应符合下列规定：

**1** 砌块路面层铺砌完成后，必须封闭交通，应湿润养护，当路面结构层达到设计强度后，方可开放交通。

1. **接 口**

**6.1** 有轨电车路基的接口设计应符合下列规定：

1. 有轨电车路基应按照相关专业要求预留电缆槽、电缆井、过轨管线、接触网支柱、声屏障基础、综合接地、轨道预埋筋、车站站棚基础等设施的条件。
2. 有轨电车路基上的各种预埋件及基础应与路基填筑同步设计，合理规划、分步实施，避免二次开挖路基，影响路基强度及稳定。
3. 有轨电车路基与道路路基之间应保持良好的衔接，并采取台阶搭接、土工格栅等必要的措施减少新老路基之间的差异沉降，防止产生纵向裂缝。
4. 道路路基处理范围为有轨电车周边2~3米，该范围内的沉降控制标准为：一般路段的路基工后沉降不应大于50mm，路桥交界处的工后沉降不应大于15mm，路拱横坡度变化值不应大于1%。
5. 有轨电车路基应处理好与既有管线的关系。应对相邻管线进行隔离加固，减小对其影响；对于有冲突的管线，采用迁改或重新共建的方法进行处理。

**6.2**有轨电车路面的接口设计应符合下列规定：

1. 采用扣件式轨道时，扣件和扣件罩宜采用低高度设计，不宜侵入路面铺装层中；扣件罩应设计紧凑，减少其顶面与路面铺装层的接触面积，扣件罩应具有较大的强度和刚度。轨道轨腰柔性材料应适当提高横向刚度。
2. 有轨电车路面范围内不宜设置有缝钢轨接头。
3. 有轨电车路面人行和车行区域不宜布置道岔转换部件。
4. 有轨电车路面范围内道床宜减少道床伸缩缝，道床伸缩缝间宜设置传力杆，伸缩缝表面应设置隔离层，减少路面反射裂缝。
5. 有轨电车线路平面、纵断面、横断面应与有轨电车路面线型和竖向设计统筹考虑。
6. 当有轨电车路面范围内曲线轨道设有超高时，曲线外侧线轨面标高应高于内侧线轨面标高并与有轨电车路面竖向设计统筹考虑，以使有轨电车路面范围排水顺畅。
7. 道路路面结构应与有轨电车路面、轨道道床之间做好过渡处理，顺接因两者刚度不同带来的变形。

**附录A 常用材料及重度**

表A.1 常用材料标准重度

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 材料名称 | 重度（kN/m3） | 备注 |
| 钢 | 78.5 |  |
| 铸铁 | 72.5 |  |
| 钢筋混凝土 | 25.0 |  |
| 混凝土、片石混凝土 | 23.0 |  |
| 浆砌片石 | 22.0 |  |
| 浆砌块石 | 23.0 |  |
| 干砌片石 | 20.2 |  |
| 填土 | 17.0~21.0 |  |
| 填石 | 19.0~22.0 | 弃砟利用 |

**附录B 常用地基处理方法及措施适用条件表**

表B.1 常用地基处理类型及适用条件

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 常用地基处理方式  边界条件 | | 浅层处理 | | | 排水固结 | | 挤密 | | | | | 置换 | | | | | |
| 换 填  垫  层 | 振  动  碾  压 | 冲  击  碾  压 | 袋装砂井 | 塑料排水板 | 强夯 | 挤密砂石桩 | 沉管碎石桩 | 灰土与水泥土挤密桩 | 柱锤冲扩桩 | 振冲碎石桩 | 强夯碎石墩 | 水泥搅拌桩 | 水泥粉煤灰碎石桩 | 素混凝土桩 | 旋喷桩 |
| 处理目的 | 控制沉降 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 提高稳定性 | ○ | ○ | ○ | △ | △ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 提高地基承载力 | ○ | ○ | ○ | × | × | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 增强抗液化能力 | ○ | ○ | ○ | × | × | ○ | ☆ | ☆ | × | △ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 提高抗渗性 | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | × | × | ○ | △ | △ | △ |
| 地基类型 | 淤泥及流塑状淤泥质土 | ○ | × | × | ○ | ○ | × | × | × | × | × | × | △ | ○ | × | × | ○ |
| 饱和黏性土 | ○ | × | × | ○ | ○ | × | × | △ | × | × | △ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 非饱和黏性土 | ○ | ○ | ○ | × | × | ○ | ○ | ○ | △ | ○ | ○ | △ | △ | ○ | ○ | ○ |
| 松散砂土 | ○ | ○ | ○ | × | × | ○ | ☆ | ☆ | × | △ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 湿陷性黄土 | ○ | ○ | ○ | × | × | ○ | × | × | ☆ | ☆ | × | × | × | △ | △ | △ |
| 盐渍土 | ○ | △ | △ | × | × | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| 冻土 | ○ | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | △ | △ | △ |
| 人工填土 | ○ | ○ | ○ | × | × | ○ | ○ | ○ | △ | ○ | ○ | △ | × | △ | △ | △ |
| 岩溶、采空区、人为坑洞 | ○ | △ | △ | × | × | ○ | × | × | × | △ | × | × | × | × | × | △ |
| 最大处理深度参考值/m | | 3 | 2 | 3 | 20 | 20 | 8 | 15 | 15 | 15 | 25 | 15 | 8 | 20 | 30 | 30 | 30 |

