

WUZHA GUIDAO TIELU LUJI

JISHU GUANJIAN LUJING YU CUOSHI

无砟轨道铁路路基

—技术关键、路径与措施

魏永幸 著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

WUZA GUIDAO TIELU LUJI
JISHU GUANJIAN LUJING YU CUOSHI

无砟轨道铁路路基

—技术关键、路径与措施

魏永幸 著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书是作者多年从事无砟轨道铁路路基研究及设计的成果总结。本书从无砟轨道对路基的要求出发,系统阐述了无砟轨道铁路路基的关键技术,介绍了基于层状体系的无砟轨道铁路路基结构设计理论,桩-网结构路基与桩-板结构路基设计方法,以及路基面支承刚度与线路纵向刚度匹配理论等,并讨论了无砟轨道铁路路基关键技术的工程实现途径及具体工程措施。

本书内容丰富,既有系统的无砟轨道铁路路基设计理论阐述,又有面向工程实践的无砟轨道铁路路基技术关键、实现途径及工程措施诠释,兼具理论与工程创新,可供工程技术人员以及教学、科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

无砟轨道铁路路基:技术关键、路径与措施 / 魏永幸著. —北京:人民交通出版社股份有限公司, 2016.7
ISBN 978-7-114-12796-0

I. ①无… II. ①魏… III. ①无砟轨道—铁路路基
IV. ①U213.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 024218 号

书 名: 无砟轨道铁路路基——技术关键、路径与措施

著 者: 魏永幸

责任编辑: 王 霞 王景景

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 11

字 数: 255 千

版 次: 2016年7月 第1版

印 次: 2016年7月 第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-12796-0

定 价: 45.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

作者简介



魏永幸(1964—),四川名山人,中铁二院工程集团有限责任公司技术中心主任,《高速铁路技术》杂志主编,教授级高工,国家注册土木工程师(岩土)。1985年毕业于西南交通大学(铁道工程专业,工学学士),2003年毕业于四川省工商管理学院(工商管理硕士)。

长期从事铁路(公路)路基、地质灾害治理、边坡防护等工程的勘察、设计、研究及技术管理工作。发表学术论文100余篇,申请并获得专利10余项。获国家科技进步奖1项、省部级科学技术奖10项,获国家优秀工程设计奖1项、省部级优秀工程设计奖8项。

参加中国首条无砟轨道试验铁路——遂渝线无砟轨道综合试验段的研究、设计及试验工作,负责线下工程关键技术研究及路基工程设计,主持完成桩-网结构路基、桩-板结构路基、两桥(隧)之间刚性路基、红层泥岩填筑无砟轨道路基等技术的开发,参与路基及过渡段动力性能测试。主持完成的“遂渝线无砟轨道路基关键技术研究”获四川省科技进步三等奖,“遂渝线无砟轨道路基工程设计”获四川省优秀设计一等奖。参加完成的“遂渝线无砟轨道关键技术研究与应用”获2010年度国家科技进步一等奖,“遂渝线无砟轨道试验段工程设计”获2009年度全国优秀设计铜奖。此外,还先后主持完成了“客运专线两桥(隧)之间短路基设计技术研究”、“客运专线隧路过渡段设计关键技术研究”、“红层泥岩路基基床动力学特性试验研究”、“基于层状体系的无砟轨道铁路路基结构设计理论与应用研究”、“客运专线无砟轨道路基面防水材料试验研究”、“全断面沥青混凝土路基基床表层结构试验研究”等课题研究,参加了“高速铁路线下工程变形监测及评估技术与数据处理系统研究”、“高速铁路路基维护技术研究”等高速铁路相关课题的研究工作。

序

无砟轨道具有更能持久保持轨道几何形位的突出优势,已成为高速铁路轨道结构的首选。但无砟轨道铁路对基础变形和基础纵向刚度变化提出了严格的要求,这对于以岩土材料构筑于露天环境的路基工程的设计、施工提出了新的挑战 and 考验。我国从2004年起持续开展了土质路基上铺设无砟轨道铁路的试验研究,取得了整体技术的较大进步,主要表现在:针对复杂多样的地质环境,实现了路基沉降变形的有效控制以及路基与桥隧等构筑物刚度的平顺过渡,满足了无砟轨道铁路对基础变形和基础纵向刚度变化的严格要求。

