

高等职业教育轨道交通专业系列教材

轨道路基施工技术

主 编 梁 莉 阳 江

副主编 丁王飞 张望成

参 编 贾宪涛 乔 丹

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

轨道路基施工技术 / 梁莉, 阳江主编. —成都:
西南交通大学出版社, 2019.5
高等职业教育轨道交通专业系列教材
ISBN 978-7-5643-6479-3

I. ①轨… II. ①梁… ②阳… III. ①城市轨道交通—铁
路路基—路基工程—工程施工—高等教育—教材
IV. ①U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 098302 号

高等职业教育轨道交通专业系列教材

轨道路基施工技术

主 编 / 梁 莉 阳 江
责任编辑 / 杨 勇
助理编辑 / 王同晓
封面设计 / 何东琳设计工作室

西南交通大学出版社出版发行
(四川省成都市金牛区二环路北一段 111 号西南交通大学创新大厦 21 楼 610031)
发行部电话: 028-87600564 028-87600533
网址: <http://www.xnjdcbs.com>
印刷: 四川森林印务有限责任公司

成品尺寸 185 mm × 260 mm
印张 14 字数 350 千
版次 2019 年 5 月第 1 版 印次 2019 年 5 月第 1 次

书号 ISBN 978-7-5643-6479-3
定价 38.00 元

课件咨询电话: 028-87600533
图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

本书主要根据目前最新的城市轨道交通和铁路的相关标准、规范编写而成，注重基本理论与工程实践的结合，将企业的岗位标准和学生的专业能力有机地结合在一起。全书以城市轨道路基施工为基础，基于工作过程的教学理念，按照项目和任务组织内容，力求任务驱动理实一体。

全书共分八个项目，即：轨道交通路基基础知识、路堤施工、路堑及过渡段施工、路基排水设备施工与维护、路基防护设备施工与维护、路基支挡结构、路基病害与维护及路基压实质量检测。建议教师在授课时可根据学生的具体情况，并结合不同专业的特点选择讲授重点和自学章节。书中各章都给出了思考题，以便于学生自我考核和练习。

本书由重庆建筑工程职业学院梁莉和阳江担任主编。项目 1 和项目 6 由重庆建筑工程职业学院梁莉编写，项目 2 由重庆建筑工程职业学院丁王飞编写，项目 3 由中国煤炭科工集团重庆设计研究院张望成编写，项目 4 和项目 5 由重庆建筑工程职业学院阳江编写，项目 7 由重庆建筑工程职业学院乔丹编写，项目 8 由重庆市南岸区建设工程施工安全监督站贾宪涛编写。

在本书编写过程中，重庆大学刘世林、龙雪梅和师晓康等同学做了很多文字整理工作，在此表示衷心的感谢！由于编者水平有限，难免有所疏漏之处，烦请广大读者在使用过程中给予指正，不胜感激！

编 者

2018 年 10 月

目 录

项目一 轨道交通路基基础知识	1
任务一 轨道交通发展概况及其基本组成	1
任务二 轨道交通路基概述	5
任务三 路基构造认识	9
项目二 路堤施工	30
任务一 施工准备	30
任务二 填 料	33
任务三 路堤填筑施工	42
项目三 路堑及过渡段施工	50
任务一 土质路堑施工	50
任务二 石质路堑施工	55
任务三 过渡段施工	60
项目四 路基排水设备施工与维护	67
任务一 地面排水设备施工与维护	67
任务二 地下排水设备施工与维护	74
任务三 站场排水设备及其养护	85
项目五 路基防护设备施工与维护	89
任务一 路基坡面防护施工	90
任务二 路基冲刷防护施工	101
任务三 路基防护设备维护	109
项目六 路基支挡结构	111
任务一 支挡结构概述	111
任务二 土压力计算	113
任务三 重力式挡土墙	124

任务四 轻型挡土墙	147
任务五 挡土墙的养护维修	160
项目七 路基病害与维护	163
任务一 基床病害及整治	163
任务二 路基冻害及整治	169
任务三 崩塌落石及其防治	172
任务四 滑坡及其防治	174
任务五 泥石流及其防治	177
项目八 路基压实质量检测	183
任务一 路基密实度检测	183
任务二 地基系数测试	189
任务三 二次变形模量测试	194
任务四 动态变形模量测试	200
参考文献	218

项目一 轨道交通路基基础知识

【学习目标】

- (1) 了解轨道交通发展概况；
- (2) 了解轨道交通的基本组成；
- (3) 掌握轨道交通路基工程的组成和特点；
- (4) 掌握路基横断面的形式、构造尺寸；
- (5) 能够正确识读路基施工图。

任务一 轨道交通发展概况及其基本组成

一、轨道交通发展概况

(一) 轨道交通系统及特点

轨道交通是指运营车辆需要在特定轨道上行驶的一类交通工具或运输系统。最典型的轨道交通就是由传统火车和标准铁路所组成的铁路系统。随着火车和铁路技术的多元化发展，轨道交通呈现出越来越多的类型，不仅遍布于长距离的陆地运输，也广泛运用于中短距离的城市公共交通中。

常见的轨道交通有传统铁路（国家铁路、城际铁路和市域铁路）、地铁、轻轨和有轨电车，新型轨道交通有磁悬浮轨道系统、单轨系统（跨座式轨道系统和悬挂式轨道系统）和旅客自动捷运系统等。在现行国家标准《城市公共交通常用名词术语》（GB 5655）中，将快速轨道交通定义为“通常以电能为动力，采取轮轨运转方式的快速大运力公共交通的总称”。

根据服务范围差异，轨道交通一般分成国家铁路系统、城际轨道交通和城市轨道交通三大类。轨道交通普遍具有运量大、速度快、班次密、安全舒适、准点率高、全天候、运费低和节能环保等优点，但同时常伴随着较高的前期投资、技术要求和维护成本，并且占用的空间往往较大。

轨道交通是属于集多专业、多工种于一身的复杂系统，通常由轨道线路、车站、车辆、维护检修基地、供变电、通信信号、指挥控制中心等组成。城市轨道交通的运输组织、功能实现、安全保证均应遵循有轨道交通的客观规律。在运输组织方面，要实行集中调度、统一指挥、按运行图组织行车。在功能实现方面，各种有关专业如线路、车站、隧道、车辆、供电、通信、信号、机电设备及消防系统均应保证状态良好，运行正常。在安全保证方面，主

要依靠行车组织和设备正常运行，来保证必要的行车间隔和正确的行车线路。

（二）我国轨道交通发展现状及趋势

城市轨道交通作为构建现代宜居城市的重要基础设施，是便民惠民的民生工程，也是着眼未来的重大工程。近年来，我国城市轨道交通实现快速发展。20年前，地铁还只是北上广等少数城市的“风景线”，但近年来，我国城市轨道交通建设发展取得突破性进展。截至2017年年初，全国共有30个城市建成投运城轨交通线路134条，运营线路总长达4153km，其中2016年一年新增18条运营线路，总长535km，创历史新高。结合当前各地城市轨道交通建设现状，预计到2020年，全国城市轨道运营里程将达到6000km，在轨道交通方面的投资将达3万亿~4万亿元。

我国轨道交通发展具有如下趋势。

今后较长时间都处于高速发展状态。根据轨道交通中长期发展规划，“十二五”期间将建设1500km左右的轨道交通，年均500km左右，“十三五”期间将建设3000km左右轨道交通，年均600km，届时，中国内地将拥有7000km的城市轨道交通。

城市轨道交通制式将从原来的以地铁为主的单一制式转变为多制式协调发展。多种制式结合才能发挥每种城轨制式的最大优势。

网络化已成为城市轨道交通重要发展趋势。目前，北京、上海已形成规模化网络体系，广州、深圳、天津、重庆、成都等城市也已形成较大规模网络。城市轨道交通建设还需加强与既有铁路的衔接和资源整合。城市轨道交通建设是解决城市群和都市圈交通问题的重要选择。要统筹规划、与其他运输方式实现无缝对接，在综合交通运输系统中起到承上启下的作用，上可以接机场、港口、高速铁路、普速铁路等，下可以连高速公路、地区公路、公共交通，甚至自行车。这样才可以在极大方便旅客的同时，扩大线路吸引范围，增加客流量，提高城市轨道交通的经济效益。

二、轨道交通基本组成

（一）线路

轨道交通在建设选线过程中需要穿过野外复杂地形，以及城市郊区、市区，往往具有由高楼林立、交通拥堵、人口密集之地向地广人稀处变化的特点。这些特点决定了轨道交通线路铺设的多样性，其主要的铺设形式有：地下线路、地面线路和高架线路。

1. 线路基本类型

（1）在城市中心城区，由于受密集建筑群的限制，线路往往沿城市道路地下铺设，称为地下线路。地下线路一般铺设在隧道内，隧道开挖方式一般有明挖法和暗挖法两种。盾构法是暗挖法的一种，目前我国普遍采用单圆盾构法，隧道断面形式一般为区间隧道选择圆形隧道，站台两端为矩形隧道。地下线路可采用混凝土整体道床或与普通铁路相同的碎石道床。地下线路主要由隧道、整体道床、侧沟、轨枕、钢轨、扣件、钢轨联结零件等组成。

