



“十二五”职业教育国家规划教材  
经全国职业教育教材审定委员会审定



全国铁道职业教育教学指导委员会规划教材

高等职业教育高速铁路工程技术专业“十二五”规划教材



# 高速铁路路基

## (第二版)

谢松平 陶光辉 主 编

GAOSU TIELU LUJI

中国铁道出版社  
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE



“十二五”职业教育国家规划教材  
经全国职业教育教材审定委员会审定  
全国铁道职业教育教学指导委员会规划教材  
高等职业教育高速铁路工程专业“十二五”规划教材

# 高速铁路路基

(第二版)

谢松平 陶光辉 主编

中国铁道出版社

2015年·北京

## 内 容 简 介

本书经全国职业教育教材审定委员会审定为“十二五”职业教育国家规划教材,亦为全国铁道职业教育教学指导委员会规划教材、高等职业教育高速铁路工程专业“十二五”规划教材。本书共分9个项目,主要讲述高速铁路路基认知、高速铁路路基结构构造认知、高速铁路地基处理施工、高速铁路路基填筑压实施工、高速铁路路基排水及防护加固设备施工与维护、高速铁路路堑开挖施工、高速铁路路基施工质量检测、高速铁路路基工后沉降监测、高速铁路路基运营线路路基维护。每个项目后都附有相关案例和项目小结,方便学生学习。

本书为高职高专铁道工程技术及高速铁路工程技术专业的教学用书,也可作为铁路职工相关专业的培训教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

高速铁路路基/谢松平,陶光辉主编. —2版. —北京:  
中国铁道出版社,2015.6

“十二五”职业教育国家规划教材 全国铁道职业教育  
教学指导委员会规划教材 高等职业教育高速铁路工程  
技术专业“十二五”规划教材

ISBN 978-7-113-19877-0

I. 高… II. ①谢… ②陶… III. 高速铁路-铁路  
路基-高等教育-教材 IV. ①U213.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 008153 号

书 名:高速铁路路基(第二版)

作 者:谢松平 陶光辉 主编

策 划:刘红梅

电话:(010)51873133

电子信箱:mm2005td@126.com

责任编辑:刘红梅

封面设计:崔丽芳

责任校对:马 丽

责任印制:李 佳

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:中国铁道印刷厂印刷

版 次:2011年4月第1版 2015年6月第2版 2015年6月第1次印刷

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:15.5 字数:386 千

书 号:ISBN 978-7-113-19877-0

定 价:32.00 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



## 第二版前言

《高速铁路路基》教材经过三年的使用,在教师、学生以及企业技术人员反馈的基础上,于入选为教育部“十二五”职业教育国家规划教材之际,通过对国家高等职业教育发展规划(2011—2015年)(征求意见稿)和教育部关于推进高等职业教育改革发展的若干意见(征求意见稿)的解读进行了修订。

为了适应高职教育的特点,对教材进行了全面修订,使之成为以能力培养为目标,以项目为载体,以工作任务为驱动的工学结合特色教材,以满足现代高职教育教学的要求。

修订的主要内容如下:

### 1. 以项目为载体,以工作任务为驱动,细化教材对高职教学的适应性

明确了教学目标,从能力、知识和素质目标入手分析;制定了要完成的工作任务;及时将高速铁路工程最新的标准、规范引入到本教材中;更新知识拓展中的相关内容,以更加拓宽高职学生的知识面;每个项目后面都引入了技术领先的高铁施工与维护相关的案例内容;适当增加一些施工与养护图片;每个项目都设置了项目小结,让学生学完一个项目后对每个项目有一个总体的认识;每个项目后面设置了复习思考题,供学生练习用。

### 2. 完善原教材的相关内容

本教材是原高等职业教育高速铁路系列教材中的一本。高速铁路对路基的高标准主要体现在路基填筑质量标准高、路基基床表层采用级配碎石强化结构、路桥及横向构筑物间设置过渡段、严格控制路基变形和工后沉降、地基处理的种类多等方面。本次修订主要针对多条高速铁路路基的技术特点,从应用技术的层面,结合规范与工程实际,从高速铁路路基的结构构造、地基处理技术、路堤填筑技术、基床病害等方面阐述。

### 3. 增加高速铁路施工与运营维修养护的内容

经过教学应用,对相关内容进行充实及完善,更加适应高铁发展要求。增加高速铁路路基排水及防护加固设备施工与维护、高速铁路路堑开挖施工、高速铁路路基变形监测、高速铁路运营线路基维护等内容。

