



高速铁路 无缝线路关键技术 研究与应用

◀ 高 亮 著

GAOSU TIELU WUFENG XIANLU GUANJIAN JISHU
YANJIU YU YINGYONG



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

013032962

U213
01

铁路科技图书出版基金资助出版

高速铁路无缝线路 关键技术研究与应用

高 亮 著



中国铁道出版社

2012年·北京



北航

C1640757

U213
01

内 容 简 介

本书针对我国高速铁路跨区间无缝线路的特点,以无砟轨道无缝线路、高速无砟道岔、长大桥梁及高架站无砟轨道无缝线路为研究对象,对其设计理论、设计参数、试验方法、检测及监测技术、检算评估方法等进行了深入系统地研究,形成一整套适用于我国高速铁路的一般地段(或区间)无砟轨道无缝线路、路基上高速无缝道岔、长大桥梁无砟轨道无缝线路、高架站无砟轨道无缝道岔技术体系,并成功应用于京沪高速铁路、郑西高速铁路等,为高速线路无缝线路的设计、施工、养护维修及现场监测等提供了重要的依据。

图书在版编目(CIP)数据

高速铁路无缝线路关键技术研究与应用/高亮著. —北京:
中国铁道出版社, 2012. 12
ISBN 978-7-113-15438-7

I. ①高… II. ①高… III. ①高速铁路—无缝线路轨道—
研究 IV. ①U213. 9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 239029 号

书 名: 高速铁路无缝线路关键技术研究与应用
作 者: 高 亮

策 划: 张 婕
责任编辑: 张 婕 编辑部电话: (路) 021-73141 (市) 010-51873141
编辑助理: 邱金帅
封面设计: 郑春鹏
责任校对: 焦桂荣
责任印制: 陆 宁

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: 北京米开朗优威印刷有限责任公司

版 次: 2012 年 12 月第 1 版 2012 年 12 月第 1 次印刷

开 本: 787 mm × 1 092 mm 1/16 印张: 25.25 字数: 610 千

书 号: ISBN 978-7-113-15438-7

定 价: 88.00 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) 51873170 (发行部)

打击盗版举报电话: 市电 (010) 63549504, 路电 (021) 73187

推荐语

Recommended Language

我国高速铁路已进入一个快速发展的时期。按照《中长期铁路网规划(2008年调整)》的目标,2020年我国铁路营业里程将达到12万公里,其中客运专线将达到1.6万公里以上,形成“四纵四横”客运专线骨架及三个城际客运系统,客车速度目标值达到每小时200 km及以上。目前,我国高速铁路的发展极其迅猛,京沪、郑西、武广等高速铁路已经建设完成并投入运营,我国高速铁路的大规模建设已经是一个不争的事实。

我国高速铁路具有全线采用跨区间无缝线路、无砟轨道为主、高架桥梁众多的鲜明特点。以京沪高速铁路为例,其设计速度350 km/h,是目前世界上标准最高、规模最大、一次建成线路最长的高速铁路。京沪高速铁路从北京南站出发终止于上海虹桥站,总长度1318 km,线路跨越两大既有铁路干线、三大平原、四大水系,地理条件多样,地质条件复杂,线下工程以桥梁为主,正线桥梁247座,约1060 km,占全长的80.4%;全线铺设无砟轨道,正线约1268 km,占线路长度的96.2%。

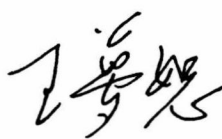
无缝线路是铁路技术进步的重要标志,是轨道结构近百年来最突出的改进与创新。为保证高速列车的平稳安全运行,高速铁路无缝线路不仅要求具有传统无缝线路的高强度,更要实现高平顺性、高稳定性,无缝线路技术面临前所未有的挑战。我国地域广阔,气候条件恶劣,而无缝线路长度长、跨越地界广、地形要素多样,如何保证高速铁路无缝线路的强度、稳定性成为难点。为保证轨道平顺性,我国高速铁路无缝线路广泛采用无砟轨道与高架桥梁,这又显著增加了线下结构对无缝线路受力变形影响的复杂性。与传统无缝线路不同,高速铁路无缝线路技术包含内容更加广泛,涉及技术难点更多,列车运行的高舒适性与平稳性、轨道与线下基础的适应性、各种参数的合理匹配等均对无缝线路的设计及应用提出了更高的要求。

目前,国内外针对无缝线路的结构设计、现场施工及养护维修等进行大量的研究工作,普速无缝线路技术已经比较成熟。但对于高速铁路而言,普速无缝线

路的设计、施工、养护维修的理念及方法均具有一定局限性,难以满足高速铁路无缝线路的需要。与普速无缝线路相比,由于采用大号码道岔、桥上道岔、无砟轨道和长大桥梁等,高速铁路无缝线路不仅综合了跨区间无缝线路、无砟轨道、长大桥梁和高架车站的技术要点,还衍生出一系列的技术难点,有些甚至是世界性难题。在结构设计方面,需要解决路基上大号码道岔无缝化设计、无砟轨道与无缝线路的适应性、长大桥梁和特殊桥梁上无缝线路结构设计及高架站铺设无砟道岔的设计等问题;施工养护方面,需要解决轨下基础平顺性、钢轨碎弯变形控制及大号码道岔的焊联等问题。高速铁路使得无缝线路设计技术更为复杂,对高速铁路无缝线路及其下部基础采用的新结构、新技术进行深入地研究,对指导无缝线路设计具有重要的理论及应用价值。

