



HIGH-SPEED RAIL

高速铁路 轨道板 制造与铺设

主编 汪水清

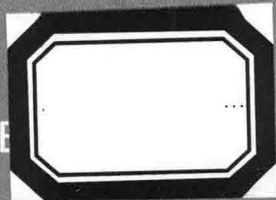
副主编 孙健家 刘新福 刘庆华 周永明



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS



HIGH-SPEED



高速铁路 轨道板 制造与铺设

主编 汪水清

副主编 孙健家 刘新福 刘庆华 周永明



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

我国高速铁路建设蓄势待发,亟需加大技术储备,尤其是无砟轨道技术。配套工装作为无砟轨道技术的一个重要组成部分,其国产化是亟待解决的首要问题。无砟轨道技术经过多年的应用,依然存在一些需要改进和克服的地方。我国通过对现有技术存在问题进行深入研究,形成了具有自主知识产权的完整技术体系。只有这样才能实现技术上的自主创新。本书也正是基于此。

本书可以作为大专院校项目管理的参考书籍,也可以作为铁路建设管理者的参考工具。

图书在版编目(CIP)数据

高速铁路轨道板制造与铺设 / 汪水清主编. — 上海: 上海交通大学出版社, 2013

ISBN 978-7-313-09844-3

I. 高... II. 汪... III. ①高速铁路—板式轨道—制造 ②高速铁路—板式轨道—铺设 IV. U213.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 239551 号

高速铁路轨道板制造与铺设

主 编:汪水清

出版发行:上海交通大学出版社

邮政编码:200030

出 版 人:韩建民

印 制:昆山市亭林印刷有限责任公司

开 本:787mm×960mm 1/16

字 数:134千字

版 次:2013年11月第1版

书 号:ISBN 978-7-313-09844-3/U

定 价:55.00元

地 址:上海市番禺路951号

电 话:021-64071208

经 销:全国新华书店

印 张:10.5

印 次:2013年11月第1次印刷

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话:0512-57751097

参 编 人 员

主 编	汪水清					
副主编	孙健家	刘新福	刘庆华	周永明		
编 委	孙修德	陈坤友	王永芳	王 华	曹会芹	
	朱克成	袁俊青	陈秀萍	张旺波	张仰江	
	张 旭	郑春海	相晓亮	温俊辉	王金鹏	
	唐念正	叶 铁				

前 言

近年来,伴随着铁路的大规模建设,我国铁路飞速发展,取得了举世瞩目的成就。随着列车速度的提高,对轨道结构的技术要求也越来越高。确保列车在高速行车条件下安全平稳行驶,发展新型轨道制造和维修技术,已然成为高速铁路技术研究的重点。无砟轨道的轨枕本身是混凝土浇灌而成,路基也不用碎石,铁轨、轨枕直接铺在混凝土路上。无砟轨道平顺性好,稳定性好,使用寿命长,耐用性好,避免了飞溅道砟,可以减少维护成本、降低粉尘、美化环境,而且列车时速可以达到200千米以上。和有砟轨道相比,无砟轨道整体性、稳定性和耐久性更强。无砟轨道是高速铁路工程技术的发展方向,是当今世界先进的轨道技术。由此可见,无砟轨道的设计、生产以及施工研究具有很高的应用价值和推广意义,是高速铁路现代化技术的研究重点和基础。

本书第1章对无砟轨道的现状与发展进行了介绍,并重点讲述了CRTS I型无砟轨道技术应用现状;第2章对CRTS I型轨道板预制场的场规划和生产线设计进行了分析;第3章介绍了CRTS I型轨道板的预制生产工艺;第4章重点讲述了CRTS I型轨道板预制生产中的钢筋骨架绝缘检测技术、高性能混凝土施工技术和轨道板预应力张拉技术;第5章论述了CRTS I型轨道板的铺设工艺流程、铺设关键技术、铺设质量控制、铺设后力学分析,以及为保证铺设质量而开展的首件工程制;第6章对CRTS I型轨道板制造与铺设的技术效益、社会效益、经济效益、环境效益进行了探讨;第7章则从本书的主要内容、创新点、推广应用前景的角度对CRTS I型轨道板制造与铺设技术进行了总结分析。

