



普通高等教育“十一五”  
国家级规划教材



普通高等学校铁道工程  
专业新编系列教材

LUJI GONGCHENG

# 路基工程

(第三版)

杨广庆 苏 谦◎主编



中国铁道出版社  
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
普通高等学校铁道工程专业新编系列教材

# 路基工程

(第三版)

杨广庆 苏 谦 主编



中国铁道出版社

2018年·北京

## 内 容 简 介

全书共分十章,系统阐述了路基填料强度与变形特性、一般路基设计、路基边坡稳定性分析、路基排水和防护设计、路基支挡结构设计、特殊路基设计、铁路路基土工合成材料应用设计、路基施工与质量检测以及路基变形观测与评估等内容。

本书为高等学校铁道工程专业教学用书,也可供从事土木工程的工程技术人员及管理人员学习参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

路基工程/杨广庆,苏谦主编.—3版.—北京:中国铁道出版社,2018.12

普通高等教育“十一五”国家级规划教材 普通高等学校铁道工程专业新编系列教材

ISBN 978-7-113-24839-0

I. ①路… II. ①杨… ②苏… III. ①铁路路基-铁路施工-高等学校-教材 IV. ①U213.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 180020 号

书 名: 路基工程(第三版)  
作 者: 杨广庆 苏 谦 主编

责任编辑: 李丽娟 编辑部电话: (010)51873135

封面设计: 崔 欣

责任校对: 王 杰

责任印制: 郭向伟

出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址: <http://www.tdpress.com>

印 刷: 三河市宏盛印务有限公司

版 次: 2003年8月第1版 2018年12月第3版 2018年12月第1次印刷

开 本: 787 mm×1092 mm 1/16 印张: 18.5 字数: 461千

书 号: ISBN 978-7-113-24839-0

定 价: 49.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。电话:(010)51873174(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)51873659,路电(021)73659,传真(010)63549480

此为试读,需要完整PDF请访问: [www.ertongbook.com](http://www.ertongbook.com)

## 第三版前言

《路基工程》第一版为普通高等教育“十五”国家级规划教材,第二版为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。第二版出版至今已有八年,多次重印,得到用书学校的好评。

近几年来我国铁路建设快速发展,出现了基于功能需求的高速铁路、城际铁路、客货共线铁路、重载铁路和市域铁路等多种形式的铁路线路,路基工程设计的指导思想也由单纯按照强度控制设计发展到按照稳定性和变形控制设计。为了适应我国铁路建设的发展现状,满足铁路路基工程发展需求,有必要对2010年出版的第二版教材进行再版更新。再版修订时,力求反映近年来铁路路基工程的新理论、新技术、新材料和新工艺,在总结近年来我国铁路路基工程研究成果的基础上,以国家铁路局、中国铁路总公司最新颁布的相关工程技术标准、规范、规程为依据,较为系统全面地叙述了铁路路基设计、施工与工程应用中的关键技术,以期达到理论联系实际的目的。

全书共十章,主要内容包括:路基填料强度与变形特性、一般路基设计、路基边坡稳定性分析、路基防排水与防护设计、路基支挡结构设计、特殊路基设计、铁路路基土工合成材料应用、路基施工与质量检测、路基变形观测与评估等。

本书可作为高等学校铁道工程专业教学用书,也可供从事土木工程专业的工程技术人员及管理人员学习参考。

本书由石家庄铁道大学杨广庆、西南交通大学苏谦主编。杨广庆编写第一、八、十章,石家庄铁道大学吕鹏、周乔勇编写第二、四章,苏谦编写第三、九章,石家庄铁道大学张保俭、王天亮编写第五章,石家庄铁道大学舒玉、赵慧丽编写第六章,石家庄铁道大学王天亮、牛红凯编写第七章。在本书的编写过程中,得到了石家庄铁道大学教务处和中国铁道出版社的大力支持和帮助,在此致以衷心的感谢。

编者

2018年2月于石家庄

# 第一版前言

路基作为一种土工结构物,是铁路轨道铺设的基础。为确保列车安全、平稳运行,路基必须具有强度高,刚度大,稳定性、耐久性好,不易变形等优良性状。随着我国既有线大面积提速改造及快速铁路、高速铁路的修建,一些新技术、新材料、新工艺对于路基工程的设计理论和施工技术带来了新的挑战,同时在许多方面深化和改变了传统的设计思想和施工方法。本书从路基工程设计、施工和质量检测几方面进行了系统的阐述,纳入了高速铁路路基设计与施工,土工合成材料在路基工程中的应用及路基边坡坡面绿色防护新技术等内容。本教材的特点是:强化设计理论基础,突出施工及质量检测,反映路基工程发展新成果,注重能力和思维方法培养。