近年来,北京交通大学土木建筑工程学院高亮教授及其科研团队在铁道部领导及设计、施工、管理相关单位的支持下,针对高速铁路无缝线路的技术难点,先后开展了大号码道岔无缝化研究、长大桥梁无缝线路关键技术研究、高架站无缝道岔计算理论与试验研究、高速铁路无缝线路监测、检算及评估技术研究等,并进行了多次的室内、实尺模型及现场试验,在高速铁路关键技术的研究方面取得很多具有创新性的成果,大量成果得到现场应用,并形成合理的高速铁路无缝线路理论与技术。期待我国科技工作者增强自主创新能力,进一步开展高速铁路无缝线路新技术的研究与实践,满足高速铁路建设的需要,为实现我国铁路的快速发展作出更大贡献。

中国工程院院士



2012 年 6 月

序

Sequence

无缝线路是世界铁路技术进步的重要标志,特别是跨区间无缝线路的推广应用,最大限度地消灭了钢轨接头,全面提高了轨道的平顺性、稳定性和可靠性,保证了列车高速、安全、平稳运行。

当前,我国铁路正处于快速发展的黄金期。到 2020 年,全国铁路营业里程将达到 12 万公里以上,其中客运专线 1.6 万公里以上,由客运专线、城际铁路和快速客货线路构成的快速客运网总规模达到 5 万公里以上。我国高速铁路线路里程长,气候环境差异大,运营条件复杂。土木工程以大跨结构多、无砟轨道体系丰富和道岔全面无砟化独树一帜;气候环境北有哈大高铁为代表的高寒冰雪,西有兰新二线为代表的极旱大风,南有广深港客运专线为代表的潮湿酷暑;运输上高中低不同速度并存,技术装备制式多样,速度、密度、运量并举;从而对无缝线路提出了更高要求,需要突破众多重大技术难题。

高亮教授是我国轨道结构领域的知名专家,尤其在无缝线路方面造诣很高。针对高速铁路无缝线路重大技术难题,他以高速铁路轨道结构基础理论为核心,以实尺试验和现场试验为基础,先后开展了大号码道岔无缝化研究、长大桥梁无缝线路关键技术研究、高架车站无缝道岔计算理论研究、无砟轨道无缝线路关键技术研究、跨区间无缝线路的检算与评估技术以及无缝线路的检测与实时监测技术研究,取得了一系列创新性成果,成功指导了以京沪高速铁路为代表的我国高速铁路重大工程的设计、施工与养护维修,并及时总结形成《高速铁路无缝线路关键技术研究与应用》一书。

本书是一本阐述无缝线路设计理论及其应用技术的学术专著,系统性强,内容丰富,对高速铁路无缝线路技术的发展具有重大的意义,是轨道专业科研、设计、施工、维护人员学习提高的好教材和日常工作中的重要参考书。

我国高速铁路正经受运营的考验,无缝线路技术需要在实践中进一步提高。希望高亮教授继续发扬吃苦耐劳、理论联系实际的优良传统,不断研究总结最新的成果,笃行不倦,进一步丰富发展高速铁路无缝线路技术。

铁道部副总工程师

赵国堂

2012 年 12 月

前言

Forewords

我国高速铁路具有全线铺设跨区间无缝线路,正线以无砟轨道为主,长大桥梁、高架站多,行车速度高等特点。以桥代路、控制沉降是我国高速铁路重要的设计理念之一,基础工程中桥梁的比例普遍较高。高速铁路不仅需要铺设众多的高速道岔,且需要在大量的长大桥梁上铺设无砟轨道无缝线路。

高速道岔、长大桥梁无缝线路及高架站无缝道岔不仅综合了跨区间无缝线路、无砟轨道、长大桥梁和高架站的技术要点,还衍生出一系列的技术难点,如高速道岔的无缝化设计问题、无缝线路与长大桥梁的适应性问题、无缝道岔群与高架站的适应性问题、长大桥梁及高架站无砟轨道对无缝线路的影响问题、跨区间无缝线路检算及评估问题、无缝线路的长期监测技术问题等。

1. 路基上无缝线路。我国高速铁路无缝线路以无砟轨道为主,CRTS I 型板式、双块式、CRTS II 型板式无砟轨道等得到广泛应用,形成高速铁路无砟轨道无缝线路。无砟轨道刚度均匀性好、结构耐久性强、轨道稳定性高。与有砟轨道相比,无砟轨道更能适应高速铁路对于线路高稳定性、高平顺性及高使用率的要求。由于无砟轨道道床稳定,无缝线路不易发生失稳,但在高温条件下易出现碎弯,影响高速列车的平稳安全运行。此外,无砟轨道弹性多由扣件提供,这就对扣件性能提出了更高的要求。为此,需要根据高速铁路轨道结构的特点,研究合理的无缝线路设计方法,实现高速铁路无缝线路各项参数的合理匹配。