本书既可以为铁路工程建设人员进行CRTS I型轨道板的制造与铺设工作提供参考与借鉴,也可以作为高等院校进行铁路工程建设课程教学的参考书籍。

由于作者水平有限,本书中难免有一些错误与疏漏,恳请读者批评指正。

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 我国高速铁路发展历程	1
1.1.1 世界高速铁路发展概况	1
1.1.2 我国高速铁路技术装备的发展路线和方案	2
1.2 无砟轨道介绍	2
1.2.1 无砟轨道的定义	2
1.2.2 无砟轨道的研发意义	3
1.2.3 无砟轨道的发展	4
1.2.4 无砟轨道的特点	10
1.2.5 无砟轨道的结构及分类	10
1.3 我国无砟轨道的研发现状	11
1.4 CRTS I 型无砟轨道技术应用现状	13
1.4.1 无砟轨道板钢筋绝缘性能及检测技术现状	14
1.4.2 无砟轨道板张拉工艺现状	15
1.4.3 无砟轨道板铺设技术现状	16
1.5 小结	18
第 2 章 预制场规划及生产线设计	19
2.1 板场规划概述	19
2.1.1 预制场规划设计总体原则	19
2.1.2 预制场基本组成	21
2.1.3 建场设计流程	21

2.1.4	机械设备选型和配置	22
2.2	预制板场建场实例规划	22
2.2.1	工场场区总体布置	23
2.2.2	场房规模结构	23
2.3	生产线的组成和配置	24
2.3.1	生产线设计	24
2.3.2	生产设备配备	26
2.3.3	轨道板存放布置	28
2.3.4	管线设计	29
2.3.5	混凝土搅拌站	31
2.3.6	生产线工装配套	31
2.3.7	CRTS I 型轨道板工装配套原则	32
2.4	生产系统的优化	36
2.4.1	I 型轨道板生产周期的确定	36
2.4.2	根据现场模板和养护因素计算产量	36
2.4.3	施工生产优化	38
2.4.4	改进后效果对比	40
2.5	小结	41
第 3 章	轨道板制造生产工艺	42
3.1	轨道板制造生产工艺流程	42
3.1.1	施工准备	42
3.1.2	工艺流程	44
3.1.3	工艺实施及关键技术操作要点	52
3.2	轨道板制造测量检测技术	68
3.2.1	检测设备	69
3.2.2	模具检测	70
3.2.3	轨道板检测	70
3.3	轨道板制造质量控制体系	74
3.4	小结	76
第 4 章	轨道板制造关键技术	77
4.1	钢筋骨架绝缘检测技术	77

4.1.1	钢筋骨架绝缘检测方法	77
4.1.2	钢筋骨架绝缘电阻检测方法优化	79
4.2	轨道板高性能混凝土施工技术	81
4.2.1	高性能混凝土配合比	81
4.2.2	高性能混凝土拌和、运输、灌注和养护	85
4.2.3	高性能混凝土开裂问题	86
4.2.4	高性能混凝土开裂的原因及控制	87
4.3	轨道板预应力张拉技术	90
4.3.1	轨道板预应力张拉的准备	90
4.3.2	预应力自动张拉设备	91
4.3.3	轨道板预应力张拉工艺改进	92
4.4	小结	94
第5章	轨道板铺设技术	96
5.1	轨道板铺设工艺流程	96
5.2	轨道板铺设关键技术	97
5.2.1	施工控制网测量	97
5.2.2	底座及凸型挡台施工	100
5.2.3	轨道板铺设及精调	102
5.2.4	充填层施工	106
5.3	轨道板铺设质量控制	117
5.3.1	轨道板精调	117
5.3.2	CA 砂浆灌注	118
5.4	轨道板铺设后力学性能分析	118
5.4.1	有限元分析模型建立	118
5.4.2	结果分析和讨论	120
5.5	轨道板首件工程	125
5.5.1	首件检验定义	125
5.5.2	轨道板首件工程实施	125
5.5.3	首件工程实例	130
5.6	小结	139