本教材由石家庄铁道学院杨广庆主编,岳祖润主审。西南交通大学蔡英,北方交通大学刘建坤,兰州交通大学梁波,石家庄铁道学院王锡朝协助审阅并提出了宝贵意见。参加编写的有杨广庆(第一、二、三、七、八、九章),张保俭(第四章),牛红凯(第五章),赵慧丽(第六章)。在本书的编写过程中,得到了石家庄铁道学院教务处的大力支持和帮助,仅此致谢。

本书为普通高等教育“十五”国家级规划教材,可作为高等学校土木工程专业教学用书,也可供从事土木工程专业的工程技术人员及管理人员学习参考。

编者

2003年3月于石家庄

# 目 录

第一章 绪 论	1
第一节 路基类型与构造	1
第二节 路基工程的特点	4
第三节 路基工程发展概况	4
第四节 路基稳定性影响因素	5
第五节 路基工程常见病害及建筑要求	6
思考题	8
第二章 路基填料强度与变形特性	9
第一节 路基填料压实特性	9
第二节 路基填料强度特性	11
第三节 路基填料变形特性	15
思考题	17
第三章 一般路基设计	18
第一节 路基设计内容	18
第二节 路基工程材料	23
第三节 路基本体设计	37
思考题	63
第四章 路基边坡稳定性分析	64
第一节 概 述	64
第二节 路基边坡稳定性分析方法	65
第三节 浸水路堤边坡稳定性分析	74
第四节 路基边坡抗震稳定性分析	77
思考题	79
第五章 路基防排水和防护设计	80
第一节 路基防排水设计	80
第二节 路基防护设计	93
思考题	103



第六章 路基支挡结构设计	104
第一节 重力式挡土墙	105
第二节 悬臂式和扶壁式挡土墙	119
第三节 加筋土挡土墙	122
第四节 土钉墙	139
第五节 锚杆挡土墙	144
第六节 预应力锚索	150
第七节 抗滑桩	153
第八节 常用支挡结构的适用范围	154
思考题	154
第七章 特殊路基设计	155
第一节 软土地段路基	155
第二节 膨胀土(岩)地区路基	187
第三节 黄土地区路基	193
第四节 多年冻土地区路基	198
第五节 盐渍土地区路基	202
第六节 滑坡地段路基	204
第七节 风沙地区路基	210
第八节 浸水路堤	213
思考题	215
第八章 铁路路基土工合成材料应用	216
第一节 土工合成材料的发展及其种类	216
第二节 土工合成材料在基床加固与处理中的应用	219
第三节 土工合成材料在路基防护中的应用	222
第四节 土工合成材料在路基排水中的应用	227
第五节 土工合成材料在加筋土工程中的应用	229
第六节 土工合成材料在地基处理中的应用	232
思考题	234
第九章 路基施工与质量检测	235
第一节 路基施工准备	235
第二节 路堤填筑施工	238
第三节 路堑开挖施工	245
第四节 过渡段施工	254
第五节 路基施工质量检测	255
思考题	273

第十章 路基变形观测与评估.....	274
第一节 路基变形观测.....	274
第二节 路基沉降预测与评估.....	280
思考题.....	287
参考文献.....	288

## 第十一章 路基病害与防治

### 第一节 概述

路基病害是指路基在使用过程中,由于各种因素的影响,导致路基发生各种形式的破坏,从而影响道路的使用性能和使用寿命。路基病害的成因复杂,既有自然因素,也有人为因素。自然因素包括气候、水文、地质、生物等,人为因素包括施工质量、材料选择、超载等。路基病害的防治是道路工程中的重要环节,需要根据病害的成因和类型,采取相应的防治措施,确保道路的安全和稳定。

本章主要介绍路基病害的类型、成因、危害及防治措施。首先,概述路基病害的基本概念和分类;其次,详细分析各种路基病害的成因和防治方法;最后,总结路基病害防治的基本原则和注意事项。

### 二、路基病害的主要类型

路基病害按其发生的位置和性质,可以分为路基沉陷、路基翻浆、路基滑移、路基冲刷、路基冻胀、路基车辙、路基坑槽、路基桥头跳车等。这些病害对道路的安全和使用寿命都有严重影响,必须引起高度重视。