2. 高速无缝道岔。无缝道岔是跨区间无缝线路的关键技术,与普通无缝线路、桥上无缝线路相比,其受力与变形特点不同,具有以下特点:无缝道岔两端温度力不平衡;无缝道岔中有多根钢轨参与温度力的传递;无缝道岔直侧股钢轨间存在着限位器、间隔铁等传力部件,将道岔导轨的温度力向基本轨传递等。随着高速铁路的发展,岔区无砟轨道因其稳定性好、养护维修量少而得到广泛应用,形成无砟轨道无缝道岔。由于无砟轨道无缝道岔以道岔板、底座板(支承层)等取代道床,轨下基础具有更好的结构稳定性,限位器、间隔铁等传力结构在温度力的传递中起主要作用。传力结构在限制尖轨、心轨位移的同时,将部分温度力传递至基本轨,产生伸缩附加力,引起基本轨位移。此外,道岔受力变形也受到温度梯度、刚度变化等岔区无砟轨道因素的影响。与既有无缝道岔相比,高速道岔对结构的安全性、列车运行的平稳性要求更高,需要更准确、更可靠的设计方法来保证道岔的性能。

3. 长大桥梁无砟轨道无缝线路。长大桥梁无砟轨道无缝线路梁跨较大,梁体因温度变化

产生的伸缩量、因列车荷载作用产生的挠曲量远远大于一般梁跨结构,导致无缝线路钢轨伸缩力、挠曲力也较大。同时,在列车制(启)动或桥上发生断轨时,对桥跨结构施加的附加力也比一般桥梁大的多。长大桥梁在温度及列车荷载作用下,梁体的纵向位移往往远大于钢轨的纵向位移,此时桥梁墩台和钢轨均承受巨大的纵向水平力。为解决这一问题,需要采取措施减小梁轨相互作用。我国多采用减小轨下阻力,即布置小阻力扣件或设置伸缩调节器的方式,但伸缩调节器的合理布置、无砟轨道与桥梁、钢轨受力变形的相互协调又成为新的难点。近几年随着 CRTS II 型板式无砟轨道的应用,混凝土底座板与桥梁之间设置“两布一膜”滑动层,通过减少无砟轨道板下约束来减小梁轨相互作用的方式也得到应用,但其力学特性非常复杂。对于桥上 CRTS II 型板式无砟轨道,扣件参数的合理选择、伸缩调节器是否布置及布置原则、锁定轨温合理设置、梁轨相对位移与钢轨的受力变形关系等均与一般桥上无缝线路不同。此外,高速列车运行对桥上无砟轨道无缝线路振动冲击较大,无缝线路与桥梁结构的受力变形必须协调,需要研究车-轨-桥系统动力设计方法,并开展相应的现场试验研究。同时,基于新型测试手段开展长期监测技术的研究,对高速铁路无缝线路服役状态进行实时监控,把握其受力与变形规律,也是保证高速铁路无缝线路安全运行的关键。

4. 高架站无砟轨道无缝道岔。高架站无砟轨道上铺设无缝道岔后,高架站与无缝道岔间的相互作用会影响车站梁体结构形式、支座布置、无砟轨道形式等的设计,同时还会影响无缝道岔的结构设计、道岔与高架站梁体的相对布置。除了考虑上述影响外,还必须考虑高架站与无缝道岔间存在的空间耦合动力作用。由于无砟轨道无缝道岔结构不平顺、碎弯变形、尖轨与心轨尖端上翘、开口等不平顺的影响,车-岔-桥的耦合作用无疑会增大岔区轮轨动力响应,严重情况下还可能引起尖轨及心轨破坏和列车运行平稳性与安全性降低,导致列车直侧向过岔时限速,这就要求桥梁结构形式、岔桥相对位置等设计中必须考虑车-岔-桥耦合振动的影响。为掌握高速列车通过时道岔、无砟轨道、高架站系统的动力学特性,需开展实车试验研究,对关键区域的安全性指标、动位移、振动加速度等进行测试,指导高架站无缝道岔的动力设计。此外,还需要使用稳定性好、精度高、抗干扰强的新型测试手段,对其长期受力与变形规律进行实时监测。

高速铁路设计和建设过程中,对高速道岔、长大桥梁无砟轨道无缝线路、高架站无砟轨道无缝道岔的诸多技术难点还把握不准。因此,理论分析与综合试验相结合,开展我国高速铁路长大桥梁、高架站无砟轨道无缝线路技术体系的研究,对指导我国高速铁路建设、有效解决高速铁路的建设和运营问题,具有重要的工程意义。为此,本书将以京沪高速铁路、郑西高速铁路等为背景,对高速道岔、长大桥梁及高架站无砟轨道无缝线路设计方法、跨区间无缝线路检算内容和评估方法、高速铁路无缝线路关键设计参数、无砟轨道无缝线路长期监测技术等进行深入的理论与试验研究,希望能为从事相关设计、施工、养护维修的铁路工作者提供参考,推动我国高速铁路无缝线路技术的不断发展。

本书共分八章,第一章介绍国内外路基上一般无缝线路、高速道岔、桥上无缝线路、桥上无缝道岔的研究应用现状及相关参数、检测监测技术、检算评估方法的概况;第二章通过理论分析、室内与现场试验,对设计锁定轨温、制动力摩擦系数、间隔铁阻力等高速铁路无缝线路关键