本次修订由湖南高速铁路职业技术学院谢松平、陶光辉主编,项目1、2、3、4、7、8由谢松平编写,项目5、6由湖南高速铁路职业技术学院刘娜编写,项目9由陶光辉编写。

该教材虽然经过全面修订和审查,但仍难免存在不足之处,诚挚希望读者在学习使用过程中及时发现问题,并及时反馈,以便进一步修改和补充。

编者  
2015年1月



# 第一版前言

根据中国铁路中长期发展规划,到2020年,全国新建高速铁路将超过1.6万km,其中最高运行时速250km的线路总长超过5000km;最高运行时速350km以上的线路总长超过8000km,届时,中国高速铁路将形成功能强大的高速铁路网,总长将成为世界第一。为了管好、用好和维护好这些高速铁路,确保其每时每刻都能够高速、高效、安全、准时和舒适平稳运行,必须要有一大批掌握高速铁路建设、运用与维护等专业知识的工程技术人员,这些技术人员目前迫切需要一本适合他们要求的、同时具有一定理论深度的相关教材或技术参考书。湖南高速铁路技术学院从2005年开始编写高速铁路培训教材并对在职技术人员进行培训,学院正是在上述背景下,广泛收集国内外有关高速铁路的技术资料,进行了大量的调研,经过消化吸收和系统归纳整理,结合高职学院教学特点,组织编写了高速铁路各专业系列图书,本书正是其中的一本。

高速铁路的出现对传统铁路的设计施工和养护维修提出了新的挑战,在许多方面深化和改变了传统的设计方法和观念。高速铁路路基应按土工结构物进行设计,其地基处理、路堤填筑、边坡支挡防护以及排水设计等必须具有足够的强度、稳定性和耐久性,使之能抵抗各种自然因素作用的影响,确保列车高速、安全和平稳运行。

本书主要对高速铁路在路基填筑质量标准高、路基基床表层采用级配碎石强化结构、路桥及横向构筑物间设置过渡段、严格控制路基变形和工后沉降、地基处理的种类多、采用无砟轨道路基等方面进行了重点介绍,并针对多条高速铁路路基的技术特点,从应用技术的层面,结合规范与工程实际,从高速铁路路基的结构构造、地基处理技术、路堤填筑技术、基床病害等几个方面进行了阐述。

本书由湖南高速铁路职业技术学院谢松平编写,由中铁二十五局隋瑞凌主审。本书在编写过程中听取了施工企业的建议,特别是主审高级工程师隋瑞凌对本书提出了许多宝贵的意见和建议,在此一并表示感谢!

本书可供高职高专高速铁道工程技术、铁道工程、城市轨道交通工程技术专业的教学用书;也可作为铁路工务技术人员培训用书,工程施工技术人员参考书。

本书涉及的内容多为高速铁路路基的高新技术,各方面的技术都处在不断变化之中,同时由于编写时间仓促、作者水平有限,书中不妥之处恳请读者批评指正,以求不断提高教材质量。

编者  
2011年4月





# 目录

项目 1 高速铁路路基认知 .....	1
任务 1.1 路基在高速铁路中的地位和作用认知 .....	1
任务 1.2 高速铁路路基工程技术特点认知 .....	4
任务 1.3 我国高速铁路路基的发展情况认知 .....	5
复习思考题 .....	10
项目 2 高速铁路路基结构构造认知 .....	11
任务 2.1 高速铁路路基横断面认知 .....	11
任务 2.2 高速铁路路基基床结构认识 .....	17
任务 2.3 高速铁路路基与其他构筑物过渡段的认知 .....	21
相关案例——武广铁路客运专线路基关键技术 .....	25
项目小结 .....	26
复习思考题 .....	27
项目 3 高速铁路地基处理施工 .....	28
任务 3.1 高速铁路地基处理状况认知 .....	28
任务 3.2 高速铁路路基地基加固处理 .....	32
相关案例——武广高铁地基处理施工 .....	45
项目小结 .....	51
复习思考题 .....	52
项目 4 高速铁路路基填筑压实施工 .....	53
任务 4.1 填筑施工准备 .....	53
任务 4.2 基床以下路堤填筑施工 .....	55
任务 4.3 路基基床施工 .....	58
任务 4.4 改良土填筑施工 .....	63
任务 4.5 路基与其他构筑物过渡段施工 .....	65
相关案例——武广高速铁路路基填筑施工技术 .....	67
项目小结 .....	76
复习思考题 .....	76
项目 5 高速铁路路基排水及防护加固设备施工与维护 .....	77
任务 5.1 路基地面排水设备施工与维护 .....	77