1. 注: ☆表示优先使用；○表示适用；△表示有条件适用；×表示不适用。

**附录C 常用坡面防护类型及适用条件**

表C.1 常用坡面防护工程类型及适用条件

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 防护类型 | 结构形式 | 适用条件 | 注意事项 |
| 植物防护 | 植草或喷播植草 | 土质边坡，坡率缓于 1：1.25 | 当边坡较高时，植草可与土工网、土工网垫结合防护 |
| 铺草皮 | 土质和强风化、全风化的岩质边坡，坡率不陡于 1:1 | 草皮可为天然草皮，也可为人工培植的土工网草皮 |
| 种植灌木 | 土质、软质岩和全风化的硬质岩石边坡，坡率不陡于 1:1.5 | 树种应为根系发达，枝叶茂盛、适合当地迅速生长的低矮灌木 |
| 喷混植生 | 砂性土、碎石土、粗粒土、巨粒土及全风化岩石边坡，坡率不陡于 1:0.75，边坡高度不宜大于 10m | 种植基材应通过配合比试验或小范围工程试验确定 |
| 客土植生 | 砂性土、碎石土、粗粒土、巨粒土和强风化软质岩及强风化、全风化硬质岩石挖方边坡，坡率不陡于 1:1 | 边坡高度不宜大于 8m |
| 混凝土骨架护坡 | 宜采用带排水槽的拱形骨架，也可采用人字形，方格形。骨架内铺草皮、喷播植草或干砌片石等 | 土质和全风化的岩石边坡，当坡面受雨水冲刷严重或潮湿时，坡率不陡于 1:1 | 护坡四周需用浆砌片石或混凝土镶边，混凝土骨架视情况在节点处加锚杆，多雨地区采用带排水槽的拱形骨架，骨架埋深不小于0.4m，骨架间距宜采用 2m~4m |
| 干砌片石护坡 | 一般厚度为30cm，其下设≥10 cm 厚砂砾石垫层 | 岩质边坡防护或土质填方边坡；有少量地下水渗出的局部路堑边坡，坡率不陡于 1:1.25 | 用于路堑边坡基础埋深不应小于 1.0m，基础应选用较大的石块，应自下而上地进行栽砌 |
| 浆砌片石护坡 | 厚度为30cm~40cm，水泥砂浆砌筑 | 易风化的岩石边坡和土质边坡。坡率不陡于1:1 |  |
| 混凝土护坡 | 现浇混凝土护坡厚度不宜小于15cm,预制混凝土护坡厚度不宜小于 8m | 土质和易风化剥落的岩石路堑边坡，坡率不陡于 1:l |  |
| 喷射混凝土护坡 | 喷射混凝土护坡厚度不宜小于 8cm | 易风化、破碎的但未遭强风化、全风化的岩石边坡，率不陡于 1:0.5 | 材料为砂、水泥、砾石，一般通过试喷选择配合比和水灰比 |

