

*Gaosu Tielu Jiyu Wuzha Guidao Ruantu Luji Dongli
Texing ji Chenjiang Zonghe Kongzhi Guanjian Jishu*

高速铁路基于无砟轨道 软土路基动力特性及沉降 综合控制关键技术

高军 著



非
外
借

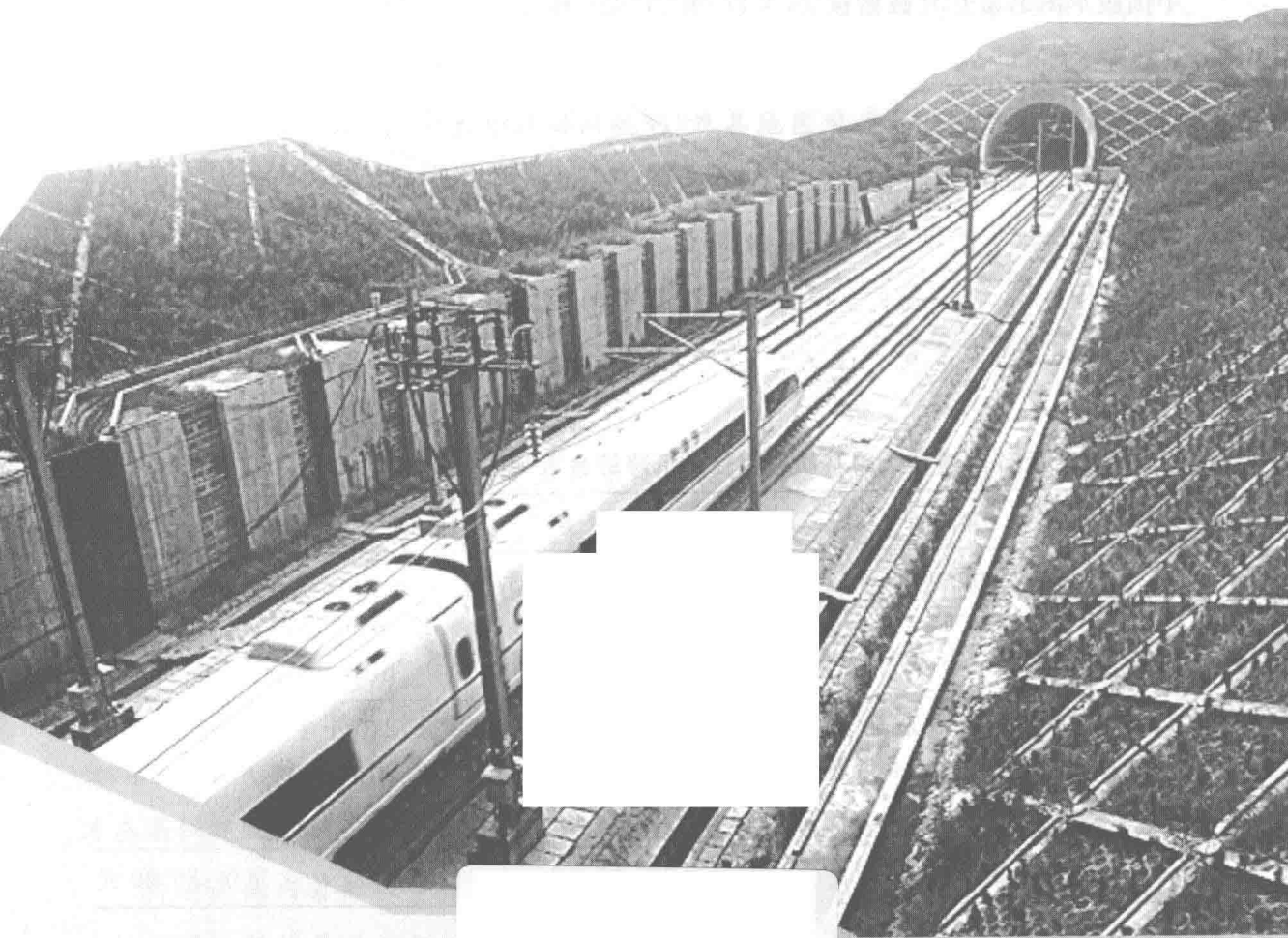


中国地质大学出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

Geotechnical Engineering
High-Speed Railway
Soft Soil Foundation
Settlement Control
Key Technology