（2）在中心城区向外到郊区的地方，相对而言地势开阔、建筑物也相对较稀少，一般采

用地面线路。地面线路普遍采用碎石道床，碎石道床一般由石砟和黄沙层组成，也有只铺设石砟层的情况。地面碎石道床线路，造价便宜，道床弹性较好，但稳定性较差，运营时的噪声大。地面线路主要由路基、碎石道床、侧沟、轨枕、钢轨、扣件、钢轨联结零件等组成。

(3) 在城市外围，一般还可采取沿既有道路高架铺设的形式，称为高架线路。高架线路铺设于城市高架桥面之上，一般沿城市道路一侧或中央铺设。桥面线路一般可采用混凝土整体道床或碎石道床。主要包括高架桥、整体道床、侧沟、混凝土支撑块、钢轨、扣件、钢轨联结零件等组成。

2. 轨道线路设备

1) 钢轨及配件

钢轨是轨道最重要的组成部件，直接承受列车的荷载，其依靠钢轨头部内侧面和机车车辆轮缘的相互作用，引导列车运行，并依靠其本身的刚度和弹性把机车车辆荷载分布开来，传递给轨枕。

钢轨配件又称接头联结零件，主要由接头夹板和接头螺栓将钢轨与钢轨的端部连接起来，使钢轨接头部位共同承受弯矩和横向力。同时，利用接头夹板与钢轨之间的摩擦力，将钢轨接头处前后两根钢轨的间隙控制在一定的限度内。

2) 轨枕及扣件

轨枕是轨下基础扣件之一。它的功能是支撑钢轨，保持轨距和方向，并将钢轨对它作用的各项压力传递到道床上。

扣件是钢轨与轨枕或其他轨下基础的重要联结零件，它的作用是固定钢轨，阻止钢轨产生位移，防止钢轨倾斜，并能提供适当的弹性，将钢轨承受的力传递给轨枕和道床承接台。

3) 道床

道床是铺设在路基之上，轨枕之下的结构层，它主要有承受并传递荷载，稳定轨道结构的作用。道床从结构和形式上可分为碎石道床和整体道床两种类型。

4) 轨缝

线路轨道结构以往普遍采用标准长度钢轨铺设的普通线路。这种线路是将标准轨用钢轨联结零件进行连接，需要在钢轨接头存留一定的缝隙来适应钢轨的热胀冷缩，这个缝隙即为轨缝。

3. 车站和停车场

(1) 车站是轨道交通中供旅客乘降、换乘和候车的场所，保证旅客方便、安全、迅速地进出站，并有良好的通风、照明、卫生、防灾设备等，为旅客提供舒适、清洁的环境。

按车站的空间位置，轨道交通车站有地面车站、地下车站和高架车站三种形式。地面车站占用地面空间，总容易造成线路经过地区地面区域分割，一般分布于城乡接合部，最大优点是造价低，传统铁路多为地面车站。城市轨道交通由于受地面建筑的影响，部分线路设置和车站布置都位于地下，节省地面空间，地下车站根据埋深又可分为深埋式和浅埋式两种。高架车站置于高架桥梁的桥面，结构相对简单，造价远低于地下车站。

(2) 停车场。

轨道交通停车场，是指用于列车停放、检修、调试或其他各类用途的基地，它包括各种线路和用房，通常每一条城市轨道交通线路至少设一个停车场。

（二）车 辆

车辆是轨道交通系统中运送乘客的工具，必须具有良好的牵引、制动性能，能快速启动和停止，以保证车辆运行的安全、准点和快捷，同时还要有良好的乘客服务设施，使乘客感到舒适和方便。同时需要注意的是，轨道交通系统中车辆购置费和运营成本费占很大比例，在车辆的选型方面需要综合考虑客流特点、客流量、行车速度、线路条件等多方面因素。

车辆按有、无动力分为动车和拖车。在运营时，将独立的车厢进行连接，构成车辆编组。车辆编组方式有全动车编组和动、拖混编两种方式。

（三）供电系统

轨道交通供电系统的作用在于为列车和车站提供电源，它是一个庞大的系统，是支撑整个轨道交通正常运营的主要支柱，供电系统一旦故障，不仅整条线路列车运行瘫痪，车站客运也将停顿，并且还会引起车站区域混乱。可见供电系统在轨道交通系统中的重要性。

城市轨道供电系统为列车运行提供动力源，它是由电力源、供电线路、主（降压）变电站、牵引变电所、降压变电所、接触网、电力监控系统、车站及区间动力照明系统、杂散电流防护系统、防雷设施和接地系统等部分组成。

（四）列车运行控制系统

1. 通信系统

通信系统是指完成信息传递和交换过程的技术系统的总称。轨道交通通信系统是一套控制高度集中的系统，在于指挥列车运行、进行运营管理、公务联络和传递各种信息的专门系统。它的重要任务是建立一个试听与数据链路网，实现轨道交通远程集中运转指挥调度。此外，通信系统还为公务人员和乘客创建信息交互平台，为各专业系统及外网提供信息传送通道，为公安提供视频和无线资源，为消防系统提供通信保障，为公共移动业务提供接入平台。

2. 信号系统

轨道交通信号系统是指挥列车安全运行的关键设备，确保列车前方轨道区段无占用、道岔位置正确、没有敌对或相抵触的信号等，确保旅客的旅途安全。同时，信号系统对于提高行车效率起着极其重要的作用。信号系统通过自动控制技术，可使列车以最高安全速度运行，并且通过车站程序对位停车控制大大缩短行车间隔，提高行车密度，缩短列车停站时间。

轨道交通信号系统通常包括两大部分：车辆段信号控制系统和列车运行自动控制系统。后者即 ATC 系统（Automatic Train Control）。用于列车进路控制、列车间隔控制、调度指挥、信息管理、设备工况监测及维护管理，从而构成一个高效的综合自动化系统。ATC 系统又包括列车自动防护 ATP（Automatic Train Protection）、列车自动运行 ATO（Automatic Train

Operation) 及列车自动监控 ATS (Automatic Train Supervision) 三个子系统。

3. 环控系统

轨道交通的环控系统, 也称通风空调系统, 是采用人工的方法, 创造和维持满足一定要求的空气环境。环控系统调控包括空气湿度、空气温度、空气流动速度和空气质量。

轨道交通中可能发生的灾害主要有火灾、水灾、风灾、雷击、地震、行车事故等。对雷击和行车事故很难事先报警, 只能在设计时采取预防措施, 以提高运行的可靠性和安全性; 对水灾、风灾、地震一般可直接接收有关部门的预报信息, 不另设轨道交通专用的报警系统。

轨道交通中火灾的发生概率高, 危害严重, 且损失大, 为了尽早探测到火灾的发生并发出警报, 启动有关防火、灭火装置, 一般在防灾报警设计中都将其作为主要防范对象。对于火灾, 一般设有火灾自动报警系统。另外, 配置灭火器以及地下重要设备用房的洁净气体全淹没灭火系统。此系统可以在火灾发生的初期自动探测到火灾, 并通过警报装置发生火灾警报, 组织人员撤离, 同时启动防烟、排烟及防火、灭火设施, 以便人员撤离, 防止火灾发展和蔓延, 及时控制和扑灭火灾。

任务二 轨道交通路基概述

经开挖或填筑而形成的直接支承轨道结构的土工结构物叫作轨道交通路基。因此, 轨道交通路基是为满足轨道铺设和运营条件而修建的土工构筑物。它是轨道的基础, 承受着轨道及机车车辆的静荷载和动荷载, 并将荷载向地基深处传递扩散。在纵断面上, 路基必须保证轨顶需要的标高; 在平面上, 路基与桥梁、隧道、轨道等连接组成完整贯通的轨道交通线路。在轨道交通的发展过程中, 路基为轨道结构的不断更新、改善和轨道定型化提供了必要的条件。

一、路基工程的组成

为了保证路基正常工作, 路基工程主要包括路基本体、路基防护和加固设备及路基排水设备三部分。

1. 路基本体

路基本体是直接铺设轨道结构并承受列车荷载的部分, 例如路堤、路堑等。它是路基工程中的主体建筑物。

2. 路基防护和加固设备

路基防护和加固设备属于路基的附属建筑物, 例如挡土墙、护坡等。

3. 路基排水设备

排水设备也属于路基的附属建筑物, 例如排除地面的排水沟、侧沟、天沟和排除地下水的排水槽、渗水暗沟和渗水隧洞等。

二、路基工程的主要特点

从路基所起的作用来看，路基是轨道的基础；从路基作为一种建筑物来看，它是一种土工建筑物。作为一种土工结构物，路基是建筑在岩土地基之上的土工构筑物，线路穿越万水千山，因此路基工程具有不同于桥梁和隧洞等工程结构物的主要特点：

