

国家骨干高职院校建设系列教材

# 高速铁路 轨道工程施工

GAOSU TIELU

GUIDAO GONGCHENG SHIGONG

孟维军 付民光 于航 卜春玲 编著



国家骨干高职院校建设系列教材

# 高速铁路轨道工程施工

孟维军 付民光 于航 卜春玲 编著  
张英才 郭汝涛 主审



中国铁道出版社

2014年·北京

## 内 容 简 介

本书以高速铁路轨道工程施工过程为主线,全面系统总结多个工程项目施工经验,并充分考虑高职院校教学特点,详细阐述高速铁路轨道工程的基本知识、轨道工程施工准备、CRTS I 型板式无砟轨道施工、CRTS II 型板式无砟轨道施工、双块式无砟轨道施工、岔区无砟轨道施工和无缝线路施工。

本书既可作为高职院校相关专业的教材和参考书,也可供高速铁路轨道工程施工技术人员参考和借鉴。

### 图书在版编目(CIP)数据

高速铁路轨道工程施工/孟维军等编著. —北京:

中国铁道出版社,2014. 8

国家骨干高职院校建设系列教材

ISBN 978-7-113-18946-4

I. ①高… II. ①孟… III. ①高速铁路—轨道(铁路)—  
工程施工—高等职业教育—教材 IV. ①U238

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 155676 号

书 名: 国家骨干高职院校建设系列教材  
          **高速铁路轨道工程施工**  
作 者: 孟维军 付民光 于航 卜春玲

责任编辑:张卫晓

编辑部电话:010-51873065

电子信箱:zhxiao23@163.com

封面设计:郑春鹏

责任校对:龚长江

责任印制:郭向伟

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:北京大兴县新魏印刷厂

版 次:2014年8月第1版 2014年8月第1次印刷

开 本:787 mm×1092 mm 1/16 印张:13 字数:324千

书 号:ISBN 978-7-113-18946-4

定 价:35.00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)51873174(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)51873659,路电(021)73659,传真(010)63549480

# 前 言

随着铁路运营速度的提高,轨道工程在铁路建设中的重要性日益提高,轨道设计标准和施工质量要求发生了很大的变化。高速铁路的建设,使得轨道设计和施工理念发生了变化,朝着提高平顺性、可靠性、耐久性和弹性均匀的方向迈进。无砟轨道的引入和按设计速度开通,使其对桥梁、路基的设计施工也提出了很高的要求。作为高速铁路施工技术人员,必须掌握轨道工程施工的工艺流程、操作方法和实践技能。

本书选取目前广泛应用的无砟轨道典型形式,以高速铁路轨道工程施工过程为主线,阐述了高速铁路轨道工程的基本知识、轨道工程施工准备、CRTS I 型板式无砟轨道施工、CRTS II 型板式无砟轨道施工、双块式无砟轨道施工、岔区无砟轨道施工和无缝线路施工等内容。书中以《高速铁路轨道工程施工技术指南》等规范、标准为依据,引入京沪高铁、哈大高铁、武广高铁等国家重点建设项目的轨道工程典型案例,融入了国内隧道施工方面专家的宝贵经验,将理论知识与工程实践相结合,详细说明了施工过程和控制要点。

本书由哈尔滨铁道职业技术学院孟维军、于航、卜春玲和中铁三局集团桥隧公司付民光共同编写,中铁三局集团张英才、敦汝涛主审。具体编写分工如下:单元 3、4 由孟维军编写;单元 1、2 由于航编写;单元 7 由卜春玲编写;单元 5、6 由付民光编写。在教材编写过程中,得到了中铁一局集团鲁书京、中国中铁卢炜等专家的大力支持和帮助,在此表示衷心的感谢。

本书既可作为相关专业的教材、参考书,还可作为铁路施工技术人员的工具书。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏之处。诚请广大读者和各位同行批评指正,以便日后对本书进行修改,使之不断完善。