高速铁路基于无砟轨道 软土路基动力特性及沉降 综合控制关键技术

高军 著



中国地质大学出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

图书在版编目(CIP)数据

高速铁路基于无砟轨道软土路基动力特性及沉降综合控制关键技术/高军著. —武汉:中国地质大学出版社, 2017. 11

ISBN 978-7-5625-4138-7

I. ①高…

II. ①高…

III. ①高速铁路-无砟轨道-软土-铁路路基动力特性②高速铁路-无砟轨道-软土-铁路路基-路基沉降

IV. ①213.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 272529 号

高速铁路基于无砟轨道软土路基动力特性及沉降综合控制关键技术			高 军 著
责任编辑: 段连秀 彭钰会	策划编辑: 段连秀	责任校对: 张咏梅	
出版发行: 中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路 388 号)			邮政编码: 430074
电 话: (027)67883511	传真: 67883580	E-mail: cbb@cug.edu.cn	
经 销: 全国新华书店		http://cugp.cug.edu.cn	
开本: 787 毫米×1092 毫米 1/16		字数: 210 千字 印张: 8.25	
版次: 2017 年 11 月第 1 版		印次: 2017 年 11 月第 1 次印刷	
印刷: 武汉教文印刷厂		印数: 1—800 册	
ISBN 978-7-5625-4138-7			定价: 36.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

序

高速铁路运输因运量大、快速、舒适、节能、环保等特点,在我国旅客运输中的地位日益攀升,成为旅客运输的生命线,高速铁路安全优质的建设和运营,成为人民生命财产安全的有力保障。

根据国务院批准的《中长期铁路网规划》及各地区对于高速铁路的迫切需求,高速铁路建设在全国范围内大规模展开,高速客运网将覆盖我国大部分地区。我国软土地区分布广泛,分布面积约占国土总面积的 $1/3$,沉降形态多样化,类型复杂多变,对高速铁路网的全面建设增加了巨大的难度及安全压力。软土问题防不胜防,不易处理,给工程建设造成巨大困扰,极易造成安全质量事故和投资的增加,严重制约着高速铁路建设的发展。

京广高铁湖北、湖南、广东段沿线途径地域广,各种复杂的地质情况都极为常见,沿途多岩溶区段。为规避风险,预防安全事故,本书在总结京广高铁建设技术基础上,结合国内其他高铁线路的建设情况,建立了高铁路基力学模型,利用 Biot 有限元进行分析,得出了有关受力参数,建立了完整的遗传算法在多层软土固结位移反演模式,将路桥过渡段处理技术进行了系统的总结和验算,为快速有序、安全处理软土地段提供可靠依据。创新管桩-桩筏复合地基加固设计技术和理论,为在高铁建设过程中解决软土沉降带来的隐患具有很强的针对性和迫切性。

作者是国内首批从事高速铁路建设的管理人员。从国内首条 350km/h 的一次性开通运行的最长高铁——京广高铁开始,亲身经历了我国高速铁路从无到有,再到蓬勃发展的过程,作者在高铁建设中不断探索、钻研先进的技术,直接参

与制订了许多重难点工程的技术方案,作为管理人员带头攻克了许多高铁领域的技术难题,是高铁建设和软土路基处理方面的技术专家。

本书针对高速铁路路基建设中一系列疑难问题,总结出了一套行之有效的解决方法,在中国高铁大规模建设开展之际,特别是复杂岩溶地质郑万高铁湖北段、重庆段建设在即,具有非常重要的借鉴意义,总结的技术可以在铁路、公路、市政、水利水电等工程建设领域推广。

谨为之序。

中国工程院院士



2017 年 11 月

前言

高速铁路以其快速、安全和舒适的特点受到越来越多的人的青睐。高速铁路的建成将极大地促进沿线地区经济和文化的交流,成为中国铁路交通的重要组成部分。由于高速铁路在我国起步较晚,部分技术尚未成熟,鉴于高铁途经地段地质情况复杂,本书对武广、京广、武石、郑万铁路建设工程中遇到的地质问题进行了系统的分析研究,具体内容如下:

(1)分析总结了高速铁路以及高速铁路路基的发展情况,介绍了高速铁路路基特点,对路基设计方法进行了阐述,主要包括路基荷载设计、路基横断面设计、路基基床设计等,同时归纳提出了高速铁路路基面临的主要问题。

(2)查找分析了高速铁路路基的建造标准和规范要求,主要涵盖高速铁路路基的一般规定、路基的断面形式、排水、防护、支挡和附属设施等。

(3)研究了该路段软土地基的处理问题,针对软土地基的工程特性和软土地基的具体处理方法进行了归纳总结和研究。

(4)针对管桩-桩筏复合地基,对管桩-桩筏复合地基的特点和加固原理进行了研究分析,为满足高速铁路路基沉降的严格要求,对该路段的地基承载力进行了验算,包括加固区沉降 S_1 、下卧层沉降 S_2 和固结度的计算。

(5)通过具体工程实践的研究分析,设计了路基的横断面形式,计算了路基的上部荷载。

(6)明确了高速铁路路基填料的要求,对高速铁路路基填料的有关参数,如地基系数 K_{30} 、动态变形模量 E_v 进行了归纳,并对改良土的方法做了分析研究等。

作 者

2017 年 7 月

目 录

第一章 绪 论	(1)
1.1 高速铁路发展概况	(1)
1.2 高速铁路路基的特点	(3)
1.3 高速铁路路基设计方法	(4)
1.4 高速铁路路基工程的现状与发展前景	(4)
1.4.1 我国高速铁路路基面临的主要问题	(4)
1.4.2 高速铁路路基工程现状	(6)
第二章 高速铁路路基建造标准	(8)
2.1 高速铁路路基一般规定	(8)
2.2 路基断面	(9)
2.3 路基排水	(10)
2.4 路基防护	(11)
2.5 路基支挡	(12)
2.6 附属设施	(12)
第三章 高速铁路软土路基地基处理	(13)
3.1 软土地基的工程特性	(13)
3.2 软土地基的处理方法	(14)
第四章 管桩-桩筏复合地基加固设计	(20)
4.1 管桩-桩筏复合地基概述	(20)
4.1.1 管桩的定义和分类	(20)
4.1.2 管桩-桩筏复合地基的特点	(21)

4.1.3	管桩-桩筏复合地基的加固原理	(21)
4.1.4	管桩-桩筏复合地基的施工工艺	(22)
4.2	高速铁路路基工后沉降计算	(26)
4.2.1	工后沉降的定义及其影响因素	(26)
4.2.2	分层总和法	(26)
4.2.3	复合地基沉降量计算	(28)
4.3	高速铁路路基工后沉降标准	(31)
4.4	管桩-桩筏复合地基工后沉降计算	(32)
4.4.1	管桩-桩筏复合地基的设计	(32)
4.4.2	管桩-桩筏复合地基承载力检算	(34)
4.4.3	管桩-桩筏复合地基总沉降计算	(35)
4.4.4	管桩-桩筏复合地基变形计算方法	(39)
4.4.5	固结系数的测定及固结度的计算	(41)
4.4.6	管桩-桩筏工后沉降计算	(44)
第五章	路桥过渡段沉降处理技术	(45)
5.1	京广高铁施工实践	(45)
5.1.1	过渡段的结构设计及质量标准	(45)
5.1.2	施工工艺流程及填筑参数的确定	(45)
5.1.3	碾压效果分析	(49)
5.2	高速铁路路桥过渡段变形原因分析	(50)
5.3	路桥过渡段的处理方法	(51)
5.3.1	桥头设搭板和枕梁	(51)
5.3.2	粗粒级配料填筑	(52)
5.3.3	加筋土路基结构	(52)
5.4	过渡段处理注意事项	(54)
第六章	路基设计	(55)
6.1	路基工程概况	(55)
6.2	高速铁路路基设计荷载	(56)
6.3	路基断面设计	(58)
6.3.1	路基面形状	(58)