设计参数的合理取值进行研究;第三章提出基于纵-横-垂向空间耦合模型的高速道岔设计方法及车-岔动力学模型,并对高速道岔的无缝化问题及长大坡道道岔、道岔合理焊接顺序等关键技术问题进行系统研究;第四章建立长大桥梁无砟轨道无缝线路的空间耦合静动力模型,对其相互作用规律及车桥耦合系统的动力特性、伸缩调节器的设置、CRTS II 型板式无砟轨道台后锚固体体系的力学特性等进行分析;第五章建立道岔-无砟轨道-桥梁-墩台空间耦合精细化模型,结合现场试验,对桥上无砟道岔的力学特性及参数影响规律进行研究;第六章基于协同仿真技术,建立车-岔-桥 FORSYS 一体化平台,对桥上无砟道岔的动力作用规律进行深入分析;第七章针对高速铁路无缝线路的特点,总结提出人工、基于修正应力-应变式、基于光纤光栅传感器技术的监测方法,并应用于典型工点;第八章建立高速铁路无缝线路检算方法及指标,对典型工点进行全面的检算评估。

在开展高速铁路无缝线路关键技术的研究中,得到铁道部运输局、科技司有关领导的亲切关怀与鼓励,得到国家自然科学基金、铁道部科技发展计划项目、教育部博士点基金项目、国家 863 项目的资助,得到铁道部副总工程师赵国堂研究员,京沪高速铁路股份有限公司杨启兵教授级高级工程师、魏强高级工程师、彭声应教授级高级工程师、答治华教授级高级工程师、赵健高级工程师,中铁第一勘察设计院集团有限公司魏周春高级工程师,铁道第三勘察设计院集团有限公司闫红亮高级工程师,郭鹏高级工程师、管吉波高级工程师,中铁第四勘察设计院集团有限公司孙立教授级高级工程师、李秋义教授级高级工程师,铁道科学研究院刘秀波研究员、蒋金洲研究员,中铁工程设计咨询集团有限公司许有全高级工程师,西南交通大学万复光教授、王平教授、刘学毅教授、李成辉教授,华东交通大学雷晓燕教授、刘林芽教授,香港理工大学谭耀华教授,各铁路设计院轨道、桥梁专家及铁一局、铁十二局、铁十四局、铁十五局、铁十七局、铁十八局等单位的大力支持与帮助。在本书的写作过程中,课题组成员蔡小培、肖宏、井国庆、朱力强等进行大量研究资料的收集整理,笔者的博士研究生乔神路、辛涛、曲村、侯博文、赵磊、王璞、崔日新等提供了丰富的算例;本书还参考了最近颁布的相关规范及国内外相关文献,对其编者或作者一并表示感谢。

作者水平有限,不当、疏漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

高亮

2012 年于北京

目 录

Contents

第一章 绪 论	1
第一节 高速铁路无缝线路的技术特点	2
第二节 高速铁路无砟轨道发展概况	2
第三节 高速铁路无缝道岔研究现状	7
第四节 长大桥梁无砟轨道无缝线路技术	11
第五节 高架站无砟轨道无缝道岔研究概况	18
第六节 高速铁路无缝线路监测技术的发展应用	22
第七节 高速铁路无缝线路检算与评估技术	25
第二章 高速铁路无缝线路设计参数	33
第一节 高速铁路无缝线路基本参数	33
第二节 高速道岔关键设计参数	42
第三节 长大桥梁无缝线路关键设计参数	49
第四节 高架站无砟道岔关键设计参数	66
第五节 其他设计参数	67
第三章 高速铁路无缝道岔	70
第一节 基于纵-横-垂向空间耦合模型的高速道岔设计方法	70
第二节 高速道岔无缝化研究及力学特性影响因素分析	72
第三节 高速道岔车-岔耦合动力学模型	80
第四节 高速铁路长大坡道无缝道岔力学特性研究	86
第五节 高速铁路道岔力学特性的试验研究	102
第六节 高速铁路道岔合理焊接顺序	107
第四章 长大桥梁无砟轨道无缝线路	111
第一节 长大桥梁无砟轨道无缝线路空间耦合分析模型	111
第二节 长大桥梁无砟轨道无缝线路静力特性研究	121
第三节 无砟轨道可适应的长大混凝土桥梁温度跨长研究	159
第四节 长大桥梁无砟轨道无缝线路动力特性研究	165
第五节 长大桥梁无砟轨道无缝线路伸缩调节器研究	174
第六节 CRTS II 型板式无砟轨道锚固结构力学特性研究	192
第七节 长大桥梁无砟轨道无缝线路综合试验研究	206

