

高速铁路

无砟轨道技术标准与质量控制

安国栋 编著



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

高速铁路 无砟轨道技术标准与质量控制

安国栋 编著

中国铁道出版社

2009年·北京

内 容 简 介

本书全面总结了我国高速铁路无砟轨道建设理论探索 and 实践经验,全面系统地介绍了我国高速铁路无砟轨道建设勘测、设计、施工及质量验收等技术标准以及标准制定的原则和依据,详细介绍了各种结构型式无砟轨道施工工艺及施工质量控制技术。全书共分六章,包括高速铁路无砟轨道结构特点、发展现状和关键技术,无砟轨道技术标准体系构成,无砟轨道设计理论及研究,无砟轨道结构及接口设计标准,无砟轨道精密工程测量技术、变形监测技术,无砟轨道施工质量控制等。本书内容丰富,实用性强,可作为高速铁路无砟轨道铁路设计、施工及建设管理的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

高速铁路无砟轨道技术标准与质量控制/安国栋编
著. —北京:中国铁道出版社,2009. 10
ISBN 978-7-113-09800-1

I. ①高… II. ①安… III. ①高速铁路—轨道(铁路)—标准—中国②高速铁路—轨道(铁路)—质量控制—中国 IV. ①U238

中国版本图书馆 CIP 数据核字 第 043828 号

书 名:高速铁路无砟轨道技术标准与质量控制
作 者:安国栋 编著

责任编辑:江新锡 电话:01051873018 电子信箱:jxinxi@sohu.com
封面设计:崔 欣
责任校对:龚长江
责任印制:李 佳

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)
网 址:<http://www.tdpress.com>
印 刷:北京信彩瑞禾印刷厂
版 次:2009年10月第1版 2009年10月第1次印刷
开 本:880mm×1230mm 1/16 印张:21.5 字数:357千
书 号:ISBN 978-7-113-09800-1/TU·1096
定 价:130.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部联系调换。

电 话:市电(010)51873170,路电(021)73170(发行部)
打击盗版举报电话:市电(010)63549504,路电(021)73187

编委会名单

主 编:安国栋

副 主 编:苏金利 许佑顶

编 委:颜 华 吴明友 卢建康 姚 力 孙 立

闫红亮 付建斌 赵 智 赵坪锐 曹德志

赵陆青 王森荣 林红松 秦瑞谦 梅 红

田春香 陈小平 王智勇 张同刚 孙柏辉

颜景润

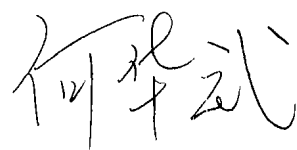
序

根据国务院批准的《中长期铁路网规划(2008年调整)》，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。自2003年以来，全国铁路系统各单位和有关设计、施工、高校、科研院所等单位的科技工作者及广大干部职工，团结奋战，勇攀科技高峰，争创世界一流，发扬“高标准、讲科学、不懈怠”和“苦干实干拼命干”的精神和作风，投身高速铁路建设实践。经过几年不懈努力，到2009年底我国投入运营的高速铁路将达到6552公里，其中，新建时速250~350公里的高速铁路3676公里；既有线提速达到时速200~250公里的高速铁路2876营业公里。我国高速铁路运营里程居世界第一位。正在建设中的高速铁路有1万多公里。

我国铁路网规模宏大、线网统一、调度集中、天窗维修时间短，新建铁路与既有铁路兼容，因此高速铁路对线下工程，尤其是轨道结构提出了很高的要求。轨道状态直接决定着高速铁路的行车速度、安全性和舒适性。无砟轨道具有高平顺性、高稳定性、高耐久性和高可靠性的特点，适应了高速行车的需要，解决了线路维修的困难，符合我国国情和铁路运营模式。我国新建时速250~350公里高速铁路，主要采用了无砟轨道结构型式。已经开通运营的京津、武广、郑西无砟轨道铁路试验速度达到390 km/h以上，运营速度世界领先。