第 6 章 轨道板制造与铺设效益分析	140
6.1 技术效益	140
6.2 经济效益	140
6.3 社会效益	143
6.4 环境效益分析	144
6.4.1 碳排放指标体系构建	144
6.4.2 碳排放成本计算	145
6.4.3 宁安制板场碳排放节约计算	147
6.5 小结	149
第 7 章 结语	151
7.1 主要内容	151
7.2 创新点	152
7.3 推广应用前景	153
参考文献	155

第 1 章 概 述

1.1 我国高速铁路发展历程

1.1.1 世界高速铁路发展概况

高速铁路作为一种安全可靠、快捷舒适、运载量大、低碳环保的运输方式,已经成为世界交通业发展的重要趋势。自 1964 年日本建成世界上第一条东京至大阪高速运营铁路以来,40 多年高速铁路从无到有,迅速发展。截至 2010 年底,全球投入运营的高速铁路近 2.5 万 km,我国高铁运营里程已达到 7531km,占世界高铁总里程超过 30%,稳居世界第一。

世界高速铁路令世人瞩目的发展历程可以基本划分为三个阶段,也可作为三次建设高潮。第一次是在 20 世纪 60 年代至 80 年代末,是世界高速铁路发展的初始阶段,这期间高速铁路总里程达 3198km,并在技术、商业、财政以及政治上都取得了巨大的成就。第二次是在 20 世纪 80 年代末至 90 年代中期,世界各国对高速铁路发展和高速铁路网完善进行了周密和详尽的规划,投入了极大的财力以付诸实践。对原有高速铁路网进行了大规模扩建,形成了一系列的高速铁路连接线。第三次是 20 世纪 90 年代中期至新世纪以来,这次建设高潮推动形成了世界交通运输业的一场革命性的转型升级。我国对高速铁路开始展开了前期的研究和初步实践。

高速铁路具有其他交通工具难以比拟的技术优势。行车速度快,车组运能大,安全性能高,可全天候运行,不受雨、雪、雾、风的影响;此外还具有能耗低、节约用地、环境污染轻、舒适度高等特点。与此同时,高速铁路还是拉动经济发展的动力,可产生良好的经济效益。一是促进铁路沿线农村的城市化进程,创造新的就业机会。二是投资回收快,不会造成财政和金融负

担。三是带动相关产业的配套发展。高速铁路是解决我国大规模人口流动问题最安全、最快捷、最经济、最环保、最可靠的交通方式,是实现现代化的一个重要方向。

发展高速铁路可产生较长的产业链,通过牵引供电、通信信号、列车运行控制等配套产业,对建材、钢铁、机械制造、电子信息、自动控制等高新技术产业产生积极的拉动作用,这对提高国家整体自主创新能力和建设创新型国家具有非常重要的意义。与此同时,高速铁路需求的迅速增加,为国民经济可持续发展提供了源动力。《中国铁路中长期发展规划》中提到,到2020年我国铁路营业里程将达到12万km以上。其中新建高速铁路将达到1.6万km以上,加上其他新建铁路和既有提速线路,我国铁路快速客运网将达到5万km以上,连接所有省会城市和50万人口以上城市,覆盖全国90%以上人口。同时,我国发达完善的铁路网将全面建成,铁路运输能力总体上能够适应国民经济和社会发展需要,“人便于行、货畅其流”的目标将成为现实。

1.1.2 我国高速铁路技术装备的发展路线和方案

我国铁路发展潜力大、市场需求结构多元化、旅客支付能力不均衡,铁路基础设施建成后再升级难度大、耗资大,因此高速铁路建设宜按预期的高标准或沿线市场需求标准修建。大规模的建设需求使高速铁路设计、施工技术发展迫在眉睫。