**附录D 常用支挡结构类型及适用条件**

表D.1 常用支挡结构类型及适用条件

|  |  |
| --- | --- |
| 挡土墙类型 | 适用条件 |
| 重力式挡土墙 | 适用于一般地区、浸水地区和地震地区的路肩、路堤和路堑等支挡工程墙高不宜超过 12m |
| 半重力式挡土墙 | 适用于不宜采用重力式挡土墙的地下水位较高或较软弱的地基上，墙高不宜超过 8m |
| 悬臂式挡土墙 | 宜在空间受限石料缺乏、地基承载力较低的填方路段采用，墙高不宜超过 6m |
| 扶壁式挡土墙 | 宜在空间受限石料缺乏、地基承载力较低的填方路段采用，墙高不宜超过 15m |
| 锚杆挡土墙 | 宜用于墙高较大的岩质路堑地段，可用作抗滑挡土墙，可采用肋柱式或板壁式单级墙或多级墙，每级墙高不宜大于 8m,多级墙的上、下级墙体之间应设置宽度不小于 2m 的平台 |
| 锚定板挡土墙 | 宜使用在缺少石料地区的路肩墙或路堤式挡土墙，但不应建筑于滑坡、坍塌、软土及膨胀土地区。可釆用肋柱式或板壁式,墙高不宜超过 10m；肋柱式锚定板挡土墙可釆用单级墙或双级墙，每级墙高不宜大于 6m，上、下级墙体之间应设置宽度不小于 2m 的平台，上下两级墙的肋柱宜交错布置 |
| 加筋土挡土墙 | 用于一般地区的路肩式挡土墙、路堤式挡土墙，但不应修建在滑坡、水流冲刷、崩塌等不良地质地段。高速公路、一级公路墙高不宜大于 12m,二级及二级以下公路不宜大于 20m。当采用多级墙时，每级墙高不宜大于 10m 上、下级墙体之间应设置宽度不小于 2m 的平台 |
| 岩石锚喷支护 | 适用于整体稳定性较好的岩质边坡，边坡高度，对Ⅰ、Ⅱ类岩质边坡不宜大于 30m，对Ⅲ类岩质边坡宜小于 15m；具有膨胀性、腐蚀性岩石的边坡不应采用锚喷支护 |
| 桩板式挡土墻 | 用于表土及强风化层较薄的均质岩石地基，挡土墙高度可较大，也可用于地震区的路堑或路堤支挡或滑坡等特殊地段的治理 |

**条 文 说 明**

1. **总 则**
   * 1. 本规范适用于有轨电车路面路基的新建工程，改扩建工程可参考执行。
2. **术 语**

本章收编的术语为有轨电车路面路基领域的主要术语。规范中采用的具体词汇和解释，遴选了国际和国内常用的中、英文词汇和释义。各技术专业的术语选编中注意了与相关专业相似术语表达的一致性。