第五章 高架站无砟轨道无缝道岔静力特性·····	216
第一节 道岔-无砟轨道-桥梁-墩台空间耦合有限元分析理论·····	216
第二节 高架站长枕埋入式无砟道岔力学特性及影响因素·····	220
第三节 高架站板式无砟道岔力学特性及影响因素·····	238
第四节 高架站无砟道岔静力试验研究·····	248
第五节 高架站无砟道岔设计准则·····	268
第六章 高架站无砟轨道无缝道岔动力特性·····	269
第一节 高架站无砟道岔车-岔-桥空间耦合动力分析理论·····	269
第二节 高架站无砟道岔动力特性·····	276
第三节 高架站无砟道岔动力特性参数及影响规律·····	284
第四节 高架站无砟道岔动力特性试验研究·····	300
第七章 高速铁路无缝线路监测技术·····	317
第一节 监测内容及指标·····	317
第二节 长期监测方法及理论·····	321
第三节 基于人工方法的桥上无缝线路测试·····	325
第四节 基于修正应力-应变方法的桥上无缝线路监测·····	326
第五节 基于光纤光栅方法的桥上无缝线路监测·····	335
第八章 高速铁路无缝线路检算评估方法及典型工程应用·····	344
第一节 检算评估指标及方法·····	345
第二节 高速铁路无砟轨道区间无缝线路检算·····	358
第三节 高速道岔岔区无缝线路检算·····	360
第四节 长大桥梁无砟轨道无缝线路检算·····	363
第五节 高架站无砟轨道无缝道岔检算·····	372
结 语·····	387
参考文献·····	388

第一章 绪 论

我国高速铁路广泛采用跨区间无缝线路结构,具有行车平稳、机车车辆及轨道维修费用低、线路使用寿命长等优点。无缝线路是世界铁路技术进步的重要标志,是与高速铁路相适应的轨道结构。与普速无缝线路相比,高速铁路无缝线路广泛采用无砟轨道、高架桥梁等稳定性好、可靠性高的轨下结构,能够有效保障高速列车的平稳安全运行。

高速道岔是高速铁路跨区间无缝线路的重要组成部分,其结构与状态对列车运行的安全性、平稳性及旅客的舒适性产生直接的影响。作为影响列车行车速度和安全的關鍵设备,道岔在高速铁路中占有十分重要的特殊地位,其设计与运用受到各国铁路的关注。高速道岔的无缝化是延长道岔使用寿命,提高列车通过能力的关键。由于高速道岔导曲线半径大,限制条件多,结构复杂,平顺性要求高,对道岔无缝化后的受力变形要求严格,道岔无缝化设计的合理、可靠就成为高速道岔的核心问题。

以桥代路、控制沉降是我国高速铁路重要的设计理念,高速铁路需要在大量的长大桥梁上铺设无砟轨道无缝线路。对于长大桥梁无砟轨道无缝线路,由于梁跨较大,梁体因温度变化产生的伸缩量、因列车荷载作用产生的挠曲量远远大于一般梁跨结构,导致无缝线路钢轨伸缩力、挠曲力也较大。同时,在列车制(启)动或桥上发生断轨时,对桥跨结构施加的附加力也比一般的桥梁大的多。长大桥梁在温度荷载作用下,梁体的纵向位移往往远大于钢轨的纵向位移,此时桥梁墩台和钢轨均承受巨大的纵向水平力。为解决这一问题,往往需要在长大桥梁上设置伸缩调节器、布置小阻力扣件或者在无砟轨道与梁体之间设置滑动层,而这又会给长大桥梁无砟轨道无缝线路带来更多的技术难题。

受到环保、地形和地质条件的限制,高速铁路某些车站必须采用高架形式,这样就会有相当数量的道岔必须设置在桥上。高架站无砟轨道无缝道岔,综合了桥上无缝线路、无砟轨道、无缝道岔的技术特点和难点,是迄今为止跨区间无缝线路方面难度最大的课题之一。高架站与道岔间的空间相互作用不仅会影响车站梁体结构形式、支座布置、无砟轨道形式等的设计,同时还会影响无缝道岔的结构设计、道岔与高架站梁体的相对布置。除了考虑上述影响外,还必须考虑高架站与无缝道岔间的耦合动力作用。

随着我国高速铁路建设的展开和无砟轨道的大量采用,高速无砟道岔的应用、长大连续梁桥上铺设无砟轨道无缝线路和无缝道岔已是不可避免。高速铁路采用无砟轨道后,路基无缝线路及道岔的力学特性更加复杂、梁-轨(岔)相互作用机理及设计参数与传统的有砟轨道也有明显不同;对于不同的无砟轨道结构,其结构形式及传力机理相差很大,需要结合高速铁路无缝线路的特点,对无砟轨道的适应性进行更加详尽的研究。为了确保高速铁路无缝线路的正常安全使用,需要对高速无砟道岔、长大桥上无砟轨道无缝线路和高架站无砟轨道无缝道岔的计算方法、计算参数、受力变形规律、检测和监测技术及检算和评估指标等进行系统研究。

第一节 高速铁路无缝线路的技术特点

为保证高速列车的平稳安全运行,高速铁路无缝线路必须具有高平顺性及高稳定性。为此,与传统无缝线路相比,高速铁路无缝线路采用更高的设计及施工标准。我国高速铁路跨区间无缝线路的主要技术特点包括:无砟轨道无缝线路、高速道岔无缝化、长大桥上无缝线路和高架站上无缝道岔。

(一) 无砟轨道无缝线路

无砟轨道取消碎石道床,轨道保持几何状态的能力得到提高,轨道稳定性相应增强,已成为高速铁路轨道结构的发展方向。与有砟轨道相比,无砟轨道更能适应高速铁路对于线路高稳定性、高平顺性及高使用率的要求。随着我国高速铁路无砟轨道的大规模铺设,CRTS I 型板式、双块式、CRTS II 型板式无砟轨道等得到广泛应用,形成高速铁路无砟轨道无缝线路。