#### 1. 路基沉陷

当路基填土高度高于天然地面时,路基以填筑方式构成,这种路称为填方路。填方路在填土过程中,由于填土不均匀、压实不足等原因,容易产生路基沉陷。

#### 2. 路基翻浆

当路基填土高度低于天然地面时,路基以挖方方式构成,这种路称为挖方路。挖方路在挖土过程中,由于挖土不均匀、排水不畅等原因,容易产生路基翻浆。

#### 3. 路基滑移

当路基填土高度较高时,路基的稳定性较差,容易发生路基滑移。路基滑移的成因包括填土不均匀、压实不足、排水不畅等。

#### 4. 路基冲刷

当路基填土高度较高时,路基的稳定性较差,容易发生路基冲刷。路基冲刷的成因包括填土不均匀、压实不足、排水不畅等。

#### 5. 路基冻胀

当路基填土高度较高时,路基的稳定性较差,容易发生路基冻胀。路基冻胀的成因包括填土不均匀、压实不足、排水不畅等。

# 第一章

## 绪论

### 第一节 路基类型与构造

#### 一、路基的概念

铁路路基是经开挖或填筑形成的直接支承轨道、满足轨道铺设和运营条件而修建的土工结构物,是铁道工程的重要组成部分。它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,因此路基应具有足够的强度、刚度和稳定性,应能抵抗自然因素的破坏而不致产生有害变形。在纵断面上,路基必须保证线路需要的高程,且与桥涵、隧道等结构物平顺过渡;在平面上,路基与桥梁、隧道连接组成完整贯通的线路。

路基工程包括路基本体工程、路基防护工程、路基排水工程、路基支挡和加固工程,以及由于修筑路基可能引起的改河、改沟等配套工程。对所有这些路基工程建筑物应如何正确、合理地进行设计和施工是路基工程的基本内容。

#### 二、路基横断面基本形式

路基的断面形式、构造尺寸、各部分组成和主要设备均可从路基的横断面图上得到反映,路基横断面图是指垂直线路中心线截取的截面。它是路基设计的主要文件之一。路基横断面的基本形式有以下几种。

##### 1. 路堤

当铺设轨道的路基面高于天然地面时,路基以填筑方式构成,这种路基称为路堤,如图1-1(a)所示。

##### 2. 路堑

当铺设轨道的路基面低于天然地面时,路基以开挖方式构成,这种路基称为路堑,如图1-1(b)所示。

##### 3. 半路堤

当天然地面横向倾斜,路堤的路基面边线和天然地面相交时,在地面和路基面相交线以上部分无填筑工程量,这种路基称为半路堤,如图1-1(c)所示。

##### 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

当天然地面横向倾斜,路基一部分以填筑方式构成而另一部分以开挖方式构成时,这种路基称为半路堤半路堑,如图1-1(e)所示。

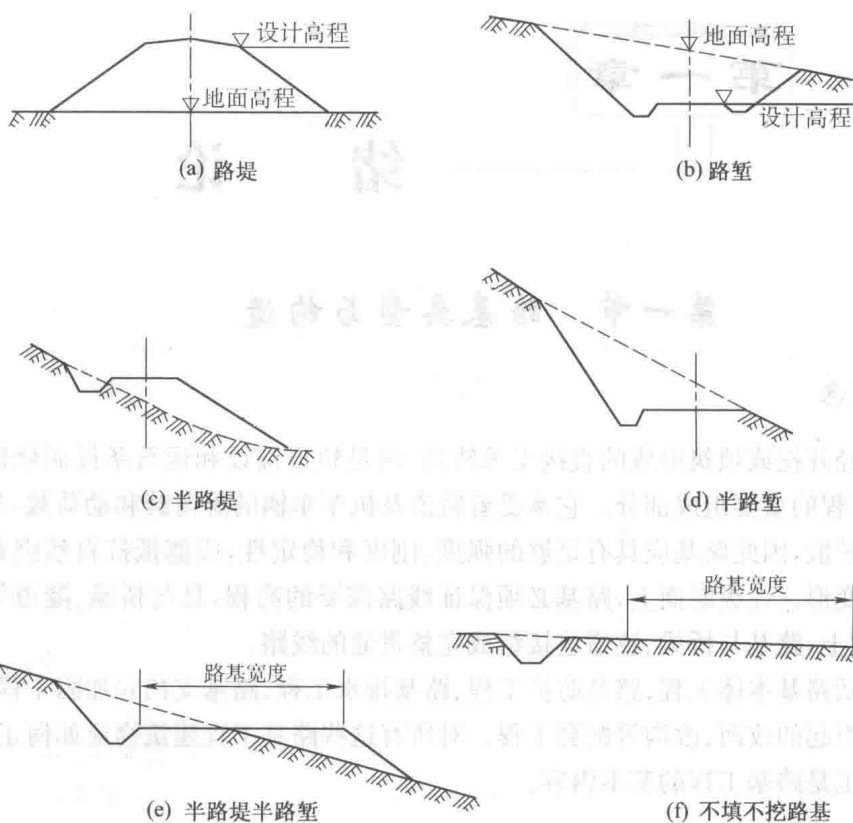


图 1-1 路基横断面形式

6. 不填不挖路基

当路基面和经过清理后的天然地表面平齐,路基无填挖土方时,这种路基称为不填不挖路基,如图 1-1(f)所示。

三、路基横断面基本构造

(一)路基本体

在各种路基形式中,为了能按线路设计要求铺设轨道而构筑的部分,称为路基本体。在路基横断面中,路基本体由路基顶面、路肩、基床、边坡、路基基底几部分构成,如图 1-2 所示。