如何确定高速铁路无砟轨道技术标准、做好质量控制,保持高速铁路轨道长期稳定,延长轨道维修周期,缩短天窗时间以减少对运营的干扰,是我国高速铁路轨道结构选型必须考虑的重要因素。在无砟轨道技术创新过程中,我们瞄准世界最先进水平,把原始创新、集成创新和引进消化吸收再创新有机结合起来,立足于提高自主创新能力,在引进和掌握先进技术的基础上,统一搭建了我国高速铁路建设的平台,形成了一套具有我国自主知识产权的高速铁路技术标准体系,建立了系统配套的施工建造技术和质量控制标准,走出了一条中国铁路无砟轨道自主创新的成功之路。

《高速铁路无砟轨道技术标准与质量控制》一书总结了我国高速铁路无砟轨道建设的丰富经验,系统介绍了我国高速铁路无砟轨道建设勘测、设计、施工及质量验收等技术标准以及标准制定的原则和依据,同时还详细介绍了各种结构型式无砟轨道施工工艺及施工质量控制技术,内容丰富,实用性强,对高速铁路无砟轨道铁路设计、施工及建设管理人员具有重要的指导作用。



二〇〇九年十月

前 言

我国自 2003 年以来,在全国范围内掀起了高速铁路的建设热潮,作为高速铁路的重要组成部分的轨道结构的设计、施工和运营维护状况,直接关系到行车速度、运营安全及旅客舒适度。无砟轨道作为高平顺性、高稳定性、高可靠性和少维修的新型轨道结构型式,在我国高速铁路得到了广泛的应用。在新建时速 250 ~ 350 公里的高速铁路中,以无砟轨道结构型式为主,已经或即将开通运营的时速 350 公里的京津、武广、郑西铁路全线铺设无砟轨道。

轨道直接承受来自车辆的荷载,并将荷载传递到下部结构,是一个庞大的系统工程。轨道结构受力状态复杂,运营条件的任何变化都会直接引发受力状态的变化,轨下基础的状态和性能对轨道结构也有影响。无砟轨道道床结构采用钢筋混凝土替代有砟轨道中的道砟层,道床一次施工成型,建成后及运营过程中只能通过扣件进行小范围的调整,因此要求铺设无砟轨道的线下基础的变形控制标准非常严格,路基面工后不均匀沉降量不得超过 15 mm,桥梁的梁端转角限制为 1.5‰(梁端悬出长度 ≤ 0.55 m),要求远高于有砟轨道。同时,为满足高速行驶条件下,旅客列车的安全性和舒适性,要求高速铁路必须具有非常高的平顺性和精确的几何线形参数,精度要保持在毫米级的范围以内。传统的铁路测量方法和精度已不能满足高速铁路建设的要求。要实现高速铁路轨道的平顺性,必须建立一套与之相适

应的精密工程测量体系和技术标准。此外,为满足与既有铁路之间跨线列车列控系统的兼容性要求,我国高速铁路信号系统采用 ZPW - 2000 谐振式无绝缘轨道电路。由于无砟轨道内部钢筋网所形成的闭合回路,与轨道电路耦合产生感应电流,导致轨道电路一次参数发生改变,使轨道电路传输长度缩短,系统的可靠性降低,养护维修工作量增加,既有 ZPW - 2000 轨道电路参数标准仅适用于有砟轨道,为满足高速铁路无砟轨道的建设需要,必须研究解决无砟轨道与 ZPW - 2000 轨道电路的匹配技术。因此轨道结构形式的改变,同时也带来了线下基础、站后工程及施工等相关技术标准和管理模式的变化,必须围绕高速铁路无砟轨道建立起一套与其相适应的设计、施工、建设和养护维修标准体系。

我国在高速铁路无砟轨道建设过程中,通过原始创新、集成创新和引进消化吸收再创新的有机结合,在引进和掌握先进技术的基础上,走出了一条无砟轨道自主创新的成功之路。通过京津、武广等高速铁路的建设实践及遂渝、武汉无砟轨道综合试验段所进行的大量试验研究,逐步形成了具有自主知识产权的高速铁路无砟轨道成套技术标准体系。

本书总结了我国近几年高速铁路无砟轨道建设的重要经验,全面系统地介绍了我国高速铁路无砟轨道建设相关勘测、设计、施工及验收技术标准,以及标准制定的原则和依据,对关键技术指标和关键工艺流程进行了详细的阐述。