编者

2014 年 4 月

# 目 录

单元 1 无砟轨道概述 .....	1
学习项目 1 国外无砟轨道的发展 .....	1
学习项目 2 国内无砟轨道的发展和成就 .....	3
学习项目 3 国内外无砟轨道结构形式 .....	7
学习项目 4 无缝线路施工的发展 .....	12
单元 2 轨道工程施工准备 .....	17
学习项目 1 技术准备 .....	17
学习项目 2 施工现场准备 .....	18
学习项目 3 物料准备 .....	20
单元 3 CRTS I 型板式无砟轨道施工 .....	23
学习项目 1 CRTS I 型板式无砟轨道结构及分类 .....	23
学习项目 2 CRTS I 型板式无砟轨道板预制 .....	26
学习项目 3 轨道板铺设的前提条件 .....	43
学习项目 4 底座板(支承层)施工 .....	45
学习项目 5 轨道板铺设 .....	48
学习项目 6 CA 砂浆灌注 .....	58
学习项目 7 凸台树脂灌注 .....	64
单元 4 CRTS II 型板式无砟轨道施工 .....	67
学习项目 1 CRTS II 型板式无砟轨道结构 .....	67
学习项目 2 CRTS II 型板式无砟轨道板预制 .....	70
学习项目 3 轨道板铺设的前提条件 .....	87
学习项目 4 底座板(支承层)施工 .....	93
学习项目 5 轨道板铺设施工 .....	99
学习项目 6 轨道板纵连、剪切连接 .....	102
学习项目 7 宽窄接缝连接 .....	108
单元 5 双块式无砟轨道施工 .....	111
学习项目 1 双块式无砟轨道结构 .....	111
学习项目 2 双块式轨枕预制 .....	114

---

---

学习项目 3	双块式无砟轨道施工前提条件 .....	128
学习项目 4	底座板施工 .....	129
学习项目 5	桥上整体道床施工 .....	131
学习项目 6	路基上整体道床施工 .....	147
<b>单元 6</b>	<b>高速铁路岔区轨道施工 .....</b>	<b>153</b>
学习项目 1	高速铁路道岔概述 .....	153
学习项目 2	枕式无砟道岔施工 .....	156
学习项目 3	板式无砟道岔施工技术 .....	161
学习项目 4	有砟道岔施工技术 .....	173
<b>单元 7</b>	<b>无缝线路 .....</b>	<b>176</b>
学习项目 1	无缝线路施工 .....	176
学习项目 2	轨道精调整理及钢轨预打磨 .....	188
<b>参考文献</b>	.....	202

# 单元 1 无砟轨道概述

**【学习导读】**本单元主要介绍国内外无砟轨道的发展以及无砟轨道的结构组成形式,国内外无砟轨道施工的应用及取得的成就和无缝线路施工的发展。

**【能力目标】**

1. 具备国内外无砟轨道的基础知识;
2. 具备国内外无砟轨道的结构组成的知识;
3. 具备无缝线路施工的能力。

**【知识目标】**

1. 了解国内外无砟轨道的发展;
2. 掌握国内外无砟轨道的结构组成形式;
3. 掌握无缝线路施工的发展。

## 学习项目 1 国外无砟轨道的发展

### 一、引 文

无砟轨道是近几年随着高速铁路发展而产生的新型轨道型式。世界各国从 20 世纪 60 年代开始研究使用无砟轨道,德国、日本是应用较多,技术领先的国家,其 20 世纪 90 年代后期修建的高速铁路采用无砟轨道的比例达到 80%。

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、简单透明的系统结构、完美的轨道定位、综合经济效益高等优点,在国外高速铁路上获得了越来越广泛的应用,其铺设范围已从桥梁、隧道发展到土质路基和道岔区。无砟轨道结构在高速铁路上的大量铺设已成为世界各国高速铁路发展的必然趋势。

### 二、相关理论知识

#### (一)世界高速铁路建设回顾

##### 1. 第一次浪潮:1964 年~1990 年

1964 年 10 月,日本修建了从东京到大阪的全长 515.4 km 的东海道新干线,运营速度高达 210 km/h,这标志着世界高速铁路新纪元的到来。随后法国、意大利、德国纷纷修建高速铁路。继东海道之后,日本又修建了山阳、东北和上越新干线;法国修建了东南 TGV 线、大西洋 TGV 线;意大利修建了罗马至佛罗伦萨。以日本为首的第一代高速铁路的建成,大力推动了沿线地区经济的均衡发展,促进了房地产、工业机械、钢铁等相关产业的发展,降低了交通运输对环境的影响程度,铁路市场份额大幅度回升,企业经济效益明显好转。