1. 岩土既是路基结构地基又是路基结构材料

岩土体是不连续的、破碎的、多孔隙的三相体，具有典型的非线性特征，物理力学性质极其复杂，随着线路经过的地形、水文地质条件和工程地质条件的差异，具有时空变异性。岩土体的变形参数和强度参数因试验的排水条件、应力状态和应力历史的不同而存在差异，故在路基填料好坏的区分、路基变形的计算和路基稳定件分析中所用的参数就会不同，得出的结果就会存在差异。

2. 路基完全暴露于大自然中，受环境影响大

路基完全暴露于大自然中，很容易受到气候、水文、地理和四季温度变化等自然条件的影响。如路基因水流冲刷、淋滤等引起的边坡溜坍，膨胀土路基干缩湿胀引起的边坡破坏，北方地区路基受寒冷的影响引起的冻胀，地震时砂土液化引起的路基失稳，西北地区路基容易受到的风蚀沙埋等路基病害，均与自然条件的变化有密切关系。路基的设计、施工与养护均不能离开具体的自然条件。

3. 路基同时承受动、静荷载的作用

路基上的轨道或路面结构以及附属结构物产生静荷载、运行的列车或车辆产生的动荷载。静荷载引起的工后沉降和列车长期动荷载作用下的附加沉降将造成轨道的不平顺，同时其刚度对轨道面的弹性变形也起关键性的作用，因而对列车的安全运行产生重要的影响。

此外，路基工程还具有工程数量大、占地面积大的特点。

上述这些特点决定了路基工程的复杂性，我们必须分析研究路基工程所处的环境及工作条件，研究土的工程性质，掌握其变形和强度的变化规律，研究路基建筑物与土介质之间的相互作用，以及路基与轨道之间的动力学问题。

三、路基建筑要求

根据路基工程的上述特点，为了使路基能够正常工作，路基除断面尺寸应符合设计标准外，还应满足如下要求：

1. 路基必须具有足够的整体稳定性

路基建成后，改变了原来地面的天然平衡状态。在土质不良地区修筑路基时，可能加剧原地面的不平衡状态；开挖路堑使两侧边坡土体失去支承力，可能导致边坡溜坍或滑坡；天然坡面特别是陡坡面上的路堤，可能因自重而下滑。对于上述种种情况，都必须因地制宜地采取一定措施来保证路基的整体稳定性。

2. 路基必须具有足够的强度和刚度

强度和刚度是两个不同的力学特性，两者既有区别又有联系。强度是指路基抵抗应力作用和避免破坏的能力，而刚度则是指路基抵抗变形的能力。为防止路基在车辆荷载及各种自然因素作用下发生破坏与失稳，同时给轨道或路面提供一个坚实的基础，必须针对具体情况，采取一定的措施来保证路基具有足够的强度。另外，为保证路基在荷载作用下不产生超过允许范围的变形，也要求路基应具有一定的刚度。

3. 路基必须具有足够的水热稳定性

路基在地表水和地下水作用下，其强度会降低。特别是在季节性冰冻地区，由于周期性的冻融作用，在水和低温共同作用下，土体会发生冻胀，造成轨面或路面变形，春融期局部土层过湿软化，路基强度急剧下降。因此，不仅要求路基要有足够的刚度和强度，而且还要保证在最不利的水热条件下，路基不致冻胀和在春融期强度不致发生显著降低，这就要求路基应具有足够的水热稳定性。

总之，铁路路基的稳定性可能在长期经受自然因素的侵袭后逐年降低，因此，提高路基的耐久性，使其强度、刚度、几何形态经久不衰，除了精心设计、精心施工、精选材料之外，还要把长期的养护、维修工作放在重要的位置。

四、路基设计分类

路基设计分为一般设计和个别设计两类。

1) 一般设计

指地形、地质条件良好，山坡、边坡及基底稳定，无须进行检算，可按相应规范进行设计。

2) 个别设计

除上述条件外，特殊条件下的路基设计。主要包括以下几种情况：

(1) 工程地质及水文地质条件复杂或路基边坡高度超规范。

(2) 修筑在陡坡上的路堤。所谓“陡坡”是指地面横向坡度等于或陡于 1 : 2.5 的情况。若填料与基底均为不易风化岩石时，是指地面横向坡度等于或陡于 1 : 2 的情况。

(3) 在滑坡、崩塌、岩堆地段，泥石流地区、水库地区、河滩及滨河地段，软土和泥沼地区、裂隙黏土地区、岩溶及其他坑洞地区，多年冻土地区、风沙地区、雪害地区等特殊条件下的路基。

(4) 有路基的防护加固及改移河道工程。

(5) 采用大爆破及水利充填施工方法的路基。

五、轨道交通路基发展趋势

长期以来，我国新建铁路没有把路基当成土工结构物来对待，而普遍冠名以土石方。在“重桥隧、轻路基，重土石方数量、轻质量”倾向下，路基翻浆冒泥、下沉、边坡坍塌、滑坡等病害经常发生，使新建铁路交付运营后乃至运营多年不能达到设计速度与运量，经济与社会效益较差。

运营铁路路基技术状态不佳，强度低，稳定性差，严重威胁铁路运输和安全，已成为铁路运输的主要薄弱环节。因此，路基质量问题已逐渐被人们所认识与重视。由于我国铁路运输承担了70%左右的货物周转量和60%左右的旅客周转量，因此国家确定了发展重载列车及高速客运专线的技术政策。这也与国外铁路的发展方向相同。高速铁路（High-speed Railway, HSR）是指新建铁路旅客列车设计最高行车速度达到250 km/h 及以上的铁路。重载铁路（Heavy Haul Rail Way）是指运行列车牵引质量为5 000 t 及以上且轴重达到25 t 及以上的铁路。发展重载铁路的国家有美国、加拿大、澳大利亚、俄罗斯等；发展高速铁路的国家有法国、日本、德国等。

为了适应这一变化，我国轨道交通路基有了以下方面的发展：

1. 设计计算技术逐步提高，设计理念逐渐转变

计算技术的发展促进了对岩土本构关系的研究，国内外出现的上百种非线性弹性、弹塑性土石本构关系模型，使对土石体的变形和破坏机理的研究翻开了崭新的一页。

利用现有计算技术，能方便地对地基土石的物理力学指标进行概率统计处理，为可靠性设计奠定了基础。国内已有多个行之有效的计算机程序。可以完成路基的初步设计和施工图设计。

随着高速铁路的出现和发展，深化了传统的路基设计理念。由于高速行车对线路变形的严格要求，使得路基设计由强度控制设计逐渐向变形控制设计转变，因为一般在路基强度破坏之前，已经出现了不能容许的大变形。

2. 新工艺、新技术、新材料层出不穷

随着新材料、新工艺、新技术的不断出现，路基工程面貌焕然一新。对滑坡的处理除采用重力式挡土墙外，经历了抗滑桩、仰斜排水孔、锚杆，发展到应用预应力锚索及锚索桩；对软土地基的处理，从采用砂井、反压护道，经历了袋装砂井、塑料排水板、真空预压，发展到粉喷桩、旋喷桩及土工合成材料加筋地基；对基床病害的处理经历了换填砂石料、敷设沥青面层、设盲沟排水等措施，发展到目前较普遍应用土工合成材料进行加筋和隔离；边坡防护技术正在从工程防护向绿色生物防护发展。在相应工程中，技术人员可以因时、因地制宜，选用合理的处理方案，如将粉煤灰、水淬矿渣等一类工业废料用于路基施工，它们在减轻结构物质量，保护环境。减少投资等方面有独到之处。使用高效施工机械，大大提高了施工速度和施工质量，减轻了工人的劳动强度；爆破技术的进步，减少了施工对路堑边坡的破坏；一些灾害报警装置性能的明显提高，使施工和行车安全有了保障；施工组织、管理水平也逐渐向世界先进水平靠拢。

3. 测试手段和设备进一步提高，检测方法更加合理

室内土工试验仪器精密化、自动化程度的提高，为研究土体的应力历史、应力路径，判别砂土液化的可能性；确定动荷载作用下土的强度和变形等提供了条件。土工离心机模拟试验可直观显示构筑物因重力引起的应力、应变状态，以便于研究其破坏机理，现已用于研究软土地基上路堤临界高度、路堤沉降分析以及支挡结构物的作用机理等课题中。

利用原位测试手段了解现场土的物理力学状态，克服了取样试验的一些局限性。通过大量试验，对各试验指标之间及各试验指标与室内试验相应指标之间的相关关系研究取得了可资应用的成果。

路基施工质量的检测方法正在由以前单一的压实系数 K 指标逐渐向多指标(压实系数 K 、地基系数、空隙率、动模量检测)过渡。

4. 规范逐步完善和更新

制定规范可以说是各项工程的“国策”，有了规范才有章可循。只有建设者遵守规范，才能统一施下管理及验收标准，确保工程质量。在调查研究，总结经验，吸取科研成果的基础上。我国相继制定和修改了若干有关铁路路基勘测、设计、施工及质量评定的规范。