全书共分为六章,内容包括高速铁路无砟轨道结构特点、发展现状和关键技术,我国无砟轨道技术标准体系构成,无砟轨道设计理论及研究,无砟轨道结构及接口设计标准,无砟轨道精密工程测

量技术、变形监测技术,同时还详细介绍了各种结构形式无砟轨道施工工艺及施工质量控制技术。希望本书的出版,可为高速铁路无砟轨道铁路设计、施工及建设管理提供指导。

限于作者水平,书中不妥之处,敬请读者批评指正。

作 者
2009年10月

目 录

第一章 概 述	1
第一节 高速铁路无砟轨道技术特点	1
一、高速铁路对轨道结构的要求	1
二、高速铁路轨道结构类型	4
三、无砟轨道结构特点	6
第二节 高速铁路无砟轨道发展现状	8
一、国外无砟轨道发展概况	8
二、我国无砟轨道发展现状	9
第三节 高速铁路无砟轨道关键技术	15
一、无砟轨道刚度	15
二、基础变形控制	17
三、高速道岔	17
四、精密控制测量	18
五、轨道电路传输及综合接地	18
第二章 无砟轨道技术标准体系	20
第一节 体系构成	20
一、概述	20
二、中国铁路技术标准体系构成	20
三、无砟轨道技术标准	24
第二节 主要技术标准	24
一、无砟轨道设计标准	24
二、无砟轨道线下基础及接口设计标准	26
三、无砟轨道精密测量控制标准	28

四、无砟轨道施工及验收标准	33
五、无砟轨道建设管理标准	41
六、无砟轨道运营维护标准	54
第三章 无砟轨道设计理论	56
第一节 设计理论演变	56
一、荷载应力计算方法	58
二、无砟轨道结构设计方法	62
三、无砟轨道设计理论中需进一步研究的问题	63
第二节 设计理论体系	64
一、无砟轨道的功能设计	64
二、无砟轨道荷载及荷载组合	65
三、列车荷载应力计算方法	71
四、温度应力计算方法	73
五、基础变形计算方法	76
六、无砟轨道结构设计方法	78
七、无砟轨道动力学理论	86
第三节 设计理论研究	86
一、无砟轨道结构参数研究	86
二、无砟轨道合理刚度研究	93
三、无砟轨道过渡段合理设置研究	94
四、路基沉降控制标准研究	96
第四章 无砟轨道结构及接口设计标准	98
第一节 钢轨及扣件	98
一、钢 轨	98
二、扣 件	103
第二节 道 岔	108
一、关键设计理论	108
二、道岔种类及使用条件	112
三、主要技术参数	112

四、平面线型	113
五、结构特点	114
六、轨道刚度设计	117
七、扣件系统	118
八、转换设备	119
第三节 无砟轨道道床结构	120
一、CRTS I 型板式无砟轨道	120
二、CRTS II 型板式无砟轨道	127
三、CRTS III 型无砟轨道	132
四、CRTS I 型双块式无砟轨道	137
五、道岔区轨枕埋入式无砟轨道	144
第四节 相 关 工 程	148
一、无缝线路设计标准	148
二、接口工程设计标准	150
第五章 无砟轨道精密工程测量技术	153
第一节 无砟轨道铁路控制测量	154
一、无砟轨道铁路控制测量的基本要求	154
二、平面坐标系的选择	156
三、框架控制网(CPO)测量	157
四、CP I 控制网测量	161
五、CP II 控制网测量	162
六、水准基点控制网测量	165
七、CP III 控制网测量	167
第二节 无砟轨道施工测量	180
一、CRTS I 型板式无砟轨道施工测量	180
二、CRTS II 型板式无砟轨道施工测量	181
三、CRTS I 型双块式无砟轨道施工测量	183
四、枕式道岔施工测量	184
五、板式道岔施工测量	185