1. **基 本 规 定**
   * 1. 有轨电车工程区间土建结构各层自下而上分别为路基、轨道、路面，区间土建结构断面如图 3.0.1-1所示：

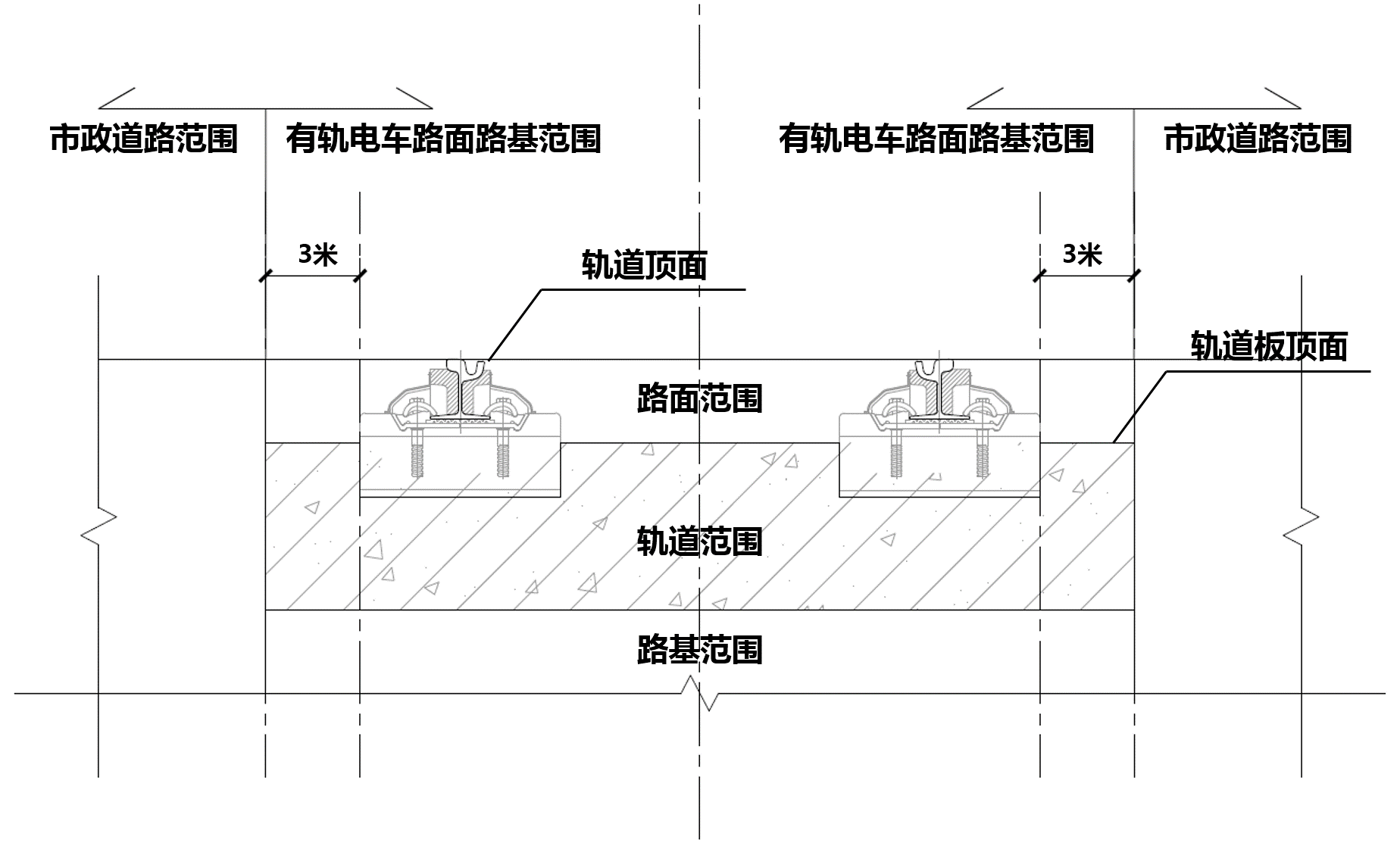


图 3.0.1-1 有轨电车工程区间土建结构断面图

* + 1. 有轨电车工程采用专用路权的区段，路面结构无需考虑承受荷载；采用混合路权的区段（交叉口），路面结构需考虑混合运营交通方式（如机动车、行人、非机动车或者几种方式）的荷载。
    2. 对有轨电车路面与轨道、外部道路过渡衔接段进行特殊设计后，应进行测试评估，以保证过渡段的安全可靠。
    3. 本条设计使用年限是指在一定维护条件下，能保证主体结构工程正常使用的最低时段。具体保证措施应符合本规范有关规定，未及部分可参照现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 等相关规定执行。

1. **路 基**
   1. **一般规定**
      1. 在地基条件良好的区域，优先采用换填路基，并充分利用原地基土的承载能力，减少换填厚度；软弱土层较薄的区域，可结合具体地质条件采用适当的地基处理方式，在处理后的地基上填筑基床结构；当软弱土层较厚、或换填路基与基础刚度有显著差异的横向结构物相接时，为减少工后差异沉降宜选用桩板结构或装配式一体化轨道路基结构。过渡段一直是路基的一个薄弱环节，一方面由于轨下基础刚度差异引起轨道刚度的突变，另一方面地基沉降不一致，而导致轨面不平顺，影响车辆运行的安全、舒适。路桥过渡段处可设置桩板结构。
      2. 过渡段一直是路基的一个薄弱环节，一方面由于轨下基础刚度差异引起轨道刚度的突变，另一方面地基沉降不一致，而导致轨面不平顺，影响车辆运行的安全、舒适。路桥过渡段处可设置桩板结构。
      3. 减少路基工后沉降是保持线路稳定平顺的基本前提，是有轨电车安全运行的基础。为此要对可能产生工后沉降大于允许值的地段进行沉降分析，以便在必要时采取处理措施，使路基的工后沉降小于允许值。
   2. **设计**

**4.2.1**

**3** 对于钢轮钢轨的轮轨冲击作用与轨道结构形式、轨道不平顺、行车速度等因素有关。可将电车动荷载计算表达式定义为，—静轮重；—垂向动力系数。其中α—速度影响经验系数与是否无缝线路有关。目前国内有轨电车以无缝线路为主，同时列车最高设计时速一般不超过70km/h。通过对比国铁、地铁、日本、国际铁路联盟等计算公式，建议在没有实测数据的情况下，有轨电车动力冲击系数可取1.2。

**5** 路基基床是路基上部受车辆动力作用和水文气候变化影响较大的部位，其状态直接影响车辆运行的平稳和速度。

1）基床厚度根据动应力在路基面以下的衰减形态，并参考轨道交通目前采用的基床厚度综合分析确定。可将基床各层按当量厚度换算，根据动应力衰减至动静应力比0.2确定基床厚度。

3）无砟轨道基床表层应具有更高的强度、弹性模量。水泥稳定碎石在级配碎石中掺入5%左右的水泥，将混合料掺拌均匀，在最佳含水量下压实，达到要求的密实度，就能形成较高的力学强度和水稳性。与级配碎石相比水泥稳定碎石强度、刚度和水稳定性均得到提高，能更好扩散车辆荷载，进而减少基床底层厚度，特别是在既有道路上修建有轨电车可减少开挖深度。

5）在城市道路路中修建有轨电车，路基面标高受原路面标高限制，在地下水位较高的地区（地下水位距地表不大于0.5m）修建有轨电车路基时，基床底层可采用渗水土填料。

**14** 地基沉降计算方法在现行《铁路特殊路基设计规范》TB 10035、国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007以及上海市工程建设规范《地基基础设计规范》DGJ 08-11中均有所规定，其中关于压缩模量取值、压缩层厚度计算方法、沉降经验系数取值等存在差异，沉降计算结果相差较大。鉴于有轨电车已钢轮钢轨形式为主，因此参考《铁路路基设计规范》TB10001的规定采用应力比法，本规范主要针对采用无砟轨道的有轨电车，应力比取0.1。但是依此确定的沉降计算深度以下仍然有软土层时，沉降计算深度还要继续往下计算。