6.3.2	路肩的高程和宽度	(60)
6.3.3	路堤边坡坡度确定	(61)
6.3.4	路堤基床设计	(61)
第七章	路基填料分析	(63)
7.1	路基填料的分类标准	(63)
7.2	填料物理性质实验与测试	(66)
7.2.1	压实系数实验与测试	(66)
7.2.2	地基系数试验与测试	(75)
7.2.3	动态变形模量实验与测试	(77)
7.2.4	二次静态变形模量实验与测试	(79)
7.3	路基填料要求	(84)
7.3.1	路基填料的一般规定	(84)
7.3.2	路基填料的选择及压实标准	(86)
7.4	路基填料的改良技术	(87)
第八章	软土路基沉降 Biot 固结有限元分析	(88)
8.1	Biot 固结有限元方程	(88)
8.2	路堤软土地基的本构模型	(89)
8.3	单元类型及其刚度矩阵	(91)
8.4	有限元非线性分析方法	(93)
8.4.1	迭代法	(94)
8.4.2	增量法	(95)
8.5	有限元分析中一些问题的处理	(97)
8.5.1	初始应力状态	(97)
8.5.2	边界条件	(97)
8.5.3	土体单元应力历史的考虑	(98)
8.5.4	迭代收敛问题	(99)
8.6	有限元程序的编制及验证	(99)
第九章	遗传算法在多层软土固结位移反演中的应用	(105)
9.1	优化计算模型	(105)

9.2 优化反演分析遗传算法的实现 (107)

9.3 软土固结位移反分析程序 ZGA (109)

9.4 工程实例 (111)

 9.4.1 程序参数的确定 (111)

 9.4.2 反演结果分析 (111)

 9.4.3 位移预测 (113)

9.5 本章小结 (120)

结束语 (121)

参考文献 (122)

第一章 绪 论

1.1 高速铁路发展概况

1. 高速铁路的定义和由来

高速铁路(简称高铁),是指通过改造原有线路(直线化、轨距标准化),使最高营运速率达到不小于 200km/h,或者专门修建新的“高速新线”,使营运速率达到不小于250km/h 的铁路系统。

自 1852 年英国修建了世界上第一条铁路,铁路运输相对于当时的主要运输方式(轮船和马车),在速度、运量和可靠性上呈现出明显的优势,得到了迅速的发展和推广,成为各国交通运输的主要方式,对国民经济的发展做出了重要贡献。19 世纪后期至 20 世纪 30 年代是铁路发展的第一个“黄金时代”。但进入 20 世纪 40 年代后,随着交通运输进入了现代化、多样化的阶段,铁路受到了公路、航空等其他运输方式的挑战,铁路在速度上不再具有优势,长途受到航空运输的排挤,短途几乎被汽车运输取代,铁路逐渐沦为“夕阳产业”,在竞争中处于被动局面,这就迫使人们寻找铁路发展的新途径。人们逐渐认识到在客运方面提高铁路运行速度的重要性,必须通过提高列车速度,才能把铁路的发展推向新的阶段。

因此,法、日等国家先后开展了有关高速列车的理论研究和试验工作。1955 年 3 月,法国用两台电力机车牵引 3 辆客车,试验速度达到 331km/h,创造了高速铁路的纪录。1964 年,世界上首条投入商业运营的高速铁路在日本诞生,运营时速达到 210km/h。2007 年 4 月 3 日,法国创造了轮轨高速铁路试验速度达 574.8km/h 的世界纪录。

高速铁路技术在 20 世纪 60 年代进入应用阶段。1964 年,日本新干线路的成功运营,为世界高速铁路发展树立了典范,世界铁路客运的发展进入了高速时代。1981 年,法国建成了最高时速为 270km/h 的 TGV 东南新干线,它的修建开辟了一条以低价建造高速铁路的新途径,把高速铁路发展推上了一个新台阶。

2. 国内外发展概况

在日本,1964 年 10 月 1 日,世界上第一条高速铁路——日本东海道新干线正式投入运营,时速达 210km/h,突破了保持多年铁路运行速度的世界纪录。目前,日本高速铁路

运营里程已达 2100km,成为日本陆地交通运输网络的支柱产业,并计划再修建 5000km。高速铁路运营已经取得了巨大的经济效益和社会效益,给其他国家的铁路发展带来了新的机遇。日本铁路客运量已占全国客运量的 30%,而其中新干线约占铁路总客运量的 30%,收入占比为 45%。