(二) 高速道岔无缝化

我国高速铁路采用跨区间无缝线路,线路平顺性好,钢轨受力分布均匀,可保证轨道结构的高平顺性及高稳定性,实现高速列车的平稳安全运行。道岔无缝化是跨区间无缝线路的关键技术,18 号、39 号、41 号、42 号等多种道岔已经大量铺设于我国高速铁路。道岔的受力变形分析及动力特性已成为无缝道岔设计与应用的核心和主要难点,直接关系到高速铁路跨区间无缝线路的稳定性。

(三) 长大桥上无缝线路

为满足高速铁路跨越江河、山谷等的需要,桥梁长度及跨度不断增加,形成高速铁路长大桥上无缝线路。长大桥梁伸缩、挠曲变形大,梁轨相互作用复杂,列车制动或桥上发生断轨对结构施加的附加力也比一般桥梁大。如何减小梁轨相互作用是长大桥上无缝线路的核心技术。

随着我国高速铁路建设的开展,长大桥梁结构形式被广泛采用,长大桥上铺设无砟轨道和无缝线路是我国高速铁路建设的关键技术之一。对于长大桥上无缝线路,梁端设置钢轨伸缩调节器可以减少梁轨相互作用,但却影响行车舒适性,增加养护维修工作量,形成轨道结构的薄弱环节。钢轨伸缩调节器是否设置、如何设置一直是长大桥上无缝线路设计的难点。

(四) 高架站上无缝道岔

由于地质、地形条件或环保的要求,高速铁路无缝道岔需要设置在高架车站结构上,形成高架站上无缝道岔结构。高架站上无缝道岔涉及无缝道岔、桥上无缝线路、桥梁对道岔的适应性等相关问题,既要考虑无缝道岔中钢轨受力和变形的复杂关系,又要考虑桥上无缝道岔的梁轨相互作用,是迄今为止跨区间无缝线路方面难度最大的课题之一。

德国、法国、日本高速铁路上都曾在高架站上铺设无缝道岔,我国正在建设的高速铁路越来越多地出现道岔,并以各种形式布设在高架站上。高架站上无缝道岔技术已经成为高速铁路无缝线路的关键技术之一。

第二节 高速铁路无砟轨道发展概况

无砟轨道具有稳定性高、刚度均匀性好、结构耐久性强、养护维修工作量少等显著特点,是与高速铁路相适应的轨道结构。自 20 世纪 60 年代开始,为满足高速铁路发展的需要,许多国

家相继开展了无砟轨道结构的研究与铺设,并得到不同程度的发展,其中以日本、德国最具代表性。我国也开展了对无砟轨道的一系列研究,在引进—消化—吸收—再创新的过程中取得一定的成果,并在实际建设运营中积累了大量的经验,形成具有我国自主知识产权的高速铁路无砟轨道技术。

一、国外发展现状

目前世界上高速铁路无砟轨道结构类型的发展方向可分为两类,即预制混凝土板式轨道和带轨枕或支承块的现浇混凝土式无砟轨道。其中预制混凝土板式轨道又分为单元板式(如日本板式轨道)和纵向连续板式(如博格板式轨道)。

(一) 日本新干线板式轨道

日本无砟轨道技术主要以新干线板式轨道结构为代表。20 世纪 70 年代,板式轨道作为日本铁路建设的国家标准进行推广。因此,日本的板式轨道应用非常广泛。日本板式轨道主要由钢轨、扣件(扣件形式主要为直结型扣件)、轨道板、CA 砂浆及底座等组成,见图 1—1。

为节省建设成本,减小轨道板翘曲,改善横向应力分布,在标准 A 型轨道板的基础上,日本研制出普通混凝土和预应力混凝土框架式轨道板(图 1—2),并自北陆、九州和东北(盛冈—八户)新干线开始推广应用。

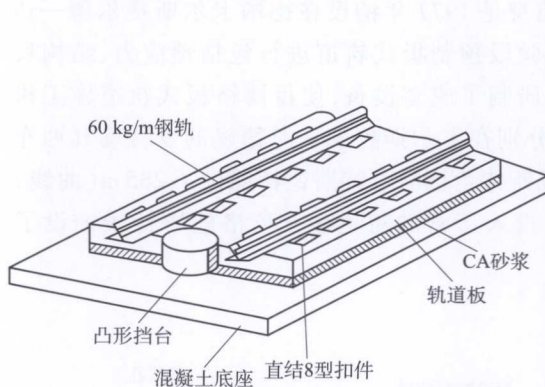


图 1—1 整体板式无砟轨道

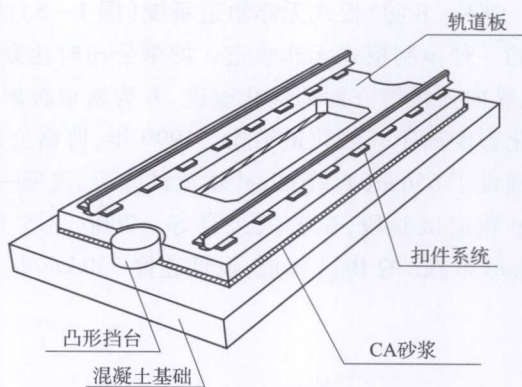


图 1—2 框架板式无砟轨道

(二) 德国 Rheda 型无砟轨道结构

德国的无砟轨道结构形式很多,主要有两大类,一类为整体结构,另一类为轨枕支承式结构。整体结构中又分为现浇混凝土型和预制板型两种。

Rheda 型无砟轨道结构是德铁无砟轨道最主要的结构形式。Rheda 型无砟轨道于 1972 年铺设于德国比勒菲尔德至哈姆的一段线路上,以 Rheda 车站而命名。在使用过程中进行了不断优化,从最初的普通型发展到现在的 Rheda2000 型。