世界高速铁路技术并不能完全适宜我国高速铁路建设的需要,因此我国采用引进—消化吸收—自主创新的方式对高铁技术进行探索研究,此举可在较短时间内实现技术再创新,拥有自主知识产权技术体系。引进时无法直接获得最新核心技术,核心技术必须自己动手深入研究。对引进技术 in 应用中所暴露出的缺陷进行改进实际上就是自主创新的过程。

1.2 无砟轨道介绍

1.2.1 无砟轨道的定义

砟(zhǎ),岩石、煤等的碎片。在铁路上,指作路基用的小块石头。传统的铁路轨道通常由两条平行的钢轨组成,钢轨固定放在枕木上,枕木之下为小碎石铺成的路砟。路砟和枕木均起加大受力面、分散火车压力、帮助铁轨承重的作用,防止铁轨因压力太大而下陷到泥土里。此外,路砟(小碎石)还有几个作用:减少噪声、吸热、减振、增加透水性等。这就是有砟轨道。传统

有砟轨道具有铺设简便、综合造价低廉的特点,但容易变形,维修频繁,维修费用较大。同时,列车速度受到限制。因此,有砟轨道铁路不适于列车高速行驶。世界高速铁路的发展证实,高速铁路基础工程如果使用常规的轨道系统,道砟粉化严重,线路维修频繁,安全性、舒适性、经济性相对较差。

无砟轨道的轨枕本身由混凝土浇灌而成,路基也不用碎石,铁轨、轨枕直接铺在混凝土路上。无砟轨道是高速铁路工程技术的发展方向,是当今世界先进的轨道技术。无砟轨道平顺性好,稳定性好,使用寿命长,耐久性好,避免了飞溅道砟,可以减少维护成本、降低粉尘、美化环境,而且列车时速可以达到 200km 以上。

1.2.2 无砟轨道的研发意义

轨道是铁道线路设备的基础和重要组成部分,它直接承受着列车载荷的作用并引导列车运行。列车作用于轨道上的力有垂直压力、横向水平力、纵向水平力,以及因温度变化所产生的温度附加力等。因此要求轨道结构有足够的强度和稳定性,各组成部分的结构要合理,尺寸及材质要相互配合、等强配套、弹性连续,以保证列车按规定的速度,安全、平稳和不间断地运行。

随着列车速度的提高,对轨道结构的技术要求越来越高。1964 年日本东海道新干线建成,成为世界上第一条高速列车。高铁技术随后不断发展,日本新建铁路的无砟轨道已超过全线的 80%,德国新建高速铁路无砟轨道占线路总长的 70%以上,法国修建地中海线也已开始试铺无砟轨道,发达国家高铁速度达到 300 km/h。确保列车在高速行车条件下安全平稳行驶,发展新型轨道建筑和维修技术,已然成为高速铁路技术研究的重点。

有砟轨道因列车的反复通过而使道床逐渐松弛,致使行驶轨道失去平顺性,当达到某一限度时,必须恢复其完好的技术状态。这种线路维修作业,自然会随列车通行次数和行驶速度的不断增加而增大。然而,由于近年来人工费的猛增,从业人员的不足,运输量的增加,养护时间间隔的缩短,维修标准的日趋严格,以及线路维修作业用的大型机械设备产生的噪声等原因,逐渐给线路维修作业增加了很多困难。

和有砟轨道相比,无砟轨道的整体性、稳定性和耐久性更强。板式无砟轨道的初次投资大,技术复杂,但是使用周期长,使用周期内近乎免修,运营过程中的维修量可减少 70%以上。板式无砟轨道的设计、生产以及施工研究具有很高的应用价值和推广意义,是高速铁路现代化技术的研究重点和

基础。

我国高速铁路建设蓄势待发,亟需加大技术储备,尤其是无砟轨道技术。配套工装作为无砟轨道技术的一个重要组成部分,其国产化是亟待解决的首要问题。无砟轨道技术经过多年的应用,依然存在一些需要改进和克服的地方。我国只有通过通过对现有技术存在的问题进行深入研究,形成具有自主知识产权的完整技术体系,才能实现技术上的自主创新。无砟轨道的主要研发意义体现在以下几个方面:

(1) 规范了 CRTS I 型无砟轨道板工厂化预制生产模式,建立了完善的工装配套原则及方法,建立了科学、经济、合理的管理体系,强调工艺改进,提升了产品生产效率。

CRTS I 型无砟轨道板自引进至今,一直采用工厂化预制生产。国内对于无砟轨道板场规划建设、生产线组建存在较大差异,工装配置种类繁多,产品质量参差不齐,国内还未对轨道板场的工装配置提出强制性要求。

(2) 促进材料、配套工装研制技术的革新。

无砟轨道技术作为一项国际先进技术,是多项技术组合的技术体系。只有施工技术、工装配套技术的同步发展才能实现整体技术的再创新,分析轨道板预制、铺设过程中存在的问题,从效率、节能、质量、操控性能等方面,提出对材料、配套工装的要求,可以促使无砟轨道周边产品研制技术的发展。

(3) 为行业内规范的编制提供参考。

现行的 CRTS I 型无砟轨道板制造铺设技术相关规范,是根据我国前期秦沈线、赣龙线无砟轨道试验段的科研成果,参照国外相关标准编制而成。一直沿用至今还未更新,其中部分技术要求还未给出明确合理的解释(例如:钢筋骨架、轨道板成品绝缘检测办法)。

1.2.3 无砟轨道的发展

1) 国外无砟轨道技术发展

高速铁路上普遍应用无砟轨道。无砟轨道最初一般铺设在基础坚固的隧道内、高架结构和桥梁上。技术的发展,解决了在土质路基上铺设的问题,为运行全区间无砟轨道的应用创造了有利条件。

(1) 板式轨道。

日本从 20 世纪 60 年代中期开始板式无砟轨道的研究,到目前已得到大规模推广应用,这一历程已近 50 年。从津田沼、日野土木试验所内的实尺模

型试验到既有线、新干线桥梁、隧道和路基上的各种类型无砟轨道结构的试铺,共建立了 20 多处近 30 km 的试验段,开展了大量的室内、运营线上动力测试和运营观测工作,并在试验结果的基础上,不断地改进完善结构设计参数和技术条件,最终将普通 A 型(见图 1-1)、框架型(见图 1-2)、特殊减振区段用的减振 G 型(见图 1-3)及适用于土质路基上的 RA 型等板式轨道结构作为标准定型。板式轨道累计铺设里程已达 2700 km,广泛应用于桥、隧结构及基础坚实的部分土质路基区段上。土质路基上的 RA 型板式轨道在试铺 60 m 进行各项性能试验后,最终于 1993 年正式铺设约 11 km。

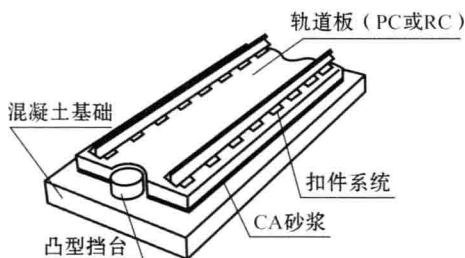


图 1-1 普通 A 型板式轨道

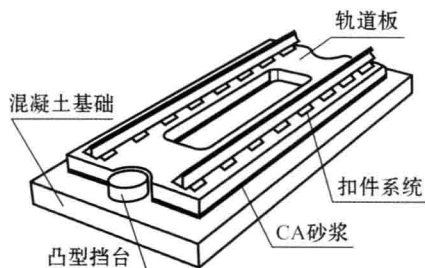


图 1-2 框架型板式轨道

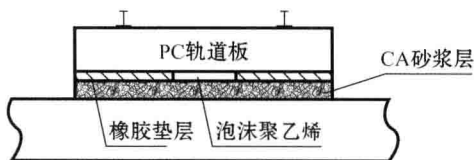


图 1-3 减振 G 型板式轨道

德国于 20 世纪 60 年代开始无砟轨道的研究,曾试铺过十余种无砟轨道结构,提出的结构类型多种多样。Rheda 型无砟轨道在大量试铺段进行运行试验和长期观测研究的基础上,已在德铁高速铁路桥梁、隧道和土质路基上推广应用,约占德铁铺设的 360 km 无砟轨道(含 80 多组道岔区)一半以上。