**4.2.2**

**1**本节桩板结构是指通过强道床板的厚度及配筋，将轨道板与传统路基承载结构板结合一体，将轨道扣件埋入路基承载板中，一次浇筑完成。可有效减少了结构厚度，同等条件下减少混凝土和钢筋用量。

**3** 桩板结构由于底部采用了桩基础，可以更好的控制工后沉降，因此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** 极限状态设计法是以大量的统计资料为基础的设计理论。在工民建领域及市政行业得到广泛应用。桩板结构主要以钢筋混凝土为主，因此本规范推荐桩板结构采用极限状态设计法。由于有轨电车路基工程在统计方面的资料非常缺乏。本规范其分项系数设计表达式，是在现行设计理论、计算规则的前提下，参考相关行业规范确定。

**9** 桩板结构的钢筋混凝土板一般位于地面浅层，处于干湿交底环境中，因此在一般环境下构件的最大计算裂缝宽度允许值参考《地铁设计规范》（GB50157）取0.2mm，当根据桩板结构跨度计算需要板厚大于300mm时，不计干湿交替作用，裂缝宽度允许值0.3mm。

**11** 非均匀支撑连续结构板计算模型，考虑桩土共同承载作用时，基桩位置采用刚度较大的桩弹簧支承，桩弹簧之间采用刚度较小的土弹簧支承。结构简化模型如图2所示：



**图4.2.2-1 弹性地基梁计算模型图**

图中P为电车轮载，a为结构跨距。地基土弹簧可根据勘察报告提供数取值。桩弹簧刚度为桩体本身的弹簧与桩端土弹簧刚度串联弹簧。



**图4.2.2-2 桩弹簧串联模型**

当桩基础跨度较小时可不考虑跨中桩间土的支撑作用。

16 相邻变形缝的纵向间距宜为25m~30m，具体可结合线路线型、道岔位置、周围环境、地下管线或构筑物分布情况等作适当调整。

**4.2.3**

**2** 装配式桩板结构连接节点将上、下部结构可靠连接，满足整体预制结构在有轨电车荷载作用下的受力性能和变形状态，可采用干法连接和湿法连接两种方式。

干法连接通过机械和焊接的方式将上部结构和基础结构进行有效的连接，该装置由焊接板、螺锁式机械连接件组成，具有高度和水平调节功能；湿法连接采用现浇的方式将上部结构和基础结构进行有效的连接，在预制轨道梁（板）上预留好插筋，在连接时先通过支架将预制轨道梁（板）调节至规定位置，然后通过后浇混凝土的方式实现预制轨道梁（板）与预制桩的连接。

图示

描述已自动生成 

**图4.2.3干法连接节点示意图**   **图4.2.4节点试验**

**3** 装配式一体化轨道路基结构底部采用了桩基础，可以更好的控制工后沉降，因此主要用于深厚软土地区。由于采用了轨道梁的方式，整个结构开挖深度相较常规路基方案可以大大减少，对于浅层地下管线密集的地方可以减少管线搬迁工程量。

标准化设计是实施装配式路基结构的有效手段，没有标准化就不可能实现结构系统的规模化，而模数和模数协调是实现装配式建筑标准化设计的重要基础。少规格、多组合是装配式结构设计的重要原则，减少部品部件的规格种类及提高部品部件模板的重复使用率，有利于部品部件的生产制造与施工，有利于提高生产速度和工人的劳动效率，从而降低造价。

**5** 装配式一体化轨道路基结构主要以钢筋混凝土为主，因此本规范推荐桩板结构采用极限状态设计法。

**6** 预制构件应按脱模起吊、运输码放、安装就位等工况及相应的计算简图分别进行施工阶段验算。本条给出了不同工况下的设计条件及动力系数。

**4.2.4**

**1** 路基与其他结构物、不同路基结构、不同地基处理形式、不同地基处理强度连接处等可能导致变形或刚度差异时均要设置过渡段，通过过渡段将突变差异调整为渐变差异,从而保证线路轨道在纵、横向的平顺。路基与桥台、路基与横向结构物、路堤与路、路堑与隧道过渡段是常见的过渡段。