任务三 路基构造认识

一、路基横断面形式和组成

1. 路基横断面形式

垂直于线路中心线的路基截面称为路基横断面。横断面的形式有路堤、路堑、半路堤、半路堑、半路堤半路堑和不填不挖。

1) 路堤

当铺设轨道路面高于天然地面,路基在原地面上用土、石填筑而成称为路堤,如图 1.1a。

2) 路堑

当铺设轨道路面低于天然地面,自原地面向下开挖的路基称为路堑,如图 1.1b。

3) 半路堤

当天然地面横向倾斜,路基的路基面边线和天然地面相交时,路堤体在地面和路基面相交线以上部分无填筑工程量,这种路堤称为半路堤。如图 1.1c。

4) 半路堑

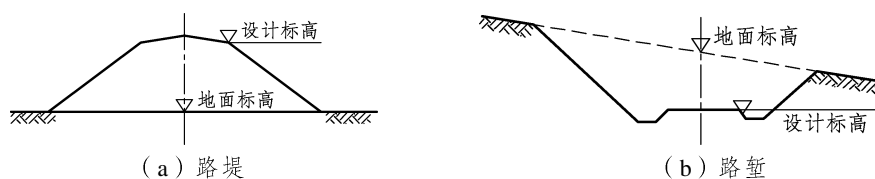
当天然地面横向倾斜,路堑路基面的一侧无开挖工作量时,这种路基称为半路堑,如图 1.1 d 所示。

5) 半路堤半路堑

在同一横断面上,由部分路堤和部分路堑组成的路基称为半堤半堑,如图 1.1e。

6) 不挖不填路基

当路基的路基面和经过处理后的天然地基面齐平,路基无填挖土方时,这种路基称为不填不挖路基(即零点断面路基),如图 1.1f 所示。



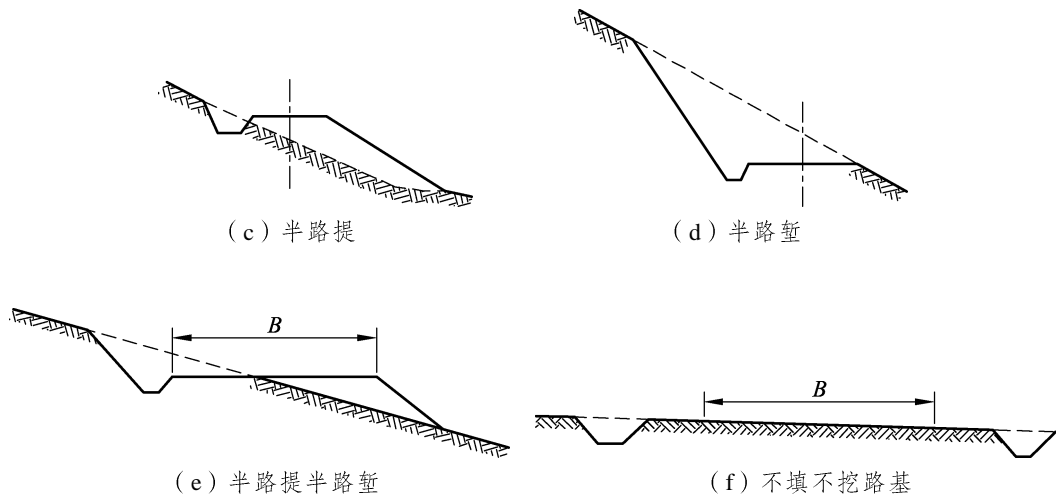


图 1.1 路基横断面形式示意图

2. 路基本体的组成

路基本体由路基顶面、路肩、边坡、基底几部分组成，如图 1.2 所示。

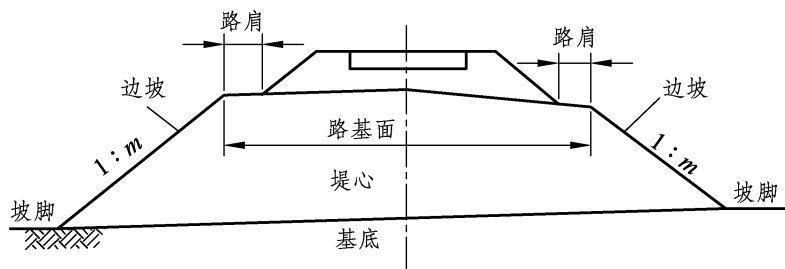


图 1.2 路基本体组成示意图

1) 路基顶面

路基两侧路肩外缘之间的路基面称为路基顶面或简称路基面。

2) 路肩

路基面两侧无道床覆盖的部分称为路肩。路肩的作用就是保护路堤受力的堤心部分，防止道砟落失，保持路基面的横向排水，供养护维修人员作业行走避车，放置养护器具，防洪抢险临时堆放砂石料，埋设各种标志、通信信号、电力给水设备等。所以，路肩设计必须在考虑了施工误差、高路堤沉落与自然剥蚀等因素后，要保持必要的宽度。在线路设计中，以路肩边缘的高程表示路基的设计高程，称为路肩高程。

3) 基床

基床是指路肩高程以下、受列车荷载作用影响显著的上部结构。基床由表层和底层组成，基床结构示意如图 1.3 所示。根据现行《地铁设计规范》(GB50157) 规定，基床表层厚度不应小于 0.5 m，底层厚度不小于 1.5 m。根据现行《铁路路基设计规范》(TB10001) 规定常用铁路路基基床厚度如表 1.1 所示。

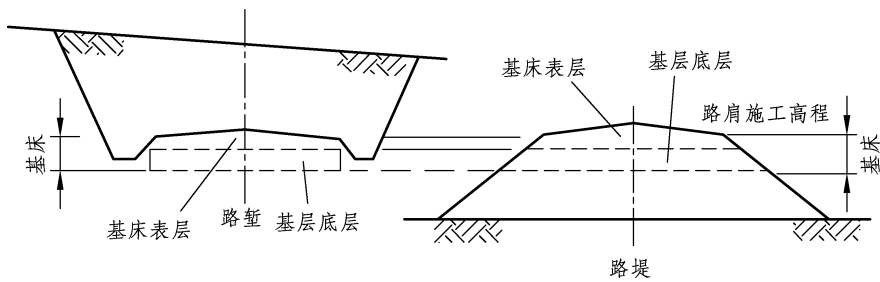


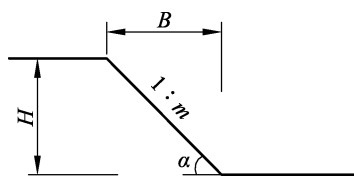
图 1.3 基床结构示意图

表 1.1 常用路基基床厚度

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

4) 路基边坡

在路基两侧由于填挖而形成的坡面称为路基边坡。路基边坡可分为路堤边坡和路堑边坡。每一坡段坡面的斜率以边坡上下两点间的高差与水平距离之比表示，当高差为 1 单位长时，水平距离折算为 m 单位长，则斜率为 $1:m$ 。在路基工程中，以 $1:m$ 方式表示的斜率称为坡度， m 称为坡度系数，如图 1.4。边坡坡度是指边坡上两点间的竖直距离和水平距离的比值，用 $1:m$ 表示。边坡常修筑成单坡形、折线形和阶梯形，如图 1.5。在路基本体构造中，边坡的形状和坡度的缓陡对路基本体的稳定和工程费用有重要影响。



坡度 $i = \tan \alpha = H : B = 1 : (B/H) = 1 : m$ ，坡度系数 $m = B/H$

图 1.4 路基边坡坡度示意图

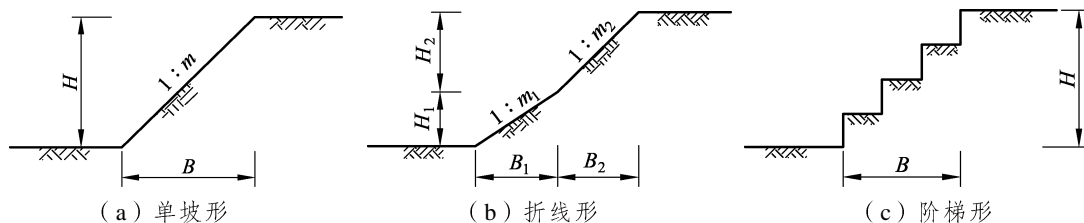


图 1.5 路基边坡坡度示意图

5) 基底

路堤下地基内承受路堤及轨道、列车等荷载作用的部分称为路堤基底。在路堑中，因为路基是在地基内以开挖方式构成的，所以路堑的基底为路堑边坡土体内和堑底路基面以下的地基内产生应力变化的部分。简单来说，路堤基底是指天然地面下受影响的地层，路堑基底是指基床面以下受影响的地层。基底的稳固对路基本体以至轨道的稳定性都至关重要。因此在软弱基底上修筑路堤时，必须对基底进行处理，以免危及行车安全与正常运营。