Rheda2000 型无砟轨道系统由钢轨、高弹性扣件、改进的带有桁架钢筋的双块式轨枕、现浇混凝土板和下部支承体系组成,见图 1—3。

(三) 德国 Züblin 型无砟轨道

Züblin(旭普林)型无砟轨道于 1974 年开发,见图 1—4。Züblin 型无砟轨道结构形式与 Rheda2000 型无砟轨道基本相同,但其双块式轨枕下部不露钢筋,中间由钢筋桁架相连。Züblin 与 Rheda 的主要差异是在施工方式上。Züblin 的施工方式是在现场混凝土道床板浇筑

以后,通过振动方式将轨枕“振入”到新鲜的混凝土中,使轨枕和道床板成为一个整体结构。此时的混凝土必须具有一定的密度,以确保只能将轨枕“振入”其中,而不允许轨枕靠重力“沉入”其中。

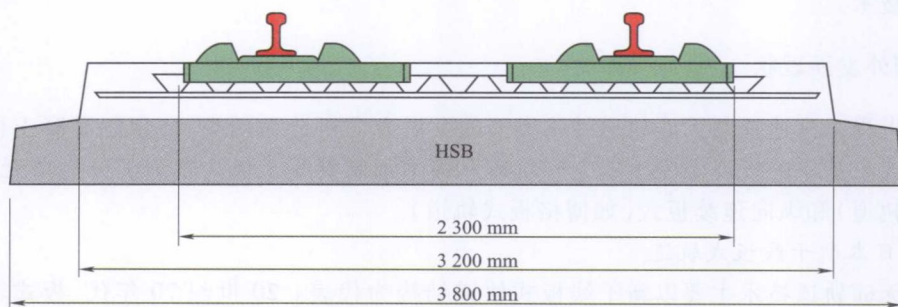


图 1—3 Rheda2000 无砟轨道基本组成 (1998)

Züblin 型无砟轨道主要优点为,结构整体性强,新老混凝土的结合面连接强;道床板混凝土的密实度较好;施工精度、机械化程度高。

(四) 德国博格板式无砟轨道

博格(Bögl)板式无砟轨道系统(图 1—5)的前身是 1977 年铺设在德国卡尔斯费尔德—达豪的一种预制板式无砟轨道。博格公司对达豪试验段预制板式轨道进行包括预应力、结构尺寸、纵向连接等方面的优化改进,并为轨道板施工研制了成套设备,使得博格板式轨道施工机械化程度高于一般轨道结构。1999 年,博格公司分别在卡尔斯鲁尔—海德堡的罗特马耳西车站铺设了 656 m(直线) Bögl 轨道试验段、汉堡—威斯特兰德的哈特斯德特铺设了 285 m(曲线) Bögl 轨道试验段,试验效果良好。2006 年 5 月,投入运营的纽伦堡—英格施塔特线铺设了 35 km(双线)的 Bögl 轨道,设计速度 330 km/h。



图 1—4 Züblin 无砟轨道

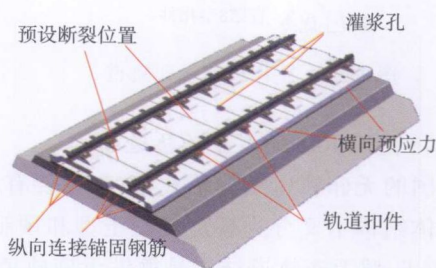


图 1—5 博格板式无砟轨道

路基上博格无砟轨道由钢轨、扣件、轨道板、砂浆调整层及水硬性材料支承层等部分组成。曲线地段超高在路基表层设置,其抵抗纵横向作用力的方式是轨道板间纵向螺杆和夹紧装置联结。

(五) 其他国家和地区无砟轨道

除了德国和日本外,许多国家和地区也进行了无砟轨道的试验和试铺。法国高速铁路以有砟轨道为主,但在 TGV 地中海线的一座长 7.8 km 隧道内试铺了双块式(VSB 型)无砟轨道

结构。英国自 1969 年开始研究和试铺 PACT 型无砟轨道,到 1973 年正式推广,并在西班牙、南非、加拿大和荷兰等国重载和高速线的桥、隧结构上应用,铺设总长度约为 80 km。瑞士国铁于 1966 年在隧道内首次采用弹性支承块式无砟轨道结构(LVT),最高速度 200 km/h 的英吉利海底隧道也采用弹性支承块轨道,此外,丹麦,韩国,法国,葡萄牙等国也采用了此种轨道结构。我国台湾地区高速铁路(台北—高雄)全线采用无砟轨道,区间高架桥上均为框架板式无砟轨道结构,站内及两端 300 m 区段采用 Rheda 2000 型无砟轨道。