六、轨道精调测量	185
第三节 无砟轨道工程变形监测	185
一、总体要求	185
二、测量等级及精度要求	186
三、变形监测网	186
四、路基工程沉降变形观测技术要求	188
五、桥涵工程沉降变形观测技术要求	192
六、隧道工程沉降变形观测技术要求	194
七、过渡段工程沉降变形观测技术要求	195
第六章 无砟轨道施工质量控制	196
第一节 无砟轨道施工技术	196
一、无砟轨道施工技术特点	196
二、施工对象划分和主要控制要点	200
第二节 板式无砟轨道施工质量控制	203
一、CRTS I 型板式无砟轨道施工质量控制	203
二、CRTS II 型板式无砟轨道施工质量控制	226
三、CRTS III 型无砟轨道施工质量控制	256
第三节 CRTS I 型双块式无砟轨道施工质量控制	262
一、双块式轨枕制造质量控制	262
二、CRTS I 型双块式无砟轨道施工质量控制	272
第四节 岔区无砟轨道施工质量控制	281
一、岔区枕式无砟轨道施工质量控制	281
二、岔区板式无砟轨道施工质量控制	287
第五节 无缝线路施工质量控制	299
一、长钢轨铺设	299
二、工地钢轨焊接	302
三、无缝线路应力放散及锁定	306
四、轨道精调整理及钢轨预打磨	311
第六节 无砟轨道相关工程施工质量控制	318

一、线下接口工程	318
二、站后接口工程	320
三、施工过程中成品保护	322
参 考 文 献	324

第一章 概 述

20 世纪 60 年代以来,以日本新干线、法国 TGV 和德国高铁为代表的高速铁路开始在世界各国发展。高速铁路以安全可靠、高效便捷、节能环保为主要特点,已经成为世界铁路建设的主要发展方向。

我国的高速铁路研究起步于 20 世纪 90 年代,通过原始创新、集成创新和引进消化吸收再创新相结合,立足于提高自主创新能力,在引进和掌握先进技术的基础上,统一搭建了我国高速铁路的技术平台,走出了一条铁路自主创新的成功之路。到 2009 年底我国投入运营的高速铁路将达到 6 552 km。其中,新建时速 250 ~ 350 km 的高速铁路有 3 676 km;既有线提速达到时速 200 ~ 250 km 的高速铁路有 2 876 km。我国高速铁路运营里程居世界第一位,正在建设之中的高速铁路有 1 万多公里。根据我国的国情和铁路运营特点,新建时速 250 ~ 350 km 的高速铁路主要采用无砟轨道结构。

第一节 高速铁路无砟轨道技术特点

高速铁路是一个庞大的系统工程。作为高速铁路的主要结构物,轨道直接承受来自车辆的荷载,并将荷载传递到下部结构。与其他工程结构物不同,轨道具有荷载的随机性和重复性、结构的组合性、修理工作的周期性。轨道结构的状态直接影响高速列车运行的速度、安全和舒适,是高速铁路的关键核心技术之一。

一、高速铁路对轨道结构的要求

与普速铁路相比,高速铁路对轨道结构的可靠性、平顺性、稳定性和耐久性提出了更高的要求。高可靠性是为了保证列车高速运行的安全,高平顺性是为了提高旅客乘坐舒适度,高稳定性是为了减少养护维修工作量,而高耐久性是为了保证在设计使用年限内轨道结构能够满足使用要求。

(一) 高平顺性

轨道不平顺是引起列车振动、轮轨作用力增大的主要原因,高平顺性是高速铁路对轨道最根本的要求,也是建设高速铁路的控制性条件。在高平顺的轨道上,列车振动和轮轨间的动作用力均较小,行车安全和平稳性、舒适性得到保证,轨道和机车车辆部件的使用寿命和维修周期也较长。因此,为了保证高速行车的平稳、安全和舒适,必须要严格控制轨道的平顺指标。

轨道的不平顺可分为三种类型,即结构不平顺、附加不平顺和动态不平顺;从波长上可以分为长波不平顺和短波不平顺。

结构不平顺是指由于轨道结构及部件固有的不平顺,如钢轨不平顺和轨道铺设和维修时形成的不平顺。附加不平顺是指轨道运营一段时间后,由于各种原因而形成的不平顺,如钢轨表面不均匀磨损、钢轨轨顶剥离掉块等。动态不平顺一般有两种情况:一种是轨道弹性不均匀和荷载波动,轮轨接触点轨迹呈波浪形;另一种是存在暗坑掉板和道床不均匀的弹性下沉。因此,为保证轨道结构的平顺,应从钢轨和轨下基础两方面提出要求。

