

UDC

中华人民共和国行业标准

TB

P

TB 10001 — 2016
J 447 — 2016

铁路路基设计规范

Code for Design of Railway Earth Structure

2016-12-20 发布

2017-04-01 实施

国 家 铁 路 局 发 布

中华人民共和国行业标准

铁路路基设计规范

Code for Design of Railway Earth Structure

TB 10001—2016

J 447—2016

主编单位：中铁第一勘察设计院集团有限公司

批准部门：国家铁路局

施行日期：2017 年 4 月 1 日

中 国 铁 道 出 版 社

2 0 1 7 年 · 北 京

前 言

本规范是根据国家铁路局构建铁路工程建设标准体系的要求,为满足铁路建设和发展需要,统一铁路路基设计标准,提高铁路路基设计水平,保障铁路路基安全与质量,在《铁路路基设计规范》TB 10001—2005 等规范的基础上,总结近年来我国高速、城际、客货共线和重载铁路路基建设、运营的实践经验和科研成果,借鉴了国内外有关标准的规定,在广泛征求意见的基础上,全面修订而成。

本规范贯彻落实了安全优先的原则,强化了质量安全、节约资源、保护环境以及防灾减灾等技术要求,结合我国国情、经济社会发展水平,合理确定了不同运输性质类型、不同速度等级铁路路基的主要设计标准,进一步提升了规范的科学性和技术经济合理性。

本规范共分 16 章,内容包括:总则、术语和符号、基本规定、设计荷载、工程材料、基床、路堤、路堑、过渡段、地基处理、支挡结构、路基防护、路基防排水、改建既有线与增建第二线铁路路基、取(弃)土场及土石方调配、路基接口设计等,另有 6 个附录。

本次修编的主要内容有:

1. 明确了本规范适用于高速铁路、城际铁路、客货共线Ⅰ级和Ⅱ级铁路、重载铁路的标准轨距路基设计,规定了铁路列车荷载确定原则和采用荷载图式的要求,补充了地基处理和支挡结构的设计原则,完善了工程材料的选择、过渡段的设置以及路基排水等方面要求。

2. 补充了路基稳定及沉降控制标准、变形观测与评估、设计

使用年限等内容;补充完善了路基面形状和宽度的相关规定。

3. 规定了荷载分类、荷载组合,并对轨道荷载、列车荷载、结构重力、土压力、附加力、特殊力等进行了规定。

4. 修改完善了填料的分类和要求,补充了对石料、混凝土、水泥砂浆、钢材、土工合成材料等的规定。

5. 补充了基床结构计算公式,修改完善了路基基床填料的种类和粒径要求,调整了压实控制指标的种类,修改了基床底层范围的天然地基基本承载力标准。

6. 规定了路堤边坡控制高度、浸水路基填料使用、寒冷地区填料采用,并调整了压实控制指标的种类。

7. 补充了按路堤式路堑结构形式设计的要求。

8. 补充倒梯形的过渡段型式,并修改完善了过渡段设置的要求。

9. 补充了地基处理的主要技术要求和常用措施的使用条件。

10. 规定了支挡结构的主要技术要求和常用措施及适用范围。

11. 补充完善了植物防护、骨架护坡、实体护坡(墙)、孔窗式护坡(墙)、锚杆框架梁护坡、喷射混凝土(砂浆)护坡、防护网、防护网、土工合成材料防护、风沙及雪害地区路基平面防护、路基保温防护等防护形式的设计要求。

12. 补充完善了地面水和地下水的防排水要求。

13. 补充完善了改建既有线与增建第二线路基的设计原则,明确改建既有线路基采取的措施,帮宽顶部宽度调整为不宜小于1.0 m。

14. 明确了取(弃)土场的设置要求和土石方调配干扰类型,规定了土石方调配要求。

15. 补充完善了安全防护设施、电缆槽、养路机械作业平台、

接触网支柱基础、综合接地系统等方面的要求。

16. 取消了附录 A 关于铁路建设用地的相关内容。

在执行本规范过程中,希望各单位结合工程实践,认真总结经验、积累资料。如发现需要修改和补充之处,请及时将意见和有关资料寄交中铁第一勘察设计院集团有限公司(陕西省西安市西影路 2 号,邮政编码:710043),并抄送中国铁路经济规划研究院(地址:北京市海淀区北蜂窝路乙 29 号,邮政编码:100038),供今后修订时参考。

本规范由国家铁路局科技与法制司负责解释。

主编单位:中铁第一勘察设计院集团有限公司。

参编单位:中国铁道科学研究院、中铁二院工程集团有限公司、铁道第三勘察设计院集团有限公司、中铁第四勘察设计院集团有限公司。

主要起草人:薛增利、王应铭、张宗堂、杨常所、王向阳、姚宏乐、王仲锦、罗一农、吴连海、周宏元、胡三喜、葛建军、田士军、曹元平、朱莹、庞应刚、姚洪锡、朱树念、刘会娟、张劲松、王金艳。

主要审查人:李海光、顾湘生、曾会欣、刘燕、彭泽仁、周诗广、刘珣、余雷、詹志雄、尤昌龙、张千里、李响、李成、李安洪、姚裕春、崔维孝、赵新益、曾长贤、郭绍影、杜文山、钱国玉、田杨、杨鹏健、胡建、吴波、何贤军、唐红、罗强。

本规范的历次版本发布情况:《铁路路基设计规范》TBJ 1—85; TB 10001—99; TB 10001—2005。

目 次

1 总 则 1

2 术语和符号 3

 2.1 术 语 3

 2.2 符 号 6

3 基本规定 8

 3.1 路肩高程 8

 3.2 路基面形状和宽度 9

 3.3 路基稳定及沉降控制标准 18

 3.4 变形观测与评估 24

 3.5 设计使用年限 25

4 设计荷载 26

 4.1 一般规定 26

 4.2 主 力 28

 4.3 附 加 力 35

 4.4 特 殊 力 35

5 工程材料 36

 5.1 一般规定 36

 5.2 填 料 36

 5.3 石 料 42

 5.4 混 凝 土 43

 5.5 水泥砂浆 44

 5.6 钢 材 45

- 5.7 土工合成材料 46
- 6 基 床 50
 - 6.1 一般规定 50
 - 6.2 基床结构 50
 - 6.3 路堤基床 51
 - 6.4 路堑基床 53
 - 6.5 基床压实标准 53
 - 6.6 基床处理措施 56
- 7 路 堤 57
 - 7.1 一般规定 57
 - 7.2 填料及填筑要求 57
 - 7.3 压实标准 58
 - 7.4 边坡形式和坡率 60
- 8 路 堑 61
 - 8.1 一般规定 61
 - 8.2 土质路堑 61
 - 8.3 岩石路堑 62
- 9 过 渡 段 64
 - 9.1 一般规定 64
 - 9.2 路基与桥台过渡段 64
 - 9.3 路基与横向结构物过渡段 67
 - 9.4 路堤与路堑过渡段 68
 - 9.5 路堑与隧道过渡段 69
- 10 地基处理 70
 - 10.1 一般规定 70
 - 10.2 主要技术要求 70
 - 10.3 常用措施 72

- 11 支挡结构 74
 - 11.1 一般规定 74
 - 11.2 主要设计原则 75
 - 11.3 常用支挡结构类型及适用范围 76
- 12 路基防护 78
 - 12.1 一般规定 78
 - 12.2 植物防护 78
 - 12.3 骨架护坡 79
 - 12.4 实体护坡(墙) 79
 - 12.5 孔窗式护坡(墙) 80
 - 12.6 锚杆框架梁护坡 81
 - 12.7 喷射混凝土(砂浆)护坡 81
 - 12.8 石笼防护 82
 - 12.9 防护网 82
 - 12.10 土工合成材料防护 82
 - 12.11 风沙及雪害地区路基平面防护 84
 - 12.12 路基保温防护 85
- 13 路基防排水 87
 - 13.1 一般规定 87
 - 13.2 地面水 88
 - 13.3 地下水 91
- 14 改建既有线与增建第二线铁路路基 95
 - 14.1 一般规定 95
 - 14.2 改建既有线路基 96
 - 14.3 增建第二线路基 98
 - 14.4 既有结构物的改造、加固和利用 99
- 15 取(弃)土场及土石方调配 101

15.1 一般规定 101

15.2 取土场 101

15.3 弃土场(堆) 102

15.4 取(弃)土场复垦与防护 102

15.5 土石方调配 103

16 路基接口设计 104

16.1 一般规定 104

16.2 安全防护设施 104

16.3 电 缆 槽 105

16.4 其 他 105

附录 A 普通填料组别分类 106

附录 B 改良土设计及试验要求 116

B.1 一般规定 116

B.2 填料勘察、试验 117

B.3 改良土设计技术指标 118

B.4 改良土设计方案 119

附录 C 钢材型号、混凝土等级及强度 122

附录 D 常用地基处理方法及措施适用条件表 125

附录 E 路基边坡绿色防护 127

附录 F 路基防排水设计用图表 129

本规范用词说明 135

《铁路路基设计规范》条文说明 136

1 总 则

1.0.1 为统一铁路路基设计技术标准,使路基设计符合安全可靠、技术先进、经济合理的要求,制定本规范。

1.0.2 本规范适用于高速铁路、城际铁路、客货共线Ⅰ级和Ⅱ级铁路、重载铁路的标准轨距路基设计。

1.0.3 路基工程应按土工结构物进行设计,确保其满足强度、稳定性和耐久性的要求,并符合环境保护、水土保持、文物保护等的相关要求。

1.0.4 路基工程应通过地质调绘、综合勘探、试验和分析,查明路基基底、路堑边坡、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。

1.0.5 路基工程设计宜避免高填、深挖、长路堑,绕避不良地质条件的地段。在进行路基与桥梁、隧道工程比选工作中,应从技术条件、施工条件、占用土地、可能造成的环境和社会影响、城镇建设规划、建设投资与运营养护费用等方面综合分析,确定工程类型。

1.0.6 铁路列车荷载应根据铁路运输特征、移动装备情况、设计速度等确定,高速铁路宜采用 ZK 荷载图式、城际铁路宜采用 ZC 荷载图式、客货共线铁路宜采用 ZKH 荷载图式、重载铁路宜采用 ZH 荷载图式。客货共线铁路货运特征达到重载铁路标准时,应采用 ZH 荷载图式。

1.0.7 路基工程设计应根据铁路等级、路基结构等因素,因地制宜、合理选用工程材料,并应符合路基工程的应用条件和使用要求。路基填料应作为工程材料进行勘察设计,合理确定土石方调配方案。

1.0.8 路基工程设计应考虑路基与桥梁、横向结构物、隧道等工

程及路基不同结构之间的衔接过渡。

1.0.9 路基工程的地基处理措施应根据铁路等级、地质条件、环境要求、路堤高度、填料、建设工期等确定,并应满足路基稳定和工后沉降等要求。

1.0.10 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。

1.0.11 路基工程应有完整、系统、通畅的排水设施,并与铁路桥涵、隧道、站场及地方排水系统合理衔接。

1.0.12 路基上设置的接触网支柱基础、声屏障基础、电缆槽、过轨管线及综合接地等结构,应与路基工程同步设计、协调施工,保证路基的完整性、稳定性。

1.0.13 路基工程应推广采用安全可靠的新技术、新结构、新材料和新工艺。

1.0.14 路基用地应符合国家建设用地政策和有关规定,贯彻节约用地的原则,满足路基稳定、排水设施及防护栅栏设置等要求。

1.0.15 铁路路基设计除应符合本规范外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 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。

2.1.2 路堤 embankment

在地面上用土、石填筑的路基。

2.1.3 路堑 cutting

自地面向下开挖的路基。

2.1.4 路肩 subgrade shoulder

路基面两侧无道床覆盖的部分。

2.1.5 路肩高程 elevation of subgrade shoulder

路肩外缘的高程。

2.1.6 路基面宽度 width of formation surface

路基面两侧路肩外缘之间的水平距离。

2.1.7 基床 subgrade bed

路肩高程以下、受列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。

2.1.8 横向结构物 lateral structure

横穿铁路路基的涵洞、框架桥、刚架桥(刚构桥)等结构物的总称。

2.1.9 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。

2.1.10 路基工后沉降 post-construction settlement of subgrade
铺轨工程完成后路基的沉降量。

2.1.11 沉降评估 settlement evaluation

根据沉降观测数据,结合地质条件、地基处理措施,综合分析评价路基沉降是否满足要求的过程。

2.1.12 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。

2.1.13 地基系数 K_{30} foundation deformation coefficient K_{30}

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

2.1.14 原土料 original soil

在取土场开采的或在路堑、隧道直接挖出的,未经加工的土料。

2.1.15 普通填料 ordinary filler

颗粒级配及技术性能满足填料要求可直接填筑的原土料,或经简单筛分、拌和后能满足填筑要求的原土料。

2.1.16 改良土 improved soil

通过在原土料中掺入砂、砾石、碎石或石灰、水泥、粉煤灰等材料以提高其工程特性的混合料。

2.1.17 物理改良土 physical improved soil

原土料经过破碎、筛分或掺入砂、砾(碎)石等材料并拌和均匀,以改变填料的颗粒级配、改善工程性能的混合土料。

2.1.18 化学改良土 chemically-improved soil

通过在原土料中掺入石灰、水泥、矿物掺合料等材料改变填料的化学成分,以改善其工程性能的混合料。

2.1.19 级配碎石 graded crushed stone

不同粒径的碎石、砾石集料和石屑按一定比例配制的混合料,其颗粒组成、材质符合规定的要求。

2.1.20 渗水土 permeable soil

细粒土含量小于10%、渗透系数大于 1×10^{-5} m/s的巨粒土、粗粒土(细砂除外)。

2.1.21 土工合成材料 geosynthetics

用于土木工程的以合成聚合物为原料的各类材料的总称。

2.1.22 最优含水率 optimum moisture content

击实试验所得的干密度与含水率关系曲线上峰值点对应的含水率。

2.1.23 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。

2.1.24 散体材料桩复合地基 granular column composite foundation

以砂桩、砂石桩和碎石桩等散体材料桩作为竖向增强体的复合地基。

2.1.25 柔性桩复合地基 flexible pile composite foundation

以柔性桩作为竖向增强体的复合地基。

2.1.26 刚性桩复合地基 rigid pile composite foundation

以摩擦型刚性桩作为竖向增强体的复合地基。

2.1.27 支挡结构 retaining structure

支承侧向土压力或抵御土体滑动的结构物。

2.1.28 边坡稳定系数 stability factor of slope

边坡稳定性分析中,土体沿某一滑动面的抗滑力(矩)和滑动力(矩)之比值。

2.1.29 护坡 revetment; slope protection

为防止路基边坡(缓于1:1.0)坡面风化、剥落、溜坍、冲刷而设的防护工程。

2.1.30 护墙 protecting wall

为防止路堑边坡[(1:0.5)~(1:1.0)]坡面风化、剥落、溜坍、冲蚀,但不承受土压力的防护结构。

2.1.31 植物防护 plant protection

利用灌木、乔木或草等植物的叶、茎和根系与被保护土共同作用,达到稳固土体、保持水土及改善环境的目的。

2.1.32 侧沟 side drain

紧靠路堑的路肩外侧,用以排除路基面及堑坡水的明沟。

2.1.33 天沟 overhead ditch

设于堑顶外,排除地面水、山坡水的明沟。

2.1.34 排水沟 drainage ditch

设于路堤坡脚外,排除地面水、山坡水的明沟。

2.1.35 截水沟 intercepting ditch

设于路堑边坡平台上,截排上部边坡水的明沟。

2.1.36 渗沟 blind drain

用以降低、截引地下水的渗水暗沟。

2.2 符 号

C_c ——曲率系数

C_u ——不均匀系数

d_{85} ——较细一层土的颗粒粒径,小于该粒径的土重占总土重的 85%

D_{15} ——较粗一层土的颗粒粒径,小于该粒径的土重占总土重的 15%

K ——重型击实试验压实系数

E_{vd} ——动态变形模量

σ_0 ——基本承载力

R_c ——饱和单轴抗压强度

I_p ——塑性指数

ω_L ——液限含水率,简称液限

M10——立方体试块 28 d 龄期的极限抗压强度标准值为 10 MPa 的水泥砂浆强度等级

MU20——立方体试块在饱和湿度条件下、极限抗压强度标准值为 20 MPa 的石料强度等级

C30——立方体抗压强度标准值为 30 MPa 的混凝土强度等级

HRB400——强度级别为 400 MPa 的普通热轧带肋钢筋

3 基本规定

3.1 路肩高程

3.1.1 路肩高程受洪水位或潮水位控制时,设计洪水位或设计潮水位应按下列规定确定:

1 设计洪水频率标准应采用 1/100。观测洪水(含调查洪水)频率小于设计洪水频率时,应按观测洪水频率设计;观测洪水频率小于 1/300 时,应按 1/300 频率设计。

2 滨海路堤的设计潮水位,应采用重现期为 100 年一遇的高潮位。滨海路堤兼作水运码头时,还应按水运码头设计要求确定设计最低潮位。

3 在淤积严重或有特殊要求的水库地段,应在可行性研究阶段确定洪水频率标准。

4 改建既有线与增建第二线的洪水频率,应根据多年运营和水害情况在可行性研究阶段确定。

3.1.2 滨河、河滩路堤的路肩高程应大于设计洪水位、壅水高(包括河道卡口或建筑物造成的壅水、河湾水面超高)、波浪侵袭高或斜水流局部冲高、河床淤积影响高度、安全高度等之和。其中波浪侵袭高与斜水流局部冲高应取二者中之大值。

3.1.3 水库路基的路肩高程,应大于设计水位、波浪侵袭高、壅水高(包括水库回水及边岸壅水)、安全高度等之和。当按规定洪水频率计算的设计水位低于水库正常高水位时,应采用水库正常高水位作为设计水位。

3.1.4 滨海路堤,当顶部未设防浪胸墙时,其路肩高程应大于设计高潮水位、波浪侵袭高(波浪爬高)、安全高度等之和;当设有防

浪胸墙时,路肩高程应大于设计高潮位与安全高度之和。

3.1.5 地下水水位或地面积水水位较高地段的路基,其路肩高程应大于最高地下水水位或最高地面积水水位、毛细水强烈上升高度、安全高度等之和。

3.1.6 季节性冻土地区路基的路肩高程应大于冻前地下水水位或冻前地面积水水位、毛细水强烈上升高度、有害冻胀深度、安全高度等之和。

3.1.7 盐渍土路基的路肩高程应大于最高地下水水位或最高地面积水水位、毛细水强烈上升高度、蒸发强烈影响深度、安全高度等之和。当盐渍土路基存在季节性冻害时,应按本规范第 3.1.6 条和本条的规定分别计算路肩高程,取二者中之大值。

3.1.8 当路基采取降低水位、设置毛细水隔断层等措施时,路肩高程可不受本规范第 3.1.5 条~3.1.7 条规定的限制。

3.1.9 本规范第 3.1.2 条~3.1.7 条中安全高度宜取 0.5 m。

3.2 路基面形状和宽度

3.2.1 路基面形状设置应符合下列规定:

1 有砟轨道路基面形状应设计为三角形,两侧横向排水坡不宜小于 4%。

2 无砟轨道支承层(或底座)底部范围内路基面可水平设置,支承层(或底座)外侧路基面应设置不小于 4%的横向排水坡。

3.2.2 有砟轨道两侧路肩宽度应根据设计速度、边坡稳定、养护维修、路肩上设备设置要求等条件综合确定,并符合下列规定:

1 客货共线设计速度 200 km/h 铁路不应小于 1.0 m、设计速度 200 km/h 以下铁路不应小于 0.8 m。

2 高速铁路双线不应小于 1.4 m,单线不应小于 1.5 m。

3 城际铁路不应小于 0.8 m。

4 重载铁路路堤不应小于 1.0 m,路堑不应小于 0.8 m。

3.2.3 区间路基面宽度应根据设计速度、轨道类型、正线数目、线

3.2.4 客货共线非电气化铁路直线地段标准路基面宽度应按下列方法计算确定。

$$B = A + 2x + 2c \quad (3.2.4-1)$$

$$x = \frac{h + \left(\frac{A}{2} - \frac{1.435 + g}{2} \right) \times 0.04 + e}{\frac{1}{m} - 0.04} \quad (3.2.4-2)$$

x ——砵肩至砵脚的水平距离(m)。

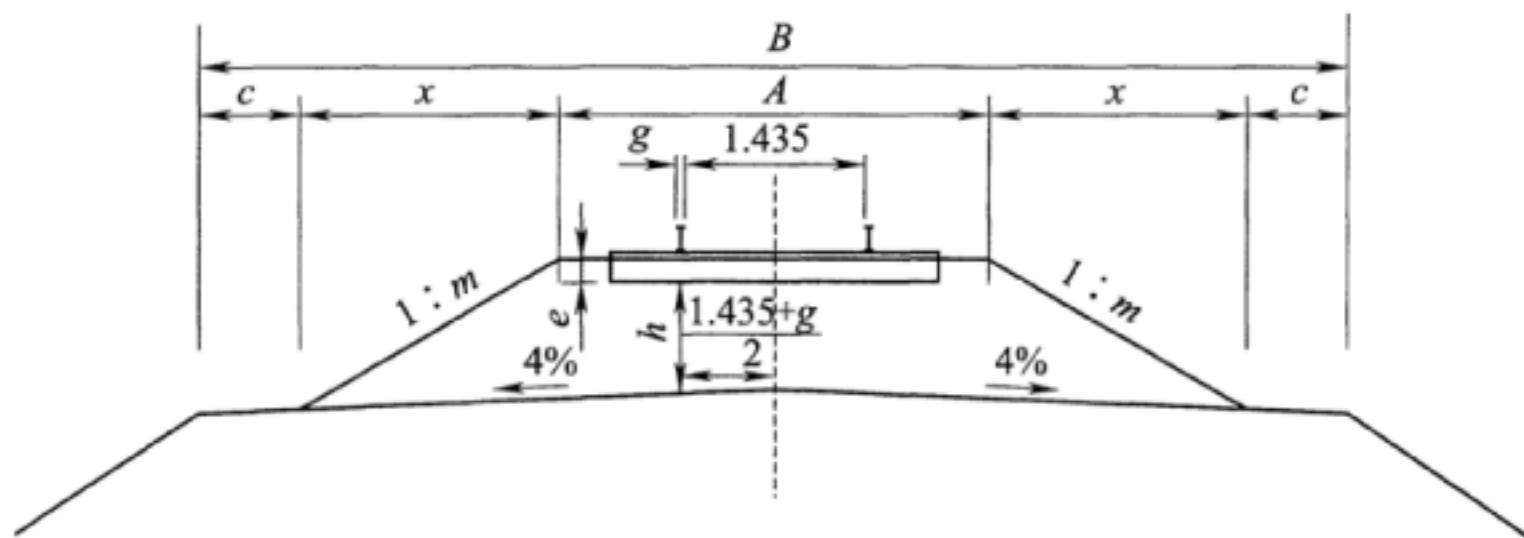


图 3.2.4—1 非电气化单线铁路直线地段标准横断面示意图

2 双线标准路基面宽度应按式(3.2.4—3)、式(3.2.4—4)计算,如图 3.2.4—2 所示。

$$B=2\left(c+x+\frac{A}{2}\right)+D \quad (3.2.4-3)$$

$$x=\frac{h+\left(\frac{A}{2}+\frac{1.435+g}{2}\right) \times 0.04+e}{\frac{1}{m}-0.04} \quad (3.2.4-4)$$

式中 D ——双线线间距(m);
 h ——靠近路基面中心侧的钢轨中心处轨枕底以下的道床厚度(m)。

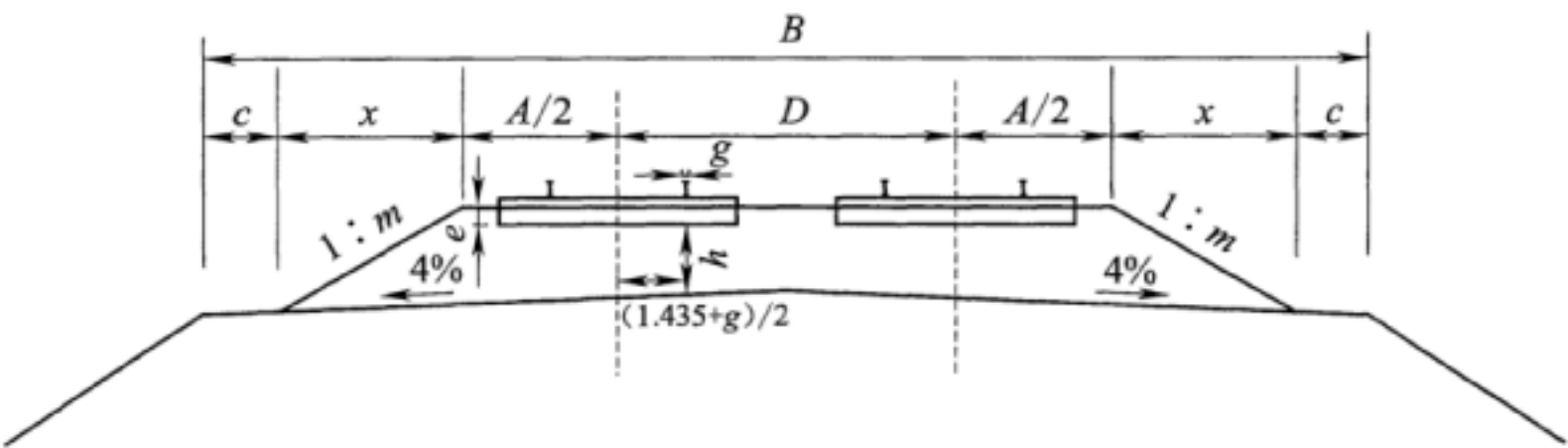


图 3.2.4—2 非电气化双线铁路直线地段标准横断面示意图

3 常用客货共线非电气化铁路直线地段标准路基面宽度可按表 3.2.4 取值。

表 3.2.4 客货共线非电气化铁路直线地段标准路基面宽度

项目	单位	Ⅰ级铁路								Ⅱ级铁路	
设计速度	km/h	200		160			120			≤120	
双线线间距	m	4.4		4.2			4.0			4.0	
单线道床顶面宽度	m	3.5		3.4			3.4			3.4	
道床结构	层	单		双	单		双	单		双	单
道床厚度	m	0.35	0.30	0.50	0.35	0.30	0.50	0.35	0.30	0.45	0.30

续表 3.2.4

项目		单位	Ⅰ级铁路								Ⅱ级铁路	
路基面 宽度	单线	m	7.7	7.5	7.8	7.2	7.0	7.8	7.2	7.0	7.5	7.0
	双线	m	12.3	12.1	12.2	11.6	11.4	12.0	11.4	11.2	11.7	11.2

注：表中路基面宽度按下列条件计算确定，如有变化，应计算调整路基面宽度：

- (1)无缝线路轨道、60 kg/m 钢轨。
- (2)Ⅰ级铁路采用Ⅲ型混凝土枕，Ⅱ级铁路采用新Ⅱ型混凝土枕。

3.2.5 客货共线电气化铁路直线地段标准路基面宽度应按式(3.2.5)、图 3.2.5 计算确定，当计算值小于非电气化铁路路基面宽度时，按非电气化铁路路基面宽度采用。常用电气化铁路直线地段标准路基面宽度可按表 3.2.5—1 取值；高速铁路、城际铁路、重载铁路标准路基面宽度可分别按表 3.2.5—2～表 3.2.5—4 取值。

$$B = 2(D_1 + \frac{E}{2} + \frac{F}{2} + 0.25) + D \tag{3.2.5}$$

式中 D_1 ——路基面处接触网支柱内侧至线路中心的距离(m)；
 E ——接触网支柱在路基面处的宽度(m)；
 F ——接触网支柱基础在路基面处的宽度(m)；
 D ——双线线间距(m)。

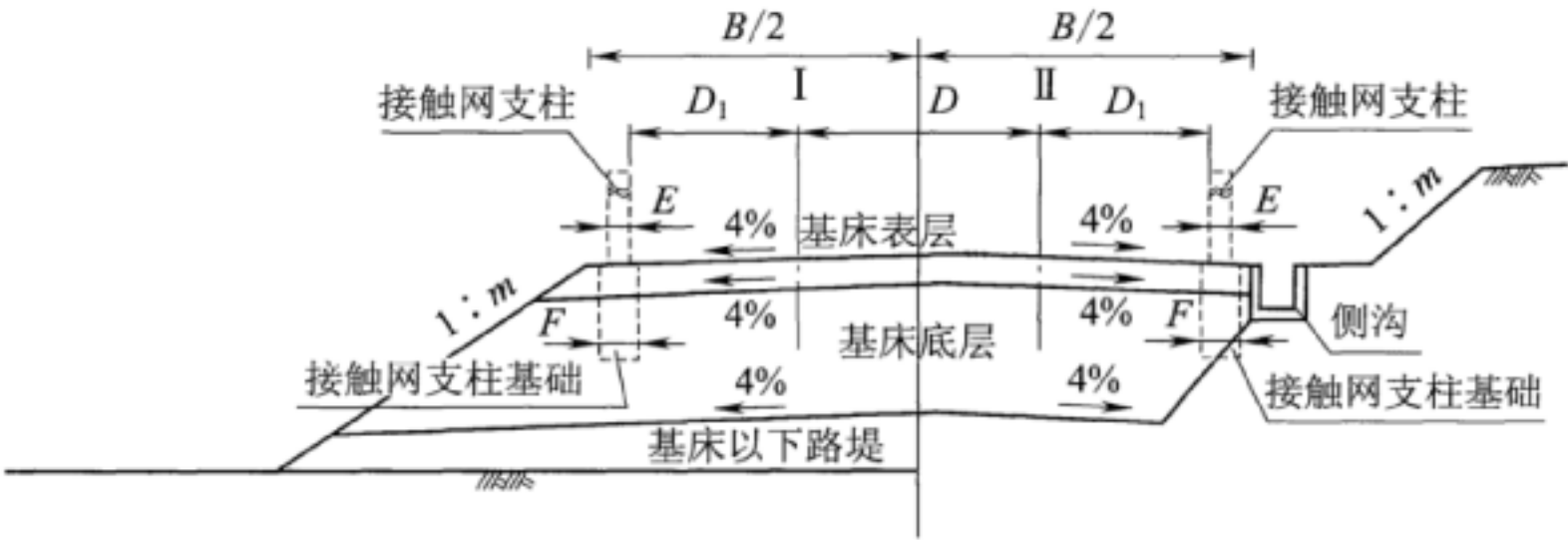


图 3.2.5 电气化铁路直线地段标准横断面示意图

表 3.2.5—1 客货共线电气化铁路直线地段标准路基面宽度

项目		单位	Ⅰ 级铁路								Ⅱ 级铁路	
设计速度		km/h	200		160			120			≤120	
双线线间距		m	4.4		4.2			4.0			4.0	
单线道床 顶面宽度		m	3.5		3.4			3.4			3.4	
道床结构		层	单		双	单		双	单		双	单
道床厚度		m	0.35	0.30	0.50	0.35	0.30	0.50	0.35	0.30	0.45	0.30
路基面 宽度	单线	m	8.1 (7.7)	8.1 (7.7)	8.1 (7.8)	8.1 (7.7)	8.1 (7.7)	8.1 (7.8)	8.1 (7.7)	8.1 (7.7)	8.1 (7.7)	8.1 (7.7)
	双线	m	12.5 (12.3)	12.5 (12.1)	12.3 (12.2)	12.3 (11.9)	12.3 (11.9)	12.1 (12.0)	12.1 (11.7)	12.1 (11.7)	12.1 (11.8)	12.1 (11.7)

注：1 表中路基面宽度按下列条件计算确定，如有变化，应计算调整路基面宽度：

(1)路基面处接触网支柱内侧至线路中心的距离为 3.1 m。

(2)无缝线路轨道、60 kg/m 钢轨。

(3) I 级铁路采用Ⅲ型混凝土枕，II 级铁路采用新Ⅱ型混凝土枕。

2 括号外为采用横腹杆式接触网支柱时路基面宽度，括号内为采用环形等径支柱时路基面宽度。

表 3.2.5—2 高速铁路标准路基面宽度

项 目		单位	有砟轨道			无砟轨道		
设计速度		km/h	350	300	250	350	300	250
双线线间距		m	5.0	4.8	4.6	5.0	4.8	4.6
道床厚度		m	0.35	0.35	0.35	—	—	—
路基面宽度	单线	m	8.8	8.8	8.8	8.6	8.6	8.6
	双线	m	13.8	13.6	13.4	13.6	13.4	13.2

注：表中路基面宽度计算时按路肩设电缆槽考虑，如有变化，应计算调整路基面宽度。

表 3.2.5—3 城际铁路直线地段标准路基面宽度

项 目			单位	有砟轨道						无砟轨道		
设计速度			km/h	200		160		120		200	160	120
双线线间距			m	4.2		4.0		4.0		4.2	4.0	4.0
道床结构			层	单		单	双	单	双	—	—	—
道床厚度			m	0.30	0.35	0.30	0.50	0.30	0.45	—	—	—
路基面宽度	单线	路肩上不设电缆槽	m	7.3	7.3	7.3	7.8	7.3	7.6	6.1	6.1	6.1
		路肩上设电缆槽	m	7.3	7.3	7.3	7.8	7.3	7.6	6.1	6.1	6.1
	双线	路肩上不设电缆槽	m	11.5	11.7	11.3	12.0	11.3	11.8	10.3	10.1	10.1
		路肩上设电缆槽	m	13.0	13.0	12.8	12.8	12.8	12.8	11.8	11.6	11.6

注：表中数值是按路基面处接触网支柱内侧至线路中心的距离有砟轨道为 3.1 m、无砟轨道为 2.5 m 计算的，如有变化时，应计算调整路基面宽度。

表 3.2.5—4 重载铁路直线地段标准路基面宽度

项 目			单位	有砟轨道			
双线线间距			m	4.0			
道床结构			层	单		双	
道床厚度			m	0.35	0.30	0.55	0.50
路基面宽度	单线	路堤	m	8.1	8.1	8.5	8.3
		路堑	m	8.1	8.1	8.1	8.1
	双线	路堤	m	12.1	12.1	12.7	12.5
		路堑	m	12.1	12.1	12.3	12.1

注：表中数值是按路基面处接触网支柱内侧至线路中心的距离为 3.1 m 计算的，如有变化时，应计算调整路基面宽度。

3.2.6 客货共线电气化铁路路基面设置电缆槽时，路基面宽度应符合下列规定：

1 单线铁路路基电缆槽与接触网支柱宜分侧设置,如图 3.2.6—1所示。

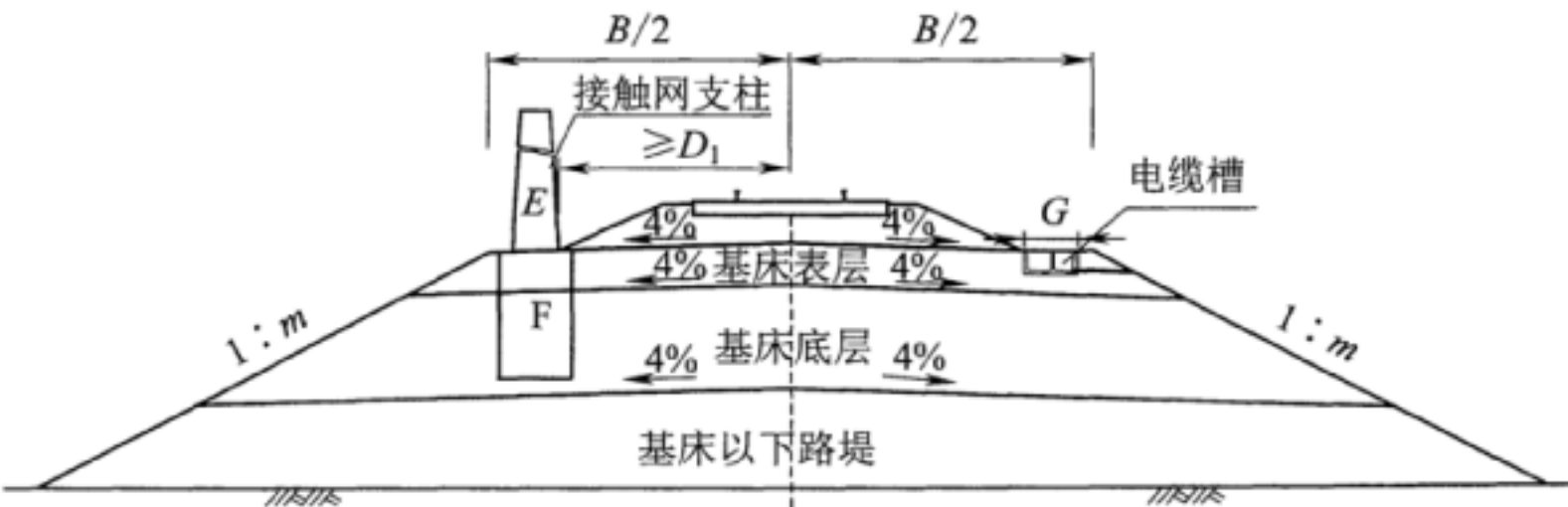


图 3.2.6—1 电气化单线铁路设置电缆槽标准横断面示意图

2 双线铁路路堑电缆槽宜设置于侧沟平台,路基面宽度按本规范第 3.2.5 条确定。

3 双线铁路路堤电缆槽设置于路肩,路基面宽度应根据电缆槽尺寸及与接触网支柱的位置关系,按式(3.2.6)计算确定,如图 3.2.6—2所示。

$$B = 2\left(D_1 + \frac{E}{2} + \frac{F}{2} + 0.02 + G\right) + D \tag{3.2.6}$$

式中 G——电缆槽结构宽度(m)。

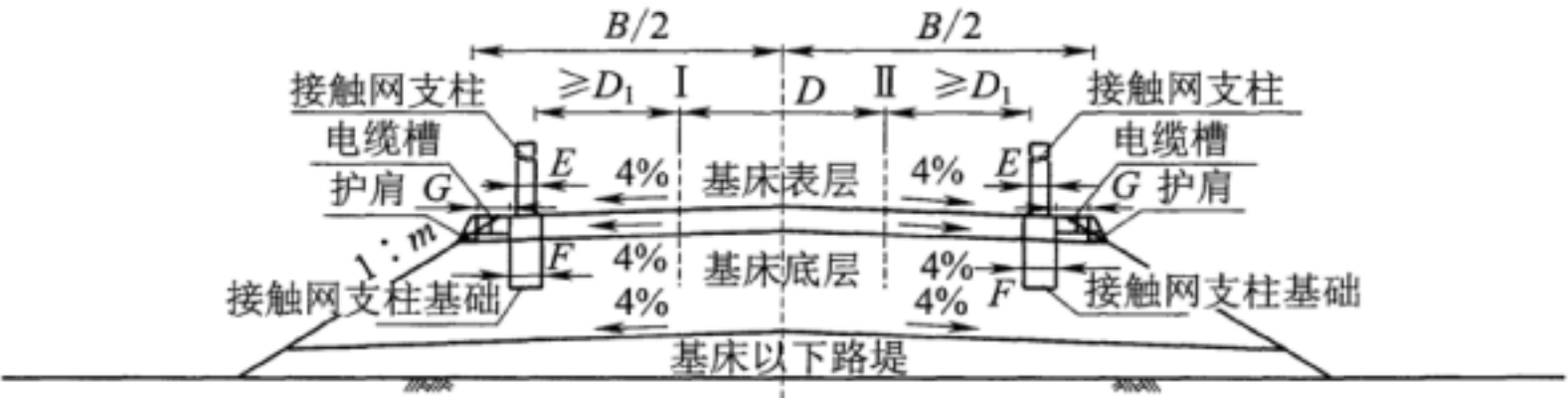


图 3.2.6—2 电气化双线铁路设置电缆槽标准横断面示意图

3.2.7 客货共线铁路区间单、双线曲线地段的路基面宽度,应在本规范第 3.2.4 条、第 3.2.5 条规定基础上在曲线外侧按表 3.2.7—1的数值加宽;有砟轨道高速铁路、有砟轨道城际铁路、

重载铁路区间单、双线曲线地段的路基面宽度,应在本规范表 3.2.5—2~表 3.2.5—4 基础上在曲线外侧按表 3.2.7—2~表 3.2.7—4 的数值加宽,加宽值应在缓和曲线范围内线性递减。

表 3.2.7—1 客货共线铁路曲线地段路基面加宽值

铁路等级	设计速度(km/h)	曲线半径 R (m)	路基面外侧加宽值(m)
Ⅰ 级铁路	200	$2\,800 \leq R < 3\,500$	0.4
		$3\,500 \leq R \leq 6\,000$	0.3
		$R > 6\,000$	0.2
	160	$1\,600 \leq R \leq 2\,000$	0.4
		$2\,000 < R < 3\,000$	0.3
		$3\,000 \leq R < 10\,000$	0.2
		$R \geq 10\,000$	0.1
	120	$800 \leq R < 1\,200$	0.4
		$1\,200 \leq R < 1\,600$	0.3
		$1\,600 \leq R < 5\,000$	0.2
		$R \geq 5\,000$	0.1
Ⅱ 级铁路	120	$800 \leq R < 1\,200$	0.4
		$1\,200 \leq R < 1\,600$	0.3
		$1\,600 \leq R < 5\,000$	0.2
		$R \geq 5\,000$	0.1

表 3.2.7—2 有砟轨道高速铁路曲线地段路基面加宽值

设计速度(km/h)	曲线半径 R (m)	路基面外侧加宽值(m)
250	$R < 4\,000$	0.6
	$4\,000 \leq R < 5\,000$	0.5
	$5\,000 \leq R < 7\,000$	0.4
	$7\,000 \leq R < 10\,000$	0.3
	$R \geq 10\,000$	0.2

续表 3.2.7—2

设计速度(km/h)	曲线半径 R (m)	路基面外侧加宽值(m)
300	$R < 5\,000$	0.6
	$5\,000 \leq R < 7\,000$	0.5
	$7\,000 \leq R < 9\,000$	0.4
	$9\,000 \leq R < 14\,000$	0.3
	$R \geq 14\,000$	0.2
350	$R < 6\,000$	0.6
	$6\,000 \leq R < 9\,000$	0.5
	$9\,000 \leq R < 12\,000$	0.4
	$R \geq 12\,000$	0.3

表 3.2.7—3 有砟轨道城际铁路曲线地段路基面加宽值

设计速度(km/h)	曲线半径 R (m)	路基面外侧加宽值(m)
200	$R < 3\,100$	0.5
	$3\,100 \leq R < 4\,000$	0.4
	$4\,000 \leq R < 6\,000$	0.3
	$6\,000 \leq R < 10\,000$	0.2
	$R \geq 10\,000$	0.1
160	$R < 1\,900$	0.5
	$1\,900 \leq R < 2\,700$	0.4
	$2\,700 \leq R < 3\,800$	0.3
	$3\,800 \leq R < 7\,500$	0.2
	$R \geq 7\,500$	0.1
120	$R < 1\,200$	0.5
	$1\,200 \leq R < 1\,500$	0.4
	$1\,500 \leq R < 2\,200$	0.3
	$2\,200 \leq R < 5\,000$	0.2
	$R \geq 5\,000$	0.1

表 3.2.7—4 重载铁路曲线地段路基面加宽值

曲线半径 $R(\text{m})$	路基面外侧加宽值 (m)
$600 \leq R < 800$	0.5
$800 \leq R < 1\,200$	0.4
$1\,200 \leq R < 1\,600$	0.3
$1\,600 \leq R < 5\,000$	0.2
$R \geq 5\,000$	0.1

3.2.8 不同基床结构衔接时,应设长度不小于 10 m 的渐变段。

3.3 路基稳定及沉降控制标准

3.3.1 边坡稳定性应根据边坡类型和可能的破坏形式,采用圆弧滑动法、平面滑动法或折线滑动法等适宜的计算方法分析。当边坡破坏机制复杂时,宜结合数值分析法进行分析。

3.3.2 黏性土边坡和较大规模的破碎结构岩质边坡宜采用圆弧滑动法按式(3.3.2—1)~式(3.3.2—4)和图 3.3.2 计算边坡稳定性系数。

$$K_s = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{\sum_{i=1}^n T_i} \tag{3.3.2—1}$$

$$R_i = N_i \tan \varphi_i + c_i l_i \tag{3.3.2—2}$$

$$T_i = (G_i + G_{bi}) \sin \theta_i + P_{wi} \cos(\alpha_i - \theta_i) \tag{3.3.2—3}$$

$$N_i = (G_i + G_{bi}) \cos \theta_i + P_{wi} \sin(\alpha_i - \theta_i) \tag{3.3.2—4}$$

式中 K_s ——边坡稳定性系数;
 R_i ——第 i 计算条块在滑动面上的抗滑力(kN/m);
 T_i ——第 i 计算条块在滑动面上的下滑力(kN/m);
 N_i ——第 i 计算条块在滑动面法线上的下反力(kN/m);
 i ——计算条块号;

- n ——条块数量；
 φ_i ——第 i 计算条块滑面内摩擦角($^{\circ}$)；
 c_i ——第 i 计算条块滑面黏聚力(kPa)；
 l_i ——第 i 计算条块滑动面长度(m)；
 G_i ——第 i 计算条块单位宽度自重(kN/m)，地下水位以下砂土和粉土采用浮重度，黏性土采用饱和重度计算自重；
 G_{bi} ——第 i 计算条块单位宽度竖向附加荷载(kN/m)；
 θ_i ——第 i 计算条块滑面倾角($^{\circ}$)，滑面倾向与滑动方向相同时取正值，滑面倾向与滑动方向相反时取负值；
 P_{wi} ——第 i 计算条块单位宽度的渗透力(kN/m)；
 α_i ——第 i 计算条块地下水位面倾角($^{\circ}$)。

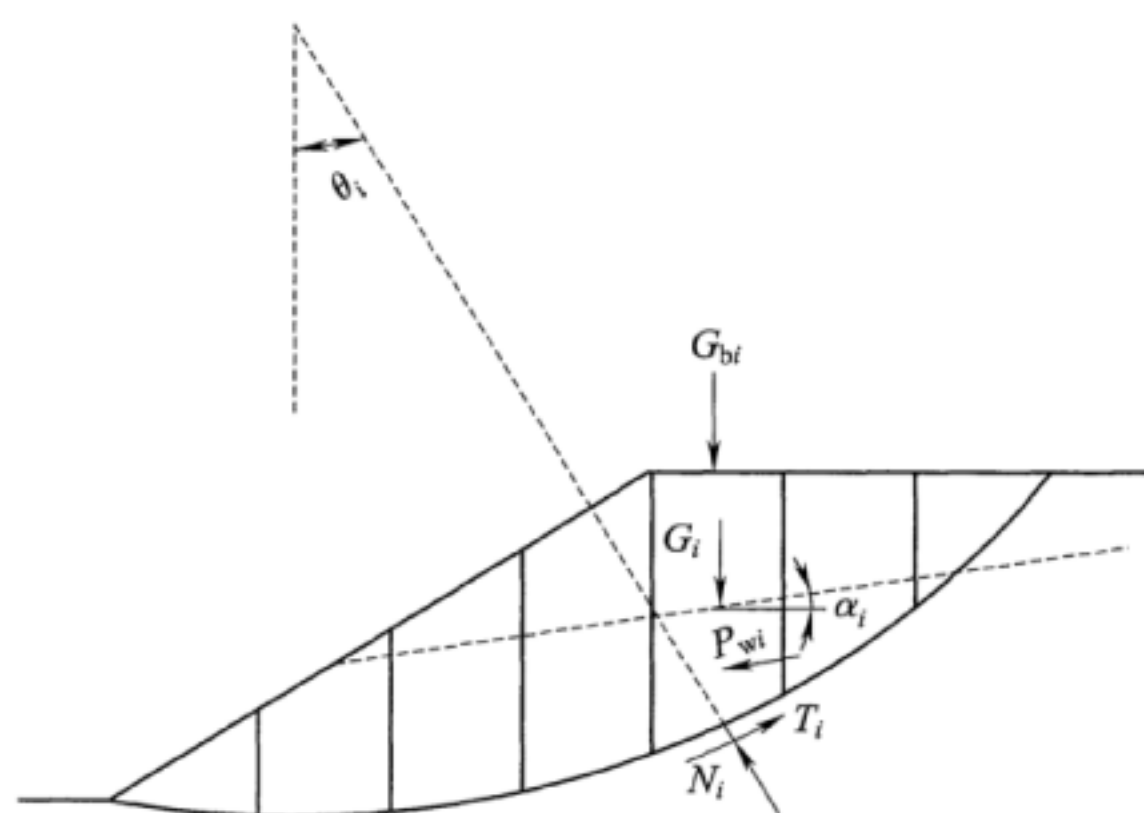


图 3.3.2 圆弧形滑面边坡计算示意图

3.3.3 对可能产生平面滑动的边坡宜采用平面滑动法按式(3.3.3—1)~式(3.3.3—5)和图 3.3.3 计算边坡稳定性系数。

$$K_s = \frac{R}{T} \quad (3.3.3-1)$$

$$R = [(G + G_b) \cos \theta - Q \sin \theta - V \sin \theta - U] \tan \varphi + cL \quad (3.3.3-2)$$

$$T = (G + G_b) \sin \theta + Q \cos \theta + V \cos \theta \quad (3.3.3-3)$$

$$V = \frac{1}{2} \gamma_w h_w^2 \quad (3.3.3-4)$$

$$U = \frac{1}{2} \gamma_w h_w L \quad (3.3.3-5)$$

式中 R ——滑体单位宽度重力及其他外力引起的抗滑力(kN/m);
 T ——滑体单位宽度重力及其他外力引起的下滑力(kN/m);
 G ——滑体单位宽度自重(kN/m), 地下水位以下砂土和粉土采用浮重度, 黏性土采用饱和重度计算自重;
 G_b ——滑体单位宽度竖向附加荷载(kN/m), 方向指向下方时取正值, 指向上方时取负值;
 θ ——滑面倾角($^\circ$);
 Q ——滑体单位宽度水平荷载(kN/m), 方向指向坡外时取正值, 指向坡内时取负值;
 V ——后缘陡倾裂隙面上的单位宽度总水压力(kN/m);
 U ——滑面单位宽度总水压力(kN/m);
 φ ——滑面的内摩擦角($^\circ$);
 c ——滑面的黏聚力(kPa);
 L ——滑面长度(m);
 γ_w ——水的重度, 取 10 kN/m^3 ;
 h_w ——后缘陡倾裂隙充水高度(m), 根据裂隙情况及汇水条件确定。

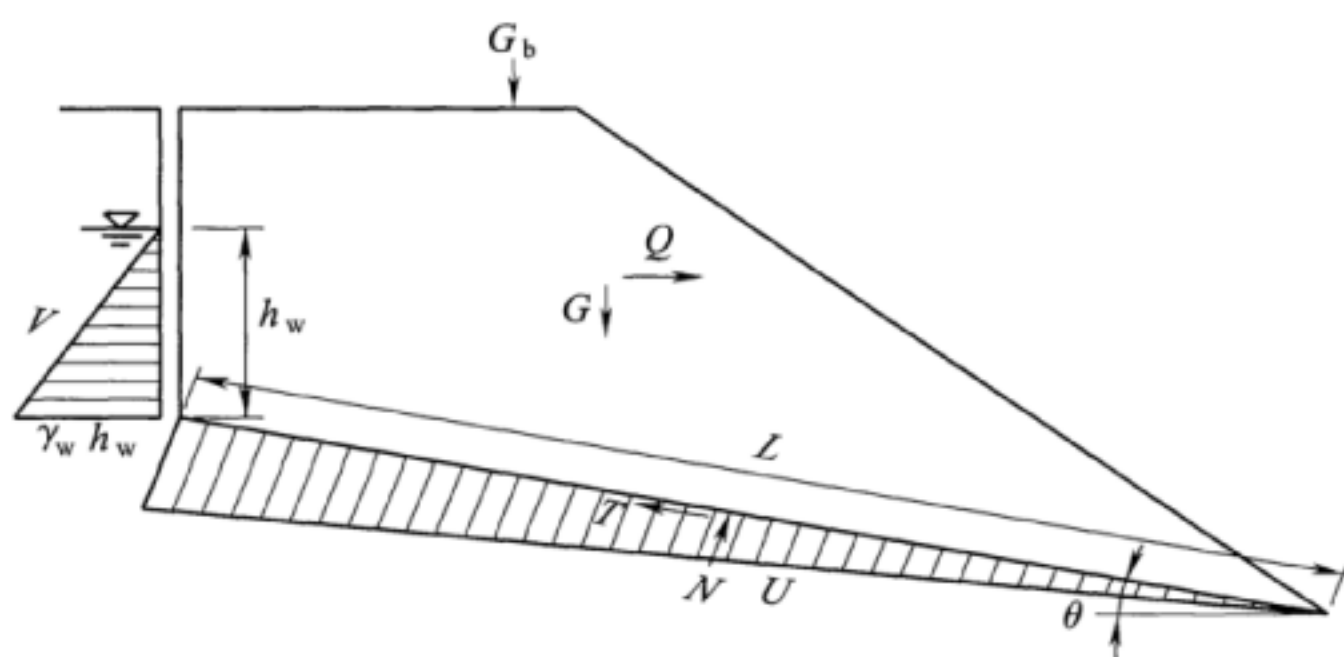


图 3.3.3 平面滑动面边坡计算简图

3.3.4 对可能产生折线滑动的边坡宜采用折线滑动法按式(3.3.4—1)~式(3.3.4—4)和图 3.3.4 计算边坡稳定性系数。

$$K_s = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} R_i \psi_i \psi_{i+1} \dots \psi_{n-1} + R_n}{\sum_{i=1}^{n-1} T_i \psi_i \psi_{i+1} \dots \psi_{n-1} + T_n} \quad (3.3.4-1)$$

$$R_i = c_i l_i + [(G_i + G_{bi}) \cos \theta_i - Q_i \sin \theta_i] \tan \varphi_i \quad (3.3.4-2)$$

$$T_i = (G_i + G_{bi}) \sin \theta_i + Q_i \cos \theta_i \quad (3.3.4-3)$$

$$\psi_i = \cos(\theta_i - \theta_{i+1}) - \sin(\theta_i - \theta_{i+1}) \tan \varphi_{i+1} \quad (3.3.4-4)$$

式中 R_i ——第 i 计算条块单位宽度重力及其他外力引起的抗滑力(kN/m);

T_i ——第 i 计算条块单位宽度重力及其他外力引起的下滑力(kN/m);

ψ_i ——第 i 计算条块对第 $i+1$ 计算条块的传力系数。

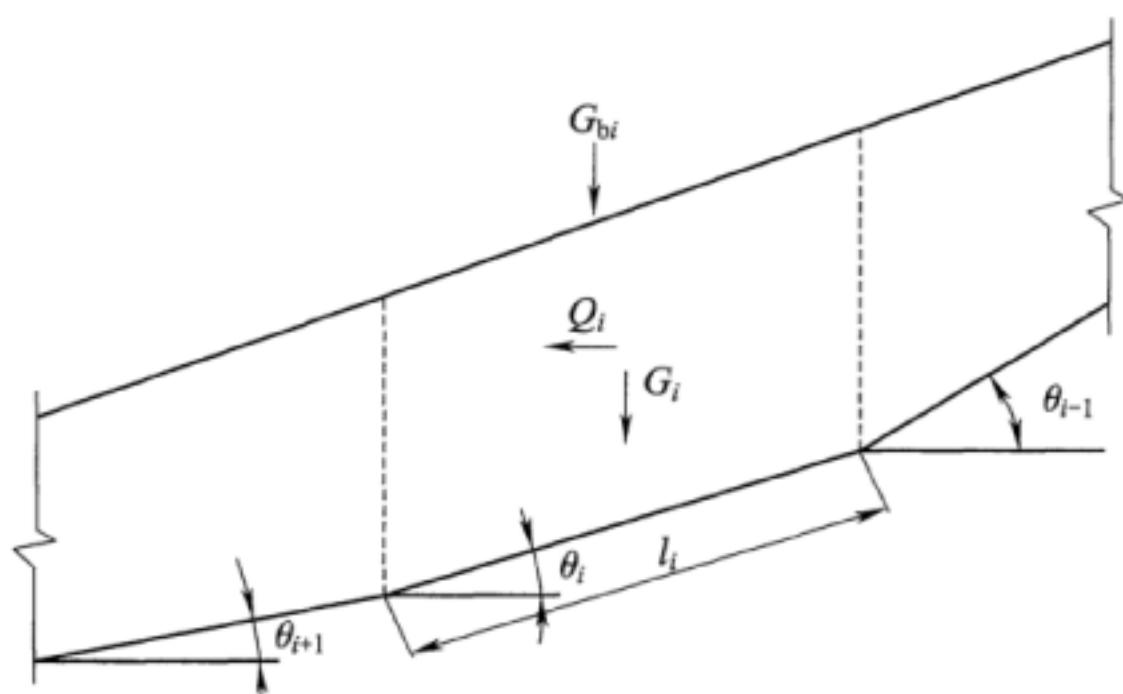


图 3.3.4 折线形滑面边坡传递系数法计算简图

3.3.5 路基边坡稳定分析计算时,最小稳定安全系数应符合下列规定:

1 永久边坡,一般工况边坡最小稳定安全系数应为 1.15~1.25;地震工况边坡最小稳定安全系数应为 1.10~1.15。

2 临时边坡,边坡稳定安全系数应不小于 1.05~1.10。

3.3.6 路基工后沉降应满足式(3.3.6—1)的要求,可按式(3.3.6—2)~式(3.3.6—4)计算确定:

$$S_r \leq C_d \quad (3.3.6-1)$$

$$S_r = S_{\text{有荷}} + S_D - S_T \quad (3.3.6-2)$$

$$S_D = CH \quad (3.3.6-3)$$

$$S_T = \eta S_{\text{无荷}} \quad (3.3.6-4)$$

式中 S_r ——工后沉降(m);

C_d ——工后沉降控制限值(m),按表 3.3.6 取值;

$S_{\text{有荷}}$ ——有荷状态下地基总沉降量(m),按本规范第 3.3.7 条、第 3.3.8 条计算确定;

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)(一般按无荷状态计算,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(m)；

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 3.3.7 条、第 3.3.8 条计算确定。

表 3.3.6 路基工后沉降控制限值 C_d

铁路类别				一般地段 工后沉降 (mm)	桥台台尾过渡段 工后沉降(差异 沉降)(mm)	沉降速率 (mm/年)
有砟轨道	客货共线 铁路	200 km/h		≤150	≤80	≤40
		200 km/h 以下	I 级	≤200	≤100	≤50
			Ⅱ 级	≤300	≤150	≤60
	高速铁路	300 km/h、350 km/h		≤50	≤30	≤20
		250 km/h		≤100	≤50	≤30
	城际铁路	200 km/h		≤150	≤80	≤40
		160 km/h、120 km/h		≤200	≤100	≤50
	重载铁路			≤200	≤100	≤50
无砟轨道				≤15	5	—

注：1 无砟轨道铁路不仅应满足差异沉降要求,还应满足不均匀沉降造成的折角不应大于 1/1 000 的规定。
2 无砟轨道路基沉降比较均匀且调整轨面高程后的竖曲线半径大于 $0.4v^2$ 时(v 为设计速度),工后沉降控制限值为 30 mm。

3.3.7 天然地基的总沉降量可按式(3.3.7—1)计算确定,采用排

水固结法处理后地基的总沉降量也可按式(3.3.7—2)计算。

$$S = m_s S_j \quad (3.3.7-1)$$

$$S = S_c + S_i + S_s \quad (3.3.7-2)$$

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_j ——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。

3.3.8 复合地基的总沉降量可按式(3.3.8)计算确定。

$$S = m_{js} S_1 + m_{xs} S_2 \quad (3.3.8)$$

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)。

3.3.9 地基沉降计算应符合下列规定：

1 高速铁路、无砟轨道铁路地基压缩层的计算深度按附加应力等于 0.1 倍的自重应力确定,其他铁路地基压缩层的计算深度按附加应力等于 0.2 倍的自重应力确定。

2 计算深度以下仍有软土层时,应继续增加计算深度。

3 双线路基沉降计算时,轨道荷载可按双线设计,列车荷载宜按单线设计。

3.4 变形观测与评估

3.4.1 高速铁路、无砟轨道铁路路基应进行沉降评估；重载铁路、

设计速度 200 km/h 及以下有砟轨道铁路在软土、湿陷性黄土等地段,宜进行路基沉降评估。

3.4.2 路基变形观测应以路基面沉降和地基沉降观测为主,软土地段路堤填筑期间尚应对路基坡脚水平位移进行观测,控制填筑速率,保证路基稳定。

3.4.3 变形观测断面及观测设施的布置应根据地形地质条件、地基处理方法、路基类型、路堤高度等因素结合施工工期综合确定,观测断面间距宜为 50 m~100 m。

3.4.4 变形观测方法和精度应满足不同等级铁路相关规范要求,路基施工开始后应进行连续观测,路基填筑完成或施加预压荷载后沉降观测时间不宜少于 6 个月。观测数据不足以评估或工后沉降评估不能符合要求时,应延长观测期,必要时可采取加速或控制沉降的措施。

3.4.5 路基沉降预测宜采用曲线回归法,曲线回归的相关系数及沉降预测的可靠性、精度要求等应符合相关规范的规定。

3.4.6 路基工后沉降的评估应结合路基各断面之间的相互关系以及相邻桥隧的沉降情况进行综合分析,路基的工后沉降以及各断面之间、路基与相邻桥隧之间的不均匀沉降应符合有关规范的要求。

3.5 设计使用年限

3.5.1 路基支挡及承载结构的设计使用年限应为 100 年。

3.5.2 路基防护结构及高速铁路、重载铁路、设计速度 200 km/h 的城际铁路和客货共线铁路的路基排水结构设计使用年限应为 60 年。

3.5.3 电缆槽、防护砌块、栏杆等可更换的小型构件及设计速度 200 km/h 以下城际铁路和客货共线铁路的路基排水结构设计使用年限应为 30 年。

4 设计荷载

4.1 一般规定

4.1.1 铁路路基结构上承受的荷载可根据作用的时间和出现的频率按表 4.1.1 进行分类。

表 4.1.1 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
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	地震力
	可变荷载	施工及临时荷载

- 注：1 常水位系指每年大部分时间保持的水位。
2 浸水挡土墙应从设计水位及以下选择最不利水位作为计算水位。
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。
4 冻胀力和冰压力，不与波浪压力同时计算。
5 洪水和地震不同时考虑。

4.1.2 路基工程设计应按照结构的功能要求和设计使用状况采用相应的组合,设计检算采用不同的安全系数。

4.1.3 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,荷载组合应符合表 4.1.3 的规定;采用极限状态法设计时,荷载及作用应采用设计值,荷载组合应符合相关规定。

表 4.1.3 荷载组合

环 境		荷载组合	示 例
一般地区		永久荷载(主)	路堤无列车荷载或路堑地段
		永久荷载(主)+列车荷载(主可变)	路堤地段有列车
		永久荷载(主)+特殊力(可变)	路堤地段有架梁机或施工临时荷载
浸水地区	常水位和无水	与一般地区相同	路堤地段与一般地区相同
	洪水位	永久荷载(主)+列车荷载(主可变)+附加力(可变)	路堤地段有列车
		永久荷载(主)+附加力(可变)	路堤地段无列车
		永久荷载(主)+特殊力(可变)+附加力(可变)	路堤地有架梁机
地震地区	无震	与一般地区相同	与一般地区相同
	有震	永久荷载(主)+特殊力(偶然)	路堤无列车或路堑地段
		永久荷载(主)+列车荷载(主可变)+特殊力(偶然)	路堤地段有列车
		永久荷载(主)+特殊力(可变)+特殊力(偶然)	路堤地段有架梁机

注:主力和特殊荷载组合时,不检算裂缝宽度、变形和沉降。

4.2 主 力

4.2.1 有砟轨道荷载在路基面上的单位荷载可按式(4.2.1)计算,其分布自轨枕底面端部向下按 45°扩散。客货共线铁路路基面上的轨道荷载分布如图 4.2.3 所示,不同轨道结构荷载分布宽度、单位荷载等可按表 4.2.3 选用;高速铁路、城际铁路及重载铁路路基轨道和列车荷载应符合相关规范的规定。

$$p = P_1/L_0 \tag{4.2.1}$$

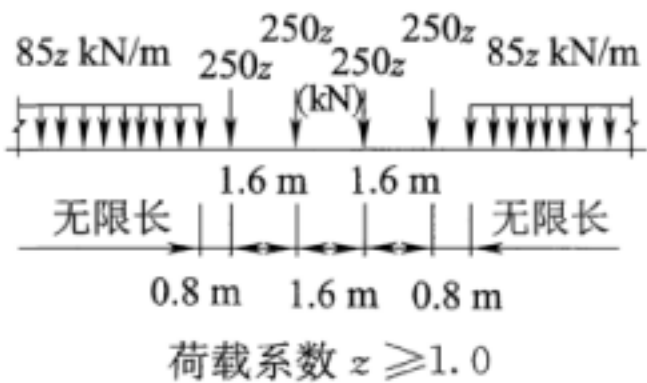
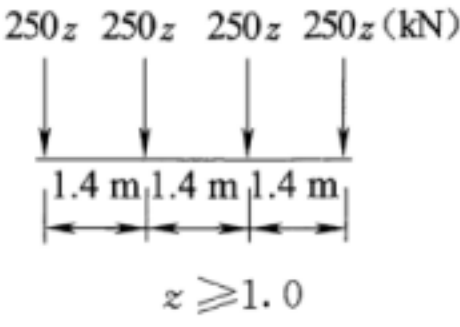
式中 p ——轨道荷载作用在路基面上的单位荷载(kN/m²);
 P_1 ——轨道荷载(kN/m);
 L_0 ——轨道荷载在路基横断面上的分布宽度(m)。