任务 5.2 路基地下排水设备施工与维护 .....	81
任务 5.3 路基防护设备施工与维护 .....	89
任务 5.4 路基加固设备施工与维护 .....	108
相关案例 1——武广客运专线路基防排水施工 .....	121
相关案例 2——石太客运专线边坡防护设计 .....	122
项目小结 .....	123
复习思考题 .....	124
<b>项目 6 高速铁路路堑开挖施工 .....</b>	<b>125</b>
任务 6.1 土质路堑施工 .....	125
任务 6.2 石质路堑施工 .....	130
相关案例 1——武广客运专线路堑开挖施工 .....	133
相关案例 2——沪昆客运专线石质路堑爆破施工 .....	134
项目小结 .....	135
复习思考题 .....	135
<b>项目 7 高速铁路路基施工质量检测 .....</b>	<b>136</b>
任务 7.1 路基压实度检测 .....	136
任务 7.2 地基系数 $K_{30}$ 检测 .....	144
任务 7.3 二次变形模量 $E_{v2}$ 检测 .....	149
任务 7.4 动态变形模量 $E_{vd}$ 检测 .....	153
相关案例——武广客运专线路基填筑压实质量检测 .....	158
项目小结 .....	159
复习思考题 .....	159
<b>项目 8 高速铁路路基工后沉降监测 .....</b>	<b>160</b>
任务 8.1 高速铁路路基工后沉降认知 .....	160
任务 8.2 高速铁路路基工后沉降监测 .....	161
相关案例——武广铁路客运专线沉降观测与评估 .....	172
项目小结 .....	176
复习思考题 .....	177
<b>项目 9 高速铁路路基运营线路路基维护 .....</b>	<b>178</b>
任务 9.1 路基病害的认知 .....	178
任务 9.2 路基基床病害整治 .....	181
任务 9.3 路基边坡病害防治 .....	192
任务 9.4 路基冻害防治 .....	205
任务 9.5 路基地质病害防治 .....	209
任务 9.6 路基维修与大修作业 .....	221
任务 9.7 路基防洪与抢修 .....	228

---

相关案例——武广高速铁路路基病害整治·····	236
项目小结·····	237
复习思考题·····	237
参考文献·····	238



# 项目 1 高速铁路路基认知



## 项目描述

高速铁路路基是轨道的基础,路基的强度、刚度、长久稳定是保证高速铁路列车能高速、舒适、安全运送旅客的基本条件。有必要认知路基在高速铁路中的地位 and 作用,高速铁路路基工程的技术特点,以及高速铁路路基的发展情况等。

本项目重点学习高速铁路路基的特点,在高速铁路中的地位 and 作用,以及高速铁路路基的发展情况,对高速铁路路基有一个总体的认知。



## 拟实现的教学目标

### 1. 能力目标

能够对高速铁路路基有一个总体认知。

### 2. 知识目标

了解高速铁路路基在高速铁路中的地位 and 作用。

熟悉高速铁路路基工程施工的技术特点。

了解高速铁路路基的发展情况。

### 3. 素质目标

培养学生对高速铁路路基专业学习的热情 and 兴趣。

引导学生自学 and 独立思考。

培养学生利用各种学习资源,查阅书籍 and 规范的能力。

## 任务 1.1 路基在高速铁路中的地位 and 作用认知

### 1.1.1 工作任务

通过学习路基在高速铁路中的地位 and 作用,能承担以下工作任务:

(1)能认知路基在高速铁路中的地位 and 作用。

(2)能通过各种资源获取高速铁路路基相关资料。

### 1.1.2 相关配套知识

路基是轨道的基础,也叫线路下部结构。高速铁路列车运行速度快、技术标准高、对路基的要求严格,控制路基变形已成为高速铁路路基最重要的一方面。因此,高速铁路路基与普速铁路路基的本质区别在于强化基床表层结构,提高 and 完善压实标准,同时对填料及路基与结构物过渡段的刚度提出了更高的要求。

高速铁路的出现对传统铁路的设计施工和养护维修提出了新的挑战,在许多方面深化和改变了传统的设计方法和观念。高速铁路路基应按土工结构物进行设计,其地基处理、路堤填筑、边坡支挡防护以及排水设计等必须具有足够的强度、稳定性和耐久性,使之能抵抗各种自然因素作用的影响,确保列车高速、安全和平稳运行。与普通铁路路基相比,高速铁路路基主要表现为以下4个特点。

1. 高速铁路路基为多层结构系统

高速铁路线路结构,已经突破了传统的轨道、道床、土路基这种结构形式,既有有砟轨道也有无砟轨道。对于有砟轨道,在道床和土路基之间,已抛弃了将道砟层直接放在土路基上的结构形式,做成了多层结构系统。图 1.1~图 1.5 分别为德国和法国高速铁路一般路基基床的断面形式,保护层的厚度为 25~30 cm。图 1.6 为日本高速铁路板式轨道的基本结构形式之一,其把基床表层称为路盘或强化路盘,厚度为 30 cm,强化路盘的表层为 5 cm 厚的沥青混凝土,其下为级配碎石(或高炉矿渣)。

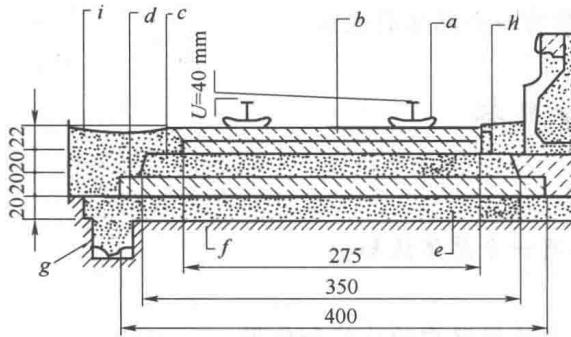


图 1.1 德国高速铁路无砟轨道路堤的断面形式之一(单位:cm)