二、国内发展现状

我国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、短木枕式、整体灌筑式等整体道床及框架式沥青道床等几种形式,正式推广应用的仅有支承块式整体道床。在成昆线、京原线、京通线、南疆线等长度超过 1 km 的隧道内铺设,总铺设长度约 300 km。

进入 90 年代以来,我国开始针对高速铁路无砟轨道技术进行试验研究,在西康线秦岭隧道铺设了弹性支承块式无砟轨道,在秦沈客运专线双何、狗河、沙河桥上及渝怀线鱼嘴 2 号隧道、赣龙线枫树排隧道内分别试验铺设了长枕埋入式和板式无砟轨道。

为在我国高速铁路铁路积极推广无砟轨道技术,2004 年铁道部决定在遂渝线建设成区段的无砟轨道综合试验段,通过综合试验段的实际试铺,以系统研究解决不同类型无砟轨道结构、岔区无砟轨道、过渡段、结构承载力及耐久性、路基结构形式、桥梁和路基变形对无砟轨道的影响、减振降噪措施及无砟轨道对 ZPW-2000 轨道电路的适应性等关键技术,为研究并推广具有自主知识产权的无砟轨道技术积累经验。

自 2005 年开始,铁道部先后引进国外高速铁路先进成熟的无砟轨道系统,包括德国的 Bögl 型、Rheda2000 型、Züblin 型及日本板式轨道的设计、制造、施工及相关接口技术。与此同时,成立了无砟轨道再创新攻关组,积极开展无砟轨道再创新的研究工作,使我国的无砟轨道结构获得迅速的发展。

京津城际是国内最早开工建设和最早建成的第一条高标准客运专线。为了满足高速铁路列车运行的平顺性和稳定性,铁道部组织专家论证,确定全线采用改进型的博格板式无砟轨道系统。作为我国第一条最高速度 350 km/h 的客运专线,京津城际轨道交通工程既是我国铁路跨越式发展的标志性和示范性工程,同时也是 2008 北京奥运会交通配套工程。京津城际铁路铺设 CRTS II 型无砟轨道,对于我国的高速铁路建设有着重要的借鉴意义。

为了在自主研发和引进消化吸收无砟轨道技术的基础上,实现我国铁路无砟轨道技术再创新,尽快形成具有我国自主知识产权、世界一流水平的无砟轨道技术体系,铁道部建设了武广高速铁路武汉综合试验段,并开展无砟轨道技术再创新试验研究。试验段内轨道类型有 Rheda2000 双块式无砟轨道和再创新的双块式、单元板式、纵连板式无砟轨道,以及道岔区轨枕埋入式等 5 种类型。

为适应发展高速铁路的需求,我国先后研发了 CRTS I 型板式、CRTS I 型及 II 型双块式、CRTS II 型板式、CRTS III 型板式无砟轨道等结构形式,并在郑西高速铁路、哈大客运专线、京沪高速铁路等得到成功应用。

(一) CRTS I 型板式无砟轨道

CRTS I 型板式无砟轨道(图 1—6)由预制混凝土轨道板、凸形挡台及周围填充树脂、水泥乳化沥青砂浆调整层及钢筋混凝土底座等组成。曲线超高在底座上设置。水泥乳化沥青砂浆

充填层厚度 50 mm,减振型板式轨道的水泥乳化沥青砂浆厚度 40 mm。凸形挡台分圆形和半圆形,半径 260 mm,其周围填充树脂的厚度 40 mm。

(二) 双块式无砟轨道

路基地段双块式无砟轨道(图 1—7)由钢轨、弹性扣件、双块式轨枕、道床板、支承层等部分组成,道床板为纵向连续的钢筋混凝土结构,曲线超高在基床表层上设置。桥梁地段双块式轨道结构由钢轨、弹性扣件、双块式轨枕、道床板、隔离层、底座(或钢筋混凝土保护层)、凹槽(或凸台)周围弹性垫层等部分组成。道床板或底座沿线路纵向分块,间隔缝 100 mm。道床板宽度范围的底座或保护层顶面铺设隔离层。曲线超高在底座或道床板上设置。



图 1—6 CRTS I 型板式无砟轨道



图 1—7 双块式无砟轨道

(三) CRTS II 型板式无砟轨道

路基地段 CRTS II 型板式无砟轨道结构由钢轨、弹性不分开式扣件、轨道板、水泥乳化沥青砂浆充填层、支承层等部分组成,见图 1—8。曲线超高在基床表层上设置。桥梁地段轨道结构由钢轨、弹性不分开式扣件、轨道板、水泥乳化沥青砂浆充填层、底座板、滑动层、高强度挤塑板、侧向挡块及弹性限位板等部分组成。台后路基设置锚固结构(包括摩擦板、土工布、端刺)及过渡板。曲线超高在底座板上设置。

此外,基于“桥上单元,路基纵连”、“按单元板制造、按纵连板施工、形成双块式受力”的设计理念,我国自主研发出 CRTS III 型板式无砟轨道(图 1—9),并应用于成灌线、盘锦客运专线、武汉城市圈城际铁路等工程。



图 1—8 CRTS II 型板式无砟轨道



图 1—9 CRTS III 型板式无砟轨道