4.2.2 不同等级铁路的列车荷载应符合表 4.2.2 的规定。

表 4.2.2 铁路列车荷载图式

线路 类型	图式 名称	荷载图式	
		普通荷载	特种荷载
高速铁路	ZK		
城际轨道	ZC		
客货共线	ZKH		

续表 4.2.2

线路 类型	图式 名称	荷载图式	
		普通荷载	特种荷载
重载 铁路	ZH		

4.2.3 客货共线铁路列车荷载的单位荷载和列车动荷载标准计算应符合下列规定：

1 在静力分析时,采用列车等效均布荷载,列车荷载自轨枕底面端部向下按 45°扩散,作用在路基面上的单位荷载标准值可按式(4.2.3—1)计算。路基面上的列车荷载分布如图 4.2.3 所示,单位荷载标准值可按表 4.2.3 选用。

$$q = Q/L_0 \tag{4.2.3—1}$$

式中 q ——列车荷载作用在路基面上的单位荷载(kN/m²)；
 Q ——列车荷载(kN/m)；
 L_0 ——列车荷载分布宽度(m)。

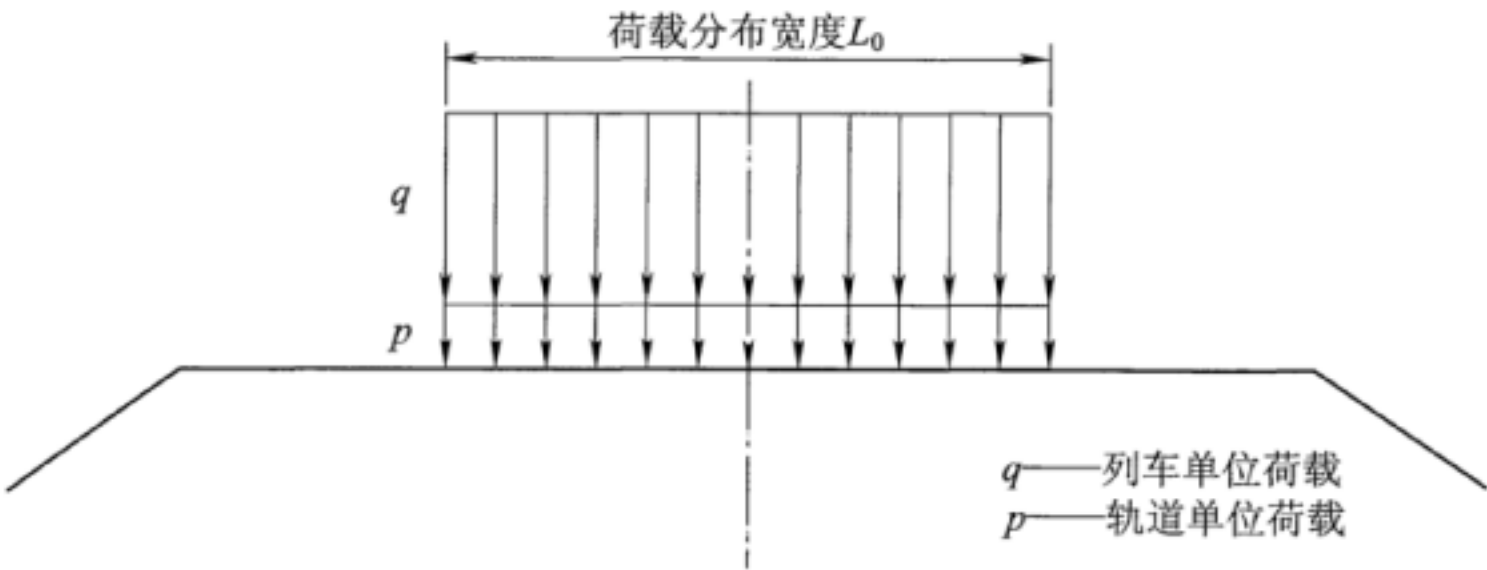


图 4.2.3 轨道结构荷载和列车荷载分布图

2 在基床分析时,道床顶面上的列车动荷载可按式(4.2.3—2)计算。

$$P_d = P_s(1 + \alpha v) \tag{4.2.3—2}$$

式中 P_d ——动荷载(kN);
 P_s ——静轴重(kN);
 α ——速度影响系数,无缝线路货车取 0.004、客车取 0.003;有缝线路取 0.005;
 v ——设计速度(km/h)。

表 4.2.3 路基轨道荷载、列车荷载

项 目			单位	I 级铁路					II级铁路
设计速度			km/h	200	160	160	120	120	≤120
钢轨			kg/m	60	75	60	60	50	50
混凝土轨枕型号				Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ
混凝土轨枕长度			m	2.6	2.6	2.6	2.6	2.5	2.5
铺轨根数			根	1 667	1 667	1 667	1 667	1 760	1 760
双线线间距			m	4.4	4.2	4.2	4.0	4.0	4.0
道床顶面宽度			m	3.5	3.5	3.4	3.4	3.3	3.3
道床边坡坡率				1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75
基床表层类型	土质	道床厚度	m	—	0.5	0.5	0.5	0.45	0.45
		荷载分布宽度	m	—	3.7	3.7	3.7	3.5	3.5
		轨道单位荷载	kN/m ²	—	19.07	18.61	18.61	16.79	16.79
		列车单位荷载	kN/m ²	—	48.26	48.26	48.26	51.02	51.02
		单位荷载合计	kN/m ²	—	67.33	66.87	66.87	67.81	67.81
	硬质岩石	道床厚度	m	0.35	0.35	0.35	0.35	0.3	0.3
		荷载分布宽度	m	3.4	3.4	3.4	3.4	3.2	3.2
		轨道单位荷载	kN/m ²	15.47	15.51	15.11	15.11	13.24	13.24
		列车单位荷载	kN/m ²	52.52	52.52	52.52	52.52	55.80	55.80
		单位荷载合计	kN/m ²	67.99	68.03	67.63	67.63	69.04	69.04

续表 4.2.3

项目			单位	I 级铁路					II级铁路
基床表层类型	级配碎石	道床厚度	m	0.3	0.3	0.3	—	—	—
		荷载分布宽度	m	3.3	3.3	3.3	—	—	—
		轨道单位荷载	kN/m ²	14.25	14.29	13.91	—	—	—
		列车单位荷载	kN/m ²	54.11	54.11	54.11	—	—	—
		单位荷载合计	kN/m ²	68.36	68.40	68.02	—	—	—

注：表中列车单位荷载是按特种荷载计算的，当采用普通荷载时需另行计算。

4.2.4 高速铁路列车荷载、轨道结构荷载分布如图 4.2.4 所示，路基面上均布荷载的取值应符合表 4.2.4 的规定。

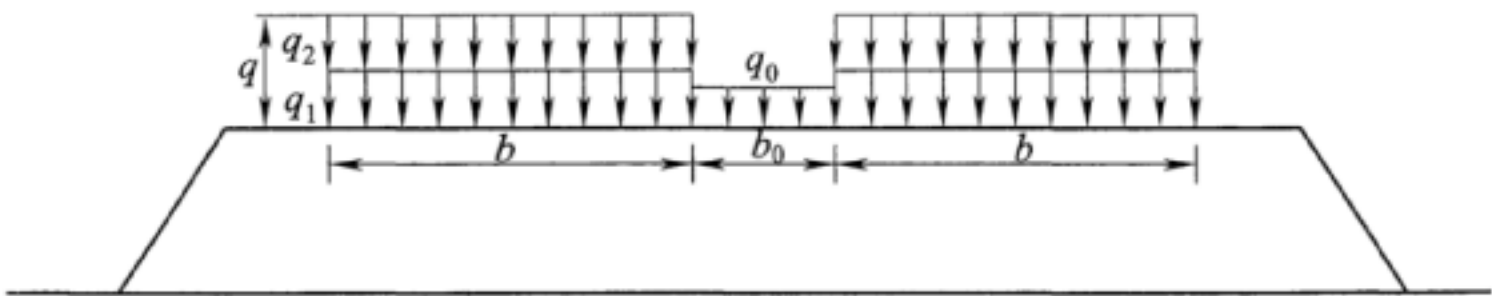


图 4.2.4 路基面荷载分布图

q_1 —轨道结构自重均布荷载强度(kN/m²)； q_2 —列车荷载(ZK 荷载)均布荷载强度(kN/m²)； q_0 —线间回填均布荷载强度(kN/m²)； q —轨道结构自重与列车荷载均布荷载强度之和(kN/m²)； b —每股道均布荷载分布宽度(m)； b_0 —线间回填均布荷载分布宽度(m)

表 4.2.4 轨道和列车均布荷载

轨道形式	分布 宽度 $b(\text{m})$	轨道、列车荷载					线间 荷载 q_0 (kN/m^2)
		轨道 自重 q_1 (kN/m^2)	列车荷载 $q_2(\text{kN}/\text{m}^2)$		总荷载 $q(\text{kN}/\text{m}^2)$		
			ZK 普通 荷载	ZK 特种 荷载	ZK 普通 荷载	ZK 特种 荷载	
CRTS I 型板 式无砟轨道	3.0	12.6	41.7	52.0	54.3	64.6	13.2

续表 4. 2. 4

轨道形式	分布 宽度 $b(\text{m})$	轨道、列车荷载					线间 荷载 q_0 (kN/m^2)
		轨道 自重 q_1 (kN/m^2)	列车荷载 $q_2(\text{kN}/\text{m}^2)$		总荷载 $q(\text{kN}/\text{m}^2)$		
			ZK 普通 荷载	ZK 特种 荷载	ZK 普通 荷载	ZK 特种 荷载	
CRTS II 型板 式无砟轨道	3.25 (2.95)	11.6 (14.3)	38.5 (42.4)	50.1 (53.0)	50.1 (56.7)	61.7 (67.3)	14.1 (12.0)
CRTSⅢ型板 式无砟轨道	3.1	13.7	40.4	50.4	54.1	64.1	2.3
CRTS I 型双 块式无砟轨道	3.4	13.7	36.8	46.0	50.5	59.7	15.1
有砟轨道	3.4	17.3	36.8	46.0	54.1	63.3	10.7

注:1 CRTS II 型板式无砟轨道栏中,扩号内为摩擦板范围内的荷载值,扩号外为摩擦板范围以外的荷载值。
2 双线铁路线间荷载的分布宽度 b_0 为线间距与轨道和列车荷载分布宽度 b 的差值。

4. 2. 5 城际铁路列车荷载、轨道结构荷载分布如图 4. 2. 5 所示,路基面上均布荷载的取值应符合表 4. 2. 5 的规定。

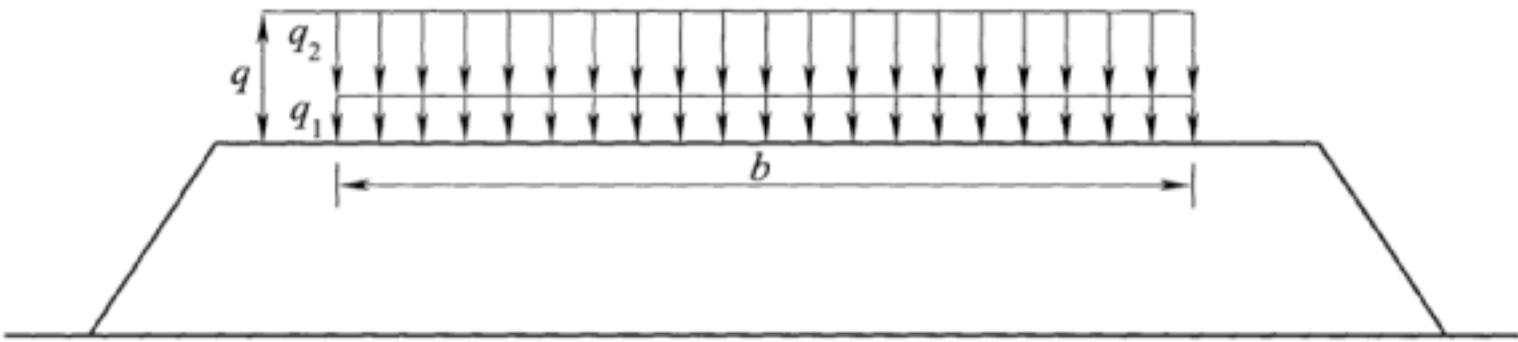


图 4. 2. 5 路基面上的轨道及列车荷载分布示意图

q_1 —轨道结构自重均布荷载强度(kN/m^2); q_2 —列车荷载(ZC 荷载)均布荷载强度(kN/m^2); q —轨道结构自重与列车荷载均布荷载强度之和(kN/m^2); b —每股道均布荷载分布宽度(m)

表 4.2.5 路基面上的轨道及列车荷载

轨道类型	设计速度 (km/h)	道砟厚度 (m)	分布宽度 <i>b</i> (m)	轨道结构荷载强度 <i>q</i> ₁ (kN/m ²)	列车荷载强度 <i>q</i> ₂ (kN/m ²)		总荷载 <i>q</i> (kN/m ²)	
					ZC 普通荷载	ZC 特种荷载	ZC 普通荷载	ZC 特种荷载
有砟轨道	200	0.30	3.3	19.3	28.5	36.0	47.8	55.3
		0.35	3.4	20.5	27.6	35.0	48.1	55.5
	160	0.30	3.3	18.8	28.5	36.0	47.3	54.8
		0.50	3.7	23.3	25.4	32.1	48.7	55.4
	120	0.30	3.3	18.8	28.5	36.0	47.3	54.8
		0.45	3.6	22.2	26.1	33.0	48.3	55.2

注：表中未包含的轨道形式应另行计算确定。

- 4.2.6 路基面以上荷载对支挡结构产生的土压力可根据具体情况按弹性理论或破裂面方向传递于墙背的方式计算。
- 4.2.7 受动应力影响的路基结构,设计时应考虑列车动荷载。
- 4.2.8 结构重力可按表 4.2.8 计算确定。

表 4.2.8 常用材料标准重度

材料名称	重度(kN/m ³)	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
碎石道砟	21.0	

4.2.9 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。

4.2.10 承受主动土压力的支挡结构,可按图 4.2.10 所示力系,根据墙背反力与破裂棱体重力和破裂面反力的静力平衡进行主动土压力计算。

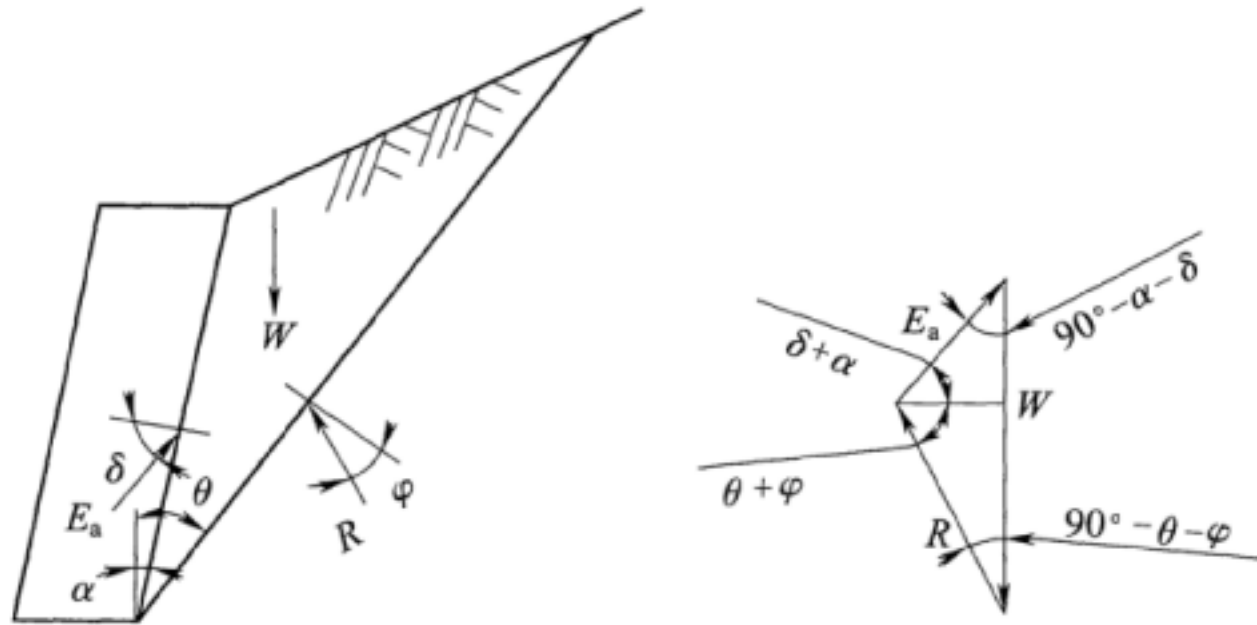


图 4.2.10 主动土压力及与之平衡的力系

α —墙背倾角,若产生第二破裂面,则为第二破裂面的竖向夹角;
 θ —第一破裂面的竖向夹角; δ —墙背摩擦角; φ —墙背岩土综合内摩擦角;
 W —破裂棱体自重; E_a —墙背反力,与主动土压力相等; R —破裂面反力

4.2.11 挡土墙前的被动土压力可不计算,当基础埋置较深且地层稳定、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。

4.2.12 浸水路基本土压力计算应区分水土合算与水土分算。路基填料为黏性土,应考虑黏性土抗剪强度指标降低;路基填料为砂性土,宜按无水条件计算土压力并扣除破裂棱体受浮力影响减少的土压力。

4.2.13 浸水路基本静水压力和浮力(主力)应按常水位进行计算。墙背填料为渗水土且墙身设有泄水孔时,可不计墙身两侧静水压力。

4.2.14 重力式支挡结构墙身所受浮力按墙体排开水的体积计算,浮力的设计值应根据地基地层情况按计算值的 100% 或 50% 计。

4.2.15 滑坡推力应根据边界条件、滑体重度和滑带土的强度指标通过计算确定,可采用传递系数法进行计算。滑动面的强度指标,宜根据试验确定,当缺乏试验资料时,可根据反算值及经验数据等综合确定。

4.3 附 加 力

4.3.1 浸水路基的静水压力和浮力(附加力)应按最不利设计水位进行计算。

4.3.2 浸水路基在下列情况下应考虑渗透力:

- 1 路堤两侧有水位差,形成贯通渗流。
- 2 路基一侧水位骤降、升,出现渗流。
- 3 浸水地区滑坡发生水位骤降。

4.3.3 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)、风区内的平均水深以及墙前实际波态等,按相关标准的规定计算确定。

4.3.4 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。

4.4 特 殊 力

4.4.1 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。

4.4.2 路基结构验算应考虑运架设备及其载重量等临时荷载。

5 工 程 材 料

5.1 一 般 规 定

5.1.1 路基工程采用的填料、石料、混凝土、水泥砂浆、钢材及土工合成材料等,应根据其类型、特征、性能、适应范围和应用结构型式、应用环境等确定。

5.1.2 路基工程材料的物理力学性能应根据相应的试验标准确定,当利用标准试件的试验结果确定材料的实际性能时,尚应考虑实际结构与标准试件、实际工作条件与标准试验条件等的差别。

5.2 填 料

5.2.1 路基填料应通过地质调绘和勘探、试验工作,查明料源岩土性质、分布和储量,确定填料来源、分类、分组名称、调配方案、改良措施等。

5.2.2 路基填料根据对原土料的使用方法或加工工艺,可分为普通填料、物理改良土、化学改良土和级配碎石。

5.2.3 普通填料粒组划分应按表 5.2.3 确定。母岩饱和单轴抗压强度小于 20 MPa 的粗粒和巨粒在粒组划分时按细粒考虑。

表 5.2.3 普通填料粒组划分

粒组	颗粒名称	粒径范围(mm)
巨粒	漂石(块石)	$200 \leq d < 300$
	卵石(碎石)	$60 \leq d < 200$

续表 5.2.3

粒组	颗粒名称		粒径范围(mm)
粗粒	砾粒	粗砾	$20 \leq d < 60$
		中砾	$5 \leq d < 20$
		细砾	$2 \leq d < 5$
	砂粒	粗砂	$0.5 \leq d < 2$
		中砂	$0.25 \leq d < 0.5$
		细砂	$0.075 \leq d < 0.25$
细粒	粉粒		$0.005 \leq d < 0.075$
	黏粒		$d \leq 0.005$

5.2.4 普通填料按工程性能及级配特征可分为 A、B、C、D 组填料,普通填料组别分类见附录 A。母岩饱和单轴抗压强度小于 20 MPa 的粗粒和巨粒土填料组别划分应结合试验和地区经验确定;有机土(有机质含量大于 5%)严禁作为路基填料使用;膨胀土、盐渍土作为路基填料使用应符合《铁路特殊路基设计规范》TB 10035 相关规定。

5.2.5 普通填料的分类应符合下列规定:

1 A 组填料为良好级配、细粒含量小于 15% 的碎石土和砾石土,分为 A1、A2 组,并符合表 5.2.5—1 的规定。

表 5.2.5—1 A 组填料细分表

项目 分类		名称	级配	细粒含量
A1 组		角砾土	良好	<15%
A2 组	1	圆砾土	良好	<15%
	2	碎石土	良好	<15%
	3	卵石土	良好	<15%

2 B 组填料分为 B1、B2、B3 组,并符合表 5.2.5—2 的规定。

表 5.2.5—2 B 组填料细分表

项目 分类		名 称	级配	细粒含量	小于 5 mm 颗粒含量	0.075 mm~ 5 mm 颗粒 含量
B1 组	1	角砾土、碎石土、圆砾土、卵石土	间断	<15%	>35%	—
	2	砾砂、粗砂、中砂	良好	<15%	—	—
B2 组	1	角砾土、碎石土、圆砾土、卵石土	间断	<15%	≤35%	—
	2	角砾土、碎石土、圆砾土、卵石土	均匀	<15%	—	—
	3	角砾土、碎石土、圆砾土、卵石	—	15%~30% 粉土	—	≥15%
	4	砾砂、粗砂、中砂	间断	<15%	—	—
	5	砾砂、粗砂、中砂	—	15%~30% 粉土	—	—
B3 组	1	角砾土、碎石土、圆砾土、卵石土	—	15%~30% 粉土	—	<15%
	2	角砾土、碎石土、圆砾土、卵石土	—	15%~30% 黏土	—	≥15%
	3	砾砂、粗砂、中砂	均匀	<15%	—	—
	4	砾砂、粗砂、中砂	—	15%~30% 黏土	—	—

3 C 组填料分为 C1、C2、C3 组,并符合表 5.2.5—3 的规定。

表 5.2.5—3 C 组填料细分表

项目 分类		颗粒名称	级配	细粒含量	0.075 mm~5 mm 颗粒含量
C1 组	1	块石土	—	<30%	—
	2	块石土	—	30%~50%粉土	—

续表 5.2.5—3

项目 分类		颗粒名称	级配	细粒含量	0.075 mm~5 mm 颗粒含量
C1 组	3	碎石土、砾石土	—	15%~30%黏土	<15%
	4	碎石土、砾石土	—	30%~50%粉土	—
	5	砾砂、粗砂、中砂	—	30%~50%粉土	—
C2 组	1	块石土	—	30%~50%黏土	—
	2	碎石土、砾石土	—	30%~50%黏土	—
	3	砾砂、粗砂、中砂	—	30%~50%黏土	—
	4	细砂	良好	<15%	—
C3 组	1	细砂	间断或均匀	<15%	—
	2	粉砂	—	—	—
	3	低液限粉土	—	—	—
	4	低液限黏土	—	—	—
	5	低液限软岩	—	—	—

4 D 组填料可分为 D1、D2 组,并符合表 5.2.5—4 的规定。

表 5.2.5—4 D 组填料细分表

项目 分类		颗粒名称	粗粒含量
D1 组	1	高液限粉土	30%~50%
	2	高液限黏土	30%~50%
	3	高液限软岩土	30%~50%
D2 组	1	高液限粉土	<30%
	2	高液限黏土	<30%
	3	高液限软岩土	<30%

5.2.6 路基填料的粒径或可压实性不满足相应部位要求的巨粒土、粗粒土,可采用破碎、筛分或掺入不同粒径材料等措施进行物

理改良,改善颗粒级配、粒径和细粒含量等指标。

5.2.7 路基填料不能满足相应部位要求的细粒土,宜根据土的性质,采用掺入适宜的外掺料进行化学改良,改变土的物理、力学性质。化学改良土应符合下列规定:

1 化学改良土应采用成熟的、可靠的技术。常用外掺料有水泥、石灰、粉煤灰等无机料,其中粉煤灰不宜单独作为外掺料用于土的改良。

2 填料改良应通过试验提出最适宜掺合料、最佳配比及改良后的强度等指标。

3 化学改良土的设计及试验要求应符合附录 B 的规定。

5.2.8 渗水土填料压实后应符合细粒土含量小于 10%、渗透系数大于 1×10^{-5} m/s 的巨粒土或粗粒土(细砂除外)的规定。

5.2.9 填料的冻胀敏感性可分为不敏感、弱敏感、敏感和强敏感,冻胀性应按表 5.2.9 确定。严寒地区在路基冻结影响范围内,宜选用不敏感填料。

表 5.2.9 铁路路基填料冻胀性

土的类别			冻胀敏感性评价
土名		细粒含量	
碎石类土	块石类土 碎石类土 砾石类土	≤5%	不敏感
		5%~15%	弱敏感
		>15%	敏感
砂类土	粗砂 中砂	≤5%	不敏感
		5%~15%	弱敏感
		>15%	敏感
	细砂	≤5%	不敏感
		5%~15%	弱敏感
	粉砂		敏感

续表 5.2.9

土的类别		冻胀敏感性评价
土名	细粒含量	
细粒土	低液限粉土($I_p \leq 10, \omega_L < 40\%$)	强敏感
	低液限粉质黏土、低液限黏土、($I_p > 10, \omega_L < 40\%$)	强敏感

注：本表仅适用于有砟轨道路基，无砟轨道路基应进行特殊设计。

5.2.10 路基基床表层级配碎石分Ⅰ型级配碎石和Ⅱ型级配碎石，应符合下列规定：

1 Ⅰ型级配碎石的粒径级配应符合表 5.2.10—1 的规定，0.02 mm 以下粒径质量百分率不应大于 3%；在压实系数为 0.97 情况下，其渗透系数应小于 1×10^{-6} m/s。

表 5.2.10—1 基床表层Ⅰ型级配碎石粒径级配

方孔筛孔边长(mm)	0.075	0.5	1.7	7.1	22.4	31.5	45
过筛质量百分率	0~7%	19%~ 32%	33%~ 46%	53%~ 75%	79%~ 91%	89%~ 100%	100%

2 Ⅱ型级配碎石的粒径级配应符合表 5.2.10—2 的规定，0.075 mm 以下粒径质量百分率不得大于 3%，压实后 0.075 mm 颗粒含量不得大于 5%，细颗粒含量需采用洗筛的方法测试；持水率不应大于 5%，渗透系数应大于 5×10^{-5} m/s。

表 5.2.10—2 基床表层Ⅱ型级配碎石粒径级配

方孔筛孔边长(mm)	0.075	0.5	1.7	7.1	22.4	31.5	45	60
过筛质量百分率	0~3% (5%)	8%~ 20%	16%~ 33%	37%~ 53%	63%~ 79%	73%~ 89%	85%~ 100%	100%

注：表中括号内数值为压实后的颗粒含量。

3 级配碎石级配特性应满足不均匀系数 C_u 不小于 15、曲率系数 C_c 为 1~3。

- 4 粒径大于 1.7 mm 集料的洛杉矶磨耗率不应大于 30%。
- 5 粒径大于 1.7 mm 集料的硫酸钠溶液浸泡损失率不应大于 6%。
- 6 级配曲线应接近圆滑,某种尺寸的颗粒不应过多或过少。
- 7 颗粒中细长及扁平颗粒含量不应超过 20%,压碎指标应小于 16。
- 8 粒径小于 0.5 mm 细粒料的液限不应大于 25%,塑性指数不应大于 6。
- 9 黏土团及有机物含量不应超过 2%。

5.2.11 路基基床表层以下过渡段采用级配碎石时,其级配范围应符合表 5.2.11 的规定。

表 5.2.11 过渡段级配碎石的粒径级配范围

级配 编号	通过筛孔(mm)质量百分率									
	50	40	30	25	20	10	5	2.5	0.5	0.075
1	100%	95%~ 100%	—	—	60%~ 90%	—	30%~ 65%	20%~ 50%	10%~ 30%	2%~ 10%
2	—	100%	95%~ 100%	—	60%~ 90%	—	30%~ 65%	20%~ 50%	10%~ 30%	2%~ 10%
3	—	—	100%	95%~ 100%	—	50%~ 80%	30%~ 65%	20%~ 50%	10%~ 30%	2%~ 10%

注:颗粒中针状、片状碎石含量不应超过 20%;质软、易破碎的碎石含量不应超过 10%;黏土团及有机物含量不应超过 2%。

5.3 石 料

5.3.1 路基工程中石料可分为片石、块石及料石等,其形状、规格应符合下列规定:

- 1 片石中部厚度不小于 15 cm。
- 2 块石形状规则,大致方正,顶面及底面较平整,厚度不小于

20 cm,长度和宽度不小于厚度。

3 料石为形状规则的六面体,厚度不小于 20 cm,且不小于长度的 1/3,宽度不小于厚度,长度不小于宽度的 1.5 倍。

5.3.2 石料的强度等级应根据边长为 7 cm 的立方体试块在饱和湿度条件下的极限抗压强度标准值,按表 5.3.2 确定。

表 5.3.2 石料强度等级和极限抗压强度

石料强度等级	MU120	MU100	MU90	MU80	MU70	MU60	MU50	MU40	MU30	MU20
饱和极限抗压强度 (MPa)	120	100	90	80	70	60	50	40	30	20

5.3.3 路基工程应采用未风化且不易风化、均质、无软夹层、无裂纹、无水锈的石料。当环境具有化学侵蚀性时,不应选用易溶岩岩石。石料的强度等级应符合下列规定:

1 浆砌片石、片石混凝土支挡结构,不应低于 MU30 且饱和抗压强度不低于混凝土强度,在严寒、寒冷地区,尚应符合抗冻试验要求。

2 护坡、护墙等防护结构,一般地区不应低于 MU20,严寒地区不应低于 MU30。

3 处于浸水地区的路基支护工程所用石料的软化系数不应低于 0.8。

5.3.4 片石混凝土中石料的最大尺寸不应超过填放处结构最小尺寸的 1/4,且不应小于 15 cm,数量不应超过混凝土结构体积的 20%。片石应均匀分布,片石间净距不应小于 15 cm,其与模板或结构边缘的间距不宜小于 25 cm。

5.4 混 凝 土

5.4.1 路基工程中的混凝土可分为素混凝土、片石混凝土、钢筋

混凝土。

5.4.2 混凝土强度等级应按立方体抗压强度标准值确定。立方体抗压强度标准值系按标准方法制作,养护的边长为 150 mm 的立方体试件,在 28 d 或设计规定龄期以标准试验方法测得的具有 95%保证率的抗压强度值。混凝土轴心抗压、抗拉强度应根据其强度等级按附录 C 的规定采用。

5.4.3 路基工程混凝土的原材料性能及强度等级应符合《铁路混凝土结构耐久性设计规范》TB 10005 的相关规定。

5.5 水 泥 砂 浆

5.5.1 路基工程中的水泥砂浆可分为砌筑砂浆、锚固砂浆、填充砂浆及喷护砂浆等,应具有良好的和易性、黏结性、密实性、均匀性、水稳性、耐温性和耐侵蚀性,满足强度和黏结力好、体积变化小、防水防潮、防侵蚀等使用要求。

5.5.2 水泥砂浆的强度等级应根据其极限抗压强度标准值按表 5.5.2 确定。水泥砂浆极限抗压强度标准值系按标准方法制作,养护的边长为 70.7 mm 的立方体试件,在 28 d 龄期以标准试验方法测得的极限抗压强度值。

表 5.5.2 水泥砂浆强度等级及其极限抗压强度

水泥砂浆强度等级	M7.5	M10	M12.5	M15	M20	M25	M30	M35
极限抗压强度(MPa)	7.5	10	12.5	15	20	25	30	35

5.5.3 水泥砂浆的配合比应通过试验确定,并符合下列规定:

1 胶结材料宜采用硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥,在气候干热地区的地上工程、侵蚀性土及流动水等环境中,宜采用火山灰水泥、矿渣水泥或抗硫酸盐水泥,不宜采用复合水泥。水泥性能应符合国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 的规定。

2 细骨料应选用级配合理、质地坚固、吸水率低、空隙率小的洁净天然中粗河砂,也可选用专门机组生产的人工砂,严禁使用海砂。

3 在 10℃ 以下低温施工时,为加速硬化,宜添加早强剂。

5.5.4 水泥砂浆的类型及其适用条件应符合下列规定：

1 水泥砂浆砌体结构应根据环境类别、结构类型及铁路等级、施工及养护条件等,按耐久性和使用年限要求设计。砌筑砂浆最低强度等级及适用范围可按表 5.5.4 确定。

表 5.5.4 路基工程砌筑砂浆最低强度等级及适用范围

砌体结构类型	水泥砂浆最低强度等级	适用范围
片石或混凝土块砌体防护结构、排水结构	M7.5	护肩、护坡、侧沟、天沟、排水沟、边坡渗沟、渗水暗沟、急流槽
	M10	护肩抹面、护墙、脚墙、冲刷防护、渗水隧洞、寒冷及严寒地区的侧沟、天沟、排水沟
片石砌体支挡结构	M10	一般地区路堑、路堤挡土墙,墙高不大于 5 m
	M15	浸水、严寒地区路堑、路堤挡土墙,墙高不大于 5 m

注:最冷月的平均温度在-3℃~-8℃的地区为寒冷地区;-8℃以下的地区为严寒地区。

2 路基边坡锚固结构中非预应力锚杆锚固砂浆强度等级不宜低于 M30;预应力锚杆锚固砂浆强度等级不宜低于 M35。

3 采用水泥砂浆填充空隙、空洞或采用水泥砂浆搅拌桩加固地基时,水泥砂浆强度等级不宜低于 M10,可掺入适量粉煤灰;采用水泥砂浆微型桩加固地基时,砂浆强度等级不宜低于 M20。

4 坡面采用砂浆喷射防护时,水泥砂浆强度等级不宜低于 M10。

5.6 钢 材

5.6.1 路基工程钢材可采用钢筋、预应力钢丝、钢绞线、钢板及型钢等。钢筋、预应力钢丝、钢绞线强度应根据其型号按附录 C 确定。

5.6.2 普通钢筋及预应力钢筋应按下列规定选用：

1 支挡及承载钢筋混凝土结构纵向受力筋宜采用 HRB400、HRB500 钢筋，也可采用 HPB300 钢筋；箍筋宜采用 HPB300、HRB400、HRB500 钢筋。

2 锚杆挡土墙、土钉墙结构受拉锚杆宜采用带肋钢筋、预应力螺纹钢筋，不宜采用镀锌钢材，直径不宜小于 16 mm；竖向预应力锚杆挡土墙等结构预应力锚杆，宜采用冷拉钢筋。

3 边坡挂网防护或框架梁护坡等结构受拉锚杆，宜采用 HRB400、HRB500 钢筋，直径不宜小于 16 mm。

5.6.3 预应力锚杆宜采用预应力螺纹钢筋，预应力锚索宜采用高强度低松弛预应力钢绞线，钢绞线直径可采用 $\phi 12.7$ mm 或 $\phi 15.2$ mm。

5.6.4 钢板、型钢、螺栓及锚栓等钢材应符合下列规定：

1 钢板分为 U 形、Z 形、S 形、直线形等类型，型钢分为工字钢、槽钢、角钢、圆钢等类型。

2 小型基坑、边坡开挖临时支护可采用钢板、工字钢或槽钢，也可采用废旧钢轨。

3 锚定板拉杆、锚杆挡土墙锚杆及预应力锚杆端部固定钢垫板尺寸应满足局部承压强度计算要求。

4 防护栏杆扶手可采用角钢。

5.7 土工合成材料

5.7.1 路基工程土工合成材料可采用土工织物、土工膜、土工复合材料与土工特种材料等。应用于路基工程中防渗、隔离、加筋、反滤、排水、防护或保温时，材料性能应满足相应的功能设计要求。

5.7.2 土工合成材料的力学性能、水力学性能、耐久性能及其与土之间的摩擦系数等指标宜通过试验确定；试验条件不具备时，可结合工程经验或相关资料确定。

5.7.3 土工合成材料设计容许抗拉强度 T_a 可根据式(5.7.3—1)计算:

$$T_a = \frac{1}{F} \cdot T \quad (5.7.3-1)$$

$$F = F_{iD} \cdot F_{cR} \cdot F_{cD} \cdot F_{bD} \quad (5.7.3-2)$$

式中 T_a ——设计容许抗拉强度(kN/m);

F ——材料强度影响系数,一般按式(5.7.3—2)计算确定;
无经验时,宜采用 2.5~5.0,当变形控制要求高、材料蠕变性大、施工条件差时,应采用大值,当为临时性工程时,宜取小值;

T ——由加筋材料拉伸试验测得的极限抗拉强度(kN/m);

F_{iD} ——铺设时机械破坏影响系数;

F_{cR} ——材料蠕变影响系数;

F_{cD} ——化学剂破坏影响系数;

F_{bD} ——生物破坏影响系数。

5.7.4 土工合成材料用于路基基床处理及路基防排水处理时,应符合下列规定:

1 新建铁路路基基床隔水防渗层、路堤基底毛细水隔断垫层,宜采用不透水的土工膜、复合土工膜、毛细型或复合型防排水板等,严寒地区应满足抗冻要求;用于毛细水隔断时,对硫酸盐、氯盐、碳酸盐应具有长期耐腐蚀性和抗老化性能。

2 既有路基基床强度不足、下沉外挤、陷槽、积水等病害整治时,可采用土工格室加固补强,采用渗水管或排水板引排水处理。

3 冻害地区路基基床可采用聚苯乙烯或聚氨酯等泡沫塑料保温层,其表观密度、抗压强度、热导率、吸水率等性能指标应满足设计要求。

4 路堤基底横向排水垫层,护坡、护墙、挡土墙或截排水暗沟、渗沟后反滤层,不同粒径填料之间的反滤层,可采用无纺土工

布或其与砂砾石、碎石的包裹体作为反滤材料。无纺土工布的保土性、透水性、防淤堵性指标、刺破强度等应符合设计要求。

5 引排地下水可采用渗水管或土工布与砂砾石、碎石包裹体作为滤、排水体。

6 渗水管应有良好的透水、渗滤、纵向排水性能,应具有环刚度、耐化学腐蚀、寿命长等特点。

5.7.5 土工合成材料用于路基坡面防护时,应符合下列规定:

1 对于土质边坡,可采用土工网、土工网垫或立体植被护坡网等植草灌植物绿化。

2 对砂类土、碎石类土或岩质等不适宜植物生长的路基边坡,可采用土工网垫客土植草、植生带、植生袋或生态袋植草灌植物绿化。

3 土工网垫极限抗拉强度不应小于 0.8 kN/m 。

5.7.6 土工合成材料用于路基冲刷防护时,可采用模袋混凝土护坡,土工模袋内充填水泥砂浆时,容许流速为 $2 \text{ m/s} \sim 3 \text{ m/s}$,充填混凝土时,容许流速为 $2 \text{ m/s} \sim 5 \text{ m/s}$,需水下施工时,容许流速不大于 1.5 m/s ;对流速 $4 \text{ m/s} \sim 5 \text{ m/s}$ 、冲刷较严重的护坡、护底,可采用机织土工布沉枕。土工膜袋布断裂强度应不小于 40 kN/m ,伸长率不大于 30% ;机织土工布经纬向断裂强度不应小于 20 kN/m ;材料耐老化能力应满足工程需要。

5.7.7 土工合成材料用于路基边坡加筋土结构时,应符合下列规定:

1 路堤填筑边坡较高、坡面易受暴雨冲蚀时,可在边坡浅层铺设双向土工格栅进行加强防护,土工格栅极限抗拉强度不应小于 25 kN/m 。

2 陡边坡加筋土路堤或加筋土挡土墙宜采用强度高、延伸率小、蠕变小、耐候性和耐化学性好的塑料单向拉伸土工格栅。土工格栅的极限抗拉强度不应小于 35 kN/m ,标称延伸率不大于 10% 。

5.7.8 土工合成材料用于路基地基处理时,应符合下列规定:

1 垫层加筋宜采用强度较高、延伸率较小的土工格栅、土工布或土工格室;软土地基深层排水固结法中竖向排水体可采用排水带或袋装砂井;大面积处理地段,可采用大直径渗水管或软式透水管作为集水井,加速地基排水固结。

2 土工格栅、土工布或土工格室的极限抗拉强度不应小于 50 kN/m,标称延伸率不大于 10%;排水带芯材的抗拉强度、耐腐蚀性、柔性和垂直排水能力及滤套的强度、反滤能力等性能指标应符合有关标准规定;袋装砂井的袋料应采用韧性强的聚丙烯或其他适用的土工布,极限抗拉强度不应小于 15 kN/m,质量不应小于 95 g/m²,等效孔径 O_{95} 不应大于 0.05 mm,渗透系数应大于 5×10^{-5} m/s。

6 基 床

6.1 一 般 规 定

6.1.1 路基基床结构应满足强度和变形的要求,保证其在列车荷载、降水、干湿循环及冻融循环等因素的影响下具有长期稳定性。

6.1.2 基床底层范围内的天然地基基本承载力应符合下列规定:

1 设计速度 200 km/h 及以上的有砟轨道铁路、无砟轨道铁路及重载铁路均不小于 180 kPa。

2 设计速度 200 km/h 以下的有砟轨道铁路不小于 150 kPa。

6.1.3 路堑基床范围内的土质、密实度、承载力等不满足要求或受地下水影响时,应采取换填或适宜的加固处理措施。

6.1.4 基床分层填筑的上下层填土的颗粒结构应符合式(6.1.4)的要求。当不符合时,应采取过渡措施,或铺设起反滤和隔离作用的土工合成材料。当填料为化学改良土时,可不受此项规定限制。

$$D_{15} < 4d_{85} \quad (6.1.4)$$

6.1.5 路肩上电缆槽外侧宜设置混凝土或浆砌片石护肩,其排水应与路基基床排水相协调,防止对基床产生影响。

6.2 基 床 结 构

6.2.1 路基基床结构应由基床表层和基床底层构成,其结构设计在列车荷载作用下应符合下列规定:

1 基床表层动应力应满足式(6.2.1—1)的要求。

$$\sigma \leq R/K \quad (6.2.1-1)$$

式中 σ ——基床表层动应力(kPa);

R ——基床表层承载能力(kPa);
 K ——安全系数。

2 基床表层动变形应满足式(6.2.1—2)的要求。

$$\omega \leqslant C_{\omega} \qquad (6.2.1-2)$$

式中 ω ——计算变形值(mm);
 C_{ω} ——变形限制值(mm),有砟轨道取 1 mm,无砟轨道取 0.22 mm(轨道结构外侧边缘位置)。

3 基床底层的动应变应满足式(6.2.1—3)的要求。

$$\epsilon \leqslant C_{\epsilon} \qquad (6.2.1-3)$$

式中 ϵ ——计算动应变;
 C_{ϵ} ——临界应变。

6.2.2 常用路基基床结构的厚度应按表 6.2.2 确定。

表 6.2.2 常用路基基床结构厚度

铁路等级		基床表层(m)	基床底层(m)	总厚度(m)
客货共线铁路		0.6	1.9	2.5
城际铁路	有砟轨道	0.5	1.5	2.0
	无砟轨道	0.3	1.5	1.8
高速铁路	有砟轨道	0.7	2.3	3.0
	无砟轨道	0.4	2.3	2.7
重载铁路	设计轴重 250 kN、270 kN	0.6	1.9	2.5
	设计轴重 300 kN	0.7	2.3	3.0

6.2.3 基床底层的顶面和基床以下填料的顶面应设不小于 4% 的人字排水横坡。

6.3 路堤基床

6.3.1 基床表层填料应根据铁路等级、设计速度、轨道类型等按表 6.3.1 确定。

表 6.3.1 基床表层填料选择标准

铁路等级及设计速度		粒径限值	可选填料类别
客货共线 铁路及城 际铁路	200 km/h	≤60 mm	级配碎石
	160 km/h	≤100 mm	宜选用砾石类、碎石类中的 A1、A2 组填 料；当缺乏 A1、A2 组填料时，经经济比选 后可采用级配碎石
	≤120 km/h	≤100 mm	优先选用砾石类、碎石类中的 A1、A2 组 填料，其次为砾石类、碎石类及砂类土中的 B1、B2 组填料，有经验时可采用化学改 良土
	无砟轨道	≤60 mm	级配碎石
高速铁路		≤60 mm	级配碎石
重载铁路		≤60 mm	应采用级配碎石及 A1、A2 组填料

注：1 有砟轨道及非冻土地区无砟轨道基床表层采用 I 型级配碎石。
2 冻结深度大于 0.5 m 的冻土地区以及多雨地区无砟轨道基床表层采用 II 型级配碎石。

6.3.2 基床底层填料应根据铁路等级、设计速度、轨道类型等按表 6.3.2 确定。

表 6.3.2 基床底层填料选择标准

铁路等级及设计速度		粒径限值	可选填料类别
客货共线 铁路及城 际铁路	200 km/h	≤100 mm	砾石类、碎石类及砂类土中的 A、B 组填 料或化学改良土
	160 km/h	≤200 mm	砾石类、碎石类及砂类土中的 A、B 组填 料或化学改良土
	≤120 km/h	≤200 mm	砾石类、碎石类及砂类土中的 A、B、C1、 C2 组填料或化学改良土
	无砟轨道	≤60 mm	砾石类、砂类土中的 A、B 组填料或化学 改良土

续表 6.3.2

铁路等级及设计速度	粒径限值	可选填料类别
高速铁路	$\leq 60\text{ mm}$	砾石类、砂类土中的 A、B 组填料或化学改良土
重载铁路	$\leq 100\text{ mm}$	砾石类土、碎石类土及砂类土中的 A、B 组填料或化学改良土

注:1 无砟轨道及严寒寒冷地区有砟轨道冻结深度影响范围内基床底层填料的细粒含量不应大于 5%,渗透系数应大于 $5\times 10^{-5}\text{ m/s}$ 。
2 在有可靠资料和工程经验的情况下,采取加固或封闭措施,设计速度 160 km/h 铁路基床底层可采用 C 组填料。

6.3.3 高度小于 2.5 m 的低路堤,基床底层范围内天然地基的承载力、土质、天然密实度应符合本规范第 6.1.2 条、第 6.3.2 条、第 6.5.3 条的规定。

6.4 路 堑 基 床

6.4.1 不易风化的硬质岩石基床,路基面应设不小于 4% 人字排水坡。

6.4.2 土质、易风化的软质岩、强风化硬质岩路堑的基床表层填料应符合本规范第 6.3.1 条的规定;基床底层的土质、天然密实度、承载力等应符合本规范第 6.1.2 条、第 6.3.2 条、第 6.5.3 条的规定。否则应采取措施进行处理。

6.4.3 膨胀土(岩)、黄土、风沙、冻土等地区的路堑基床处理应符合《铁路特殊路基设计规范》TB 10035 的有关规定。

6.5 基床压实标准

6.5.1 路基基床填料的压实控制指标应符合下列规定:

1 无砟轨道铁路、高速铁路及重载铁路采用的级配碎石、砾

石类、碎石类及砂类土应采用压实系数、地基系数、动态变形模量作为控制指标；其余铁路采用的级配碎石、砾石类、碎石类及砂类土应采用压实系数、地基系数作为控制指标。

2 化学改良土应采用压实系数及 7 d 饱和无侧限抗压强度作为控制指标。

6.5.2 基床表层填料的压实标准应符合表 6.5.2 的规定。

表 6.5.2 基床表层填料的压实标准

铁路等级及 设计速度		填料		压实标准			
				压实系数 K	地基系数 K_{30} (MPa/m)	7 d 饱和无 侧限抗压 强度(kPa)	动态变形 模量 E_{vd} (MPa)
客货共线铁路及城际铁路	200 km/h	级配碎石		≥ 0.97	≥ 190	—	—
	160 km/h	级配碎石		≥ 0.95	≥ 150	—	—
		A1、A2 组	砾石类、碎石类	≥ 0.95	≥ 150	—	—
	120 km/h	A1、A2 组	砾石类、碎石类	≥ 0.95	≥ 150	—	—
		B1、B2 组	砾石类、碎石类	≥ 0.95	≥ 150	—	—
			砂类土(粉细砂除外)	≥ 0.95	≥ 110	—	—
		化学改良土		≥ 0.95	—	$\geq 500(700)$	—
	无砟轨道	级配碎石		≥ 0.97	≥ 190	—	≥ 55
高速铁路		级配碎石		≥ 0.97	≥ 190	—	≥ 55
重载铁路		级配碎石		≥ 0.97	≥ 190	—	≥ 55
		A1 组	砾石类	≥ 0.97	≥ 190	—	≥ 55

注：括号内数值为严寒地区化学改良土考虑冻融循环作用所需强度值。

6.5.3 基床底层填料的压实标准应符合表 6.5.3 的规定。

表 6.5.3 基床底层填料的压实标准

铁路等级及 设计速度		填料		压实标准			
				压实系数 K	地基系数 K_{30} (MPa/m)	7 d 饱和无 侧限抗压 强度 (kPa)	动态变形 模量 E_{vd} (MPa)
客货共线铁路、城际铁路	200 km/h	A、B 组	粗砾土、碎石类	≥ 0.95	≥ 150	—	—
			砂类土(粉砂除外)细砾土	≥ 0.95	≥ 130	—	—
		化学改良土		≥ 0.95	—	$\geq 350(550)$	—
	160 km/h	A、B 组	砾石类、碎石类	≥ 0.93	≥ 130	—	—
			砂类土(粉细砂除外)	≥ 0.93	≥ 100	—	—
		化学改良土		≥ 0.93	—	$\geq 350(550)$	—
	120 km/h	A、B、C1、C2 组	砾石类、碎石类	≥ 0.93	≥ 130	—	—
			砂类土、细粒土	≥ 0.93	≥ 100	—	—
		化学改良土		≥ 0.93	—	$\geq 350(550)$	—
	无砟轨道	A、B 组	粗砾土、碎石类	≥ 0.95	≥ 150	—	≥ 40
			砂类土(粉砂除外)细砾土	≥ 0.95	≥ 130	—	≥ 40
		化学改良土		≥ 0.95	—	$\geq 350(550)$	—
高速铁路		A、B 组	粗砾土、碎石类	≥ 0.95	≥ 150	—	≥ 40
			砂类土(粉砂除外)细砾土	≥ 0.95	≥ 130	—	≥ 40
		化学改良土		≥ 0.95	—	$\geq 350(550)$	—
重载铁路		A、B 组	粗砾土、碎石类	≥ 0.95	≥ 150	—	≥ 40
			砂类土(粉砂除外)细砾土	≥ 0.95	≥ 130	—	≥ 40
		化学改良土		≥ 0.95	—	$\geq 350(550)$	—

注：括号内数值为严寒地区化学改良土考虑冻融循环作用所需强度值。

6.6 基床处理措施

6.6.1 基床底层范围内的天然地基土质符合本规范第 6.3.2 条的规定,天然密实度不满足本规范第 6.5.3 条的规定,可采用翻挖回填或碾压夯实的措施。

6.6.2 基床底层范围内的土质或填料不符合要求时,可采用换填或加固措施进行处理。

6.6.3 路基基床受地下水影响时宜采用降低地下水位、设置路堤式路堑等措施,以降低、疏干基床范围内的水。

6.6.4 陡坡地段的半填半挖路基,半挖侧路基面以下不小于 1 m 范围应挖除换填,填料应符合本规范第 6.3.1、第 6.3.2 条的规定。

7 路 堤

7.1 一 般 规 定

7.1.1 路堤边坡高度应结合铁路等级、轨道类型、地基条件、填料来源、用地性质及环境因素等合理确定,不宜超过 20 m。

7.1.2 稳定斜坡地段路堤的基底表层处理应符合下列规定:

1 地表坡率缓于 1 : 5 时,应清除地表植被。

2 地表坡率为(1 : 5)~(1 : 2.5)时,应在原地表挖台阶,台阶宽度不应小于 2 m。当基岩面上的覆盖层较薄时,宜先清除覆盖层后再挖台阶;覆盖层较厚且稳定时,可直接在原地面挖台阶。

7.1.3 地面横坡陡于 1 : 2.5 地段的陡坡路堤,基底及基底下软弱层滑动稳定安全系数不应小于 1.25。当符合要求时,应在原地面设计台阶;否则应采取改善基底条件或设置支挡结构等防滑措施。陡坡路堤靠山侧应设排水设施,并采取防渗加固措施。

7.1.4 基底有地下水影响路堤稳定时,应采取拦截引排至基底范围以外或在路堤底部填筑渗水填料等措施,但不应恶化基底条件。

7.1.5 软土及其他类型厚层松软地基上路堤的稳定性、工后沉降不满足要求时,应进行地基处理并与基底处理相协调。

7.2 填料及填筑要求

7.2.1 基床以下路堤填料应符合下列规定:

1 重载铁路和设计速度 200 km/h 及以下的有砟轨道铁路可采用 A、B、C 组填料或化学改良土。

2 无砟轨道铁路和设计速度 200 km/h 以上的有砟轨道铁路宜选用 A、B、C1、C2 组填料或化学改良土。

3 设计速度 200 km/h 以下的有砟轨道铁路采用 D 组填料时应进行改良或采取加固措施。

7.2.2 路堤浸水部位应结合铁路等级、轨道类型等采用水稳性好的填料或采取封闭、隔水措施,长期浸水部分应采用渗水土填料。

7.2.3 寒冷地区有害冻胀深度范围内的路基,宜采用冻胀不敏感填料。

7.2.4 路堤基床以下部位填料的最大粒径应符合下列规定:

1 重载铁路、设计速度 200 km/h 以下的有砟轨道铁路填料最大粒径不应大于摊铺厚度的 $2/3$,且不应大于 300 mm。

2 设计速度 200 km/h 的有砟轨道铁路填料的最大粒径不应大于 150 mm。

3 无砟轨道铁路、设计速度 200 km/h 以上的有砟轨道铁路填料的最大粒径不应大于 75 mm。

7.2.5 路堤采用不同填料填筑时应符合下列规定:

1 渗水性土填在非渗水土上时,非渗水土层顶面应向两侧设 4% 的人字排水横坡。

2 上下两层填料的颗粒不满足本规范式(6.1.4)的要求,应在分界面上设置隔离垫层或采用其他措施;下层填料为化学改良土时,不受本条限制。

7.2.6 基床以下路堤填料采用 C2 组中的砂类土及 C3 组时,应采取加强防护措施。

7.3 压实标准

7.3.1 基床以下路堤填料的压实控制指标应符合下列规定:

1 细粒土、砂类土、砾石类土、碎石类土、块石类土等应采用压实系数和地基系数作为控制指标。

2 改良土应采用压实系数和 7 d 饱和无侧限抗压强度作为控制指标。

7.3.2 基床以下路堤填料的压实标准应符合表 7.3.2 的规定。

表 7.3.2 基床以下路堤填料的压实标准

铁路等级 及设计速度		填料	压实标准		
			压实系数 K	地基系数 K ₃₀ (MPa/m)	7 d 饱和和无侧 限抗压强度 (kPa)
客货 共线 铁路、 城际 铁路有砟 轨道	200 km/h	细粒土	≥0.90	≥90	—
		砂类土、细砾土	≥0.90	≥110	
		碎石类及粗砾土	≥0.90	≥130	—
		化学改良土	≥0.90	—	≥250
	160 km/h、 120 km/h	细粒土、砂类土	≥0.90	≥80	—
		砾石类、碎石土	≥0.90	≥110	—
		块石类	≥0.90	≥130	
		化学改良土	≥0.90	—	≥200
高速铁路及无砟 轨道客货共线铁 路、城际铁路		砂类土及细砾土	≥0.92	≥110	—
		碎石类及粗砾土	≥0.92	≥130	—
		化学改良土	≥0.92	—	≥250
重载铁路		细粒土、砂类土	≥0.92	≥90	—
		细砾土	≥0.92	≥110	—
		碎石类及粗砾土	≥0.92	≥130	
		化学改良土	≥0.92	—	≥250

7.3.3 基床以下路堤填料采用 C3 组及化学改良土填筑,填料的含水率应接近最优含水率,否则可采取疏干晾晒或加水湿润等措施。

7.3.4 路堤边坡高度大于 15 m 时,应根据填料、边坡高度等加宽路基面,其每侧加宽值应按式(7.3.4)计算确定。

$$\Delta b = CHm \tag{7.3.4}$$

式中 C——路堤填料的沉降比,应结合填料、压实设备、压实标准及地区经验综合确定;

H——路堤边坡高度(m);

m——道床边坡坡率,m=1.75。

7.4 边坡形式和坡率

7.4.1 路堤边坡形式和坡率应根据轨道类型和列车荷载、填料的物理力学性质、边坡高度及地基工程地质条件等由稳定分析计算确定。当地基条件良好,边坡高度不大于表 7.4.1 的规定,其边坡形式和坡率可按表 7.4.1 采用。

表 7.4.1 路堤边坡形式和坡率

填料名称	边坡高度(m)			边坡坡率		边坡形式
	全部高度	上部高度	下部高度	上部坡率	下部坡率	
细粒土、易风化的软块石土	20	8	12	1 : 1.50	1 : 1.75	折线形或台阶形
粗粒土(细砂、粉砂除外)、漂石土、卵石土、碎石土、不易风化的软块石土	20	12	8	1 : 1.50	1 : 1.75	折线形或台阶形
硬块石土	8	—	—	1 : 1.30		直线形
	20	—	—	1 : 1.50		直线形

- 注:1 如有可靠资料和经验时,可不受本表限制。
2 边坡高度较高时可采用台阶型。
3 路基浸水或填料为粉细砂、膨胀土、盐渍土等时,其边坡形式和坡率应符合《铁路特殊路基设计规范》的相关规定。

7.4.2 路堤边坡稳定性应分别检算路堤施工期及铁路运营期的稳定系数,以运营期的稳定安全系数作为设计指标,以施工期的稳定安全系数作为验算指标。

7.4.3 铁路运营期路堤边坡最小稳定安全系数应符合本规范第 3.3.5条的规定;考虑运架设备等施工临时荷载时,稳定安全系数不宜小于 1.10。

7.4.4 路堤坡脚外应设置宽度不小于 2 m 的护道。在经济作物区地段,可设宽度不小于 1 m 的人工护道或坡脚墙。

8 路 堑

8.1 一 般 规 定

8.1.1 路堑边坡高度应根据地层岩性、岩体破碎程度、水文条件等综合确定,不宜超过 30 m。

8.1.2 土质、软质岩及强风化的硬质岩路堑应设置侧沟平台,宽度不宜小于 0.5 m;路堑边坡在土石分界、透水和不透水层交界面处宜设置边坡平台,宽度不宜小于 2 m。

8.1.3 地下水发育、排水困难及膨胀土(岩)等地段,可按路堤式路堑结构形式设计。

8.1.4 路堑设计应减少对天然植被和山体的破坏,防止诱发地质灾害。

8.1.5 较高土质边坡和软弱松散岩石路堑,应根据工程地质条件、岩层风化及节理发育程度,结合施工工艺,宜采用分层开挖、分层稳定和坡脚预加固技术。

8.2 土 质 路 堑

8.2.1 土质路堑边坡形式及坡率应根据工程地质、水文地质和气象条件、边坡高度、防排水措施、施工方法等,结合自然稳定山坡和人工边坡的调查及力学分析综合确定。

8.2.2 土质路堑边坡高度小于 20 m 时,边坡坡率可按表 8.2.2 确定;当存在不利地层分界面、滑动面、地下水出露等特殊情况,需通过稳定分析计算确定。

表 8.2.2 土质路堑边坡坡率

土的类别		边坡坡率
黏土、粉质黏土、塑性指数大于 3 的粉土		(1 : 1.00)~(1 : 1.50)
中密以上的中砂、粗砂、砾砂		(1 : 1.50)~(1 : 1.75)
漂石土、卵石土、碎石土、粗砾土、细砾土	胶结和密实	(1 : 0.50)~(1 : 1.25)
	中 密	(1 : 1.25)~(1 : 1.50)

注:1 特殊土路堑边坡形式及坡率应符合《铁路特殊路基设计规范》TB 10035 的相关规定。
2 有可靠的资料和经验时,可不受本表限制。

8.2.3 路堑边坡高度大于 20 m 时,边坡坡率、形式等应通过稳定性分析计算确定,最小稳定安全系数应符合本规范第 3.3.5 条的规定。

8.2.4 黄土、膨胀土、风沙等特殊土路堑设计应符合《铁路特殊路基设计规范》TB 10035 的相关规定。

8.3 岩石路堑

8.3.1 岩石路堑边坡形式及坡率应根据工程地质、水文地质和气象条件、岩性、边坡高度、施工方法,并结合岩体结构、结构面产状、风化程度及自然稳定边坡和人工边坡的调查等因素综合确定,必要时可进行稳定分析方法予以检算。

8.3.2 岩石路堑边坡高度小于 20 m 时,边坡坡率可按表 8.3.2 确定。

表 8.3.2 岩石路堑边坡坡率

岩石类别	风化程度	边坡坡率
硬质岩	未风化、微风化	(1 : 0.1)~(1 : 0.5)
	弱风化、强风化	(1 : 0.3)~(1 : 0.75)
	全风化	(1 : 0.75)~(1 : 1.0)

续表 8.3.2

岩石类别	风化程度	边坡坡率
软质岩	未风化、微风化	(1 : 0.3)~(1 : 0.75)
	弱风化、强风化	(1 : 0.5)~(1 : 1.0)
	全风化	(1 : 0.75)~(1 : 1.5)

- 注:1 特殊岩路堑边坡形式及坡率应符合《铁路特殊路基设计规范》的相关规定。
2 存在不利结构面的岩质边坡应通过稳定计算确定。
3 有可靠的资料和经验时,可不受本表限制。

8.3.3 强风化或全风化的硬质岩及软质岩路堑,可按本规范第 8.1.2条规定设置平台和排水设施。

8.3.4 岩石路堑边坡高度大于 20 m 时,边坡坡率、形式等应通过稳定性分析计算确定,最小稳定安全系数应符合本规范第 3.3.5 条的规定。

8.3.5 硬质岩路堑应根据岩体结构、结构面产状、岩性及施工影响范围内既有建筑物的安全性要求等,采用光面爆破、预裂爆破等控制爆破技术或机械开挖施工。

9 过渡段

9.1 一般规定

9.1.1 路基与桥隧等其他线下结构物、不同路基结构、不同地基处理形式连接处可能导致轨道基础沉降变形及刚度差异时,应设置过渡段。

9.1.2 桥梁、涵洞及隧道等结构工程之间的路基,有砟轨道城际铁路、重载铁路及客货共线铁路长度小于 20 m,高速铁路、无砟轨道城际铁路长度小于 40 m 时,应按过渡段进行特殊设计。

9.1.3 无砟轨道与有砟轨道路基连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。

9.1.4 轨道下横跨挖方与填方的半填半挖路基,可通过换填挖方部分调整与填方部分的刚度差异,换填厚度宜根据地基条件及填方部分的高度确定。

9.1.5 桥台背及横向结构物两侧设置的过渡段,需挖除硬质岩时,宜结合铁路等级、挖方高度等进行特殊设计,可采用回填混凝土措施处理。

9.2 路基与桥台过渡段

9.2.1 路基与桥台过渡段宜采用沿线路纵向倒梯形过渡形式,如图 9.2.1—1 所示;过渡段施工先于邻近路基时,可采用沿线路纵向正梯形过渡形式,如图 9.2.1—2 所示。