- a—UIC60 钢轨扣件;b—钢筋混凝土连续板;
- c—混凝土绝热层及支持层;d—素混凝土;e—矿渣混凝土;
- f—下伏土层;g—透水材料;h—冷沥青层;i—道砟

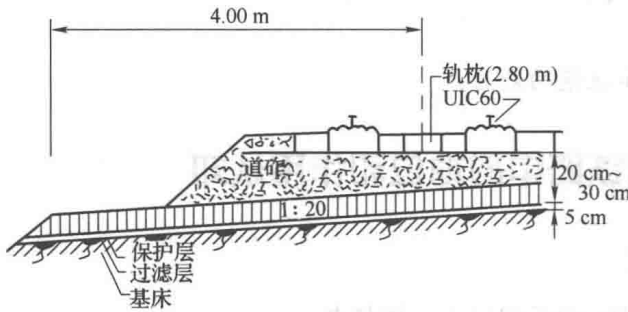


图 1.2 德国高速铁路有砟轨道路堤的断面形式

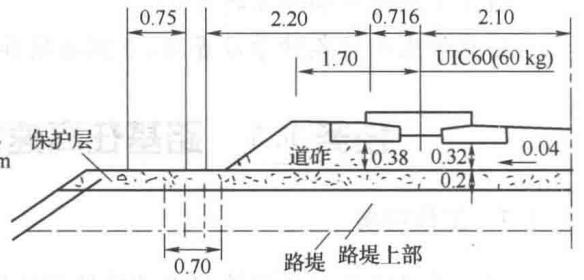


图 1.3 法国高速铁路路堤的断面形式(单位:m)

2. 控制变形是路基设计的关键

控制变形是路基设计的关键,采用各种不同路基结构形式的首要目的是为高速线路提供一个高平顺、均匀和稳定的轨下基础。由散体材料组成的路基是整个线路结构中最薄弱、最不稳定的一环,是轨道变形的主要来源。它在多次重复荷载作用下所产生的累积永久下沉(残余变形)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,因而对列车的高速走行有重要影响。高速行车对轨道变形有严格的要求,因此,变形问题便成为高速铁路设计所考虑的主要控制因素。就路基而言,过去多注重于强度设计,并以强度作为轨下系统设

计的主要控制条件。而现在强度已不成为问题,一般在达到强度破坏前,可能已经出现了过大的有害变形。日本东海道新干线的设计时速为 220 km,由于其在设计中仅仅采取了轨道的加强措施,而忽略了路基的强化,以至从 1965 年开始,因为路基的严重下沉,致使路基病害不断,线路变形严重超限,不得不对线路以年均 30 km 以上的速度大举整修,10 年内中断行车 200 多次,列车运行平均速度也降到 100~110 km/h。

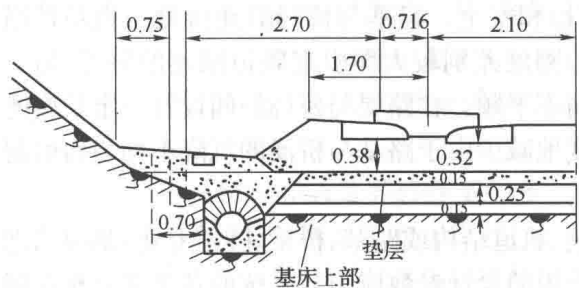


图 1.4 法国高速铁路路堑的断面形式  
(基床土质差)(单位:m)

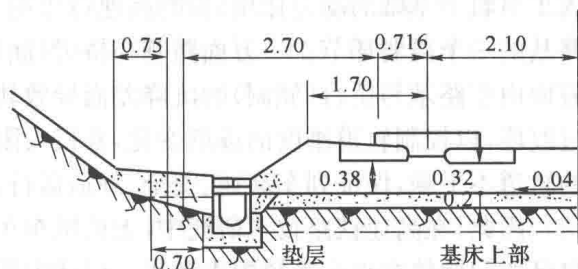


图 1.5 法国高速铁路路堑的断面形式  
(基床土质好)(单位:m)