二、路基面的形状和尺寸

(一) 路肩宽度及高程

1. 路肩宽度

路基面的宽度等于道床覆盖的宽度加上两侧路肩的宽度之和。当道床的标准为既定时，路基面的宽度便决定于路肩的宽度。

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。路肩的作用是加强路基的稳定性，防止道砟滚落在路基面以外，同时便于维修和养护。

现行《地铁设计规范》(GB 50157)规定当路肩埋有设备时，路堤及路堑的路肩宽度不得小于 0.6 m，无埋设设备时路肩宽度不得小于 0.4 m。根据现行《铁路路基设计规范》(TB 10001)有砟轨道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) 客货共线设计速度为 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。

无砟轨道路肩宽度为轨道结构支承层外侧边缘与路肩顶之间的距离，依据路基面标准宽度和道结构类型计算确定。

2. 路肩高程

线路中心线的高程即为设计高程，也称为路基高程。为了测量工作方便，常用路肩高程代替路基高程。路基边坡与路基顶面的交点称为顶肩，边坡与地面的交点在路堤中称为坡脚，在路堑中称为堑顶。路堤的边坡高度为路肩高程与坡脚高程之差，路堑边坡高度为堑顶高程与路肩高程之差。线路中心线与地面线交点的高程称为地面高程，路肩高程与地面高程之差称为路基中心高度，如图 1.6 所示。如果左右两侧的边坡高度不等，则规定以大者代表横断面的边坡高度。

路肩高程在一般地段以保证线路平顺，满足运输要求和节省工程量为原则，根据线路纵断面设计需要决定。为保证路基不致被洪水淹没，也不致在地下水最高水位时因毛细水上升致路基面产生冻胀或翻浆冒泥等病害。因此，对路肩高程有一个最小值要求，并满足设计规范的要求。

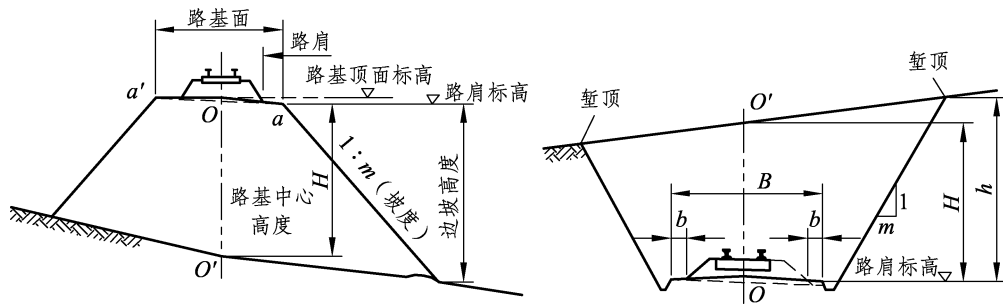


图 1.6 路基边坡高度示意图

(1) 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。

(2) 水库路基的路肩高程，应大于设计水位、波浪侵袭高、壅水高（包括水库回水及岸边壅水）、安全高度等之和，如图 1.7 所示。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。

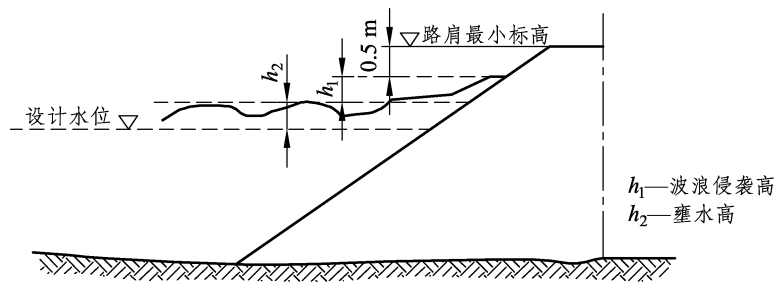


图 1.7 水库路基路肩最小高程

(3) 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。

(4) 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。

(5) 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。

(6) 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，应按分别计算路肩高程，取二者中之大值。

(7) 安全高度宜取 0.5 m。

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 4、5、6 条规定的限制。

(二) 路基面形状

1. 区间路基面的形状

(1) 路拱。

路拱是指路基面的路肩外缘向中间拱起的部分，形式为三角形，如图 1.8。水的危害是造成路基病害的重要原因，保证良好的排水条件是路基设计的重要原则。路基面设路拱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。现行《地铁设计规范》(GB50157) 规定路基面形状应设计为三角形路拱，应由路基中心线向两侧设 4% 的人字排水坡。现行《铁路路基设计规范》(TB10001) 规定：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%。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。曲线加宽时，路基面仍保持三角形，仅将路拱外侧坡度放缓。

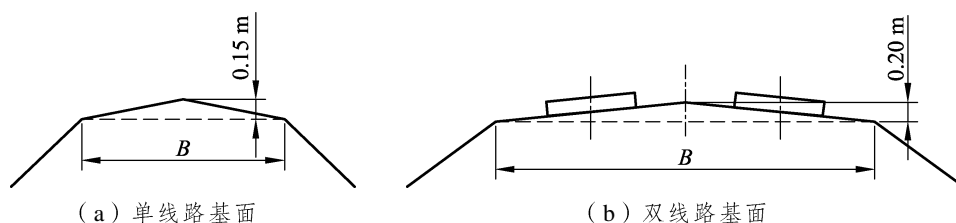


图 1.8 单、双线路路基面形状示意图

(2) 不同类型路基的衔接。

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。（注：道床结构及厚度按现行《铁路轨道设计规范》(TB 10082) 取用，不同铁路正线有砟轨道设计标准见附录 A。）

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）。

从图 1.9 和 1.10 中得出：在单线铁路（或双线并行等高地段）中，岩石路堑及土质路基（单层道床 0.30 m），其路肩设计高程应高于土质路堤（双层道床）的路肩设计高程，高出尺寸 Δh 按式 (1-1) 计算。

$$\Delta h = (h - h') + \frac{B - B'}{2} \times 0.04 \quad (1-1)$$

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。

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。

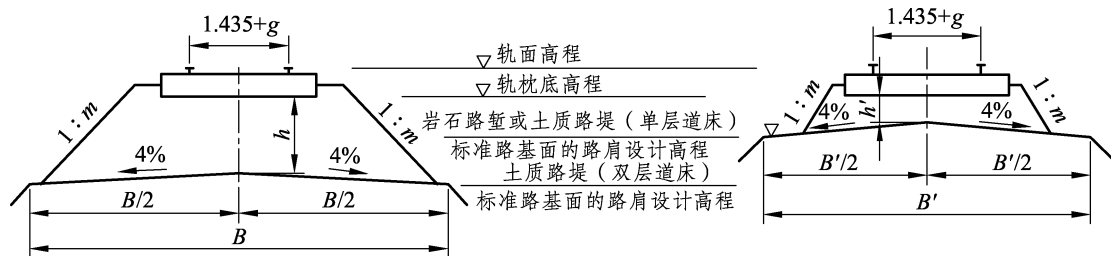


图 1.9 单线铁路直线地段标准路基面的路肩设计高程

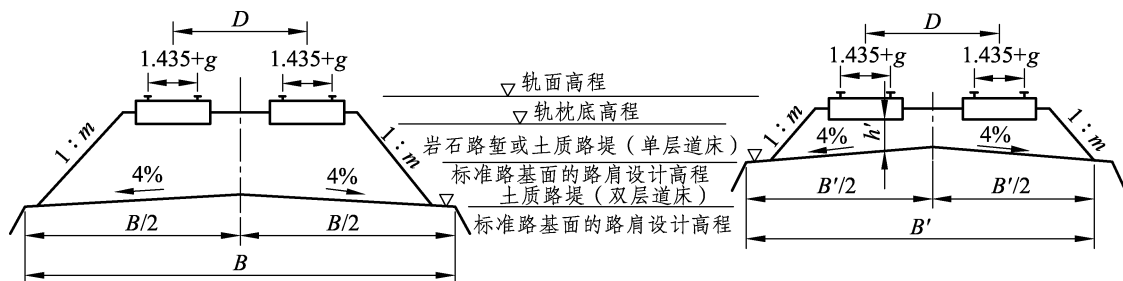


图 1.10 双线铁路并行等高直线地段标准路基面的路肩设计高程

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表 1.2。

表 1.2 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
	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（双层道床 0.30 m）	m	0.216		
	土质路堑（双层道床 0.30 m）	m	0.216		

(3) 不同填料的基床表层衔接。

不同填料的基床表层衔接时，应设长度不小于 10 m 的渐变段，如图 1.11 所示。渐变段应在路肩设计高程较高的段内逐渐顺坡至路肩设计高程较低处。渐变段的基床表层应采用相