法国是世界上从事提高列车速度研究较早的国家之一,1955 年用电力机车牵引试验,创造了 331km/h 的世界纪录。在日本东海道新干线路建成之后,法国从更高的起点研究开发高速铁路。

日本和法国这两条高速铁路不但是高速铁路不同发展阶段的标志,而且还以其明显的社会经济效益、先进的技术装备和优良的客运服务享誉世界。此后,德国、英国、意大利、荷兰、比利时等国相继发展了高速铁路。

我国对“高速铁路”的定义分为两部分:既有线改造达到 200km/h 和新建时速达到 200~250km/h 的线路,在这部分线路上运营的时速不超过 250km/h 的高速列车称为“动车组(D 车)”,以及按 D 车模式运行的跨线 G 车,同时可执行普通客运列车及少量货运列车作业的运营模式;新建的时速达到 300~350km/h 的线路,这部分线路上运营时速达到 300km/h 及以上的“高速动车组(G 车)”以及最高时速达 350km/h 的 D 车。

在我国铁路营业里程已达 12.1×10^4 km,其中营运高速铁路里程居世界第一,已达 1.9×10^4 km,已形成“四纵四横”的高速铁路网。

京沪高速铁路:北京经天津、南京至上海,全长约 1318km。另有蚌埠至合肥的合蚌高速铁路之支线。

京港高速铁路:北京经武汉、广州至香港,由京石高速铁路、石武高速铁路、武广高速铁路、广深港高速铁路组成,全长 2260km。

京哈高速铁路:北京经承德至哈尔滨,由京沈高速铁路、哈大高速铁路、盘营高速铁路组成,全长约 1700km。

杭福深高速铁路:杭州经宁波、温州至深圳,由杭甬高速铁路、甬台温高速铁路、温福高速铁路、福厦高速铁路、厦深高速铁路组成,全长约 1600km。

徐兰高速铁路:徐州经郑州、西安至兰州,由郑徐高速铁路、郑西高速铁路、西宝高速铁路、宝兰高速铁路组成,全长约 1400km。

沪昆高速铁路:上海经杭州、长沙至昆明,由沪杭高速铁路、杭长高速铁路、长昆高速铁路组成,全长 2080km。

青太高速铁路:青岛经济南、石家庄至太原,由胶济高速铁路、石济高速铁路、石太高速铁路组成,全长约 770km。

沪汉蓉高速铁路:上海经武汉、重庆至成都,由合宁高速铁路、合武高速铁路、渝利高速铁路、遂渝高速铁路和达成高速铁路成都至遂宁段构成,全长约 1600km。

1.2 高速铁路路基的特点

路基是铁路轨道的基础,是铁路线路的重要组成部分。路基的稳定性与坚固性直接关系到线路的质量、列车正常运行及安全,高速铁路线路要保证线路的安全、快速、平稳运营,就必须具备良好的路基基础。与普通路基相比,高速铁路路基工程具体表现在具有强度高、刚度大的基床,控制路基的容许沉降或没有沉降以及保证路基刚度沿线路方向变化缓慢等方面。综合来说,高速铁路路基工程的设计主要有以下特点。

1. 高速铁路路基多层结构系统

高速铁路线路结构已经突破了传统的轨道-道床-土路基的结构形式,既有有砟轨道,也有无砟轨道。对于有砟轨道,在道床和土基之间,已经抛弃了将道砟层直接放在土路基上的做法,做了多层结构系统。

2. 控制路基变形

高平顺是高速铁路得以运营的基础保证,因此高速铁路对轨道的平顺管理标准要求非常严格。路基是铁路基础工程的重要组成部分,承受着轨道结构的重量和列车的荷载,路基的变形自然会引起轨道的不平顺。特别是有砟轨道,其轨道下基础是由松散体材料组成的道床和路基,它是整个路线结构中最薄弱、最不稳定的环节,是轨道变形的主要来源,在多次荷载的重复作用下所产生的累计永久下沉(残余变形)将造成轨道的不平顺。同时,它的刚度对轨道的弹性变形也起着关键性作用,因而对列车的高速运行具有重要的影响。高速铁路路基除了应具备一般铁路路基的基本性能外,还需要满足高速铁路轨道对基础提出的高性能要求,满足静态平顺和列车运行状态下的动态平顺。