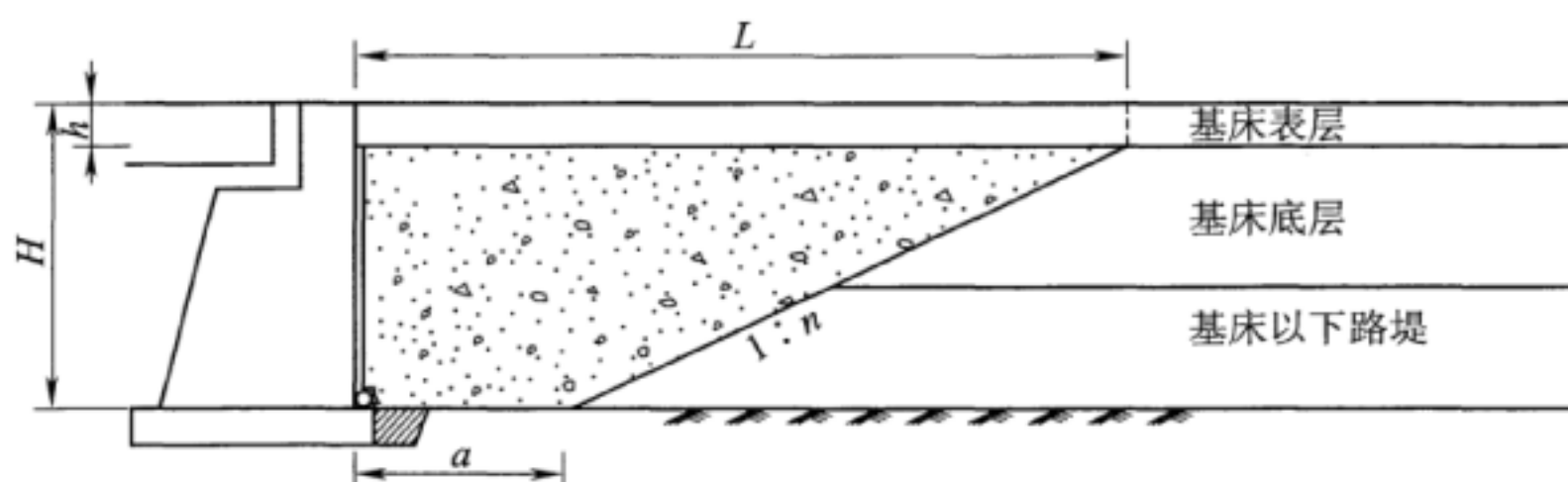


图 9.2.1—1 台尾倒梯形过渡段设置示意图

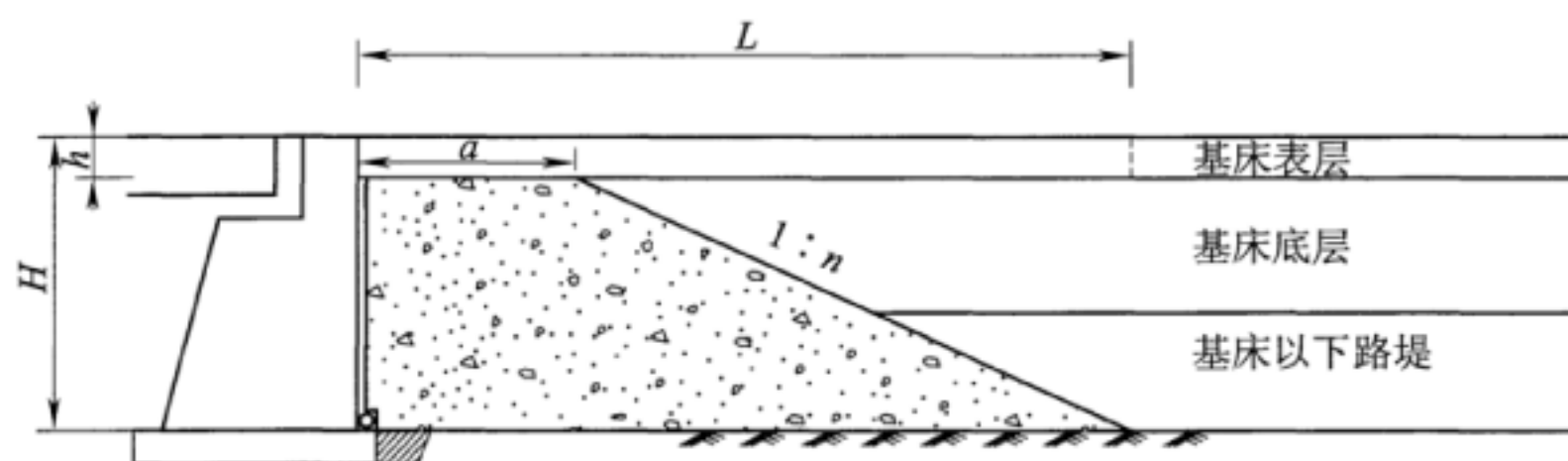


图 9.2.1—2 台尾正梯形过渡段设置示意图

9.2.2 过渡段长度按式(9.2.2)确定,高速铁路、无砟轨道铁路过渡段长度不应小于 20 m。

$$L = a + (H - h)n \quad (9.2.2)$$

式中 L ——过渡段长度(m);

H ——台后路堤高度(m);

h ——基床表层厚度(m);

a ——过渡段梯形底部(或顶部)沿线路方向长度,高速铁路、无砟轨道城际铁路、重载铁路、设计速度 200 km/h 的有砟轨道城际铁路和客货共线铁路取 3 m~5 m,设计速度 200 km/h 以下的有砟轨道城际铁路和客货共线铁路取 3;

n ——常数,高速铁路、无砟轨道城际铁路、重载铁路、设计速度 200 km/h 的有砟轨道城际铁路和客货共线铁

路取 2~5,设计速度 200 km/h 以下的有砟轨道城际铁路和客货共线铁路取 2。

9.2.3 过渡段路基基床表层应符合本规范第 6.3.1 条及第 6.5.1 条的要求。

9.2.4 过渡段基床表层以下梯形部分的填料及填筑压实应符合下列规定:

1 高速铁路、无砟轨道及设计速度 200 km/h 的有砟轨道城际铁路应分层填筑掺入不小于 3% 水泥的级配碎石,压实标准应符合压实系数 $K \geq 0.95$ 、地基系数 $K_{30} \geq 150$ MPa/m、动态变形模量 $E_{vd} \geq 50$ MPa。

2 设计速度 200 km/h 的客货共线铁路可分层填筑级配碎石,距离结构物 2.0 m 范围应掺入不小于 3% 水泥,压实标准应符合压实系数 $K \geq 0.95$ 、地基系数 $K_{30} \geq 150$ MPa/m。

3 重载铁路应分层填筑 A 组填料,压实标准应符合压实系数 $K \geq 0.95$ 、地基系数 $K_{30} \geq 150$ MPa/m、动态变形模量 $E_{vd} \geq 40$ MPa。

4 设计速度 200 km/h 以下的有砟轨道城际铁路和客货共线铁路应填筑 A 组填料,其压实标准应符合本规范第 6.5.3 条中基床底层的相关规定。

5 级配碎石的级配范围应符合本规范第 5.2.11 条的规定。

9.2.5 过渡段浸水部分的填料除级配碎石外均应符合渗水土填料的技术要求。

9.2.6 高速铁路、无砟轨道及设计速度 200 km/h 的有砟轨道城际铁路过渡段桥台基坑应以混凝土回填或以碎石、改良土分层填筑,其他铁路的过渡段桥台基坑应以碎石、改良土分层填筑。混凝土应满足设计强度要求,碎石、改良土填筑应满足 $E_{vd} \geq 30$ MPa。

9.2.7 过渡段地基加固措施应满足工后沉降控制要求,并应考虑与桥台及相邻路基地段变形协调,必要时可在台后设置钢筋混凝土搭板。

9.3 路基与横向结构物过渡段

9.3.1 路基与横向结构物(立交框构、箱涵等)连接处,根据地形、地质条件设置过渡段,宜采用沿线路纵向倒梯形过渡形式,如图 9.3.1—1所示;过渡段施工先于邻近路基时,可采用沿线路纵向正梯形过渡形式,如图 9.3.1—2 所示。

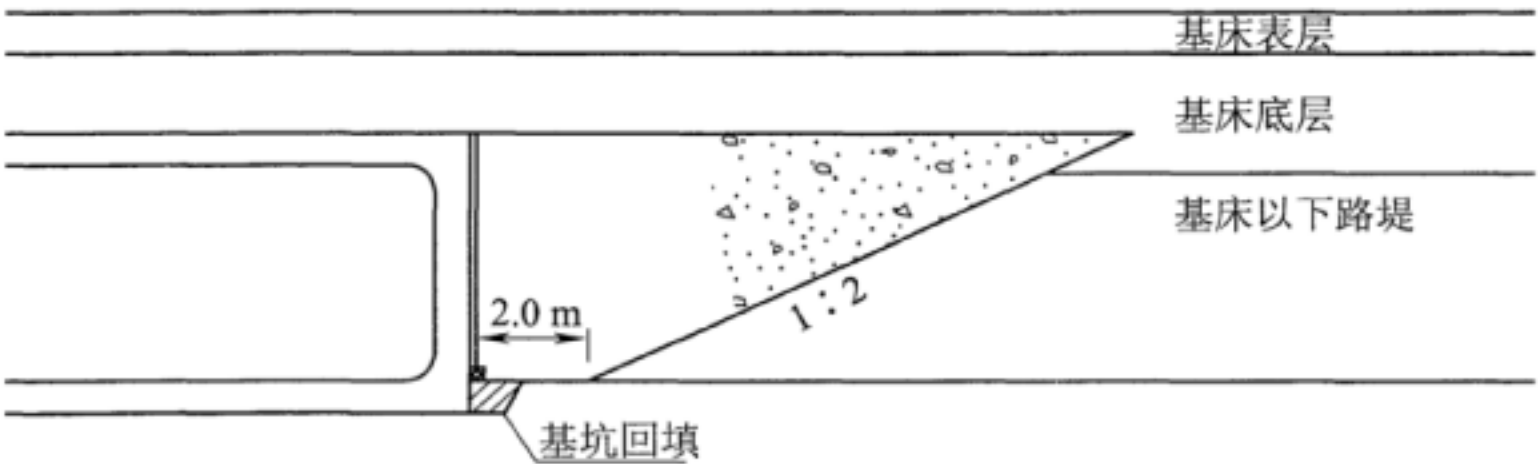


图 9.3.1—1 路基与横向结构物倒梯形过渡段示意图

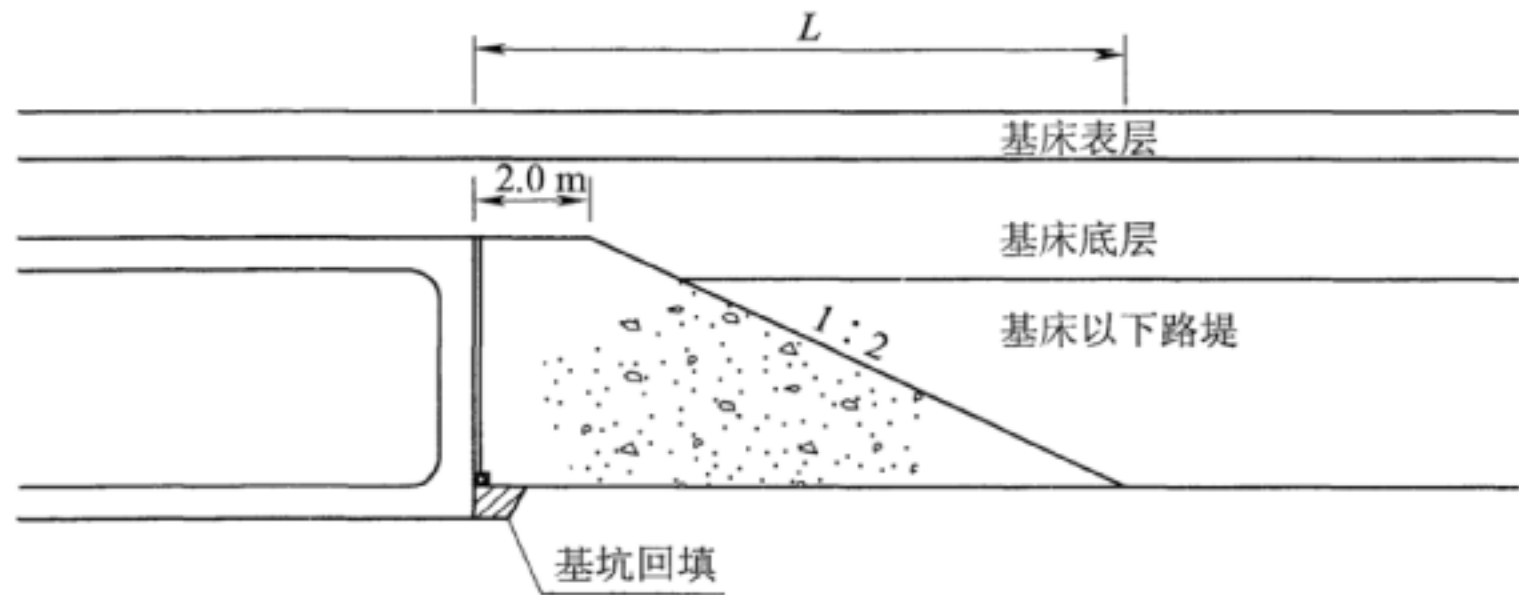


图 9.3.1—2 路基与横向结构物正梯形过渡段示意图

- 9.3.2 横向结构物顶部及过渡段路基基床表层应符合本规范第 6.3.1条及第 6.5.2 条的要求。
- 9.3.3 寒冷、严寒地区过渡段与横向结构物接触区冻结影响范围应填筑防冻胀性能较好的填料,如图 9.3.3 所示。

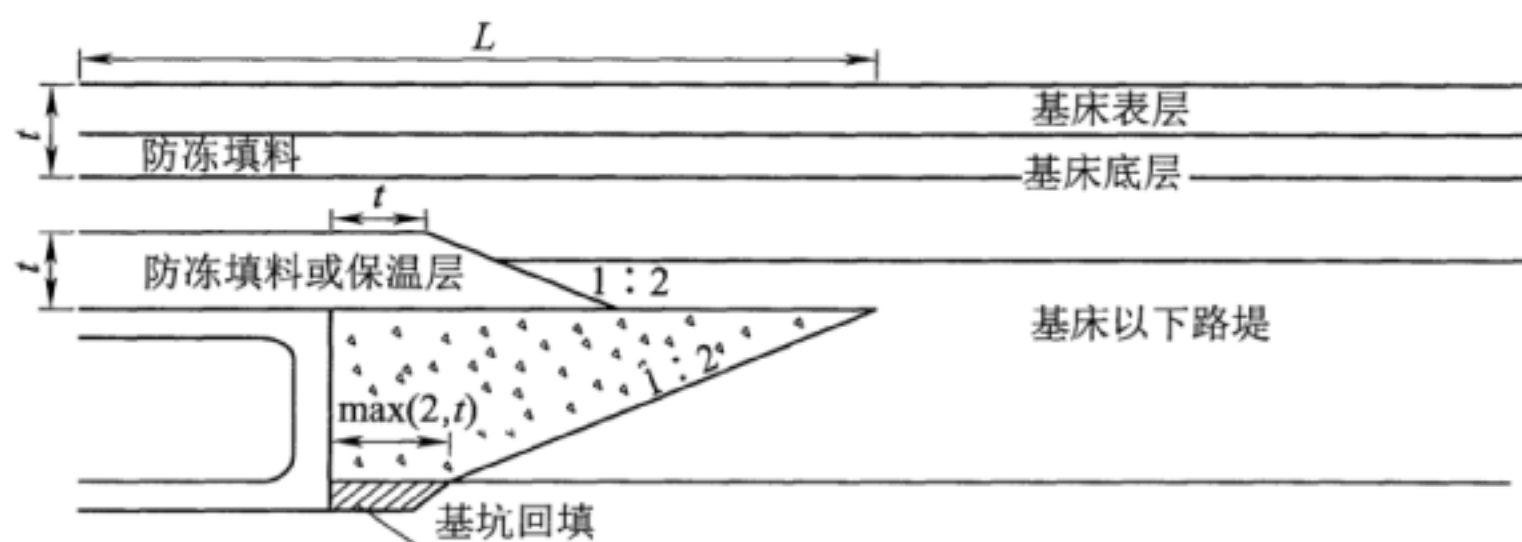


图 9.3.3 寒冷、严寒地区路基与横向结构物过渡段示意图

注：图中 t 为冻胀设防厚度，单位 m。

9.3.4 路基与横向结构物过渡段填料、压实标准、基坑回填及施工应符合本规范第 9.2.4 条～第 9.2.6 条的规定。

9.3.5 过渡段地基加固应满足工后沉降控制要求，横向结构物地基加固措施应与相邻路基地段地基加固措施协调。

9.3.6 有砟轨道铁路横向结构物顶面填土高度大于 3 m，且大于路堤高度的 $2/3$ 时可不设过渡段。

9.4 路堤与路堑过渡段

9.4.1 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 1.0 m，并在路堤一侧设置过渡段，如图 9.4.1 所示。过渡段填筑要求应符合本规范第 9.2.4 条～第 9.2.7 条的规定。

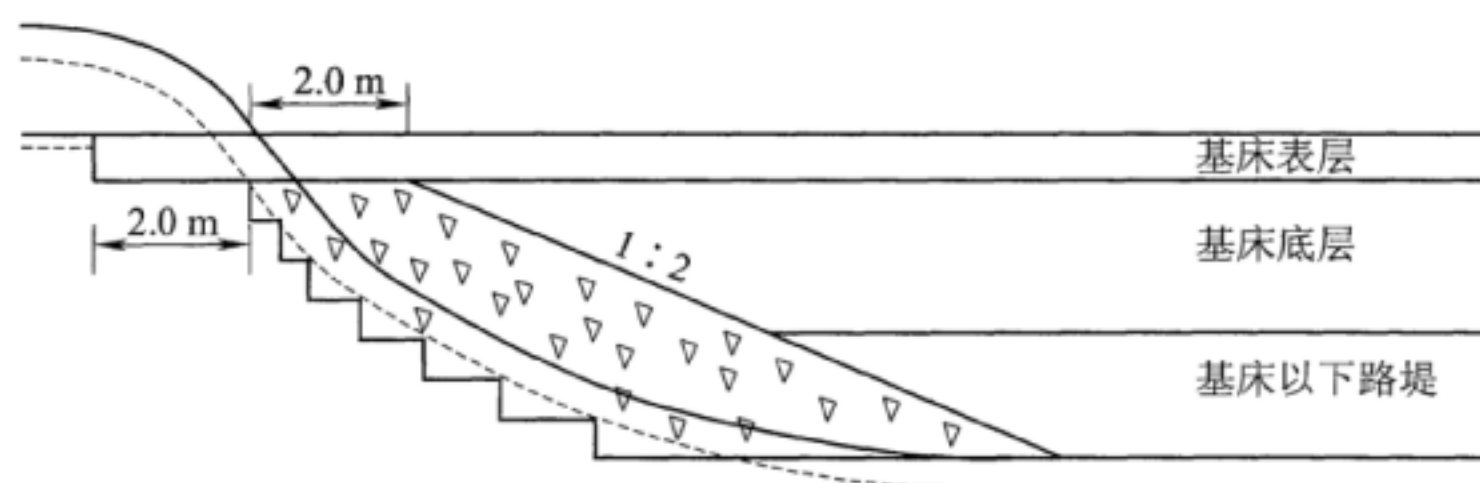


图 9.4.1 硬质岩石堤堑过渡段示意图

9.4.2 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 1.0 m,如图 9.4.2 所示。开挖部分填筑要求应与路堤相应位置相同。

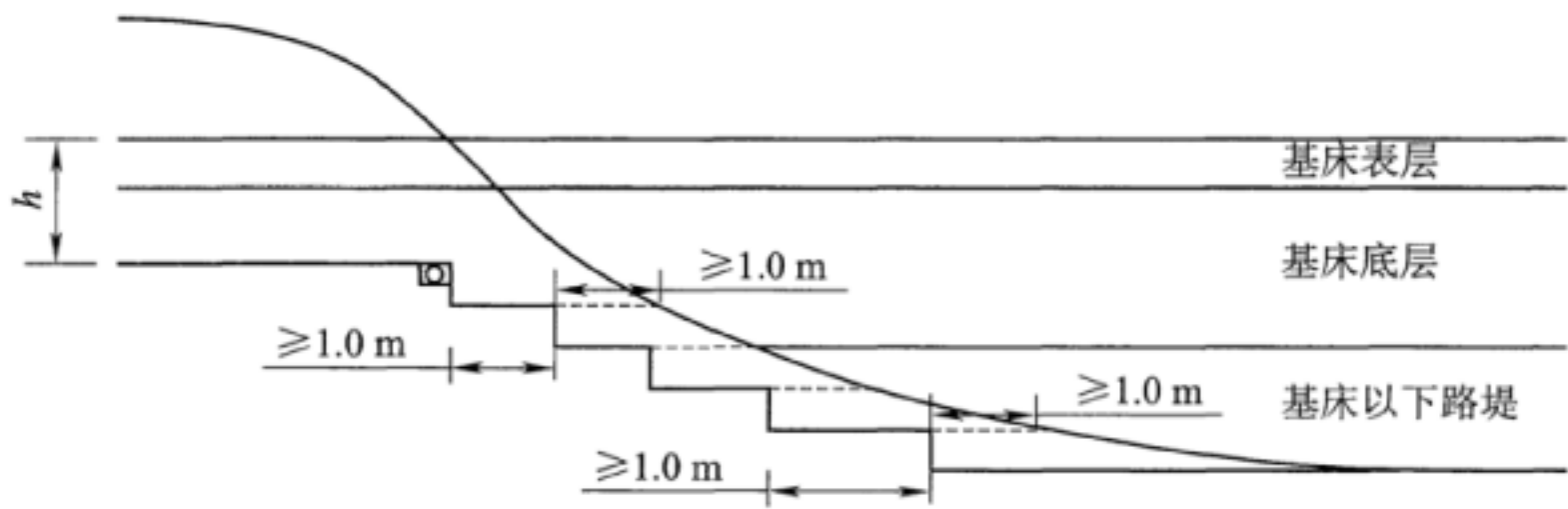


图 9.4.2 软质岩石或土质堤堑过渡段示意图
注:图中 h 为路堑基床换填厚度,单位 m。

9.5 路堑与隧道过渡段

9.5.1 高速铁路、无砟轨道城际铁路、设计速度 200 km/h 的有砟轨道城际铁路及客货共线铁路土质、软质岩路堑与隧道连接处,应设置过渡段,宜采用沿线路纵向倒梯形过渡形式,如图 9.5.1 所示。

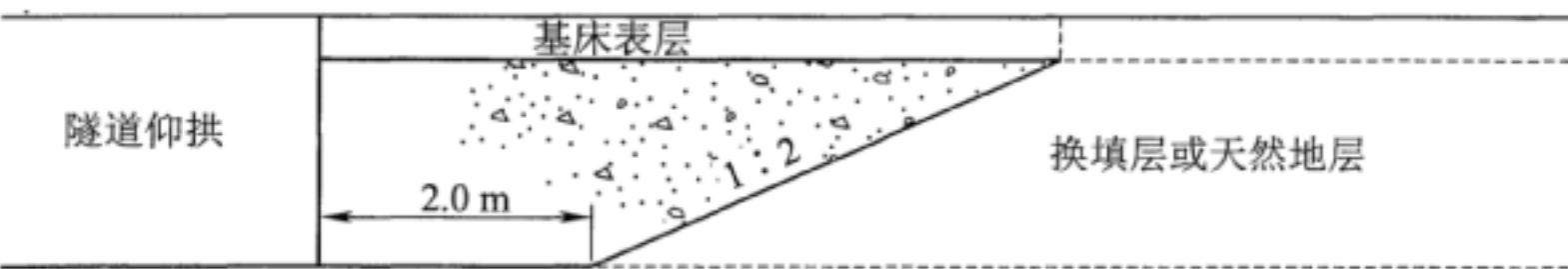


图 9.5.1 路堑与隧道过渡段示意图

9.5.2 过渡段路基填料、压实标准应满足本规范第 9.2.3 条～第 9.2.6 条的规定。

10 地基处理

10.1 一般规定

10.1.1 地基处理方法应根据铁路等级、轨道类型、荷载大小、场地地质和环境条件、处理目的、工期要求等因素,结合处理措施的适宜性、施工工艺和地区经验等合理确定。

10.1.2 地基处理设计应满足路基稳定、沉降变形控制或基床、支挡结构物地基承载力要求;饱和粉土及松散砂土地基,应满足防止振动液化或地震液化的要求。

10.1.3 路堤与地基的整体稳定性、地基沉降应根据地基特征、处理措施类型及滑动破坏型式等条件,按施工期和运营期分别进行计算分析,稳定安全系数和工后沉降控制标准应符合本规范及《铁路特殊路基设计规范》TB 10035 的有关规定。

10.1.4 地基处理设计与施工有关参数,应进行代表性现场试验或试验性施工,并进行必要的测试,确认技术上可行后,方可正式施工。

10.1.5 地基处理应加强施工过程质量控制和加固效果检测。地基处理质量验收合格后方可进行上部路基施工。

10.1.6 地基处理地段路基,应根据本规范第 3.4 节的要求进行沉降变形观测与评估,工后沉降满足要求后方可铺轨。

10.2 主要技术要求

10.2.1 路堤位于稳定斜坡时,地基表层处理应符合本规范第 7.1.2 条的规定。

10.2.2 路堤与地基的整体稳定性检算应符合下列规定:

1 天然地基或采用排水固结法处理地基时,整体滑动稳定性宜采用圆弧法检算;基底软弱土层较薄时,除按圆弧滑动法计算外,还应按不平衡推力传递系数法分析路堤沿复式滑面滑动的稳定性;路堤沿斜坡地基或软弱夹层带滑动的稳定性,除按圆弧滑动法计算外,还应按不平衡推力传递系数法分析。

2 散体材料桩、柔性桩复合地基整体滑动稳定性一般可按第1款的规定检算,并应根据滑弧切割地层及范围分别采用复合或天然地基土抗剪强度指标。

3 刚性桩复合地基及路堤较高、软土性质极差的柔性桩复合地基,宜根据可能的破坏模式,采用适宜的方法进行检算,必要时可结合数值法分析。

4 采用钢筋混凝土桩网(筏)、桩板结构处理时,应按桩承式路堤刚性桩结构进行稳定性分析检算,单桩竖向承载力应不小于其承担的竖向荷载。

10.2.3 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,宜按本规范第3.3.7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。

4 钢筋混凝土桩网(筏)、桩板结构地基下卧层沉降宜按等效实体法、 $L/3$ 法计算。

10.2.4 膨胀土、冻土地基胀缩变形计算及地基处理措施应结合地基土膨胀性等级、冻胀等级等按国家现行相关规范确定。

10.2.5 湿陷性黄土地区路基,应分别进行压缩沉降和地基湿陷量分析、计算,根据不同等级铁路工后沉降要求采取防止、减少或消除地基湿陷性处理措施。

10.2.6 岩溶、洞穴地基应进行稳定性评价,路基与塌陷不稳定区域之间应留有一定安全距离,安全距离的大小根据铁路等级、轨道类型、洞穴顶板的埋藏深度等综合确定,必要时采取消除塌陷的地基处理措施。

10.2.7 路基与其他构筑物分界处、地层变化较大地段及不同地基处理措施连接处,应进行差异沉降检算,采取渐变过渡的地基处理措施,减少不均匀沉降。

10.2.8 地基处理邻近既有铁路、公路、地下管线或其他建筑物地段,应对既有设施的影响进行必要的检算与评估,采取加强监测和必要的处理措施,保证既有设施的正常使用和安全。

10.3 常用措施

10.3.1 路堤基底地面横坡陡于 1 : 2.5,不满足陡坡路堤抗滑动稳定性要求时,可采取在原地面挖台阶、复合地基、钢筋混凝土桩桩网(筏)、桩板结构等地基处理措施。

10.3.2 地基表层为软弱土层,其静力触探比贯入阻力 P_s 值小于 1.0 MPa,或天然地基基本承载力 σ_0 小于 0.12 MPa,路堤稳定性、工后沉降满足要求时,应根据土层性质、厚度、地表积水情况等条件,采取排水疏干、清除地表种植土、粗粒土垫层(加筋)、碾压片石或挖除换填等适应填筑需要的地表或浅层处理措施。碾压片石、挖除换填处理深度不应大于 3 m。

10.3.3 地基土软弱、松散或存在湿陷、液化等不良地基条件,不满足路基稳定、沉降变形控制或承载力等要求时,宜结合附录 D,按下列原则采取适宜的处理措施:

1 处理深度不大于 3 m 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、饱和黏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或钢筋混凝土桩网(筏)等深层

处理措施。

3 非饱和黏性土、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、柱锤冲扩桩、灰土(水泥土)挤密桩、水泥土搅拌桩、旋喷桩、水泥粉煤灰碎石(CFG)桩、低强度素混凝土桩等挤密、置换桩复合地基或钢筋混凝土桩网(筏)等深层处理措施。

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、复合地基及钢筋混凝土桩网(筏)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、钢筋混凝土桩网(筏)或二者综合加固的处理措施。

10.3.4 岩溶、人为坑洞地基处理,可采用强夯、回填、换填、跨越、注浆或钢筋混凝土桩网(筏)等处理措施。

10.3.5 地质、环境条件复杂时,松散粗粒土、非饱和粉土及黏性土、湿陷性黄土地基处理或既有工程地基补强加固,可采用注浆或微型桩等特殊措施。

11 支 挡 结 构

11.1 一 般 规 定

11.1.1 路基支挡结构设计应满足强度、稳定性和耐久性的要求；结构类型选择及设置位置的确定应安全可靠、经济合理，便于施工养护。

11.1.2 路基在下列情况宜设置支挡结构：

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。

11.1.3 设置支挡结构的地段，应查明地质条件、地基承载力和锚固条件，合理确定岩土(或填料)物理力学参数。

11.1.4 路肩挡土墙应在下列地段设置防护栏杆：

1 墙顶高出地面 2 m 且连续长度大于 10 m 时。

2 墙趾下为悬崖陡坎或地面横坡陡于 1 : 1、连续长度大于 20 m 的山坡时。

3 车站有调车作业地段。

11.1.5 本规范第 11.1.4 条第 1、第 2 款规定地段应在靠山侧铺设单侧护轮轨，铺设范围为两端各延长 5 m。

11.1.6 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,衔接平顺。

11.1.7 改建和增建新线工程中的支挡结构设计应注意采取措施减少对既有线行车的干扰,保证既有线的行车安全。

11.2 主要设计原则

11.2.1 支挡结构设计应根据不同工况的荷载组合,按《铁路路基支挡结构设计规范》TB 10025 进行稳定性检算及结构构件设计。顶部设有防护栏杆、接触网立柱或声屏障基础时,应考虑结构物顶部外力作用。

11.2.2 挡土墙应采用总安全系数法按式(11.2.2—1)、式(11.2.2—2)进行抗滑动和抗倾覆稳定性检算,挡土墙稳定系数应满足表 11.2.2 的要求。

$$K_c = \frac{\sum R}{\sum T} \tag{11.2.2—1}$$

式中 K_c ——抗滑动稳定系数;

$\sum R$ ——总的抗滑力(kN);

$\sum T$ ——总的滑动力(kN)。

$$K_0 = \frac{\sum M_y}{\sum M_0} \tag{11.2.2—2}$$

式中 K_0 ——抗倾覆稳定系数;

$\sum M_y$ ——稳定力系对墙趾的总力矩(kN·m);

$\sum M_0$ ——倾覆力系对墙趾的总力矩(kN·m)。

表 11.2.2 挡土墙稳定系数

项目名称	一般工况、常水位工况	洪水位工况	地震工况	临时工况
抗滑动稳定系数	≥1.3	≥1.2	≥1.1	≥1.05
抗倾覆稳定系数	≥1.6	≥1.4	≥1.3	≥1.1

注:临时荷载主要指架桥机等运架设备及其他施工临时荷载。

11.2.3 加筋挡土墙、土钉墙、预应力锚索应进行抗拉检算和抗拔检算；锚固桩结构应进行锚固段地基侧向压应力检算；必要时，桩板墙应进行顶部位移验算。

11.2.4 支挡结构结构构件设计应符合下列规定：

1 素混凝土和片石混凝土结构应按容许应力法进行偏心、截面法向压应力和拉应力及剪应力验算，满足《铁路路基支挡结构设计规范》TB 10025 的规定。

2 钢筋混凝土构件宜按《混凝土结构设计规范》GB 50010 进行抗弯、抗剪、抗拉、抗压、抗扭、挠度和裂缝宽度等验算，荷载分项系数应按《铁路路基支挡结构设计规范》TB 10025 的规定取值。

11.2.5 位于软土、斜坡等地段的路基支挡结构，应进行整体稳定性检算，稳定安全系数应满足本规范 3.3.5 条的规定。

11.2.6 支挡结构抗震设计应符合《铁路工程抗震设计规范》GB 50111 的规定。

11.2.7 支挡结构耐久性应符合《铁路混凝土结构耐久性设计规范》TB 10005 的规定。

11.3 常用支挡结构类型及适用范围

11.3.1 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形式。

11.3.2 一般地区设置支挡结构应符合下列规定：

1 铁路路堑设置支挡结构宜选择重力式挡土墙、土钉墙、桩板式挡土墙、抗滑桩、预应力锚索、锚杆挡土墙等结构型式。

2 铁路路堤设置支挡结构宜选择重力式挡土墙、悬臂式和扶壁式挡土墙、桩基托梁挡土墙、桩板式挡土墙、加筋土挡土墙、抗滑桩等结构型式。

11.3.3 浸水地区铁路路堤设置支挡结构宜选择重力式挡土墙、

悬臂式挡土墙、桩基托梁挡土墙、桩板式挡土墙等结构型式。

11.3.4 地震地区铁路路堑设置支挡结构时宜选择桩板式挡土墙、预应力锚索、重力式挡土墙等结构型式,铁路路堤设置支挡结构时宜选择悬臂式挡土墙、桩板式挡土墙、加筋土挡土墙、抗滑桩、重力式挡土墙等结构型式。

11.3.5 滑坡、岩堆、顺层等不良地质地段设置支挡结构,推力较大时,宜选择抗滑桩、桩板式挡土墙、预应力锚索及锚索桩;推力较小时,可采用重力式挡土墙。

11.3.6 在城市及风景区周边宜采用悬臂式和扶壁式挡土墙、加筋土挡土墙等与周围景观协调的轻型支挡结构。

12 路基防护

12.1 一般规定

12.1.1 路基防护包含路基边坡防护、风沙及雪害地段平面防护、路基保温防护等。

12.1.2 路基防护设计应遵循因地制宜、安全可靠、经济适用、易于管护、兼顾景观的原则。

12.1.3 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。

12.1.4 路基边坡防护设计应结合边坡的岩土性质、地质构造、水文地质条件、气候环境、边坡朝向、边坡坡率和高度等采用植物防护或植物防护与工程防护相结合的措施。

12.2 植物防护

12.2.1 植物防护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。

12.2.2 土质路基边坡宜采用灌草结合或栽植灌木的防护形式;气候条件适宜植物生长地区的岩石路基边坡可采用客土(种植土)植草、灌植物,植生袋植草、灌植物,喷混植生等防护形式。

12.2.3 受季节性水流浸泡、流速小于 1.8 m/s 地段的路堤边坡,应采用根茎发达、缠绕性强和耐湿、耐水淹的灌木防护。沿河路堤的下部边坡或坡脚,可采用栽植乔木、灌木的防冲刷措施。

12.2.4 植物防护常用植物种类应结合植物生长的自然条件、降水量和气温等按附录 E 选用,不应采用油脂性植物。

12.2.5 植物防护不得影响行车和铁路设备的安全。植物与地下管线最小水平距离应符合附录 E 的规定。

12.2.6 混播草、灌木或藤本植物种子的配置要遵循速生与慢生相结合、豆科与非豆科相结合、浅根与深根相结合、返青期不同的品种相结合的原则。

12.2.7 草、灌木或藤本植物种子的播种量,应结合工点边坡的岩土性质、边坡坡率、种子发芽率、粒重、设计覆盖率和成活率等确定。

12.2.8 植物防护施工和养护用水,不应含有危害植物生长的成分,必要时进行水质分析。

12.3 骨架护坡

12.3.1 骨架护坡可用于路堤边坡和土质、全风化岩层及强风化软质岩路堑边坡防护。

12.3.2 骨架护坡可采用片石砌筑、混凝土浇筑或预制混凝土构件拼装。

12.3.3 骨架护坡宜采用带截水缘的拱型、人字型、方格型等,骨架间距宜采用 2 m~4 m。骨架嵌入边坡的深度应结合边坡岩土性质和坡率、气候条件等综合确定,不应小于 0.4 m。

12.3.4 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 12 m。

12.3.5 骨架护坡内宜根据土质及环境条件采用铺设干(浆)砌片石、混凝土块、空心砖、种植草灌等防护措施。

12.4 实体护坡(墙)

12.4.1 实体护坡(墙)包括干砌片石、浆砌片石或混凝土护坡(墙),宜用于风沙、浸水及受河流冲刷地段的路堤边坡及河岸和水库岸坡等的防护,也可用于土质和易风化剥落的岩石路堑边坡防护。

12.4.2 实体护坡用于河流冲刷或岸坡防护,应符合下列规定:

1 干砌片石护坡、混凝土预制块护坡可用于水流较平顺、不受主流冲刷且流速小于 3 m/s 的地段。

2 浆砌片石或混凝土护坡用于受主流冲刷、流速不大于 8 m/s,波浪作用强烈的地段。

3 护坡下应设置反滤层。

12.4.3 实体护坡(墙)用于路堑边坡防护,单级高度不宜超过 12 m,超过时宜设平台、分级砌筑或浇筑。

12.4.4 干砌片石护坡厚度不宜小于 0.25 m,浆砌片石护坡厚度不宜小于 0.3 m,现浇混凝土护坡厚度不宜小于 0.15 m,预制混凝土护坡厚度不宜小于 0.08 m。浆砌片石或混凝土护墙厚度不宜小于 0.4 m。

12.4.5 实体护坡(墙)基础埋置深度,应符合下列规定:

1 用于河流冲刷或岸坡的护坡,应埋设在冲刷深度以下不小于 1.0 m 或嵌入基岩内不小于 0.2 m。

2 用于路堑边坡的护墙基础埋深不应小于 1.0 m。

12.5 孔窗式护坡(墙)

12.5.1 孔窗式护坡(墙)可用于易风化或风化破碎的岩石路堑边坡、坡面易受侵蚀的土质路堑边坡防护。

12.5.2 孔窗式护坡(墙)可采用片石或混凝土预制块砌筑、混凝土浇筑。

12.5.3 护坡(墙)单级高度不宜超过 12 m,超过时宜设平台、分级砌筑或浇筑。

12.5.4 孔窗式护坡(墙)坡率不宜陡于 1 : 0.75,开孔尺寸宜选用 2 m~4 m,窗孔内宜喷混植生或种植植物。

12.5.5 孔窗式护墙的基础埋深应不小于 1 m。

12.6 锚杆框架梁护坡

12.6.1 锚杆框架梁护坡可用于土质、软质岩及风化硬质岩路堑边坡防护,可与植物防护、土工网垫客土植生、空心砖内客土植生、喷混植生、生态袋、植生袋、喷锚网、柔性防护网等防护组合使用。

12.6.2 锚杆框架梁护坡可多级设置,边坡坡率不宜陡于1:0.75,单级高度不宜超过15 m。

12.6.3 锚杆框架梁应采用钢筋混凝土现浇,可按正方形或菱形布置,截面尺寸不宜小于0.3 m,混凝土强度等级应不低于C30。锚杆间距不宜小于2 m,锚杆长度不宜小于5 m。

12.6.4 护坡防护起点、讫点处各0.5 m宽度应采用现浇混凝土或浆砌片石砌筑镶边加固。护坡顶应设置混凝土或浆砌片石镶边,护坡坡脚应设置混凝土或浆砌片石护脚。

12.6.5 年平均降雨量超过600 mm地区,框架梁上应设置截水槽,边坡平台应设置截水沟。

12.7 喷射混凝土(砂浆)护坡

12.7.1 喷射混凝土(砂浆)护坡可用于风化破碎、节理裂隙较发育或较高陡的岩石路堑边坡。必要时可增加挂网措施。

12.7.2 重力喷射砂浆宜采用纯净的细砂,粒径应为0.1 mm~0.25 mm;机械喷射砂浆和喷射混凝土宜采用纯净的中粗砂,粒径应为0.25 mm~0.5 mm,含土量不应超过5%。

12.7.3 喷射砂浆厚度不宜小于5 cm;喷射混凝土厚度宜为7 cm~10 cm。

12.7.4 喷射混凝土(砂浆)护坡应设置泄水孔,应每隔2 m~3 m上下左右交错布置。地下水发育时,应根据情况适当加密、加深、加粗。

12.8 石 笼 防 护

12.8.1 石笼防护可用于流速 $4\text{ m/s}\sim 5\text{ m/s}$ 、波浪高 $1.5\text{ m}\sim 1.8\text{ m}$ 的周期性浸水地段的河岸或路基边坡防护。在有滚石的河段,不宜采用石笼防护。

12.8.2 编织石笼的材料可选用土工合成材料、金属。

12.8.3 石笼内填充石料应选用坚硬不崩解,未风化的卵石、块石,石料块径应大于网孔尺寸。

12.8.4 石笼应铺设在平整,夯实的基底上;石笼用于垒砌时宜采用长方体,用于平铺时宜采用扁长方体。

12.9 防 护 网

12.9.1 危岩、落石防护措施应根据其分布范围、规模大小、边坡高度及距线路远近等因素综合确定,可结合清除危石处理等防护措施设置防护网防护。

12.9.2 坡面危石分布较多且体积较大,可根据检算采用主动防护网防护,或分级采用被动防护网防护。坡面危石、孤石分散且难以清理时,宜采用被动防护网防护或进行综合治理。

12.9.3 落石动能及其弹跳高度宜通过现场滚落石试验观测确定;现场滚落石试验观测难以实施时,可运用理论计算或数值模拟计算予以确定。

12.9.4 被动防护网设计高度不应小于落石最大弹跳高度加 1.0 m ,最小设计高度不应小于 2.0 m 。

12.9.5 被动防护网钢柱的高度不应低于防护网设计高度,钢柱间距不宜大于 12.0 m ,最小间距不宜小于 4.0 m 。

12.10 土工合成材料防护

12.10.1 土工合成材料可与其他工程材料、工程措施相结合用于路基防护。

12.10.2 土工网、土工网垫、立体植被护坡网用于路基防护时,应符合下列规定:

- 1 可用于适宜植物生长的土质、风化岩、易风化软岩路基边坡防护。
- 2 可用于粉细砂填筑的路堤边坡及粉细砂地层路堑边坡的风蚀防护。
- 3 可用于风沙路基两侧的固沙、阻沙工程。

12.10.3 土工格栅用于土质路基边坡补强时,应符合下列规定:

- 1 细粒土、粉细砂或软岩填筑的较高路堤,可于边坡表层不小于 3 m 宽度范围铺设土工网、土工格栅,抑制边坡浅层溜坍和增强边坡抗冲蚀能力。
- 2 改建或增建二线帮宽或加宽、陡坡地基填土路堤,可于边坡坡面至填土界面内铺设土工格栅,提高界面处摩擦力,增强路堤整体稳定性。

12.10.4 风沙路基两侧的阻沙工程可采用土工网方格沙障和高立式土工合成材料防沙网沙障。

12.10.5 土工合成材料石笼或沉枕、土工模袋等可与土、石、混凝土相结合,用于覆盖冲刷防护工程的坡面或河底,其类型及适用条件可按表 12.10.5 确定。

表 12.10.5 土工合成材料用于冲刷防护工程的类型及适用条件

防护类型	结构形式	适用条件
土工格栅或土工网石笼	用土工格栅或土工网等制成箱形或圆柱形,笼内装块石、卵石形成条体或块体	适用于临时工程,流速 4 m/s~5 m/s,无滚石河段
土工合成材料沉枕	土工布缝成管袋,内填砂石料等制成的枕状物	流速 4 m/s~5 m/s、冲刷较严重的护坡、护底,如丁坝、顺坝等
土工模袋	土工模袋内充填流动性水泥砂浆或混凝土,厚度视工程需要确定	护坡坡度不陡于 1:1.5。充填水泥砂浆时,容许流速为 2 m/s~3 m/s;充填混凝土时,容许流速大于 3 m/s

12.11 风沙及雪害地区路基平面防护

12.11.1 风沙地区路基两侧应结合当地的治沙经验,采取固沙、阻沙、输沙和封沙育草、保护天然植被等多种防护措施,构成严密的、整体性的防沙结构体系。

12.11.2 两侧防沙体系应自路堤(或路堑)坡脚(或堑顶)外依序设置防火带、防护带、植被保护带等。防护带内工程防护和植物防护措施应相互协调配合,发挥整体效能。

12.11.3 防沙林和采用草类等易燃材料的防护带,应在路基坡脚或堑顶外选用卵石土、碎石土、粗砾土等铺设防火带。防火带宽度应符合《铁路工程设计防火规范》TB 10063 的规定。

12.11.4 路基两侧应根据沙源、风况、沙丘活动情况和天然植被状况等因素,分别按严重、中等和轻微风沙地段设置防护带和植被保护带。

12.11.5 防护类型应依据风沙活动特征、输沙量、地形和防护材料性质等综合确定,可采用平铺粗粒土、设置阻沙沙障、挡沙墙或高立式沙障等措施。

12.11.6 有水源可利用或年平均降水量大于 250 mm 地区,应采用植物固沙;在年平均降水量为 100 mm~250 mm 且湿沙层含水率大于 3%的地区,宜采用植物固沙。固沙植物应选择生长良好、固沙能力强的当地沙漠植物。

12.11.7 雪害地区应根据地形、地貌、植被、气候、风向、积雪厚度,并结合线路位置、路基高度等因素在路基一侧或两侧设计防护林带。防护林带宜采用乔、灌混合林。林带树种应根据当地土壤和气候条件,选用适合当地生长、易于成活、生长快的树种。

12.11.8 在不宜种植防护林和防护林未能起作用前,可在迎风一侧设置固定式或活动式防雪栅栏、防雪堤、防雪沟或导风板等,并

与主导风向垂直。当地形开阔积雪严重时,可采用防雪堤、防雪栅栏、灌木林带相结合的综合防护体系。

12.11.9 易发生掩埋线路的严重雪害或有雪崩情况的地段,可采用明洞或棚洞等防护措施。

12.12 路基保温防护

12.12.1 多年冻土地区路基应根据年平均地温、冻土类别、冻土含冰量、平面分布特征及路基的稳定状态综合分析,可采用保温层、通风管、热棒、遮阳板、保温护道等措施。青藏高原地区宜采用片石气冷路基,边坡设置片(碎)石护坡等措施。

12.12.2 多年冻土区路堤采用聚氨酯板、聚苯乙烯板或挤塑聚苯乙烯板等保温材料时,应根据路堤高度、地表地温、地层含水情况经热工计算确定。

12.12.3 多年冻土区路基埋设通风管时,可采用预制钢筋混凝土管、钢管。

12.12.4 多年冻土区路基采用热棒降温时,热棒直径和间距应根据热棒类型、所采用的工质和地-气温差等因素综合确定。

12.12.5 多年冻土区高含冰量地段路基两侧或向阳一侧边坡可设遮阳板防护。

12.12.6 多年冻土区采用片石气冷路基降温时,片石层厚度不宜小于 1.0 m,片石粒径宜为 0.1 m~0.3 m,并应在片石层顶部设置 0.2 m 厚碎砾石层和 0.2 m 厚中粗砂垫层,片石层底应做好防排水措施。

12.12.7 多年冻土区高含冰量地段路堤两侧应设置保温护道,护道材料可采用细粒土或细粒土内埋设聚苯乙烯泡沫(EPS)隔温板等。护道尺寸根据路堤边坡的朝向、护道材料综合确定,并应符合表 12.12.7 的规定。

表 12. 12. 7 保温护道尺寸

填筑材料	护道(m)		边坡坡率
	高度	宽度	
细粒土	1.5~2.0	2.5~3.0	1 : 1.75
细粒土+聚苯乙烯泡沫隔温板或聚氨酯板	0.5	1.5~3.0	1 : 1.75

注:1 护道材料为聚苯乙烯泡沫隔温板时,根据地层含冰情况选用双层或单层(EPS板一般厚 30 mm 或 50 mm)。板下铺设 0.2 m 厚的中砂(或炉渣)作垫层,板上铺 0.2 m 厚细粒土厚防火层。聚氨酯板一般厚 60 mm~80 mm。
2 护道顶面设 4%排水横坡。

12. 12. 8 多年冻土区采用片(碎)石护坡时,片(碎)石层厚度不宜小于 0.8 m,阳坡侧应适当加厚。

12. 12. 9 支挡结构物背后可采用工业保温材料保温,保温层设置应根据支挡结构物类型、厚度、当地气温、地层含水情况等综合确定。

13 路基防排水

13.1 一般规定

- 13.1.1 路基排水应与路基坡面支护工程相协调,与桥涵、隧道、车站等排水设施衔接,形成完善、畅通的防排水系统。
- 13.1.2 路基排水系统应包括路基面、路基边坡及对路基工程有影响的地面水和地下水的引排。
- 13.1.3 路基排水设计应在现场详细调查及勘察的基础上进行。
- 13.1.4 路基排水设计应做到全面规划,合理布局,重视环境保护,减少占地,并与当地排灌系统和水土保持工程相协调,完善出水口处理,避免水土流失和水资源污染。
- 13.1.5 路基排水设施所用材料应符合本规范第 5 章的相关规定。设计速度 200 km/h 及以上铁路的侧沟、天沟、排水沟应采用混凝土浇筑或预制构件拼装。
- 13.1.6 特殊土(岩)及不良地质地段路基,其排水设计应结合工程的其他处治措施综合进行。
- 13.1.7 路基排水设计降雨重现期应根据铁路等级确定,按表 13.1.7 确定。

表 13.1.7 路基排水设计降雨重现期

铁路等级	设计速度 200 km/h 及以上铁路、重载铁路	设计速度 200 km/h 以下铁路
重现期(年)	50	25~50

- 13.1.8 路基排水水文计算应根据各段落的汇水面积、表面形状、周边地形、地质条件、气候特点,结合当地的地区经验选取合理的参数和方法,参照附录 F 进行计算。

13.1.9 排水设施结构尺寸应通过计算并结合地区工程经验确定。

13.2 地 面 水

13.2.1 地面排水设计应包括沿线排水的系统设计和排水设施的设计。

13.2.2 地面排水设施的布置应充分利用地形和既有排水体统,形成完善的排水系统,使水流顺畅,不出现堵塞、溢流、渗漏、淤积、冲刷、冻结等。

13.2.3 地面排水系统设计应综合考虑坡面截排水工程等,采取有效措施防止坡面冲刷和边坡失稳。

13.2.4 地面排水设施严禁兼作其他流水用途,且排放的水流不应直接进入饮用水源、养殖池、农田等。

13.2.5 地面排水设施的设计应符合下列规定:

1 地质或土质条件差,有可能产生渗漏或变形时,应采取适宜的加固防护措施。

2 沟底纵坡不宜小于 2‰。单面排水坡坡段长度大于 400 m 时宜在适当位置增设出水口。

3 沟渠的线形要求平顺,转弯处宜做成弧线。

4 沟槽的顶面高度应高出设计水位不小于 0.2 m。

13.2.6 排入自然沟渠的天沟、排水沟,其末端应设置消能、沉淀设施,避免集中水流对地表的冲蚀。

13.2.7 自然及人工沟渠发育地区,应设过水桥涵进行疏通,不宜采用管道疏通。

13.2.8 气候干旱、排水极困难地段,可利用沿线的集中取土坑或专门开挖的凹坑修筑蒸发池。

13.2.9 填方地段路基排水应符合下列规定:

1 路基坡脚外应根据地形、气象等情况设置排水设施,以汇集并排泄坡面水和路基面上的表面水。

2 排水沟应设置在天然护道外,可根据地势情况等单侧或双侧布置。

3 地面横坡不明显地段,填高小于 2.5 m 的路堤应在路堤两侧设置排水沟。

4 设置骨架护坡时应结合降水量情况,采用带截水槽的拱型、人字型或方格型骨架结构。

5 护坡的截水槽与路堤排水沟之间可根据流量等设置连接排水槽,避免边坡集中水流冲刷坡脚。

6 特殊土(岩)及不良地质地段,排水沟的位置应根据路堤稳定性的要求按个别设计确定。

7 边坡平台截水沟的设置应结合具体工程情况确定,选择适宜的出水口并进行加固处理。

8 困难情况下可采取设置圪工护脚等措施代替排水沟,并设置不小于 2.0 m 宽的 4% 向外排水护道。

13.2.10 挖方地段路基排水应符合下列规定:

1 路肩外侧应设置侧沟,以汇集并排泄坡面和路基面上的表面水;上坡侧沟顶外设置天沟拦截侧沟顶外地表径流。

2 侧沟可采用梯形或矩形横断面。土质、软质岩、强风化或全风化的硬质岩地段,应采取防止冲刷或渗漏的加固措施。有特殊要求时应在侧沟顶面设置盖板。

3 侧沟纵坡坡度应结合线路纵坡、地形、土质、出水口位置等情况确定,同时满足本规范第 13.2.5 条的规定。

4 侧沟水不应流经隧道排出。当排水困难且隧道长度小于 300 m,洞外路堑侧沟水量较小、含泥量少时,经研究比较确定。

5 长大路堑和反坡排水困难地段,可增设桥涵建筑物将侧沟水引出路基之外。

6 基床表层换填渗水性较好的材料时,侧沟底宜低于换填底面 0.2 m,且靠线路侧沟壁应预留出水孔。

7 天沟水不应排至路堑侧沟。当受地形限制,需要将天沟水通过急流槽(吊沟)或急流管引入侧沟排出时,应根据流量调整侧沟尺寸,并对进出口进行加固和消能等处理,设置拦水墙。

8 路堑边坡平台截水沟可根据坡面土质情况进行加固处理。

9 路堑天沟内边缘至堑顶距离不宜小于 5 m。当沟内采取加固防渗措施时,距离不应小于 2 m。

10 急流槽应根据铁路等级及地区工程实践经验,采用由混凝土或浆砌片石砌筑的矩形断面。急流槽的主体部分应每隔 2 m~5 m 设置防滑平台,嵌入坡体内。

11 既有线改建地段的侧沟受排水高程控制时,可采取加高侧沟沟壁的措施,但不应削弱既有路基排水条件。

13.2.11 路基面防排水应符合下列规定:

1 路基面水应采取适当措施引入排水沟或侧沟,或设置集水井进行集中引排。有特殊要求的路基面尚应进行防水下渗处理。

2 电缆槽、护肩等设施应预留排水孔。

3 既有线路路基面帮宽地段,应自既有线路道床坡脚处设置向外侧的排水横坡。

4 既有线路路基面抬高或下挖时,应由线路中心向两侧设 4% 的横向排水横坡。

5 增建二线地段路基面排水应根据第二线路肩与既有路肩的高差,自既有线路肩或以下向外设 4% 的排水横坡。

6 增建二线地段两线间应根据具体情况设置排水设施。

7 增建二线地段路基面排水不应削弱既有路基的排水条件。

8 膨胀土(岩)地区路基基床底层顶面或换填层底面应加强封闭、隔水处理。

9 黄土地区路基面防排水应结合路基结构层位的填料性质确定。

13.3 地下水

13.3.1 地下防排水设计应根据地下水类型、含水层埋藏深度、地层的渗透性、冻结深度、气象、地下水利用等条件及对环境的影响,采用适宜的排水设施。

13.3.2 地下防排水设计前应进行野外工程地质和水文地质调查、勘探和测试。

13.3.3 影响路基旁山坡或山体稳定的地下水,应进行较大范围的勘察及试验,经过方案比较后确定排水措施。

13.3.4 地下排水设施流水面纵坡不应缓于 5‰,困难情况下不应缓于 2‰,出口部分宜采用较陡纵坡。

13.3.5 地下排水设施出水口应能使集积的地下水迅速排出,严寒地区应采取防冻措施。

13.3.6 截排地下水的渗沟或隧洞其底部应埋入隔水层内;降低地下水位或引排地下水的排水设施则可根据地层情况和排水要求,将其底部埋入隔水层内或设在含水层中。

13.3.7 有多层含水层与隔水层相间组成的复杂地层宜采用立式排水设施与其下的平式排水设施相配合。

13.3.8 检查井设置位置应符合下列规定:

- 1 渗水暗沟每隔约 30 m。
- 2 渗水隧洞每隔约 120 m。
- 3 平面转折点、断面或纵坡变化点等。

13.3.9 渗沟、渗水隧洞、渗水井等排水设施应根据含水层的地层情况,设置适宜的反滤层。检查井兼起渗井作用时,其井壁应设置反滤层。反滤层可采用砂砾石、无砂混凝土板、土工布等材料。反滤层的层数、厚度和颗粒级配等应根据坑壁土质和反滤层材料来确定,并符合下列规定:

- 1 砂砾石应筛选、洗净,其中小于 0.15 mm 的颗粒含量不应大于 5%,并不应夹有草根、树叶等杂物。

2 无砂混凝土板厚度应根据具体排水设施来选定,宜采用 10 cm~20 cm。当坑壁土质为黏性土、粉土或粉细砂时,应在板外侧加设厚度为 10 cm~15 cm 的中粗砂或土工布反滤层。

3 土工布应采用耐腐蚀、抗老化的无纺土工布,并满足本规范 5.7 节的有关规定。

13.3.10 渗沟、渗水井的填充料宜采用筛选洗净的卵石、碎石、砾石、粗砂或片石。仰斜式排水孔内应设置渗水管,渗水管应满足耐腐蚀、抗老化的要求。

13.3.11 路基范围内有泉水出露时,应设置暗沟或暗管将水引排至路堤坡脚外或路堑侧沟内。暗沟沟底应高出出水口沟渠最高水位不小于 20 cm,严禁出现倒灌现象。

13.3.12 明沟或槽沟的过水能力、深度、使用条件应符合下列规定:

1 有足够的过水能力,设计流量应超过所汇集的地面水流量与地下水流量之和。

2 明沟深度不宜超过 1.2 m,超过时应采用槽沟,其深度不宜超过 2.0 m。

3 沟槽外侧与含水层之间应设置反滤层。

4 严寒或冻结期较长的寒冷地区慎用。

13.3.13 边坡渗沟的布置方式、断面形式、出水口应符合下列规定:

1 垂直嵌入边坡坡体,其布置方式、结构构造、出口处理等均需根据具体情况确定。

2 基底宜设置在较干燥稳定土层中。

3 断面宜采用矩形,宽度不宜小于 1.2 m,深度视边坡潮湿土层的厚度而定。

4 出水口宜采用干砌片石垛支撑,寒冷地区应采取措施防止出水口结冰。

5 坡体不稳定时,出口片石垛应具备抗滑能力。

13.3.14 引(截)水渗沟的布置方式、断面形式、出水口应符合下列规定:

1 浅埋式引水渗沟一般沿侧沟纵向布置,其出水口部分应偏离路基。

2 断面宜采用矩形,内部用筛洗干净的渗水材料填充,填充料与沟壁之间应设置反滤层。

3 渗沟底部应设置排水通道或圆管。

4 深埋式引水渗沟应间隔一定距离设置检查井。

13.3.15 渗水隧洞的平面布置、断面型式、埋深、洞口位置、出水口应符合下列规定:

1 隧洞平面布置宜采用条带状或树枝状,选择最短的排水通路布置。

2 隧洞应埋入欲截引的主要含水地层下部的稳定地层内。滑坡区的隧洞,其顶部应置于滑动面(滑动带)以下不小于 0.5 m。

3 隧洞的断面型式,应根据其所在地层的性质确定。隧洞穿过不同性质的地层时,可采用不同的衬砌断面,并应在分界处设置沉降缝。

4 隧洞顶拱及边墙的进水部分均预留渗水孔,其外围应设置与渗水孔眼大小和隧洞所在地层性质相应的反滤层。

5 隧洞洞口位置宜根据当地的地形、地质情况及便于迅速排水的条件选择,洞口挖方不宜太深。

6 洞门墙应按挡土墙设计,宜采用仰斜重力式挡土墙。出水口的底部宜高出当地天然河沟的设计洪水位不小于 0.5 m。

7 洞口应采取封闭措施。

13.3.16 平式钻孔排水的使用、仰坡、出水口应符合下列规定:

1 可与立式渗井群配合使用。

2 排水仰坡以能够迅速排水为原则,可采用 10%~15% 的平均仰坡。

3 靠近出水口不小于 0.6 m 长的范围内应封堵钻孔与排水

管之间的空隙。

13.3.17 立式渗水井和渗水管的平面布置、深度、断面应符合下列规定：

1 渗水井或渗水管群的平面布置和间距应根据含水层的分布情况和渗透性质、井或管的影响半径,以及使用要求确定。

2 井群或管群的排列方向宜垂直于渗流方向,其深度宜穿过含水层并与下卧的排水设备或渗水地层相衔接。

3 渗水井断面宜采用直径为 1.0 m~1.5 m 的圆形或边长为 1.0 m~1.5 m 的方形,井壁与充填料之间可根据两者的颗粒组成情况设置反滤层。

4 渗水管宜采用直径不小于 0.25 m 的钻孔,在钻孔轴心处设置直径不小于 5 cm 的滤管,渗水管周围应设置反滤层。

5 渗水井或渗水管的顶部应采用隔渗材料覆盖。

13.3.18 检查井结构构造应符合下列规定：

1 宜采用直立式或转角式。

2 井身宜采用圆筒结构,筒壁厚度按其埋置深度、所在地层土的性质以及所用建筑材料的强度通过计算确定。

3 井筒内壁应设置工作梯蹬,井口顶部宜高出附近地面 0.3 m~0.5 m,并设井盖。

4 寒冷及严寒地区,井内应加设防寒木盖。

13.3.19 地下排水设施施工应选择合理的施工方法和工序,使用适宜的临时支撑并做好反滤层。

14 改建既有线与增建第二线铁路路基

14.1 一般规定

14.1.1 改建既有线与增建第二线路基设计应充分调查、收集既有线运营路基状况资料,并进行必要的勘察、试验工作,查明既有路基病害类型、特征、形成原因及危害程度,分析新建工程对既有工程及运营的影响程度。

14.1.2 改建既有线单线或双线绕行地段路基应按照新建标准设计,并注意新建绕行地段与利用既有路基地段的衔接和过渡。

14.1.3 改建既有线与增建第二线路基设计应符合下列规定:

1 路基帮宽各部位填料不应低于既有路基填料。

2 应保证既有路基排水通畅。

3 应充分利用既有路基及其结构物。对于限制运营速度提高且不满足设计标准要求的既有路基本体及支挡、防护、排水等结构物,应结合工程条件分别采取补强、加固或彻底改建措施。

4 既有线路基病害严重影响运营或危及增建第二线路基稳定时,应遵循彻底整治、不留后患的原则进行整治。

5 软弱土地基、高填方及易产生边坡变形病害等路基地段,应分析帮宽路基及上部荷载对既有路基稳定或沉降变形的影响,采取必要的地基及既有路基边坡加固措施,并进行必要的变形观测。

6 既有线附近开挖施工时,应分段跳槽开挖,并设置必要的临时开挖防护措施。

14.1.4 改建既有线与增建第二线路基设计应采取措施减少施工对运营干扰,保证行车安全及施工安全。

14.1.5 对施工可能侵限、影响既有线运营安全、严重限制行车速度及控制工期的改建既有线与增建第二线路基地段,宜采取修建便线路基等过渡措施维持临时行车。

14.1.6 便线路基的路基面宽度、路基结构、填料、压实标准、工后沉降控制值等应结合既有路基状况,根据便线区间运输要求、设计速度、车流密度、列车荷载、地形及地质条件等综合分析确定。

14.1.7 改建既有线路基、增建第二线以及便线路基地基加固设计应根据既有路基高度、既有线施工安全距离要求、施工设备作业空间要求等选择适宜工程措施。

14.1.8 改建既有线及增建第二线地段路基设计除符合本标准外,还应符合既有线改建及增建第二线的其他相关强制性标准的规定。

14.2 改建既有线路基

14.2.1 改建既有线路基应根据沿线气象条件和行车速度、列车荷载等技术条件要求,结合既有道床厚度、轨道平顺状况,以及既有路基填料、基床压实程度、路基面平整度、运营病害情况和对行车速度影响程度等,综合分析、评价既有路基状况。

14.2.2 改建既有线路基,应根据既有路基状况和改建线路平面、纵断面设计及运营速度等要求,分别采取路基帮宽、抬道、调坡、基床加固、路基病害整治等措施。

14.2.3 改建既有线路肩高程应符合本规范第 3.1 节的有关规定。

14.2.4 改建路基面形状应满足路基面排水要求,设置横向排水坡,并不应恶化既有路基面排水条件。

14.2.5 改建路基面宽度应符合下列规定:

1 改建铁路路基面宽度应结合既有路基面宽度、路肩上各种设备布置要求、运营养护要求等计算确定,不应小于既有路基面宽度。

2 既有路基面高程不变时,路肩宽度不应小于既有路肩宽度,并应符合本规范第 3.3 节的规定,困难地段Ⅰ级铁路路堤不应小于 0.6 m,Ⅰ级铁路路堑及Ⅱ级铁路不应小于 0.4 m。

14.2.6 既有线路基帮宽应符合下列规定:

1 既有路基面高程不变,仅帮宽路基时,应自既有线道床坡脚处向外做成 4% 的横向排水坡。

2 帮宽路堤边坡形式和坡率应符合本规范第 7.4 节规定。

3 帮宽顶部宽度不宜小于 1.0 m,底部不应小于顶部帮宽值。帮宽填筑难以实施时,可采取浆砌片石或现浇混凝土护肩墙等方法加宽路肩,护肩墙高度不宜大于 1.5 m。

4 帮宽路堤时应沿既有路堤坡面挖成宽度不小于 1 m 的台阶,分层加筋、分层碾压。

5 帮宽路堤的填料,应符合新建铁路的标准。

6 在不宜刷方扩宽路堑地段,可采用设置坡脚支挡、改变侧沟形式、削减侧沟平台、设置侧沟盖板等措施加宽路基。削减后的侧沟平台宽度不宜小于 1 m。

14.2.7 既有线路基抬道及调坡应符合下列规定:

1 抬高或下挖既有路基面时,应由线路中心向两侧设 4% 的横向排水横坡。

2 抬高或下挖路基面时,路基面宽度同新建铁路。

3 采用道砟抬道后,对既有道床过厚地段,可在标准道床以下的超厚部分采用渗水土垫肩。

4 抬高路基面的填料,应符合新建铁路的标准。

5 抬道、落道后,当路堑侧沟受排水高程控制时,可采取加高侧沟沟壁或减少侧沟深度的措施。对易产生基床病害的既有路堑还应采取防止积水沿路基面下渗的措施。

14.2.8 既有线路基提速改造、基床加固及病害整治应符合下列规定:

1 既有路基提速改造时,当道床厚度大于 0.6 m 且轨道平

顺、路基稳定、土质良好、无基床病害,可不作基床加固。

2 既有路基提速改造时,应对病害路基地段、轨道平顺性差的路基及路桥、路涵、堤堑、路隧等过渡段进行加固或病害处理。

3 基床加固及病害整治应根据基床状况、病害产生原因等,分别采取基床换填或土质改良、水泥土挤密桩或旋喷桩、注浆等补强加固措施,并结合基床土工合成材料封闭防水、设置渗沟或盲沟等加强路基排水措施。