邻填料中较好的填料填筑。双线铁路中并行等高地段与局部单线地段连接时，应在局部单线地段内逐渐顺坡至并行等高地段，其顺坡长度要大于 10 m。

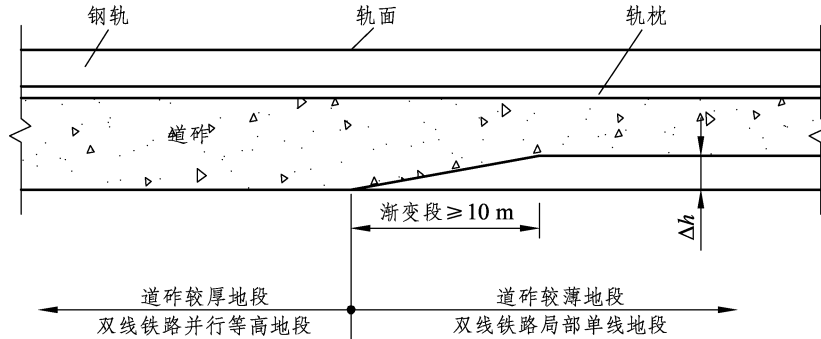


图 1.11 不同填料的基床表层衔接方法

2. 站场路基面的形状

站场路基是指车站线路下面的地面工程结构。站场路基面应有一定的横向坡度，以保证及时排走路基面上的雨水、雪水，保持路基面、基床干燥。根据站场路基的宽度、排水要求和路基填挖情况，可将路基面设计成单面坡、双面坡或锯齿形坡，路基面横向排水坡度为 2% ~ 4%，并在低谷处设置排水设备，如图 1.12 所示。

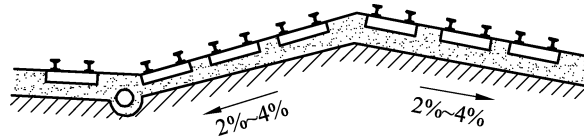


图 1.12 站场多股道路基顶面图

(1) 单面坡。用于中小站，坡向要根据正线和站台位置而定。一般从正线向到发线倾斜，如图 1.13 所示。

当有两个站台时，坡向可考虑自到发线向正线倾斜，以减少因调整各股道轨顶差所用的道砟，如图 1.14 所示。

(2) 双面坡。大站股道数目多，若在同一坡面上设置股道太多，调整各股道轨顶高差需用道砟量太大时，则可采用双面坡。双面坡分坡点的位置依据调整各股道轨顶高差所用道砟量较少确定。

(3) 锯齿形路基面。因为路基面由几个双面坡组成，像是锯齿，所以称为锯齿形路基面，用于股道数量很多的大型车站。如图 1.15 所示。

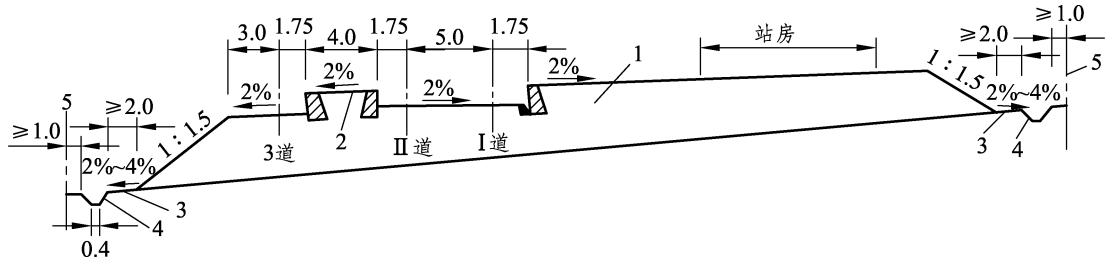


图 1.13 会让站路堤横断面 (单位: m)

1—基本站台; 2—站台; 3—护道; 4—排水沟; 5—用地界

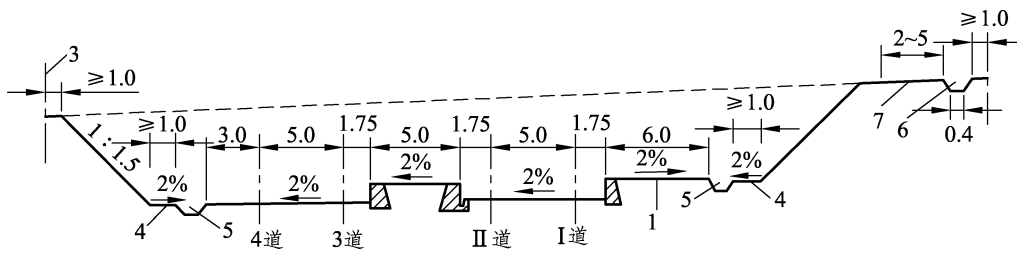


图 1.14 中间站路堑横断面 (单位: m)

1—基本站台; 2—站台; 3—用地界; 4—侧沟平台; 5—侧沟; 6—天沟; 7—隔带

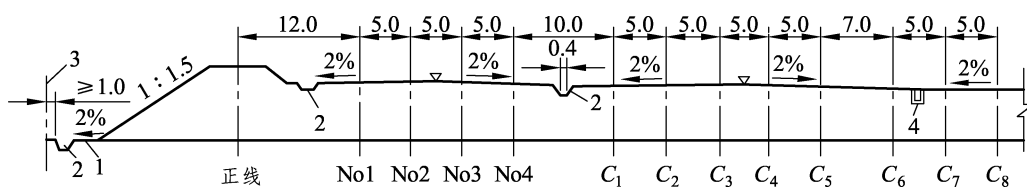


图 1.15 大型车站路堤横断面 (单位: m)

1—护道; 2—侧沟; 3—用地界; 4—盖板暗沟

(三) 路基面的宽度

1. 直线地段路基面宽度

路基面宽度为路基面两侧路肩外缘之间的距离。区间路基面宽度应根据设计速度、轨道类型、正线数目、线间距、曲线加宽、路肩宽度、养路形式、电缆槽、接触网支柱类型和基础类型等因素计算确定, 必要时应考虑声屏障基础的设置。站场路基面宽度应根据站房地、站台数量、股道数量及其线间距以及站内排水设备等确定。

1) 客货共线非电气化铁路直线地段标准路基面宽度的确定

(1) 单线铁路直线地段标准路基面宽度。

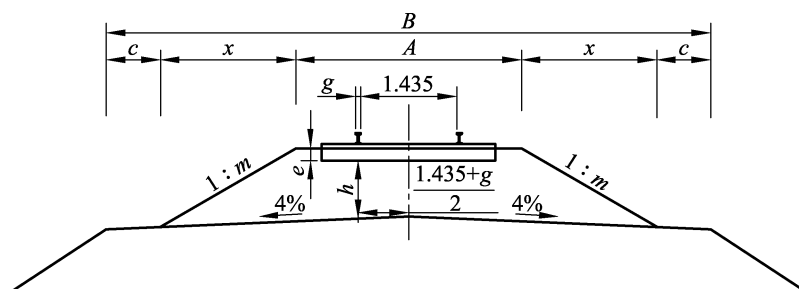


图 1.16 非电气化单线铁路直线地段标准路基面宽度

从图 1.16 可知单线铁路区间直线段路基面最小宽度为:

$$B = A + 2X + 2C \quad (1-2)$$

$$\text{其中 } X = \frac{h + 0.04 \left(\frac{A}{2} - \frac{1.435 + g}{2} \right) + e}{\frac{1}{m} - 0.04} \quad (1-3)$$

图及式中：

- B ——路基面宽度 (m)；
- A ——单线地段道床顶面宽度 (m)；
- m ——道床边坡坡率，正线道床一般取 1.75；
- 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 m；
- C ——路肩宽度 (m)；
- X ——砟肩至砟脚的水平距离 (m)。

(2) 双线铁路直线地段标准路基面宽度。

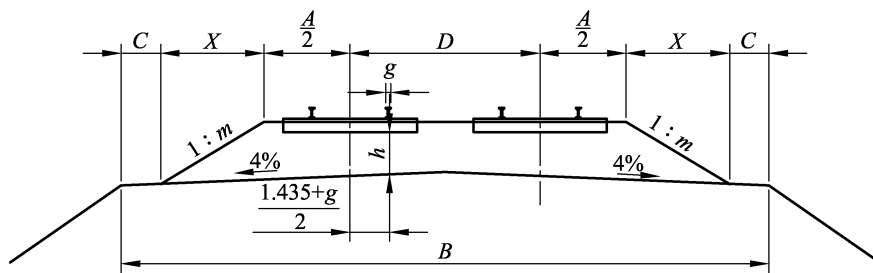


图 1.17 非电气化双线铁路直线地段标准路基面宽度

从图 1.17 可知双线铁路区间直线地段路基面宽度最小为：

$$B = A + 2X + 2C + D \quad (1-4)$$

$$X = \frac{h + 0.04 \left(\frac{A}{2} + \frac{1.435 + g}{2} \right) + e}{\frac{1}{m} - 0.04} \quad (1-5)$$