Rheda-2000 型无砟轨道(见图 1-4)于 2004 年已投入商业应用。由两根桁架形配筋组成的特殊双块式轨枕取代原 Rheda 型中的整体轨枕;取消原结构中的槽形板,统一了隧道、桥梁和路基上的结构类型;同时,轨道结构高度从原来的 650 mm 降低为 472 mm。Rheda-2000 型的支承块只保留承轨和预埋扣件螺栓部位的预制混凝土,其余为桁架式钢筋骨架,从而减少了新、旧混凝土的交界面,有利于提高施工质量和结构的整体性。

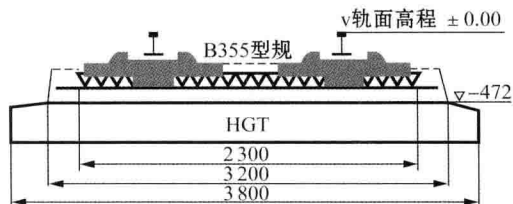


图 1-4 Rheda-2000 型无砟轨道

(2) 其他结构类型。

世界上许多国家根据自己的技术基础与线路特点,开发出多种类型的高速铁路无砟轨道结构,如:英国的 PACT 型、法国的 VSB 型、意大利的 IPA 型以及美国 Sonnenille 公司的 LVT 型等。

2) 我国无砟轨道发展

2006 年前,国内还没有形成一套成熟的无砟轨道结构形式。我国无砟轨道的研究开始于 20 世纪 60 年代,与国外的研究几乎同步。初期曾经尝试支撑块式、短块式、整体灌注式以及沥青道床等,但正式推广应用的仅有支撑块式整体道床。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,累计达 300 km。20 世纪 80 年代曾试铺过由沥青混凝土铺装层与宽枕组成的沥青混凝土整体道床,全部铺设在大型客站和隧道内,总长约 10 km,但并未正式推广。此外还铺设过由沥青灌注的固化道床,但未正式推广。在京九线九江长江大桥引桥上还铺设过无砟无枕结构,长度约 7 km。在此 20 多年间,我国在无砟轨道的结构设计、施工方法、轨道基础的技术要求以及出现基础沉降病害时的整治等方面积累了宝贵的经验,为发展无砟轨道新技术打下了基础。

1995 年以后,随着京沪高速铁路可行性研究的推进,无砟轨道在我国重新得到关注。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梁、隧道中的三种无砟轨道类型(长枕埋入式、弹性支撑块式和大板式)及其设计参数;在铁道部科技开发项目“高速铁路高架桥上无砟轨道关键技术”研究中,完成了对上述 3 种无砟轨道实尺模型的铺设及各项性能试验;初步提出高架桥上无砟轨道的施工方案;提出了高速铁路无砟轨道桥梁徐变上拱的限值与控制措施;建立了桥上无砟轨道车桥线耦合模型并进行仿真计算,初步分析了高速铁路高架桥上无砟轨道的动力特性与车辆行走性能。虽然我国对于无砟轨道的研究起步比较早,但是由于理论基础薄弱、工程实践少等原因,在 2006 年以前还没有形成