**3** 路基与涵洞、隧道的过渡段长度L可按下图计算，a为梯形底部宽度3m~5m，n可取2.0。

图示

描述已自动生成

**图4.2.4-1干法连接节点示意图**

**4** 路基长度较短时场地狭小、不便压实,宜产生不均匀沉降等病害,特增加本条。

**8** 路堤与硬质岩石路堑连接时可采用下图方式。

图示

描述已自动生成

**图4.2.4-2路堤与硬质岩石路堑过渡段示意图**

**9** 路堤与软质岩石或土质路堑连接时可采用下图方式。

图示

描述已自动生成

**图4.2.4-3路堤与软质岩石或土质路堑过渡段示意图**

**4.2.5**

**1**边坡防护是指为防止路基坡面发生溜坍等病害所采取的防护加固措施；路基边坡防护工程一般不采用全坡面混凝土或浆砌片石防护，当填料及气候条件适宜时，要优先采用植物防护。

**4.2.6**

**1** 支挡类型除了选择重力式挡土墙外，需根据现场的地形、地质、水文等具体情况结合工程技术条件，从各种支挡类型中选择最合适的形式。不论选择哪种类型，要符合经济合理、便于施工和养护的要求。

**6** 支挡结构需按结构类型进行稳定性、承载力及结构设计。

（1）重力式挡土墙、衡重式挡墙、短卸荷板式挡土墙、悬臂式和扶壁式挡土墙、加筋土挡土墙、土钉墙，要进行抗滑动稳定性检算（含水平滑动和随地基的整体滑动）、抗倾覆稳定性检算、基底偏心距计算和基底承载力验算。

（2）加筋土挡土墙、土钉墙还要进行拉筋（土钉）的抗拉检算和抗拔检算。

（3）支挡结构混凝土构件要进行截面强度检算，钢筋混凝土构件要进行结构设计，锚杆（索）要进行钢筋截面和有效锚固长度设计。结构设计可以按《铁路路基支挡结构设计规范》TB10025和《混凝土结构设计规范》GB50010的规定执行。

（4）挡土墙基础下遇有软弱土层时，可能导致挡土墙及墙后填料沿着软弱层面产生剪切破坏，此种情况需进行滑动稳定检算。挡土墙位于斜坡上时，挡墙墙趾以下边坡的稳定问题以往容易被忽视，因此除了挡墙本身的稳定性检算外，还要保证斜坡的整体稳定。

**7** 在进行支挡结构选型时，要依据发挥各类支挡结构形式自身优点、规避缺点的原则合理选用。

**4.2.7**

**1** 为保证有轨电车的安全运行，线路范围内的雨水应单独收集，其排放系统若有条件时宜单独设置，若无单独设置的条件则可就近排入市政排水系统。

**2** 最新版《室外排水设计规范》GB 50014规定，特大城市雨水管渠设计重现期中心城区为 3年~5年，非中心城区为2年~3年，中心城区的重要地区为5年~ 10年，有轨电车穿越重要地区时须采用与该地区相一致的排水重现期，当穿越一般中心城区和非中心城区时，为保证有轨电车排水安全，要求有轨电车范围内的暴雨重现期不低于5年一遇。

**5** 路基排水设施要有足够的过水能力，为此需要根据设计流量进行验证。此外，尚要根据当地铁路、公路建设经验，结合适当的水文水力计算结果进行综合确定。

**4.2.8**

**1** 工后沉降的控制是路基工程的关键,在铺设轨道之前,为保证路基的工后沉降和变形符合设计要求，应对路基变形作系统的评估。对于有轨电车在城市道路路中修建，附加荷载较小的情况下，可适当简化沉降观测与评估。

**2** 对轨道产生较大影响的是路基的工后沉降，包括地基的沉降和路堤的沉降变形，综合反应在路基面上，因此，路基面沉降的观测非常重要。但单纯观测路基面的变形不利于对沉降原因和机理的分析，同时由于缺少施工中的沉降发展所携带的信息，不容易推测荷载变化对沉降的影响，也不利于对沉降进行准确预测。因此，地基沉降的观测是非常必要的。

1. 由于目前有轨电车工程经验相对较少，无沉降监测的控制标准，建议施工前组织参建各方根据不同的轨道类型确定沉降变形监测的控制标准。
   1. **施工要点**

**4.3.2** 本条列出的关键环节包含了几个大的方面，在施工中为了更好地控制施工质量，应对大的方面按工序进行细分，并应根据工程实际情况列出项目实施的关键工序。

**4.3.4** 填筑工艺性试验，要在采用相同工艺参数施工，连续不少于3 个检验批验收合格后，确定大面积施工的工艺参数。填筑工艺性试验确定的施工工艺参数主要有:机械设备组合，压路机碾压行走速度、碾压方式、碾压遍数，填料粒径级配，填料施工允许含水率范围，松铺厚度等。

**4.3.6** 本条规定地基处理施工前应核查地质资料，这是由于可能会出现施工时和勘察设计时的地形地貌发生较大变化、地质情况存在较大出人或者在勘测设计时无法完全查明具体地质条件等情况，应对地基进行原位测试等快速方便的地质核查手段，检查地基土层是否与勘察资料相符。核查的地质条件与设计资料不符时，应提交设计单位重新评价地基条件，以便优化、调整地基处理措施。