本书作者曾参与中国首条无砟轨道试验铁路——遂渝线无砟轨道综合试验段的建设,负责路基工程技术的研究与设计工作。作者一直紧密结合工程建设在生产一线从事路基工程设计与研究工作,特别是结合我国高速铁路建设,主持或参与了多项科学研究与技术开发工作,对无砟轨道铁路路基设计理论与关键技术及工程应用有较为深入和系统的研究。本书是作者多年研究成果的总结,系统阐述了无砟轨道铁路路基的关键技术,介绍了基于层状体系的无砟轨道铁路路基结构设计理论、桩-网结构路基与桩-板结构路基设计方法以及路基面支承刚度与线路纵向刚度匹配理论等,并探讨了无砟轨道铁路路基关键技术实施的工程途径及具体措施。

“言之不文,行而不远”。在当前高速铁路建设快速发展的形势下,将无砟轨道铁路路基设计理论及其关键技术系统总结提炼,对于业内的技术提升有着重要的现实意义,尤其书中对无砟轨道铁路路基技术关键、实现途径及工程措施的系统阐述,兼具理论与工程创新,值得一读。乐为之序,并推荐给广大同行。

中国工程院院士
浙江大学教授

龚晓南

2015年11月28日

高速铁路,以其高效、快捷、节能、环保的突出优势,自 20 世纪问世以来逐渐为世界各国经济发达国家所接受和推崇,已成为主流交通方式之一。无砟轨道,相对于传统的有砟轨道,具有更能持久保持轨道几何形位的突出优势,成为高速铁路轨道结构的首选。我国自 2004 年启动高速铁路建设计划,经反复论证,在时速 250km 高速铁路上主要采用无砟轨道,并通过大量的研究、试验及样板工程建设,先后推出 CRTS I 型板式、双块式,CRTS II 型板式、双块式,以及 CRTS III 型板式无砟轨道。

有砟轨道,当线下基础出现沉降而引起轨道不平顺时,可以通过补充道砟和整道来恢复轨道几何形位。无砟轨道,当线下基础出现数值较小的沉降变形时,可以通过调整扣件来恢复轨道几何形位,但线下基础数值较大的沉降变形将导致轨道结构重新安装或修复,需要中断行车进行维护且维护工作量大。因此,无砟轨道,必须要将线下基础沉降变形控制在一定范围,以防止因线下基础过量沉降变形引起无砟轨道结构破坏及轨道严重变形。这也是无砟轨道铁路相对于有砟轨道铁路的最显著特点。

为满足无砟轨道铁路对线下基础的要求,作为以岩土材料构筑于露天环境的路基工程,其设计理念、设计理论、设计方法以及工程技术,均与有砟轨道铁路存在显著不同和差异。作者有幸参加了中国首条无砟轨道试验铁路——遂渝线无砟轨道综合试验段的研究与设计,并在之后一直致力于无砟轨道铁路路基设计理论、关键技术的研究与实践,对无砟轨道铁路路基设计理论、关键技术及工程实现途径等,有较为深刻的认识。

本书是作者多年从事无砟轨道铁路路基设计理论、关键技术研究与实践的成果总结。本书从无砟轨道对路基的要求出发,围绕路基工程如何才能满足无砟轨道铺设要求的技术主线,讨论了路基基床性能,路基层状结构体系,基于层状体系的路基基床结构设计方法;讨论了路基沉降构成,路基沉降控制途径,控制地基沉降的桩-网结构路基与桩-板结构路基及其设计方法;讨论了路基支承刚度,路基竖向刚度控制,路基与桥(隧、涵)结构物的纵向刚度匹配及路基纵断面设计理念;路基性能的长期稳定性,路基防排水体系,路基面防水沥青混凝土;以及斜坡路基变形控制,斜坡地段异物入侵危害及其防治等。本书以无砟轨道铁路

路基关键技术为线索,在介绍了相关研究成果的基础上,重点讨论了关键技术的工程实现途径,以及解决工程技术问题的创新路径与方向;同时,基于系统性的考虑,也简要介绍了相关设计理论和方法。

全书由魏永幸策划,并负责撰稿、统稿。四川大学薛新华博士协助完成资料整理并参与书稿初稿的编写。西南交通大学邱延骏教授、中国铁道科学院张千里研究员参与了第三章的编写,西南交通大学罗强教授参与了第六章的编写,武汉理工大学方明镜博士参与了第七章的编写,中铁二院工程集团有限责任公司姚裕春博士、徐骏博士参与了第十章的编写,中铁二院工程集团有限责任公司刘洋、孙莺、孙利琴、张敏静等参与了相关工作。中国铁路总公司工程设计鉴定中心师新明教授级高工、工程管理中心尤昌龙教授级高工,中铁八局集团公司梅红教授级高工审阅了书稿并提出修改意见。本书出版得到了中铁二院工程集团有限责任公司学术著作出版基金的支持。