式中 D ——双线的线间距；

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。

其余符号含义同上。

(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 1.3 取值。

表 1.3 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
		200	160	120	≤ 120
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

续表

项目	单位	I 级铁路								II 级铁路	
		单		双	单		双	单		双	单
道床结构	层										
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	m	7.7	7.5	7.8	7.2	7.0	7.8	7.2	7.0	7.5	7.0
	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。

2) 客货共线电气化铁路直线地段标准路基面宽度的确定

直线地段标准路基面宽度应按式 (1-5) 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 1.4 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 1.5 ~ 表 1.7 取值。

$$B = 2(D_1 + \frac{E}{2} + \frac{F}{2} + 0.25) + D \quad (1-6)$$

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)。

表 1.4 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	
		单		双	单		双	单		双	单
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	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)
	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 1.5 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	8.8	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 1.6 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 1.7 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。

2. 曲线地段路基面宽度

由于曲线外轨设置超高，外侧道床加厚，道床坡脚外移，曲线外侧的路基面应适当加宽，其加宽值按各级铁路最大允许超高计算确定。加宽值在缓和曲线范围内应线性递减。因此，区间单线曲线地段路基面宽度等于区间单线直线地段路基面宽度再加上曲线地段路基加宽值。

现行《地铁设计规范》(GB 50157)规定：区间曲线地段的路基面宽度，单线应在曲线外侧，双线应在外股曲线外侧按表 1.8 的数值加宽。

表 1.8 地铁曲线地段路基面加宽值

曲线半径 R/m	路基面外侧加宽值/m
$R \leq 600$	0.5
$600 < R \leq 800$	0.4
$800 < R \leq 1\ 000$	0.3
$1\ 000 < R \leq 2\ 000$	0.2
$2\ 000 < R \leq 5\ 000$	0.1

现行《铁路路基设计规范》(TB 10001)规定：客货共线铁路区间单、双线曲线地段的路基面宽度，应在路基面标准宽度规定基础上在曲线外侧按表 1.9 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，应在表 1.5~表 1.7 基础上在曲线外侧按表 1.10~表 1.12 的数值加宽，加宽值应在缓和曲线范围内线性递减。

表 1.9 客货共线铁路曲线地段路基路面加宽值

铁路等级	设计速度/(km/h)	曲线半径 R/m	路基路面加宽值/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

续表

铁路等级	设计速度/(km/h)	曲线半径 R/m	路基路面加宽值/m
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 1.10 有砟轨道高速铁路曲线地段路基路面加宽值

设计速度/(km/h)	曲线半径 R/m	路基路面加宽值/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
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 1.11 有砟轨道城际铁路曲线地段路基路面加宽值

设计速度/(km/h)	曲线半径 R/m	路基路面加宽值/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

续表

设计速度/(km/h)	曲线半径 R/m	路基路面加宽值/m
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 1.12 重载铁路地段路基路面加宽值

曲线半径 R/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

三、路基典型横断面图

典型路基横断面是按照现行《铁路路基设计规范》(TB 10001)对路基边坡的高度与坡度、地面排水设备、路堤基底的处理(如基底横坡较陡的处理等)、路堤的取土坑、路堑的弃土堆位置等内容,做了系统考虑后确定的,仅适用于一般水文、地质条件,填挖高度不大的普通土质路基。

1. 路堤典型横断面图

(1) 路堤常用的典型横断面图。

在路基直线地段,普通土质路堤典型横断面图如图 1.18 及图 1.19 所示,图中 B 为路基面宽度, D 为线间距, H 为路基高度。

① 当边坡高度不大于 8 m 时,采用直线形的单一坡率,如 1 : 1.5。

② 当填方高度大于 8 m 而小于 20 m 时,采用上陡下缓的变坡坡率,如上部 1 : 1.5 和下部 1 : 1.75。

③ 地面横坡大于 1 : 5 而小于 1 : 2.5 的斜坡, 原地面应挖台阶, 台阶宽度不应小于 2 m。设置台阶的目的是减少路堤沿基底面滑动和克服路堤产生纵向裂缝。

④ 大于 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。

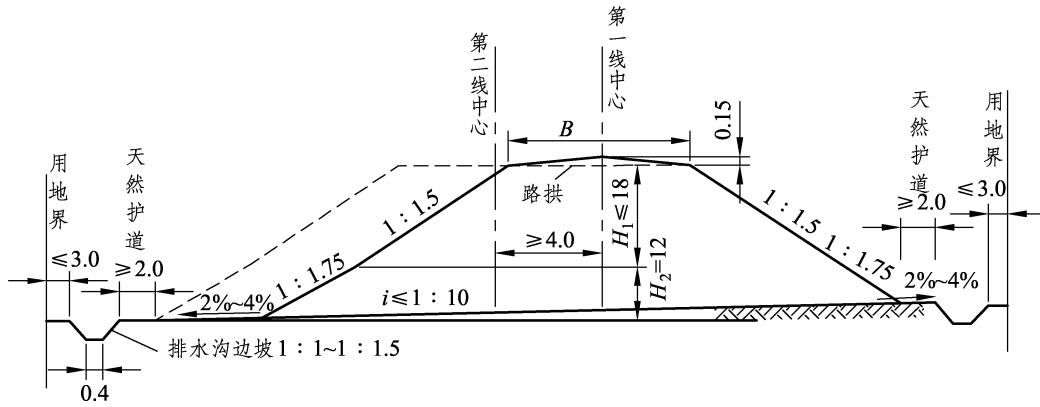


图 1.18 有排水沟路堤典型横断面图 (单位: m)

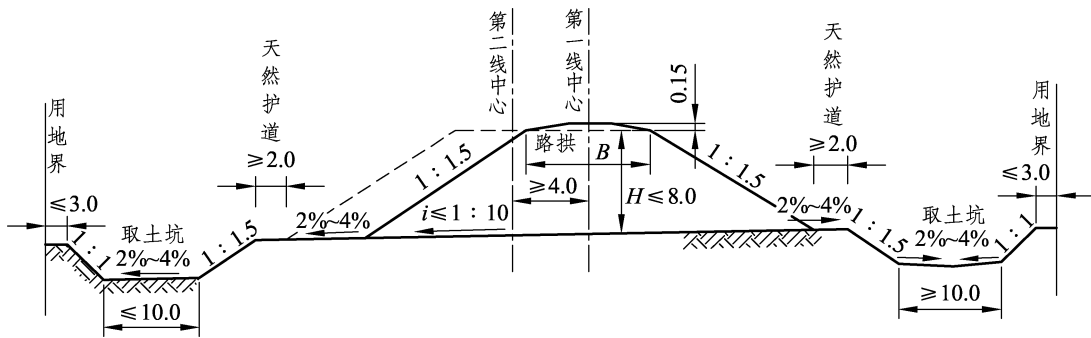


图 1.19 有取土坑路堤典型横断面图 (单位: m)

(2) 护道。

路堤坡脚与排水沟 (或取土坑边缘) 之间的天然地面称为护道, 其宽度不小于 2.0 m, 以保护路堤坡脚免受排水沟或取土坑中水流的冲刷而危及路堤边坡的稳定性。在经济作物区段, 可设宽度不小于 1 m 的人工护道或坡脚墙。另外, 护道表面应平顺, 并有 2% ~ 4% 的向外排水坡。如果天然地面达不到要求应由人工修整。

(3) 取土坑。

当无弃土作填土来源或弃土运距太远而不经济时, 可在护道以外设取土坑就近取土。取土坑的设置应根据取土数量, 结合路基排水、地形、土质、施工方法、节约用地以及未来路基加宽要求等, 统一规划, 并符合以下规定:

- ① 取土坑的土质应符合路基填料要求。
- ② 地形平坦地段, 宜设在路堤一侧。当地面横坡陡于 1 : 10 时, 宜设在路堤上侧, 以汇集和排除地表水。
- ③ 桥头河滩路堤的取土坑必须设在下游侧。
- ④ 兼作排水的取土坑, 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，其纵坡不应小于 2‰，平坦地段也不应小于 1‰。

⑤ 当取土坑较深时，边坡坡脚至取土坑距离应保证路堤边坡稳定，取土坑内侧坑壁应采取防护措施。

(4) 排水沟。

路堤填筑有弃土可利用时，路堤地表排水应在护道以外迎水一侧或两侧设排水沟。排水沟的设置及纵向坡度的一般规定与取土坑要求相同。路基排水沟的断面除需按流量计算加大外，一般可采用底宽 0.4 m、深度 0.6 m 的梯形断面；干旱少雨地区，深度可减至 0.4 m。此外，为防止水沟冲刷，当流速大于该处土的容许冲刷流速时，应予以铺砌加固，并应注意沟内水下渗影响路基的稳定。