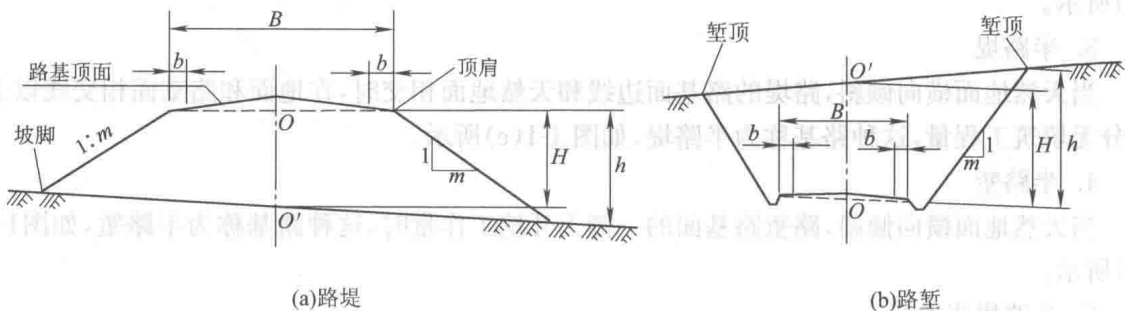


图 1-2 路基本体

$B$ —路基宽度; $b$ —路肩宽度; $H$ —路基中心高; $h$ —路基边坡高。

### 1. 路基顶面

直接在其上面铺设轨道的面,称为路基顶面或简称路基面。在路堤中路基顶面即为路堤堤身的顶面,也称路堤顶面;在路堑中,路基顶面即为堑体开挖后形成的构造面。

### 2. 路肩

路基面两侧自道床坡角至路基面边缘的部分称为路肩。其作用是保护轨道以下的路基土体,防止其在列车动荷载作用下侧向挤动;防止路基面边缘部分的土体稍有塌落时,影响轨道道床的完整状态;在线路养护维修作业中,路肩是线路器材的存放处和辅助工作面;铁路线路的标志、信号设备和有些通信、电力及给水设施也都设置在路肩上或设槽埋置在路肩下。在线路设计中,路基的设计高程以路肩边缘的高程表示,称为路肩高程。

### 3. 基床

铁路路基面以下受列车动荷载作用和受水文、气候四季变化影响的深度范围称为基床。其状态直接影响到列车运行的平稳和速度的提高,设计时应严格执行相应规范对基床厚度、填料及其压实标准、排水等的规定。基床分为基床底层和基床表层。

### 4. 边坡

在路堤的路肩边缘以下和在路堑路基面两侧的侧沟外,因填挖而形成的斜坡面,称为路基边坡。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,在路堑中称为路堑顶,其高程与路肩高程的差为路堑边坡高度。路堤的边坡高度为路肩高程与坡脚高程之差。边坡的坡形在路基中常修筑成单坡形、折线形或阶梯形,每一坡段坡面的斜率以边坡断面上取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,水平距离经折算为  $m$  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率。在路基本体构造中,边坡的形状和坡率的缓陡对路基本体的稳定和工程费用有重要影响。

### 5. 路基基底

路堤填土的天然地面以下受填土自重及轨道、列车荷载作用的部分称为路堤基底。路堑边坡土体内和堑底路基面以下的地基内因开挖而产生应力变化的部分称为路堑基底。基底部分土体的稳固性,对整个路基本体以至轨道的稳定性都是极为关键的,特别是在软弱土地基上修建路堤,必须对基底作妥善处理,以免危及行车安全与正常运营。

## (二) 路基设备

路基设备是路基的组成部分,是为确保路基本体的稳固性而采用的必要的经济合理的附属工程措施,包括排水设备和防护、加固设备两大类。

路基的排水设备分地面排水设备和地下排水设备两种。地面排水设备用以拦截地面径流,汇集路基范围内的雨水并使其畅通地流向天然排水沟谷,以防止地面水对路基的浸湿、冲刷而影响其良好状态。地下排水设备用以拦截、疏导地下水和降低地下水位,以改善地基土和路基边坡的工作条件,防止或避免地下水对地基和路基本体的有害影响。