**4.3.7** 施工中所用设备不同时，其施工工艺参数也会不同，所以要求尽量采用性能基本一致的机械。机械设备性能差别较大时，应分别进行工艺性试验确定其相应的工艺参数。

**4.3.9** 装配式一体化轨道路基结构安装施工前，应核对已施工完成预制构件的混凝土强度、外观质量、尺寸偏差等符合《混凝土结构工程施工规范》GB50666的有关规定；预制构件吊装就位后，应及时校准并采取临时固定措施；构件连接部位后浇混凝土的强度达到设计要求后，方可拆除临时固定措施。

**4.3.12** 预制桩沉桩机械分静压机械和锤击机械两种。静压法沉桩宜采用液压式机械，按施工方法分为顶压式和抱压式两种。锤击法沉桩机械通常采用柴油锤、液压锤。有轨电车工程往往修建与城市中心区，建议优先选用静压法沉桩。

**4.3.17** 水是危害路基结构的主要自然因素，修建完善的排水系统来最大限度地堵截、疏散各种来源的水是确保路基结构强度和稳定所必需的。因此，针对防排水系统施工前核对这一重要环节各方均应高度重视、落实到位。

**4.3.18** 工后沉降的控制是路基上铺设无砟轨道的关键，在铺设无砟轨道之前，为保证路基的工后沉降和变形符合设计要求，应对路基变形作出系统的评估。

1. **路 面**
   1. **一般规定**

**5.1.1** 根据目前国内外有轨电车的设计情况，有轨电车线路一般采用路中布置或者和路侧布置，管理方式可采用专用路权或者混合路权。采用专用路权管理的有轨电车，一般情况下不允许机动车驶入有轨电车轨行区范围，因此路面铺装可以采用绿化种植，例如苏州1号线、嘉兴T1线以及淮安T1线等地有轨电车；也有不少地方，在专用路权的情况下，为了管理和运营的灵活，有轨电车轨行区的范围也可以采用硬质铺装，如松江有轨电车T1和T2线，一般路段均采用沥青路面。在交叉口路段，有轨电车一般采用混合路权，通过信号灯进行管理，允许横向道路及转向车辆进入轨行区，因此，有轨电车路面一般与道路路面铺装形式一致。

**5.1.3** 目前有轨电车轨行区轨道通常为上下行线双线共计4条轨道，还有众多道岔，由于轨道突出路面且轨道间距较小，无法采用摊铺机摊铺沥青路面，也无法采用压路机有效压实，当前施工时采用人工摊铺和小型机械压实，尤其是道岔区和轨道边更是受限于空间只能采用小型平板夯压实，达不到压实度要求，导致在实际运营一段时间后轨行区沥青路面车辙、破碎比较严重。有轨电车轨行区装配式路面结构及施工技术，可以采用预制技术，更适合应用于轨行区范围小、形状不规则、设备较多等路面不易压实的区段，可以快速施工。后期若有损坏，也可以快速更换，提高有轨电车路面结构层的使用寿命，便于维修养护。

**5.1.4** 有轨电车主要在路面运行，必然会存在混合路权路段以及与现有的道路形成的平交口。道岔区设计不仅工艺复杂，在运行过程中有轨电车和道路交通的运组织都比较复杂，在交通流量大的重要节点，有轨电车路面设计应特别注重综合设计，符合交叉口整体安全需求。

* 1. **设计**

**5.2.1** 有轨电车轨行区范围内轨道结构为主，采用专用路权管理的路段中，可采用绿化铺面，但轨道结构上方应满足绿化铺装所需的种植土厚度，保证绿化的种植效果，且由于绿化铺装需要灌溉，应采取相应的排水措施，以避免排水不畅对轨道结构的损害。

**5.2.2** 有轨电车采用硬质铺装时，有别于常规道路路面结构层（面层、基层和垫层）多层式结构组合，通常轨道结构顶面至轨行区顶面的标高高差一般为20-25cm；因此有轨电车路面设计主要为面层及基层的结构组合设计。

**5.2.3** 轨行区轨道结构承受有轨电车荷载，具有足够的结构强度、稳定性和扩散荷载的能力。专用路权管理的有轨电车路面，较少承受交通荷载，路面应具有足够的抗滑能力及良好的平整度，并且满足抗疲劳开裂和沥青层抗变形要求。而混合路权管理的有轨电车路面，还要承受道路交通荷载，要与道路设计要求相适应。