高平顺的核心是保持轨道结构良好的几何状态,因此要求高速铁路采用高精度的轨道部件、高精度的施工技术和装备,以及良好的养护维修质量。轨道结构铺设高精度是实现轨道初始高平顺性的保证,良好的可维修性是轨道高平顺得以长期保持条件。因此,保证轨道结构的高平顺是一个综合的系统工程。

(二) 高可靠性

高速铁路要求轨道部件具有极高的安全可靠性,这对组成轨道结构的部件提出了极严格的性能和质量要求。

在列车荷载作用下,轨道结构及其部件产生应力和变形。不同的轨道结构,整体结构和部件的应力和变形有很大的差异。对高速铁路而言,轨道结构及其部件的应力应在合理范围之内,轨道变形的速率应非常缓慢,而且一旦发生永久变形,必须及时消除。为保证列车安全、可靠运行,对轨道结构应具备的状态和各部件的关系应制定严格的技术标准。

钢轨伤损是行车安全的最大隐患,其中钢轨折损对行车安全的威胁最大。钢轨折损数量愈多,行车的安全度越低,修复、更换伤损轨的费用及中断行车时间造成的损失越大。根据铁路的运输性质、行车速度和重要性的不同,对钢轨使用所要求的安全度指标

也不同,其中高速铁路的安全度最高。

混凝土轨枕设计的控制截面为轨枕的轨下截面和枕中截面。这两个截面所受荷载弯矩的大小取决于机车车辆轴重、行车速度、轨道状态和道床支承情况等。轨下截面荷载弯矩在很大范围内波动,不仅每根轨枕所受荷载不同,而且同一根轨枕的轨下截面或中间截面在每一次轮载作用下所受到的荷载弯矩也是不同的。高速铁路中,列车运行速度高、动力冲击更大,这对轨枕的可靠性提出了更高的要求。

无砟轨道的轨道板(或道床板)均为钢筋混凝土构件,均应按照混凝土结构设计原理进行设计。设计中应综合考虑高速列车作用下的竖向、横向动力荷载以及纵向荷载(制动、温度作用等),同时还应考虑下部基础变形对无砟轨道主体结构受力的影响,以确保无砟轨道的安全、可靠。

除确保轨道部件的可靠性外,各部件的合理匹配也十分重要。轨道结构由不同形状、不同材料的部件组成,在承受各种外力作用时表现出不同的功能,但他们的工作状态又是互相关联的。例如扣件把钢轨扣压在轨枕(或道床板、轨道板)上,它既要有足够的扣压力使钢轨和轨枕形成整体,又要与轨下垫层的弹性有良好的配合。如果工作性能不匹配或者任何一个部件损坏,都会改变其他部件的受力状态,从而破坏轨道结构的整体性和工作性能。因此,轨道部件安全可靠对整个轨道结构的安全可靠是至关重要的。

(三)高稳定性

轨道稳定性是指轨道在高速运营条件下保持高平顺性与均衡弹性、维持部件有效性与完整性的能力,其内涵是少维修或免维修。

若轨道结构的稳定性不能得到保证,则必须进行必要的维修。而轨道的维修势必会影响正常的运输秩序,构成新的安全隐患。对网络化、高密度的高速铁路而言,维修是影响线路使用率的重要因素之一。因此,轨道结构的高稳定性是贯穿轨道设计和施工过程的最重要理念。

保持轨道结构的高稳定性,要求运用高精度和高可靠性的轨道部件,提高结构的整体性和耐久性,确保轨道长期高平顺及规定部件长期有效性和完整性。

此外,合理确定轨道结构刚度并保持轨道刚度沿纵向分布的均匀性也是轨道结构高稳定性的重要内容。轨道必须有合理的弹性,以降低振动与噪声、减少冲击作用,并保持钢轨轨底应力在合理的范围内。保持合理稳定的轨道刚度,是减少列车作用在钢轨上的垂向荷载、维持轨道几何形位的重要措施。为保持沿线路纵向轨道弹性均匀,应控制路