路基防护设备用以防止或削弱风霜雨雪、气温变化及流水冲刷等各种自然因素对路基本体所造成的直接或间接的有害影响,其种类很多,类型各异。常用的防护设备是坡面防护和冲刷防护。为了防止路基边坡和坡脚受坡面雨水的冲刷,防止日晒雨淋引起土的干湿循环,防止气温变化引起土的冻融变化等因素影响边坡的稳固,常采用坡面防护。为了防止河水对边坡、坡脚或坡脚处地基不断的冲刷和淘刷,应设冲刷防护。防护位置和所采用的类型则常视水流运动规律及防护要求而定。特殊条件下路基的防护类型更多,例如在多年冻土地区,为防止冻

融线路的剧烈变化应采用各种保温措施;在泥石流地区,为防止泥石流对路基本体的威胁,常设置多种拦蓄与疏导工程;在风沙地区为防止路基本体砂蚀和被掩埋,常采用各种防沙、固沙设施等。

路基加固设备是用以加固路基本体或地基的工程设施,在路基工程中,有护堤、挡土墙、支垛、抗滑桩及其他地基加固措施等。路基加固设备是提高路基稳定性的一种有效措施。

## 第二节 路基工程的特点

路基工程是轨道的基础,作为一种土工结构物,具有其独特的特点。

### 1. 路基建筑在土石地基上并以土石为建筑材料

路基是建筑在土石地基上并以土石为建筑材料的土工结构物。岩石和土都是不连续介质,各种岩石性质差异悬殊,并具有多种结构面;土的成因、成分、结构、构造也各不相同。在自然营力和人类活动的作用下,土石的工程性质在不断变化。所以,在以岩土力学为基础的路基工程设计中,如何取得正确反映土石工程性质的物理力学指标和如何建立表达土石的应力—应变—时间关系的本构模型,成为岩土工程的重要研究内容,也是路基设计和施工水平提高的基础。

### 2. 路基完全暴露在大自然中

在线路工程中,修筑路基除可遇见各种复杂的地形、地质条件外,路基还常受严寒、酷暑、水位涨落、狂风暴雨等气候、水文以至地震等自然条件的影响,引起各种病害,如膨胀土路基干缩湿胀引起路基边坡坍塌;南方阴雨、北方冻胀融沉引起路基隆起、下沉,翻浆冒泥等病害,雨季引起大滑坡;西北风蚀沙埋路基等。所以,路基的设计、施工、养护均离不开具体的自然条件,在充分调查研究的基础上,认识和克服自然灾害,是路基工作的重要内容。

### 3. 路基同时受静荷载和动荷载的作用

路基上的轨道结构和附属构筑物产生静荷载,列车运行产生动荷载,动荷载是造成基床病害的主要原因之一。要研究土体在动力作用下的变形、稳定问题,必须了解土的动力性质,包括土的动强度和液化,动孔隙水压力增长及消散模式,土的震陷等。一些新的测试手段和计算模型的出现,为进一步深入研究基床土动力响应提供了更完善的条件。

## 第三节 路基工程发展概况

在我国铁路建设初期,没有把路基作为一种土工结构物对待,而普遍冠名土石方,致使早期建成的线路路基没有根据受力情况对基床部分的填料和结构进行专门设计。路基填料质量差或压实不到位,会导致基床翻浆冒泥、路堤下沉、边坡坍塌、滑坡等路基病害。如粉土路基经常遭遇水害;北方一些地区的铁路路基由于填筑了一些冻胀敏感性土,冬季产生冻胀,春季产生翻浆,给线路正常运营造成危害。这些情况严重影响着铁路的正常运营以及后续的扩能改建,制约着铁路发展。

随着我国铁路建设的快速发展,出现了基于功能需求的高速铁路、城际铁路、客货共线铁路、重载铁路和市域铁路等多种形式的铁路线路,路基工程设计的指导思想也由单纯按照强度设计发展到按照稳定性和变形控制设计,对路基的工后沉降指标提出了严格要求。并对路基与其他结构物连接处开始给予了充分的重视,即把路基的纵向平顺性作为一种设计目标,路桥

(涵)过渡、路堤一路堑过渡以及隧道出入口等部位的路基必须从结构、填料、压实标准等方面进行专门设计。路基横断面各个部位填料的选择和尺寸的确定已经按照动载荷作用的水平和动、静变形进行合理的设计。

为了适应不同等级的铁路速度目标和运营安全,提出了不同轨道结构形式的路基结构、施工质量控制方法和沉降评估技术。目前,路基施工压实标准已由单指标控制发展到多指标控制,由过去的静态指标检测发展到静动态指标综合检测。

新材料不断涌现,土工合成材料(土工格栅、土工格室、土工布、土工膜、土工网、保温材料等)作为一种新型岩土工程材料在路基基床加固与处理、路基防护、路基防排水、加筋土工程以及地基处理等方面得到了成功应用。路基与环境的关系在路基工程中得到了前所未有的重视,路基边坡生态防护技术得到了广泛应用。