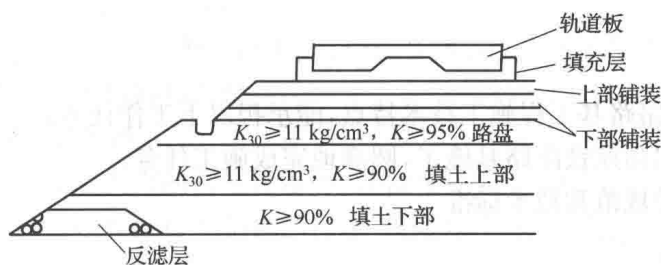


图 1.6 日本高速铁路板式轨道路基的断面形式之一

### 3. 在列车、线路这一整体系统中,路基更是重要的组成部分

变形问题相当复杂,是一个世界性的难题。日本及欧洲各国虽然实现了高速,但他们都是通过采用高标准的昂贵的强化线路结构和高质量的养护维修技术来弥补这方面的不足。日本对此不惜代价,在上越和东北新干线上,高架桥延长米数所占比例分别为 49% 和 57%,路基仅占 1% 和 6%。所以,变形问题是轨下系统设计的关键。由于普通铁路行车速度慢、运量小,因此在以往的设计中,只孤立地研究轮、轨的相互作用,并把这种相互作用狭义地理解为轮、轨接触部位的几何学、运动学、动力学的关系,而忽略了路基的影响,其中各个部分的设计也只局限于本专业范围内。对于高速铁路,轮轨系统应该是车轮、钢轨、道床、路基各部分相互作用的整体。因为包括路基在内的轨下系统的垂向变形集中反映在轨面上,而且又直接影响着轮轨作用力的大小。所以,在轮轨系统相互作用的研究中,必须把各部分作为一个整体系统来分析,建立适当的模型,着眼于各自的基本参数和运用状态,进行系统的最佳设计,实现轮轨系统的合理匹配,尽可能降低轮轨作用力,以保证列车的高速安全运行。德国著名的高速铁路专家 Birmann 指出:铁路路基作为承受轨道和列车荷载的基础,如果选择了合理的刚度(弹性模量),则能明显地影响轮载的分配,可以使轨面的最大支承力减小 60%~70%,而且还可以改善基床动应力分布,减弱重复荷载的动力作用,减少列车荷载对线路的不良影响。但这并不是要求路基不存在变形,因为列车不可能在一个绝对刚性的基础上作高速稳定的运行,只能依循

着不平顺的走行面和刚度有变化的轨道运行。

#### 4. 在轨下基础刚度变化处需设置过渡段

铁路线路由不同特点的结构物(桥、隧、路基等)和轨道结构构成,这些结构在强度、刚度、变形等方面都有很大的差异,因此在路桥、路涵、路堤与路堑、路隧等相连地段,纵向轨下基础刚度的变化必然影响路基/轨道/车辆系统刚度的均匀性,导致高速铁路系统振动的加剧,也加大了对轨下基础的动力作用,影响高速行车的平稳和安全。路基与桥(涵)连接处一直是铁路路基的一个薄弱环节。一方面路基与桥梁(涵洞)刚度差别较大而引起轨道刚度的突变,另一方面由于路基与桥台(涵洞)的沉降差而导致轨面不平顺。在路堤与桥(涵)间设置一定长度的过渡段,以控制轨道刚度的逐渐变化,并最大限度地减少由于路基与桥涵的沉降不均匀而引起的轨道不平顺,保证列车高速、安全、舒适运行。

因此,在高速铁路技术研究中,无论机车车辆、轨道结构或路基、桥梁、隧道专业,都应当把自己的问题放在整个系统中去考察。设计中所采用的设计参数应当使系统的各个部分相互间有合理的匹配。对于路基来说,这些参数主要是弹性系数、阻尼、参振质量、变形模量、动刚度、固有频率以及与之相联系的压实度和含水量等。

## 任务 1.2 高速铁路路基工程技术特点认知

### 1.2.1 工作任务

通过学习高速铁路路基工程施工技术特点,能承担以下工作任务:

- (1)能科学地组织高速铁路路基施工,圆满地完成施工任务。
- (2)正确运用相关规范和技术标准。

### 1.2.2 相关配套知识

路基作为一种人工构造物,是通过设计和施工消耗大量的人力、材料和机械而完成的建筑产品。作为一种土工结构物,路基工程具有某些不同于一般的钢铁或混凝土结构物的独特的特点。

(1)路基工程是线形建筑物,施工面狭长,流动性大,临时工程多,施工易受到其他工程和外界的干扰,施工管理工作量大。(2)由于路基施工系野外作业,受水文、气候、地质等自然条件的影响很大。特别是雨季和冬季,使一些地区的施工增加了许多困难,施工作业受到极大限制,甚至无法进行。(3)铁路经过的地形地貌差别很大,致使工程数量很不均匀,会给各施工项目之间的协调工作带来困难。(4)由于铁路路基是永久性建筑,占用土地较多,一般不可能拆除重建,再加上路基暴露于外界,长年经受列车荷载作用,因此对工程的质量要求极高。

高速铁路由于设计标准及工程的内在质量要求都较高,使得高速铁路工程的施工也不同于普通铁路。与普通铁路路基工程的施工相比,高速铁路路基施工具有如下特点。

#### 1. 填土高度增加

为了减少横向交通干扰,必须在高速铁路下设置行人和车辆行走的设施。对于山岭重丘区,可利用地形布置天桥式横穿道;对于平原区,则只能以提高路基填土高度来满足设置下穿式通道的要求。

由于填土高度的增加,路基本体发生过大的和不均匀沉降变形的可能性增大,而高速铁路对路基的变形控制非常严格,因此必须对填料的性质、含水量、压实标准等指标的要求相应

提高。

#### 2. 取土、弃土的矛盾较突出

当线路通过山区和丘陵区时,由于线形标准的提高,设计时很难实现土方的填挖平衡,有可能增大借土或弃土的数量,以及带来铁路用地范围的扩大,给工程施工造成困难。

#### 3. 工程地质条件复杂、特殊土和特殊地区的路基较多

由于高速铁路线形的重要性,路线通过不良地质地段的情况较多。在丘陵区,通常进行深挖和高填;在山区,通常会遇到大的滑坡体、泥石流及稻田、水库等情况;在冲积平原和三角洲地区,还会遇到大面积深层的软土地基。由于以上情况,在工程施工中就要求采取特殊的施工工艺。