4 改建既有线路堑边坡坡率可按照本规范第 8 章有关规定或根据既有路堑稳定边坡坡率确定,并应尽量减少削皮刷方,必要时可增设挡护工程。

5 既有路堑边坡病害经多年整治已趋稳定的地段,改建时应进行全面勘察、检测和安全稳定性评估,确定处理措施。宜尽量减少拆除工程,不宜触动原边坡。

6 路堤边坡病害应根据路基填料及压实、路基边坡排水状况、既有坡面变形及加固防护设备存在问题,采取相应的边坡注浆、锚固、支挡、加固排水及坡面防护措施。

14.2.9 在既有岩石路堑扩堑刷方,应根据既有线状况、刷方宽度、路堑边坡高度、岩石软硬、节理裂隙发育和风化程度、顺层等情况采用封闭线路要点施工,分别采用机械开挖、光面爆破、静态爆破、预裂爆破等措施,以及采取炮被、管棚架等坡面临时爆破防护措施,并保护既有接触网、通信信号等电缆、轨道等设备,保证既有运营安全。

14.3 增建第二线路基

14.3.1 增建第二线路基应考虑与既有线路基间的相互影响,统筹兼顾,必要时可采取修建便线和维持临时通车的过渡措施。特别是松软土、软土、湿陷性黄土地区,应充分考虑新增二线对于既有线路基沉降变形等影响,采取必要的加固防护及变形监测措施。

14.3.2 增建第二线的路肩高程、路基面宽度、边坡坡率等应符合本规范的有关规定。

14.3.3 增建并行的第二线路基路肩与既有路肩不等高时,应符合下列规定:

1 增建并行的第二线路基路肩高于既有路肩时,第二线路基面应设计为三角形路拱,并应自既有线路肩或以下向外设置4%的排水横坡,横坡以上部分应采用渗水土填筑并符合相应部位填料要求。

2 当第二线路肩低于既有路肩时,应通过第二线路肩设置不小于4%的横向排水坡。

3 并行不等高地段的路基,两线间边坡坡率的设计必须考虑上线列车荷载的影响。有条件时应增大线间距,或采取支挡措施。

4 不等高地段路基,两线间应设置排水设施。线间距较小地段,排水沟可与挡土墙结合设置。排水沟设计应考虑既有地下管线、电缆等构筑物拆迁影响,采取必要的施工过渡或保护措施。

14.3.4 增建并行的第二线路基的填料及压实标准应符合本规范有关规定。

14.3.5 增建并行第二线及换侧地段,帮填路堤应按本规范第14.2.6条的要求设计台阶,并自台阶内侧分层铺设宽度不宜小于3.0 m的土工格栅,加强新老路基的连接。

14.3.6 增建第二线应保证两线路基面及线间排水通畅,并不应恶化既有路基的排水条件。

14.3.7 扩宽岩石路堑时,应按照本规范第14.2.6条和第14.2.9条的要求进行设计。

14.4 既有结构物的改造、加固和利用

14.4.1 改建既有线和增建第二线时,对既有挡墙和坡面防护结构物、侧沟、地下水排水盲沟等结构物应进行运营期间病害、维修养护等使用状况调查,必要时开展无损检测或局部破检,综合进行

结构物安全稳定性评估,根据评估结果分别采取利用、改造、加固、拆除重建等措施。

14.4.2 既有及新建路基防护工程复杂地段,当既有支挡和防护设备使用良好,且能保证新线路基的稳定和行车安全时宜保留。必须拆除时,应对既有路基边坡采取临时防护及加固措施,保证施工过渡安全。

14.4.3 加固利用的既有结构物,新旧混凝土或砌体应紧密连接,形成整体。

14.4.4 采用干砌片石垛加宽或抬高路肩时,其高度不应超过 1 m。

14.4.5 既有路堑设有支挡或防护工程的地段,采用落道下挖路基面时,应对基础进行加固处理。

14.4.6 改建既有线及增建第二线路基,应对存在路基排水病害地段进行现场调查、分析原因,并核算既有排水系统排水能力,并分别采取调整纵坡、增加过水断面、延长或接入排水沟渠等措施,使原有排水系统通畅。

14.4.7 拆除的既有结构物或基础遗留的沟槽、坑、洞等应视具体情况分别采取回填、夯实、砌筑、注浆等措施处理。

15 取(弃)土场及土石方调配

15.1 一般规定

15.1.1 取(弃)土场应根据土石方调配方案,结合当地土地利用、环保规划等进行布置,并取得当地政府部门的同意,满足环境保护要求。

15.1.2 取(弃)土场设置应保证自身稳定,不应影响铁路工程及周边公共设施、工业企业、居民点等的安全使用。

15.1.3 取(弃)土场涉及河道的,应符合治导规划及防洪行洪的规定,不应在江河、湖泊、建城水库及河道管理范围内设置弃土(石、砟)场;不宜在流量较大的沟道设置弃土(石、渣)场。

15.1.4 弃土场在山丘区宜选择荒沟、凹地、支毛沟,平原区宜选择凹地、荒地,风沙区应避开风口和易产生风蚀的地方。

15.1.5 取(弃)土场的设置应防止诱发次生灾害。大型及陡坡等地形特殊地段的取(弃)土场应进行专项设计。

15.1.6 路基土石方调配应确保路基各部位填料符合标准要求及节约用地的原则。

15.1.7 土石方调配时应明确运输路线、运输方法及运输距离。增建二线或既有线改造存在行车干扰时,应注明干扰类型;采用控制爆破工程时应区分控制爆破类别。

15.1.8 土石方调配时应采取确保既有铁路运营、施工安全的措施。

15.2 取土场

15.2.1 取土场面积应根据取土量,结合稳定边坡、取土深度、施

工方法和土地复垦等要求合理确定。

15.2.2 取土场兼作排水沟时,应确保水流畅通排出。其深度不宜超过该地区地下水位并应与桥涵进口高程相衔接。

15.2.3 路堤填方数量大时宜集中取土。

15.2.4 取土后的裸露面宜进行土地整治或采取防护措施。

15.3 弃土场(堆)

15.3.1 弃土场(堆)应根据弃土量、周边环境、可弃土高度、施工方法和土地复垦等要求合理确定。

15.3.2 路堑弃土不宜沿江、河岸滩堆置;不应弃入主河道、挤压桥孔或涵洞口,不应改变水流方向和加剧对河流的冲刷。

15.3.3 陡坡路基和深路堑地段的弃土(堆)应置于山坡下侧。

15.3.4 严禁在不良地质体、不稳定斜坡、软土上及岩溶漏斗、暗河口弃土。

15.3.5 严禁贴近桥墩台及其他铁路结构物附近弃土。

15.4 取(弃)土场复垦与防护

15.4.1 复垦应以恢复到原有用途或结合当地条件将复垦后的土地用于农、林、渔、牧等为原则。无明确用途的荒地地区取(弃)土场不能恢复到可供任何使用状态时,可不进行复垦。

15.4.2 在耕地上取、弃土时应先将表层熟土堆置一旁,待取、弃土完毕平整后,将熟土推回摊平于表面,取、弃土场位于坡地时可视具体情况挖成阶地。

15.4.3 弃方为土夹石时,应先弃石后弃土,以土覆盖石渣并进行复垦。

15.4.4 取(弃)土场影响环境或受地形限制时可设支挡工程。

15.4.5 取(弃)土场位于河道、冲沟附近,受水流冲刷易引起水土流失、造成环境污染或堵塞河道地段,应设支挡结构或冲刷防护工程。

15.4.6 取弃土完成后,有植物生长条件时应对取(弃)土场边坡进行绿化防护。

15.4.7 平原区或居民区取土场造成平面洼地时,应设置防护围栏及警示牌,做好排水工程,并与当地排灌系统和水土保持工程相协调。

15.5 土石方调配

15.5.1 土石方调配前应落实取弃土场位置、施工方法,规划运输路线。对移挖作填、集中取(弃)土、填料改良等方案进行经济、技术比较。

15.5.2 区间土石方调配应充分利用路堑、隧道、站场、改移道路等弃土。

15.5.3 区间路基土石方填挖不平衡时,应利用山坡、山包、劣地等设置集中取(弃)土场。

15.5.4 当填料含水量过高时,可采用排水疏干、松土翻晒或改良等措施处理;含水量过低时,宜采取洒水润湿的措施。

15.5.5 增建二线或既有线改造工程,土石方调配时应考虑行车干扰,干扰类型按表 15.5.5 确定。

表 15.5.5 土石方调配干扰类型

干扰类型	判定标准
a	挖、装、运、卸均在行车干扰范围内
b	挖、装、运在行车干扰范围内
c	运、卸在行车干扰范围内
d	平面跨越行车线运输土石方

15.5.6 土石方调配应根据地形条件、施工场地等采用机械施工或人力施工。

16 路基接口设计

16.1 一般规定

- 16.1.1** 路基工程设计应考虑安全防护设施及养护维修条件。
- 16.1.2** 路基工程设计应按相关要求预留电缆槽、电缆井、过轨管线、接触网支柱及声屏障基础、综合接地等工程设施的条件。
- 16.1.3** 路基上的各种预埋设备及基础应与路基填筑系统设计,合理规划、分步实施,避免因站后设备敷设开挖路基,破坏路基面排水系统,影响路基强度及稳定。

16.2 安全防护设施

- 16.2.1** 铁路路基防护栅栏宜根据线路等级、周边环境等综合确定。
- 16.2.2** 防护栅栏宜设在用地界内 0.5 m 处;路基与桥、隧、涵洞工程连接处应做好衔接过渡。
- 16.2.3** 既有铁路改建工程条件困难,防护栅栏需设在路肩上时,可采用金属网片防护栅栏。
- 16.2.4** 防护栅栏应在适当位置设置栅栏门。
- 16.2.5** 路肩上设置防护栏杆的条件应符合下列规定:
- 1 路堤边坡坡度陡于 1 : 0.5 且边坡高度大于 2 m。
 - 2 路肩挡土墙墙顶高出地面 2 m 且连续长度大于 10 m。
 - 3 车站内有列检及其他专业作业地段的高路堤。
- 16.2.6** 公铁并行路段,应在靠近铁路的公路土路肩上设置护栏或防撞墩、墙。护栏或防撞墩、墙的防撞要求应符合《公路交通安全设施设计规范》JTG D81 等公路相关标准、规范规定。

16.3 电 缆 槽

16.3.1 电缆槽设置于路肩上时,应采取防排水措施,并与电缆井及桥梁、隧道上的电缆槽平顺连接。

16.3.2 电缆井宜设置在过轨处及电缆槽过渡处,应避开接触网支柱。电缆井顶面应与路肩平齐,其内排水应与路基排水系统衔接。

16.3.3 电缆上下路基时应在边坡上设置电缆槽。

16.3.4 电缆槽、电缆井(槽)盖板应采用预制结构,工厂化生产。

16.3.5 通信信号电缆敷设于坡脚时,路堤段宜敷设于护道位置,路堑段宜敷设于侧沟平台位置,可采用直埋和必要的保护措施。

16.4 其 他

16.4.1 未采用大型养路机械养护的Ⅱ级铁路,区间路基每隔500 m左右宜设置养路机械作业平台一处,单线铁路可在一侧或两侧交错设置,双线铁路两侧均应设置。

16.4.2 接触网支柱基础宜设置于路肩上,声屏障基础宜设置于路肩外侧。与路基支挡结构物相干扰时,应统筹设计,必要时可加宽路基。

16.4.3 设置综合接地系统的线路,距接触网带电体5 m范围以内的路基钢筋混凝土结构应接入综合接地系统;贯通地线宜置于两侧路肩下的基床底层中,接地极应充分利用接触网支柱基础。

16.4.4 路基地段设置防灾安全监控系统时应符合相关规定。

附录 A 普通填料组别分类

A. 0. 1 填料中的粗粒和巨粒母岩饱和单轴抗压强度 R_c 应不小于 20 MPa; R_c 小于 20 MPa 为软岩,按细粒土考虑。

A. 0. 2 填料颗粒级配特征应根据土的不均匀系数 C_u 和曲率系数 C_c 确定。 $C_u < 10$ 为均匀级配; $C_u \geq 10$ 且 $1 \leq C_c \leq 3$ 为良好级配; $C_u \geq 10$ 且 $C_c < 1$ 或 $C_c > 3$ 为间断级配。不均匀系数 C_u 、曲率系数 C_c 分别按式(A. 0. 2—1)、式(A. 0. 2—2)计算。

$$C_u = d_{60} / d_{10} \tag{A. 0. 2—1}$$

$$C_c = d_{30}^2 / (d_{60} \times d_{10}) \tag{A. 0. 2—2}$$

式中 d_{60} ——限制粒径,颗粒大小分布曲线上的某粒径,小于该粒径的土含量占总质量的 60%;
 d_{10} ——有效粒径,颗粒大小分布曲线上的某粒径,小于该粒径的土含量占总质量的 10%;
 d_{30} ——颗粒大小分布曲线上的某粒径,小于该粒径的土含量占总质量的 30%。

A. 0. 3 巨粒土填料组别分类应符合表 A. 0. 3 的规定。

表 A. 0. 3 巨粒土填料组别分类

一级定名				二级定名			填料组别
类别	名称		说明	细粒含量	级配	定名	
巨粒土	块石类	块石土	粒径大于 200 mm 颗粒的质量超过总质量的 50%(不易风化,尖棱状为主)	<5%	良好	良好级配块石	C1
					间断	间断级配块石	C1
					均匀	均匀级配块石	C1

续表 A. 0. 3

一级定名				二级定名			填料组别	
类别	名称	说明	细粒含量	级配	定名			
巨粒土	块石类	块石土	硬块石土	5%~15%	良好	良好级配含土块石	C1	
					间断	间断级配含土块石	C1	
					均匀	均匀级配含土块石	C1	
				15%~30%		粉土块石	C1	
						黏土块石	C1	
				30%~50%		多粉土块石	C1	
						多黏土块石	C2	
				漂石土	<5%	良好	良好级配漂石	C1
						间断	间断级配漂石	C1
			均匀			均匀级配漂石	C1	
			5%~15%		良好	良好级配含土漂石	C1	
					间断	间断级配含土漂石	C1	
					均匀	均匀级配含土漂石	C1	
			15%~30%		粉土漂石	C1		
					黏土漂石	C1		
				>30%		多粉土漂石	C1	
						多黏土漂石	C2	
	碎石类	碎石土	卵石土	<5%	良好	良好级配卵石	A2	
					间断	间断级配卵石	B1、B2	
					均匀	均匀级配卵石	B2	

续表 A.0.3

一级定名				二级定名			填料组别
类别		名称	说明	细粒含量	级配	定名	
巨粒土	碎石类	卵石土	粒径大于 60 mm 颗粒的质量超过总质量的 50% (浑圆或圆棱状为主)	5%~15%	良好	良好级配含土卵石	A2
					间断	间断级配含土卵石均	B1、B2
					均匀	匀级配含土卵石	B2
				15%~30%		粉土卵石	B2、B3
						黏土卵石	B3、C1
				>30%		多粉土卵石	C1
						多黏土卵石	C2
		碎石土	粒径大于 60 mm 颗粒的质量超过总质量的 50% (尖棱状为主)	<5%	良好	良好级配碎石	A2
					间断	间断级配碎石	B1、B2
					均匀	均匀级配碎石	B2
				5%~15%	良好	良好级配含土碎石	A2
					间断	间断级配含土碎石	B1、B2
					均匀	均匀级配含土碎石	B2
				15%~30%		粉土碎石	B2、B3
						黏土碎石	B3、C1
				>30%		多粉土碎石	C1
						多黏土碎石	C2

注:1 表中“细粒含量”指细粒(粒径 $d\leq 0.075\text{ mm}$)的质量占总质量的百分数,以下各表同。

2 在碎石土间断级配中,粒径小于 5 mm 颗粒含量 $>35\%$ 的土(冲蚀稳定),为 B1 组,其余为 B2 组。

3 在碎石土细粒含量为 15%~30%粉土中,当粒径 0.075 mm~5 mm 颗粒含量 $\geq 15\%$ 时为 B2 组,否则为 B3 组。

4 在碎石土细粒含量为 15%~30%黏土中,当粒径 0.075 mm~5 mm 颗粒含量 $\geq 15\%$ 时为 B3 组,否则为 C1 组。

A. 0.4 砾石土填料组别分类应符合表 A. 0. 4 的规定。

表 A. 0. 4 砾石土填料组别分类

一级定名				二级定名			填料组别
类别	名称		说明	细粒含量	级配	定名	
粗粒土	砾石类	粗砾石土	粗圆砾土 粒径大于 20 mm 颗粒的质量超过总质量的 50% (浑圆或圆棱状为主)	<5%	良好	良好级配粗圆砾	A2
					间断	间断级配粗圆砾	B1、B2
					均匀	均匀级配粗圆砾	B2
				5%~15%	良好	良好级配含土粗圆砾	A2
					间断	间断级配含土粗圆砾	B1、B2
					均匀	均匀级配含土粗圆砾	B2
				15%~30%		粉土粗圆砾	B2、B3
						黏土粗圆砾	B3、C1
				30%~50%		多粉土粗圆砾	C1
						多黏土粗圆砾	C2
			粗角砾土 粒径大于 20 mm 颗粒的质量超过总质量的 50% (尖棱状为主)	<5%	良好	良好级配粗角砾	A1
					间断	间断级配粗角砾	B1、B2
					均匀	均匀级配粗角砾	B2
				5%~15%	良好	良好级配含土粗角砾	A1
					间断	间断级配含土粗角砾	B1、B2
					均匀	均匀级配含土粗角砾	B2
				15%~30%		粉土粗角砾	B2、B3
						黏土粗角砾	B3、C1
				30%~50%		多粉土粗角砾	C1
						多黏土粗角砾	C2

续表 A.0.4

一级定名			二级定名			填料组别
类别	名称	说明	细粒含量	级配	定名	
粗粒土	砾石类	中圆砾土	<5%	良好	良好级配中圆砾	A2
				间断	间断级配中圆砾	B1、B2
				均匀	均匀级配中圆砾	B2
			5%~15%	良好	良好级配含土中圆砾	A2
				间断	间断级配含土中圆砾	B1、B2
				均匀	均匀级配含土中圆砾	B2
			15%~30%		粉土质中圆砾	B2、B3
					黏土质中圆砾	B3、C1
			30%~50%		多粉土中圆砾	C1
					多黏土中圆砾	C2
		中角砾土	<5%	良好	良好级配中角砾	A1
				间断	间断级配中角砾	B1、B2
				均匀	均匀级配中角砾	B2
			5%~15%	良好	良好级配含土中角砾	A1
				间断	间断级配含土中角砾	B1、B2
				均匀	均匀级配含土中角砾	B2
			15%~30%		粉土中角砾	B2、B3
					黏土中角砾	B3、C1
			30%~50%		多粉土中角砾	C1
					多黏土中角砾	C2

续表 A. 0. 4

一级定名				二级定名			填料组别
类别		名称	说明	细粒含量	级配	定名	
粗粒土	砾石类	细圆砾土	粒径大于 2 mm 颗粒的质量超过总质量的 50% (浑圆或圆棱状为主)	<5%	良好	良好级配细圆砾	A2
					间断	间断级配细圆砾	B1、B2
					均匀	均匀级配细圆砾	B2
				5%~15%	良好	良好级配含土细圆砾	A2
					间断	间断级配含土细圆砾	B1、B2
					均匀	均匀级配含土细圆砾	B2
				15%~30%		粉土细圆砾	B2、B3
						黏土细圆砾	B3、C1
				30%~50%		多粉土细圆砾	C1
						多黏土细圆砾	C2
		细角砾土	粒径大于 2 mm 颗粒的质量超过总质量的 50% (尖棱状为主)	<5%	良好	良好级配细角砾	A1
					间断	间断级配细角砾	B1、B2
					均匀	均匀级配细角砾	B2
				5%~15%	良好	良好级配含土细角砾	A1
					间断	间断级配含土细角砾	B1、B2
					均匀	均匀级配含土细角砾	B2
				15%~30%		粉土细角砾	B2、B3
						黏土细角砾	B3、C1

续表 A. 0. 4

一级定名				二级定名			填料组别
类别	名称		说明	细粒含量	级配	定名	
粗粒土	砾石类	细砾石土	粒径大于 2 mm 颗粒的质量超过总质量的 50% (尖棱状为主)	30%~50%		多粉土细角砾	C1
		细角砾土				多黏土细角砾	C2

- 注:1 在间断级配中,粒径小于 5 mm 颗粒含量大于 35% 的土(冲蚀稳定),为 B1 组,其余为 B2 组。
- 2 在细粒含量为 15%~30% 粉土中,当粒径 0. 075 mm~5 mm 颗粒含量≥15% 时为 B2 组,否则为 B3 组。
- 3 在细粒含量为 15%~30% 黏土中,当粒径 0. 075 mm~5 mm 颗粒含量≥15% 时为 B3 组,否则为 C1 组。

A. 0. 5 砂类土填料组别分类应符合表 A. 0. 5 的规定。

表 A. 0. 5 砂类土填料组别分类

一级定名				二级定名			填料组别
类别	名称	土名	说明	细粒含量	级配	定名	
粗粒土	砂类	砾砂	粒径大于 2 mm 颗粒的质量占总质量的 25%~50%	<5%	良好	良好级配砾砂	B1
					间断	间断级配砾砂	B2
					均匀	均匀级配砾砂	B3
				5%~15%	良好	良好级配含土砾砂	B1
					间断	均匀级配含土砾砂	B2
					均匀	间断级配含土砾砂	B3
				15%~30%		粉土砾砂	B2
						黏土砾砂	B3
				30%~50%		多粉土砾砂	C1
						多黏土砾砂	C2
		粗砂	粒径大于 0. 5 mm 颗粒的质量超过总质量的 50%	<5%	良好	良好级配粗砂	B1
					间断	间断级配粗砂	B2
					均匀	均匀级配粗砂	B3

续表 A.0.5

一级定名				二级定名			填料 组别
类别	名称	土名	说明	细粒含量	级配	定名	
粗 粒 土	砂 类	粗砂	粒径大于 0.5 mm 颗粒的质量超过总质 量的 50%	5%~15%	良好	良好级配合土粗砂	B1
					间断	间断级配合土粗砂	B2
					均匀	均匀级配合土粗砂	B3
				15%~30%		粉土粗砂	B2
						黏土粗砂	B3
				30%~50%		多粉土粗砂	C1
						多黏土粗砂	C2
		中砂	粒径大于 0.25 mm 颗粒的质量超过总质 量的 50%	<5%	良好	良好级配中砂	B1
					间断	间断级配中砂	B2
					均匀	均匀级配中砂	B3
				5%~15%	良好	良好级配合土中砂	B1
					间断	间断级配合土中砂	B2
					均匀	均匀级配合土中砂	B3
				15%~30%		粉土中砂	B2
						黏土中砂	B3
				30%~50%		多粉土中砂	C1
						多黏土中砂	C2
		细砂	粒径大于 0.075 mm 颗粒的质量超过总质 量的 85%	<5%	良好	良好级配细砂	C2
					间断	间断级配细砂	C3
					均匀	均匀级配细砂	C3
				5%~15%	良好	良好级配合土细砂	C2
					间断	间断级配合土细砂	C3
					均匀	均匀级配合土细砂	C3
		粉砂	粒径大于 0.075 mm 颗粒的质量超过总质 量的 50%	15%~30%		粉土粉砂	C3
						黏土粉砂	C3

续表 A.0.5

一级定名				二级定名			填料 组别
类别	名称	土名	说明	细粒含量	级配	定名	
粗 粒 土	砂 类	粉砂	粒径大于 0.075 mm 颗粒的质量超过总质 量的 50%	30%~50%		多粉土粉砂	C3
						多黏土粉砂	C3

A.0.6 细粒土填料包括粉土、黏性土和软岩土,细粒土填料组别分类应符合表 A.0.6 的规定;细粒土的液塑限按图 A.0.6 确定。对于颗粒为软岩的土,其液塑限按泡水软化后的土进行试验。

表 A.0.6 细粒土填料组别分类

细粒土 (粒径小于 0.075 mm 颗粒含量 ≥50%)	一级分类 定名	二级分类定名		三级分类定名			填 料 组 别
	主成分	定名	液、塑限描述	粗粒 含量	粗粒 成分	定名	
	粉土 (M)	低液限粉 土(ML)	A 线以下, $I_p<10$, $\omega_L<40$	<30%		低液限粉土	C3
				30%~ 50%	砾	含砾的低液限粉土	C3
					砂	含砂的低液限粉土	C3
		高液限粉 土(MH)	A 线以下, $I_p<10$, $\omega_L\geq 40$	<30%		高液限粉土	D2
				30%~ 50%	砾	含砾的高液限粉土	D1
					砂	含砂的高液限粉土	D1
	黏土 (C)	低液限黏 土(CL)	A 线以上, $I_p\geq 10$, $\omega_L<40$	<30%		低液限黏土	C3
				30%~ 50%	砾	含砾的低液限黏土	C3
					砂	含砂的低液限黏土	C3
		高液限黏 土(CH)	A 线以上, $I_P\geq 10$, $\omega_L\geq 40$	<30%		高液限黏土	D2
30%~ 50%				砾	含砾的高液限黏土	D1	
				砂	含砂的高液限黏土	D1	

续表 A.0.6

细粒土 (粒径小于 0.075 mm 颗粒含量 ≥50%)	一级分 类定名	二级分类定名		三级分类定名			填 料 组 别
	主成分	定名	液、塑限描述	粗粒 含量	粗粒 成分	定名	
	软岩土		A 线以下, $I_p < 10, \omega_L < 40$		低液限软岩粉土		C3
			A 线以下, $I_p < 10, \omega_L \geq 40$		高液限软岩粉土		D2
			A 线以下, $I_p \geq 10, \omega_L < 40$		低液限软岩黏土		C3
A 线以上, $I_p \geq 10, \omega_L \geq 40$			高液限软岩黏土		D2		

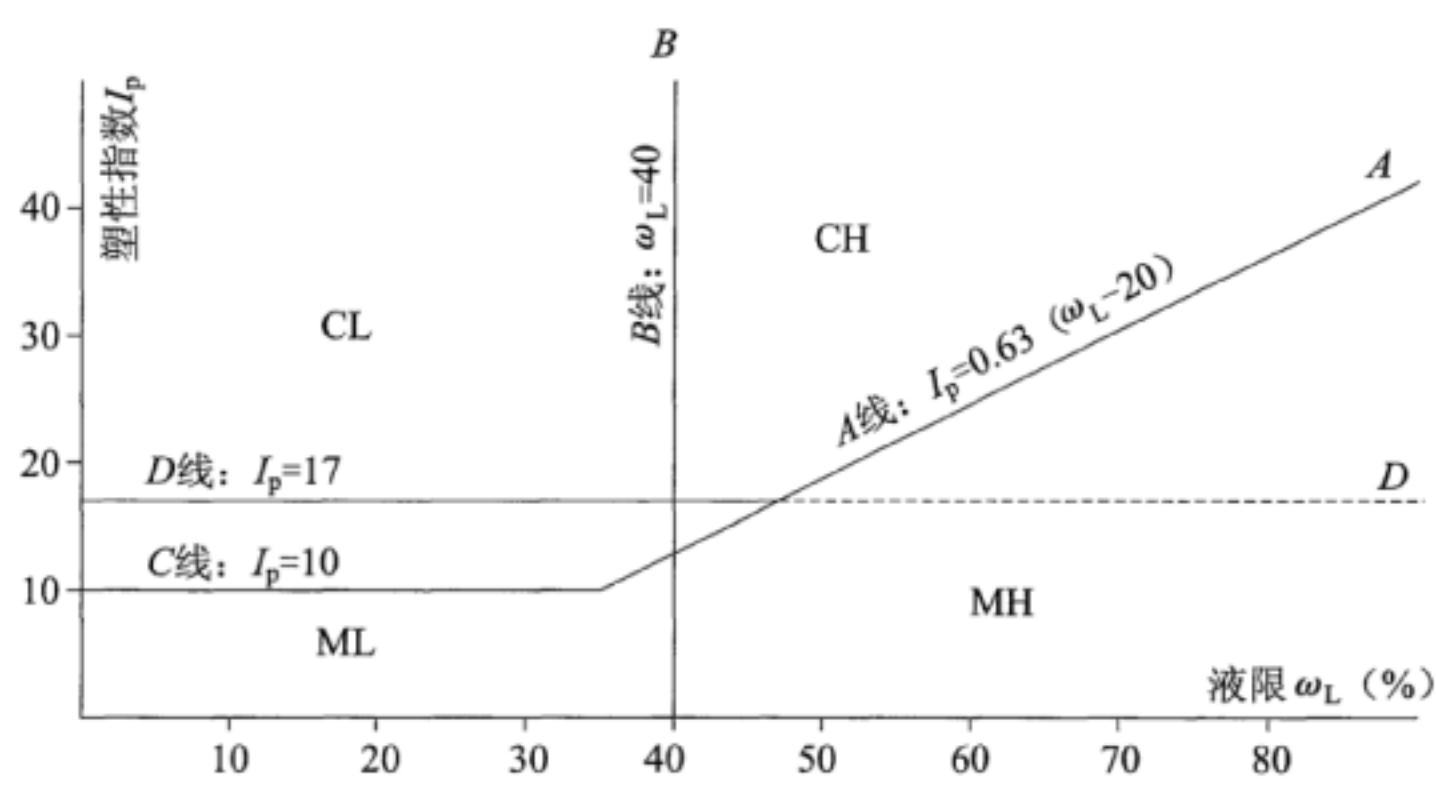


图 A.0.6 细粒土液塑图

注：1 液限试验含水率采用圆锥仪法，圆锥仪总质量为 76 g，入土深度 10 mm。
2 A 线方程中的 ω_L 按去掉 % 符号后的数值进行计算。

附录 B 改良土设计及试验要求

B.1 一般规定

B.1.1 路基填料应通过地质调绘、勘探、取样及试验工作,查明其土石特征、名称、分组、储量、运距,并应对取土场地适宜性进行评价。

B.1.2 应根据工程需要,调查外掺料料源,并对其质量及产量进行评价,所采用的外掺料质量应符合相关标准的要求。

B.1.3 当就近取用填料不符合路基结构相应各部位对填料的要求,或虽符合路基结构相应各部位对填料的要求,但达不到其相应压实标准时,应经过技术、经济指标综合比较后,确定对填料采取改良措施。

B.1.4 经改良后的填料,应满足路基相应部位对其技术要求,确保路基有足够强度、稳定性和耐久性。

B.1.5 改良土设计应采用成熟的、可靠的技术。改良土外掺料可采用水泥、石灰、粉煤灰、砂、砾、碎石等无机料,其中粉煤灰不宜单独作为外掺料用于土的改良;如采用其他类型外掺料,应通过室内和现场试验确认其适用性。

B.1.6 当采用水泥、石灰或石灰粉煤灰做外掺料的改良土填料,用于基床部位时,应设置防、排水措施;用于地面积水或受地下水影响地段路堤的下部填料时,应在基底采取隔水措施。

B.1.7 粉煤灰浸出液中的重金属元素含量应符合国家有关废水排放标准。

B.2 填料勘察、试验

B.2.1 路基填料的勘察应符合现行《铁路天然建筑材料工程地质勘察规程》TB 10084 的相关规定,并应满足以下要求:

1 调查了解路基填料,取土场的地形、地貌、可取范围,以及是否符合国家和地方环境保护、水土保持、土地资源保护等有关规定。

2 查明取土场范围的地层时代、地层结构,填料储量和质量;应按填料划分标准对填料进行分类和组别划分。

3 查明场地的水文地质条件,地下水类型、地下水的水位及变化幅度。

B.2.2 调查收集外掺料的来源,相关物理力学参数,可供利用的产量、运输条件等。

B.2.3 填料取样分布位置、深度等应有代表性,并根据试验项目分别采取足够数量的原状土样或扰动土样。

B.2.4 填料的试验项目,根据填料类别分别选定。

1 砂类土、碎(砾)石类应进行颗粒分析及细粒土含量分析、颗粒密度试验。

2 细粒土应进行颗粒分析(黏粒、粉粒含量),界限含水率试验,击实试验,无侧限抗压强度、回弹模量、夯后快剪强度、有机质含量、硫酸盐含量试验。

3 膨胀土等特殊土,除按细粒土一般试验项目外,尚应进行矿物成分分析、湿化试验、膨胀试验及设计要求的其他试验。

4 风化软岩应进行矿物成分分析。当风化呈土状时,还应按细粒土试验项目进行试验;风化呈砂、砾、碎石状时,还应按粗粒土试验项目进行试验。

B.2.5 填料的各项试验均应按现行《铁路工程土工试验规程》TB 10102 中相关试验方法与要求进行。

B.2.6 外掺料试验项目应符合下列规定:

1 水泥:强度等级试验、凝结时间试验、安定性试验。

2 石灰:氧化钙(CaO)与氧化镁(MgO)含量试验、未消化残渣含量试验。

3 粉煤灰:矿物成分($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ 含量)试验、 SO_3 含量试验、烧失量试验、细度试验。

B. 2. 7 水泥、石灰、粉煤灰各项试验应符合下列规定:

1 水泥:按现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 相关试验方法与要求执行。

2 石灰:按现行国家建材行业标准《建筑石灰试验方法 第 1 部分:物理试验方法》JC/T 478. 1 和《建筑石灰试验方法 第 2 部分:化学分析方法》JC/T 478. 2 执行。

3 粉煤灰:化学成分和细度按现行《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB 1596 执行;烧失量、三氧化硫和矿物成分($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$)含量按现行《水泥化学分析方法》GB/T 176 执行。

B. 3 改良土设计技术指标

B. 3. 1 外掺料为水泥时,宜采用普通硅酸盐水泥或矿渣硅酸盐水泥,强度等级为 32. 5 级或 42. 5 级,初凝时间不宜小于 3. 0 h,终凝时间不宜小于 6. 0 h,不应使用快硬水泥、早强水泥,不得使用受潮变质水泥。

B. 3. 2 用水泥改良的原土料,其塑性指数宜小于 12,有机质含量不宜大于 2%,硫酸盐含量不大于 0. 25%。

B. 3. 3 外掺料为石灰时,宜采用一等建筑钙质生石灰粉或合格建筑钙质生石灰,其石灰的 $\text{CaO} + \text{MgO}$ 含量不小于 80%, CO_2 含量不大于 9%,未消化残渣含量(5 mm 圆孔筛余)不大于 15%。

B. 3. 4 用石灰改良的原土料,其塑性指数宜大于 12,有机质含量不大于 5%,硫酸盐含量不大于 0. 8%。

B. 3. 5 外掺料为粉煤灰时,宜用 $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_3\text{O}_4$ 含量不小于 70%的粉煤灰,其质量应符合现行《用于水泥和混凝土中的粉

煤灰》GB 1596 II 级粉煤灰的要求，即细度(0.045 mm 分孔筛余)不大于 20%，三氧化硫不大于 3%，烧失量不大于 8%。

B.3.6 经改良后填料的无侧限抗压强度应符合表 B.3.6 的要求。

表 B.3.6 改良土无侧限抗压强度(饱和)(kPa)

路基部位 铁路等级		基床表层	基床底层	基床以下路基
客货共线铁路	II	≥500(≥700)	≥300(≥450)	≥200
	I	—	≥300(≥450)	≥200

注:1 表中的强度值为 7 d 龄期的饱和和无侧限抗压强度。
2 表中括号内数值为改良土考虑冻融循环作用时所需的强度值。

B.3.7 当采用改变土的颗粒级配的物理改良方法时,其标准应满足相关规范的要求。

B.4 改良土设计方案

B.4.1 对不满足设计要求的填料,可通过改变土的物理、力学性质或改变土的颗粒级配的方法,提高填料工程性能,达到工程质量的要求。

B.4.2 对粗粒土的中砂、粗砂、砾砂、碎石类及砾石类填料,一般宜采用掺入不同粒径的材料以改变其颗粒级配的物理改良方法。

B.4.3 对细粒土,一般宜根据土的性质,选择适宜的外掺料,采用改变土的物理、力学性质的化学改良方法。当采用水泥作为外掺料时其掺量不宜超过 6%。

B.4.4 改良土的配合比设计应符合下列规定:

1 配制不少于三个不同掺入比的混合料进行击实试验,以确定各种混合料的最优含水率和最大干密度。击实试验按现行《铁路工程土工试验规程》TB 10102 中改良土试验相关规定进行。化学改良土应考虑延时效应,其最大干密度取延迟一定时间的试验

值,延迟时间根据所选施工工艺经试验确定。

2 按改良土所处路基结构不同部位的压实度要求计算干密度。

3 按最优含水率、计算干密度并延迟一定的时间制备试件进行无侧限抗压强度试验。无侧限抗压强度试验按现行《铁路工程土工试验规程》TB 10102 中改良土试验相关规定进行。

4 根据路基结构不同部位对改良土强度要求,选定合适的外掺料,掺入比应按相应的无侧限抗压强度要求进行室内试验确定。

5 计算实际施工外掺料的消耗量时,可按较室内试验确定的掺入比大 0.5%~1.0% 计算。当采用集中场拌施工方法时可增加 0.5%;当采用路拌施工方法时可增加 1.0%。

6 当采用两种外掺料的混合料时,则应确定两种外掺料的各自掺入比及两种外掺料混合后的掺入比,并进行配合比设计。

B. 4. 5 采用水泥或石灰作为单一外掺料进行化学改良时,其掺入比(干质量比)可按下列比例试验确定:

1 基床表层填料可采用下列掺入比:

水泥:4%,5%,6%。

石灰:5%,6%,8%。

2 基床底层填料可采用下列掺入比:

水泥:3%,4%,5%。

石灰:4%,5%,6%,8%。

3 基床以下填料可采用下列掺入比:

水泥:3%,4%,5%。

石灰:4%,5%,6%,8%。

B. 4. 6 外掺料采用水泥或石灰与粉煤灰两种混合料进行改良时,其掺入比(干质量比)可按下列比例试验确定:

1 基床部位填料可采用下列掺入比：

水泥：粉煤灰：3%：12%，4%：16%，5%：20%，6%：24%。

石灰：粉煤灰：5%：15%，6%：18%，7%：21%，8%：24%。

2 基床以下填料可采用下列掺入比：

水泥：粉煤灰：3%：12%，4%：16%，5%：20%，6%：24%。

石灰：粉煤灰：4%：12%，5%：15%，6%：18%，8%：24%。

附录 C 钢材型号、混凝土等级及强度

C.0.1 混凝土轴心抗压、抗拉强度标准值、设计值可按表 C.0.1 确定。

表 C.0.1 混凝土轴心抗压、抗拉强度标准值、设计值(MPa)

强度		混凝土强度等级													
		C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
标准值	轴心抗压强度 f_{ck}	10	13.4	16.7	20.1	23.4	26.8	29.6	32.4	35.5	38.5	41.5	44.5	47.4	50.2
	轴心抗拉强度 f_{tk}	1.27	1.54	1.78	2.01	2.2	2.39	2.51	2.64	2.74	2.85	2.93	2.99	3.05	3.11
设计值	轴心抗压强度 f_c	7.2	9.6	11.9	14.3	16.7	19.1	21.1	23.1	25.3	27.5	29.7	31.8	33.8	35.9
	轴心抗拉强度 f_t	0.91	1.1	1.27	1.43	1.57	1.71	1.8	1.89	1.96	2.04	2.09	2.14	2.18	2.22

C.0.2 普通钢筋、预应力钢筋型号及强度可按表 C.0.2 确定。

表 C.0.2 普通钢筋、预应力钢筋型号及强度

种类	牌号	符号	公称直径 $d(\text{mm})$	屈服强度标准值 $f_{yk}(\text{MPa})$	极限强度标准值 $f_{stk}(\text{MPa})$	抗拉强度设计值 $f_y(\text{MPa})$	抗压强度设计值 $f'_y(\text{MPa})$
普通钢筋	HPB300	A	6~22	300	420	270	270
	HRB400	C	6~50	400	540	360	360
	HRBF400	C ^F					
	RRB400	C ^R					

续表 C.0.2

种类	牌号	符号	公称直径 $d(\text{mm})$	屈服强度 标准值 $f_{yk}(\text{MPa})$	极限强度 标准值 $f_{stk}(\text{MPa})$	抗拉强度 设计值 $f_y(\text{MPa})$	抗压强度 设计值 $f'_y(\text{MPa})$
普通 钢筋	HRB500	D	6~50	500	630	435	410
	HRBF500	D ^F					
预应力 螺纹 钢筋	PSB785	A ^T	18、25、 32、40、 50	785	980	650	410
	PSB930			930	1 080	770	
	PSB1080			1 080	1 230	900	

C.0.3 预应力钢丝、钢绞线型号及强度可按表 C.0.3 确定。

表 C.0.3 预应力钢丝、钢绞线型号及强度

种类	牌号	符号	公称 直径 $d(\text{mm})$	屈服强度 标准值 $f_{yk}(\text{MPa})$	极限强度 标准值 $f_{stk}(\text{MPa})$	抗拉强度 设计值 $f_y(\text{MPa})$	抗压强度 设计值 $f'_y(\text{MPa})$
中强度 预应力 钢丝	光面螺 旋肋	A^{PM} A^{HM}	5、7、9	620	800	510	410
				780	970	650	
				980	1 270	810	
消除应 力钢丝	光面螺 旋肋	A^{P}	5	—	1 570	1 110	410
				—	1 860	1 320	
		A^{H}	7	—	1 570	1 110	
			9	—	1 470	1 040	
				—	1 570	1 110	
钢绞线	1×3(三股)	A^{S}	8.6、 10.8、 12.9	—	1 570	1 110	390
				—	1 860	1 320	
				—	1 960	1 390	

续表 C. 0. 3

种类	牌号	符号	公称 直径 $d(\text{mm})$	屈服强度 标准值 $f_{yk}(\text{MPa})$	极限强度 标准值 $f_{stk}(\text{MPa})$	抗拉强度 设计值 $f_y(\text{MPa})$	抗压强度 设计值 $f'_y(\text{MPa})$
钢绞线	1×7(七股)	A ^s	9. 5、	—	1 720	1 220	390
			12. 7、	—	1 860	1 320	
			15. 2、	—	1 960	1 390	
			17. 8	—	1 960	1 390	
			21. 6	—	1 860	1 320	

- 注:1 预应力钢丝按松弛率的不同可分为普通松弛(WNR)和低松弛(WLR)钢丝。
- 2 预应力钢绞线均为低松弛(WLR)。
- 3 极限强度标准值为 1 960 N/mm² 的钢绞线作后张预应力配筋时,应有可靠的工程经验。

附录 D 常用地基处理方法及措施适用条件表

D.0.1 常用地基处理方法及措施可按表 D.0.1 确定。

表 D.0.1 常用地基处理方法及措施适用条件

常用地基 处理方法 边界条件		浅层处理			排水固结		挤密					置换						注浆	结构物	
		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	水泥土搅拌桩	水泥粉煤灰碎石桩	素混凝土桩	旋喷桩	注浆	钢筋混凝土网(筏)	钢筋混凝土桩板
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	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○	△	△	☆	☆	×	×
淤泥及流塑状 淤泥质土		○	×	×	○	○	×	×	×	×	×	△	○	×	×	×	×	×	☆	☆
饱和黏性土		○	×	×	○	○	×	△	×	×	△	○	○	○	○	○	○	×	○	○

续表 D.0.1

常用地基 处理方法 边界条件		浅层处理			排水固结		挤密					置 换						注浆	结构物	
		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	水泥土搅拌桩	水泥粉煤灰碎石桩	素混凝土桩	旋喷桩	注浆	钢筋混凝土桩网(筏)	钢筋混凝土桩板
地基类型	非饱和和黏性土	○	○	○	×	×	○	○	△	○	○	△	△	△	○	○	○	△	○	○
	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	○	△	△	×	×	○	×	×	×	△	×	×	×	×	×	△	☆	○	○
	对邻近构造物的影响	○	△	△	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	△	○	○
	噪声、振动	○	△	△	○	○	×	△	△	△	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○
水质、泥浆污染	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	×	○	○	
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	60	60	60

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 E 路基边坡绿色防护

E.0.1 路基边坡绿色防护常用灌草植物种可按表 E.0.1 选用。

表 E.0.1 路基边坡植物防护常用灌草植物种

区域	主要灌木树种	主要草种
东北地区	紫穗槐、胡枝子、沙棘、荆条、冬青、小叶锦鸡儿、柠条锦鸡儿、怪柳(红柳)、小叶黄杨、辽东水蜡、榆叶梅、东北连翘、紫丁香、红瑞木、卫矛、金银忍冬、越橘、杜鹃、杜香、柳叶绣线菊、杞柳、蒙古柳、兴安刺玫、刺五加、毛榛、小黄柳、茶条槭、六道木、偃伏菜木	苔草、小叶樟、芍药、地榆、沙参、线叶菊、针茅、野豌豆、隐子草、冷蒿、冰草、早熟禾、紫羊茅、防风、碱草、艾蒿、苜蓿、鹅冠草、高羊茅
东北、华北、西北风沙地区	紫穗槐、沙柳、沙棘、柠条、锦鸡儿、毛条、山竹子、花棒、杨柴、踏郎、黄柳、杞柳、怪柳(红柳)、沙拐枣、梭梭、胡枝子、沙木蓼、白刺、沙冬青、沙枣、白梭梭	沙蒿、沙打旺、甘草中、苜蓿、羊草、大针茅、鸭茅
黄河上中游地区	紫穗槐、夹竹桃、四翅滨藜、野枸杞、怪柳(红柳)、绣线菊、虎榛子、黄蔷薇、柄扁桃、沙棘、胡枝子、金银忍科、连翘、麻黄、多花木兰、白刺花、山楂、柠条、荆条、黄栌、六道木、金露梅、酸枣、山皂角、花椒、山杏、山桃	黑麦草、茅尾草、早熟禾、无芒雀麦、羊草、苜蓿、黄背草、白草、龙须草、沙打旺、冬梭草、小冠花、高羊茅
华北中原地区	紫穗槐、夹竹桃、胡枝子、怪柳(红柳)、黄荆、酸枣、荆条、杞柳、绣线菊、昭山白、金露梅、杜鹃、高山柳、尖叶锦鸡儿、鹅耳枥、山皂角、花椒、枸杞、山杏、山桃、马棘	蒿草、蓼、紫花针、羽柱针茅、昆仑针茅、苔草、黄背草、白草、龙须草、沙打旺、冬梭草、小冠花、高羊茅、狗芽根

续表 E. 0. 1

区域	主要灌木树种	主要草种
长江上中游地区	紫穗槐、夹竹桃、胡枝子、荆条、三棵针、小蘗、绢毛蔷薇、报春、爬柳、密枝杜鹃、山胡椒、乌药、箭竹、马桑、白花刺、火棘、化香、绣线菊、月月青、车桑子、盐肤木、黄荆、红花继木、小叶女贞	芒草、野古草、蕨、白三叶、红三叶、黑麦草、苜宿、雀麦、高羊茅
中南华东(南方)地区	紫穗槐、夹竹桃、山毛豆、胡枝子、荆条、爬柳、密枝杜鹃、胡枝子、李字栎、枹树、茅栗、化香、白檀、海棠、野山楂、红果钓樟、绣线菊、马桑、水马桑、蔷薇、黄荆、红花继木、小叶女贞	香根草、芦苇、水烛、菖蒲、莲藕、芦竹、芒草、野古草、高羊茅、狗芽根
热带地区	紫穗槐、蛇藤、米碎叶、龙须藤、小果南竹、杜鹃	金茅、野古草、绒毛鸭子嘴、海芋、芭蕉、蕨类

E. 0. 2 灌木、乔木与地下管线间的防护间距应符合表 E. 0. 2 的规定。

表 E. 0. 2 灌木、乔木与地下管线间的防护间距

地下管线名称	最小水平间距(m)	
	乔木	灌木、绿篱
电力电缆	1. 5	1. 0
弱电电缆	2. 0	1. 0
给水管、排水管及井室	1. 5	—
乙炔、氧气、压缩空气管、热力管	2. 0	2. 0
煤气管、石油管	1. 5	1. 0
天然气管	1. 2	1. 2

注：乔木与地下管线的距离是指树干基部的**外缘**与**管线外缘**的净距离，灌木或绿篱与地下管线的距离是指地表处**分蘖枝干基部**的**外缘**与**管线外缘**的净距离。

附录 F 路基防排水设计用图表

F.0.1 常用排水设施的水力半径和过水断面面积可按表 F.0.1 确定。

表 F.0.1 常用排水设施的水力半径和过水断面面积计算用表

断面形状	断面示意图	过水断面面积 A	水力半径 R
矩形		$A=bh$	$R=\frac{bh}{b+2h}$
对称梯形		$A=bh+mh^2$	$R=\frac{bh+mh^2}{b+(2\sqrt{1+m^2})h}$
不对称梯形		$A=bh+0.5(m_1+m_2)h^2$	$R=\frac{bh+0.5(m_1+m_2)h^2}{b+(\sqrt{1+m_1^2}+\sqrt{1+m_2^2})h}$
圆形		$A=\frac{\pi d^2}{4}$	$R=\frac{d}{4}$
半圆形		$A=\frac{\pi d^2}{8}$	$R=\frac{d}{4}$

F.0.2 地表径流系数在无试验资料时可按表 F.0.2 选用。

表 F.0.2 地表径流系数

地表种类	径流系数 ϕ	地表种类	径流系数 ϕ
粗粒土坡面	0.10~0.30	起伏的草地	0.40~0.65
细粒土坡面	0.40~0.65	平坦的耕地	0.45~0.60
硬质岩石坡面	0.70~0.85	落叶林地	0.35~0.60
软质岩石坡面	0.50~0.75	针叶林地	0.25~0.50
陡峻的山地	0.75~0.90	水田、水面	0.70~0.80
起伏的山地	0.60~0.80	—	—

F.0.3 沟(管)壁粗糙系数在无实测资料时可按表 F.0.3 选用。

表 F.0.3 沟(管)壁粗糙系数

沟管类别	粗糙系数 n	沟管类别	粗糙系数 n
UPVC 管、PE 管、玻璃钢管	0.010	砂砾质明沟、浆砌片石明沟	0.025
混凝土明沟(预制)	0.012	波纹管、带杂草土质明沟	0.027
混凝土管、陶土管	0.013	干砌片石明沟	0.032
铸铁管、混凝土明沟(抹面)	0.015	岩石质明沟	0.035
土质明沟	0.022	—	—

注：本表给出的粗糙系数值是指过水界面较好的情况，若有充分资料或过水界面状况较为复杂时，可不受该表限制。

F.0.4 设计径流量计算用降雨强度可按图 F.0.4 确定。

F.0.5 设计径流量计用降雨强度转换系数算可按图 F.0.5 确定。

F.0.6 地面水汇水面积确定应符合下列规定：

- 1 汇水面积宜在(1：2 000)~(1：10 000)地形图上勾绘，经现场校核确定。
- 2 路堑侧沟汇水面积应包括路基面、边坡坡面、边坡平台、侧沟平台的径流面积。

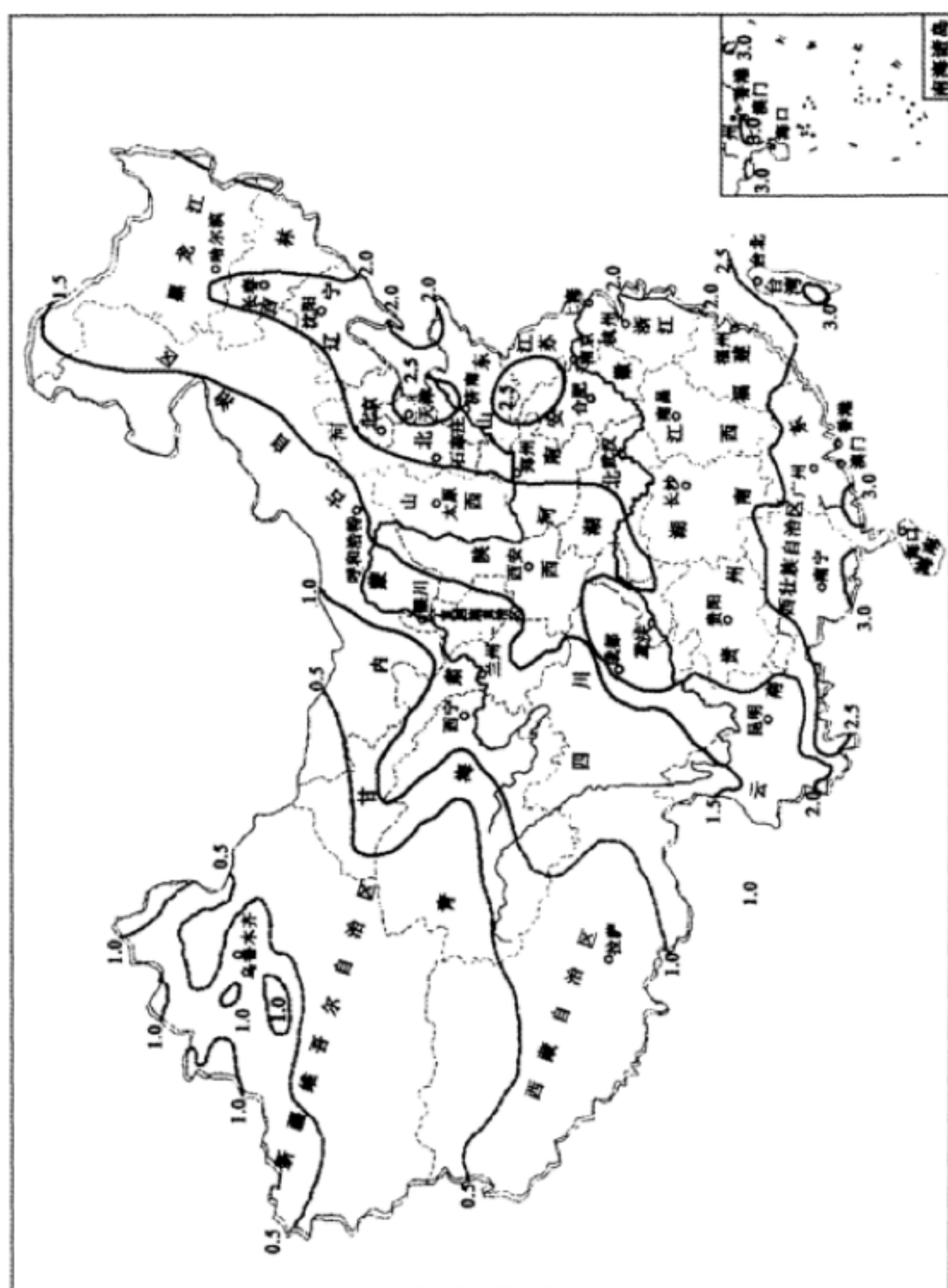


图 F.0.4 5 年一遇 10 min 降雨强度 ($I_{5,10}$) 等值线图

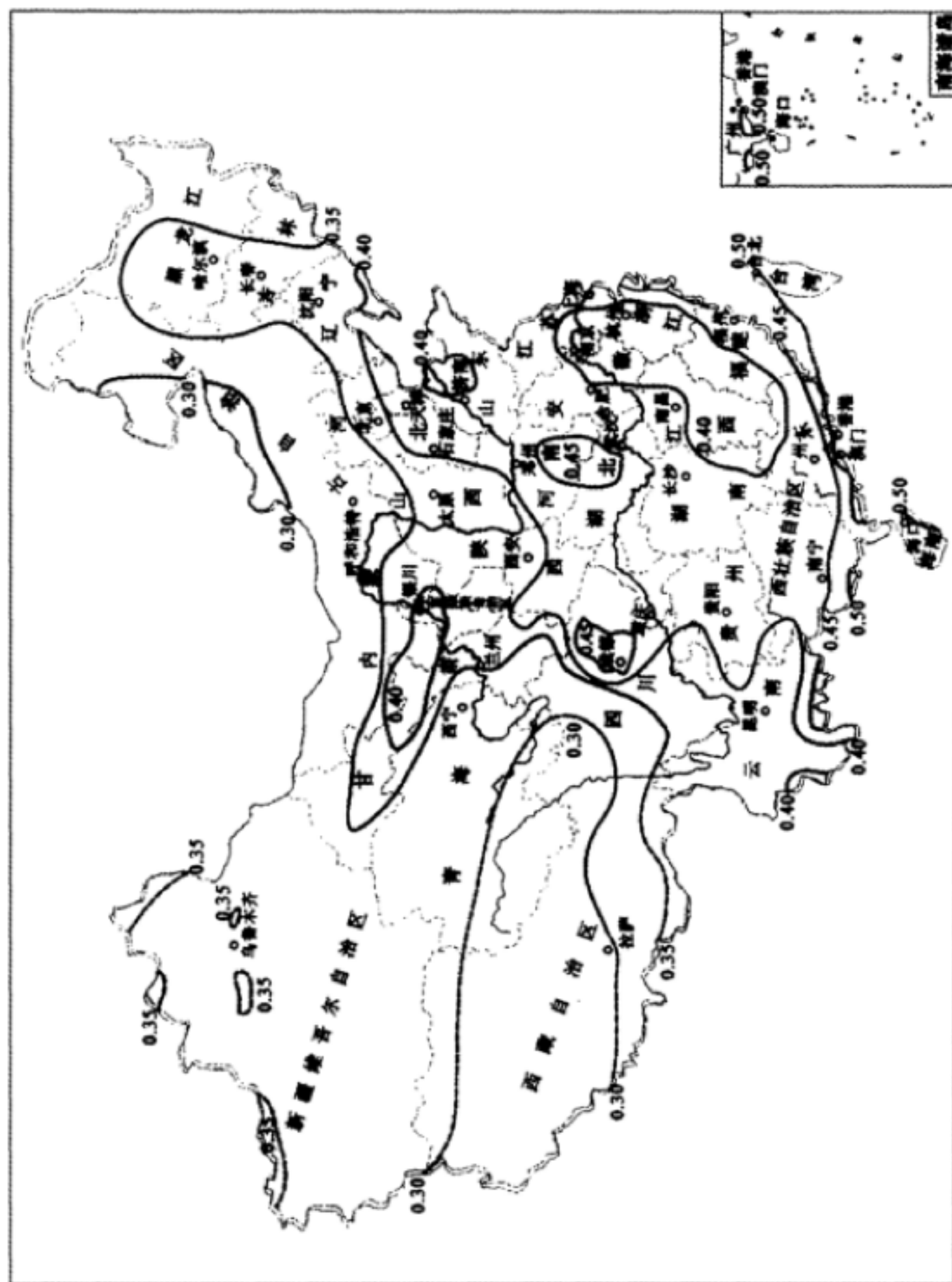


图 F.0.5 全国 60 min 降雨强度转换系数(c_{60})等值线图

3 路堤排水沟汇水面积应包含路基面、边坡坡面、边坡平台、路堤坡脚至排水沟及排水沟外侧地面径流面积。

4 路堑天沟汇水面积应包括天沟外侧汇水区域及可能流向天沟的内侧汇水区域。

F. 0. 7 路基地面排水设施的设计径流量可按式(F. 0. 7)计算确定;膨胀土、湿陷性黄土、砂性土、戈壁碎石土等易冲刷地区,其设计径流量应在式(F. 0. 7)的基础上乘以 1. 10 的系数。

$$Q=16.67\phi qF \quad (\text{F. 0. 7})$$

式中 Q ——设计径流量(m^3/s);

ϕ ——径流系数,按汇水区域内的地表种类确定。当汇水区域内有多种类型的地表时,应分别为每种类型选取径流系数后,按相应的面积大小取加权平均值;

q ——设计重现期和降雨历时内的平均降雨强度(mm/min),宜采用当地气象部门的降雨强度计算公式;

F ——汇水面积(km^2)。

F. 0. 8 水沟和管所需的断面尺寸应根据设计流量、水力坡度、沟管粗糙率等计算确定,并检查其流速是否在允许范围内。

F. 0. 9 水沟的泄水能力可按式(F. 0. 9)计算:

$$Q_c=vA \quad (\text{F. 0. 9})$$

式中 Q_c ——泄水能力(m^3/s);

v ——平均流速(m/s),按式(F. 0. 10—1)计算;

A ——过水断面面积(m^2),可按表 F. 0. 1 选用。

F. 0. 10 水沟的平均流速可按式(F. 0. 10—1)计算:

$$v=C\sqrt{Ri} \quad (\text{F. 0. 10—1})$$

式中 v ——平均流速(m/s);

R ——水力半径(m),按表 F. 0. 1 选用;

i ——水力坡度, $i=\frac{h}{l}$ (h 为水头差, l 为流水长度),一般情况可取用沟管的底坡;

C——流速系数或谢才系数,按式(F. 0. 10—2)计算。

$$C=\frac{1}{n}R^y \qquad \qquad \qquad (F. 0. 10—2)$$

$$y=2.5\sqrt{n}-0.13-0.75\sqrt{R}(\sqrt{n}-0.1) \qquad (F. 0. 10—3)$$

式中 n ——沟管壁的粗糙系数,可按表 F. 0. 3 确定。

F. 0. 11 水沟的允许流速应符合下列规定：

- 1 明沟的最大允许流速应按表 F. 0. 11—1 选用,并根据水深按表 F. 0. 11—1 列值乘以表 F. 0. 11—2 中相应的修正系数。
- 2 膨胀土、黄土等易冲刷及淤积地区的沟,应进行流速验算。

表 F. 0. 11—1 明沟最大允许流速

明沟类别	最大允许 流速(m/s)	明沟类别	最大允许 流速(m/s)	明沟类别	最大允许 流速(m/s)	明沟类别	最大允许 流速(m/s)
粉土	0.8	干砌片石	2.0	黏土	1.2	混凝土	4.0
粉质黏土	1.0	浆砌片石	3.0	草皮护面	1.6	石灰岩、 中砂岩	4.0

表 F. 0. 11—2 最大允许流速的水深修正系数

水深 h (m)	$h\leqslant0.4$	$0.4<h\leqslant1.0$	$1.0<h<2.0$	$h\geqslant2.0$
修正系数	0.85	1.00	1.25	1.40

F. 0. 12 不受结构或地形限制的水沟应采用水力最优断面。

本规范用词说明

执行本规范条文时,对于要求严格程度的用词说明如下,以便在执行中区别对待。

(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”;

反面词采用“不宜”。

(4)表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

《铁路路基设计规范》 条文说明

本条文说明系对重点条文的编制依据、存在的问题以及在执行中应注意的事项等予以说明,不具备与规范正文同等的法律效力,仅供使用者作为理解和把握规定的参考。为了减少篇幅,只列条文号,未抄录原文。

1.0.3 规定了对路基设计的基本要求。

(1)路基工程是铁路轨下基础工程的重要组成部分,是保证列车安全、舒适运行系统中的关键工程。路基主体工程一旦破坏,维修难度高,对于运营的影响大。

路基要承受轨道和列车荷载以及各种自然因素的作用,要具有足够的稳定性,使其不致在路基本体或其地基产生破坏和位移,以保证行车的安全畅通。

(2)由于路基是在各种复杂条件下工作的土工建筑物,有各种自然因素影响它的强度和稳定性,如风、雨、雪、大气温度变化、地震、水流等常会对路基造成破坏作用。因此,要采取适当措施,使路基具有在这些自然因素长期作用下的耐久性。

综上所述,充分考虑路基的强度、变形特性及其耐久性,制定相应的标准,将路基作为土工结构物进行设计。

此外,为了列车的安全运行,路基两侧山坡上危石要予以处理。

结合近年国家对环境评价的重视,本次修订中增加了要

符合环境保护、水土保持、文物保护等的要求。

1.0.6 根据《铁路列车荷载图式》TB/T 3466—2016 的规定,列车荷载图式根据线路类型按表 4.2.2 选用;当选用的图式与线路类型不一致时,需研究确定图式配套的参数体系。客货共线铁路货运特征达到重载铁路标准时,要选用 ZH 荷载图式。

1.0.11 路基的排水设计是一项重要工作。根据各铁路局的工务经验,由于排水不畅造成的路基病害状况十分严重,尤其在年降水量较大地区,水对路基的影响在许多方面占据着主导地位,是病害产生的首要因素。因此,为减少路基病害,一定要做好路基的排水工作,并做好与铁路桥涵、隧道、站场及地方排水系统合理衔接。

1.0.12 根据近年来多条电气化铁路干线的施工情况来看,线路两侧设置的杆架、沟槽、管线等设施 and 路基的干扰较大,经常在已填筑密实的路基上又重新开挖施工这些工程,其中电缆槽的施工对路基本体的干扰尤为严重,对路基的完整性和稳定性造成了不良影响。另考虑到路肩上设置电缆沟槽后,易造成路基基床排水不畅、产生基床病害,因此制定本条。

1.0.14 铁路建设用地政策标准主要为《新建铁路工程项目建设用地指标》(建标〔2008〕232 号),其第 3.3.3 条规定:区间路基用地宽度应符合下列条件:

路堤:排水沟、护道或坡脚矮挡墙边缘不大于 3 m。

路堑:天沟外为 2 m;无天沟时,路堑顶边缘外为 5 m。

风沙、雪害及特殊地段应根据路基稳定与防护工程需要计算确定用地宽度。

《新建铁路工程项目建设用地指标》规定的区间路基建设用地指标及对应的路基面宽度汇总见说明表 1.0.14。

说明表 1.0.14 区间路基建设用地指标

铁路等级	路基面宽度(m)		用地指标(hm ² /km)		
	路堤	路堑	平原	丘陵	山区
I 级双线(200 km/h)	12.1	12.1	4.805 9	5.485 0	6.693 0
I 级双线(160 km/h 及以下)	12.2	11.9	4.785 9	5.475 0	6.683 0
I 级单线(160 km/h 及以下)	7.8	7.7	4.126 5	4.866 7	5.704 8
II 级单线(120 km/h 及以下)	7.7	7.7	4.126 5	4.866 7	5.704 8
III 级单线	7.0	6.6	4.056 3	4.784 0	5.607 8
IV 级单线	6.0	5.6	3.940 8	4.647 7	5.448 1