本书创作过程中,主要参考了作者作为主持或主要参与者完成的多项无砟轨道铁路路基研究成果,在此,对课题组成员所做的工作,表示感谢。同时,书中引用了相关文献,已注明出处,但难免遗漏,在此谨向有关文献作者一并致谢。

限于作者水平,书中或存在不妥之处,敬请读者批评指正。

作者 魏永幸

2015年11月18日

目 录

Wuzha Guidao Tielu Luji

mulu

第1章 绪论	1
1.1 无砟轨道铁路发展历程	1
1.2 无砟轨道铁路路基功能要求	3
1.3 无砟轨道铁路路基工程特点	8
1.4 本书主要内容	9
第2章 无砟轨道铁路路基技术关键	10
2.1 技术关键之一:路基沉降变形控制	10
2.2 技术关键之二:路基与其他线下基础刚度匹配	14
2.3 技术关键之三:路基防排水	16
第3章 路基基床	19
3.1 路基基床动力特性	19
3.2 路基基床结构	19
3.3 路基基床动力特性试验研究	20
3.4 基于层状体系的路路基基床结构设计	22
第4章 路堤沉降控制	26
4.1 路堤压密沉降控制对策	26
4.2 路堤填料设计	27
4.3 路堤填筑压实控制	27
4.4 路堤填料适应性试验	28
4.5 非良质填料改良	28
第5章 地基沉降控制	46
5.1 地基沉降与路基工后沉降的关系	46
5.2 地基工后沉降控制途径	46
5.3 常见地基加固措施	49
5.4 桩-网结构路基设计	50
5.5 桩-板结构路基设计	55

第6章 路基与其他构筑物纵向刚度匹配	69
6.1 路基与其他构筑物过渡段问题及研究思路	69
6.2 路基过渡段动力仿真分析	70
6.3 路基过渡段结构数值分析	87
6.4 路基过渡段路基面支承刚度测试分析	101
6.5 路基过渡段纵向刚度匹配技术综合分析	120
第7章 路基防排水	126
7.1 路基防排水体系	126
7.2 路基填料抵御水侵蚀能力	126
7.3 路基面防排水	127
7.4 路基边坡防排水	134
7.5 地下排水措施	135
第8章 路基防护	137
8.1 路基防护原理与设计原则	137
8.2 几种常用路基边坡防护型式及技术特点	140
第9章 路基工程纵断面设计	143
9.1 路基工程纵断面设计的作用与意义	143
9.2 路基工程纵断面设计的主要内容	143
9.3 路基工程纵断面设计实践	145
第10章 山区斜坡地段路基设计	148
10.1 斜坡地段路堤变形控制	148
10.2 斜坡地段路基防异物入侵	152
作者相关研究成果	158
参考文献	160
相关工程图片	163

第1章 绪 论

无砟轨道结构因具有稳定性好,轨道几何尺寸保持持久,维修工作量少,耐久性好,桥梁二期恒载小,可降低隧道净空、减少开挖面积,综合经济效益高等优点,在高速铁路上获得了越来越广泛的应用,其铺设范围由桥梁、隧道发展到土质路基和道岔区。无砟轨道铁路已成为世界各国高速铁路的发展趋势。为满足无砟轨道铺设条件,作为线下基础之一的路基,其技术也伴随高速铁路的发展而得到不断发展。

1.1 无砟轨道铁路发展历程

1.1.1 国外无砟轨道铁路发展历程^[1]

日本早在 20 世纪 60 年代中期就开始进行无砟轨道的研究与试验,并逐步推广应用。早期建设的高速铁路东海道新干线长 575.4km,全部采用有砟轨道,但运营后发现不能维持良好的轨道状态,不得不进行大修,更换轨道结构。20 世纪 70 年代建造的山阳新干线,修建了 281km 的无砟轨道,占线路全长的 74%;东北新干线无砟轨道占线路全长的 82%;上越新干线无砟轨道占线路全长的 91%。目前,日本不仅在桥梁、隧道中铺设无砟轨道,而且在路基上也开始全面推广使用。

德国于 20 世纪 90 年代开始研究铁路无砟轨道技术,其首先解决了土质路基铺设无砟轨道的技术问题,然后逐步推广到隧道和桥梁上,从而为全区间铺设无砟轨道创造了有利条件。目前德国铁路累计铺设无砟轨道 360km(含 80 多组道岔区),其中规模铺设的线路有科隆—法兰克福(300km/h,2002 年开通)、柏林—汉诺威(250km/h,1998 年开通)、纽伦堡—英戈尔施塔特等。