3. 保证路基刚度的均匀性

列车速度越高,要求路基刚度越大,弹性变形越小。因为弹性变形过大会导致高速行驶的列车无法正常运行;同样刚度也不能过大,过大会导致列车行驶中的振动和噪声加大,不利于车辆的平稳。研究表明,由刚度变化引起的列车振动与速度的平方成正比。列车速度越高,刚度变化越急剧,引起列车振动越强烈,影响列车高速行驶的安全性和舒适性。所以,高速铁路要求路基在线路上做到刚度均匀、变化缓慢,不允许出现刚度突变。

4. 在列车运行及自然条件下的稳定性

在列车运营时,路基不仅要承受轨道结构和附属结构建筑物的静荷载,承受列车载荷的多次反复作用,而且还要抵抗气温变化、雨雪作用、地震等自然因素的侵蚀和破坏。因此,为了保证高速行车,路基工程必须要有抵抗这些不良因素的能力,保证强度不降低、弹性不改变、变形不会加大,真正做到长寿命、少维修。只有这样,才能高速行车,减少维修费用,满足行车舒适性和安全性的要求。

1.3 高速铁路路基设计方法

根据设计任务书的要求,充分掌握路基设计地段的资料 and 情况;根据既有的地形、地质、气象水文情况,对设计对象在满足稳定和经济的基础上,提出几种可供选择的设计方案。待方案选定以后,做既定方案的细部尺寸及设计检算。最后根据设计图计算工程量、材料数量和工程概算,并编写工程设计说明书,整理图表资料,设计图应达到施工图的要求。

(1)静荷载的设计。静荷载是线路上部结构的重量作用在路基面上的应力,而列车荷载和轨道荷载是确定路基本体构造要求的一个重要依据,在设计静荷载时通常采用换算土柱法。

(2)动荷载的设计。动荷载是列车行驶时轮载力通过上部结构传递到路基面的动应力,高速铁路的路基设计不能简单地把动荷载作为静荷载来处理,必须进行动态分析。在列车动荷载的作用下,路基保持长期稳定是列车高速运行的基础;而要保持路基长期稳定,不产生任何危及正常运行的过度变形,就必须对通过钢轨、轨枕和道床传到路基表面的动应力幅值、频率、振动加速度及位移的大小进行分析。目前通常采取实测研究与理论分析相结合的方法来分析研究。

1.4 高速铁路路基工程的现状与发展前景

1.4.1 我国高速铁路路基面临的主要问题

我国高速铁路的建设还处于起步阶段,路基工程的设计、施工和养护技术等方面与世界高速铁路发达国家相比还存在较大差距,因此其设计、施工规范、标准等还有待补充、修改和完善,许多问题还有待进一步研究解决。

1. 技术标准的修改和完善

(1)路基工后沉降控制标准。对高速铁路路基的工后沉降控制制订标准,直接关系到列车能否高速、安全、舒适运行以及建设的工程费用,其标准与今后我国高速铁路运营的管理模式也有关。对有砟轨道路基而言,工后沉降量控制过严,会使地基处理费用大幅上升,在某些地质条件下,即使采取一些地基处理措施,绝对消除工后沉降也是非常困难的。因此比较现实的办法是将工后沉降控制在允许的范围之内,一方面使其不影响列车的高速、安全、舒适运行,另一方面又不因维修过多而影响线路通过能力及产生太高费用,这就需要对工后沉降标准与工程建设费用的关系、线路维修与工后沉降量的关系进行深入研究。对无砟轨道路基,目前的工后沉降标准是根据轨道扣件的调高量制定的。且不说不同的无砟轨道类型,其抗不均匀变形的能力不一样,采用统一的标准是否合理。对于路

桥、路涵过渡段沉降造成的折角,日本新干线板式轨道线路规定不大于 $1/1000$,德国高速铁路无砟轨道技术标准中规定不大于 $1/500$,我国采用不大于 $1/1000$ 进行控制,因此这个控制标准是否合理应作进一步研究。