2.1.8 横向结构物按结构类型包括:涵洞、框架桥、刚架桥(刚构桥)等,按使用功能包括:排洪及灌溉涵(桥)、立交涵(桥)、过管涵、地道等。

2.1.21 路基常用土工材料包括土工织物、土工膜、土工网、土工网垫、土工格栅、土工格室、土工特种材料及土工复合材料等。

2.1.25 柔性桩复合地基主要包括采用水泥土桩、灰土桩和石灰桩等进行地基处理的复合地基。

2.1.26 刚性桩复合地基主要包括采用钢筋混凝土桩、素混凝土桩、预应力管桩、大直径薄壁筒桩、水泥粉煤灰碎石桩(CFG 桩)、二灰混凝土桩和钢管桩等进行地基处理的复合地基。

3.1.1 本条文所提设计洪水频率和潮位重现期,为计算设计水位而确定路肩高程所必需。

1 当观测洪水频率小于规定的设计洪水频率时,为安全计采用观测洪水频率,但观测洪水频率值越小则其重现机率越小,若采用值过小势必增大工程投资。因此限制不能小于 1/300。

考虑到小桥涵附近的路基同样容易受到洪水危害,因此其观

测洪水频率与滨河路基等采用同一标准。

由于大型水库水坝的安全性比铁路的影响更大,因此大型水库的水库路基设计洪水频率不采用水库的设计洪水频率标准,仍采用与滨河路基等相同的设计洪水频率标准。

2 滨海铁路路堤暴露于外海,直接受到潮位控制且路基面不允许越浪,要求在一定稀遇频率的高潮位及波浪发生时能抵抗高潮位及波浪的侵袭,保证路堤稳定及运输安全,其设计水位要和陆域铁路一样具有同等级的标准。因此滨海路堤的设计水位,I、II级铁路采用重现期为100年一遇的高潮位。

3 当水库淤积严重,对路基工程不利影响时,可以预估淤积量,酌量提高路基设计洪水频率标准,并一般在可研阶段确定。

4 改建既有线和增建第二线时,要尽量利用既有设备。因此往往不采用新线洪水频率标准,而是结合既有线运营期间的水害情况在可研阶段时确定设计洪水频率标准。当既有线运营期间水害确实严重时,也可以采用新线设计洪水频率标准。

3.1.2 当同时具有斜水流局部冲高与波浪侵袭高度时,由于两者相互干扰,不予叠加,一般取二者中较大值控制设计。

3.1.3 当铁路设计洪水频率低于水库设计洪水频率标准时,为避免路基长期被库水淹没,要采用水库正常高水位作为设计水位。

3.1.4 为确保滨海路基的安全,路肩的设计高程除满足设计水位(设计标准高潮位)所需高度外,同时要考虑为抗御波浪对路堤的侵袭所需的高度。因此路肩高程不能低于设计高潮水位加波浪侵袭高度(波浪爬高)并加不小于0.5 m的安全高度。对设防浪胸墙的路堤,因防浪胸墙已计及波浪侵袭的影响,路肩高程可以不计波浪侵袭高。

3.1.5 地下水位高或常年有地面积水的地区,路堤过低容易引起翻浆冒泥等病害。因此本条规定路肩高程高出最高地下水位或最高地面积水水位一定高度。

3.1.6 一般将路基产生不均匀冻胀且其值大于 4 mm 者,定为有害冻胀。产生有害冻胀的冻结深度为有害冻胀深度。

在季节冻土地区的有害冻胀范围内,当路基土体的含水率达到一定值时,往往会产生有害冻胀,春融时又容易产生翻浆冒泥等病害,影响运输安全,加大养护维修工作量。因此本条规定路肩高程高出冻前地下水位一定高度,使地下水沿毛细管上升时不至在有害冻胀深度范围内聚集,避免产生有害冻胀及其他病害。

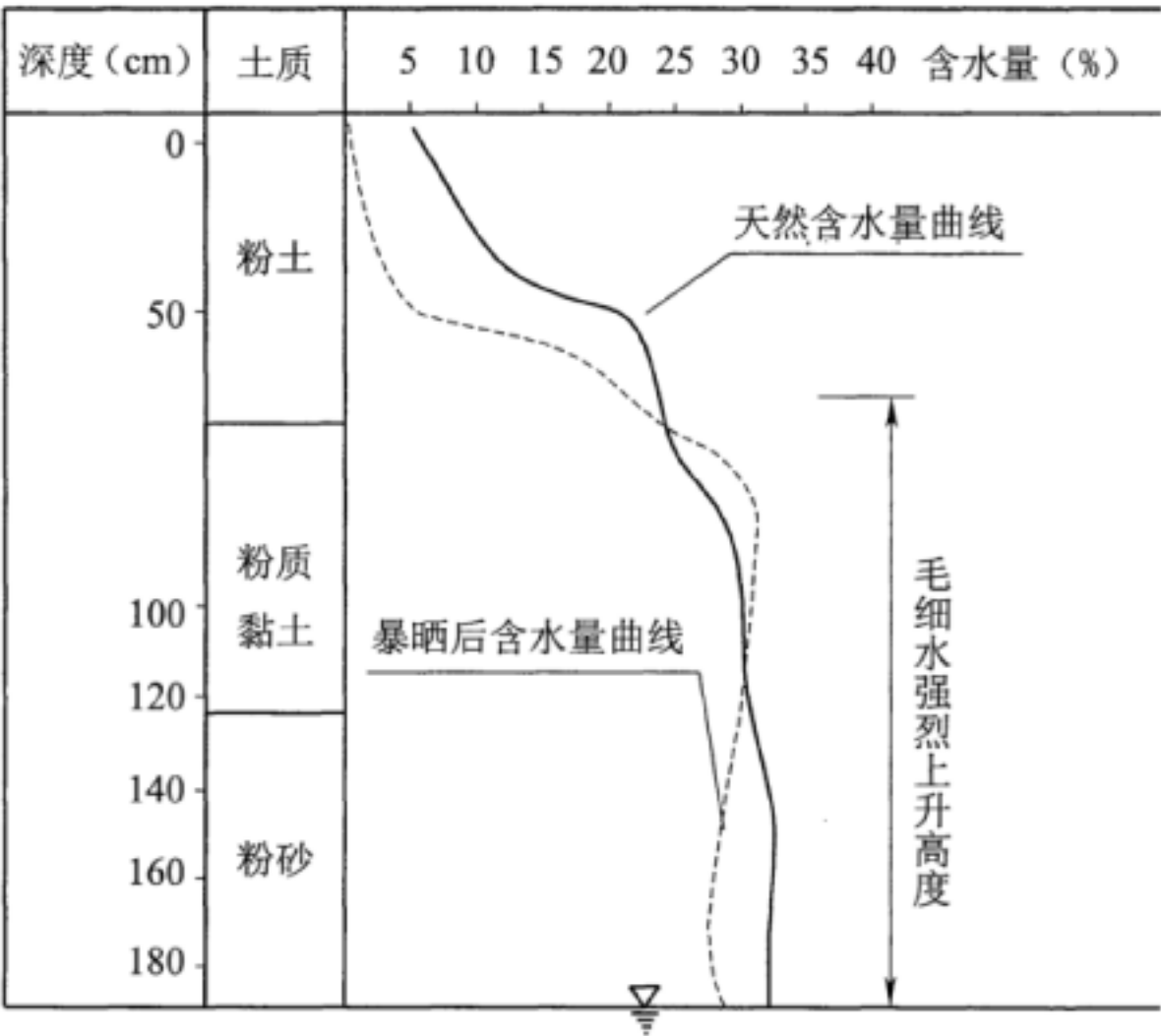
另据有关科研成果证实,一般地区有害冻胀深度为最大冻结深度的 60%;东北地区因温度低且持续时间长,有害冻胀深度达最大冻结深度的 95%。

综合以上因素,高速铁路、无砟轨道有害冻胀深度可以按最大冻结深度取值;其他铁路有害冻胀深度根据工程所处地区特点可以按最大冻结深度的 60%~95%取值。

确定毛细水强烈上升高度的方法有直接观测法、暴晒法及公式计算法等。直接观测法是开挖试坑 1 d~2 d 后,直接观测坑壁干湿变化情况,干湿变化明显处即为毛细水强烈上升带与破裂带的分界点,此点至地下水位距离为毛细水强烈上升高度。暴晒法是分别在开挖试坑的当时和暴晒 1 d~2 d 后,测定坑壁的含水量并绘制含水量曲线,两曲线的交点到地下水位距离即为毛细水强烈上升高度,如说明图 3.1.6 所示。公式计算法参照《铁路特殊路基设计规范》TB 10035—2006 的相关要求进行。

3.1.7 盐渍土地区,地下水或地面积水矿化度高,水中的盐分被毛细水带到路基土体中,水分蒸发后,盐分积聚下来,容易使路堤

土体次生盐渍化,进而产生盐胀等病害,因此盐渍土路肩的高程需高出最高地下水水位或最高地面积水水位一定高度。



说明图 3.1.6 毛细水强烈上升高度示意

3.1.8 当路基采取降低地下水水位,设置毛细水隔断层等措施时,由于地下水水位被降低或毛细水被隔断,毛细水上升不到相应高度,不再对路基产生危害,因此,路肩高程不再受本规范第 3.1.5 条、3.1.6 条、3.1.7 条的限制。

3.2.1 路基面设计成三角形形状能够使聚积在路基面上的水较快地排出,有利于保持基床的强度和稳定性。

3.2.2 本条规定是综合考虑以下因素制定的:

(1)部分国外铁路路肩宽度列于说明表 3.2.2。

由此可见,除前苏联和瑞士铁路路肩宽度较小外,其他国家所规定的路肩宽度均接近或大于 0.7 m,宽度范围在 0.64 m~1.2 m。本条规定的路肩宽度接近大多数国家的规定值。

说明表 3.2.2 部分国外铁路路肩宽度(m)

国别	苏联		日本		法国	英国	澳大利 亚	西德	比利时	瑞士
	重型 混凝 土枕	特重型 混凝 土枕	路 堤	路 堑						
路肩 宽度	0.55	0.64	1.2	1.0	≥0.7	0.64~0.86	0.7	0.74	0.8	0.45~0.5

(2)我国大秦重载铁路规定,路肩宽度路堤不得小于 0.8 m,或一侧不小于 1.0 m,另一侧不小于 0.6 m,路堑不得小于 0.6 m;广深准高速铁路路肩宽度路堤为 0.8 m,路堑为 0.6 m。均接近或等于本条所规定的路肩宽度。

(3)根据运营和既有线提速实践总结的经验证明:路肩宽度是影响安全避车、路基的维修养护和路基本体尤其是边坡稳定性的重要因素。

(4)电气化铁路路肩宽度考虑了接触网支柱基础的设置。

综合以上因素,规定设计速度 200 km/h 铁路路肩宽度不小于 1.0 m;设计速度 200 km/h 以下铁路路肩宽度不小于 0.8 m。

本条高速铁路路肩宽度双线 1.4 m、单线 1.5 m 是按路肩上设置电缆槽计算的,当路肩上设置电缆槽易引起路基冻胀、排水不良等病害,或其他原因需将电缆槽设置于路肩以外时,要另行计算确定路肩宽度。

3.2.4 表 3.2.4 参照正在修编的《铁路轨道设计规范》,取消了《铁路路基设计规范》TB 10001—2005 铁路标准划分中“特重型”、“重型”、“次重型”、“轻型”的铁路轨道结构分类标准,仅按铁路等级及设计行车速度等进行分级。

表 3.2.4 中道床结构及厚度按正在修编的《铁路轨道设计规范》取用,不同铁路正线有砟轨道设计标准见说明表 3.2.4。

说明表 3.2.4 正线有砟轨道设计标准

项 目	单位	高速 铁路	城际铁路			客货共线铁路			重载铁路			
						I 级铁路			II 级 铁路			
运 营 条 件	年通过总质量	—	—	—	—	—	—	—	>250	100~250	40~100	
	列车轴重 P	≤ 17	≤ 17	≤ 17	≤ 17	≤ 23	≤ 25	≤ 25	25~30	30	25、27	30
	旅客列车 设计行车速度 v_K	≥ 250	200	160	120	200	160	120	≤ 120	≤ 120	≤ 120	≤ 120
	货物列车 设计行车速度 v_H	—	—	—	—	≤ 120	≤ 120	≤ 80	≤ 90	≤ 90	≤ 90	≤ 90
轨 道 结 构	钢 轨	60	60	60	60	60	60	60	75	60	60	60
	扣 件	—	弹条 IV 或 V 型	弹条 II 或 III 型	弹条 II 或 III 型	弹条 II 或 III 型	弹条 II 或 III 型	弹条 II 或 III 型	与轨枕匹配的弹性扣件			
			弹条 II 或 III 型	弹条 II 或 III 型	弹条 II 或 III 型	弹条 II 或 III 型	弹条 II 型					
	混 凝 土 枕	—	III	III	III	III	III	III 或 新 II	满足设计轴重要求的混凝土轨枕			
	间 距	600	600	600	600	600	600 或 570	570	600	600	600	600

续说明表 3.2.4

项 目		单位	高速 铁路	城际铁路			客货共线铁路				重载铁路					
							I 级铁路									II 级 铁路
轨道结构	路基 (双层道床)	面砟	—	—	30	25	—	30	30	25	35	35	30	35	30	
		底砟	—	—	20	20	—	20	20	20	20	20	20	20	20	
	路基 (单层道床)	道砟	35	30	30	30	30	30	30	30	35	35	35	35	30	
		硬质岩石 路基、桥梁、隧道	道砟	35	35	30	30	35	35	35	30	35	35	35	35	35
	道床厚度及材质	道砟材质	面砟	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
道砟			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

3.2.5 表 3.2.5—1 对采用大型养路机械的电气化铁路,其路基面宽度需满足以下要求:电气化线路接触网立柱内侧距线路中心线不少于 3.1 m,接触网支柱外侧距路肩边缘的距离不小于 0.25 m。目前设计速度 200 km/h 及以下电气化铁路广泛使用的接触网支柱有横腹杆式和环形等径两种类型,接触网采用横腹杆式支柱时,路肩处宽度接近 0.63 m,环形等径支柱宽度有 0.4 m 和 0.35 m 两种,根据以上情况分别计算了采用横腹杆式支柱、环形等径支柱两种路基面宽度。

3.2.6 在调研分析了目前建成和在建的客货共线电气化铁路接触网支柱形式、电缆槽设置情况的基础上,根据设置方式、电缆槽尺寸及与接触网支柱的位置关系(图 3.2.6—1~图 3.2.6—2),按式(3.2.6)计算的通信、信号和电力电缆槽均位于路肩时路基面宽度见说明表 3.2.6。

说明表 3.2.6 设置电缆槽的电气化铁路直线地段路基面宽度

项目			单位	Ⅰ 级铁路			Ⅱ 级铁路	电缆槽设置位置	
设计速度 v			km/h	200	160	120	120		
双线线间距			m	4.4	4.2	4.0	4.0		
道床顶面宽度			m	3.5	3.4	3.4	3.4		
基床表层类型	土质路基	双层道床厚度		m	—	0.5	0.5	0.45	
		单线	路堤	m	—	8.1	8.1	8.1	接触网对侧路肩
			路堑	m	—	8.1	8.1	8.1	接触网对侧路肩
		双线	路堤	m	—	13.5	13.3	13.3	双侧路肩
			路堑	m	—	12.3	12.1	12.1	双侧侧沟平台
	硬质岩石	单层道床厚度		m	0.35	0.35	0.35	0.35	
		单线路堑		m	8.1	8.1	8.1	8.1	接触网对侧路肩
		双线路堑		m	12.5	12.3	12.1	12.1	双侧侧沟平台
		单层道床厚度		m	0.3	0.3	0.3	—	

续说明表 3.2.6

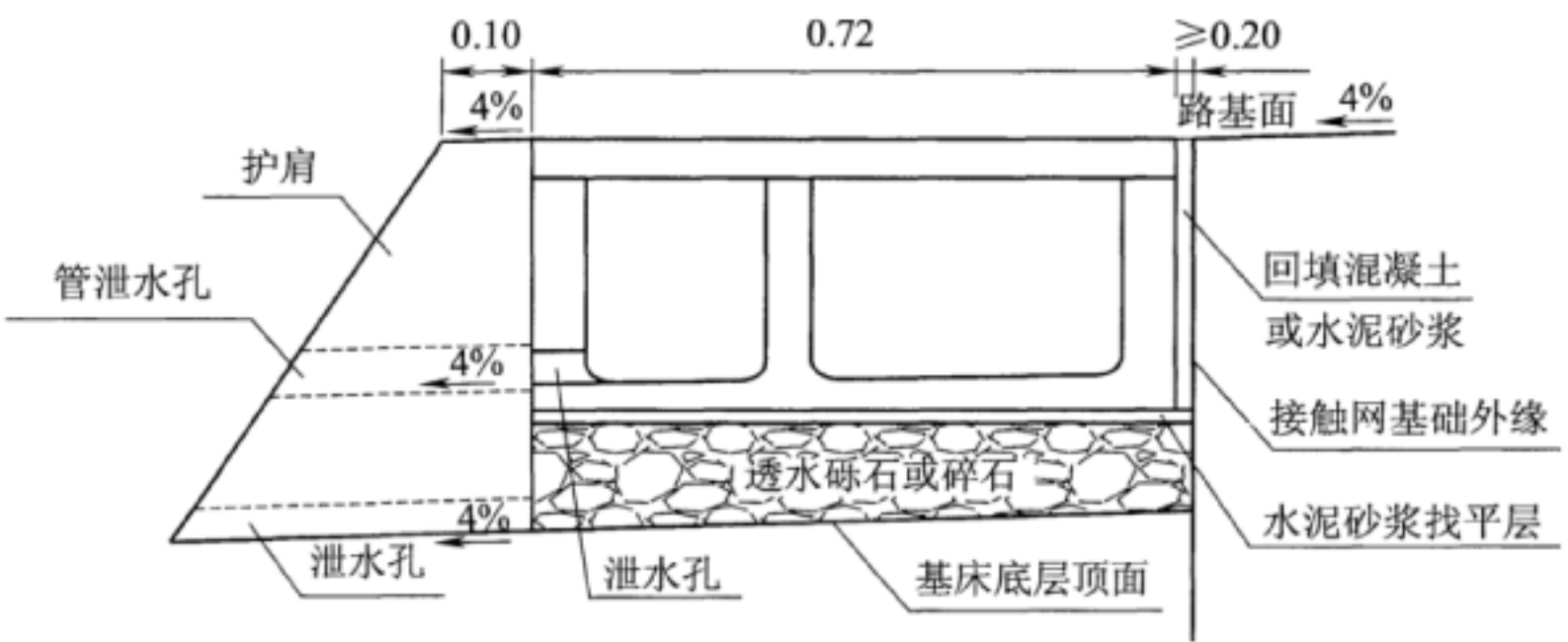
项目				单位	Ⅰ级铁路			Ⅱ级铁路	电缆槽设置位置
基床表层类型	土质路基	单线	路堤	m	8.1	8.1	8.1	—	接触网对侧路肩
			路堑	m	8.1	8.1	8.1	—	接触网对侧路肩
		双线	路堤	m	13.8	13.5	12.3	—	双侧路肩
			路堑	m	12.5	12.3	12.1	—	双侧侧沟平台

- 注：1 路堤路基面宽度不包括两侧各 0.1 m 的护肩；路堑路基面宽度不包括两侧侧沟内侧壁厚。
- 2 本表路基面宽度为接触网采用横腹杆式支柱(路基面处支柱宽 0.63 m)、电缆槽采用 0.72 m 计算的，如采用其他类型的接触网支柱或电缆槽尺寸变化时，路基面宽度需根据具体尺寸数据计算调整。

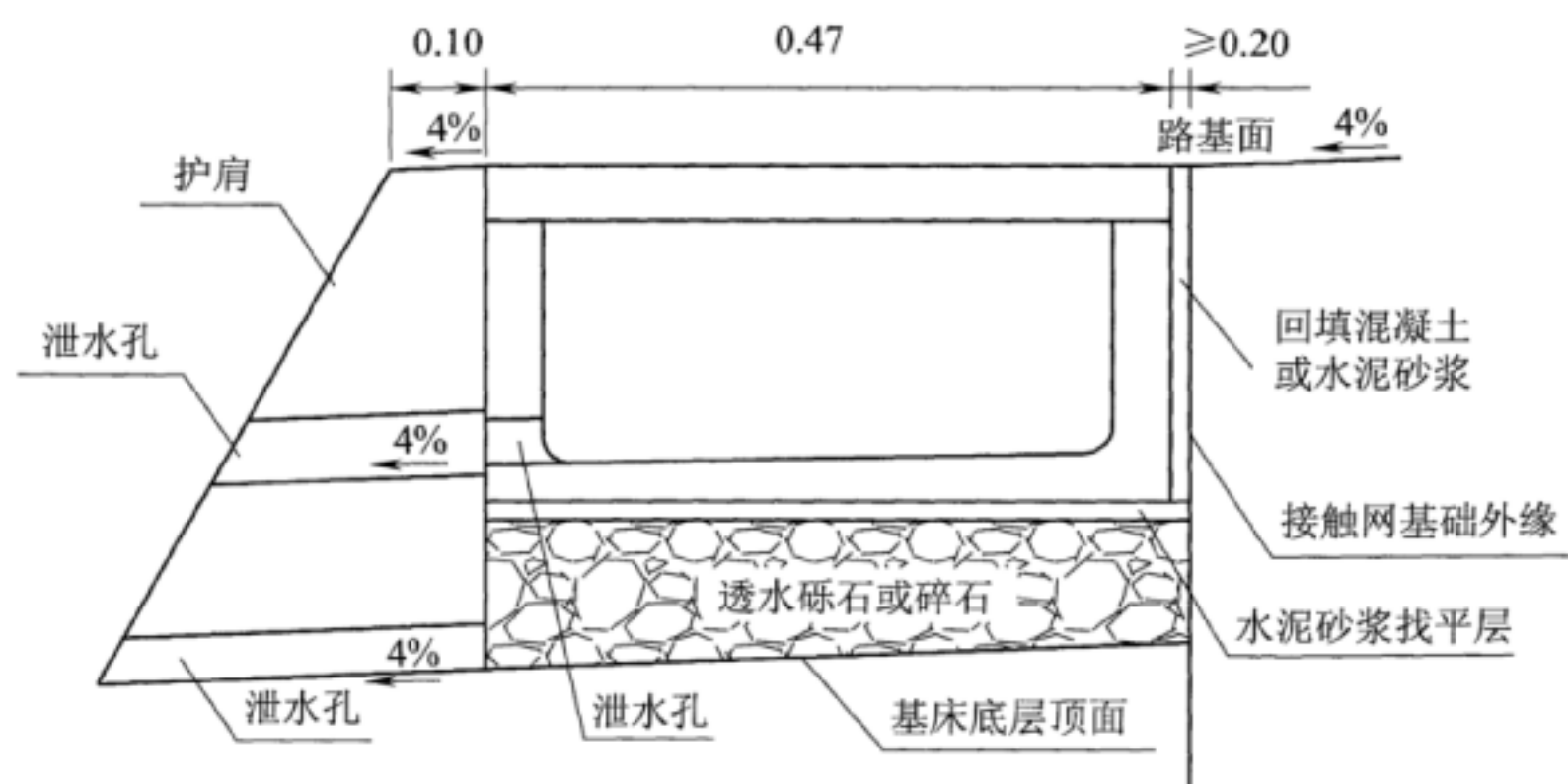
电力、通信、信号均设置电缆槽，通信、信号合槽设置、电力分槽设置，电缆槽宽 0.72 m，如说明图 3.2.6—1 所示；仅信号电缆槽位于路肩时如说明图 3.2.6—2 所示。为了避免和接触网支柱的干扰，电缆槽与接触网同侧路肩时，设置于支柱外侧。

3.2.7 区间曲线地段路基面加宽值计算。

计算轨面超高值根据最高行车速度，按《铁路线路设计规范》条文说明中超高上界值选用，均不超过 150 mm 的最大超高值。曲线地段轨道抬高、路基面加宽如说明图 3.2.7 所示。



说明图 3.2.6—1 通信、信号及电力电缆槽结构图式(单位:m)



说明图 3.2.6—2 通信、信号电缆槽结构图式(单位:m)

从说明图 3.2.7 中得出曲线地段路基面外侧的加宽值为:

$$\Delta = (y_2 + x_2 + c) - \frac{B}{2} \quad (\text{说明 } 3.2.7-1)$$

$$d = (f + D + I) \tan \theta \quad (\text{说明 } 3.2.7-2)$$

道砟顶面上轨枕中垂线至铁路中心线的距离为:

$$\Delta d = \frac{d(f + D + I - e)}{f + D + I} \quad (\text{说明 } 3.2.7-3)$$

$$a_2 = \frac{e}{\tan(\beta + \theta)} \quad (\text{说明 } 3.2.7-4)$$

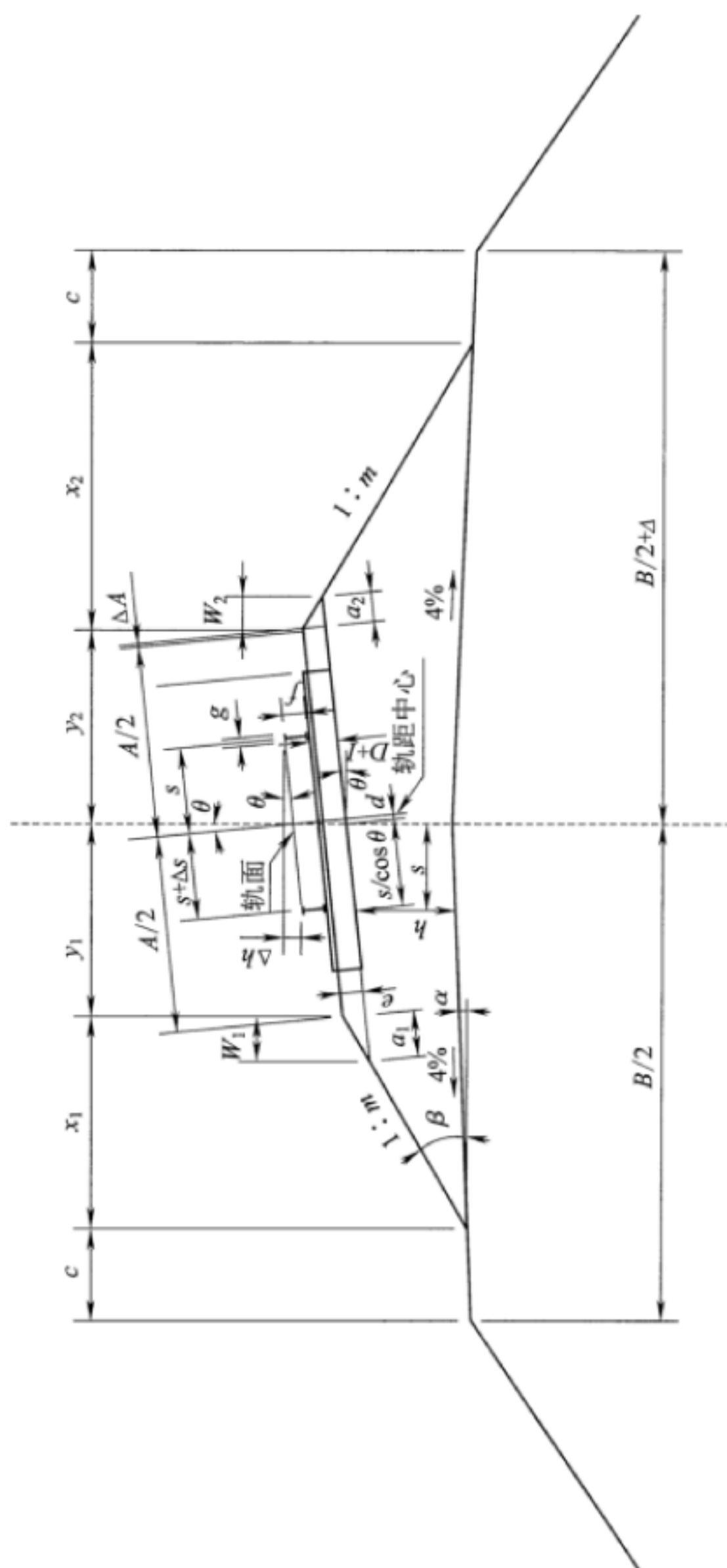
$$W_2 = \sqrt{a_2^2 + e^2} \cos \beta \quad (\text{说明 } 3.2.7-5)$$

$$y_2 = \left(\frac{1}{2}A + \Delta A + \Delta d \right) \cos \theta \quad (\text{说明 } 3.2.7-6)$$

$$\text{由 } h + s(\tan \theta - \tan \alpha) = (x_2 - W_2)(\tan \beta - \tan \alpha) - \left(d + \frac{1}{2}A + \Delta A + a_2 \right)$$

$\cos \theta (\tan \theta + \tan \alpha)$ 得:

$$x_2 = \frac{h + s(\tan \theta - \tan \alpha) + \left(d + \frac{1}{2}A + \Delta A + a_2 \right) \cos \theta (\tan \theta + \tan \alpha)}{\tan \beta - \tan \alpha} + W_2 \quad (\text{说明 } 3.2.7-7)$$



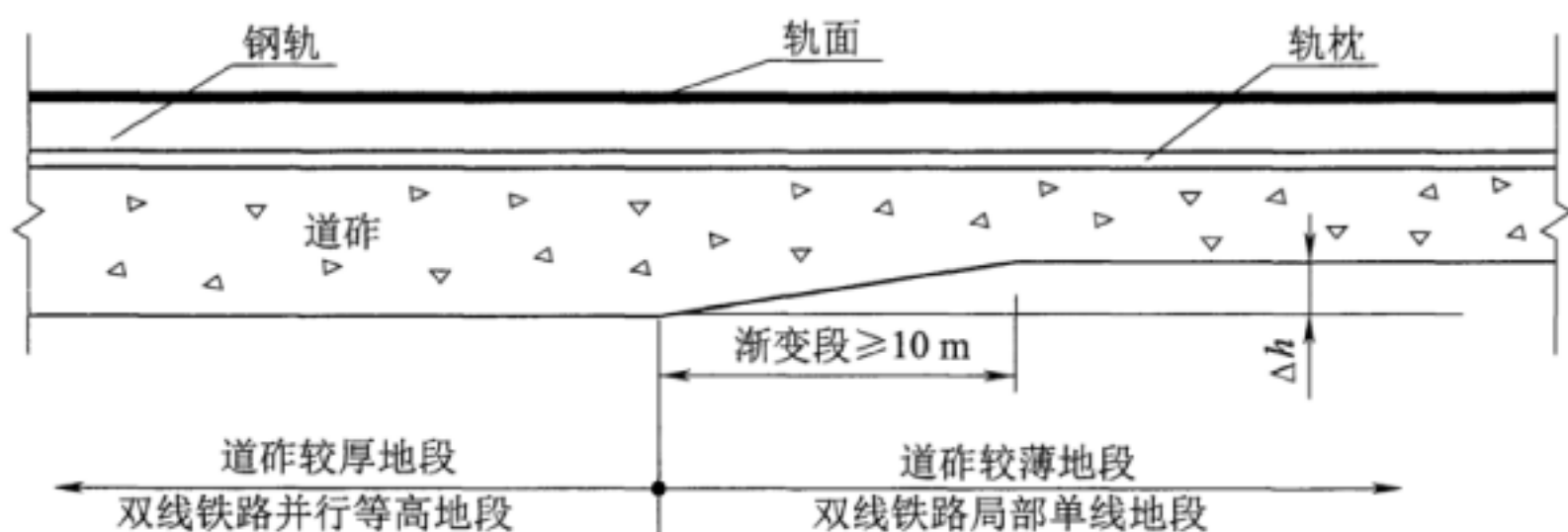
说明图 3.2.7 曲线地段路基面加宽

式中 g ——钢轨头部宽度(m);
 s ——轨面上外轨轨头中心至轨枕中垂线与铁路中心线相交处的距离(m), $s=0.5 \times (1.435 + g)$;
 Δs ——曲线内侧轨距加宽值(m), 曲线半径小于 350 m 时考虑, 曲线半径大于 350 m 时, $\Delta s=0$;
 h ——曲线内侧距铁路中心线的水平距离为 s 处的轨枕底以下的道床厚度(m);
 Δh ——计算轨面超高值(m);
 A ——直线段的道床顶面宽度(m);
 ΔA ——道床顶面加宽值, 无缝线路 $R < 800$ m、非无缝线路 $R < 600$ m 时, $\Delta A=0.1$ m, 否则 $\Delta A=0$;
 B ——直线段路基面宽度(m);
 c ——路肩宽度(m);
 Δ ——曲线外侧加宽值(m);
 α ——路拱与水平面的夹角, $\alpha = a \tan(4/100)$;
 β ——道砟边坡与水平面的夹角, $\beta = a \tan(1/m)$;
 θ ——轨面与水平面的夹角, $\theta = \arcsin\left(\frac{\Delta h}{2s + \Delta s}\right)$;
 f ——钢轨的高度(m), 75 kg/m 轨为 0.192 m, 60 kg/m 轨为 0.176 m, 50 kg/m 轨为 0.152 m;
 D ——钢轨底部的垫板厚度, $D=0.01$ m;
 I ——钢轨下部的轨枕高度(m), III 型混凝土轨枕为 0.235 m, II 型混凝土轨枕为 0.205 m;
 e ——轨枕埋入道砟中的深度(m), III 型混凝土轨枕为 0.185 m, II 型混凝土轨枕为 0.165 m;
 x_2 ——曲线外侧砟肩至砟脚的水平距离(m);
 y_2 ——曲线外侧铁路中心线至砟肩的水平距离(m);
 W_2 ——砟肩至轨枕底延长线与道砟边坡交点的水平距离(m);
 a_2 ——砟肩投影到轨枕延长线上的垂点至轨枕底延长线与道砟边坡交点的距离(m);

d ——轨枕底面上铁路中心线与轨枕底面的交点至轨枕中心的距离(m)。

3.2.8 基床位于硬质岩石地段的路堑、基床填料为级配碎石的路基及基床表层为 A 组填料路基的道床厚度各不相同,其相互衔接时,设长度不小于 10 m 的渐变段。渐变段设在硬质岩石路堑、级配碎石或级配砂砾石地段,基床表层用相邻两种路基中较好的填料填筑。

双线铁路中并行等高段与局部单线地段连接时,在局部单线地段内逐渐顺坡至并行等高段地段,其顺坡长度不小于 10 m,如说明图 3.2.8—1 所示。

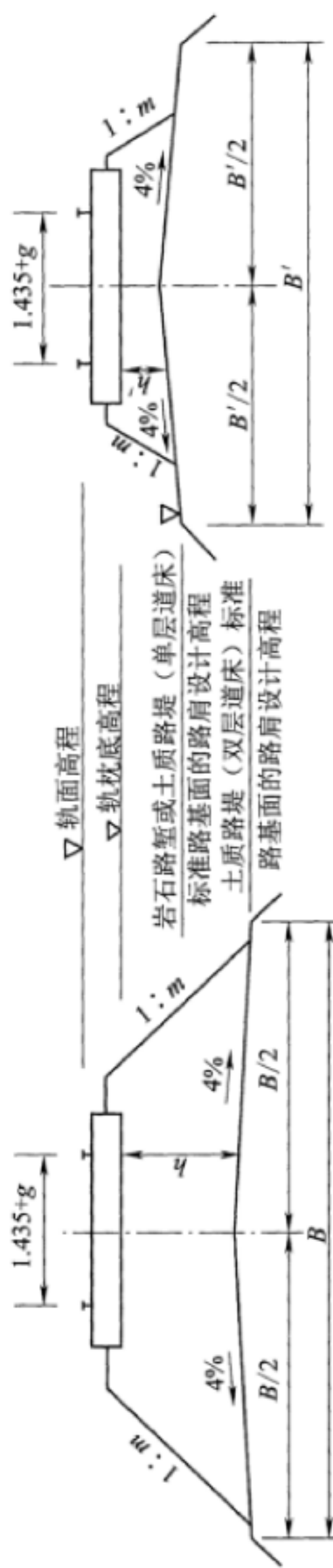


说明图 3.2.8—1 不同路基衔接图

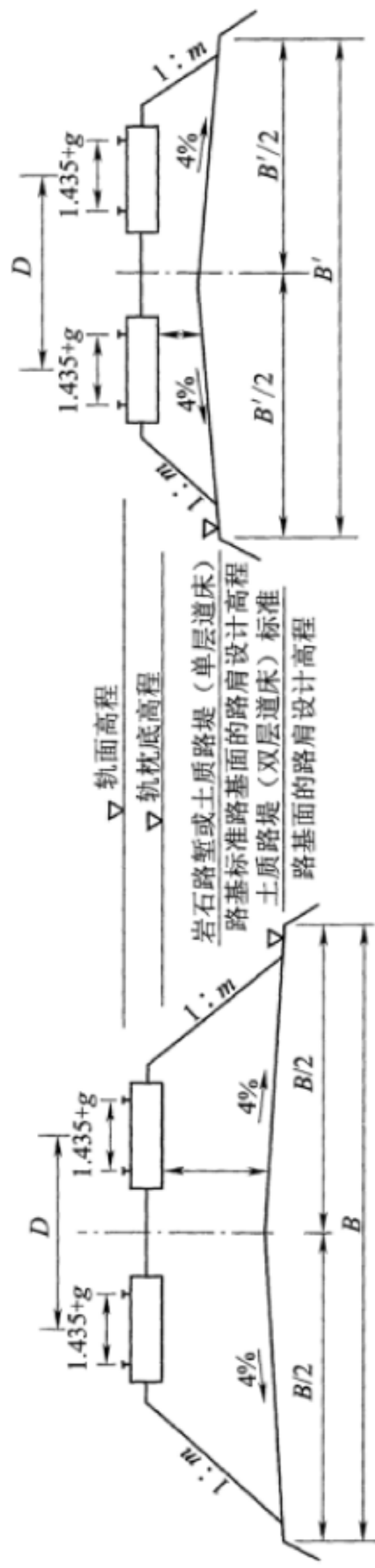
设计速度 200 km/h 以下的新建铁路,全线的线路纵断面均按土质路堤(双层道床)标准进行设计,线路纵断面上的高程为路肩设计高程。然而,一般线路中绝大多数铁路路基工程不仅有土质路基双层道床,还有土质路基单层道床(0.30 m),曲线地段还要对曲线外侧进行加宽,软土路堤和高路堤还要对路基面两侧进行加宽;双线铁路中还有局部单线路基。

为使不同类型路基地段的轨面高程保持一致,并保证道砟厚度和路肩宽度满足要求,路基设计时须对线路纵断面的路肩设计高程进行抬高或降低(曲线加宽地段的曲线外侧、路基面两侧需加宽的软土路堤和高路堤)。不同类型路基的路肩设计高程的抬高情况介绍如下:

从说明图 3.2.8—2、说明图 3.2.8—3 中得出:在单线铁路(或



说明图 3.2.8—2 单线铁路直线地段标准路基面的路肩设计高程



说明图 3.2.8—3 双线铁路并行等高直线地段标准路基面的路肩设计高程

双线铁路并行等高地段)中,岩石路堑及土质路基(单层道床 0.30 m),其路肩设计高程要高于土质路堤(双层道床)的路肩设计高程,高出尺寸 Δh 按式(说明 3.2.8)计算。

$$\Delta h = (h - h') + \frac{B - B'}{2} \times 0.04 \quad (\text{说明 3.2.8})$$

- 式中 h ——设计速度 200 km/h 铁路硬质岩石路堑直线地段的标准道床厚度,或设计速度 200 km/h 以下铁路 A 组填料路基直线地段的标准道床厚度(m);
- B ——设计速度 200 km/h 铁路硬质岩石路堑直线地段的标准路基面宽度,或设计速度 200 km/h 以下铁路基床表层为 A 组填料路基直线地段的标准路基面宽度(本规范表 3.2.4 中的值);
- h' ——设计速度 200 km/h 铁路基床表层为级配碎石路基直线地段的标准道床厚度,或设计速度 200 km/h 以下铁路硬质岩石路堑、级配碎石路基直线地段的标准道床厚度(m);
- B' ——设计速度 200 km/h 铁路基床表层为级配碎石路基直线地段的标准路基面宽度,或设计速度 200 km/h 以下铁路硬质岩石路堑、级配碎石路基直线地段的标准路基面宽度(m)。

计算确定的各种情况标准路基面路肩设计高程的抬高值见说明表 3.2.8。

说明表 3.2.8 设计速度 200 km/h 以下标准路基面的路肩设计高程抬高值

项 目		单位	Ⅰ 级铁路		Ⅱ 级铁路
设计速度 v		km/h	160	120	120
单线铁路	土质路堤(双层道床)	m	0	0	0
	土质路堑(双层道床)	m	0	0	0
	硬质岩石路堑(单层道床 0.35 m)	m	0.162	0.162	0.162

续说明表 3.2.8

项 目		单位	I 级铁路		II 级铁路
设计速度 v		km/h	160	120	120
单线铁路	土质路基(单层道床 0.30 m)	m	0.216		
	土质路堑(单层道床 0.30 m)	m	0.216		
双线铁路 并行等高 地段	土质路堤(双层道床)	m	0	0	0
	土质路堑(双层道床)	m	0	0	0
	硬质岩石路堑(单层道床 0.35 m)	m	0.162	0.162	0.162
	土质路基(单层道床 0.30 m)	m	0.216		
	土质路堑(单层道床 0.30 m)	m	0.216		

当路基面加宽(含曲线加宽地段的曲线外侧、软土路堤路基面加宽地段的两侧、高路堤路基面加宽侧等)时,其路肩设计高程要在抬高后的高程基础上降低,其降低值为单侧路基面宽度加宽值(m)与 0.04 的积。但当单侧加宽值小于等于 0.5 m(含曲线加宽)时,其对路肩高程的影响仅为 0.02 m,可以忽略不计,路肩设计高程可以近似采用标准路基面宽度的路肩设计高程(抬高后的高程)。

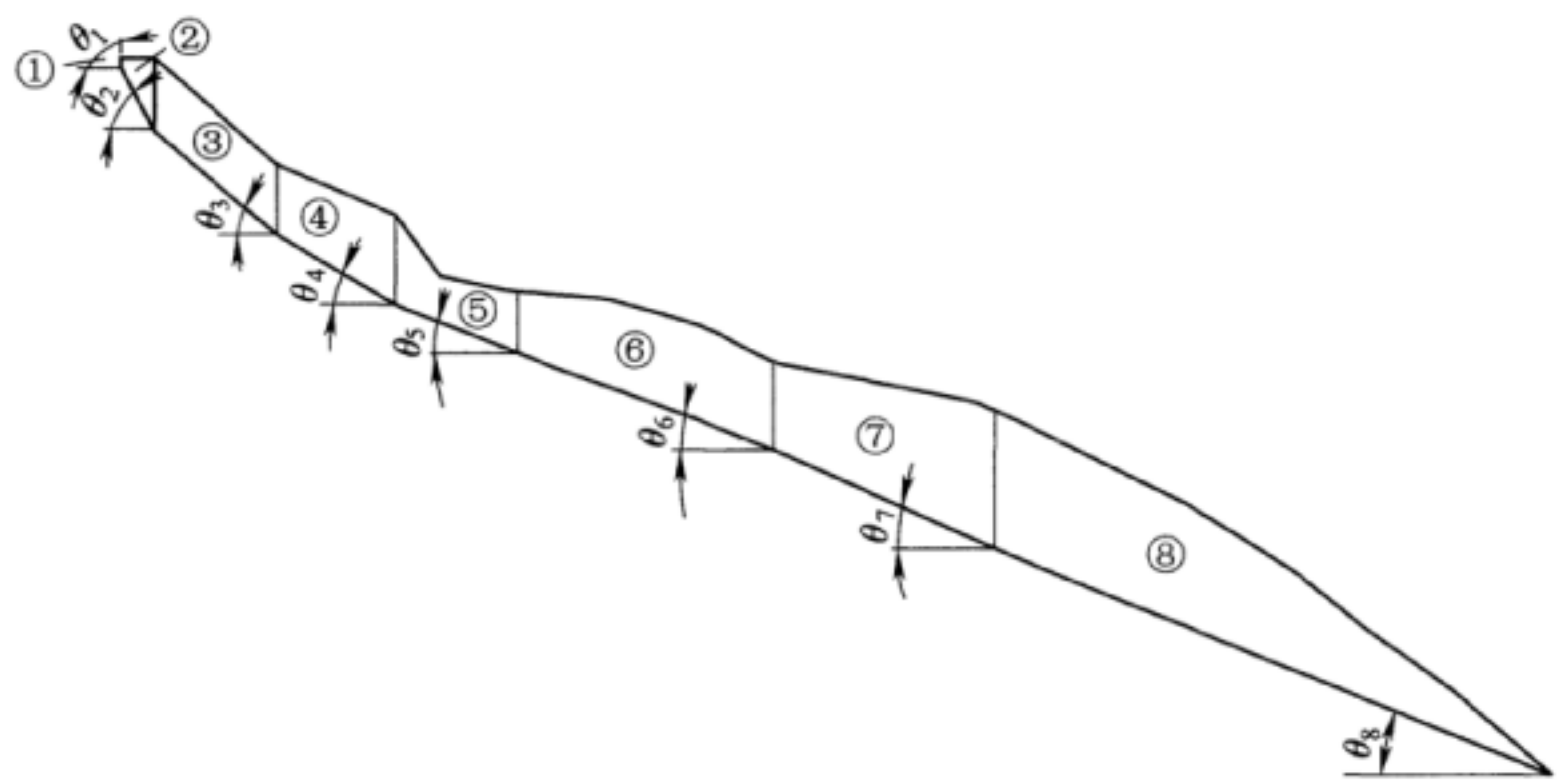
3.3.4 本次修编对折线滑动法边坡稳定性系数的计算,选择了三种方法进行对比分析,不同计算方法公式表达式见说明表 3.3.4—1。计算以某滑面为折线形的滑坡为例(说明图 3.3.4—1、说明图 3.3.4—2),通过固定滑面,改变土体的强度参数来分析三种方法计算的差异,计算结果见说明表 3.3.4—2、说明表 3.3.4—3。

说明表 3.3.4—1 不同计算方法公式表达式

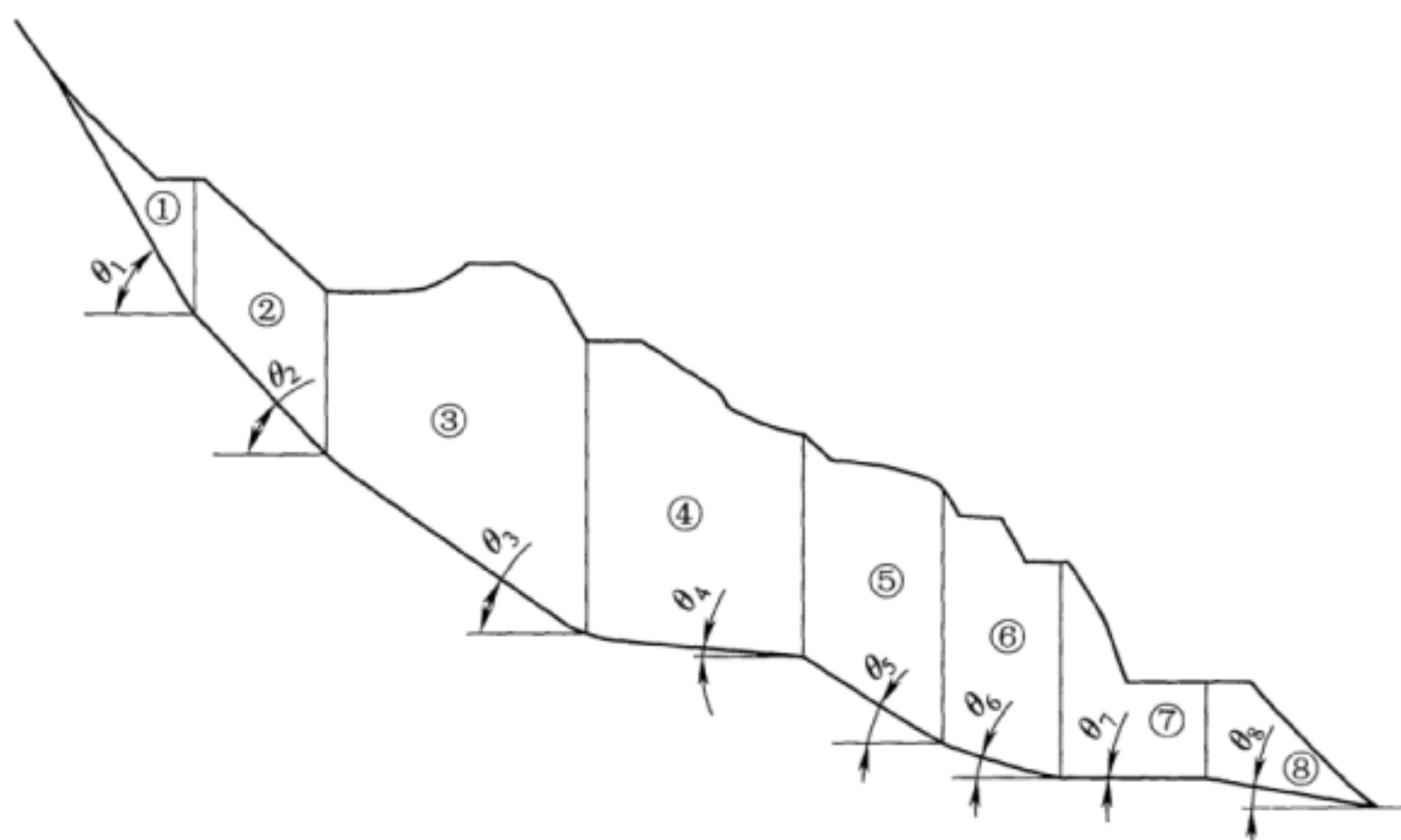
序号	计算方法	公 式	备注
1	隐式法	$P_n=0$ $P_i=P_{i-1}\psi_{i-1}+T_i-R_i/F_s$ $\psi_{i-1}=\cos(\theta_{i-1}-\theta_i)-\sin(\theta_{i-1}-\theta_i)\tan\varphi_i/F_s$ $T_i=(G_i+G_{bi})\sin\theta_i+Q_i\cos\theta_i$ $R_i=c_i l_i=[(G_i+G_{bi})\cos\theta_i-Q_i\sin\theta_i-U_i]\tan\varphi_i$	《建筑边坡 工程技术规范》 GB 50330—2013

续说明表 3.3.4—1

序号	计算方法	公 式	备注
2	显式 法 1	$F_s = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (R_i \prod_{j=1}^{n-1} \psi_j) + R_n}{\sum_{i=1}^{n-1} (T_i \prod_{j=1}^{n-1} \psi_j) + T_n}$ $\psi_j = \cos(\theta_i + \theta_{i+1}) - \sin(\theta_i + \theta_{i+1}) \tan \varphi_{i+1}$ $R_i = N_i \tan \varphi_i + c_i L_i$	《岩土工程勘察规范》 GB 50021—2001 (2009 版)、 《工程地质手册》
3	显式 法 2	$K_{si} = \frac{R_i + E_{i-1} \sin(\theta_{i-1} - \theta_i) \tan \varphi_i}{T_i + E_{i-1} \cos(\theta_{i-1} - \theta_i)}$ $R_i = c_i l_i + [(G_i + G_{bi}) \cos \theta_i - Q_i \sin \theta_i] \tan \varphi_i$ $T_i = (G_i + G_{bi}) \sin \theta_i + Q_i \cos \theta_i$ $E_i = T_i - R_i + E_{i-1} \psi_{i-1}$ $\psi_{i-1} = \cos(\theta_{i-1} - \theta_i) - \sin(\theta_{i-1} - \theta_i) \tan \varphi_i$	



说明图 3.3.4—1 折线形滑面示意图一



说明图 3.3.4—2 折线形滑面示意图二

说明表 3.3.4—2 不同工况和计算方法下稳定性系数

序号	计算方法	稳定性系数					备 注
		参数 组合 1	参数 组合 2	参数 组合 3	参数 组合 4	参数 组合 5	
		$c=10,$ $\varphi=26.5^{\circ}$	$c=0,$ $\varphi=26.5^{\circ}$	$c=0,$ $\varphi=24.2^{\circ}$	$c=0,$ $\varphi=20^{\circ}$	$c=0,$ $\varphi=10^{\circ}$	
1	隐式法	1.176	1.110	0.999	0.810	0.392	《建筑边坡工程技术规范》GB 50330—2013
2	显式法 1	1.180	1.113	1.000	0.809	0.389	《岩土工程勘察规范》GB 50021—2001(2009 版)、《建筑边坡工程技术规范》GB 50330—2013、《工程地质手册》
3	显式法 2	1.302	1.233	1.001	0.645	0.215	

说明表 3.3.4—3 不同参数组合和计算方法下稳定性系数

序号	计算方法	稳定性系数				备 注
		参数组合 1	参数组合 2	参数组合 3	参数组合 4	
		$c=10,$ $\varphi=15^\circ$	$c=0,$ $\varphi=25^\circ$	$c=0,$ $\varphi=20^\circ$	$c=0,$ $\varphi=15^\circ$	
1	隐式法	0.803	1.277	0.997	0.734	《建筑边坡工程技术规范》GB 50330—2013
2	显式法 1	0.789	1.336	1.003	0.714	《岩土工程勘察规范》GB 50021—2001(2009 版)、《建筑边坡工程技术规范》GB 50330—2013、《工程地质手册》
3	显式法 2	0.180	2.817	1.029	0.102	

计算结果表明隐式法和显式法 1 十分接近；当稳定系数大于 1 时，显式法 2 稳定性系数相对于显示法 1 和隐式法更大；当稳定系数小于 1 时，显式法 2 稳定性系数相对于显示法 1 和隐式法更小。本次修编推荐显式法 1 作为折线滑动法边坡稳定性系数的计算公式，计算中注意可能出现如下问题：

(1)由于推力传递法计算的稳定系数实际上是滑坡最前部条块的稳定系数，若最前部条块划分过小，在后部传递力不大时，边坡稳定系数将显著地受该条块形状和滑面角度影响而不能客观地反映整体稳定性状态。因此，在计算条块划分时不能将最下部条块分得太小。

(2)当滑体前部滑面较缓，或出现反倾段时，自后部传递来的下滑力和抗滑力较小，而前部条块下滑力可能出现负值而使边坡稳定系数为负值，此时要视边坡为稳定状态；当最前部条块稳定系数不能较好地反映边坡整体稳定性时，可以采用倒数第二条块的稳定性系数，或最前部两个条块稳定系数的平均值。

3.3.5 设计使用年限超过 2 年的边坡称为永久边坡，设计使用年限不超过 2 年的边坡称为临时边坡。

《建筑边坡工程技术规范》GB 50330—2013 将边坡工程按其损坏后可能造成的破坏后果(危及人的生命、造成经济损失、产生社会不良影响)的严重性、边坡类型和坡高等因素,根据说明表 3.3.5—1 确定安全等级。边坡工程稳定性验算时,其稳定性系数不能小于说明表 3.3.5—2 规定的稳定安全系数的要求,否则要对边坡进行加固处理。

说明表 3.3.5—1 边坡工程安全等级

边坡类型		边坡高度 $H(\text{m})$	破坏后果	安全等级
岩质边坡	岩体类型为 Ⅰ或Ⅱ类	$H\leqslant 30$	很严重	一级
			严重	二级
			不严重	三级
	岩体类型为 Ⅲ或Ⅳ类	$15<H\leqslant 30$	很严重	一级
			严重	二级
		$H\leqslant 15$	很严重	一级
			严重	二级
			不严重	三级
土质边坡		$10<H\leqslant 15$	很严重	一级
			严重	二级
		$H\leqslant 10$	很严重	一级
			严重	二级
			不严重	三级

说明表 3.3.5—2 边坡稳定安全系数

边坡类型 \ 安全等级		一级	二级	三级
永久边坡	一般工况	1.35	1.30	1.25
	地震工况	1.15	1.10	1.05
临时边坡		1.25	1.20	1.15

《公路路基设计规范》JTG D30—2015 中路堤最小稳定安全系数 1.20~1.45,路堑最小稳定安全系数:

(1)边坡处于天然状态下工况:1.15~1.30。

(2)边坡处于暴雨或连续降雨状态下工况:1.05~1.20。

(3)边坡处于地震等荷载作用状态下工况:1.05~1.10。

《铁路工程抗震设计规范》GB 50111—2006 规定,路基抗震稳定安全系数不小于 1.10~1.15。

日本普通铁路的边坡最小稳定安全系数 1.20~1.30。

综合考虑以上几方面因素,本次将路基边坡最小稳定安全系数调整如下:

(1)永久边坡,一般工况边坡最小稳定安全系数为 1.15~1.25;地震工况边坡最小稳定安全系数为 1.10~1.15。

(2)临时边坡,边坡稳定安全系数不小于 1.10。

高速铁路路基考虑到其维修、检修作业时间一般在夜间进行,作业环境、条件较差,为尽可能减少维修工程,边坡最小稳定安全系数选高值;对地质条件很复杂或边坡破坏后果极严重的边坡工程,其稳定安全系数可以适当提高。

3.3.6 减少路基工后沉降是保持线路稳定平顺的基本前提,是列车高速、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。路基的允许工后沉降量需根据以下两条原则确定:

(1)保证列车按预定的速度安全、舒适地运行。

(2)在上述前提下做到经济上合理,即因减少工后沉降需增加的投资与因工后沉降而需增加的养护维修费用的总和最小。

由于桥台与台后路基的工后沉降不同会造成静态的轨道不平顺,这对列车的平稳运行非常不利,同时使该处的轨道结构不易保持稳定,维修工作量大增,速度越高,其不利影响越明显。因此对台后过渡段的路基,建议的允许工后沉降值比一般地段的小。

中国铁路总公司工程设计鉴定中心、中铁咨询及铁一、二、三、四院完成的《无砟轨道路基沉降控制系统深化研究》(科技工函[2015]157号),在充分调研我国高速铁路特殊岩土分布情况基础上,选取了19条高速铁路34处典型试验工点开展了现场填筑试验,对软土、松软土、中等压缩土地基以及湿陷性黄土、膨胀土、戈壁土等特殊岩土沉降控制进行了系统研究,根据研究成果提出了工后沉降计算公式: $S_r = S - S_T$,其中 S 为总沉降,施工期沉降量 $S_T = \eta S_{\text{无荷}}$,施工期沉降量完成比例系数 η 要结合地基条件、地基处理措施及地区经验综合确定,也可以参照说明表3.3.6取值。

说明表 3.3.6 施工期沉降量完成比例系数 η

地基土类型	荷载稳定 3 个月	荷载稳定 6 个月	荷载稳定 12 个月
中低压缩性土	80%~85%	85%~90%	90%~95%
黄土(消除湿陷性)	90%~95%		—
膨胀土	90%	—	—

注:表中“中低压缩性土”是指压缩系数 $\alpha_{0.1\sim0.2}$ (MPa⁻¹) 为 0.1~0.3 的土。

当采用超载预压加速沉降完成措施时,式(3.3.6—2)中 $S_{\text{有荷}}$ 按超载预压荷载计算。当地基采用排水固结法处理时,施工期加固区完成的沉降可能大于按照有荷状态下加固区的最终沉降,但是这部分完成的沉降不会补偿其他部分尚未发生的沉降,设计中要进行综合分析。

3.3.8 在《铁路工程地基处理技术规程》TB 10106—2010 中规定的加固区和下卧层沉降量的修正系数采用一个值,本规范中加固区沉降量和下卧层沉降量分别采用各自的修正系数,无经验积累,可以采用同一个经验值进行计算。

3.3.9 地基压缩层深度的取值是直接影响沉降计算准确性的关键,也是确定勘探深度的基本依据,国内公路、港口、市政等行业规范大都采用应力比法,附加应力比自重应力比值范围在 0.1~0.2 之间。

中铁四院等单位完成的《软土地基沉降估算方法及不同地基处理方法加固效果的研究》中,通过对某铁路软土地基工程试验工点个断面中心实测压缩层厚度与不同控制标准下计算深度的对比值对比分析得出以下结论:

(1)采用应变比法控制压缩层厚度时,计算值比实测值偏小,且误差范围较大,应变比法对于铁路路基工程不建议采用。

(2)当采用应力比不大于 0.1 控制时,计算深度均大于实测值,偏于安全。

(3)当采用应力比不大于 0.2 控制时,计算值与实测值较接近,但是仍然小于实测值,误差范围较小。

考虑到高速铁路严格的工后沉降标准,高速铁路地基压缩层的计算深度按附加应力等于 0.1 倍的自重应力确定,其他铁路地基压缩层的计算深度按附加应力等于 0.2 倍的自重应力确定。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。因为,当沉降计算层深度以下仍然有软土层时,随着附加应力与自重应力的比值继续减小,沉降量增加较大,此沉降量不能忽视。

3.4 地基在荷载作用下,沉降将随时间发展,其发展规律可以通过土体固结原理进行数值分析来估算。但是由于固结理论的假定条件和确定计算指标的试验技术上的问题,使得地基沉降的实测数据在某种意义上较理论计算更为重要。根据现场施工沉降观测数据,采用曲线回归法来推算最终沉降量,判断路基的工后沉降量是否在设计范围之内。当推算的地基沉降与设计有出入时,可以根据实测数据采取相应的措施完善设计,使地基处理达到预定的目标,并为铺轨前对路基进行评估提供依据。

3.5 路基各种结构物设计要根据受力情况、所处位置的重要性、材料来源、环境条件、养护维修的难易程度及对行车安全的影响等因素选择适宜的结构类型、材料及设计使用年限。

路基支挡结构、承载结构,其结构一旦破坏将直接对行车安全

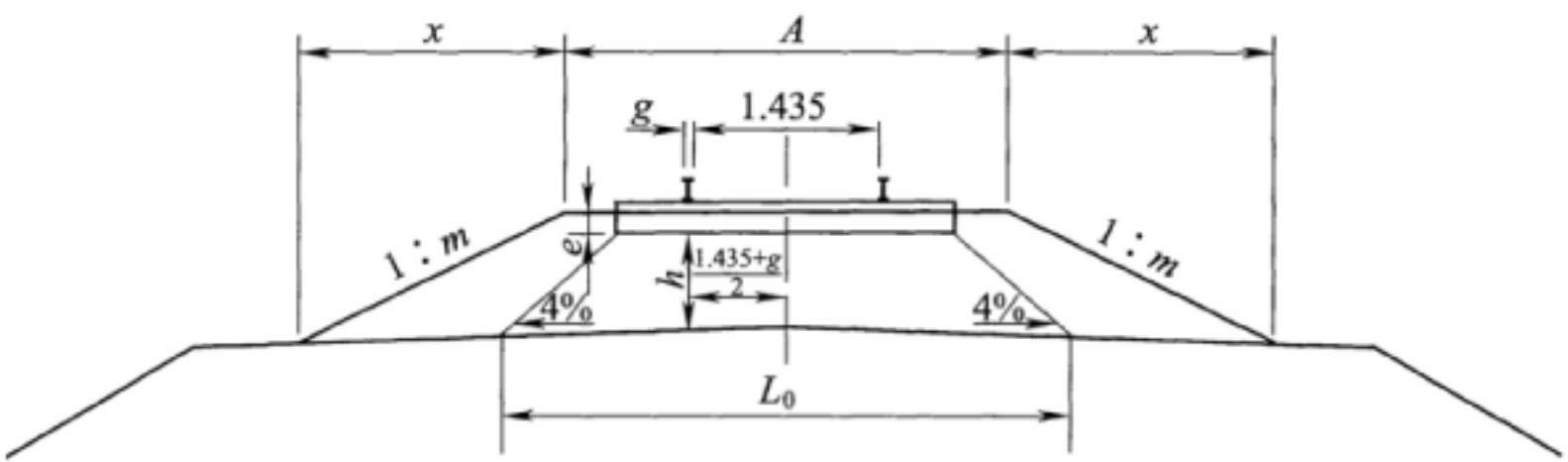
产生影响,并很难修复或无法修复,因此,路基支挡结构、承载结构要具有足够的强度、稳定性和耐久性,该类结构的设计使用年限按100 年进行设计。

路基防护结构、设计速度 200 km/h 铁路路基排水结构,是比较重要的结构,虽然其结构一旦破坏将直接对行车安全产生影响,但能通过修复补强达到其结构强度和完整性要求,设计使用年限按 60 年进行设计。

其他铁路路基排水结构,电缆槽、防护砌块、栏杆等小型构件,出现结构破坏对行车安全产生影响相对较小,能较容易进行修复或替换,设计使用年限按 30 年进行设计。

4.2.1 在静力分析时,轨道作用(恒载)包括钢轨重力、轨枕重力(Ⅲ型混凝土轨枕重 353 kg,Ⅱ型混凝土轨枕重 275 kg)、道砟重力、扣件重力(Ⅲ型混凝土轨枕为 9 kg,Ⅱ型混凝土轨枕为 6 kg),其与轨道类型、道砟厚度有关。