#### 4. 线路中的桥涵和通道等特殊工程多

高速铁路必须采取全封闭的方式,以保证列车的快速通行和安全行驶。为解决高速铁路与地方交通的关系,以及广大农村生活、耕作、灌溉等问题,就需要增设较多的桥涵及通道等特殊构造物,这就给施工增加了困难,如施工对过渡段填土的压实标准要求很高等。

#### 5. 路基边坡的技术要求高

在高速铁路上,为了行车的舒适和安全,对路基边坡的稳定性和线路的绿化、美化均有较高的要求。路基边坡的防护和加固工程较多,其施工的技术要求和美学要求也较高。

#### 6. 路基施工组织与管理更加严格

高速铁路建设项目繁多、工程投资巨大、工程任务艰巨、工期要求紧、质量要求高,这就使路基施工的组织与管理更加精细和严格。

#### 7. 路基施工机械化程度高

高速铁路路基建设除需大批的常规设备外,还需要一批大型化、专业化、智能化的专用设备和专用试验、检测设备,以确保技术指标的控制,保障施工能力,保证生产率。如大吨位压路机、机械密度仪或智能密实度系统等。

由上述高速铁路路基施工特点,决定了它的施工规律。只有研究并遵循这些规律,科学地组织高速铁路路基施工,才能圆满地完成施工任务。

## 任务 1.3 我国高速铁路路基的发展情况认知

### 1.3.1 工作任务

通过学习我国高速铁路路基的发展情况,能承担以下工作任务:

- (1)能借鉴、消化、吸收我国高速铁路工程的新标准、新技术、新工艺和新方法。
- (2)正确运用高速铁路路基相关规范和技术标准。

### 1.3.2 相关配套知识

路基工程是铁路工程项目中所占比例较大的工程,在线下工程中占有举足轻重的地位。随着铁路向高速化发展,路基标准及施工质量状况直接影响列车高速、平稳、舒适和安全的技术指标。

我国高速铁路路基的技术标准及主要参数,是20世纪90年代以来在高速铁路“八五”、“九五”研究成果的基础上,吸收了国外高速铁路路基施工和建设的经验;在设计过程中借鉴、消化、吸收了国外铁路设计新方法和新标准;结合秦沈线的实际情况,并经有关部门多次组织



国内专家的论证而最终确定的。

### 1. 路基主要研究的课题及成果

#### (1)“八五”、“九五”路基主要研究的课题

研究的课题有《高速铁路路基技术条件的研究》(1993—1995)、《高速列车作用下地基弹塑性与刚度的研究》(1993—1995)、《高速铁路路基稳定性及变形控制值的研究》(1995—1997)、《高速铁路软土地基工后沉降标准的研究》(1995—1997)、《高速铁路路基与桥梁过渡段技术措施的研究》(1995—1997)。

#### (2)秦沈客运专线路基科研试验的主要项目(2000~2003)

主要项目有《软土路基工后沉降的控制试验研究》、《路基施工工艺、质量检测方法和标准的试验》、《路桥过渡段设置方法试验》、《土工合成材料加筋技术处理路基试验》、《不同基床表层结构及路基、轨道动态试验研究》。

#### (3)高速铁路(京沪)路基工程试验研究项目

研究项目有《京沪高速铁路路基结构形式及填料改良优化研究》(1997—1998)、《(高速铁路)路基和桩基沉降控制的试验研究》(1999—2001)、《高速铁路路基沉降控制的试验研究》(2002—2003)、《高速铁路软土和液化土地基处理技术的试验研究》(2002—2003)、《高速铁路液化土地基加固技术的试验研究》(2003—2004)。

#### (4)客运专线路基工程试验研究项目

研究项目有:随着客运专线的大规模规划建设,针对客运专线通过软土、膨胀土、湿陷性黄土等不良地质地段进行了系统的试验研究,主要有《合宁线低路堤基床和路堑基床进行动力特性及变形特性的试验研究》(2004)、《合宁线原状地基土的膨胀力试验研究》(2004)、《铁路路基基床结构设计方法及参数的研究》(2005—2007)、《郑西客运专线湿陷性黄土地基处理措施与沉降观测》(2006—2008)。

### 2. 高速铁路有关研究及成果

#### (1)设计规范

设计规范有《时速 200 km 新建铁路线桥隧站设计暂行规定》、《京沪高速铁路设计暂行规定》、《新建时速 200 km 客货共线铁路设计暂行规定》、《遂渝线无砟轨道综合试验段无砟轨道设计技术条件》、《无砟轨道铁路设计指南》、《新建时速 200~250 km 客运专线铁路设计暂行规定》、《新建时速 300~350 km 客运专线铁路设计暂行规定》、《京沪高速铁路无砟轨道设计技术条件》、《高速铁路设计规范》。