根据有轨电车管理方式，以及有轨电车路面结构20-25cm的厚度，结合道路路面铺装型式，一般可采用2-3层沥青层。专用路权的路面结构，表面层主要保证交通安全和舒适性，但结构强度要求不高，综合功能及经济性，宜选用表面粗糙的抗滑面层（AC-C）。当采用混合路权管理时，一般主要位于交叉口，转弯、重车使用的可能性更大，可选用稳定性好、密实均匀、抗滑耐磨的SMA混合料。

有轨电车沥青路面的各项设计指标与道路沥青路面规定一致。

**5.2.4** 有轨电车采用水泥混凝土路面时，水泥混凝土弯拉强度是衡量路面强度的重要指标。在专用路权管理方式下，轨行区轨道结构具有足够强度，路面承受的交通荷载小，采用普通混凝土路面可以满足表面平整度和路面抗滑要求。在混合路权管理方式下，为了满足道路交通荷载要求，采用配筋的混凝土路面可以提高路面平整度和行车舒适性。

有轨电车混凝土路面的各项设计指标与道路混凝土路面规定一致。

**5.2.5** 根据近年来对大多数有轨电车路面使用情况的调查，轨行区混合路权路段以及平交道口路面结构层与轨道结合处损坏都比较严重，维保频率也比较高，平均半年就需要进行维护修补，而随着交通流量增大，损坏程度就越大，损坏频率就越高，维护修补也就越困难。提高有轨电车路面结构层的使用寿命，降低维保的频率，并且在损坏的情况下，快速修复是非常重要的。

轨行区预制装配式路面结构采用工厂预制，质量可控。预制件可定制不同尺寸、异形尺寸，满足各种尺寸要求，适用于轨行区和道岔区范围小、形状不规则、设备较多等路面不易压实的区段，在工厂预制后进行现场安装，提高施工效率，尤其是在维修养护时，可以大大减少现场作业时间。在轨道边或结合处可预制混凝土包边，保护边界不受损坏，增强路面结构的稳定性。

为了防止预制材料的热胀冷缩作用，为了减小温度或湿度变化在道面结构内引起的收缩或翘曲应力，同时也便于混凝土道面铺筑施工，通常在道路工程中采用纵向及横向等多种形式的接缝将路面分割为若干块形状规则的预制结构板。虽然接缝的设置是非常必要的，但其存在却对道面产生了不利影响，主要体现在以下几个方面：1）接缝削弱了道面的整体性。虽然在道面设计和建设过程中对接缝做了周密考虑，但接缝装置大多在道面使用过程中会被损坏；2）接缝位置为道面结构最薄弱的部位。相同荷载作用于道面板边、板角时的挠度和应力较板中要大，易导致出现唧泥、错台、板底脱空、板边角断裂等病害。因此，接缝的存在对道面使用性能和使用寿命有重要影响。

接缝传递荷载的基本机理包括：

（1）集料嵌锁：依靠接缝断裂面上集料啮合作用传递剪力。传荷能力取决于接缝缝隙的宽度、集料的形状、板和地基的相对刚度、荷载及作用次数等因素。属于这类接缝有不设传力杆的缩缝，企口缝也可归入这一类型。

（2）传力杆：依靠埋设在接缝两侧混凝土内的短段钢筋（传力杆）传递剪力以及部分弯矩和扭矩。传荷作用由两部分组成：传力杆截面的抗剪刚度以及混凝土对传力杆的承压刚度。影响其传荷能力的因素，除了板和地基的相对刚度以及缝隙宽度之外，还有传力杆的有关参数（直径、间距、长度、弹性模量等）及施工（传力杆埋设质量等）因素。属于此类的接缝有设传力杆的胀缝、缩缝和施工缝。设拉杆的接缝也可归入这一类型，只是其剪切传递作用很微弱。

接缝传荷能力是表征接缝在传递一侧板荷载至另一侧板的能力。由于在描述道面板受到外荷载作用时的荷载响应有多项指标，包括应力、应变、挠度等，而这些指标都可以用来说明接缝传荷能力，因此接缝传荷能力的表征指标并不唯一。其中最为常用且得到广泛认同的是以挠度比来表征预制结构的接缝传荷能力。

1. **接 口**

**6.2 第1款** 扣件式轨道中低高度扣件罩宜埋入沥青铺装层下方混凝土层中，有利于扣件罩顶部应力扩散和保持沥青铺装层完整高度，改善沥青铺装层受力变形。

**第2款** 路面范围内轨道有缝钢轨接头处轮轨冲击大，增大了对路面铺装层的冲击影响，同时有缝钢轨接头需要定期开挖路面维护，进行螺栓拧紧等作业，因此路面范围内宜采用无缝钢轨。

**第6款** 有轨电车曲线轨道采用超高时，以内轨标高不动，外轨抬高超高值设置，若路面范围内有轨电车上下行线路标高一致时，曲线轨道超高会导致轨道区域路面呈现“锯齿”形，该范围存在积水低洼点。