#### 第四节 路基稳定性影响因素

路基是一种线性结构物,具有线路长、与大自然接触面广的特点,其稳定性在很大程度上由当地自然条件所决定。路基的稳定性与下列因素有关。

##### 一、地理条件

沿线的地形、地貌和海拔高度不仅影响路线的选定,也影响到路基的设计。平原、丘陵、山岭各区地势不同,路基的水文情况也不同。平原区地势平坦、排水困难、地表易积水、地下水位相对较高,因而路基需要保持一定的最小填土高度;丘陵区 and 山岭区,地势起伏较大,路基排水设计至关重要,否则会导致稳定性下降,出现路基失稳现象。

##### 二、地质条件

沿线的地质条件,如岩石的种类、成因、节理、风化程度和裂隙情况,岩石走向、倾向、倾角、层理和岩层厚度,有无夹层或遇水软化的夹层,以及有无断层或其他不良地质现象(岩溶、冰川、泥石流、地震等)都对路基的稳定性有一定的影响。

##### 三、气候条件

气候条件如气温、降水、湿度、冰冻深度、日照、蒸发量、风向、风力等都会影响线路沿线地面水和地下水的状况,并且影响到路基的水文情况。

在一年之中,气候有季节性的变化,路基的水文情况也随之变化。气候还受地形的影响,例如山顶与山脚、山南坡与山北坡气候有很大的差别。这些因素都会严重影响路基的稳定性。

##### 四、水文和水文地质条件

水文条件是指如线路沿线地表水的排泄,河流洪水位、常水位,有无地表积水和积水时期的长短,河岸的淤积等情况。水文地质条件是指如地下水位,地下水位移动的规律,有无层间水、裂隙水、泉水等。所有这些地面水及地下水都会影响路基的稳定性,如果处理不当,会引起路基病害。

## 五、土的类别

土是建筑路基的基本材料,不同类型的土体具有不同的工程性质,因而将直接影响路基的强度与稳定性。

不同的土类含有不同粒径的土颗粒。砂粒含量多的粗粒土,强度构成以内摩擦力为主,重度高,受水的影响小。较细的砂,在渗流情况下,容易流动,形成流砂。黏粒含量多的土,强度形成以黏聚力为主,其强度随密实程度变化较大,并随含水率的增大而降低。在负温度坡差作用下,水分通过毛细作用移动并积聚,使局部土层湿度大幅度增加,造成路基冻害。

## 第五节 路基工程常见病害及建筑要求

### 一、铁路路基常见病害

路基裸露在自然界中,经常受到自重、列车荷载和各种自然因素的作用。由于水、温度和各种荷载的作用,路基的各部分将产生可恢复的变形和不能恢复的变形。不能恢复的变形将引起路基高程和边坡坡率、形状的改变,甚至造成土体位移和路基横断面几何形状的改变,危及路基及其各组成部分的完整和稳定,形成路基的病害。铁路路基常见病害有以下几种。

#### 1. 基床翻浆冒泥

基床翻浆冒泥(图 1-3)是指含黏粒、粉粒的基床表层土,在水和列车反复振动的作用下,发生软化或触变、液化,形成泥浆,列车通过时轨枕上下起伏使泥浆受挤压抽吸而通过道床孔隙向上翻冒,造成道砟脏污、板结,丧失弹性。

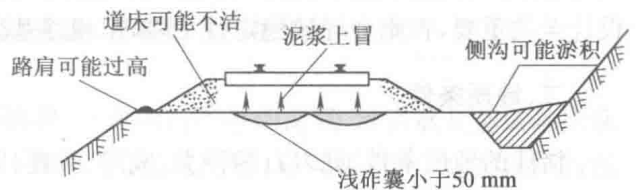


图 1-3 基床翻浆冒泥的原因

基床翻浆冒泥分为土质基面翻浆、风化石质基面翻浆、裂隙泉眼翻浆三类。典型的翻浆冒泥多发生在基床表层

30~50 cm以内,此时,道砟压入基床而形成的道砟囊也较浅,轨道下沉常不明显,且多发生于雨季,路堤、路堑均可发生,是基床病害的早期现象。泥浆使道床板结,失去弹性,加剧了列车对轨道的冲击力,缩短了轨道的使用寿命,增加了线路的维修工作量。基床翻浆如不及早整治,病害将向基床深部发展,导致道砟囊加深,轨道沉陷,从而转化为基床下沉或挤出等严重变形现象。

#### 2. 路基下沉

路基下沉是指由于路基土压实度不足或松软,在水、荷重、自重及列车振动作用下发生局部或较大面积的竖向变形。一般经过列车运行一段时间后,下沉会趋于缓解,但有时因荷重增加或水的作用使沉降速率加大,局部下沉也会造成陷槽,使线路不平顺。路基下沉分为基床下沉、地基下沉及边坡外臃三类。