法国高速铁路采用有砟轨道,并以有砟轨道能够以 270~300km/h 的速度运营而感到骄傲。但后来发现早期建造的东南线、大西洋线,道砟粉化严重,使轨道几何尺寸难于保持,维修周期缩短,维修费用增加,甚至影响正常的运营。由此,法国认识到无砟轨道的优越性,也开始了无砟轨道的研究与试验。在新建的地中海线,选择隧道段铺设了 4.8km 双块式无砟轨道进行试验。

韩国于 2004 年开工建设的第二期高速铁路大邱—釜山线长 130km,全部采用无砟轨道。

1.1.2 国内无砟轨道铁路技术研究历程^[2,3]

国内对无砟轨道的研究始于 20 世纪 60 年代,与国外的研究几乎同时起步。初期曾试

铺过支承块式、短枕式、整体灌注式等整体道床以及沥青道床等形式,其中轨枕嵌入式(支承块式)整体道床先后在成昆线、京原线、京通线、南疆线等长度超过 1km 的隧道内铺设,总铺设长度约 300km。20 世纪 80 年代曾试铺过沥青整体道床,有沥青混凝土铺装层与宽枕组成的整体道床以及由沥青灌注的固化道床等,在大型客站和隧道内试铺,总长约 10km。另外,在京九线九江长江大桥引桥上铺设了无砟无枕结构,长度约 7km。

1995 年以后,随着京沪高速铁路研究的深入,无砟轨道得到重视,在“九五”国家科技攻关专题“高速铁路无砟轨道设计参数的研究”中,提出了适用于高速铁路桥隧结构上的三种无砟轨道形式(长枕埋入式、弹性支承块式和板式)及其设计参数;在铁道部科技开发计划项目“高速铁路高架桥上无砟轨道关键技术的试验研究”中,完成了对三种结构形式的无砟轨道实尺模型的铺设及各项性能试验,提出高架桥上无砟轨道施工方案、桥梁徐变上拱限值与控制措施,建立了桥上无砟轨道车线桥耦合模型并进行了仿真计算,分析了高速铁路高架桥上无砟轨道的动力特性与车辆走行性能。

以上研究成果为我国新型无砟轨道结构的发展打下了坚实的基础。1999 年在铁道部科技开发计划项目“秦沈客运专线桥上无砟轨道设计、施工技术条件的研究与编制”的有力推动下,秦沈客运专线选择了 3 座高架桥作为无砟轨道的试铺段。其中,沙河特大桥(铺轨 1384m)铺设了长枕埋入式无砟轨道,狗河直线特大桥(铺轨 1482m)和双河曲线特大桥(铺轨 1480m)上铺设了板式无砟轨道。

随后,在西康线秦岭隧道(铺轨 37km)、兰新线乌鞘岭隧道(铺轨 40.368km)等隧道内设计铺设了弹性支承块式无砟轨道,在渝怀线鱼嘴 2 号隧道(铺轨 1438m)铺设了长枕埋入式无砟轨道,在赣龙线枫树排隧道(铺轨 1420m)铺设了板式无砟轨道。为进一步优化长枕埋入式无砟轨道结构,中国铁道科学研究院提出了双块式无砟轨道(简称 TBS 型)结构方案,并进行了相关的试验。

我国的台湾地区,于 2004 年建成的台北—高雄 345km 高速铁路全部采用无砟轨道。

1.1.3 中国首条无砟轨道试验铁路及大规模高速铁路建设

2004—2007 年,结合中国首条无砟轨道试验铁路——遂渝线无砟轨道综合试验段,开展了 6 种无砟轨道结构以及无砟轨道铺设条件、线下工程设计施工关键技术、无砟轨道与 ZPW2000 轨道电路适应性等无砟轨道铁路建设关键技术的试验研究,并进行了列车运行试验。本次试验研究,在试验铁路上试铺了 6 种形式的无砟轨道结构,并重点研究了土质路基上铺设无砟轨道的技术条件,研究了无砟轨道铁路路基基床动力特性、路基与桥隧构筑物纵向刚度匹配技术、路基沉降控制及桩-网结构、桩-板结构路基技术以及红层泥岩填料改良技术等^[4,5],首次实现了土质路基上成区段铺设无砟轨道。

随后,结合武广客运专线试验段、严寒地区无砟轨道试验段、旱区无砟轨道试验段建设,以及京津城际、武广、郑西、京沪、哈大等多条无砟轨道铁路建设,又开展了无砟轨道及相关技术的深化研究^[6,9]。这些研究成果,支撑了我国无砟轨道铁路建设,同时提升了我国无砟轨道铁路建设技术水平。