(2)无砟轨道路基基床厚度。基床是铁路路基最重要的基础部位,受列车动荷载的影响很大,其填料和压实标准很高。我国现行的《高速铁路无砟轨道铁路设计指南》中,没有区分 $200\sim 350\text{km/h}$ 速度等级的影响,暂时均取基床厚度为 3m ,尚需要实践的检验。

(3)地基刚度新标准。《高速铁路设计规范》对一段路堤地段的地基面没有要求,而在《高速铁路路基质量验收标准》中,要求地基面表土整平碾压后, $K_{30} > 85\text{MPa/m}$, $K \geq 0.85$ 是表征路基刚度的指标,列车运行时路基弹性变形的大小与 K_{30} (或 E) 有关。从列车荷载产生的路基动应力分布规律来看,当深度为 2.5m 时,动应力一般已衰减到路基面的 20% ,列车荷载的影响也很小。也就是说,路堤高度大于 2.5m 或 3.0m 时,地基面的刚度对列车运行时的弹性变形影响不大。在工后沉降(塑性变形)能满足要求的前提下,对一般路堤地基面 $K_{30} > 85\text{MPa/m}$ 的要求是否合理,直接关系到地基处理的费用。因此,明确或统一对地基面的标准非常必要。

2. 现代高速铁路技术的理论研究

对高速铁路的技术必须从整体系统的观点出发进行研究,高速的实现需要路基、轨道、车辆三者之间的合理匹配,从而使各个组成部分相互协调并保证高速系统以最优方式运行。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,而忽略了路基的影响。对于高速铁路,车-轨-路系统应该是车轮、轨道、路基整个系统各部分相互作用的整体,必须把路基放到整个系统中去考虑,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,实现车-轨-路系统的合理匹配,以保证列车的高速、安全运行。然而,至今还没有较好的车-轨-路计算模型,无法从理论上对路基的许多技术标准是否合理进行考察,往往只能借助于试验方法和实践的检验。

3. 设计施工面临的几个问题

有了技术标准,在工程实践中如何实现并满足标准,是高速铁路设计和施工技术人员面临的一个问题。

(1)路基工后沉降预测技术。由于现阶段没有可靠的路基(地基)工后沉降计算理论,因此在工程中,主要利用实测的沉降-时间(荷载)的关系,选择有关函数对沉降曲线进行拟合,进而推算工后沉降,并指导下一步施工,如合理的铺轨时间等。常用的经验公式有双曲线法、指数曲线法、星野法和浅岗法。显然,采用现有的预测方法,难以满足高速铁路路基工后沉降高标准的技术要求,迫切需要有可靠的、高精度的沉降预测模型。

(2)特殊土地区低路堤、土质路堑的设计。现行的设计暂行规定,对高度小于基床厚度的低路堤和土质路堑的换填厚度已作了相应的规定。如对土质路堑,规定当土质不满足基床底层填料条件时,应换填 A、B 组填料或改良土,厚度不小于 0.5m 。但对一些特殊

土(如膨胀土、湿陷性黄土、季节性冻土等),应根据特殊土的成因类型、地下水情况、土的工程性质和当地的气候情况等进行换填厚度、封闭防水、排水等设计,即要求进行个别设计。

(3)改良土的施工技术。我国地域辽阔,地质及地理条件复杂,在各种特殊条件下,开成了各种具有明显区域性特殊类型的土,如膨胀土、湿陷性黄土、下蜀黏土等。当这些材料不能直接用于路基填筑时,可以通过改良的方法,使之满足作为路基填料要求的土体。因此,在设计和施工前,应根据土的类型、矿物成分、物理力学性质等进行改良措施的室内试验研究,并对改良土的拌和工艺、压实工艺进行现场试验,提出质量保证措施,从改良土的拌和质量、工效特点、工艺的适用性、经济指标和环境保护等方面进行综合分析,确定合适的拌和工艺,指导全线或大面积的施工。

(4)复杂地质条件下的路基设计。设计包括岩溶地基、液化地基的处理措施,区域地面沉降对高速铁路路基的影响及对策等。为防治地面沉降对铁路的影响,应采取合理措施,控制地下水开采,建立沿线地面沉降监测网络,选择合理的轨道结构类型等。