(1) 基床下沉。由于基床填料的压实度不足、土质不良或由于线路荷重增加而造成的基床面高程局部或大范围的明显沉陷的变形现象。

(2) 地基下沉。由于地基土质不良且路基填筑时处理不当,或由于线路荷重增加而造成

地基面高程的降低。

(3) 边坡外臃。在黏性土或粉土路堤上,受水和列车动力影响,道砟囊向边坡方向发展,从而使边坡中下部向外臃出。

### 3. 基床外挤

基床外挤主要是指由于基床的软弱层被水饱和,在列车动力作用下,软弱层顺其下的刚卧层发生剪切滑动或塑性流动,向路肩一侧或两侧挤出的变形现象。图1-4是发生于路堑的基床外挤。外挤分为路肩隆起和路肩外挤两类。路肩隆起指基床土处于软塑状态,基床发生剪切破坏,在路肩单侧或双侧向上隆起的变形;路肩外挤是指基床内的土经常处于软塑状态,而基床下部某一深度处存在刚卧层或土质密实,阻碍了道砟陷坑向下发展,同时侧向阻力较小,剪切沿界面发生,使路肩向外挤出的变形。

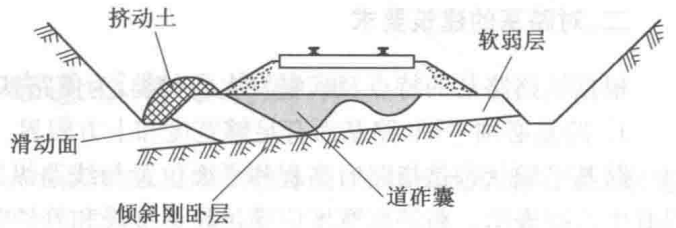


图 1-4 基床外挤的原因

### 4. 基床冻害

路基在土质、水和温度的不利组合下,低温季节基床土冻结,短距离地段内出现不均匀冻胀或左右股道的不均匀冻胀,导致线路不平顺或方向不良称为基床冻害。基床冻害可分为表层冻害和深层冻害两类。表层冻害指发生在基床土体临界冻结深度上半部分的冻害,或冻结深度小的地区发生的冻害,易造成线路不均匀冻胀。深层冻害产生的部位较深,多因地下水位较高,冻结过程中不断出现冰层而引起。

### 5. 边坡溜塌

边坡溜塌是指路堤或路堑边坡表层受水流侵蚀软化,或由于列车振动作用,失去稳定而形成的边坡浅层溜滑或坍塌。边坡溜塌对于路堤而言其溜塌范围不超过轨枕端部,对于路堑地段,边坡的溜塌不影响到基床的稳定性,超出此范围,即不属于边坡溜塌病害。边坡溜塌分为堤坡溜塌和堑坡溜塌两类。

### 6. 风化剥落

风化剥落是指风化的石质路堑边坡,在外界环境因素如降水、强风、振动等影响下,成片或块体剥落,从而危及线路和行车安全。一般多指因地形、地质原因而造成的体积较小而数量较多的风化岩石剥落,现场常用设防护网或喷射水泥浆等方法处理。

### 7. 路基边坡滑坡

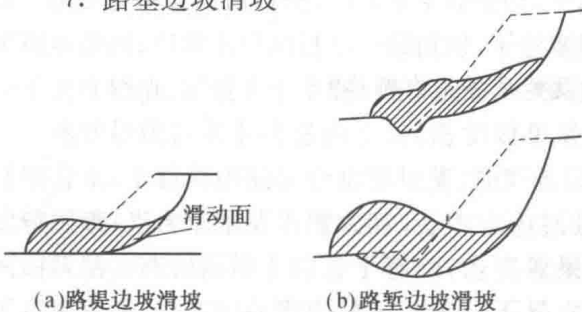


图 1-5 滑坡

路基边坡滑坡是指一部分土体在重力作用下沿路基的某一滑动面滑动。滑坡现象主要是由土体的稳定性不足而引起的,分为路堤滑坡和路堑滑坡,见图 1-5。边坡坡率过陡,或边坡坡脚被冲刷挖空,或填土层次安排不当,是路堤边坡发生滑坡的主要原因。路堑边坡滑坡的主要原因是边坡高度和边坡坡率与天然岩土层次性质不相适应。黏性土

层和蓄水的砂石层交替分层蕴藏,特别是有倾向路堑方面的斜坡层理时,就更容易造成滑坡。

#### 8. 不良地质和水文条件造成的路基破坏

铁路通过不良地质条件(如泥石流、溶洞、采空区等)和较大自然灾害(如地震、大暴雨)地区时,均可能导致路基的大规模毁坏。在铁路勘测设计过程中,应力求避开这些地区或采取相应的工程技术措施,以保证路基的安全和稳定。