#### (2)施工、验收及提速规范

施工、验收及提速规范有《秦沈客运专线铁路路基施工技术细则(试行)》、《客运专线基床表层级配碎石暂行技术条件》、《变形模量  $E_{s2}$  检测规程(试行)》、《客运专线路基施工技术指南》(TZ 212—2005)、《客运专线铁路路基工程施工质量验收暂行标准》、《既有线提速 200 km/h 技术条件(试行)》、《高速铁路路基施工技术指南》、《高速铁路路基工程施工质量验收暂行标准》。

#### (3)指导现场施工的科研试验段

在制定客运专线的有关技术规范的过程中,还进行了秦沈客运专线的工程实践,以及宁启线高速铁路软基处理试验段、昆山高速铁路软基处理试验段、合宁线膨胀土地基处理试验段等进一步的试验研究工作。

随着大规模的建设各条客运专线施工前都有指导施工的科研试验段。



### 3. 我国高速铁路路基工程达到的技术水平及特点

#### 1) 秦沈客运专线

如图 1.7 所示,秦沈客运专线 1999 年 8 月 16 日全面开工建设,2003 年 10 月 12 日正式开通运营。全线总长 405 km,路基 335 km,占线路长度的 83%。运营时速 200 km,有砟轨道结构。



图 1.7 秦沈客运专线示意图

#### (1) 路基填筑质量标准高

秦沈客运专线提出路基填筑采用双控压实标准的新概念。秦沈线路基施工标准较目前的国铁标准提高了很多,路基填筑根据不同部位,提出了压实系数  $K$ 、地基系数  $K_{30}$ 、孔隙率  $n$  等压实标准。

秦沈客运专线沿线填料种类很多,有些粉质土和粉细砂,经现场试验达不到  $K_{30}$  标准,通过专家论证和反复试验,进行了物理改良处理。沿线大量的山皮土属粗粒土,在重型击实试验中表现出较好的可击实性,属于级配良好的填料,但压实后达不到孔隙率  $n$  的要求,同样经专家论证和反复试验,提出对可击实性山皮土采用压实系数  $K$  和地基系数  $K_{30}$  作为双控指标。秦沈线路路基填筑充分体现了新技术和高标准。

#### (2) 路基基床表层采用级配碎石强化结构

铁路路基的基床表层是路基直接承受列车动荷载的部分,是路基设计中最重要的一部分。秦沈线首次在基床表层采用了 60 cm 厚的级配碎石结构。其主要作用是①增强线路强度,使路基更加坚固、稳定,并具有一定的刚度;②均匀扩散作用到基床土面上的动应力,使其不超出下部基床土的容许动强度;③隔离作用,防止道砟压入基床及基床土进入道砟层;④防止雨水浸入使基床软化,防止发生翻浆冒泥等基床病害;⑤满足基床防冻等特殊要求。

为保证级配碎石的施工质量,施工技术细则中对级配碎石的材料质量、颗粒粒径级配范围、含水量、拌和、摊铺及碾压工艺和压实质量控制方法等提出了技术要求,施工过程中进行了严格地控制。

#### (3) 路桥及横向构筑物间设置过渡段

路桥及横向构筑物间的过渡段,是以往设计及施工中的薄弱环节,也是既有线发生路基病害的重要部位。由于桥台与路堤的刚度相差显著,高速列车通过时对轨道结构及列车自身会产生冲击,从而降低列车运行的平稳性和舒适度,加快结构物和车辆的损坏。

为此,在秦沈客运专线的设计中,为保证列车高速运行时的平稳舒适,对路桥过渡段采用了刚度过渡的设计方法。在桥台后一定范围内,采用刚度较大的级配碎石作为过渡填筑段,与

路堤相接处采用 1:2 的斜坡过渡。

#### (4) 严格控制路基变形和工后沉降

秦沈客运专线工后沉降要求一般地段 15 cm(年沉降量不得大于 4 cm), 路桥过渡段 8 cm(年沉降量不得大于 3 cm)。运营期间的弹塑性变形主要发生在路基本体部分和地基部分。秦沈线基床表层采用级配碎石, 其压实标准高,  $K_{30} \geq 190$  MPa/m, 表层弹性模量可达 200 MPa, 基床底层的  $K_{30} \geq 110$  MPa/m, 基床底层以下的  $K_{30} \geq 90$  MPa/m, 路基本体部分的弹塑性变形可满足运营荷载的要求。地基的沉降变形控制是秦沈线的关键和重点。

#### (5) 路基动态设计

秦沈线有 93 km 的松软土和软土路基, 占全线总长度的比例较大, 为了有效地控制工后沉降量及沉降速率, 开展了路基动态设计。为此, 在每个松软、软土地基工点及台尾过渡段、路基中心、两侧路肩及边坡坡脚之外设置沉降和位移观测设备, 全线共设置了 720 个观测断面, 及时绘制填土—时间—沉降曲线。