4. 新技术的应用

为适应高速铁路建设的需要,近年来在高速铁路路基设计中,采用了 CFG 桩、PHC 管桩桩网结构加固软弱地基和桩板结构路基的新技术,利用动态变形模量测试仪,测试动态变形模量的新检测手段。在施工方面,引进和研制了一些土石方挖、装、运及碾压设备,施工机具效率有了很大提高。桩网结构是由路堤、桩(CFG 桩和 PHC 管桩等)、网(土工格栅等)及桩间土构成的复合系统,其中 CFG 桩桩网结构和 PHC 桩桩网结构分别在郑西、武广高速铁路和温福铁路中得到了应用。

目前的 CFG 桩桩网结构有带桩帽和无桩帽两种结构形式。由于这种柔性基础结构在路堤荷载作用下的工作机理不同于刚性基础结构,其结构形式的选取、设计计算理论及不同地质条件下的施工工艺都尚未成熟。桩板结构路堤是一种用于高速铁路无砟轨道新的结构形式,由下部钢筋混凝土桩基与上部钢筋混凝土承载板组成,承载板直接与轨道结构连接,已在遂渝线进行试验研究。对这种加固路基的结构形式,尚需要对其工作机理、动力特性和设计理论等方面进一步开展研究。

与国外相比,我国高速铁路的建设规模大、线路长、区域地质条件复杂、任务紧,许多问题迫切需要广大科研人员和工程技术人员去研究和解决。及时总结近年来我国高速铁路的建设经验,可以提升我国高速铁路的建设水平。

1.4.2 高速铁路路基工程现状

1. 国内路基工程现状

中华人民共和国成立以来,在路基工程的建设上取得了许多成果,特别是对特殊地区及特殊土路基,无论在科研水平还是工程实践水平上都有了很大的提高,积累了丰富的经验。由于经济的快速发展,路基工程水平仍跟不上高速铁路运输发展的需要,其关键在于

采用安全度方面路基与轨道、桥隧建筑物不匹配,路基强度低、变形大,影响整个铁路运输能力的提高。长期以来,我国新建铁路在“重桥隧、轻路基,重土石方数量、轻质量”倾向下,经常发生路基变形、下沉,边坡坍塌,道碴陷槽等病害,使新建铁路交付运营后不能立即达到设计速度与运量,一般要经过1~5年自然沉落及病害整治后才能达标。随着国民经济的发展,运量不断增长,路基超负荷工作状态一直没有缓解,以致时常发生路基病害。据统计,至1994年底,在全国68 053km的运营线上,路基总长64 088km,占运营线路的94%,路基病害地段81 082处,累计长11 055km,占运营线路的16.2%。因此,路基质量问题已逐渐被人们所认识和重视。

2. 国外路基工程现状

国外铁路发展的方向是重载和高速铁路。发展重载铁路(轴重250~360kN)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,这些国家都制订了较高的路基技术标准和严格的施工工艺,其特点如下:

(1)结合路基工程规定了详细的岩土分类,要求详细地进行调查,为设计、施工及养护提供所必需的资料。

(2)加强了轨道基础的路基基床部分,包括路堤、路堑及不填不挖地段,特别是对基床表层(日本对新干线要求设置加强基床,很多国家设置基层或防护层、垫层),有严格的材料条件并规定了强度要求。关于强度标准,有的用形变模量 E ,有的用加州承载比(CBR),日本采用直径为30cm的平板荷载试验求出的地基系数;欧盟及法国标准对基层要根据土质、承载能力、防冻要求、线路等级、运输荷载条件(轴重、运量、速度)以及线路上部结构的条件,设计其结构及需要厚度。

(3)对路堤各部分的填土规定了相应的填料标准,填土质量标准要求较高。多数标准采用压实系数 K 与 K_{30} 标准。施工中严格进行质量检验及控制。日本、法国标准中分别提出可用贯入仪及落球回弹法等快速检验法。为了调整接近桥台时路堤的刚度,对桥头路堤规定了更高标准。

(4)为控制路基不发生过大的下沉,对路堤填土的地基条件提出了规定及处理的要求。