截至 2014 年年底,我国已建成高速铁路 16000km,成为世界上高速铁路建设里程最长的国家。

1.2 无砟轨道铁路路基功能要求

作为承载无砟轨道铁路的路基,应具备以下功能要求:

- (1) 满足轨道及相关设施承载布置的要求。
- (2) 具有良好的动力特性。
- (3) 保持长期稳定。

1.2.1 满足轨道及相关设施承载布置

作为轨道基础的路基,必须足够宽,满足轨道结构及相关设施布置的要求,并有足够的安全保障余量。影响路基顶面宽度的因素有线间距、路肩宽度、轨道结构形式、电缆槽布置形式及位置、接触网立柱内侧距轨道中心距离等。其中,线间距、路肩宽度主要与列车设计速度目标值相关。因此,影响路基面宽度及形状的因素可以归纳为以下三个方面:①设计速度目标值;②轨道结构形式;③路基面上站后相关设备布局。

1) 设计速度目标值对路基面宽度的影响

设计速度目标值对路基面宽度及形状的影响主要是通过线间距、路肩宽度来实现的。

(1) 线间距

线间距直接影响路基面宽度。表 1-1 是世界上已建高速铁路线间距的相关资料。

世界上已建高速铁路线间距一览表

表 1-1

国 家	铁 路 名 称	设计(运营)最高速度 (km/h)	线间距 (m)	备 注
日本	东海道	270	4.2	
	东北上越	275	4.3	
	山阳	300	4.3	
	北陆	260	4.3	
法国	地中海	350	4.8	
	北方	320	4.5	
	大西洋	300	4.3	
	东南	270	4.2	
德国	科隆—法兰克福	300	4.5	
	汉诺威—维尔兹堡	280	4.7	客货共线
	曼海姆—斯图加特	280	4.7	客货共线
澳大利亚	悉尼—墨尔本	350	5.2	
韩国	首尔—釜山	350	5.0	
中国台湾	台北—高雄	350	4.5	
中国	遂渝线试验段	200	4.2	客货共线
中国	武广客运专线	300	5.0	
中国	京沪高速铁路	350	5.0	

从表 1-1 中可以看出,采用线间距最大的是澳大利亚悉尼—墨尔本线的 5.2m,其设计最高速度为 350km/h,最小的是日本东海道新干线的 4.2m,目前的运营最高速度为 270km/h。总体上,随着速度目标值的提高,线间距逐渐加宽,但因为列车的差别等原因,各国采用的线间距有差异。

(2) 路肩宽度

有砟轨道铁路的路肩宽度,是指道砟坡脚至路肩的距离,其宽度主要考虑路堤边坡稳定的需要、养护维修的需要和人员安全避让距离的需要。日本早期修建东海道新干线时,路肩宽度一侧为 0.5m,另一侧为 1.0m,1978 年修订路基规范时,则提高到两侧路堤均为 1.2m,路堑为 1.0m;法国修建巴黎—里昂 TGV(高速列车)时,路肩宽为 1.5~2.0m,修建大西洋 TGV 时改为 2.25m;德国两侧均为 1.3m。

由于无砟轨道的轨道底座宽度小于有砟轨道的道砟底部宽度,按照相同的定义,其路肩宽度一般都大于 2m。因此,对于无砟轨道铁路而言,路肩宽度对无砟轨道路基面宽度不起控制作用。

2) 无砟轨道结构形式对路基面宽度的影响

遂渝线无砟轨道综合试验段采用了我国自主研发的板式、双块式和长枕埋入式三种结构形式。长枕埋入式用于车站道岔区,区间路基采用板式和双块式,其中板式又分为普通板式和框架板式。区间路基采用的无砟轨道主要设计参数见表 1-2。

遂渝线无砟轨道综合试验段主要设计参数

表 1-2

无砟轨道类型	道床板厚度(mm)	轨道结构高度(mm)	轨道板基础宽度(mm)	备注
双块式	300	866	3600	
I 型板式	190	756	3200	
II 型板式	200	774	3200	

双块式和板式无砟轨道底座分别是弹性支承层和钢筋混凝土基础板。弹性支承层属于半刚性体,其弹性模量和刚度介于上部钢筋混凝土道床与下部基床表层级配碎石之间的过渡层,主要功能是分散缓冲上部荷载和减振作用;钢筋混凝土基础板是刚性体,主要功能是分散缓冲上部荷载,并通过凸形挡台对轨道板进行定位,而减振功能则通过 CA 砂浆来完成。由于两者的设计理论有着明显的区别,导致了底座宽度与曲线超高形式的不同。双块式弹性支承层的底宽为 3.6m,板式钢筋混凝土基础板的底宽为 3.2m;双块式无砟轨道在路基基床表层上实现超高,而板式无砟轨道在钢筋混凝土基础板上实现超高。