根据沉降观测资料及沉降发展趋势、工期要求等, 采取相应的措施, 如调整预压土高度, 确定预压土卸荷时间, 提出基床底层顶面抬高值, 以及铺轨前对路基进行评估及合理确定铺轨时间, 以确保铺轨后路基工后沉降量与沉降速率控制在允许范围内。路基动态设计的成果为后续的轨道工程打下了良好的基础。

#### (6) 路基质量评估

针对秦沈线箱梁运架过程中的路基安全稳定问题及铺轨前路基质量状况进行了路基质量评估工作。秦沈线大部分桥梁为预制梁, 梁体结构尺寸及重量均较大, 其中 24 m 双线整孔箱梁重达 540 t, 加上运架设备总重已超过 800 t。通过路基运架远超过设计荷载, 为保证秦沈通过运架梁段的路基安全稳定, 特对高填方、桥头及软基地段进行安全监测评估, 确保了箱梁运架的顺利完成。为保证铺轨前路基满足工后沉降要求及路基表层符合设计要求, 分段对全线路基进行了施工质量状况调查、沉降观测分析、表层抽检、地质雷达检测等工作, 进一步保证了铺轨前的路基质量。

#### (7) 地基处理的种类多

根据地质勘察资料, 结合秦沈铁路路基的工后沉降要求, 针对不同地质条件的地基土选用了合理的 10 多种地基处理方法。

对于浅层软弱地基采用了换填碾压处理或换填砂垫层处理。对于深层软基的主要地段采用了袋装砂井、塑料排水板的排水固结加预压的处理方法。对于工后沉降要求高及路桥过渡段, 根据地质条件和经济对比, 采用了砂桩、碎石桩、粉喷桩、搅拌桩、旋喷桩等地基处理方法。对于有地震液化的粉土或粉细砂层的地基段, 采用了挤密砂桩的处理方法。

不同的地基处理方法在秦沈线得到了成功地应用, 为今后我国高速铁路的设计施工提供了有益的经验。

### 2) 京津城际铁路

如图 1.8 所示, 京津城际铁路是我国第一条时速 350 km 的城际铁路。该工程连接北京、天津两大直辖市, 2005 年 7 月 4 日开工建设, 2008 年 8 月 1 日正式开通运营。全线总长 119.4 km, 无砟轨道结构, 路基 13.14 km, 其中区间路基 6 处/8 443.33 m, 车站路基 3 处/5 610.15 m, 占线路长度的 11%。路基分布于北京、天津市内和亦庄、永乐、武清站, 总延长为 18.9 km。

#### (1) 无砟轨道路基

京津城际铁路采用板式无砟轨道结构——引进德国博格板结构形式,经消化、吸收、再创新,形成中国铁路Ⅱ型轨道板——板重9.6 t,长6.45 m,宽2.55 m,厚0.2 m。

路基作为轨道的基础,表层采用级配碎石、路基压实采用双控指标——密度和刚度。路桥、路涵采用级配碎石过渡段衔接。

无砟轨道结构要求路基的沉降要小。

### (2) 路基工后沉降标准高

作为无砟轨道路基工后沉降为15 mm。无砟轨道结构沉降调整范围是由扣件高度决定的。

施工过程中应进行沉降观测,京津采用了沉降板和剖面沉降管的方法进行沉降观测,并通过沉降评估,控制路基的工后沉降满足15 mm的要求。

京津地区软土深厚,局部地段由于抽取地下水还存在区域性沉降,为保证无砟轨道的高平顺性,大部分地段采用桥梁通过,车站路基段采用较强的桩板、桩网地基处理方法。

### (3) 软土地基处理强

考虑无砟轨道结构、路基工后沉降为15 mm,京津城际铁路的地基处理,深度30 m以内采用CFG桩(Cement Fly-ash Grave Pile的缩写,意为水泥粉煤灰碎石桩),深度30 m以上采用预制混凝土打入桩。考虑到安全可靠和经济合理,正线采用桩板(筏)结构,站线采用桩网结构。

### 3) 武广高速铁路

如图1.9所示,武广高速铁路2005年6月23日开工建设,2009年12月26日开通运营,正线全长962 km,路基长度320.4 km,占全长的33.3%。设计时速350 km,无砟轨道结构。

#### (1) 无砟轨道路基

武广高速铁路主要采用CRTSⅠ型双块式——雷达(Rheda)2000无砟轨道结构。

路基作为轨道的基础,表层采用级配碎石、路基压实采用双控指标——密度和刚度。路桥、路涵采用级配碎石过渡段衔接。

无砟轨道结构要求路基的沉降要小。

#### (2) 路基工后沉降标准高

作为无砟轨道路基工后沉降为15 mm。无砟轨道结构沉降调整范围是由扣件高度决定的。

施工过程中应进行沉降观测,武广高速铁路主要采用沉降板的方法进行沉降观测,并通过沉降评估,控制路基的工后沉降满足15 mm的要求。



图1.8 京津城际铁路示意图



图1.9 武广高速铁路示意图