路堤用地界为排水沟、护道或坡脚矮挡土墙边缘不大于 3 m。路堑用地界为天沟外缘外 2 m；无天沟时，为路堑顶外缘外 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界。

2. 路堑典型横断面

(1) 路堑常见的典型横断面。

有弃土堆和无弃土堆的不同土质路堑典型横断面图如图 1.20 和图 1.21 所示。

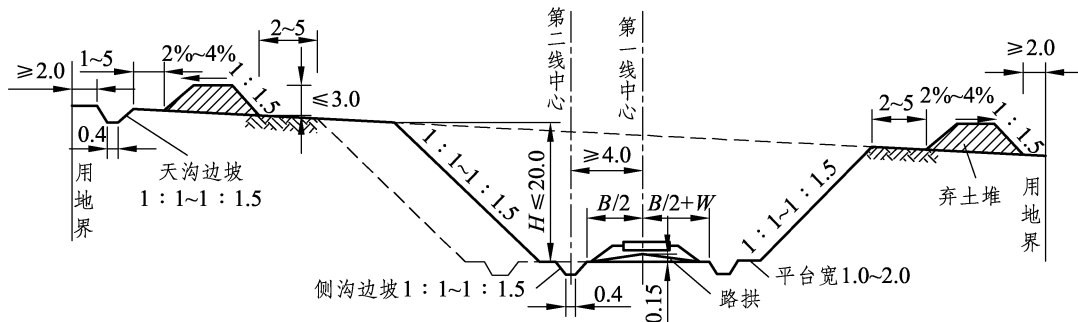


图 1.20 曲线地段一般黏性土路堑典型横断面图 (单位: m)

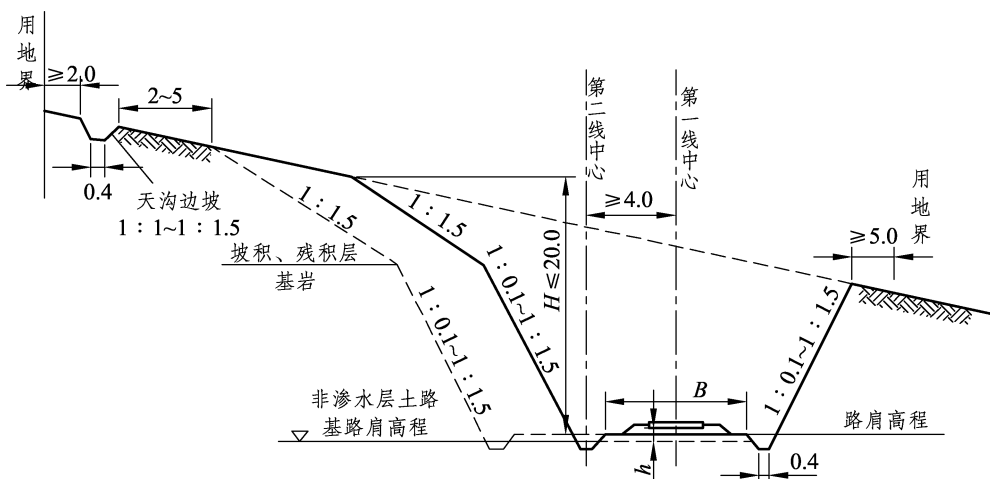


图 1.21 有排水沟岩石路堑典型横断面图 (单位: m)

(2) 路堑平台(碎落台)。当路堑边坡为碎石等类土、砂类土、易风化岩石或其他不良土质(如膨胀土)时,为防止坍落的土和碎石堵塞侧沟,应在侧沟外侧设置平台。软质岩及强风化的硬质岩最小平台宽度 0.5 m,土质路堑最小平台宽度 1.0 m,如边坡高度大于 20 m 时,可酌情增宽至 1.5~2.0 m。如边坡已全部设防护加固工程时可不设平台。平台面上应有 20%~4%的向侧沟方向的排水坡。

由不同地层组成、高度为 15~20 m 及以上的路堑边坡,由于坡面流水较大,土层交接处或坡脚易被冲刷淘空,形成边坡坍塌;为便于养护作业,在边坡中部或不同地层分界处设平台,并在平台上设置截水沟或挡水墙,平台宽度不宜小于 2 m。在年平均降水量小于 400 mm 的地区,边坡平台上可不设截水沟,但应设置向坡脚方向不小于 4%的排水横坡。

(3) 弃土堆。路堑顶缘以外部分称为路堑堑顶,置于堑顶的弃土应建成弃土堆。其边坡不得陡于 1:1,高度不宜超过 3 m。一般情况下,置于堑顶两侧的弃土堆应符合以下要求:

① 弃土堆的设置不应影响山体或边坡稳定,弃土堆内侧坡脚至堑顶距离应根据路堑土质条件和边坡高度确定,且不宜小于 5 m。

② 陡坡路基和深路堑地段的弃土堆应置于山坡下侧,并间断堆填,以保证弃土堆内侧地面水能顺利排出。

③ 桥头弃土不得挤压桥墩台,阻塞桥孔。

④ 对弃土堆应采取必要的挡护措施,以确保边坡稳定和符合环保要求。当堑顶上坡方向一侧无弃土堆时,如有地表水流向路堑,应设天沟截引,天沟与堑顶边缘的距离应不小于 5 m;加防渗铺砌时,可减至 2 m。湿陷性黄土路堑天沟至路堑顶缘间的距离,一般不小于 10 m,并应加固防渗。天沟的横断面与侧沟相同,一般采用底宽 0.4 m,深度 0.6 m 的梯形断面,天沟的两侧边坡根据土质条件可取为 1:1~1:1.5。天沟不应向路堑侧沟排水;如受地形限制需经边坡向侧沟排水时,应修建急流槽,急流槽应作单项设计。堑顶水流由侧沟排出时,侧沟应按流量计算,加大截面。

另外,当沿河弃土时,不得阻塞河流,抬高水位及改变水流性质。弃土也不得压缩桥孔或涵管口,改变水流方向,危及桥梁或涵洞安全。在地面横坡陡于 1:1.25 的路堤边坡和滑坡路堤边坡上不应堆置弃土,必须堆置时,应采取加强路堤边坡稳定的措施。

(4) 侧沟。路基面两侧的排水沟称为侧沟,用以排引路基面和边坡上的地面水。一般黏性土和细砂土的路堑侧沟,底宽不应小于 0.4 m,沟深不小于 0.6 m;干旱少雨地区,深度可减至 0.4 m。一般黏性土的侧沟边坡,靠线路一侧为 1:1,靠田野一侧与边坡陡度一致。岩石路堑的侧沟可修建成槽形,底宽和深度均不应小于 0.4 m。侧沟的纵坡不应小于 2‰,一般应取与路堑线路纵坡相同的坡度;若路堑地段线路纵坡为零或小于 2‰时,侧沟可做成单面坡或双面坡,长路堑宜作成双面坡,以免侧沟下游段开挖过深,增大路堑开挖数量,在困难条件下,侧沟纵坡坡度可减至 1‰。

四、路基边坡

路基边坡设计时主要包括边坡形状的设计和边坡坡度的确定。边坡坡度必须保证路基的稳定性。

(一) 路堤边坡

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 1.13 的规定，其边坡形式和坡率可按表 1.13 采用。

表 1.13 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 : 1.5	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 : 1.5	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。

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。

铁路运营期路堤边坡最小稳定安全系数应符合永久边坡一般工况应为 1.15 ~ 1.25，永久边坡地震工况应为 1.10 ~ 1.15，临时边坡应不小于 1.05 ~ 1.10 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。

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。

(二) 路堑边坡

现行《地铁设计规范》(GB50157) 规定路堑边坡高度不宜超过 20 m，路堑设计高度超过 20 m 时，应采用隧道或明洞。对强风化、岩体破碎的石质路堑、特殊岩土和土质路堑的边坡高度，应严格控制，并应采取支挡防护措施。

现行《铁路路基设计规范》(TB10001) 规定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，且不宜超过 30 m。

1. 土质路堑

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。

土质路堑边坡高度小于 20 m 时，边坡坡率可按表 1.14 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 1.14 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。

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规范的相应规定。

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。

2. 岩石路堑

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。

岩石路堑边坡高度小于 20 m 时，边坡坡率可按表 1.15 确定。

表 1.15 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 : 0.50
	弱风化、强风化	1 : 0.3 ~ 1 : 0.75
	全风化	1 : 0.75 ~ 1 : 1.0
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现行《铁路特殊路基设计规范》(TB 10035) 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。

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相应规范规定。

【思考及训练】

1. 查阅我国轨道交通路基建设涉及的标准、规范、规程、规定等技术文件。
2. 阐述轨道交通路基的特点，基本要求。
3. 路基工程主要由哪几部分组成？
4. 路基横断面的形式有哪些？
5. 路肩的作用是什么？路肩的最小宽度有哪些规定？
6. 曲线地段路基面为什么要加宽？
7. 路基边坡的形式有哪几种？应根据哪些条件进行确定？