由于上述原因,板式无砟轨道的路基面形状无论在直线还是曲线上,均是梯形,基础板下面为平面,由基础板外侧向两侧设 4% 的横向排水坡,一般不考虑曲线外侧加宽,只有当轨道结构和接触网支柱等设施的设置有特殊要求需要加宽时,根据具体情况计算确定。双块式无砟轨道的路基面形状在直线上与板式相同,也是梯形,只是底座宽度不同,可能导致路肩设计高程稍有差异;在曲线上由于超高在基床表层上设置,路基面形状较复杂,在保证两侧路肩设计高程相同和设置横向排水坡度的情况下,路基面为逐渐变化的台阶状,并根据曲线半径计算外侧加宽值。

3) 站后相关设备布局对路基面宽度的影响

(1) 接触网立柱位置

接触网立柱位置,可用接触网立柱内侧距轨道中心距离来表示,其对路基面宽度的影响较大。

接触网立柱内侧距轨道中心距离,受接触网悬挂类型及安装方式、弓网关系和机车类型等诸多因素的制约。

接触网立柱内侧距轨道中心距离应不小于其侧面限界 C_x 。接触网立柱的侧面限界一般取距路基面 3.0m 高度位置的距离。

对于速度目标值不大于 160km/h 的普通铁路,曲线超高一般不超过 150mm,接触网立柱内侧距轨道中心距离一般直接采用侧面限界 C_x 的理论计算值即可,一般不会超过 2.8m。

而对于速度目标值超过 160km/h,甚至达到 300~350 km/h 的客运专线,接触网立柱内侧距轨道中心距离往往大于侧面限界 C_x 。采用有砟轨道结构时,此距离主要受大型养路机械的限界控制;当采用无砟轨道结构时,此距离主要受接触网悬挂类型及安装方式、弓网关系和机车型号等影响。

根据遂渝线无砟轨道综合试验段最小曲线半径 1600m、最大超高 105mm 的线路条件,侧面限界 C_x 的计算值为 2.7m。武广高速铁路韶关至花都段最小曲线半径 9000m、最大超高 170mm 时,侧面限界 C_x 的计算值为 2.8m。考虑到接触网设备安装的技术要求,对于接触网立柱内侧距轨道中心距离,遂渝线无砟轨道综合试验段统一采用 2.9m。

(2) 电缆槽形式及位置

电缆槽形式及位置主要影响路基面宽度。

电缆槽一般包括通信、信号和电力电缆槽,有时结合地方通信的需要,也可以单独预留电缆槽,一般设置于两侧路肩上。

根据高速铁路综合接地对信号电磁干扰屏蔽要求的需要,电力电缆槽可以设置在路堤坡脚及侧沟平台上,或者在路肩上与通信信号并排设置。路肩上的电缆槽布置形式可以分别采用单槽、双槽或三槽布局,可以放置于接触网立柱的外侧或内侧。采用单槽形式时,通信和信号电缆共用一个槽,电力电缆槽单独在外设置;采用双槽时,通信和信号电缆各用一个槽,电力电缆槽单独在外设置;采用三槽时,通信、信号和电力电缆槽各用一个槽,且并排设置。

当无砟轨道路基的电缆槽采用外置方式(设置于接触网立柱外侧)时,电缆槽宽度(或者是电缆槽布置形式)是路基面宽度的决定因素。

当无砟轨道路基的电缆槽采用内置方式(设置于接触网立柱内侧)时,为防止电缆槽侵入轨道板基础的动应力扩散范围,接触网立柱内侧距轨道中心距离一般都远远大于其侧面限界 C_x ,至少要扩大到 3.1~3.6m。

可见,接触网立柱内侧距轨道中心距离是路基面宽度的决定因素,电缆槽布置位置与接触网立柱内侧距轨道中心距离相互作用,共同决定了路基面宽度。

4) 无砟轨道铁路路基面宽度及形状的主要设计方案

根据对上述几个影响因素的具体分析,在理论上对无砟轨道铁路双线路基面宽度及形状可以拟定出多种优化组合方案,具体见表 1-3。

客运专线无砟轨道路基面宽度一览表

表 1-3

设计速度目标值 (km/h)	线间距 (m)	接触网立柱内侧距 轨道中心距离(m)	路肩上电缆槽数量 及位置	路基面宽度 (m)
300~350	5.0	3.0	三槽外置	14.0
		3.0	双槽外置	13.6
		3.3	双槽内置	12.9
		3.6	三槽内置	13.5
250	4.6	3.0	双槽外置	13.2
		3.1	单槽内置	12.1
		3.3	双槽内置	12.5
200	4.4	3.0	双槽外置	13.0
		3.1	单槽内置	11.9
		3.3	双槽内置	12.3
遂渝线无砟轨道 综合试验段(200)	4.2	2.9	单槽外置	12.0