## 二、对路基的建筑要求

根据铁路路基的特点及病害发生的种类,为使路基正常工作,路基工程应满足如下要求:

### 1. 路基必须平顺,路基面有足够宽度和上方限界

路基平顺状态是指路肩高程和平面位置与线路纵断面、平面设计相符。路基的平面位置以其中心线表示。路基面宽度应满足轨道铺设和养护要求。在路基面上方应有足以保证行车安全和便于线路维修养护的安全空间,当路基面上方或两侧有接近线路的建筑物时,必须按照铁路限界的規定设置在限界范围以外。

### 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,两者既有联系又有不同。强度是指路基抵抗应力作用和避免破坏的能力,刚度是指路基抵抗变形的能力。

路基是直接在地面上填筑或挖除部分地面而建成的。路基修建后改变了原地面的自然平衡状态。为防止路基在列车荷载及各种自然因素作用下发生破坏与失稳,同时给轨道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。同时为保证路基在荷载作用下,不致产生超过容许范围的变形,也要求路基应具有一定的刚度。

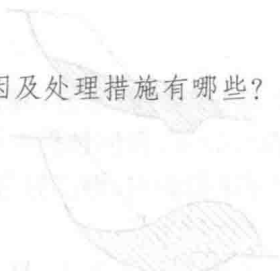
### 3. 路基必须具有足够的水、温稳定性

路基在地面水和地下水作用下,其强度会降低。在季节性冻土地区,由于周期性的冻融作用,在水和负温度共同作用下,土体会发生冻胀,造成轨面变形,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强度和刚度,而且还应保证在最不利的水、温条件下,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、温稳定性。



## 思考题

1. 简述路基的定义、组成与作用。
2. 路基工程的特点是什么?
3. 简述我国路基工程技术发展的现状。
4. 路基的常见病害有哪些?其产生的原因及处理措施有哪些?



## 第二章

# 路基填料强度与变形特性

## 第一节 路基填料压实特性

对路基填料进行压实是路基工程中一项基本的、必需的技术要求,是实现路基工程正常施工和使用的必要条件,因此需对路基填料的压实特性进行分析。本节从路基填料的压实原理、影响因素、施工机械三个方面进行阐述。

### 一、路基填料压实原理

为实现路基的正常工程性能,路基应具有相应的强度和在荷载作用下抗变形的能力,而组成路基本体的填料为散体材料,因此需进行压实处理。

#### (一) 土的三相结构

路基工程中所使用的土、砂砾等填料为天然地质产物,按照粒径大小可划分为细粒土和粗粒土两个基本类别。无论细粒土或粗粒土均为松散的三相结构,即由固相(土颗粒)、气相(土颗粒之间孔隙中的气体)、液相(土颗粒之间孔隙中的液体)所组成。

在土体的三相结构中,土颗粒组成了土体的骨架,其表现为土体的体积;土颗粒之间的孔隙为水和空气所充满。在压实机械的作用下,土颗粒之间相互错动而使土骨架所占据的体积减小,密度增大。土颗粒孔隙中的气体可排出,孔隙水如含量较多或无法排出则易出现“弹簧土”现象而导致无法压实。

#### (二) 细粒土的压实机理

细粒土土颗粒具有吸附孔隙水的特性,因此含水率对细粒土的压实特性具有明显的影响,故对细粒土的压实机理需从最优含水率角度入手考虑。

土的最优含水率可在试验室通过击实试验测得,称为击实试验或 Procter 试验。试验时将同一种土配制成若干份不同含水率的试样,用规定的击实能量分别对每一份试样进行试验,然后测定各试验击实后的含水率和干密度,从而绘制含水率与干密度的关系曲线,称为击实曲线。由试验结果可以看出,当含水率较低时,土的干密度随含水率增加逐渐增大,表明击实效果逐步提高;当含水率超过某一限值时,干密度随着含水率增大而减小,即击实曲线上出现一个干密度峰值(即最大干密度),相应于这一峰值的含水率就是最优含水率。

达到最优含水率状态的土,其击实效果最好。这是因为含水率较小时,土中水主要是强结合水,土粒周围的结合水膜很薄,使颗粒间具有很大的分子引力阻止颗粒移动,击实就比较困难;当含水率适当增大时,土中水包括强结合水和弱结合水,结合水膜变厚,土粒之间的联结力减弱而使土粒易于移动,击实效果就变好;但当含水率继续增大以致土中出现了自由水时,击实时孔隙中过多的水分不易立即排出从而阻止了土粒的靠拢,导致击实效果下降。