属于我们自己成熟的轨道结构形式。

2006 年至今,国内的无砟轨道技术得到迅猛发展。我国无砟轨道的发展历程如表 1-1 所示。

2004 年,铁道部组织开展了无砟轨道工程技术经济论证,得出了无砟轨道具有良好的稳定性和平顺性,有利于高速行驶,可大大减少养护维修工作量,研发、推广无砟轨道是我国铁路发展的必然趋势和我国客运专线采用无砟轨道技术上可行、经济上合理的重大结论,为无砟轨道的研发、引进和再创新提供了重要依据。同年,铁道部经过调研,决定建设遂渝铁路无砟轨道试验段,系统试验研究无砟轨道结构、轨道电气特性、扣件系统、路桥线下工程、100 m 长定尺钢轨铺设、无砟轨道施工及长期测试等关键技术,通过成区段铺设无砟轨道并进行实车试验,取得无砟轨道工程成套技术和科学数据。遂渝铁路无砟轨道试验段有目的地设计了 CRTS I 型平板式、框架型板式、纵连板式轨道和 CRTS II 型双块式无砟轨道等多种类型。试验段于 2007 年 1 月进行了实车试验,动车组试验最高速度 232 km/h,货物列车最高试验速度 141 km/h。这标志着我国具有自主知识产权的无砟轨道试验段建设成功,并为我国客运专线无砟轨道技术再创新打下了基础。为了给我国铁路客运专线广泛采用无砟轨道创造条件,2005 年以来,铁道部专家对世界各国无砟轨道类型进行了分析研究,系统引进了德国雷达 2000 型、旭普林型、博格板式和日本的单元板无砟轨道技术。同时针对我国的具体国情和路情,铁道部在 2006 年底成立了客运专线无砟轨道技术再创新科技攻关组,吸取国外先进的无砟轨道经验,并结合我国的国情、路情开展了客运专线无砟轨道技术再创新研究,目前已经取得了阶段性成果。武汉综合试验段是无砟轨道再创新技术的应用体现,这条长 62 km 的试验段,采用了再创新双块式无砟轨道、再创新单元板式无砟轨道、再创新纵连板式无砟轨道、葫区轨枕埋入式无砟轨道等结构,其材料和技术均实现了国产化。目前无砟轨道的施工已经完成。

到目前为止,我国无砟轨道技术已经实现了从秦沈客运专线无砟轨道、赣龙线枫树排隧道板式无砟轨道试验段、遂渝线无砟轨道综合试验段(12 km)的小范围试铺到设计时速达 380 km 全长 62 km 的武汉综合试验段的铺通、京津城际的开通运营,以及武广客专、郑西客专、广珠城际、宜万铁路等项目的大面积铺设,标志着我国已逐渐形成具有自主知识产权的无砟轨道技术体系。

表 1-1 我国无砟轨道发展表

20 世纪 60 年代	试铺支承块式、整体灌注式、短木枕式等框架式沥青道床以及整体道床等多种类型
	在成昆、京原、京通、南疆等铁路线的隧道内先后铺设过总长度约 300 km 的支承块式整体道床
20 世纪 80 年代	试铺由宽枕与沥青混凝土铺装层组成的沥青混凝土无砟轨道, 铺设长度约 10 km, 但全部铺设在大型客站与隧道内
	在京九铁路九江长江大桥引桥上铺设无砟无枕结构
1995 年	对弹性支承块式无砟轨道展开研究
	国家科技攻关专题“高速铁路无砟轨道设计参数的研究”中, 我国提出了适用于高速铁路桥隧结构上的长枕埋入式、弹性支承块式、板式 3 种无砟轨道结构类型及其设计参数
	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, 完成了以上 3 种无砟轨道实尺模型的铺设及各项性能指标试验, 初步提出高架桥上无砟轨道的施工方案
1996~1997 年	先后在陇海线白清隧道和安康线大瓢沟隧道铺设弹性支承块式无砟轨道试验段, 在秦岭隧道一线、秦岭二线隧道正式推广使用, 合计铺设 36.8 km
	陆续在宁西线(南京—西安)、兰武复线、宜万线、湘渝线等隧道内及城市轨道交通中得到广泛应用, 累计铺设弹性支承块式无砟轨道近 200 km
1999 年	长枕埋入式无砟轨道开始试铺在秦沈客运专线沙河特大桥以及渝怀线鱼嘴二号隧道
	板式轨道开始试铺在秦沈客运专线沙河特大桥(长度 741 m)和双河特大桥(长度 740 m)、赣龙线枫树排隧道(长度 719 m)以及遂渝线无砟轨道综合试验段、石太客运专线太行山隧道(长度 7 500 m)
	提出了无砟轨道设计技术条件、施工技术细则和质量检验评定标准