以重型轨道结构,道床厚度 30 cm 为例说明。道砟重力计算参考说明图 4.2.1。



说明图 4.2.1 恒载计算以及在路基横断面上的作用宽度图

A —单线地段道床顶面宽度(m); m —道床边坡坡率;

h —钢轨中心的轨枕底以下的道床厚度(m);

e —轨枕埋入道砟深度,Ⅲ型混凝土轨枕为 0.185 m,Ⅱ型混凝土轨枕为 0.165 m;

g —轨头宽度(m),75 kg/m 轨为 0.075 m,60 kg/m 轨为 0.073 m,50 kg/m 轨为 0.07 mm;

x —砟肩至砟脚的水平距离; L_0 —荷载分布宽度,即恒载在路基横断面上作用宽度

轨枕及扣件重力 $= (3.53 + 0.09) \times 1.667 = 6.03 (\text{kN/m})$ 。

钢轨重力 0.6 kN/m 。

道砟重力: $20 \times (2.233 - 0.128 \times 1.667) = 40.39 (\text{kN/m})$ 。

计算轨道荷载 $P = 40.39 + 6.03 + 0.6 = 47.02 (\text{kN/m})$ 。

荷载分布宽度按轨枕端部向下 45° 扩散计算, 得 $L_0 = 3.3 \text{ m}$ 。

恒载单位荷载 $p = P/L_0 = 47.02/3.3 = 14.25 (\text{kN/m}^2)$ 。

4.2.2 列车荷载由机车荷载和车辆荷载组成。对铁路路基作用的影响主要是轴重、轴间距以及列车运营速度产生的冲击。目前采用表 4.2.2 为设计图式。铁路客货共线路基静力分析时取最不利的中-活荷载的特种荷载 250 kN , 轴距 1.4 m , 每延米 178.571 kN 。

4.2.4 参考《高速铁路设计规范》(TB 10621—2014)第 6.1.5 条编写。

4.2.5 参考《城际铁路设计规范》(TB 10623—2014)第 6.1.4 条编写。

4.2.7 可能受动应力影响的路基结构有桩板结构和槽型挡土墙等, 当桩板结构的板和槽型挡墙的底板位于基床以内时, 由于动应力衰减没有完成, 设计中需考虑动应力, 例如: 非埋式和浅埋式桩板结构、路堑式槽型挡土墙。当桩板结构的板和槽型挡墙的底板位于基床以外时, 可以不考虑动应力的影响, 例如: 深埋式桩板结构、路堤式槽型挡土墙。

4.2.9 土压力计算值往往与实际值有一定的差异, 这与土压力实际受力情况是否达到库伦主动或被动土压力有关, 也与边界的限制条件有关。如衡重式挡土墙上墙、L 形挡土墙悬臂、锚杆挡土墙、悬臂式锚固桩的悬臂, 都很难达到主动状态。例如: 悬臂式锚固桩在计算土压力时, 附加了相应的增大系数; 锚杆墙的土压应力进行了修正。

4.2.11 挡土墙墙前和墙后难以同时达到被动和主动状态, 被动土压力一般没有考虑, 考虑时也进行了折减。有些文献资料认为,

按库伦公式计算的被动土压力值偏大。另外,挡土墙处于被动状态时产生的位移远较主动状态时大,由于挡土墙前后土体既互相作用又互为一体,因此墙后土体处于主动状态时所产生的位移难以促使墙前土体进入被动状态,显然墙前土体的抗力较被动土压力小,故本条规定墙前土体对挡土墙的抗力只取部分被动土压力值。为安全起见,一般情况下取 $1/3$ 被动土压力值。

4.2.14 墙身所受浮力,根据地基地层的浸水情况按下列原则确定:

(1)碎石类土、砂类土(细砂、粉砂除外)和节理很发育的岩石地基,按计算水位的 100% 计算。

(2)节理不发育的岩石地基按计算水位的 50% 计算。

4.2.15 滑坡推力通过增大滑体自重来增加安全度,也可以通过对滑面上的抗剪指标打折来增加安全度。如果不是处于极限平衡状态,两种方法的计算结果不一样。

4.3.1 设计水位的静水压力和浮力。

设计水位时,静水压力和浮力与常水位的计算规定是一样的,但墙背土压力的计算,属于主力与附加力的组合,结构设计的安全系数,小于常水位。

4.3.2 受渗流影响的渗透力计算方法目前尚不完善,计算时可以假定破裂角不受渗流影响。渗透力为浸水面积、渗流降落曲线的平均坡度和水的重度之积。

4.3.4 冻土地区路堑边坡高度大于 6 m ,且有较好的地基时,可以修建挡土墙。墙背设置足够的保温层后,可以保持冻土不融化。暖季时,挡土墙所承受的土压力只是保温层及顶部季节融化层所造成的侧向压力;寒季时,如果墙背土体产生了冻结,土体抗剪强度会增高,挡土墙仅考虑冻胀力,如果墙背土体未冻结,则只有土压力。

4.4.1 静力法:将结构物视为刚体,各点的水平地震加速度与地面相同,不考虑建筑物的自振特性和地震竖向分量及转动分量的

影响。采用静力法计算水平地震力,即用水平地震系数与建筑物重量的乘积。

动力法是考虑地震加速度的特性和结构的自振特性(自振周期、阻尼比等)。采用弹性理论计算结构物的地震效应地震时的土压力计算采用静力法:假定在地震时,土体所产生的水平惯性力,附加在破裂棱体的质心上,将破裂棱体自重、墙背土压力反力、破裂面上土压力反力和破裂棱体的水平惯性力构成封闭的力多边形,可以求得地震状态下墙背所受的土压力。

5.2.3 母岩饱和轴抗压强度 R_c 为采用立方体石料饱和极限抗压强度值,也可以采用点荷载试验确定。岩石点荷载试验适合厚度大于 30 mm (三维向最小尺寸)的岩块,具体要求:

(1)用岩心试件作径向试验时,试件的长度与直径之比不小于 1;作轴向试验时,加荷两点间距与直径之比宜为 0.3~1.0。

(2)用方块体或不规则块体试件作试验时,加荷两点间距宜为 30 mm~50 mm;加荷两点间距与加荷处平均宽度之比宜为 0.3~1.0;试件长度不小于加荷两点间距。

5.2.4 对于 R_c 小于 20 MPa 的软岩,包括泥岩、板岩、泥砂岩等,工程性质差距很大,另外在这方面研究不足,所以建议采用现场试验确定;对于经过分选的砂类土、圆砾土、卵石土,根据经验,可以直接按筛分结果进行填料组别划分。

5.2.10 此条依据中国铁道科学研究院开展的《高速铁路路基基床表层级配碎石标准研究》研究成果而确定。

I 型级配碎石要求在压实系数为 0.97 情况下,其渗透系数小于 1×10^{-6} m/s,主要是为了在路基面上把雨水排走。

II 型级配碎石要求渗透系数大于 5×10^{-5} m/s,是为了级配碎石中的水快速排走。

其中,持水率是指土样在规定击实情况下,先进行土样饱和,后提出水面放 24 h,测其土样的含水率,反应路堤土在降大雨情况下的含水情况。

5.3.2 石料的强度标准值采用立方体石料的饱和极限抗压强度值,一般取三个试件强度的平均值。对石料试件规定为边长 7 cm 的立方体,如果石料试件边长采用 20 cm、15 cm、10 cm、5 cm 时,将其在饱和湿度条件下的极限抗压强度分别乘以 1.43、1.28、1.14 或 0.86 的换算系数,换算成边长 7 cm 立方体试件的极限强度,再按本规范条文中表 5.3.2 确定石料的强度等级。换算系数引自《砌体结构设计规范》GB 50003—2011 附录 A 的附表 A.0.2。

5.5.3 水泥砂浆要选用级配良好的细骨料。参照《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52—2006 中有关规定,级配良好的粗砂为Ⅰ区,中砂为Ⅱ区,细砂则为Ⅲ区。当采用Ⅰ区的砂时,要提高砂率,并保持足够的水泥用量,以满足水泥砂浆的和易性;当采用Ⅲ区的砂时,要适当降低砂率,以保证水泥砂浆强度;Ⅱ区的砂中含有较多的粗粒径砂,并以适当的中粒径砂及少量细粒径砂填充其空隙,砂的空隙率及总表面积较小,水泥用量较少,且强度较高,一般优先选用Ⅱ区的砂。

5.5.4 水泥砂浆砌体由片石、水泥砂浆组成,当选用未风化且不易风化、均质、无软夹层、无裂纹的石料时,其耐久性取决于水泥砂浆。水泥砂浆中细骨料的强度高、耐久性好,不易为环境所侵蚀,其耐久性主要影响因素为水泥砂浆中的水泥材料及砂浆的密实度、黏结强度。因此,浆砌片石耐久性即水泥砂浆耐久性,与素混凝土类似。

设计前,要对铁路沿线气候、水文、土质等环境条件进行勘察或调查,确定浆砌片石所处的环境类别及作用等级。浆砌片石所处的常见环境按其对砂浆的腐蚀机理分为 4 类,并按说明表 5.5.4 确定。

根据既有工程经验,浆砌片石挡墙破坏主要与施工质量有关,如挡墙厚度不足、砂浆砌筑不饱满、黏结强度不足或选用耐久性差的软岩作为片石等,并非因砂浆耐久性不足引起挡墙的破坏。因此,在片石材料来源丰富的地区,对人工劳动强度不大、施工质量

容易保证、便于养护维修(不影响安全运营)的矮挡墙、护坡、护墙、排水沟、天沟等仍建议采用浆砌片石。根据环境对常用的普通水泥(硅酸盐水泥)侵蚀的情况及砌体结构类型的重要性,对砂浆采取具有抗侵蚀性能的特种水泥和集料配制、适当提高砂浆强度等级等措施。

说明表 5.5.4 环境类别

环境类别	腐蚀机理
化学侵蚀环境	硫酸盐等化学物质与水泥水化产物发生化学反应导致砂浆损伤
盐类结晶破坏环境	硫酸盐等化学物质在砂浆孔中结晶膨胀导致砂浆损伤
冻融破坏环境	反复冻融作用导致砂浆损伤
磨蚀环境	风沙、河水、泥砂或流冰在砂浆表面高速流动导致砂浆表面损伤

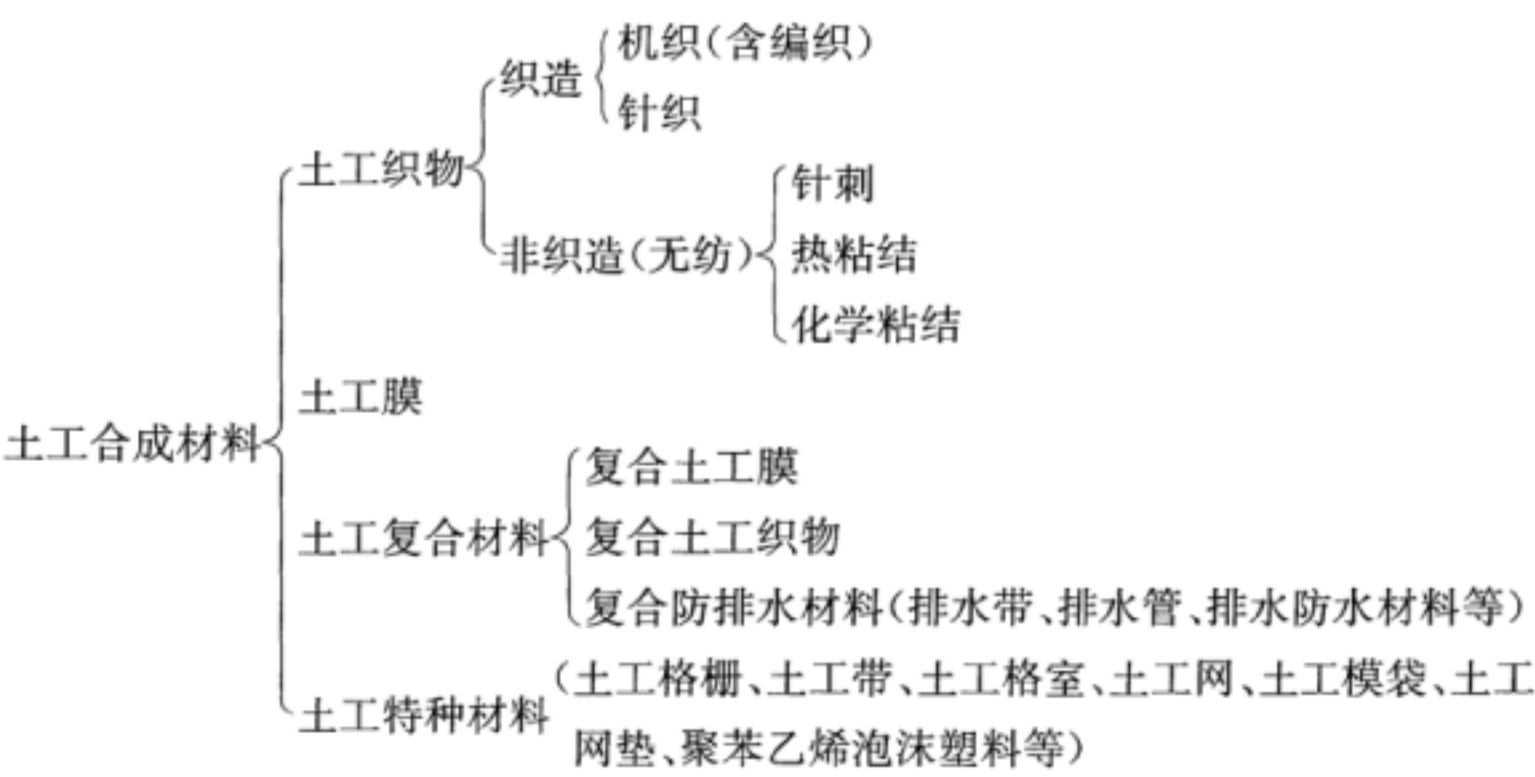
5.6.2 根据钢筋产品标准的修改和混凝土构件对受力的性能要求,并与现行《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010 相适应,规定了铁路路基钢筋混凝土支挡及承载结构工程中各种牌号钢筋的选用原则。

(1)用 300 MPa 级光圆钢筋取代 235 MPa 级光圆钢筋;淘汰 335 级热轧带肋钢筋的应用;推广 400 MPa、500 MPa 级高强热轧带肋钢筋作为混凝土构件受力的主导钢筋。

(2)箍筋用于抗剪、抗扭及抗冲切设计时,其抗拉强度设计值受到限制,一般不采用强度高于 400 MPa 级的钢筋。当用于约束混凝土的间接配筋(如连续螺旋配箍或封闭焊接箍)时,其高强度可以得到充分发挥,采用 500 MPa 级钢筋具有一定的经济效益。

5.7.1 目前国内土工合成材料所用原材料主要有聚丙烯(PP)、聚乙烯(PE)、聚酯(PET)、聚酰胺(PA)、高密度聚乙烯(HDPE)和聚氯乙烯(PVC)等几种。按国际土工合成材料协会(IGS)分类

法,土工合成材料产品分类如说明图 5.7.1。



说明图 5.7.1 土工合成材料产品分类

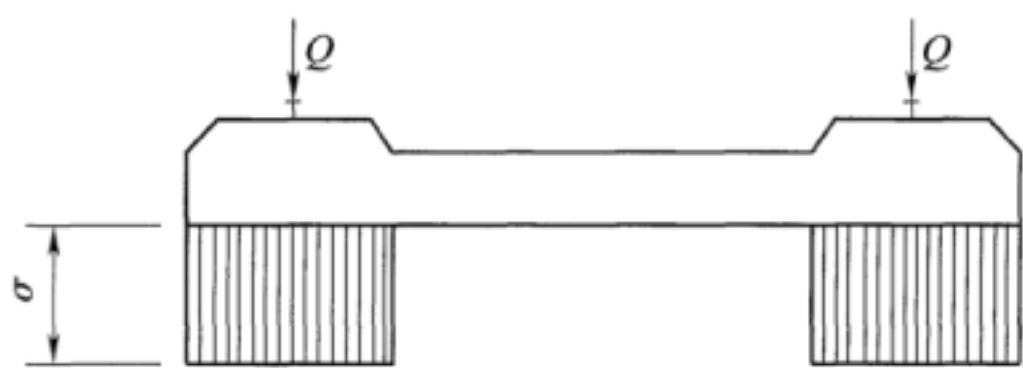
5.7.3 土工合成材料应用于陡边坡加筋土路堤、加筋土挡墙及地基处理桩网结构加筋垫层时,采用抗拉强度设计值,其值要满足小于设计容许抗拉强度的要求。土工合成材料设计容许抗拉强度在试验测得极限抗拉强度的基础上,考虑一定的材料强度影响系数确定。

土工合成材料的长期性能受材料蠕变、周边环境(如水土中的化学剂、生物物质)等因素影响,因此材料的强度设计值需要结合不同的设计工况,考虑施工机械破坏影响、材料蠕变、化学剂和生物破坏影响等系数。各影响因素与原材料、制作工艺、周边环境条件、施工技术水平等有关,影响大小难以准确确定,有条件时开展相关的技术研究,本规范暂根据既有工程经验,提出了综合影响系数范围值。

关于土工合成材料抗拉强度折减系数的选取,当作为地基处理垫层加筋时,在路基填筑期间及填筑后路基放置初期需利用土工合成材料的强度,以保证路基的稳定,计算时仅考虑施工机械破坏影响;但当长期使用需利用其抗拉强度,计算时需考虑土工合成材料的蠕变和所处环境的影响。

6.1.1 基床是指路基上部受列车动力作用和水文气候变化影响较大的土层。其状态直接影响列车运行的平稳和速度的提高,设计规范对基床厚度、填料及其压实标准、排水等作出规定。

6.1.2 为减少基床病害对铁路运输产生的影响,减少运营期间的养护维修量和费用,保证运营安全,在 2005 年发布实施的《新建时速 200 公里客货共线铁路设计暂行规定》(铁建设函〔2005〕285 号)、《铁路路基设计规范》TB 10001—2005 中,根据多年来的铁路工程实践经验对低路堤、路堑基床底层的静力触探比贯入阻力值、天然地基基本承载力大小进行了规定,本次对其又进行了细化落实。



说明图 6.1.2 枕底应力分布图

按说明图 6.1.2 枕底应力分布图,计算出不同行车速度对应的轨枕底部的动压力 σ ,并采用布辛尼斯克(Boussinesq)法算出轨枕底部动压力传至基床底层顶面及以下 0.5 m、1.0 m、1.9 m(基床底层底面)的动应力 σ_d ,同时计算出钢轨、轨枕、道砟及填土自重 在基床底层顶面及以下 0.5 m、1.0 m、1.9 m 的自重应力 σ_j ,将动应力 σ_d 的 2 倍与静压力 σ_j 之和作为所需最小承载力的控制标准 $\sigma_0 \geq 2\sigma_d + \sigma_j$,其计算结果见说明表 6.1.2。

说明表 6.1.2 基床底层顶面所需承载力计算结果(kPa)

位 置	设计速度		
	120 km/h	160 km/h	200 km/h
基床底层顶面	110/143	132/149	168/178

注:表中斜线上、下方数值根据列车动轮荷载的两种计算方法得出的计算结果。

现行标准中基床底层基本承载力规定值与说明表 6.1.2 中基床底层的顶面所需承载力计算值的对比情况如下:

(1)现行标准对 200 km/h 铁路路堑、低路堤(高度小于 2.5 m)的规定值 180 kPa 非常接近计算值 178 kPa。

(2)现行标准对 160 km/h 铁路路堑的规定值 150 kPa 与计算值 149 kPa 一致,但低路堤(高度小于 2.5 m)的规定值 180 kPa 大于计算值 149 kPa。

(3)现行标准对 120 km/h II 级铁路低路堤(高度小于 2.5 m)的规定值 150 kPa 与计算值 143 kPa 接近,但路堑的规定值 120 kPa 低于计算值 143 kPa。

根据以上分析,将基床底层地基基本承载力标准调整为:设计时速 200 km 铁路不小于 180 kPa,设计时速 200 km 以下铁路不小于 150 kPa。

根据《铁路工程地质原位测试规程》TB 10018—2003 所列出的天然地基基本承载力 σ_0 与比贯入阻力 P_s 的关系式,经试算发现《铁路路基设计规范》TB 10001—2005 中的比贯入阻力 P_s 仅反映了黏性土(Q_4)的一种情况,本次修编中取消了静力触探比贯入阻力 P_s 值的具体规定。基床底层范围内的天然地基基本承载力最准确的测试方法是路堑开挖后采用平板载荷试验进行测试,设计中可以按勘察获得的原位测试结果对基床底层范围内的天然地基基本承载力进行判定能否满足规定。如黏性土(Q_4)的静力触探比贯入阻力 $P_s \geq 1.2$ MPa 时, $\sigma_0 \geq 150$ kPa; $P_s \geq 1.6$ MPa 时, $\sigma_0 \geq 180$ kPa。

6.2.1 该条规定是参考《铁路路基基床结构设计方法及参数的研究》(中国铁道科学研究院)的研究成果而提出的。

基床结构分析计算,考虑在列车动荷载作用下路基长期安全稳定,基床表层能够抵抗道砟压入和侵蚀,避免出现基床病害,并避免出现过大的累积变形。基床结构设计检算内容包括:基床表层承载力检算、基床动变形检算、基床动应变检算。

(1)基床承载力计算。

基床表层承载力按式(说明 6.2.1—1)(汉森公式)进行计算:

$$R=0.3\gamma BN_{\gamma}+c(N_c+N_q) \quad (\text{说明 6.2.1—1})$$

式中 N_q, N_c, N_{γ} ——承载力系数;

$$N_q = \tan^2(45 + \phi/2)e^{\pi \tan \phi}$$

$$N_c = (N_q - 1)\cot \phi$$

$$N_{\gamma} = 1.8(N_q - 1)\tan \phi$$

γ ——基床表层填料容重;

B ——道砟平均粒径;

c ——基床表层填料黏聚力;

ϕ ——基床表层填料内摩擦角。

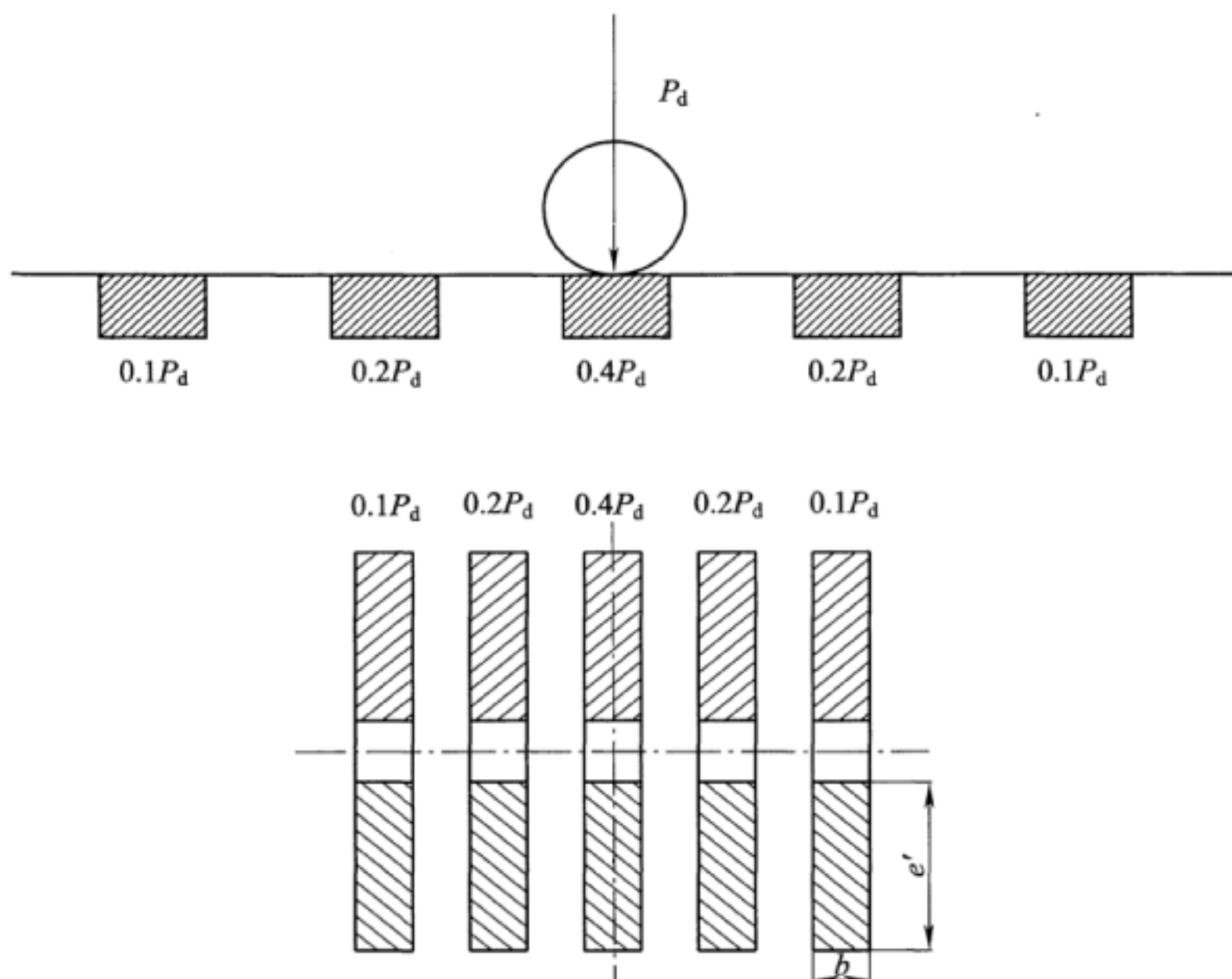
(2)基床应力和应变计算。

路基的动应力和动变形,采用 Boussinesq 公式进行计算。首先将动轮载按比例分担到轨枕上,按轨枕的有效支承面积将其分布在道床顶面,按照 Odemark 的模量与厚度当量假定,将不同模量的层状结构等效成均质半空间体,从而采用 Boussinesq 公式计算路基面及基床中的动应力和动变形。

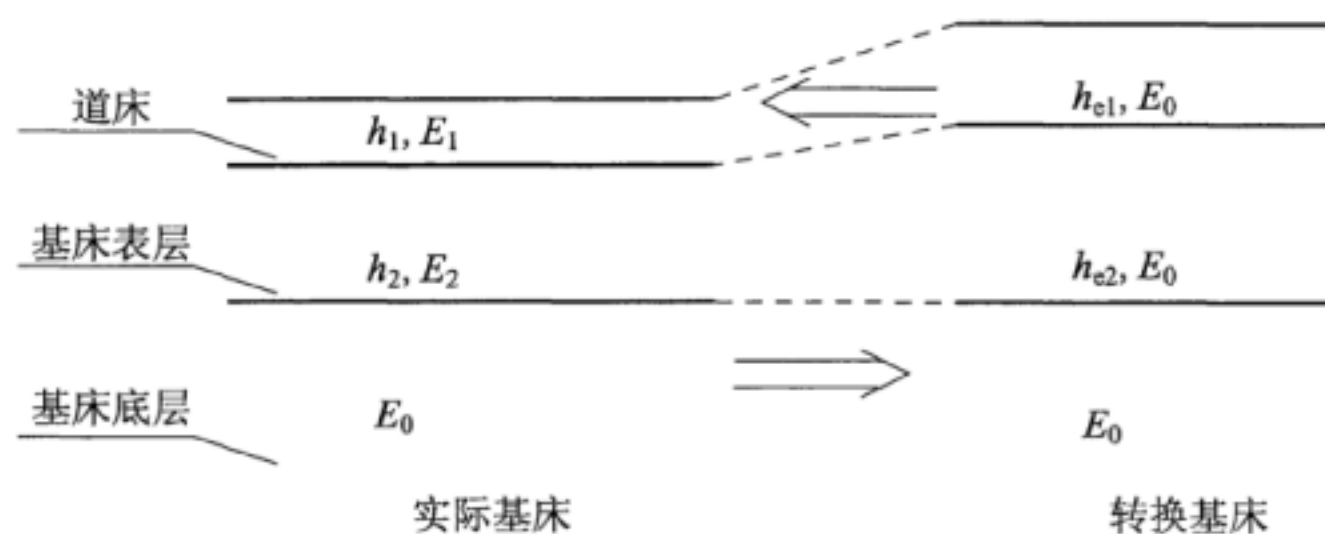
基床结构计算分析把道床作为结构的一部分,综合考虑道床厚度以及性质对路基基床的影响。

1)道床动荷载,按照式(4.2.3—2)计算道床顶面上的动荷载列车,客货共线时取货车和客车中的大值。如 5 根轨枕承担轮载,分担比例为 0.1 : 0.2 : 0.4 : 0.2 : 0.1,并以轨枕的有效支承面积作为分布面积,如说明图 6.2.1—1。

2)层状结构均质等效转换。计算应力的 Boussinesq 公式,要求材料为均质体。为此,按照模量与厚度等效当量假定,将不同模量的层状结构等效为同一模量的均质体,如说明图 6.2.1—2 所示。不同模量结构层的等效厚度按式(说明 6.2.1—2)计算。



说明图 6.2.1—1 列车荷载在道床顶面的分布



说明图 6.2.1—2 道床、基床层状结构均质等效转换

$$h_{ej} = \sqrt[3]{\frac{E_j}{E_0}} \cdot h_j \quad (\text{说明 } 6.2.1-2)$$

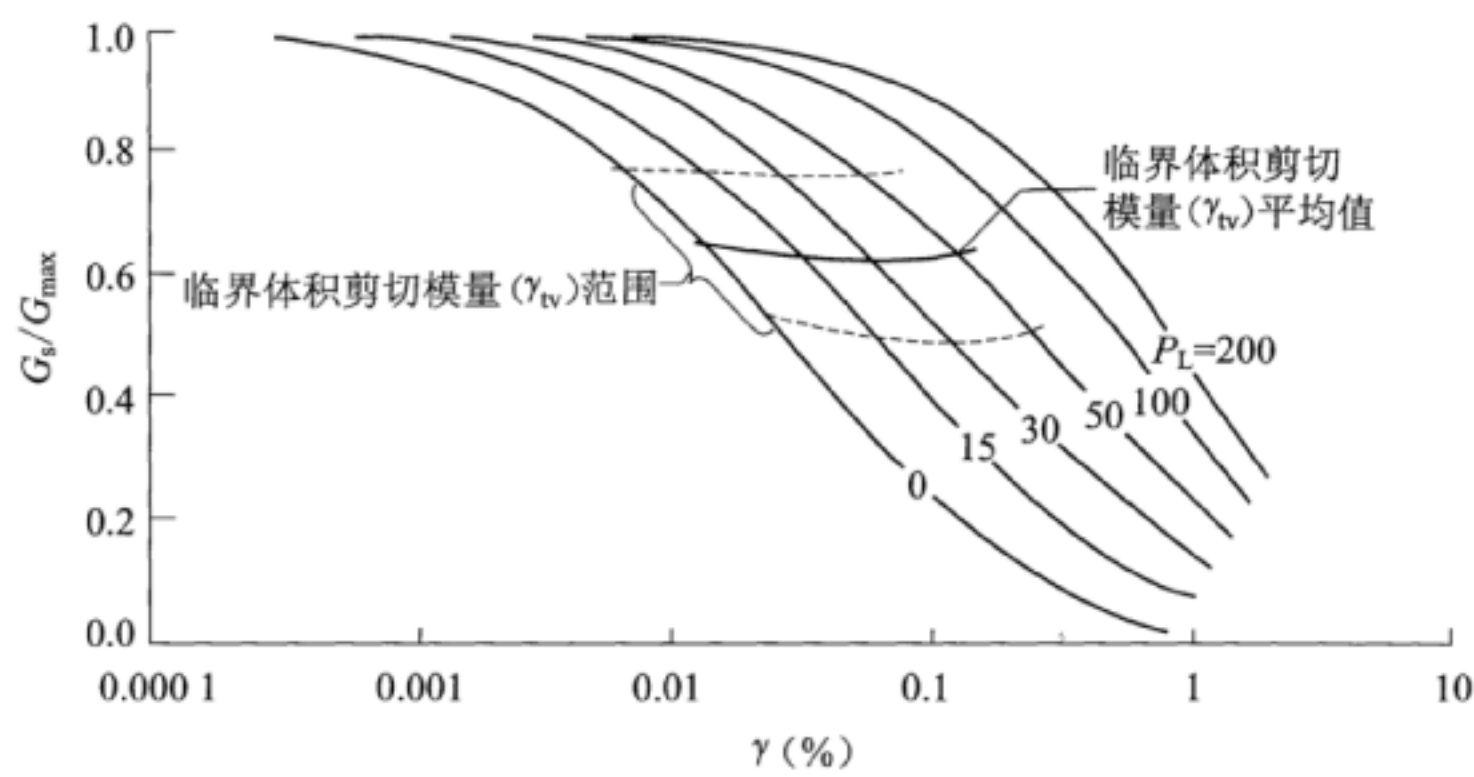
式中 h_{ej} ——道床或基床表层转换等效厚度；

h_j ——道床或基床表层原厚度；
 E_j ——道床或基床表层的变形模量；
 E_0 ——基床底层的变形模量。

3)计算参数选取。计算参数主要为道床、基床表层和基床底层的变形模量,需依据试验确定。

道床、基床表层的计算模量,在缺少实测试验资料时,级配碎石基床表层取 180 MPa,碎石道床取 300 MPa。

E_0 基床底层的计算模量需考虑土的非线性特征,按实际应变状况参照说明图 6. 2. 1—3 选取对应的模量。



说明图 6. 2. 1—3 应变与模量比的关系

G_s —应变循环剪切模量; G_{max} —应变循环剪切模量最大值; P_L —塑性指数

4)路基基床应力及应变计算。在当量转化后的等效空间中由 Boussinesq 公式计算基床的应力,并根据对应关系,转化到实际空间。根据应力和各层模量,计算各点应变。

(3)路基面动变形的计算:按确定的层厚,将当量空间的应力等效对应到实际空间,根据应力和各层的计算模量,计算各点应变,再由应变计算路基面的变形 ω 。

(4)确定临界应变,根据应变控制准则,最大应变不超过临界模量比范围下限即 0. 51 所对应的应变。

6.3.1 产生基床病害的诸因素中,基床土的性质为内因,水与动载属于外因。要预防基床变形的产生,除从排水条件和路基土的压实密度方面改善提高外,主要从基床表层土的性质上去解决。水稳性强和级配良好的粗粒土是基床表层的理想材料;水稳性差的细粒土易产生基床病害,这是由于粒径小,遇水抗剪强度降低,承载力减小,稳定性差等特性引起的。

为使基床表层受力均匀,避免轨枕受力不均而产生折断,故规定了对基床表层的粒径进行了限制。

本次修编中,考虑到客货共线铁路设计速度 ≤ 120 km/h,速度低,对基床的要求相对低,结合一些地区既有工程现状,如在2000年以前修建的一些铁路,利用普通土作为路基基床表层的填料,在运营期间基床病害仍然较少,但可有效降低工程的前期投入,故规定在A、B组填料缺乏地区,有经验时,采用化学改良土是可行的。

6.3.2 修编中从前期工程投资与后期养护维修综合分析,考虑到部分既有铁路,路基基床底层采用普通土做填料,在运行速度较低的线路上,路基病害相对较少,且不会危及行车安全,如由神华集团投资修建的朔黄铁路。故本次修编中增加了“在有可靠资料和工程经验的情况下,采取加固或封闭措施,160 km/h铁路基床底层可采用C组填料”。以增强规范的适用性。

6.5.1 《铁路工程土工试验规程》TB 10102—2010中密度试验“灌水法适用于现场测定最大粒径”由2004版规程的60 mm调整为200 mm,与基床底层填料最大粒径要求的“不应大于200 mm”一致。从施工检验的方便、减少控制指标内容出发,将《铁路路基设计规范》TB 10001—2005中砾石类、碎石类、级配碎石或级配砂砾石采用地基系数和孔隙率作为控制指标调整为“采用压实系数、地基系数作为控制指标”。取消了《铁路路基设计规范》TB 10001—2005中相对密度、孔隙率控制指标。

7.1.1 关于路堤边坡高度的问题,《关于发布〈铁路轨道设计规范〉等八项铁路工程建设标准局部修订条文的通知》(铁建设

[2007]104 号)规定“Ⅰ、Ⅱ级铁路通过耕地和林地时,路堤高度不宜超过 8 m。”《铁路边坡防护及防排水工程设计补充规定》(铁建设[2009]172 号)中规定:“平原地区路堤高度不宜超过 6 m;山区地质条件良好地段路堤边坡高度不应超过 12 m,膨胀土、湿陷性黄土等特殊岩土及岩溶发育区等不良地质区段不应超过 8 m。”

本次修编对近年已建或正建的部分铁路项目进行了调研,各线高路堤段落统计见说明表 7.1.1。

说明表 7.1.1 部分铁路项目高路堤段落统计

项目名称	起点里程	终点进程	长度(m)	边坡高(m)	备注
包西线 (160 km/h 预留 200 km/h)	DK348+635	DK348+655	20	8~16.5	增建二线
	DK350+850	DK350+900	50	12~18	新建段
	DK351+280	DK351+390	110	10~16	新建段
	DK354+680	DK354+780	100	18.5	增建二线
	DK370+970	DK371+000	30	18~23.6	
	DK374+700	DK374+750	50	8~15.5	
	DK488+500	DK488+650	150	22	
	DK493+107	DK493+242	135	15~20	
	DK686+753	DK686+891	138	15~27	
大西客专 (无砟轨道)	DⅡ K199+784.37	DK200+950.00	1 116.24	6.2~10.7	平原地区
	DⅡ K253+006.84	DⅡ K253+300.00	293.16	0~11.7	
	DK403+586.44	DK404+104.22	517.78	0~9.8	黄土冲沟
	DK404+870.69	DK406+018.51	1147.82	0~11.5	黄土冲沟
	DIK421+540.00	DIK421+967.08	427.08	0~9.2	黄土冲沟
	DK466+572.54	DK467+193.62	621.08	10.0~12.0	黄土冲沟
	DK475+300.00	DK475+761.37	461.37	4.0~10.4	黄土冲沟
西宝客专 (无砟轨道)	杨凌站内			7~10	

续说明表 7.1.1

项目名称	起点里程	终点进程	长度(m)	边坡高(m)	备注
黔张常 铁路 (200 km/h)	DK12+974	DK13+080	106	12~21	站内
	DK13+970	DK14+120	150	12~22	站内
	DK40+930	DK40+980	50	8~21	站内
	DK41+600	DK41+740	140	8~26	站内
	DK41+900	DK42+050	150	8~29	站内
	DK84+685	DK84+760	75	8~22	站内
	DK84+990	DK85+300	310	8~22	站内
	DK154+370	DK154+710	340	8~39	站内
	DK275+090	DK275+291	201	12~17	
	DK276+340	DK276+710	370	12~20	站内
	DK277+360	DK277+470	110	10~17	
阳安线 增建二线	DK49+720	DK49+820	100	8~17	
	DK51+000	DK51+380	380	8~18	
	DK54+450	DK54+860	410	8~16	
	DK60+780	DK60+970	190	12~17	
	DK214+420	DK214+480	60	10~18	
宝兰客专 (无砟轨道)	DK785+565	DK785+860	295	8~12	
	DK808+270	DK808+800	530	8~14	站内
银西线 (客专, 有砟)	DK28+878	DK29+050	172	8~14	站内
	DK55+124	DK55+700	576	9~14	站内
	DK68+522	DK68+700	178	8~13	站内
	DK238+581	DK238+710	129	8~12	站内
	DK251+140	DK251+180	40	8~20	黄土冲沟
梅汕客专 (250 km/h 客专)	DK2+000	DK2+150	150	10~20	位于车站
	DK19+930	DK19+970	40	25	位于陡坡 沟谷
厦深铁路 (250 km/h 客专)	DK279+700	DK279+770	70	19	位于陡坡 沟谷

从说明表 7.1.1 中可以看出,路堤边坡的填筑高度主要由工程设计人员根据铁路等级、轨道类型、地基条件、填料来源、用地性质及环境因素等确定,使用过程中在平原、丘陵地段的林地及耕地,为节约林地及耕地等土地资源,宜采用较低的边坡高度;而对于山区在挖方弃土或隧道弃渣量较大的地段,应结合取、弃土条件,综合考虑弃土场设置与工程用地等,合理确定路基边坡高度。故从经济性、技术性综合考虑,本次修编修改为“路堤边坡高度应结合铁路等级、轨道类型、地基条件、填料来源、用地性质及环境因素等合理确定,不宜超过 20 m”。

7.1.2 当地面横坡为 $(1:5) \sim (1:2.5)$ 时,将原地面挖成台阶,目的是减少路堤沿基底面滑动和克服路堤产生纵向裂缝。但使用本条规定时,有其局限性,要注意。对一般常遇到的细粒土斜坡来说,挖台阶的规定是完全适合的。但当斜坡为砂类土时,可以不挖台阶,只要将表层土翻松,就可达到目的。如基岩面向下倾斜,基岩面上覆盖层不厚且有滑动可能时,可以将覆盖层清除,再挖台阶,若倾斜的基岩为不易风化岩层,如要求将斜坡用爆破法挖成台阶,也是不现实的,一般将表层用爆破爆成不拘形式的粗糙面后,再在地基码砌成 2 m 宽的台阶,然后在其上进行填筑。

7.1.3 陡于 $1:2.5$ 的陡坡上的路堤要进行个别设计,检算路堤沿基底滑动的稳定性。如基底下有软弱层,还得检算沿该软弱层滑动的可能性。当抗滑稳定安全系数小于 1.25 时,一般先清除草皮,挖台阶,还要采取稳固措施,如在路堤的下方设置挡土墙或副堤、干砌片石垛、加筑大台阶等。

陡坡地段填方易产生坍滑。产生这种现象主要是由于水渗入填方基底面,降低了基底摩擦力,增大了填土下滑力所致。为保证填方土体及基底的干燥,增强路堤稳定,通过这些地段的侧沟、排水沟要采取防渗加固措施。

7.1.4 当路基基底存在地下水影响路堤稳定时,要采取处理措施。处理路堤基底地下水的一种措施是在路堤的上侧拦截地下水

的来路,将水引到别处去;另一种是在路堤地基内作疏导工程,把地下水引排出来。拦截或引排地下水要注意对周围环境的影响。如以上的处理措施都无条件时,则要在路堤底部用渗水土填筑,以保证路堤的稳固。

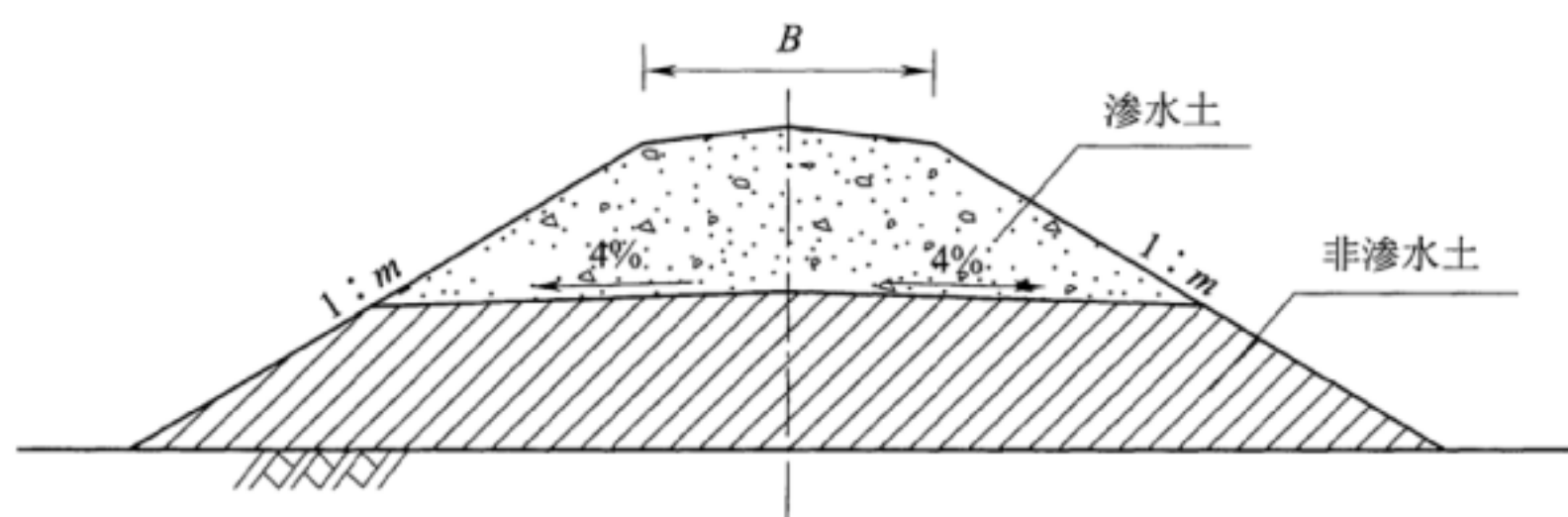
7.2.1 由于D组填料遇水易于崩解软化、强度剧烈降低,如为膨胀土还具有吸水膨胀、失水收缩和反复变形的特性,因此路堤基床以下部位填料一般选用A、B、C组填料或改良土,限制使用D组土作填料。当地缺乏A、B、C组填料,采用D组填料时,除了做好排水工程防止地表水和地下水侵入堤身外,还需根据D组填料的特性采取不同措施,如土中加入石灰、水泥等掺合料。

7.2.2 路堤浸水部位一般是指河滩、滨河、滨海及积水洼地、池塘等地段,路堤位于设计水位以下经常或间歇受水浸泡的部位。一般路基浸水后会引引起路基填料软化、强度降低,致使路堤自身产生沉降或局部边坡发生溜坍等病害。为预防产生病害常采用填筑水稳性好的渗水土并设置隔水护道、边坡防护等措施。对于客货共线铁路为降低建设投资,对渗水土填料来源困难地区一般仅对长期浸水部位采用渗水土填筑,对产生的沉降通过抬道、填补道砟进行处理;高速铁路及无砟轨道的城际铁路,因其沉降标准要求高、产生沉降后维修困难,对设计水位以下部位需全部采用渗水土填筑。

7.2.3 有害冻胀深度要结合铁路等级、轨道类型按本条文说明3.1.6条确定。

7.2.5 路堤尽量用同一种填料填筑,以免产生不均匀沉降。不同性质填料混杂填筑,会使其接触面形成滑动面,或在路堤内造成水囊。如条件困难,不得不采用性质不同的填料填筑时,不同性质的填料分开逐层填筑。当采用两种性质不同的填料填筑时,一般采用如下断面形式:

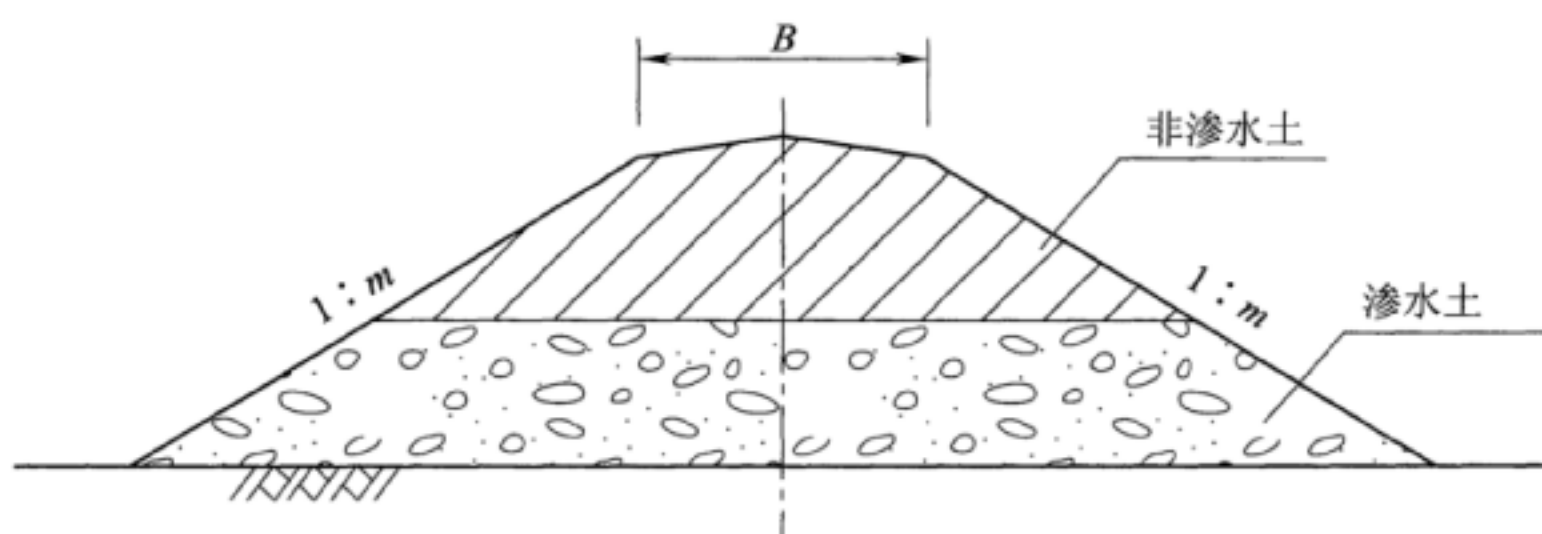
(1)渗水土填在非渗水土上时,如说明图7.2.5—1所示。



说明图 7.2.5—1 用不同类土填筑的路堤断面形式之一

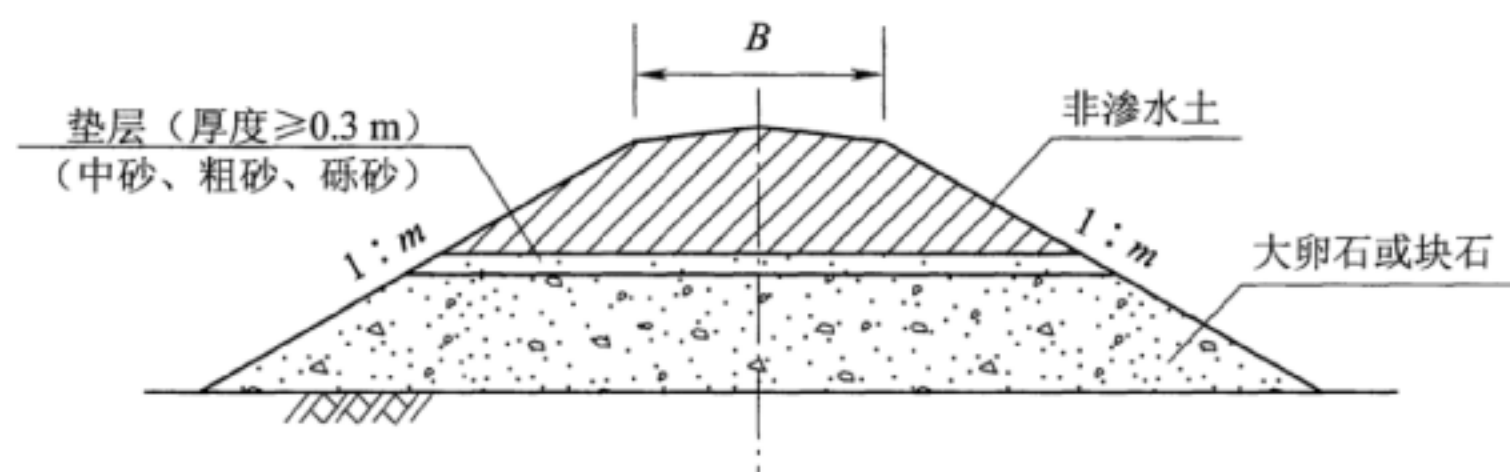
(2)非渗水土填在渗水土上时:

1) 当上下层填料的粒径相差在规定范围内时,如说明图 7.2.5—2所示。



说明图 7.2.5—2 用不同类土填筑的路堤断面形式之二

2) 当上下层填料的颗粒大小相差悬殊时,如说明图 7.2.5—3所示。



说明图 7.2.5—3 用不同类土填筑的路堤断面形式之三

7.2.6 基床以下部位采用 C2 组中的砂类土及 C3 组填料时可以采取隔水或加强边坡防护等措施。

为了提高路堤边坡部分的压实度,增强边坡的稳定性,并有利于加强对分层填筑路堤质量的管理,在使用稳定性较差的砂类土填筑路堤时,在两侧边坡 2 m~3 m 范围内分层铺设土工格栅。采取这一措施后可以使碾压机械更靠近边坡,使边坡部分的压实度提高,同时加筋还能提高边坡的总体稳定性。考虑到降低造价,格栅铺设的间隔考虑为一次碾压厚度的两倍。如果间距太大,加筋效果会大幅减小,因此格栅竖向间距为 0.5 m~0.6 m。

7.3.1 本条需说明的问题:

(1)由平板荷载试验所测得的地基系数是将土体的强度和变形合为一体的综合性指标。近年来,国内外广泛利用地基系数来检查公路、铁路、机场跑道等填土建筑物的压实密度。日本 20 世纪 70 年代已将 K_{30} 纳入规范,我国大秦线首次应用 K_{30} ,之后又在某些铁路线上应用了。因此本规范引用 K_{30} 是合理的、可行的。

(2)本次修订考虑到 2010 年 11 月 21 日实施的《铁路工程土工试验规程》密度试验“灌水法适用于现场测定最大粒径”由 2004 版的 60 mm 调整为 200 mm,与路堤填料最大粒径要求的“不应大于 300 mm”相近,从施工检验的方便、减少控制指标内容出发,将《铁路路基设计规范》TB 10001—2005 中砾石类、碎石类、级配碎石或级配砂砾石采用地基系数和孔隙率作为控制指标调整为“采用压实系数、地基系数作为控制指标”。取消了《铁路路基设计规范》TB 10001—2005 相对密度、孔隙率控制指标。

(3)地基系数 K_{30} 分别与压实系数 K 、无侧限抗压强度一起,对细粒土、砂类土、砾石类土、碎石类土、改良土的压实度进行双层控制,以互相验证,确保工程质量。

(4)压实系数采用重型击实试验标准,实现与国内外相关规范一致,以扩大适用范围。

7.3.3 采用 C3 组及改良土填筑路堤时,含水率是影响压实度的

主要因素:在一定的压实功能条件下,密实度最初是随含水率的增加而上升的,但达到最优含水率后,含水率再增加反而引起密实度下降。所以要使填料压实到一定的密实度,其含水率需保持在某一个固定范围内才能实现,这个范围的上下限叫临界含水率。当含水率超过上限时,可以采取排水疏干、松土晒干、中间夹砂或重型碾压等措施;当含水率小于下限时,通过加水润湿或采取重型机械碾压等措施。

7.3.4 路堤沉降的原因,除与地基条件有关外,还与路堤高度、填料种类、压实标准等有密切关系。为保证高路堤在施工后的路肩宽度和沉降量满足设计要求,特提本条的规定。

路堤压密沉降在列车荷载及路堤本体自重作用下的压密变形,与路堤高度、填料种类、压实标准等有密切关系。在路堤填料的材质与施工质量有保证的前提下,数值是有限的。为减少高路堤的工后沉降量,设计时要选择压缩性小的填料,并提高填料的压实标准。

由于影响路堤沉降的因素复杂,沉降量目前还没有合理的理论计算方法。规范中根据相关实测资料、学术研究成果和有关规范所作的规定,经汇总分析后给出了计算方法,公式中的沉降比是指路堤总沉降量与路堤填土高度之比,与路堤填料、压实工艺、压实度等有关。关于沉降比的统计值,《铁路路基设计规范》TB 10001—2005 为:细粒土约为 0.01~0.02,漂石土、卵石土、碎石土、粗粒土约为 0.005~0.015,硬块石约为 0.005~0.01,软块石土约为 0.015~0.025;《高速铁路设计规范》TB 10621—2014 条文说明,粗粒土、碎石类土为 0.001~0.003,细粒土为 0.003~0.005。两者差异较大,故本次修编未给出具体值,建议结合填料、压实设备、压实标准及地区经验综合确定。

7.4.1 表 7.4.1 中路堤边坡坡率等问题规定的依据如下:

(1)关于低矮土质路堤边坡坡率 1:1.3 的问题

关于这方面的意见是最有分歧的。有的认为土质较好的低边坡,如 0~3 m 内用 1:1.5 是保守的,可以改陡用 1:1.3;另一种

意见则相反,认为 1 : 1.5 坡是最陡的了,不能再改陡。这是由于我国幅员辽阔,各地区的土质和气候条件各不相同,所得经验亦各不同,也是很自然的现象。

关于这个问题,铁一院曾就陕、甘、青三省 126 个黏土夯实土样做过路堤高度在 6 m 以内,边坡坡率用 1 : 1.25 时的圆弧法斜坡稳定检算,得 $K \geq 1.5$ 者占总数的 99.2%。所以从力学上说,低路堤是完全可以 1 : 1.3 的边坡。再从其他地区如东北、华北、西南等地区的代表性夯实资料来看,土的黏聚力比西北地区的大,用 1 : 1.3 边坡也是可以的。

不过,一个边坡的稳定与否,力学检算只是一方面,另外还要考虑边坡受外界因素的作用情况,如雨水冲刷,人畜的走行对边坡的影响。陕西省交通科学研究所根据国外水土保持的资料认为,斜坡与水平成 40° 时,冲蚀(片蚀和沟蚀一起)最厉害,1 : 1.3 的坡度接近 39° ,从雨水冲刷方面来说是很不利的。用 1 : 1.3 边坡的路堤,初期是没有问题的,也不会沿圆弧裂面产生滑动。但运营后随长时间的雨水冲蚀,路肩宽度减窄,边坡亦日趋平缓,对养护是不利的。但单凭这一点还不能排斥使用 1 : 1.3 边坡,在有些地区土质好,或坡面防护有条件时,还是可以使用的。这样既节省土方又可少占农田。若把这一问题放在规范中作统一规定,普遍使用,就不一定合适。故表 7.4.1 的注 1“如有可靠资料和经验时,可不受本表限制”,对这个问题亦是适用的。

(2)关于土质路堤边坡采用 1 : 1.5 一个坡,在边坡中部设平台的型式的问题。

建议用这种形式边坡的理由,是想在运营期中如需帮坡时,可以从中部的平台开始,减少一些帮坡土方;另一种原因是雨水沿着边坡流下,到了平台可以得到缓冲,减小了流速,对下部的边坡有利。所以采用这种形式有其优点。

为此,曾拟定了几种设平台的型式,进行了检算,与变坡的型式作对比:

1) 0~6 m, 1:1.5, 平台 1.5 m 宽, 6 m~18 m, 1:1.5 与 0~6 m, 1:1.5, 6 m~18 m, 1:1.75 相对比。

2) 0~10 m, 1:1.5, 平台 1.5 m 宽, 10 m~18 m, 1:1.5 和 0~10 m, 1:1.5, 平台 1.0 m 宽, 10 m~20 m, 1:1.5 两种与 0~10 m, 1:1.5, 10 m~20 m, 1:1.75 相对比。

从 1) 与 2) 的对比来看, 设平台 1.5 m 宽时, 安全系数都普遍地比变坡的形式有所提高; 设平台 1.0 m 宽时, 安全系数则降低。

从 1) 来看用平台的形式, 当路堤边坡高低于 12 m 时占地较多, 到 12 m 以后占地才逐渐比变坡形式减少; 而土方量始终比变坡形式大。从 2) 来看, 若平台用 1 m 宽, 当路堤边坡高低于 14 m 时, 土方和占地都比变坡形式大; 若平台用 1.5 m 宽, 土方量始终比变坡形式大, 16 m 高以后占地才逐渐减少。对比结果使人感到, 设平台的形式有相形见绌之处。此外, 把平台设在某一固定高度比较困难, 例如把 20 m 高的路堤边坡平台设在 8 m 处是比较合适的, 但对 10 m 高的路堤仍设在 8 m 处意义就不大了。

通过以上对比分析, 认为采用变坡的形式较为优越, 但结合近年工程经验及方便养护维修, 本次规范修编中补充了台阶型, 但未规定边坡平台的宽度。

7.4.4 为避免排水沟或取土坑水流冲刷沟壁和由于水的浸润作用而影响路堤的稳定性, 或为防止在未设置排水沟、取土坑的地段开垦农田而影响路堤的稳定性, 规定在路堤坡脚外要设有不小于 2 m 宽的天然护道。

在经济作物区高产田地, 土地可贵, 要尽可能少占田地, 并在路堤坡脚设置必要的防护措施, 如做护坡或坡脚墙或设宽度不小于 1 m 的人工护道, 以保持路堤的稳定。

8.1.1 关于路堑边坡高度的问题, 《铁路边坡防护及防排水工程设计补充规定》(铁建设〔2009〕172 号) 中规定: “……路堑边坡高度在土质及风化破碎软质岩地段不应超过 15 m, 硬质岩石地段不应超过 30 m, 中~强膨胀土地段不应超过 10 m。”从工程实践看

执行难度较大,因此本次修编中仍维持《铁路路基设计规范》TB 10001—2005 30 m 的规定。

8.1.2 碎石类土、砂类土、易风化岩石及其他土质的路堑边坡,如果不设防护措施,易风化剥落,且土中的细颗粒成分也易被地表水流冲至坡脚,堵塞侧沟。因此这种地段的路堑一般都设置侧沟平台。路堑侧沟平台宽度软质岩及强风化的硬质岩最小采用 0.5 m,土质最小采用 1.0 m。

在现场调查中,常见到土和风化岩石两种地层组成的较深路堑,由于坡面水流的冲刷和侵蚀,在土石交界处及坡脚部位被冲刷淘空,形成边坡坍塌;另外在养护维修中因边坡较高,无平台可资利用,作业极为不便。因此,有设置边坡平台的必要。其宽度不仅要考虑工程自身的安全,还需考虑后期养护维修的需要,结合多年铁路工程建设经验,确定为不小于 2 m。

关于本条中较深路堑的深度,本规范未规定一个具体数值。设计人员根据具体情况灵活运用,一般是指 15 m~20 m 及以上。土和风化岩石两种地层组成的路堑,如土只是很薄的一层覆盖层,平台则不一定设在土石分界处,以设在边坡中部为宜。

平台上截水沟尺寸以满足排水流量为原则。其断面尺寸可以小于侧沟的断面尺寸,亦可以做成三角形,但一定要铺砌加固,以免渗漏。如有渗漏,则对下部的边坡反而不利。如平台位于不易风化岩层上,无渗漏问题,开挖截水沟又困难时,则可以改做挡水墙。

8.1.5 较深的软质岩路堑高边坡,当岩体松散破碎、软弱结构面发育时,往往在开挖施工期间就出现边坡开裂、坍滑等病害,不仅影响施工的安全和进度,而且因此增加了大量的工程整治费用,给设计、施工以至运营各阶段的工作都带来了很大的问题。究其原因,主要有以下几个方面:

(1)路堑边坡软质岩层节理发育,岩体松散、破碎,自稳性差,开挖后难以保持其自身的稳定性。

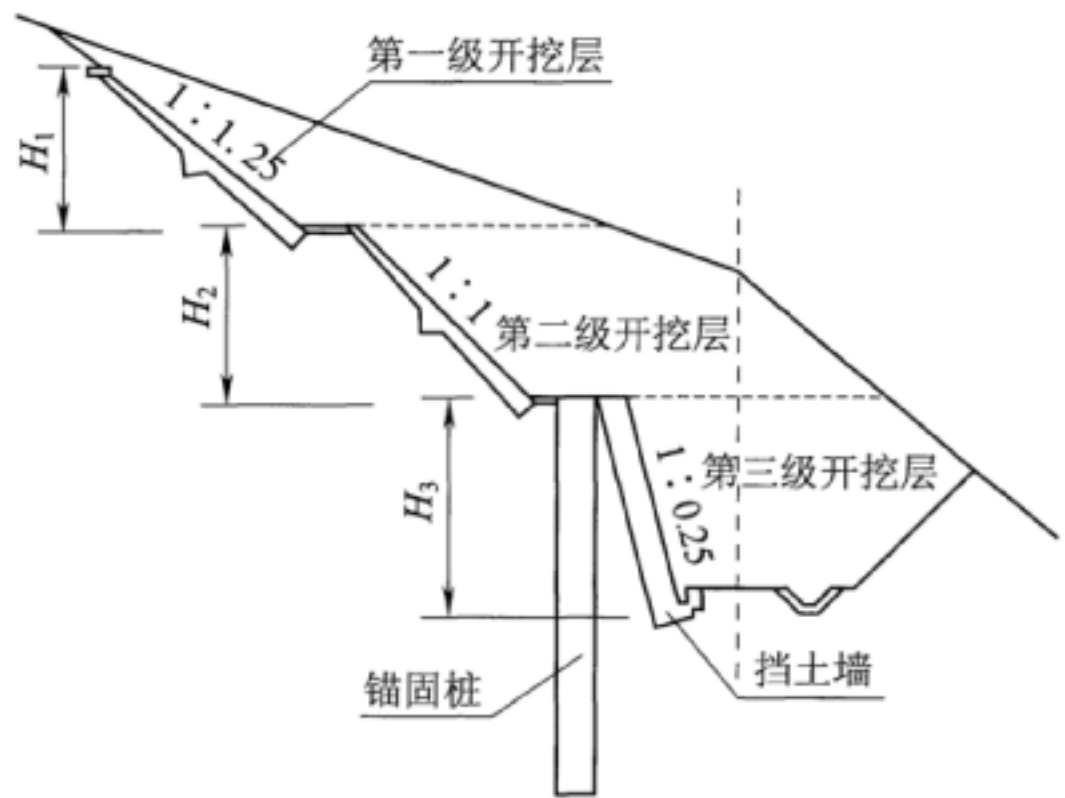
(2)由于目前机械化施工的推行,支挡防护工程的跳槽开挖方

法很难实现,机械大拉槽施工后,后续支挡防护工程的砌筑周期长,边坡岩层长期暴露,使路堑边坡处于非稳定状态。一旦增加某些外部不利因素,如地面水下渗、拉槽内积水等,造成坡脚强度下降、边坡变形而引起坍塌。

所谓软弱松散岩质路堑,即指具有上述工程特性的软质岩石路堑。在南昆线路基工程的设计和施工中,遇到了大量的这种类型的高边坡。

根据南昆线试验工程和推广应用经验,分层开挖、分层稳定及坡脚预加固技术主要有以下形式:

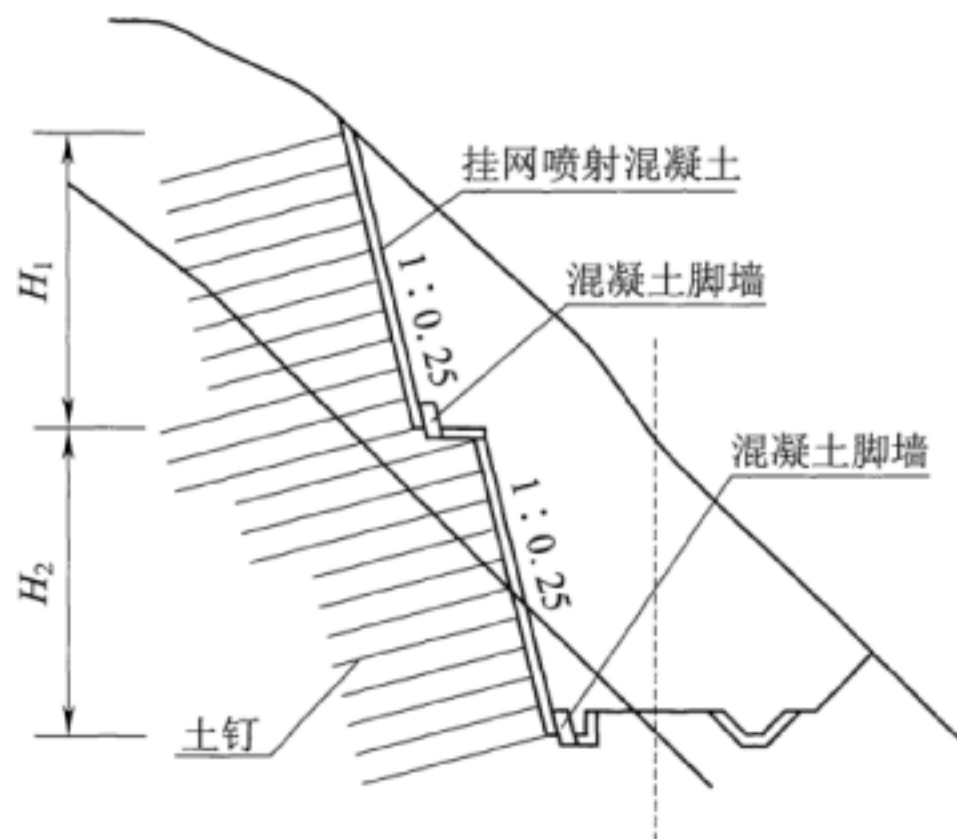
1)分级稳定及坡脚预加固技术。从上到下分级开挖,分级加固防护,下部坡脚采用锚固桩进行预加固,再开挖施工,如说明图 8.1.5—1 所示。



说明图 8.1.5—1 分级稳定及坡脚预加固

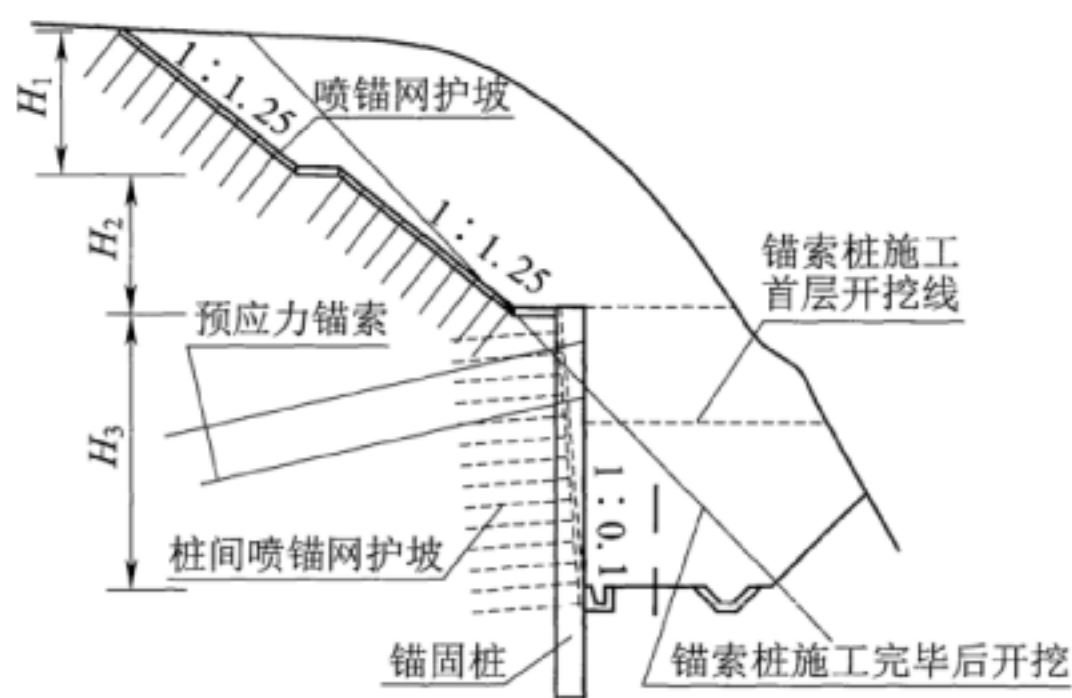
2)分层稳定及坡脚预加固技术。根据防护加固结构类型的不同,分为下列几种形式:

①土钉墙分层开挖、分层加固技术。从上到下分层开挖、分层施工土钉墙,及时加固开挖后的边坡,其关键是墙身中部和坡脚的稳定,如说明图 8.1.5—2 所示。



说明图 8.1.5—2 分层稳定及坡脚预加固形式之一

②挂网喷护及预应力锚索桩加固技术。上部设分层开挖、分层加固的挂网喷护；下部设先加固再分层开挖、分层加固的预应力锚索桩及桩间挂网喷护复合结构，如说明图 8.1.5—3 所示。



说明图 8.1.5—3 分层稳定及坡脚预加固形式之二

8.2.2 由于我国幅员辽阔，气候、地质及其他自然因素变化较大，因此表 8.2.2 中边坡坡率只列出上、下界限值。具体设计时还得根据现场调查分析的结果，结合边坡高度，在表中 8.2.2 的上、下

限界范围内选用。低边坡可以选用较陡的数值,高边坡选用较缓的数值。

8.3.1 岩石路堑边坡的稳定性分析和设计比较复杂,除受其岩性、边坡高度及施工方法等因素影响外,还在很大程度上取决于其岩体结构、结构面产状及风化程度。如何正确地判断和权衡诸因素对边坡稳定性的影响程度,进行较为准确可靠的定量化分析和边坡稳定性评价,目前还是一个有待深入研究的课题,尚没有统一、完善的方法。

因此,本条按照传统设计方法对岩石边坡的设计原则和需考虑的影响因素进行了规定。

近年来由于计算机技术的发展,极限平衡法以及有限元、离散元等数值分析方法在岩石边坡稳定性分析和设计中得到了一定程度的应用,积累了一些成功的经验。故规定在特殊情况下确有必要时,可以采用稳定分析方法进行验算。

8.3.2 根据岩石强度和风化程度这两个主要因素制定了表 8.3.2,以供一般情况下高度小于 20 m 的岩石边坡设计使用。由于表中边坡坡率只列出了上、下界限值,具体设计时还得根据现场调查分析的结果,结合边坡高度,在表中的上、下限界范围内选用。低边坡、设置防护边坡或岩体结构有利于稳定的边坡选用较陡的数值,否则选用较缓的数值。

8.3.5 岩石路堑的设计有时受施工工艺、施工方法的影响较大。例如在较高的硬质岩石路堑中,常规的爆破开挖方法由于冲击和振动作用,使路堑边坡岩体破碎、松动,常造成运营期间的掉块、落石等病害。对附近一些安全性要求较高的建筑物,常规爆破方法也很难保证其安全性。因此在设计中要考虑这种情况,采用适当的防护措施加以预防。

采用光面爆破、预裂爆破技术或机械开挖施工,能够很好地解决上述问题,而且在大多数情况下,边坡不需设置防护加固措施,就能很好地保持其稳定性。进行光面爆破的工程证明:对于石质

路堑,采用光面、预裂爆破或机械开挖施工可以提高路堑边坡工程质量,最大限度地减少开挖时对边坡的破坏,施工后形成的路堑边坡岩体稳定、平整美观,值得大力推广应用。

光面爆破、预裂爆破技术或机械开挖施工的采用不仅仅是一个施工方法问题,还影响设计过程中工程措施的选用和设计方案的论证。因此,本条从设计角度出发,对其应用做了原则性的规定。

9.1.1 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、路堤与路堑、路堑与隧道过渡段是常见的过渡段。需要进行过渡设计的路基还有很多,例如,地基处理的不同措施,相同处理措施的不同强度,不同的路基结构,高含冰量冻土不同地温间,高含冰量冻土与少冰、多冰冻土间,融区与多年冻土间等。

9.1.2 近年工程实践中,各等级铁路短路基难以避免,但因短路基地段场地狭小、不便压实,经常产生不均匀沉降等病害,特增加本条。

9.1.5 近年在设计施工中,部分工程过渡段的设置地段,自然地形陡峻、基岩出露,为设置过渡段,出现大量开挖山体,采用 A、B 组填料或级配碎石回填的情况,不仅施工难度大、工程投资高,且对工程质量的提高无实际意义,现场常常采用对结构物与自然岩石边坡间的三角区回填混凝土的措施,效果较好,故增加本条。

9.2.1 与桥梁连接处的路堤一直是铁路路基的一个薄弱环节,一方面由于路堤与桥梁刚度差别较大而引起轨道刚度的突变,同时路堤与桥台的沉降不一致,而导致轨面不平顺,因而引起列车与线路结构的相互作用增加,影响线路结构的稳定,影响列车高速、安全、舒适运行。

根据国外高速铁路、公路的经验,在路堤与桥梁间设置一定长

度的过渡段,以控制轨道刚度的逐渐变化,并最大限度地减少路堤与桥梁的沉降不均匀而引起的轨面变形,以保证列车高速、安全、舒适运行。

过渡段的设置主要有倒梯形与正梯形两种方式,可以结合施工条件选择,有条件时尽量采用倒梯形过渡方式。

9.2.2 过渡段长度主要考虑以下因素:

(1)竖向刚度因素:路桥过渡段轨道竖向刚度的变化对行车的平稳性有一定影响。根据车辆与线路相互作用的动力学分析结果,随着过渡段长度的增加,车体垂向振动加速度、轮轨垂向力等指标均逐步减小。理论计算结果表明,过渡段长度大于 15 m~20 m 后,有关各项动力学指标的变化就非常微小了,再继续增加过渡段的长度,几乎无任何作用。理论计算结果还表明,即使过渡段的长度短至 10 m、甚至 5 m,虽然车体垂向振动加速度、轮轨垂向力等指标有一定程度的增加,但其数值仍处于比较低的水平,远低于相应的控制值。这说明,过渡段刚度的变化,对过渡段长度设置影响不显著,不成为控制因素。

(2)沉降变形因素:由路桥过渡段工后沉降差引起的轨面弯折变形对行车的影响十分显著。根据车辆与线路相互作用的动力学分析结果可知,若路桥间的工后沉降差控制值为 h ,则路桥过渡段的设置长度为 $L \geq h/\theta$ (高速铁路折角限值 θ 不大于 1‰),才能保证过渡段轨面纵坡的变化值满足要求。如果考虑线路的正常维修作业(起拨道捣固)周期,由路桥间的工后沉降差引起的轨面弯折变形并没有这么大,相应的过渡段设置长度可根据实际情况适当缩短。在实际应用时,由于路桥间的工后沉降差多与台后路堤的高度 H 关系密切,铁路过渡段的设计长度可取路堤高度的 2 倍。

9.2.6 过渡段桥台基坑一般较为狭窄,大型压路机械无法进入,采用混凝土、碎石或灰土回填,有利于回填质量控制。回填混凝土时要保证混凝土的强度等级;碎石或灰土回填时采用小型机具压实,压实控制指标我国客运专线原来采用 $K_{30} \geq 60$ MPa/m,受场

地所限,检测较为困难,本次规范编制采用了操作方便快捷的 E_{vd} 检测,在指标的控制上遵循有利于质量控制且不低于原标准的原则,在基床底层相关技术要求的基础上适当降低,确定为 30 MPa。

9.3.3 要重视寒冷及严寒地区路基与横向结构物过渡段的防冻问题,横向结构物的基坑开挖及回填是比较容易忽视的环节,因此要了解横向结构物基础设计情况,必要时采取防冻措施。

9.4.2 本条考虑到原地面的密实性。对于松散的原地面,由于《铁路路基设计规范》TB 10001—2005 规定的台阶宽度(不小于 1 m)不能满足要求,故台阶要根据实际情况据原地面边缘具有一定距离,其数值可以根据情况掌握。

10.1.4 地基处理属地下隐蔽工程,施工质量受人为因素的影响较大,且事后检测和补救比较困难。因此,施工质量控制及检测要贯穿于施工全过程的每道工序及各个操作环节。地基加固处理工程竣工后,上部路基施工前,一定要对加固效果检测、质量检测及验收。质量检测及验收方法需在考虑加固目的、要求及上部结构类型的基础上,根据相关规范及验收标准确定。

10.1.6 沉降理论计算值与实测值往往有一定差异,为了确保工程安全,根据相关规范要求,进行沉降变形观测及评估工作,根据实际沉降观测资料指导施工,确定铺轨时间。

10.2.2 近年来模型试验、数值分析研究及大量工程实践经验表明,采用柔性桩复合地基处理地段,路堤和地基的整体稳定性并非都是整体圆弧滑动破坏控制,而可能受桩体倾覆、横向水平滑移控制或发生桩间土剪切滑动破坏(绕流)。因此,不能简单地采用圆弧滑动面法,要根据可能的破坏形式选择适宜的方法。

当软土性质差或路堤较高时,由于桩土应力、应变状态与软土性质、桩顶垫层、桩体强度、间距及桩长等相互影响关系复杂,路堤和地基的整体稳定性往往不是整体圆弧滑动破坏,而可能先发生桩体倾覆、横向水平滑移或桩间土剪切滑动破坏(绕流),导致路堤突然下沉,地基侧向滑动失稳破坏。这种情况下,单纯采用整体圆弧法进行稳定分析与实际破坏模式可能严重不符,导致设计不安

全。因此,本条建议刚性桩复合地基及路堤较高、软土性质极差的柔性桩复合地基要结合数值分析法或专门研究,模拟实际破坏形式,检算路堤和地基的整体稳定性,获得较可靠的结果,为复合地基加固设计达到合理、经济的目的提供较准确依据。

桩承式路堤刚性桩结构自上而下由路堤填料、加筋垫层、桩帽、刚性桩(如管桩、混凝土桩等)及桩间土组成,英国 BS 8006 规范推荐了一种有关其整体稳定性安全系数的计算方法。采用刚性桩结构处理,单桩竖向承载力不能小于其承担的竖向荷载。特殊地形如斜坡软弱地基或岸坡,以及地基较差或地基为单一无硬壳层的流塑状淤泥或淤泥质土地层时,要根据具体情况按桩承式路堤结构进行稳定性分析,对桩顶以上路堤的侧向滑动稳定性和桩网结构的整体稳定性进行验算。

10.3.1 在陡于 1 : 2.5 的陡坡上填筑路基时,要按陡坡路堤设计,检算路堤沿基底滑动的稳定性;如基底有下卧软弱层,还要检算沿该软弱层滑动的稳定性,抗滑稳定安全系数不得小于 1.25。当符合要求时,要在原地面设计台阶;否则采取改善基底条件或设置支挡结构等抗滑措施。陡坡路堤靠山侧设排水设施,并采取防渗加固措施。

10.3.3 对工后沉降要求不严的路基、场坪工程,利用预压加速地基排水固结是软基加固既经济又有效的措施,但施工组织设计要预留足够的预压期,对路基面以上的预压荷载需确定合理可行的方案。如需加大、加速施工期沉降,满足工后沉降及工期要求,可以采用增加堆载预压荷载或真空联合堆载预压措施。

根据大量工程实践经验,在大面积水塘、湖泊地段,排水固结法处理软土地基,由于施工期间地基产生较大沉降,路堤基底排水垫层标高降低,中部下沉较大,两侧坡脚附近下沉较小,导致垫层呈下凹的“锅底”型,严重影响排水效果。因此要考虑这种施工期较大地基沉降对基底排水垫层的影响,设计时可以采取预留沉降的(上)拱形排水垫层、提高排水垫层标高等方法;对大面积场坪地

段,采用拱形垫层有困难或不经济时,可以设置集水井,进行抽排水处理,保证地基排水固结效果。

强夯置换墩施工前,需在施工现场有代表性的场地进行试夯或试验性施工,确定其适用性和处理效果。在邻近既有建筑物、居民区时一般不采用。

复合地基措施工程桩主要包括散体材料桩如砂桩、碎石桩,加固土桩如搅拌桩、旋喷桩及低强度 CFG 桩或素混凝土桩等类型,要根据工程要求、环境条件、地层适宜性、成桩效果、经济性等因素因地制宜确定。

砂桩、碎石桩:主要用于松散砂类土、饱和粉土地基加固,通过置换、挤密作用,防止地基液化或控制工后沉降。用于软黏性土、一般软土路堤地基处理时,利用其置换、排水固结作用,满足路堤稳定及工后沉降要求,处理深度要根据地层性质加以控制,一般要穿透软弱土层至相对硬底层内不小于 0.5 m;软弱土层较厚时,要超过最危险圆弧滑动面以下不小于 2 m,并满足沉降计算要求的深度,但不要超过 15 m,以降低设计、施工风险。

有关规范和工程实践表明,散体材料桩、低强度 CFG 桩或素混凝土桩在性质较差的深厚层软土地基中,成桩工艺和质量难以控制,要慎用。

搅拌桩:常用于较厚的软土、软黏性土、饱和粉土、饱和黄土、素填土或地下水相对静止的中砂及以下砂类土地基加固,以满足路基稳定、工后沉降要求或基床、支挡工程基础承载力要求。天然含水率大于 70%、塑性指数大于 25 或地下水 pH 值小于 4 等性质极差的软土慎用。搅拌桩一般采用单搅拌头,桩径取 0.5 m。搅拌桩工法包括干法(粉喷)和湿法(浆喷),要根据土层的天然含水率、塑性指数及其加固深度确定,天然含水率介于 30%~70%且塑性指数小于 18 时,可以采用干法(粉喷),加固深度要控制在 10 m 左右,最大不超过 15 m;其他情况采用湿法(浆喷),加固深度不大于 15 m,最大不超过 20 m。目前,为提高搅拌桩桩身均匀性

及其强度,水泥砂浆[掺入一定量的粉、细砂,灰砂比约 1 : (0.4~0.6)]搅拌桩和多向搅拌桩新工艺正在逐步推广应用。

旋喷桩:常用于深厚层软土地基加固,可以较好地满足路基稳定、工后沉降要求或基床、支挡工程基础承载力要求,处理深度达 30 m。旋喷桩一般采用单管法,桩径 0.5 m~0.6 m,必要时可以采用双管法,桩径 0.6 m~0.8 m。

搅拌桩、旋喷桩等加固土桩,是填方工程深厚层软土地基处理的常用方法,但其成桩质量主要由现场大面积施工工艺水平、过程监控力度决定,尤其是在地层性质极差、成层条件变化复杂、加固深度大于 15 m 时,大量实践证明,下部成桩效果难以保证,是影响工程稳定或沉降变形控制的主要问题之一。另一方面,加固土桩属地下隐蔽工程,现场成桩强度、均匀性、连续性等质量指标,目前的载荷试验、钻探抽芯检测手段难以准确、有效地反应实际情况,甚至可能误判(如承载力满足要求、钻孔偏斜等),因此,受竣工验收检测手段制约,现场成桩质量隐患难以有效控制,加固土桩的适应性、加固深度需进一步限制在成桩质量可控范围内。

深厚层软土、松软土地段,当路堤较高时,需满足路堤稳定性要求,且路基总沉降量较大,沉降完成的时间也较长,如采用排水固结与复合地基综合加固措施,一方面可以满足稳定性要求,另一方面,可以加快深厚层软土地基固结速度,有利于控制工后沉降和缩短路基放置时间。设计时要根据地质条件和加固要求确定合理的施工工序和施工注意事项。水泥土桩与排水固结组合形式的综合加固方法,已较多地应用于高速公路、铁路车站路基工程深厚层软土地基处理,取得了良好的效果。工程实践表明,该方法处理对沉降控制要求不严、较高填方(6 m~8 m)路基工程的深厚层软土地基,可以较好地满足路基稳定、工后沉降控制及工期要求,是较经济、合理的处理措施。

成层分布较复杂的软弱地基,加固深度超过 30 m,路堤填高较高时,可以采用排水固结、复合地基及刚性桩结构综合加固措

施。刚性桩具有竖向承载力高、加固深度大、施工速度快、质量较易控制的优势；在刚性桩与其他措施组合的综合加固方法中，刚性桩布置在压实填土面上，可以避免其施工场地要求高、投资贵的不足之处。一方面压实填土位于经其他措施加固的软土地基上，稳定性好，承载力高，可以较好地满足刚性桩施工要求；其次，刚性桩上部位于压实填土中，侧向约束好于软土地基，提高了桩结构的整体稳定性；三是刚性桩的加固范围位于路堤中心附近，竖向荷载分布较均匀，不但降低侧向挤压作用，同时节约投资。

刚性桩在组合措施中，类似于结构物基础，通过桩顶结构承担其上填土和运营荷载。桩顶结构形式要根据上部路基标准、轨道结构要求及其下部填土路堤沉降影响程度等综合分析确定。一般来说，客运专线尤其无砟轨道路基，要采用桩板结构，其他路基采用桩筏或桩网结构。

由填土面上高位刚性桩结构及路堤基底采用排水固结、水泥加固土“短桩”处理，形成的各种综合加固方法，将填土路堤分为上下两部分，分别进行地基处理，充分发挥了各组合措施的加固作用及分担能力。由高位刚性桩结构与路堤基底水泥土桩复合地基组合的综合加固方法，已在客运专线桩板结构路基中进行了成功的工程应用，效果良好，积累了一定的实践经验。在客货共线铁路路堤深厚层软土地基处理后，路堤填土到一定高度时，由于种种原因产生较大变形、沉降持续发展甚至失稳等问题，为控制变形和沉降、保证工期、满足路基稳定和工后沉降要求，在利用既有的排水固结、加固土桩或二者组合措施基础上，于填土面采用高位刚性桩结构补强处理，也取得了预期效果。

工程实践证明，此类综合加固方法，对于处理软土层呈上下两层或多层分布，加固深度大于 30 m 的复杂深厚层软土地基，是可靠的、合理的、经济的。

11.1.1 本条是根据多年支挡设计的经验、教训以及国内外资料，提出对支挡设计的基本要求。

(1)支挡结构在各种荷载组合作用下,满足强度和稳定性要求。

(2)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。

11.2.1 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。结构设计可按《铁路路基支挡结构设计规范》TB 10025—2006和《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010 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,因此本条文强调除了挡墙本身的稳定性检算外,还要保证斜坡的整体稳定。

11.3.1 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。

11.3.6 在城市及风景区周边,为节约用地,与周围景观协调,要优先采用轻型支挡结构,研究表明墙背材料采用铺设土工格栅等加筋材料后,能有效降低土压力,因此条件具备时,也可以采用加筋土挡土墙。

11.3.7 地质条件复杂地段,可以采用挡土墙与桩相结合的桩间

挡土墙及桩间土钉墙、桩与预应力锚索相结合的锚索桩、挡土墙与桩基相结合的桩基托梁挡土墙等组合形式,以更好、更充分地发挥支挡结构收坡、加固边坡等功能。

12.1.1 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;平面防护是指对风沙、雪害地段路基两侧采取的防护加固措施;保温防护是指为保护冻土而采取的防护措施。

12.1.4 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。

12.2.2 土质路堤、路堑边坡高度较高时,一般采用土工网、土工网垫、立体植被护坡网、浆砌片石骨架、混凝土框架、混凝土空心砖等与植物相结合的防护措施,一般不单独采用植物防护。

路堑侧沟平台和边坡平台、路堑挡土墙墙顶和墙趾处,当气候条件适宜植物生长时,在不影响边坡稳定、行车安全和铁路养护维修的前提下,可以设置绿化槽,槽内培土栽植灌木或藤本植物。

弃土(渣)场边坡绿化一般为在边坡上摊铺种植土后撒播草子、液压喷播植草。对不能使用或不能进行耕种的取土场、弃土(渣)场,具备绿化条件时,要在结束作业后的第一个种植季节内,结合水土保持进行绿化。

12.4.1 一般地区路基边坡防护一般不采用全坡面实体式浆砌片石或混凝土护坡(墙),但冲刷防护、浸水路堤、风沙路基等边坡防护,实体式浆砌片石或混凝土护坡(墙)也可能是一种选择,故在设计时要结合具体条件慎重考虑。

12.4.5 冲刷防护工程的基础处理得当与否,是关系到该工程成败的关键。历年的实践证明,冲刷防护工程的失败大多是由于地基被淘空而引起的。故地基要埋置在冲刷深度线以下不小于1 m或嵌入基岩内。

目前在设计中使用的冲刷深度公式分为一般冲刷和局部冲刷两类。当防护地段河床纵坡变大或防护建筑物较多地压缩了水流断面,致使水流流速增大,而水流流向并不直冲建筑物时,可以按

一般冲刷考虑。当防护建筑物没有或很少压缩水流断面,但水流方向与建筑物迎面切线交角较大时,可以按局部冲刷考虑。

一般冲刷深度采用包尔达柯夫公式计算:

$$h_p = \frac{A_1}{A_2} h \quad (\text{说明 } 12.4.5-1)$$

式中 h_p ——压缩断面上冲刷停止时的垂线水深(m);

h ——压缩断面上冲刷前的垂线水深(m);

A_1 ——以主槽天然平均流速通过设计流量时需要的断面积(m^2);

A_2 ——压缩断面在冲刷前能供给的断面积(m^2)。

局部冲刷深度采用雅罗斯拉夫采夫公式计算:

$$h_{pj} = \frac{23v^2 \tan \frac{\alpha}{2}}{g\sqrt{1+m^2}} - 30d \quad (\text{说明 } 12.4.5-2)$$

式中 h_{pj} ——建筑物前局部冲刷坑深度(m);

v ——建筑物附近水流的局部流速(m/s);

g ——自由落体加速度, 9.81 m/s^2 ;

α ——水流方向与建筑物迎面切线的交角;

m ——建筑物的边坡坡率,等于建筑物边坡角的余切;

d ——冲刷过程中裸露出来的铺在冲刷坑底的土颗粒粒径,用土中占有 15%以上重量的最大粒径的直径(m)。

式(说明 12.4.5—2)中 v 、 d 的大小直接影响 h_{pj} 值,需考虑不同水位时相应的 v 对 h_{pj} 的影响,从中找出最大值及其代表地段;确定 d 值,取土颗粒粒径时要注意土层的代表性,以减少人为因素的误差。

冲刷深度通过计算确定,并进行实际冲刷调查,对附近既有冲刷防护基础埋设深度和使用情况进行了解,结合防护地段河床地层的钻孔资料中对冲淤交替的分析判断,综合考虑决定。

防止地基淘刷的措施,按其性质分为立面防淘与平面防淘两

类。立面防淘是将建筑物的基础设在冲刷深度以下,使基底不受冲刷。但这种措施在冲刷深度较深的地方,明挖施工抽水困难不易办到,可以考虑沉井、桩基。而平面防淘措施是用柔性建筑物平铺在河床或用散体的材料堆放在主体工程的前面,当河床受到冲刷后,这种建筑物就随之下沉起保护基底作用。抛石、石床、潜坝、混凝土块板和石笼等都是属于这类性质的防淘建筑物。平面防淘措施只适用于不重要的线路上使用或作为立面防淘的辅助措施。

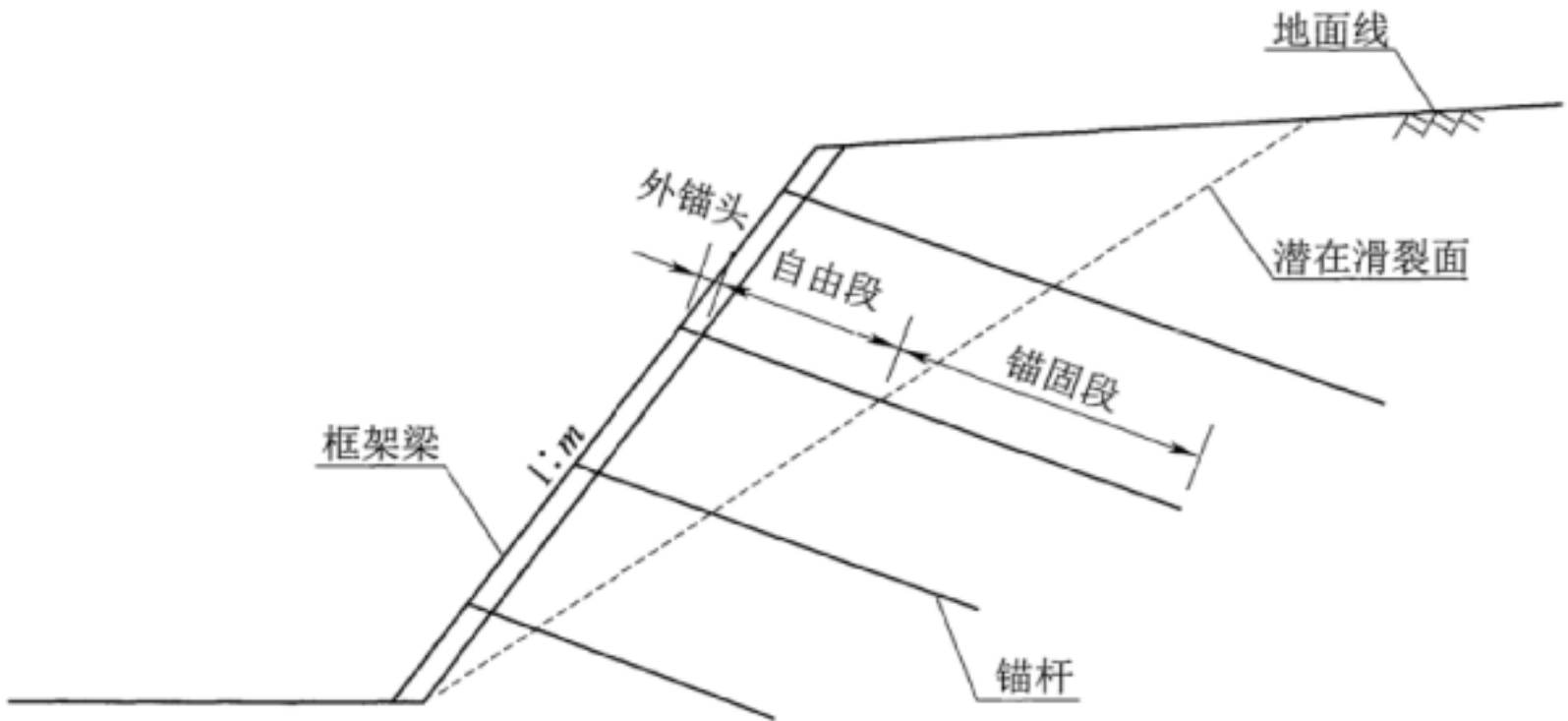
12.6.3 本条参照《建筑边坡工程技术规范》GB 50330—2013 中的相关规定及既有工程经验,综合规定锚杆长度不小于 5 m。

《建筑边坡工程技术规范》GB 50330—2013 中第 8.4.1 条规定:锚杆总长度为锚固段、自由段和外锚头的长度之和,并符合下列规定:

(1)锚杆自由段长度应为外锚头到潜在滑裂面的长度;预应力锚杆自由段长度应不小于 5.0 m,且应超过潜在滑裂面 1.5 m。

(2)土层锚杆的锚固段长度不应小于 4.0 m,并不宜大于 10.0 m;岩石锚杆的锚固段长度不应小于 3.0 m,且不宜大于 $45D$ (D 为锚杆锚固段钻孔直径)和 6.5 m。

锚杆结构图如说明图 12.6.3 所示。



说明图 12.6.3 锚杆框架梁断面形式

12.7.1 喷射混凝土(砂浆)护坡是在边坡上形成一层保护层,可用在高而陡的边坡上,尤其对上部岩层破碎而下部岩层完整的边坡,和需要大面积防护,且较集中的边坡,采用喷浆或喷混凝土的防护更为经济,为保证喷射混凝土防护的稳定,通常结合挂网使用。混凝土的配合比要采用连续级配的骨料,按式(说明 12.7.1)设计。

$$P=100 \times \frac{d}{D} \cdot n \quad (\text{说明 12.7.1})$$

式中 P ——孔径为 d 时通过的百分率(按质量计);

d ——要计算的某些骨料粒径(mm);

D ——骨料最大粒径(mm);

n ——实验指数, $n=0.3 \sim 0.6$ 。

12.7.3 喷射混凝土时,需进行分层喷射,单层厚度主要由喷射混凝土颗粒间的凝聚力和喷射层与受喷面的黏结力决定。一般根据岩性、围岩应力、裂隙及其他形式支护的配合情况确定,以保证混凝土层不错裂、不脱落。厚度太小,将增大回弹率;厚度太大则会削弱混凝土颗粒间凝聚力,特别是拱顶喷射时会引起大片坍落。通常一次喷射厚度为粗骨料最大粒径的 2 倍。

12.8.1 石笼防护的优点是具有较好的强度和柔性,但不需用较大的石料。当水流中含有大量泥砂时,石笼中的孔隙将很快被淤满而形成坚固的整体护层。若水流中带有较多的滚石,容易冲破钢丝网,故不能采用石笼防护。

12.8.2 近年编织石笼常用的金属材料主要为宾格合金钢丝网,其母材采用合金含锌钢材,其涂膜钢丝具有不生锈、防静电、耐腐蚀的功能,有较好的疲劳强度及工程耐久性,钢丝直径选用 $\phi=2 \text{ mm} \sim 3 \text{ mm}$,编织网钢丝单根疲劳强度不小于 420 MPa,其使用寿命大于 50 年。

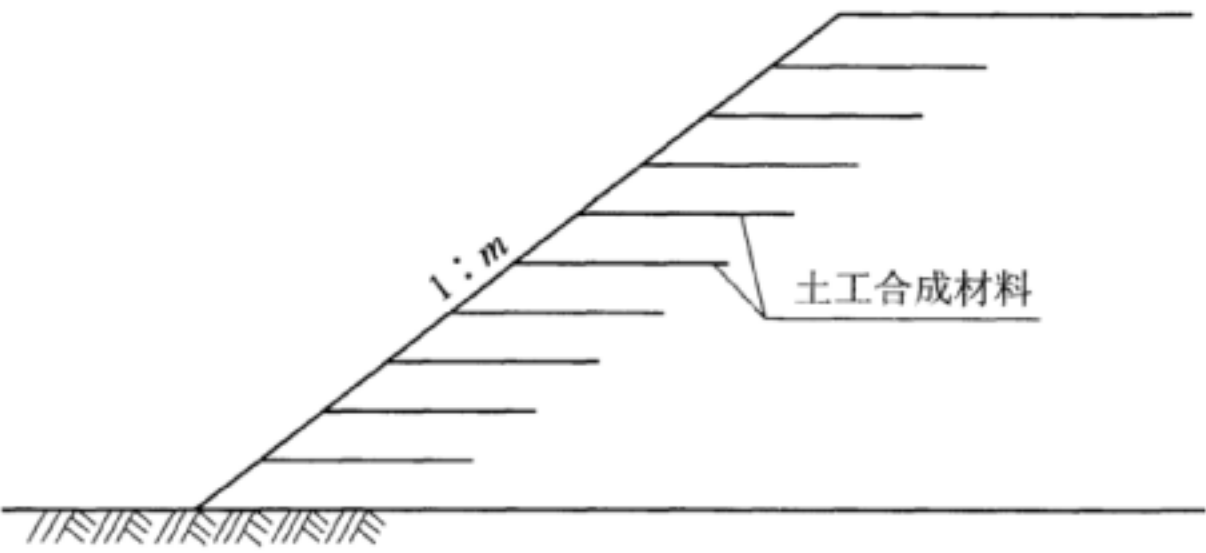
12.8.4 用于防护岸坡时,一般在最底下的一层采用扁长方体石笼,在靠岸坡处采用长方体石笼的垒砌形式。用于防洪抢险的石笼,一般采用有骨架的圆柱体,以便于顺路基或河岸边坡滚下,以防护洪水对边坡的冲刷。

12.9.2 柔性防护网按其结构形式、防护功能和作用方式的不同分为主动防护网和被动防护网两类。根据主动防护网的主要特征及构成分为三类:钢丝绳网、钢丝格栅和高强度钢丝格栅。钢丝绳网和钢丝格栅采用钢丝绳锚杆和支撑绳固定方式;高强度钢丝格栅采用钢筋(可以施加预应力)和钢丝绳锚杆(有边沿支撑绳时采用)、锚垫板以及必要时加边沿支撑绳等固定方式。被动防护网由钢丝绳网或环形网(需拦截小块落石时附加一层钢丝格栅)、固定系统(锚杆、拉锚绳、基座和支撑绳)、减压环和钢柱四个主要部分构成。其防护能量一般为 150 kJ~2 000 kJ,最高达 5 000 kJ。

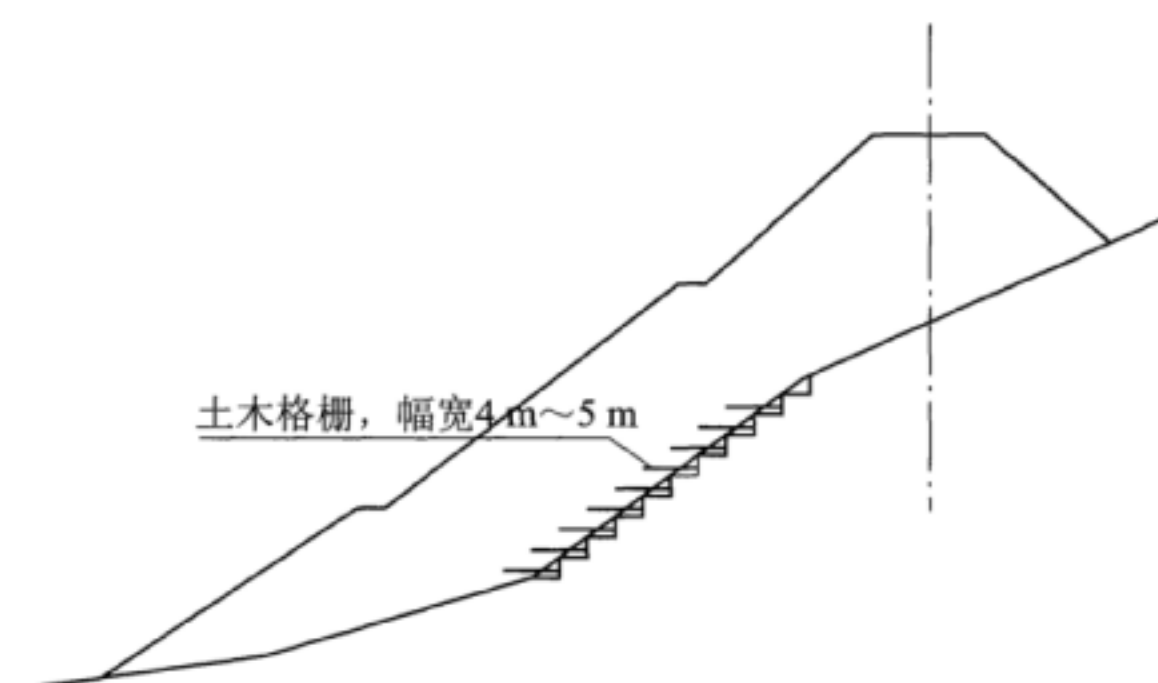
12.9.3 计算落石动能及其弹跳高度时,需根据各坡段的地表软硬程度和覆盖情况,并考虑石块弹跳次数逐次计算,但它的缺点是计算工作量较大,因此,对于一些山坡坡面形态比较简单情况,依据《铁路工程设计技术手册—路基》,采用苏联罗依尼什维里提出的简化的计算方法。

12.10.2 土工合成材料用于抑制边坡浅层溜坍和增强边坡抗冲蚀能力时,参考说明图 12.10.2—1;用于改建或增建二线帮宽时参考说明图 12.10.2—2;用于加陡边坡时参考说明图 12.10.2—3。

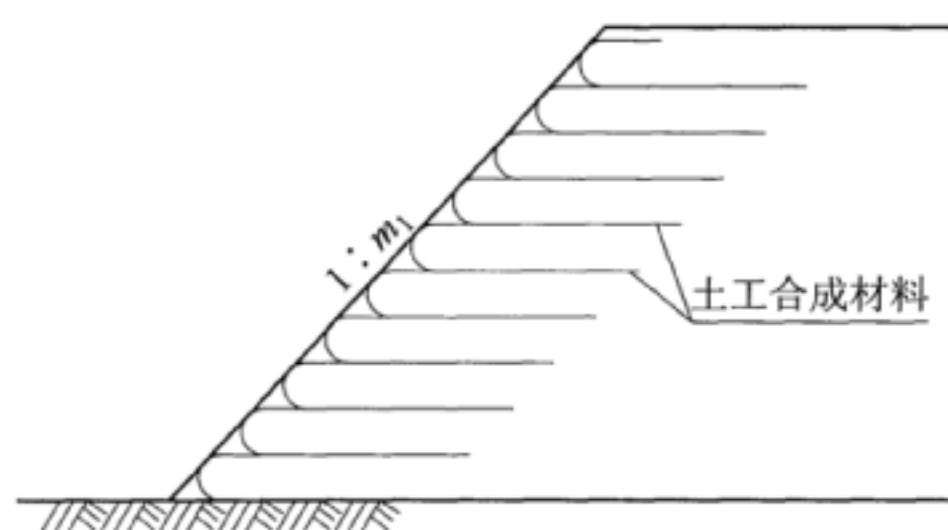
粉砂、细砂填筑的路堤边坡及粉细砂地层路堑边坡,立体植被护坡网、土工网、土工网垫等防护可以采用说明图 12.10.2—4、说明图 12.10.2—5 所示的形式。



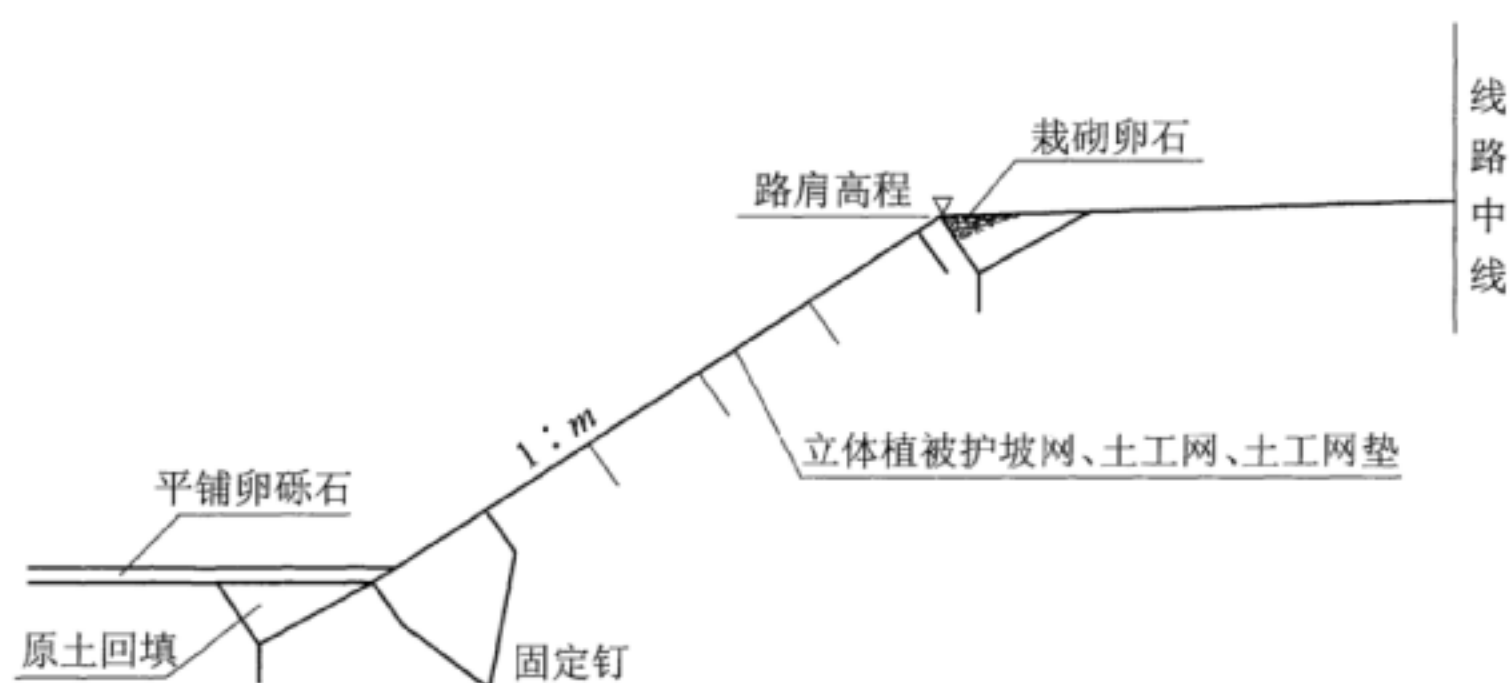
说明图 12.10.2—1 路堤边坡加筋补强结构形式



说明图 12.10.2—2 填土界面加筋结构形式



说明图 12.10.2—3 加筋土路堤结构形式



说明图 12.10.2—4 路堤坡面防护断面



说明图 12.10.2—5 路堑坡面防护断面

12.11.1 为防止铁路发生沙害,在路基两侧一定范围内,需要采取各种工程防护和植物固沙措施,用以控制地表风蚀和改变沙的搬运堆积条件,按其作用和性质分为输沙、固沙、阻沙。

输、固、阻沙等工程防沙措施,各有其特点和使用条件,按风沙活动规律有机组合为一个整体,各尽其职,层层阻拦,形成严密的防沙体系,以达到最佳防沙效果。如草方格沙障,虽是一种行之有效的固沙措施,但外缘仍不断遭到沙埋,需要设置高立式栅栏,作为阻沙屏障。包兰线中卫沙漠路基,以路基为中线,由近及远,设置砾石平台输沙带、草方格与植物固沙带及高立式栅栏阻沙带的综合防护体系,防沙效果十分显著。

12.11.3 沙漠地区气候干燥,草类沙障及防沙林带,容易引起火灾。如包兰线中卫沙漠路基两侧草方格曾多次被烧,火势蔓延,难以扑灭。餐车清除炉渣等也发生过类似事件。故为保证列车安全运营,设置防火带。

12.11.4 风沙路基两侧平面防护,除考虑其他因素外,还要根据风沙的严重程度而区别对待。风沙严重程度一般按严重、中等、轻微风沙地段进行划分。

沙漠地区铁路防护宽度是多年来一直有争议并期待解决的问题。沙障设置过宽,则造成人力物力的浪费;过窄,则路基积沙,会危及行车安全。

根据风沙活动特点,沙丘主梁移动对铁路危害不大,而造成危

害的主要因素是风沙流的运动,即以“沙舌”方式迅速前移,而威胁线路安全。观测表明,风沙流中 80% 的沙是沿着距地表 0~5 cm 高的范围内通过的,当改变下垫面的性质时,气流搬运能力也发生相应变化。故防止风沙危害的关键就在于防止和减弱风沙流的运动。

经观测,在采取工程与植物固沙措施后,风沙流的飞扬距离并不大,防护宽度在迎主导风向侧如能保持 300 m,背主导风向侧 200 m 时,即可以保证列车行车安全。包兰线中卫至甘塘段从 1958 年以来按此宽度设置沙障,经 40 多年来的实地观察,采用此宽度控制铁路两侧的流沙,就能在数年内维持列车在沙漠中基本正常运行,且又较经济实用,但适宜的沙障宽度,还有待于作进一步的探讨。

防护带和植被保护带宽度,一般按下列规定设置:

(1)严重风沙地段,迎主导风向侧防护带宽度为 250 m~300 m,植被保护带宽度不小于 400 m;背主导风向侧防护带宽度为 100 m~200 m,植被保护带宽度不小于 150 m。

(2)中等风沙地段,迎主导风向侧防护带宽度为 150 m~200 m,植被保护带宽度不小于 300 m;背主导风向侧防护带宽度为 100 m 左右,植被保护带宽度不小于 100 m。

(3)轻微风沙地段,迎主导风向侧防护带宽度为 100 m 左右,植被保护带宽度不小于 200 m;背主导风向侧防护带宽度为 50 m 左右,植被保护带宽度不小于 50 m。

列车运行速度越快,铁路等级越高,对钢轨、轨枕的要求越高,对沙害控制越严,故防护带和植被保护带宽度取大值。

12.11.5 平铺粗粒土的材料一般选用卵石土、碎石土、粗砾土、矿渣、炉渣等;阻沙沙障包含草方格、苇把、树枝栅栏、黏性土埂等;挡沙墙或高立式沙障一般含挡沙沟堤、土坯墙、干砌片石墙及高立式沙障、挡风墙等。

12.11.6 在年降水量大于 250 mm 的草原地区,固沙造林较容

易,除可生长旱生植物外,还能生长中生植物,故当有水源可以利用或年平均降水量大于 250 mm 时,采用植物固沙;在年降水量为 100 mm~250 mm 的半荒漠地区,湿沙层含水量为 2%~3%时,在人工沙障的配合下,能建立稀疏的植被,但随着植物生长,耗水量增大,植物处于衰退状态,同时沙面出现结皮和大量苔藓类,使流沙固定,故当年降水量在 100 mm~250 mm 时,采用植物固沙。

12.11.7 经验证明,防护林带不仅起到了很好的防雪作用,而且有绿化造林的意义。因为防护林带既是一种永久的防护措施,又能收到综合利用的效果。防护林带的防护效果与林带结构(林带布置、高度、透风度)有密切关系。防护林带要选用上、下紧密,使风雪流不易通过的乔、灌木混合林,使林带起到长期的防护作用。

12.11.8 固定式防雪栅栏高度不小于 3.0 m,活动式的高度为 1 m~2 m,其位置可以距路堑顶或路堤坡脚外 30 m~50 m。

12.12.1 多年冻土地地区路基,为使多年冻土天然上限变化较小,路堤基底要加强保温,如塔头草的空隙要以反扣塔头草充填;在地下冰发育的地段,甚至加设泥炭或泡沫塑料板等保温层,以加强保温。青藏高原地区当路堤修筑后,地基人为上限上升较高,形成冻土核,使人为上限的曲度比较缓和,以防止路堤沿冻土核表面滑动。为防止阳坡侧人为上限的下降及缓和地基两侧人为上限变化的不一致性,要在路堤两侧或向阳侧设置保温护道,并要加强地面排水,防止地面水渗入地基等综合措施。仅采取一项或两项措施,往往收不到好的效果。

在青藏线工程中,采用了路基下部设通风管、热管降温、设置工业保温材料保温层、片石气冷路基、路基边坡设置片(碎)石护坡等措施。修筑了试验段,立项进行了试验研究,证明有效。青藏线块、片石通风路基是在路基下部设置倾填块、片石,厚度 0.8 m~1.2 m(试验段厚度为 1.5 m),块、片石采用粒径 0.1 m~0.3 m。碎石或块、片石边坡防护为在路基两侧或一侧边坡倾填碎石或块、片石,厚度 0.8 m。由于青藏高原冻土和东北地区高纬度冻土两

个地区的自然环境、地形、水文地质条件、气候、人文特点均有很大的不同,因此青藏线采用的块、片石通风路基以及碎石或块、片石边坡防护能否在东北地区采用,值得研究。东北地区由于降水量大(一般年均降水量在 500 mm 左右,而青藏高原年均降水量小于 300 mm),而且地形及植被发育的特点、地表径流及地下水均较发育,若以片、块石填筑,表水渗透路基,水流将导致基底热融,冬季往往不能回冻。热融随时间而发展,将影响路基稳定。因此,东北地区不能采用,若采用需通过试验工程观测其效果而定。

12.12.2 隔热保温材料属低热导性材料,其导热系数约为填土的 $1/5 \sim 1/20$ 。从路基热阻的角度出发,隔热保温材料相当于一定当量厚度的填土,铺设隔热保温层相当于增加了路基填高。青藏铁路试验段研究表明,在路堤基底以上 0.5 m 处铺设 10 cm 厚的保温材料, EPS 板和 PU 板的热阻分别相当 1.34 m 和 2.04 m 厚填土的热阻, PU 板(聚氨酯板)较 EPS 板(聚苯乙烯泡沫板)能够很好地阻隔热量向下传输。

由于受路基高度的限制,路基左右侧温度场存在很大差异,在低路堤中使用保温板的同时,两侧使用碎石护坡或热棒等综合工程处理措施,以调整路基左右侧温度场。

12.12.3 在路基横断面方向埋设水平通风管,扩大了空气与路堤的接触面,增加了空气向路堤及地基传输能量的途径,利用冻土地区负积温远大于正积温的特点,使传入路堤及地基的冷量大于传入的热量,增加路堤及地基中的冷储量,降低冻土地温,保护多年冻土。

通风管材质优先选用钢筋混凝土管,铺设采用挖槽法施工,使用时要满足以下条件:

- (1)寒冷、多风且风力强劲的气候环境。
- (2)路基填土高度不小于 4.0 m。

12.12.4 热棒是主动防护措施中应用范围最广的冻土保护技术,适用路堤、路堑,但其造价较高,使用时建议进行技术经济比较。

12.12.6 青藏铁路试验工程研究表明:片石层通过强迫对流作用传输的冷量大于传入的热量,负积温约为正积温的 3 倍,增加了地基的冷储量,降低了地温,保护了多年冻土。青藏铁路填土高度 $2.5\text{ m} \leq H < 3.5\text{ m}$ 时,片石层厚为 1.0 m ,填土高度 $H \geq 3.5\text{ m}$ 时,片石层厚为 1.2 m 。

12.12.7 护道尺寸的确定要满足下列要求:

(1)位于人为活动频繁或地面排水困难的地段,要优先设土护道,其尺寸取大值。

(2)位于岛状多年冻土带或地温较高地面保温条件差的地段,护道尺寸取大值。

(3)朝向差别明显地段,向阳侧的护道尺寸取大值或仅在向阳侧设置护道。

(4)青藏高原地区可以采用片(碎)石保温护道,片石粒径为 $0.1\text{ m} \sim 0.3\text{ m}$ 。保温护道的尺寸要采用表 12.12.7 中细粒土的小值。

据东北地区多年的观测资料分析,当路堤有一定高度时,由于两侧朝向不同,日照条件的差异,对地基多年冻土层上限的变化有明显的影响。因此在设计保温护道时要结合路堤的高低与两侧朝向的不同,对自然条件影响的差异进行具体分析。条文中表 12.12.7 保温护道尺寸系东北地区经验,在地面保温条件差的地段,保温护道的断面尺寸选用表中的大值;在排水困难地段,优先选用土护道并取大值。用黏性土填筑的护道,可以阻挡和减少路堤坡脚处的地面水渗入地基,并起反压作用。尤其是在沼泽地段,可以阻止地基泥炭或其他软弱土层向两侧坡脚挤出,从而保证路堤不致产生大量沉降。保温护道材料为聚苯乙烯泡沫隔温板时,其表面设 0.2 m 厚细粒土防护,是为使其不致潮湿而长期起到良好的保温作用。

多年冻土地区路基的保温材料在东北地区过去多采用泥炭和黏性土(泥炭多于黏性土)。国外(主要是美国、加拿大)从 20

世纪 60 年代以来现场试验工程采用聚苯乙烯泡沫(即 EPS)隔温板,保温隔热效益较显著,其特点是保温性能良好、容重小、吸水率低,具有一定的抗压强度,使用时间上亦能保持较长久(可用 30 年)。我国在 20 世纪 70 年代由铁科院西北所在青藏线风火山试验路基中首次进行了铺设和观测,收到明显的隔温效果。1992 年既有牙林线 K382+775~+900 等处多年冻土路堤严重热融下沉病害地段试验铺设 EPS 板保温护道材料取得成功,隔温效果很好,路基热融下沉显著减少,而且具有施工方便、使用寿命长的优点。

EPS 板采用双层铺设时,要相互搭接交错铺设,避免产生对缝和通缝,以防止产生冷桥,降低保温性能。施工时间要严格控制,避免在 7 月、8 月、9 月三个月内进行施工。

在青藏铁路多年冻土区,由于低路堤及路堑地段无法采用通风路基结构形式,目前主要采用了铺设保温材料保护冻土的办法。保温材料有聚氨酯板、聚苯乙烯泡沫板和挤塑聚苯乙烯板,即 PU 板、EPS 板和 XPS 板。有关测试结果表明,PU 板和 EPS 板两种材料保温效果均较好,但两种材料的抗压强度及变形对保温效果影响很大,当施加荷载约 50%强度时,变形量增大,导热系数急剧增加,且卸载后变形基本不可恢复。XPS 板的保温性能、压缩强度及耐久性更为优良。

路基填土高度不能够满足路基最小设计高度时,要采用工业保温材料保温,材料可以选用 XPS 等强度高、韧性好的板材,埋设在地面以上 0.5 m 处,并避免在高温季节进行铺设施工。

12.12.8 在路基边坡上覆盖片石层或碎石层,粒径 5 cm~8 cm。片(碎)石空隙内的空气在一定温度梯度的作用下产生对流,增强了地层冬季的散热,减少了暖季的传热,遮蔽了太阳对原路基坡面的辐射,起到降低地温、主动保护冻土的效果。片(碎)石护坡不仅作为高原铁路冻土路基的主动保护措施,也作为运营期的病害整治。

13.1.3 路基排水系统设计所需要的基础资料,如汇水面积、当地地区暴雨强度、既有排水体系、地形、地下水情况等,均要进行详细的现场调查和勘察,以保证所采取的设计方案、措施合理有效。

13.1.4 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。

13.1.5~13.1.6 路基各种排水设施所采用的材料,包括片石砌体、混凝土、管材、土工合成材料等,均要按照不同使用条件满足相应的规范要求。为了保证侧沟、天沟、排水沟的质量,对设计速度 200 km/h 铁路的水沟材料做了严格规定。

特殊土(岩)及不良地质地段路基的排水设计,结合工程特点进行综合考虑。

13.1.7 路基地面排水设计流量与地区区域性暴雨强度、降雨重现期、工程特点、地形条件等密切相关,进行设计流量确定时,在进行详细了解和调查的基础上采用本规范提供的公式进行计算。

降雨重现期的选定同铁路的重要性、地区类型等有关,设计重现期的规定,一方面会影响铁路设施的使用和受水侵害的风险大小,另一方面会影响排水设施尺寸及工程投资。

重现期是指等于和大于(或等于和小于)某水文特征值平均多少年可能出现一次,也就是平均的重现期间隔,所以又称为多少年一遇。需要特别指出的是所谓“重现期”并不是说正好多少年出现一次,重现期并非周期,它带有统计平均的意义,说得更确切一点是表示某种水文变量大于或等于某一指定值,每出现一次平均所需的时间间隔数,如 $H_{24p}=300\text{ mm}$ 的频率为 1%,并不是指某地 24 h 雨量大于等于 300 mm 正好 100 年出现一次,事实上也许 100 年中这样的值出现好多次,也许一次也不会出现。只有在大量的过程中或对长时期而论是正确的。对于洪水,它们的频率 $P<50\%$ (破坏率),重现期 T 就是频率 P 的倒数,即 $T=1/P$ 。

水是铁路路基强度和稳定性降低的重要因素,需要对其排水

设施进行合理的设计,排水设施合理设计其中一个重要因素是设计降雨重现期的确定。重现期的确定,会影响到铁路设施的使用和完好、受水侵害的风险大小和排水设施的断面尺寸,即工程造价,同铁路的重要性以及浸水或水淹对铁路使用和周围地区的影响程度有关,也与各项排水设施的排水目的和类型有关。因此,合理实用的选择设计重现期才能较为准确地计算出设计流量,从而合理地确定排水设施的尺寸。通过对水利、公路、桥涵和铁路工程降雨重现期的对比分析,不同等级铁路的重现期值不一样,等级越高重现期越大。根据《铁路路基排水设防标准及小流域流量计算研究》成果,设计速度 200 km/h 及以上铁路、重载铁路选用 50 年,设计速度 200 km/h 以下铁路选用 25 年~50 年。

当铁路排水系统与地方防排洪等衔接时,设计重现期取二者之间的大者。

13.1.8 路基排水水文计算要结合当地的地区经验选取合理的参数和方法,当缺少地区经验时按照本规范的有关内容进行相关计算。

13.1.9 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。

13.2.1 本规范路基地面排水系统包括路堤排水、路堑排水、路基面防排水以及可能停滞在路基范围以内的地面水。将路基本体范围内的地面水顺畅排出,将流向路基本体的地面水进行截流并引排,以达到保持路基本体范围土体的干燥。

13.2.2 水对土体的浸湿、饱和及冲刷作用常是促使路基病害发生和发展的重要原因之一。为了保持路基能经常处于干燥、坚固和稳定状态,首先做好排除地面水工作,即将可能停滞在路基范围以内的地面水迅速排除出去,并防止路基范围以外的地面水流入路基范围内,不使其下渗浸湿路基土体或形成漫流冲刷路基边坡,尤其是对受水浸泡后易于松软或膨胀的特殊土、易于软化的岩石

路基以及地质不良地段的路基更要注意做好排水工程。

为了充分发挥路基地面排水设施的功能，一定做好出水口的选择和处理工作。对于排水设施，要做到使水流顺畅，不出现堵塞、溢流、渗漏、淤积、冲刷、冻结等。

13.2.3~13.2.4 排水设施的设置及其设计，要与具体路基工程防护加固措施相适应。路基地面排水设施不得兼作其他用途，也不得排入引用水源，切实做好出水口的选择和处理，充分利用土地、保护农田水利排灌系统、注重环保等国家政策。

13.2.5 对各种地面排水设施的平面布置、沟底纵坡进行了规定。

不良地质地段的路基工程处理，防排水作为工程处理措施之一，受到很高的重视。在这种情况下，路基地面水的排出要与具体工程措施相适应和协调，确保工程稳定和排水顺畅。如多年冻土地区路基、黄土地区路基、膨胀土地区路基、软弱土地区路基、滑坡地区等。

特殊土地区，为加强排水设施的稳定性和防止渗漏，对排水设施的基础要进行必要的处理，并对沟渠进行防护。

为了使水流尽快排出，避免冲刷、淤积堵塞，各排水设施的沟底纵坡需满足一定的要求，坡度不小于 2‰。

为了防止水流溢出并具有一定的安全储备，各排水设施常需要预留一定的安全高度，沟顶高出流水面至少 0.2 m。

为了将水流尽快排出路基体外，要选择最短的路径，否则将易产生淤积、堵塞、渗漏、溢出等情况，不利于路基稳定。一般情况下，排水沟、天沟的单面排水坡段长度不要超过 400 m。

13.2.6~13.2.7 为了避免天沟、排水沟集中水流对地表的冲蚀，从而改变原有地形地貌，因此需对其末端进行消能及沉淀处理。

对于沟渠发育的自然或灌溉地区，坚持“一沟(渠)一涵(桥)”的设计原则，避免强行改沟改渠，破坏原有水系的畅通。同时，考虑到路基长期下沉的特性，严禁采用埋设管道的方式疏通原有水系。

13.2.9 本条对填方路基排水设计进行了规定:

(1)路堤排水的主要目的是引排坡面水流和路基面水流,而坡面水的出口主要是指设置在路堤坡脚外的排水沟,当无排水沟时,通过散流的形式流入天然地表。

(2)为了保证路基的稳定性,排水沟要设置在天然护道外,并根据地势情况单侧或双侧布设。

(3)路基填方段排水沟的主要作用是汇集路堤坡面水并截流地势较高侧天然地面水。由于按照一般路基基床的规定,基床结构层的厚度为 2.5 m,该厚度内受到列车动应力的影响最大,一旦地面积水或形成局部径流,可能使基床受水浸泡或毛细水上升,将严重影响基床的强度,因此在路堤两侧边坡高度小于 2.5 m 的地段,若地势较为平坦时,于两侧设置排水沟。若虽然两侧边坡高度小于 2.5 m,但路基横向地面坡度明显时,经调查研究确认不会存在地面积水或形成地面局部径流时,可以仅在上游侧设置排水沟。

(4)在现有路基工程相关设计规范中,均对路堤坡面的防护做出了明确的规定。尤其是在绿色通道建设中,主张优先采取绿色防护工程。为避免水流冲刷边坡坡面,规定采用带截水槽的结构形式。

(5)不良地质或特殊土地段,由于工程对水的敏感性比较强,要根据路堤稳定性的要求来考虑,或按个别设计确定。如多年冻土地地区地面水的排除,要结合具体工程措施来进行。当需要设置挡水埝时,要充分考虑挡水埝与路堤坡脚之间的降水,使之通过线路纵向顺畅排入桥涵设施,避免经常性积水产生的水化热,影响多年冻土地基的稳定。当经过充分研究论证后,可以在路堤坡脚设置土护道,以达到拦截上游侧地表水的作用。