注:1. 路肩上电缆槽外宽统一按照三槽 900mm、双槽 700mm、单槽 500mm 考虑。

2. 接触网立柱宽度按 40cm、基础外径按 70cm 计。

3. 电缆槽内置方式时,接触网立柱基础外侧的保护层宽度按照 10cm 计。

1.2.2 具有良好的动力特性

对于传统的有砟轨道铁路,由于在轨道与路基之间的碎石层具有吸振和消能作用,列车动荷载传递到路基面,其数值也很小。加之传统的铁路,列车运行速度较低,因线下基础刚度不匹配而引起的轨道不平顺造成的不舒适,反应不剧烈,因此,在有砟轨道铁路路基基床设计中,通常将轨道结构静荷载和列车动荷载一并简化为静荷载。而对于高速无砟轨道铁路,列车高速运行要求轨道具有高平顺性,作为承载列车动荷载及轨道基础的路基,除应具有足够的强度外,必须具有合适的刚度,必须具有良好的动力性能。

1) 路基基床动力学特性

路基基床表层材料(级配碎石和级配砂砾石)及底层材料(A、B组填料或改良土)的动力学特性是设计高速无砟轨道铁路路基,特别是路基基床的重要参数。基床动力学特性,可用路基面支承刚度来表示。

路基面支承刚度,也称为基床刚度,或基床反力系数。

路基面支承刚度,理论上可通过路基面平板荷载试验获得,但目前尚缺乏统一的在路基施工建造时对路基面支承刚度进行直接、直观和便捷检测的装备,也缺乏相应的控制标准。相关的研究,主要是通过试验及理论分析,研究基床垂直方向、水平方向的刚度与路基填筑压实检测控制指标 K_{30} 、 E_{v2} 、 K_h 等的对应关系,通过对路基填筑压实检测控制指标的控制来实现和保证路基结构性能,间接实现对路基面支承刚度的控制。

2) 高速铁路无砟轨道刚度匹配

路基区段,由于路基填料以及施工等方面的原因,路基结构会出现局部刚度差异,即路

基刚度不平顺;路基刚度不平顺将会引起轨道纵向刚度差异,引起线路刚度不平顺(图 1-1)。线路刚度不平顺,可用不平顺波长、不平顺指数来表达。有关研究表明,线路刚度不平顺参数,以及列车行驶速度,对车辆(轮对、车体、构架等)及轨道(钢轨、混凝土基础等)振动加速度、动轮载以及路基动变形、加速度和动应力等有重要影响,从而影响高速行车的平稳和安全。

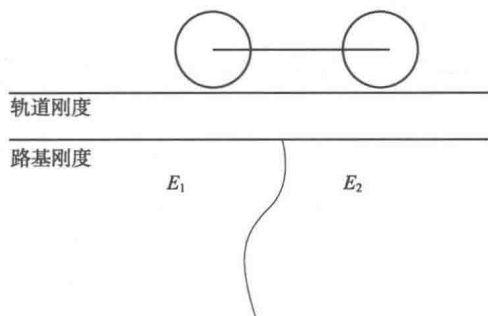


图 1-1 路基刚度与轨道刚度关系示意图

对于不同的轨下基础,如路基与桥梁、路基与隧道等,由于其刚度存在的差异,也会造成轨道刚度差异,导致在列车荷载作用下的线路刚度不平顺问题。在工程上,需要设置刚度过渡段,以使不同的轨下基础刚度协调匹配,避免引起轨道刚度不平顺。

1.2.3 保持长期稳定

为保持路基动力性能的长期稳定,必须限制路基工后沉降及列车动载作用下的累计变形,必须控制路基不均匀沉降变形,必须使路基具备抵抗环境变化而保持性能稳定的能力。

1) 限制路基工后沉降及列车动载作用下的累计变形

高速铁路无砟轨道扣件可调高度一般小于 20mm,这就要求由施工误差、工后沉降及列车动载作用引起的累计沉降总和不超过 20mm。其中,路基地基的工后沉降应小于 15mm,列车动载作用下的累计变形应小于 5mm。由此可见,高速铁路无砟轨道对路基的变形要求非常严格。

因路堤本身变形相对较小,以往对有砟轨道铁路路基的分析,均以地基沉降为重点,而对路堤本身变形重视不够。对无砟轨道铁路而言,由于工后沉降限值的总数值较小,路堤部分的工后沉降对路基工后沉降影响较大,应予以高度重视。同时也要对路基在列车动载反复作用下产生的累计沉降进行分析。

2) 控制路基不均匀沉降变形

因路基材料及路基工程施工的特殊性,路基的固结沉降不会绝对均匀,从而形成不均匀沉降变形;另一方面,由于路基刚度的差异,将导致路基基床在列车动载作用下的累计变形的不均匀,形成轨面不平顺,轮轨系统不平顺与路基局部刚度不平顺两者的耦合作用更加剧了路基—轨道—车辆系统的动力作用,形成恶性循环。对路基不均匀变形的产生机理,以及预防路基不均匀变形的技术措施,应结合不同的地形、地质及路基工程形式进行研究并选择经济而有效的工程方案。

3) 抵抗环境变化的影响

路基工程处于露天环境,气候等环境变化对路基工程性能存在不利影响。针对不同的气候等环境,如我国东北严寒地区、西北干旱地区、南方多雨地区,应采取相应的经济而有效的工程措施,将环境变化的影响控制在可接受的范围之内。

1.3 无砟轨道铁路路基工程特点

无砟轨道铁路路基,与传统有砟轨道铁路路基比较,具有以下特点:

(1) 车辆运行速度达到 200km/h 以上,轨道不平顺对车辆运行的影响被放大,因此要求线下基础具有高平顺性和高稳定性,以减小轨道养护工作量、保证行车安全。

(2) 有砟轨道路基,轨道的不平顺可以通过整道来减小或消除,无砟轨道路基可以通过调整钢轨扣件减小或消除,但钢轨扣件调高量十分有限,因此,无砟轨道铁路对路基工后沉降(无砟轨道施工后路基本体的残余压缩变形及地基的沉降)提出了严格的要求,一般要求出现的路基工后沉降可以通过轨道系统的调整加以克服。表 1-4 为我国不同设计速度、有砟和无砟轨道铁路对线下基础工后沉降的限制要求,从表中数值可以看出无砟轨道铁路对线下基础工后沉降限制十分严格。

我国高速铁路对线下基础的沉降变形限制标准

表 1-4

设计时速 (km/h)	轨道类型	工后沉降 (mm)	桥路过渡段工后沉降 (差异沉降)(mm)	沉降速率 (mm/年)	过渡段折角
200~350	无砟轨道	15	5	—	1/1000
300~350	有砟轨道	50	30	20	—
250	有砟轨道	100	50	30	—
200	有砟轨道	150	80	40	—

(3) 路基工程主要由岩土材料构成,受岩土材料特性的限制,路基工程与其他线下基础,如桥、涵、隧道等,存在变形和刚度差异,需要在不同的线下基础之间设置过渡段,以使不同的线下基础之间变形和刚度平缓过渡,保证轨道平顺性满足高速行车的要求。

(4) 路基工程建造于露天环境,岩土材料易受环境变化影响,必须采取可靠措施,保证路基工程长期稳定。

在遂渝线无砟轨道综合试验段建设之前,我国尚未进行过成区段铺设无砟轨道的试验,土质路基上成段铺设无砟轨道技术尚属空白。借鉴国外无砟轨道铁路建设的经验与教训,结合遂渝线无砟轨道综合试验段建设的相关成果,笔者归纳总结无砟轨道铁路路基技术的 5 大特点,或 5 大特色^[10-12]如下:

1) 必须高度重视路基沉降变形控制

无砟轨道铁路对路基工后沉降提出了严格的毫米级的限制要求,这对利用岩土材料构筑的路基而言是严峻的技术挑战。路基工后沉降,包括:地基、路堤工后压密沉降、列车动荷载作用下路基基床产生的累积变形三部分。路基基床累积变形,与基床岩土材质、压实度密切相关。根据中国铁道科学研究院对既有有砟轨道铁路的测试资料,采用我国现行铁路规范推荐的双层结构、优质材料、高压密的强化基床结构,基床累积变形很小,一般小于 5mm。工程实践表明,路堤采用良质填料并控制压实度,工后沉降较小,一般小于路堤高度的 1/1000,且大部分在竣工后 6~12 个月完成,通过合理安排无砟轨道施工时间,可减小或消除路堤压密沉降的影响。地基工后压密沉降,受地基岩土性质及相应地基处理措施影响较大,不确定因素多,是工程建设管理的重点。特别是,铁路是一个带状工程,沿线地质环境千