(6)对于边坡上的平台截水沟,由于受到工程措施的影响,其位置要根据具体情况而定,但须做好平台截水沟的出口处理。

13.2.10 侧沟的主要作用是排除路堑坡面及路基面汇入的水流。

位于挖方地段的路基,其路肩外两侧均要设置侧沟。干旱与极干旱荒漠带,一次降雨能全部渗入沙层不产生径流时,可以不设侧沟。

当路堑边坡高度较高(通常大于 15 m),坡面形式采用台阶式时,为截流上方坡面的水流,于台阶处设置截水沟。

一般情况下侧沟采用梯形或矩形断面形式。此处的“特殊要求”是指,深长路堑且反坡排水地段的侧沟,在无条件设桥涵时,为减少开挖量,采用带槽孔盖板的矩形断面。

对于采用渗水性较好材料进行基床表层换填的地段,为了较少或阻止降水下渗到基床底层,于基床表层底部设置防水土工膜。为了使基床表层底部的渗水能够顺利进入侧沟,规定侧沟底面高程要低于基床地底面高程。

天沟不能向侧沟排水,如受地形限制,难以选择出水口时,且无其他替代措施时,方可利用急流槽(吊沟)或急流管将天沟的水引向侧沟。在选择急流槽下游侧沟断面时,需考虑天沟流量的汇入,通过水力计算确定。

为了保证隧道的安全和正常使用,隧道进出口路堑侧沟水流一般不引入隧道。当路堑长、纵坡大时,则反坡排水工程量大,而且出水口也难以选择,在这种情况下,《铁路隧道设计规范》TB 10003—2005 中给出了规定。

天沟的作用是拦截路堑坡顶的地面水,不使其流入堑坡形成冲刷,进而影响堑坡的稳定性。因此,其位置选择要根据堑坡的稳定程度而确定,一般情况下不小于 5 m,必要时采取防渗漏措施。当堑坡地层不良、边坡较高、坡顶受到控制时,通过相关的计算来确定天沟位置。

急流槽一般采用混凝土或浆砌片石砌筑的矩形断面。

13.2.11 对于普通单线及双线铁路路基,路基面水通过设置排水横坡进行引排,而客运专线铁路则根据路基面结构及轨道类型,采取措施加强横向排水,常用的措施是将路基面水纵向集中后横向引排。

直线地段的无砟轨道路基面水通过横向坡度以散流的形式排出;曲线地段,为避免积水,通过设置集水井及横向排水管集中引排,集水井及横向排水管的布置、埋设深度等需根据降水量大小和防冻要求等确定。

为确保路基面水及时顺畅的排出,附属设施需预留泄水孔。

沥青混合料的技术指标要满足《客运专线铁路无砟轨道路基面防水层沥青混合料暂行技术条件》(科技基〔2008〕74号)的要求。

既有线改建地段的路基面排水,由于受既有工程的限制,需结合帮宽或起落道的情况设置不小于4%的排水横坡。

增建二线地段,根据线路条件设置排水横坡,并引排线间水。

对于黄土、膨胀土等水敏感性较强的特殊地区路基,根据工程措施的需要,设置防水层,避免水分下渗而影响路基或地基的稳定性。

13.3.1 地下水在路基范围内的存在和活动,往往引起各种路基病害,主要有:

(1)浸湿软化:地下水浸湿路基土体,使其强度降低,在列车荷载及其他外力作用下,路基将产生各种病害,如基床翻浆冒泥、挤出下沉、边坡表土滑动、溜坍,路堤溃爬或沿倾斜基底面滑动等。地下水在路基旁侧的山坡地层中活动,可降低山坡土体及其结构面的强度,影响其稳定性,导致崩塌、滑坡等病害的发生。

(2)冻胀及盐渍化:路基表层冻结时,通过毛细水在冻结峰面处聚集形成冰晶和很厚的凝冰析离体,引起强烈冻胀,使路基发生冻胀变形,冻层融化时又会产生翻浆冒泥;在地下水含盐量大的地区,由于毛细水的活动,可能使路基土体盐渍化,引起路基松胀等病害。

(3)潜蚀:地下水可溶解土中的易溶盐类,地下水径流可以带走土中的细颗粒,这些均能降低地基土的强度,甚至形成地下洞

穴,引起地表塌陷,进而引起路基下沉、坍塌等病害。

(4)流砂及液化:粉细砂地层被地下水饱和可能随地下水流动形成流砂,在地震作用下或列车荷载作用下产生液化,引起路基下沉、滑动等病害。

因此,通常在以下情况需要考虑采取措施进行地下排水处治:

(1)路堑边坡体内含水层出露或路堤基底范围内含水层出露时,需要设置渗沟,将含水层范围内的地下水进行拦截并引排至路基范围之外。

(2)在地下水位高而填土高度受到限制、路堑基床顶面距离地下水位很近时,为降低路基的湿度,提高其承载能力,需设置渗沟或采取其他措施以降低地下水位。

(3)土质路堑边坡坡体含水量很大且易产生坡体滑动时,可以设置渗沟以疏干坡体。

(4)在特殊岩土或特殊条件路基地段,为配合路基稳定性处理措施,可以采取拦截或疏干地下水。如滑坡路段、黄土路段、多年冻土路段等。

13.3.2 地下水大多数情况是被岩土所覆盖,隐蔽性很强,调查需要专门的勘测,工作量较大。随着铁路标准的不断提高和探测技术的不断进步,对于水文地质条件复杂的地下水文状况,要求进行较详细的调查、勘探和测定,以取得较为可靠的设计资料。地下排水设计要掌握以下资料:

(1)地下水的类别,包括包气带水、潜水、承压水(自流水)。

(2)地下水水位、流速、流向、流量、环境类别及作用等级、是否承压等。

(3)地下水的平面分布、埋藏深度、运动规律、补给来源、出露情况。

(4)含水层与隔水层的组成情况,含水层的渗透系数等渗流量计算所需参数。

(5)上层滞水和潜水的分布和毛细水达到的范围。

(6)必要的地质平面图、纵断面图和横断面图。

(7)当地工农业及生活用水情况。

13.3.4 由于地下排水设施维修较为困难,为减少维修工作量,防止淤积,要从排水设施底部纵坡和反滤层两方面进行考虑。所以这里规定“不应缓于 5‰,在困难情况下,不应缓于 2‰”。当采用 2‰的排水纵坡时,要采取其他防淤积措施,如加强反滤层、加大排水设施尺寸、缩短检查井间距、增加出水口等。

13.3.9~13.3.10 反滤层的主要作用是防止含水地层中的细颗粒被渗流带走,淤塞排水设施。反滤层材料要满足不均匀系数(C_u)、平均粒径(d_p)及孔隙度(n)的要求。为了方便施工,反滤层要设计为不少于两层,一般可用Ⅰ型或Ⅱ型两种,其中Ⅰ型材料的 $C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \leq 4, n=0.35$;Ⅱ型材料的 $C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \leq 2, n=0.35$ 。平均粒径(d_p)按照式(说明 13.3.9)求得:

$$\frac{1}{d_p^3} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{d_{\text{最大}}^3} + \frac{1}{d_{\text{最小}}^3} \right) \quad (\text{说明 13.3.9})$$

在施工时,也可以用 d_{50} 代替 d_p 。

在进行渗水沟(渗水井)填充料的选择时,需同时满足以下两个条件:

(1)填充料颗粒不能由缝隙(或孔眼)落入排水涵管。

(2)填充料中的小颗粒不能被渗流冲移而落入排水涵管。

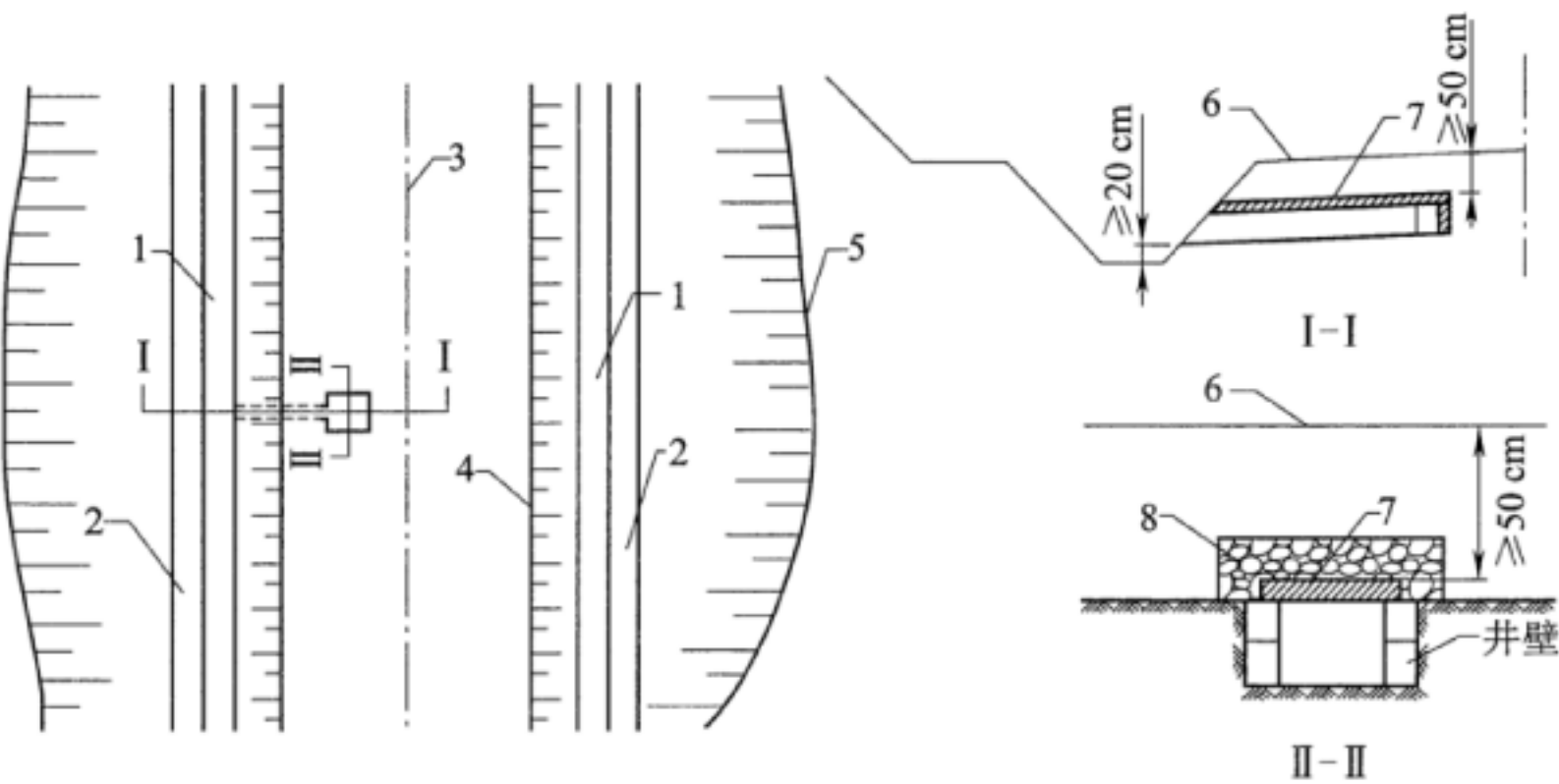
13.3.11 路基范围内有泉水出露时,要引起足够的重视,并采取措施进行引排(说明图 13.3.11)。

13.3.12 当地下水埋藏较浅时,可以考虑与地面水引排合并考虑,但要保证足够的过水能力,处理好防渗、防冻等(说明图 13.3.12)。

13.3.13 边坡渗沟主要用于疏干过湿的土质边坡坡体和边坡上出露的上层滞水,其布置方式、结构构造、出口处理等均需根据具体情况来确定(说明图 13.3.13)。较小范围的局部湿土或

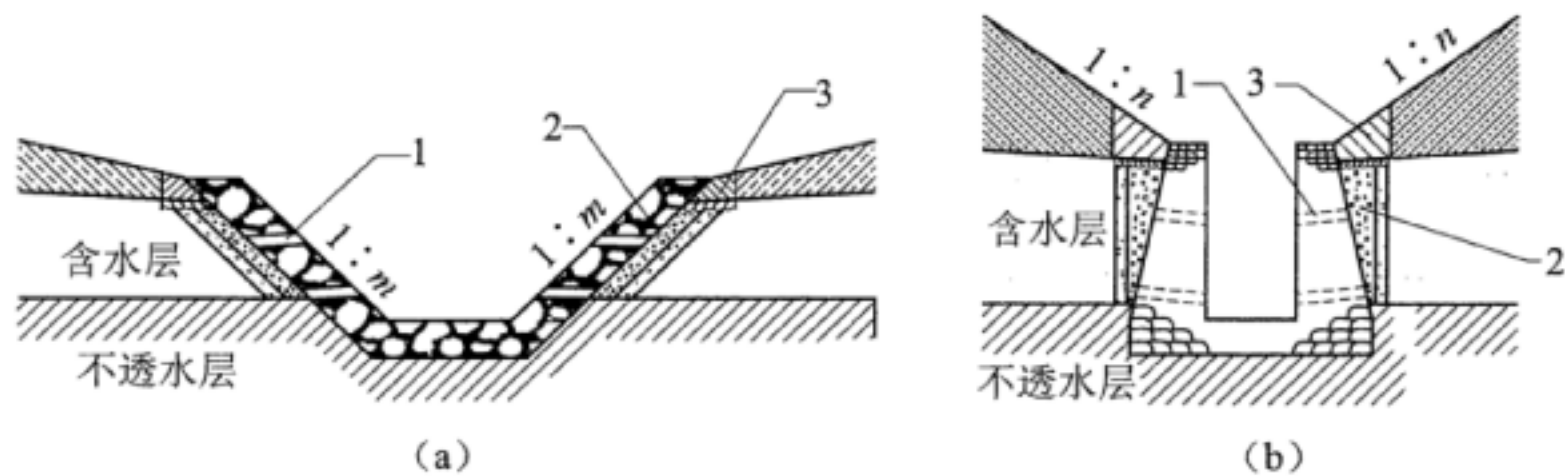
有泉水出露处,一般用条带形布置;较大范围的局部湿土,一般用分岔形布置;边坡表土普遍潮湿时,一般用拱形与条带形相结合的布置。

13.3.14 引水渗沟的主要作用是降低路堑范围内的地下水和疏干其附近土体,可以根据具体情况于侧沟下或侧沟旁设置,一般推荐设置在侧沟下。截水渗沟兼有截断流向路基体水流的作用,一般两侧同时设置(说明图 13.3.14)。



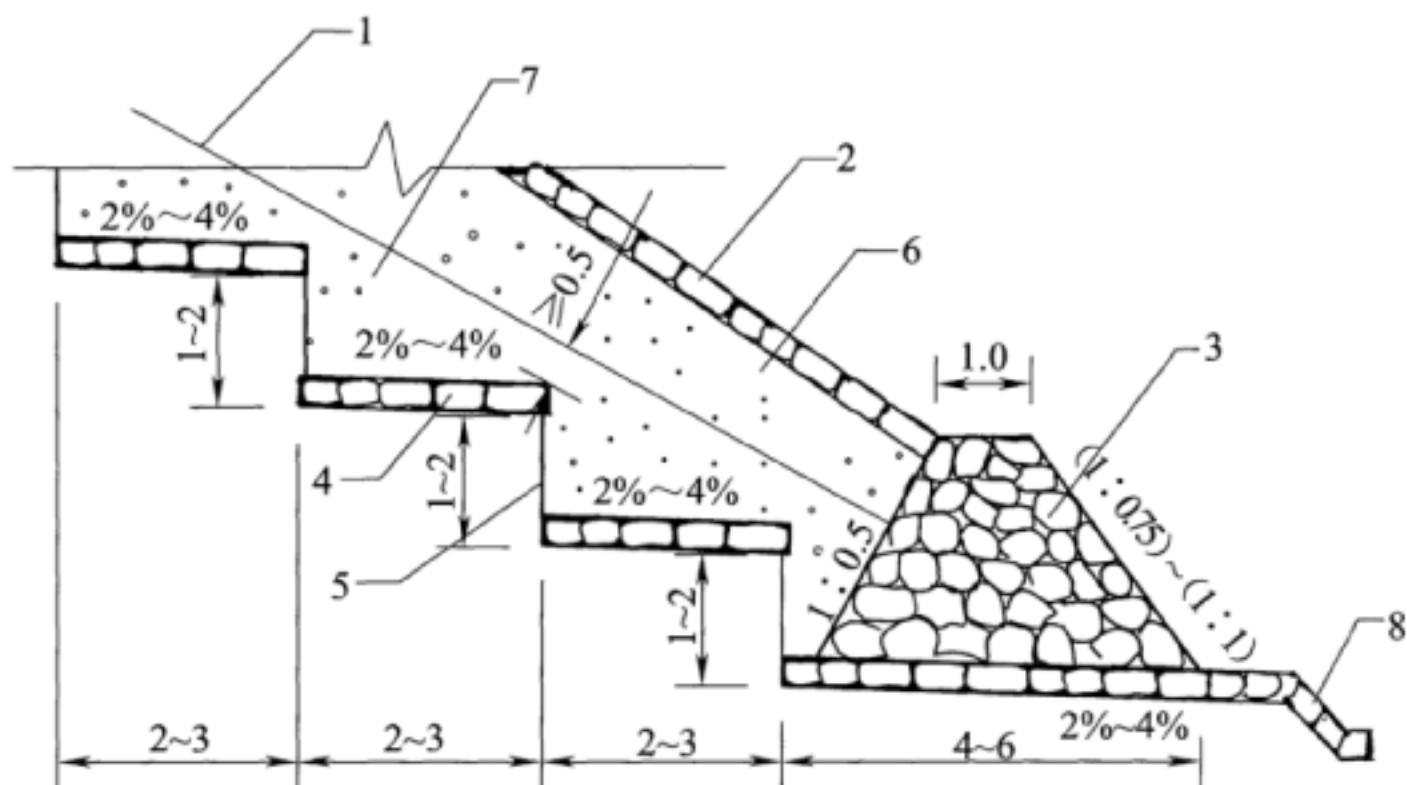
说明图 13.3.11 疏导泉水的暗沟构造图

1—侧沟;2—侧沟平台;3—线路中线;4—路肩线;
5—堑顶线;6—路基面;7—盖板;8—碎石或砾石



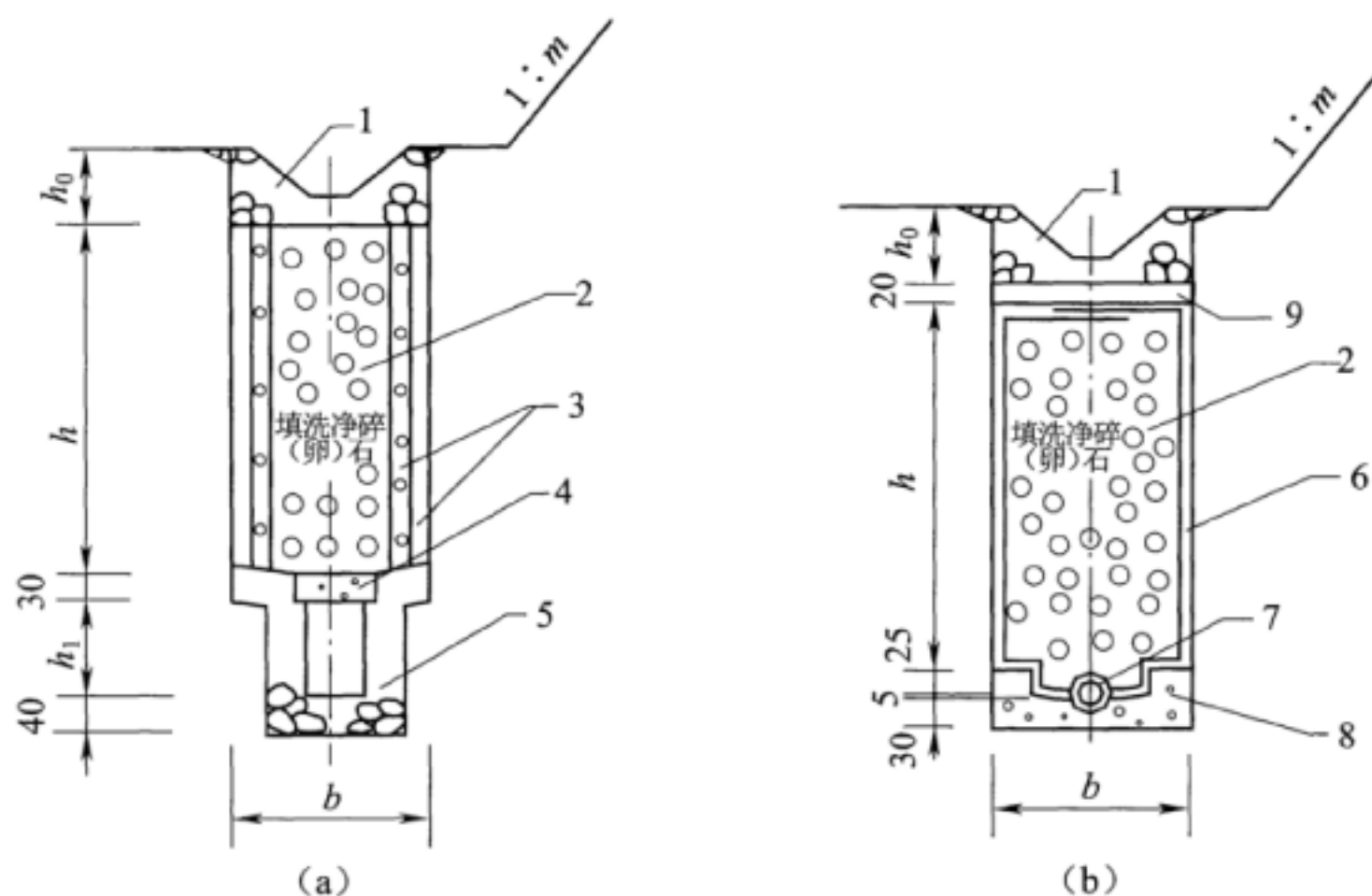
说明图 13.3.12 砌片石明沟(槽沟)断面图

1—渗水孔;2—反滤层;3—夯填土



说明图 13.3.13 边坡渗沟主沟纵断面及出水口示意图(单位:m)

1—潮湿与干燥稳定上层分界线;2—干砌片石覆盖;3—干砌片石垛;4—浆砌片石铺底;
5—反滤层;6—小颗粒渗水回填料;7—大粒径石料填充;8—侧沟或排水沟



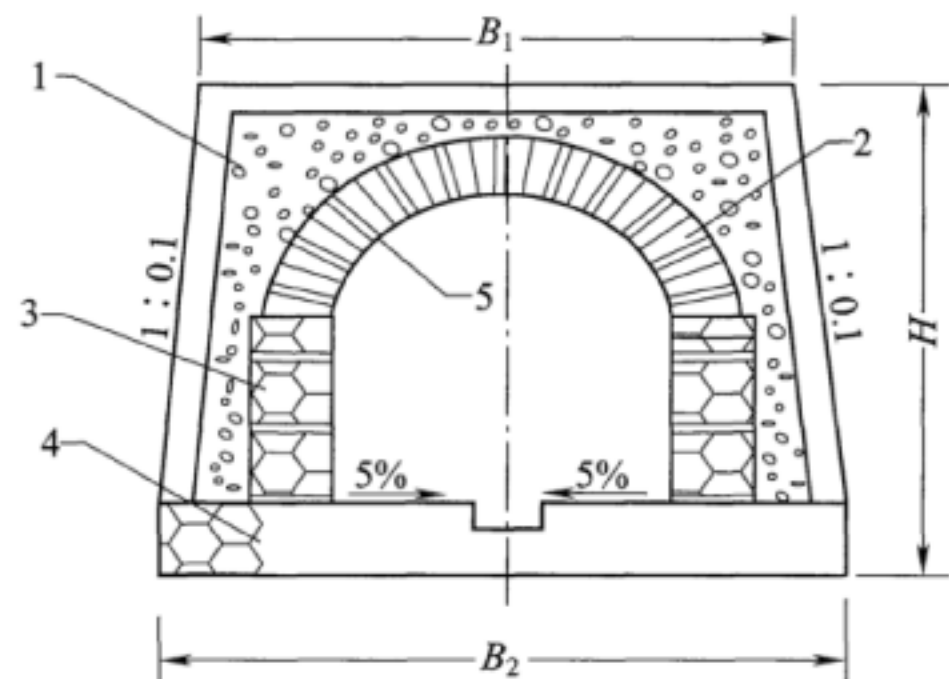
说明图 13.3.14 侧沟下引水渗沟示意图(单位:cm)

1—侧沟;2—排水层;3—反滤层;4—混凝土盖板;5—排水槽;
6—土工布;7—排水管;8—混凝土基座;9—垫层

引(截)水渗沟要选择适宜的出口,并对出口进行加固处理,一般采用端墙式出口。

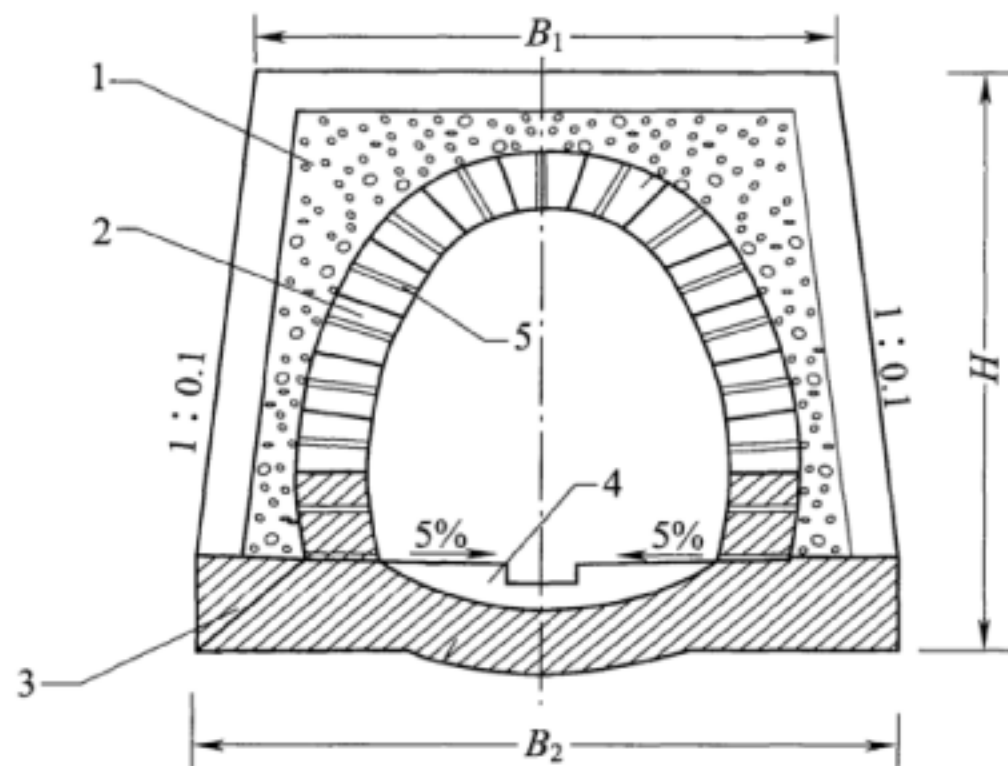
为便于检查和维修,需间隔一定距离设置检查井。

13.3.15 在较破碎岩层或中密以上碎石类土层内可以选用具有顶拱和垂直边墙的拱形断面,直墙式断面如说明图 13.3.15—1 所示;在松散的碎石类土层或夹有少量的卵石、碎石的黏性土层内可以选用具有顶拱及底拱和曲线形边墙的拱形断面,曲墙式断面如说明图 13.3.15—2 所示。



说明图 13.3.15—1 直墙式渗水隧洞断面示意图

1—反滤层;2—拱砖;3—浆砌片石边墙;4—浆砌片石底板;5—渗水孔



说明图 13.3.15—2 曲墙式渗水隧洞断面示意图

1—反滤层;2—拱砖;3—混凝土底板;4—混凝土过水面;5—渗水孔

13.3.16 平式钻孔排水的主要功能是引排地层内的地下水或分散的局部凹地集中的地下水,或与立式集水渗水井群配合使用以疏干潮湿的土体。在国外多采用仰斜式钻孔代替渗水隧洞,以减少工程量和施工难度。

13.3.17 立式集水渗水井主要用于集引具有多层含水层的复杂地层中的地下水和潮湿土体中的自由水,一般成群布置并与平式排水设施配合使用,以降低地下水位或疏干其附近的土体。其布置方式、数量、断面形式等根据具体情况或计算确定。为了防止淤塞,要保证顶部足够厚的隔水覆盖层。渗水井出水量的计算需视具体情况参照有关水力计算方面的专业书籍进行。

渗水井或渗水管个数可以按式(说明 13.3.17)估算:

$$N = \frac{1}{\beta} \cdot \frac{W}{QT} \quad (\text{说明 13.3.17})$$

式中 W ——需要排出的总水量(m^3);

T ——要求达到预定下降水位所需的时间(s);

Q ——单井(或单管)的出水能力(m^3/s);

β ——井(管)群相互干扰系数,可以取 0.24~0.33。

13.3.18 检查井是地下排水的主要附属设施。为了便于清扫和疏通地下排水沟管,在上游端头和中间情况变化处设置检查井与地面连通,井管外露部分采用铸铁封盖。

检查井是延伸较长的平式排水设施的附属设施,为检查维修和通风之用,一般情况下要采用圆形直立式。

井身通常采用内径为 1 m 的圆筒结构,筒壁厚度按其埋置深度、所在土层土的性质以及所用建筑材料的强度通过计算确定。井筒一般用预制管节拼装,每节的高度结合起重吊装设备的能力一并考虑,一般为 0.6 m。埋置深度在 12 m 以内的井筒,用 C15 混凝土制作;埋置更深的井筒,用 C20 钢筋混凝土制作。井身下部可以设计成与下卧的平式排水主体设备的顶部直接连接,也可以设计为与一个基座相连接,而基座与平式排水主体设备相连接。

当基座(或主体设备)的内径比井筒的内径大时,井筒与基座相连的最下一个管节采用上小下大的正截圆锥形;基座的底面要低于主体设备的排水孔道底部不小于 0.2 m~0.3 m,并在井筒内壁设置便于工作人员上下的梯蹬。

井口一般用斜截圆锥形管节收口,其顶部一般高出附近地面约 0.3 m~0.5 m,并设井盖,以防地面水流入或杂物落入井内,兼防非工作人员随意入井。在寒冷及严寒地区,一般在井内加设一个防寒木盖。

检查井也可以兼起集水作用,此时,将井身通过含水层的部分管节留出交错排列的渗水孔眼,并在其外围设置与孔眼大小和含水层性质相适应的反滤层。

14.1.4~14.1.6 改建既有线与增建第二线并行路基设计中,对于需跨线取弃土和填筑路堤、地基加固等施工可能侵限、影响既有线运营安全、严重限制行车速度及控制工期的改建与增建第二线路基地段,要有方便施工、保证行车安全和不影响或少影响通过能力的过渡措施的设计,如设置施工便线、施工运输尽量利用立交桥涵进行等,以减少跨越轨道。对繁忙干线修建便线,当受运营组织要求不能减速或限速行驶时,便线路基面宽度、路基结构、填料、压实标准、工后沉降值等主要技术标准一般不低于既有线标准。

14.2.5 由于近些年铁路电气化提速改造、标准化建设要求,路肩上设置电缆槽、接触网立柱、声屏障以及防护栅栏等,使得既有路肩较宽。改建时要结合既有路基面宽度、路肩上各种设备布置要求、运营养护方式要求等确定。除特殊困难地段外,一般不小于既有路基面宽度,且路肩宽度一般不小于既有路肩宽度。

14.2.6 既有线路基帮宽:

1 当不改动既有路基面高度,仅帮宽既有路基时,为使道床下积水能迅速排出,故既有路肩形状做成 4%横坡,以利排水。

2 既有路堤边坡坡度历经多年,其既有坡度值陡缓不一,为确保路基边坡稳定,故帮填边坡坡度一律采用新建路基坡度标准。

3 由于目前路堤压实标准高,帮宽和压实基本采用机械化施工,原帮填值 0.5 m 太小,压实设备无法碾压,但碾压设备需要最小宽度难以统一确定,结合帮填时一般需要超宽,暂按照最小帮宽 1.0 m 确定;同时为了避免出现新帮填部分成为顶部宽底部窄,或倒三角形式样,对边坡稳定不利,所以要求底宽不小于顶部加宽值。

4 帮宽和增建第二线路堤时,为使帮填部分与既有路基本体新老土体衔接紧密,因此要求在帮填时沿既有路堤坡面挖底宽不小于 1 m 台阶,并分层铺设加筋材料,分层碾压。

5 为了不造成新的路基病害,以利排水,故路基面抬高或边坡帮填以及增建第二线路基时,采用新建铁路标准的填料填筑,但要注意填料的渗透性不能比既有线填料的渗透性差。

6 对不能刷方扩宽路堑地段,如采用改变侧沟形式、削减侧沟平台等办法来加宽路基时,由于抬、落道后路基面水平总宽度发生了变化,设计时还需注意线路中心沿轨枕底面水平至路堑边坡的距离,需满足抽换枕木的要求。

另外,利用设置侧沟盖板来增宽路面,一般只限于岩石路堑地段,在坡面流水不大、长度较短时采用,因剥落土易堵塞侧沟,不能用于土质路堑地段。同时,道床坡脚还不得伸入盖板,以免影响侧沟的养护维修。

14.2.7 既有线路基抬道及调坡:

1 当抬道量较大时,一般以抬高路基面来增高轨面。抬高后的路基面需设路拱。

在落道量较小时,如落道后既有道床厚度能满足设计标准,一般不再下挖路基面,仍保持原路基面形状(有基床病害者除外);当落道量较大,减薄道床不能满足设计要求时,则要下挖既有路基面,其下挖深度以满足新建标准道床厚度为限,下挖后的路基面需设路拱。

2 当抬道量较小时,一般保持既有路基面高度不变,采用加厚道床的办法抬高轨面,路肩宽度按新建标准设计。

3 采用道砟抬道引起既有道床增厚,超厚地段造成养护、巡道人员上下作业不便,所以在标准道床厚度以下的超厚部分,采用渗水土垫肩。

4 为了不造成新的路基病害,以利排水,故路基面抬高或边坡帮填以及增建第二线路基时,采用新建铁路标准的填料填筑,但要注意填料的渗透性不能比既有线填料的渗透性差。

5 抬高路基面时,要选用与既有路基同一种填料填筑。当采用与既有线路基性质不同的填料时,要注意做好不同填料接触面间的排水措施。尤其在非渗水土路堑地段,如抬高路基填料采用渗水土时,需注意将下渗到接触面间的水横向引入侧沟内,使路基处于干燥状态,以免在路基内形成水囊,而产生基床病害。

14.2.8 既有线路基提速改造、基床加固及病害整治:

1 根据法国提速路基改造和国内既有线调查的经验,当既有线路基稳定、基床土质良好、无翻浆冒泥等基床病害,且道床厚度大于 0.6 m 时,可以根据具体情况不作基床加固;当开行 25 t 轴重列车,路基面的动应力较大,原则上对路基进行加强,但少量开通时,也可以暂不作加固,要加强路基和线路的检查、监测和维护。道床厚度和基床病害情况等也应该通过探地雷达进行彻底的调查。

2 改建既有线路基时要根据降雨、冻深等气象条件,以及改建后设计速度和车辆荷载的变化,结合道床厚度、轨道平顺状况,分析对路基静动态强度、平顺性等技术标准提高幅度。在全面掌握既有路基状况的情况下,对轨道平顺性差、基床填料性质差、压实不足、变形大、路基面不平整、排水不畅及基床病害等段落路基,设计速度 160 km/h 及以下基床表层承载力小于 0.15 MPa 或设计速度 160 km/h 以上基床表层承载力小于 0.18 MPa 等基床状况较差段落路基,限制或影响行车速度提高、降低乘客舒适性的路桥、路涵、堤堑、路隧等过渡段路基段落,分别采取相应加固处理措施。

3 根据近些年既有线提速改造建设经验,一般翻浆冒泥等病害地段采取基床浅层换填优质填料或土质改良,并结合基床土工

合成材料封闭防水、设置排水渗沟等加强路基排水等措施;对于压实不足和承载力不足、路基下沉外挤严重等地段采用水泥土或石灰土挤密桩、旋喷桩或注浆等深层补强加固措施。冻害地段也可以采取抬高路堤、降低地下水位和铺设保温层等措施。

4 在既有路堑边坡不高且稳定,扩宽后高度增加不大时,一般参照既有稳定边坡坡度或按新建路基标准刷方扩建。但对较高路堑边坡,如发生薄层开挖,特别是岩石地段因施工不易,影响坡面稳固时,要采用挡护工程收坡,以减少剥皮刷方。

5 对有重大病害(如崩塌、滑坡或其他等),经多年整治已稳定的既有路堑或有挡护设施的地段,为避免病害重新复发或引发新的病害而引起更大工程,在设计时要慎重对待,尽量保留,不能轻易对原有边坡进行改动。

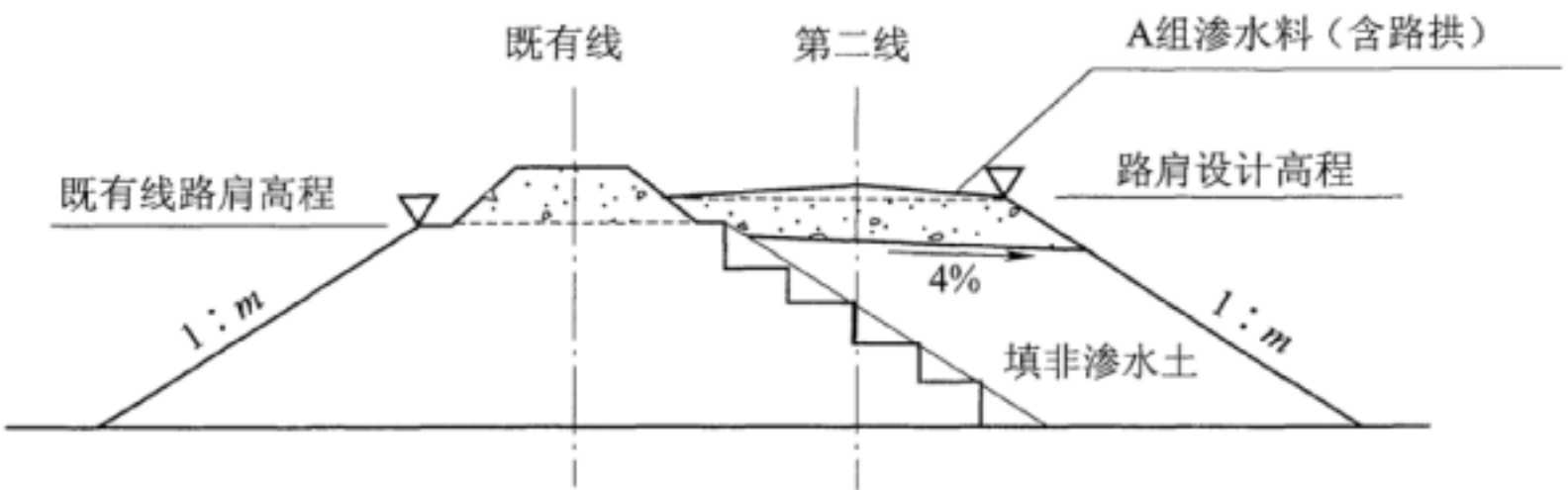
6 路堤边坡病害,既有路堤边坡坡度历经多年,其既有坡度值陡缓不一,防护形式遭到破坏,局部被雨水冲刷或者人为破坏等危及行车安全并影响通过能力。为确保路基边坡稳定,可以相应采取边坡注浆、锚固、支挡、加固排水及坡面防护措施。

14.2.9 岩石路堑刷方时,如施工方法选择不当,容易致使既有堑坡产生裂缝,破坏堑坡的整体性,而影响其边坡稳定,甚至造成永久的病害,危及行车安全。因此,岩石路堑刷方时,注意避免使用大爆破,而采用光面、静态、预裂爆破等控制爆破技术。爆破掉落和施工刷下的石块易砸坏既有线接触网、通信信号等电缆以及钢轨、轨枕等行车设备、砸伤行人等,需采取封闭施工以及炮被、管棚架等坡面临时爆破防护措施,以确保既有设备和行车安全,并保证既有线运营安全。

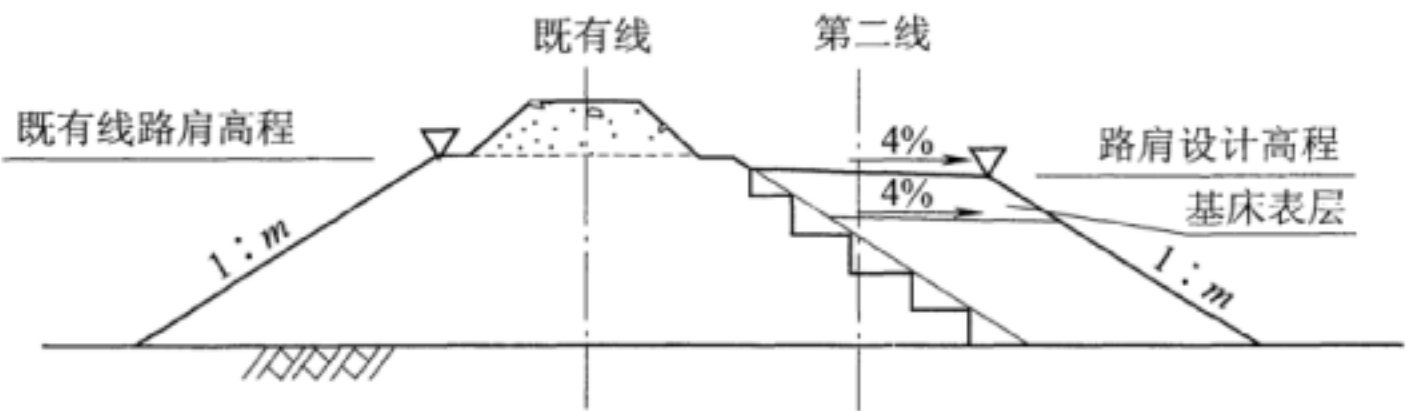
14.3.1 增建第二线路基时,首先对既有路基现状(含路基病害及既有设施等)进行调查分析。设计时,不仅要考虑第二线路基本身的坚固和稳定,还要考虑既有路基受第二线路基影响可能产生的问题。如既有路基原来状况良好,增建二线后,有可能使既有路基的环境恶化,甚至产生新的病害;或既有路基原来就处于病害状

态,增建第二线后,也有可能促使病害扩大和发展,而导致第二线同受其害。所以在设计时,要统筹考虑,对危及稳定的病害采取措施,一并整治。采取修建便线和维持临时通车等施工过渡措施可以大大减少相互影响。特别是松软土、软土、湿陷性黄土地区,既有路基容易受增建二线路基荷载影响产生附加沉降变形甚至失稳,需采取必要的加固防护及变形监测措施。

14.3.3 第二线与既有线并行非渗水土路基地段,当增建第二线的路基面高出既有线路基面时,第二线路基面设计为三角形路拱,同时为尽快排除既有线路基面积水,故自既有线路肩或路肩以下向外设置 4% 的排水横坡,排水横坡至三角形路拱之间填 A 组渗水填料,如说明图 14.3.3—1 所示;当增建第二线的路基面低于既有线路基面时,第二线路基面设计为向外 4% 的排水横坡,如说明图 14.3.3—2 所示。



说明图 14.3.3—1 第二线路基面排水横坡设置一



说明图 14.3.3—2 第二线路基面排水横坡设置二

在两线并行不等高地段,两线间的路基边坡,对下线而言是路堑边坡,采用路堑坡度值就能稳定。而对上线来说,则为路堤边坡,考虑承受荷载的因素,就需适当放缓边坡坡率才能稳定,因此,设计两线间的边坡坡度值时,需考虑上线列车荷载的影响。对边坡坡度值的确定,要依据列车荷载大小、工程地质情况、两线相差高度等酌情而定。如边坡放缓后,致使线间距增大,将引起较大工程或线路改动困难时,则要与两线间设置支挡建筑物进行比选。

14.3.6 增建第二线并行等高(或两线高差不大、线间距较窄)地段,设计时注意设置自既有路肩(或道砟陷槽底部饱和土层下)向外倾斜的排水横坡,以使既有路基积水经二线路基,从横向迅速排出。

在并行不等高或两线线间距较大地段,为防止产生路基病害,于两线间设置纵向排水沟,以疏排两线间积水。

14.4.1 改建铁路和增建第二线利用既有挡墙和坡面防护结构物、侧沟、地下水排水盲沟时,需要掌握其安全稳定状况和继续使用的年限,并进行评估后分别采取利用、改造、加固、拆除重建等措施。

14.4.2 在改建既有线(含抬落道、改移中线、病害处理等)和增建第二线时,不可避免地会大量遇到对既有建筑物的处理问题。其处理尺度把握的恰当与否,对改建工程量的大小及投资影响极大。因此设计时,在确保行车安全和路基稳固的前提下,既有防护设备使用状况良好时,为节省投资,首先考虑尽量保留。

14.4.3 对既有建筑物采用加大截面、接高或加深基础等措施时,首先在既有建筑物本身坚固的前提下进行。既有建筑物截面与新增大的截面作为设计截面的共同组成部分,成为一个整体,才能起到共同承受土压力或其他外力的作用。因此在设计时,采用在既有建筑物中锚入弯钩筋等办法,使新旧混凝土与砌体紧密结合,形成整体。

14.4.4 用干砌片石垛加宽或加高路肩时,注意将高度控制在1 m以下。主要因为随片石垛的高度增高,其各部尺寸也相应增大,对基底承载力的要求也相应提高,而填土坡面上的承载力不一定能满足其要求;同时,当片石垛基底宽度增加后,在既有线上施工开挖的影响范围也增大,使既有路基稳定受到一定影响,对行车造成严重干扰,甚至威胁行车安全。片石垛太高对施工、养护上下作业也不便。目前在既有线上实际使用的干砌片石垛高度,一般情况下也均未超过1 m。因此,要求干砌片石垛高度不超过1 m。

14.4.5 既有支挡和防护工程基础埋置深度不够或暴露,易遭受自然和人为因素的坡坏,而影响既有建筑物的强度和稳定性,甚至酿成更大的危害,所以要求基础埋置深度不够时,要对其进行处理并满足有关规范的要求。

14.4.7 对于拆除的既有结构物或基础遗留的坑、洞等要视具体情况,进行回填、夯实、砌筑、注浆等措施处理,避免造成积水、路基下沉等病害,给运营留下隐患。

15.1.2~15.1.3 主要参考了《开发建设项目水土保持技术规范》GB 50433—2008 第3.2.3条要求,其规定弃土(石、渣)场选址应符合下列规定:

(1)不得影响周边公共设施、工业企业、居民点等的安全。

(2)涉及河道的,应符合治导规划及防洪行洪的规定,不得在河道、湖泊管理范围内设置弃土(石、渣)场。

(3)禁止在对重要基础设施、人民群众生命财产安全及行洪安全有重大影响的区域布设弃土(石、渣)场。

(4)不要布设在流量较大的沟道,否则应进行防洪论证。

(5)在山丘区要选择荒沟、凹地、支毛沟,平原区要选择凹地、荒地,风沙区要避开风口和易产生风蚀的地方。

15.5.6 常用施工机械有:推土机、铲运机、挖掘机、装载机、自卸汽车及火车等;人力施工的方法一般有:人力挑抬、手推车及人力

装卸配合机械运输等。

16.1.2 路基面上电缆槽、电缆井、过轨管线、接触网支柱基础、声屏障基础等工程的施工一般滞后于路基工程,需要在路基工程施工时预留条件,系统规划,统筹实施,避免进行二次开挖,造成路基及排水系统的损害。

16.2.2 防护栅栏一般选用钢筋混凝土防护栅栏和钢筋混凝土立柱金属网片防护栅栏两种类型,大型车站及有景观要求的地段防护栅栏结合整体要求统一选用,并符合下列要求:

(1)线路防护栅栏要与涵洞翼墙端部平顺连接,混凝土栅栏端部立柱与翼墙端部密贴安装。涵洞翼墙锥体坡脚原则上位于防护栅栏内。

(2)当涵洞洞顶和翼墙端部的帽石顶面均不低于混凝土栅栏有效防护高度(不含刺丝滚笼高度,下同)时,混凝土栅栏直接封闭至涵洞两侧翼墙端部。

(3)当涵洞洞顶帽石高于混凝土栅栏有效防护高度,而翼墙端部帽石顶面低于混凝土栅栏有效防护高度时,在翼墙侧立面加装金属矩形管立柱金属网片防护栅栏,使其达到有效防护高度,并确保金属网片栅栏安装牢固密贴。

(4)当涵洞洞顶和翼墙端部的帽石顶面均低于混凝土栅栏有效防护高度时,在涵洞洞顶和翼墙侧立面加装金属矩形管立柱金属网片防护栅栏,使其达到有效防护高度,并确保金属网片栅栏安装牢固密贴。

(5)防护地段设置刺丝滚笼时,刺丝滚笼要沿混凝土防护栅栏、涵洞帽石或加高金属网片栅栏的上部拉通。

(6)涵洞地段防护栅栏施工安装要合理统筹安排防护栅栏、路基、涵洞的施工安装,要制定专门施工组织方案,优化施工工艺,明确路基、涵洞与防护栅栏施工的接口关系、协调配合方案和相关工程施工安装时机。

16.2.5 从保护巡检人员及夜间车站作业人员安全等出发,增加

了本条第 3 款的内容。

16.2.6 公铁并行路段是指铁路路堑上的公路路段或位于铁路线路安全保护区内,公路路肩标高高于铁路路肩或与铁路路肩等高或低于铁路路肩 1.0 m 以内的公路路段。

《铁路安全管理条例》(国务院令第 639 号)“第二十七条 铁路线路两侧应当设立铁路线路安全保护区。铁路线路安全保护区的范围,从铁路线路路堤坡脚、路堑坡顶或者铁路桥梁(含铁路、道路两用桥,下同)外侧起向外的距离分别为:(一)城市市区高速铁路为 10 米,其他铁路为 8 米;(二)城市郊区居民居住区高速铁路为 12 米,其他铁路为 10 米;(三)村镇居民居住区高速铁路为 15 米,其他铁路为 12 米;(四)其他地区高速铁路为 20 米,其他铁路为 15 米。”

16.3.2 通信电缆井一般分 I、II 共两种类型。

I 型电缆井净尺寸:1 000 mm×1 000 mm×900 mm(长×宽×高),壁厚 200 mm。过轨处过轨管根据需要设置,最大根数为 4 根。

II 型电缆井净尺寸:1 200 mm×1 200 mm×900 mm(长×宽×高),壁厚 200 mm。过轨处过轨管根据需要设置,最大根数为 6 根。

电力电缆井净尺寸:1 800 mm×1 200 mm×900 mm(长×宽×高),壁厚 200 mm。过轨处过轨管根据需要设置,最大根数为 10 根。

16.4.3 综合接地系统以沿线两侧敷设的贯通地线为主干,充分利用沿线桥梁、隧道、路基地段结构物设施内的接地装置作为接地体,形成低阻等电位综合接地平台。

16.4.4 本条依据中铁路总公司《铁路自然灾害及异物侵限监测系统工程设计暂行规定》(铁总建设〔2013〕86 号)有关规定编写。

A.0.1 单轴饱和抗压强度 R_c 。常采用圆柱体标准试件进行测试,

试件是直径 50 mm、高径比为 2 的岩石；也可以采用点荷载试验，由点荷载强度指数换算成岩石单轴抗压强度，按式(说明 A. 0. 1) 计算。

$$R_c = 24.338 \cdot 2 I_{s(50)}^{0.733 \cdot 3} \quad (\text{说明 A. 0. 1})$$

式中 $I_{s(50)}$ ——岩石基准试件点荷载强度指数(MPa)。

F. 0. 6 勾绘汇水面积时要结合分水岭及天然沟槽，自线路中心线起算。利用已有地形图现场校核，校核重点是在图上标明原图出版以来新增添的人工沟渠、水库、堤坝的道路、桥梁位置。无地形图利用时，采用交会法、绕和法或辐射法实地测绘与估测。

F. 0. 7 确定设计径流的方法，可以采用推理法、统计分析法、地区分析法或现场评判法等，推理法是应用最为广泛的方法，结合《铁路路基排水设防标准及小流域流量计算研究》成果，本规范采用推理计算方法。

径流系数受降雨强度、降雨历时、地表覆盖状况、土壤透水性、地区湿度、地形等多种因素的影响，可以通过试验确定。本规范设计径流量计算公式参照了《公路排水设计规范》JTG/T D33—2012 的有关规定。在具体选用时，对有利于形成地面径流的地区，选用较大值，反之采用较小值。

膨胀土、湿陷性黄土、砂性土、戈壁碎石土等地区，由于地表易受水流冲刷，改变局部地貌的径流条件，同时易产生淤积，为保证水流及时排出，该类型地区的排水设施要适当加大断面尺寸。

不同设计降雨重现期和降雨历时的平均降雨强度可以根据情况选用以下三种方法：

(1)附近区域有适用的降雨强度公式时，要选用相应的公式计算。

(2)无适用公式，但有连续 10 年以上自记雨量记录的雨量站时，可以整理雨量资料推求降雨强度公式。当地气象站有 10 年以上自记雨量资料时，由雨量记录中选取历年最大 5 min、10 min、

20 min、30 min、45 min、1 h、2 h、3 h、6 h、12 h 等的连续雨量,采用皮尔逊Ⅲ型分布或其他形式分布计算各频率的降雨强度后,选用下述形式的降雨强度公式推求雨强-历时关系式:

塔伯特(Talbot)公式(适用于 $t \leq 120$ min)

$$q = \frac{A}{t+b} \quad (\text{说明 F. 0. 7—1})$$

希尔曼(Sheman)公式(适用于 $t > 120$ min)

$$q = \frac{c}{t^n} \quad (\text{说明 F. 0. 7—2})$$

荷纳(Hemer)公式

$$q = \frac{A}{(t+b)^n} \quad (\text{说明 F. 0. 7—3})$$

式中 t ——降雨历时(min);

n ——暴雨强度衰减指数;

A, b, c ——系数。

(3)当地缺乏自记雨量资料时,可以利用标准降雨强度等值线图以及重现期转换系数和降雨历时转换系数的方法,计算确定设计重现期和降雨历时内的平均降雨强度。标准降雨强度等值线图所选的标准为 5 年重现期 10 min 降雨历时。降雨强度计算如下:

$$q = c_p c_t I_{5,10} \quad (\text{说明 F. 0. 7—4})$$

式中 $I_{5,10}$ ——5 年重现期和 10 min 降雨历时的标准降雨强度(mm/min),按铁路所在地区,由附录 F 查得;

c_p ——重现期转换系数,为设计重现期降雨强度 I_p 同标准重现期降雨强度 I_5 的比值(I_p/I_5),按铁路所在地区由说明表 F. 0. 7—1 查取。

c_t ——降雨历时转换系数,为降雨历时 t 的降雨强度 I_t 与 10 min 降雨历时的降雨强度 I_{10} 的比值(I_t/I_{10}),由说明表 F. 0. 7—2 查取。

说明表 F. 0. 7—1 重现期转换系数 c_p

地 区	重现期(年)						
	3	5	10	15	25	50	100
安徽、山东、浙江、江苏、 福建、江西、上海、台湾	0. 90	1. 00	1. 14	1. 23	1. 33	1. 44	1. 56
广西、广东、海南、澳门、香港	0. 90	1. 00	1. 14	1. 23	1. 33	1. 44	1. 56
湖南、湖北、河南	0. 87	1. 00	1. 20	1. 33	1. 47	1. 63	1. 80
四川、重庆、贵州、云南	0. 87	1. 00	1. 20	1. 33	1. 47	1. 63	1. 80
天津、河北、北京、内蒙古、山西	0. 85	1. 00	1. 25	1. 41	1. 60	1. 82	2. 06
黑龙江、吉林、辽宁	0. 85	1. 00	1. 25	1. 41	1. 60	1. 82	2. 06
陕西、甘肃、宁夏、 青海、新疆、西藏(干旱)	0. 82	1. 00	1. 31	1. 51	1. 76	2. 04	2. 34
陕西、甘肃、宁夏、青海、 新疆、西藏(潮湿)	0. 76	1. 00	1. 59	2. 03	2. 57	3. 20	3. 95

说明表 F. 0. 7—2 降雨历时转换系数 c_t

c_{60}	降雨历时 $t(\text{min})$										
	3	5	10	15	20	30	40	50	60	90	120
0. 25	1. 40	1. 25	1. 00	0. 75	0. 60	0. 46	0. 35	0. 30	0. 25	0. 18	0. 15
0. 30	1. 40	1. 25	1. 00	0. 77	0. 64	0. 50	0. 40	0. 34	0. 30	0. 22	0. 18
0. 35	1. 40	1. 25	1. 00	0. 80	0. 68	0. 55	0. 45	0. 39	0. 35	0. 26	0. 21
0. 40	1. 40	1. 25	1. 00	0. 82	0. 72	0. 59	0. 50	0. 44	0. 40	0. 30	0. 25
0. 45	1. 40	1. 25	1. 00	0. 84	0. 76	0. 63	0. 55	0. 50	0. 45	0. 34	0. 29
0. 50	1. 40	1. 25	1. 00	0. 87	0. 80	0. 68	0. 60	0. 55	0. 50	0. 39	0. 33

降雨历时一般按设计控制点的汇流历时确定。汇流历时 t 为汇水区内最远点(按水流时间)流达排水设施处所需要的时间,它由坡面汇流(或地面汇流)历时 t_1 和沟渠或管内由入口到控制点的沟管汇流历时 t_2 组成,即 $t = t_1 + t_2$ 。在考虑路基面表面排水

时,可以不计沟管内汇流历时。

坡面汇流历时可以按式(说明 F. 0. 7—5)计算确定:

$$t_1=1.445\left(\frac{m_1L_s}{\sqrt{i_s}}\right)^{0.467} \quad (\text{说明 F. 0. 7—5})$$

式中 t_1 ——坡面汇流历时(min);
 L_s ——坡面流的长度(m), $L_s\leq 370\text{ m}$;
 i_s ——坡面流的坡度;
 m_1 ——地表粗度系数,按地表情况查说明表 F. 0. 7—3 确定。

说明表 F. 0. 7—3 地表粗度系数

地表状况	粗度系数(m_1)	地表状况	粗度系数(m_1)
沥青路面、水泥混凝土路面	0.013	牧草地、草地	0.400
光滑的不透水地面	0.020	落叶树林	0.600
光滑的压实土地面	0.100	针叶树林	0.800
稀疏草地、耕地	0.200		

计算沟管内汇流历时时,先在断面尺寸、坡度变化点或者有支沟(支管)汇入处分段,分别计算各段的汇流历时后再叠加而得,即:

$$t_2=\sum_{i=1}^n\frac{l_i}{60v_i} \quad (\text{说明 F. 0. 7—6})$$

$$v_i=20i_g^{0.6} \quad (\text{说明 F. 0. 7—7})$$

式中 l_i ——第 i 段沟管的长度(m);
 v_i ——第 i 段沟管的平均流速(m/s);
 i_g ——该段排水沟管的平均坡度。

标准强度等值线图以及重现期转换系数和降雨历时转化换系数的方法,计算确定设计重现期和降雨历时内的平均降雨强度。

所选的标准为 5 年重现期 10 min 降雨历时,本次主要采用了水利部水文局、南京水利科学研究院于 2005 年编制的《中国暴雨

统计参数图集》(以下简称《图集》)计算编制。该《图集》汇集了迄今为止我国暴雨方面最全面、最系统的资料和研究成果,也是近半个世纪以来我国关于暴雨统计特征研究的最重要的总结性成果。利用水文气象站网历年实测雨量资料,用年最大选样法构建各种指定历时的雨量系列,选用皮尔逊Ⅲ型分布函数进行统计计算。《图集》包括全国和省(自治区、直辖市)级两种尺度,每种尺度包括10 min、60 min、6 h、24 h、3 d共5种标准历时的暴雨统计参数成果。共采用约2.4万个观测站,190万站年(5种历时合计)雨量资料,用于5种历时统计参数计算的系列平均长度为23.5年~33.7年,较原有图集有显著增加。

F.0.8 这里的沟是指各种形式的明沟,包括侧沟、排水沟、天沟、截水沟、引水沟;管是指不同材料的圆管。影响沟管泄水能力的因素包括过水断面的形状和面积、水力坡度(沟管的纵坡)、沟管壁的粗糙系数。进行水力计算的目的是检验沟管的断面形状和尺寸能否满足设计流量的要求,并检查流速是否在允许的范围之内。泄水能力不能小于设计流量。

在一般情况下,规范中规定的各类地面排水设施及其最小断面尺寸,根据多年实践经验是可以满足要求的,不必再做计算。但在某些特殊情况下(例如路堑上方的汇水面积较大,或有其他来源的水流汇入水沟,或排水困难地段等),则需进行必要的计算,做出个别设计。

关于水流的状态及其流速,从目前国内外的研究及发展情况来看,理论上比较复杂,为使问题简单化,一般情况下均按照匀速流动状态来考虑。对于沟管断面或水流纵坡变化较大的情况需采用变速流方法计算。

F.0.9~F.0.10 严格来讲,过水断面上水的流速在各个质点是不同的,具有一定的分布形式(抛物线形式),这与水质、过水断面介质等有很大关系,计算起来较为复杂。工程界一般广泛采用经验公式进行水力计算,主要是采用1769年法国工程师谢才

(Chezy)提出的公式(Chezy formula), $v = C \sqrt{Ri}$ 。公式中关于流速系数 C (谢才系数)的取值,主要通过经验公式进行计算,其中包括曼宁公式和巴浦洛夫斯基公式,其中巴浦洛夫斯基公式具有更广泛的适应性,该公式的适用范围为: $0.1 \text{ m} \leq R \leq 3.0 \text{ m}$, $0.011 \leq n \leq 0.04$ 。对于一般管道和人工渠道,粗糙系数 n 主要决定于壁面粗糙突起物的大小、形状和分布;对于天然河道, n 则与河床砂石粒径和形状,砂波大小、形状和变化,岸滩水草树木的疏密程度,以及河道水位变化等有关。

n 值要经实测确定,对于均匀流,测出某一流段的 R 、 v 值,即可确定该流段的 n 值。对于缓变非均匀流, n 值可用流段的 R 、 i 、 v 的平均值来确定。如无实测资料, n 值可以从水力学或水力计算手册中查得。 n 值选择是否恰当对计算成果影响甚大,要慎重。表 F. 0. 3 是参照《室外排水设计规范》GB 50014—2006、《公路排水设计规范》(JTG/T D33—2012)及《铁路工程设计技术手册—路基》(1992)确定的。

常遇到的水力计算问题主要有两类:一类是校核沟渠的输水能力,即已知设计流量、沟渠的断面形状、尺寸、水深、底坡、粗糙系数等,求沟渠能宣泄的最大流量;另一类问题是设计新的沟渠,即已知设计流量,要求选定水沟的断面尺寸或水力经济断面的尺寸。

F. 0. 11 沟的流速要求,系参照《室外排水设计规范》GB 50014—2006、《公路排水设计规范》JTG/T D33—2012、《给水排水设计手册》(2004 年第二版)、《铁路工程设计技术手册—路基》(1992)的规定。

膨胀土、黄土地区,由于易产生冲刷和淤积,影响排水设施的过水能力,除对排水设施进行加固外,还要保持一定的流速。明沟最大允许流速见说明表 F. 0. 11—1,最大允许流速的水深修正系数见说明表 F. 0. 11—2。

说明表 F. 0. 11—1 明沟最大允许流速

明沟土质 或护面 材料	最大允许 流速 (m/s)	明沟土质 或护面 材料	最大允许 流速 (m/s)	明沟土质 或护面 材料	最大允许 流速 (m/s)	明沟土质 或护面 材料	最大允许 流速 (m/s)
粉土	0.8	干砌片石	2.0	黏土	1.2	混凝土	4.0
粉质黏土	1.0	浆砌片石	3.0	草皮护面	1.6	石灰岩、 中砂岩	4.0

说明表 F. 0. 11—2 最大允许流速的水深修正系数

水深 h (m)	$h \leq 0.4$	$0.4 < h \leq 1.0$	$1.0 < h < 2.0$	$h \geq 2.0$
修正系数	0.85	1.00	1.25	1.40

F. 0. 12 所谓水力最优断面,就是在给定设计流量、底坡和粗糙系数的条件下,所得出的沟渠过水断面为最小,或者是在过水断面 A 、底坡 i 、粗糙系数 n 给定的条件下,使得沟渠通过的流量最大。从式(F. 0. 10—1)(谢才公式)来看,当过水断面 A 、底坡 i 、粗糙系数 n 给定时,要使流量 Q 最大,使水力半径最大,也就是要使湿周 χ 最小。在各种几何形状中,在同样的面积下,圆断面的湿周最小,而半圆形与圆形的水力半径是相等的(均为 $R = \frac{d}{4}$)。所以在实际工程设计中要尽量使沟渠断面接近半圆形,考虑到边坡的稳定性、施工条件等,通常采用梯形断面。水力最优断面的水力半径及底宽 b 与水深 h 关系式见说明表 F. 0. 12。

说明表 F. 0. 12 常用排水设施的水力最优断面水力半径及底宽与水深关系式

名称	对称梯形断面	不对称梯形断面	矩形断面
水力半径(R)	$R = \frac{1}{2}h$	$R = \frac{1}{2}h$	$R = \frac{1}{2}h$
底宽/水深 (b/h)	$\frac{b}{h} = 2(\sqrt{1+m^2} - m)$	$\frac{b}{h} = 2[\sqrt{1+m_1^2} + \sqrt{1+m_2^2} - (m_1 + m_2)]$	$\frac{b}{h} = 2$

注: m 为对称梯形断面的边坡坡率, m_1 、 m_2 分别为不对称梯形断面的边坡坡率。