##### 2. 第二次浪潮:1990 年至 20 世纪 90 年代中期

法国、德国、意大利、西班牙、比利时、荷兰、瑞典、英国等欧洲大部分国家,大规模修建本国或跨国界高速铁路,逐步形成了欧洲高速铁路网络。这次高速铁路的建设高潮,不仅仅是铁路



提高内部企业效益的需要,更多的是国家能源、环境、交通政策的需要。

### 3. 第三次浪潮:从 20 世纪 90 年代中期至今。

在亚洲(韩国、中国)、北美洲(美国)、澳洲(澳大利亚)世界范围内掀起了建设高速铁路的热潮。主要体现在:一是修建高速铁路得到各国政府的大力支持,一般都有全国性的整体修建规划,并按照规划逐步实施;二是修建高速铁路的企业经济效益和社会效益,得到了更广层面的共识,特别是修建高速铁路能够节约能源、减少土地使用面积、减少环境污染、交通安全等方面的社会效益显著,以及能够促进沿线地区经济发展、加快产业结构调整等。

## (二)国外无砟轨道的应用

### 1. 日本无砟轨道

早在 20 世纪 60 年代中期,日本就开始了无砟轨道的研究与试验,并逐步推广应用。东海道新干线由于建造得比较早,575.4 km 全部采用有砟轨道,钢轨采用 54 kg/m,轨枕长度 2.4 m,道床厚度只有 20~25 cm,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,冈山以东 164 km 的线路,修建了 8 km 的无砟轨道,占线路全长的 5%;冈山以西修建了 273 km 的无砟轨道,占线路全长的 69%;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,而且在路基上也全面推广使用。

### 2. 德国无砟轨道

德国铁路无砟轨道的研究首先解决了土质路基铺设的技术问题,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。基于高速铁路有砟轨道线路的维修工作量大、道砟粉化及道床累积变形速率加快,德国铁路根据其咨询公司对现行的有砟轨道和无砟轨道的综合技术经济比较得出的建议,决定在所有隧道、道岔区、制动区间以及 300 km/h 的高速线上均采用无砟轨道。在室内试验和现场大量铺设试验段进行试验验证的基础上,目前德铁累计铺设无砟轨道 360 km(含 80 多组道岔区),其中规模铺设的线路包括:科隆—法兰克福(300 km/h,2002 年开通)、柏林—汉诺威(250 km/h,1998 年开通)、纽伦堡—英戈尔施塔特。

### 3. 法国无砟轨道

法国是以有砟轨道为代表的高速铁路国家,一直以有砟轨道能够以 270~300 km/h 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,维修费用大大增加,甚至影响正常的运营,结果使用不到 10 年不得不全面大修,更换道砟。为此,法铁对道砟的粒径级配、颗粒形状指标、硬度系数标准进行重新研究,拟订新的规定。比如针对道砟的洛杉矶磨耗率、硬度系数标准(CH),TGV 东南线原规定为洛杉矶磨耗率 $\leq 20\%$ 和  $CH \geq 17$ ,TGV 北方线将其提高到洛杉矶磨耗率 $\leq 17\%$ 和  $CH \geq 20$ ,新建的地中海线再提高到洛杉矶磨耗率 $\leq 16\%$ 和  $CH \geq 21$ 。除此之外,为减缓道砟的粉化,在桥梁上还采取道砟下铺设橡胶垫的方式。与此同时,法国开始认识到无砟轨道的优越性,开始无砟轨道的研究与试验。在新建的地中海线,选择隧道里铺设 4.8 km 双块式无砟轨道,进行试验,还准备在东部高速线 40~50 km 的一个区间修建无砟轨道。



## 学习项目2 国内无砟轨道的发展和成就

### 一、引 文

《中长期铁路网规划》确定了我国高速铁路的发展规划,提出到2020年,全国铁路的营业里程达到12万公里以上,建设客运专线1.6万公里以上。经过几年的努力建设,目前我国高速铁路总营业里程达到11 028公里。正在建设中的高铁有1.2万多公里。

在过去铁路的发展中有砟轨道占领了铁路建设的主导地位,随着国家经济的发展,对铁路运行速度的要求越来越高,由于有砟轨道对速度的限制,铁路建设迎来了无砟轨道时代。

#### 1. 无砟轨道的优缺点

1)相对于有砟轨道而言,无砟轨道具有以下优点:

- (1)具有较强的整体性,横向和纵向的稳定性高;
- (2)结构的耐久性好,能持久的保持轨道的几何尺寸;
- (3)维修工作量少,维修费用小,使用寿命周期长;
- (4)可避免高速行驶下有砟轨道的道砟飞溅;
- (5)安全性能可靠;
- (6)车辆的平稳性好,通过能力大。

2)无砟轨道的缺点:

- (1)建设费用高;
- (2)无砟轨道不能在黏土深路堑、松软土路堤或地震区域铺设,从而增大了轨道施工难度;
- (3)一旦路基下沉,修复难度大,改进的可能性受到局限,所以对路基的要求更高;
- (4)无砟轨道产生的振动大,噪声也相应较高;
- (5)混凝土无砟轨道为刚性承载层,一旦荷载达到了极限时,轨道几何尺寸发生突变并引起难以预见的恶化。

#### 2. 高铁无砟轨道系统的技术难点

相对于有砟轨道,高铁无砟轨道系统的技术难点主要有以下几点:

1)控制线路下部基础的沉降和变形。无砟轨道以扣件为轨道弹性和几何调整的主要方案,要从设计和施工采取妥当的措施来加以控制。

2)施工精度和测量技术要求高。若施工精度达不到要求轨道线路结构就会发生较大的沉降,线路会出现纵向的起伏和横向的扭曲,这就难以实现其设计功能,更难以保证轨道结构的平顺性和稳定性,因此,线路必须具备准确的几何线性参数,必须采用诸如CPⅢ等高精度网进行控制,误差必须保持在毫米级范围内。

3)无砟轨道配套扣件系统技术。高速铁路列车运行速度高,行车密度大,扣件是无砟轨道中提供弹性的主要部分,比一般线路有更高的要求,目前我国高速铁路无砟轨道主要采用WJ-7和WJ-8型扣件。

4)无砟轨道工程材料技术。高铁列车运行速度高,行车密度大,不仅对扣件要求高,对轨道同样如此,混凝土、水泥沥青砂浆、橡胶、泡沫塑料板等材料对无砟轨道结构的耐久性有最直

接的影响,其中作为缓冲充填材料应具有一定的弹性又有一定的强度。水泥砂浆强度是够高的,但弹性不足;沥青弹性好,但强度低,受温度影响大,因此采用将二者结合的水泥沥青砂浆。

5)无砟轨道施工工艺及配套装备的研发。基于无砟轨道高稳定性、平顺性、少维修的结构特征,无砟轨道无疑是一种特殊的建筑产品,因此科学合理的选择施工技术以及对无砟轨道的质量控制是实现该产品功能的关键。由于我国铁路施工条件与国外存在较大差异,为了加快我国无砟轨道的发展,针对不同的无砟轨道结构型式,研发了各种配套装备。施工工艺和配套设备的研发保证了无砟轨道的顺利建设。

6)无砟轨道施工及验收标准。为了满足高速铁路高精度、高可靠性要求,加强高速铁路无砟轨道施工质量和过程控制,统一高速铁路无砟轨道工程施工技术要求及质量验收标准,保证无砟轨道施工质量,我国制定了《高速铁路轨道工程施工技术指南》、《高速铁路轨道工程施工质量验收标准》《高速铁路无砟轨道施工精调作业指南》等一系列高速铁路无砟轨道施工及验收标准。

无砟轨道是高速铁路的关键,能大幅提高列车运行速度,但是相关科技一直被德国、日本等发达国家垄断。使我国高速铁路发展陷入瓶颈,针对我国国情路情及上述技术难点,通过引进、消化并吸收国外高速铁路无砟轨道先进技术,开展无砟轨道系统技术创新及研发,实现国内无砟轨道技术的突破并掌握自主知识产权,为我国高速铁路工程建设提供有力的技术支撑,使我国高速铁路飞速发展。

### 3. 高速铁路无砟轨道技术主要创新成果

1)从系统的角度认识并分析无砟轨道典型的层状体系和复杂的功能,并建立具有我国自主知识产权的高速铁路无砟轨道设计理论。

2)通过深入分析无砟轨道的功能需求结构特点和部件的功能特性,实现无砟轨道系统功能模块化,部件设计功能化,可以为结构设计和选材、无砟轨道施工奠定基础。

3)针对不同的工程施工条件和施工环境,研发不同类型的无砟轨道系统(CRTS I型板式、CRTS II型板式、CRTS I型双块式、CRTS III型双块式)。

4)高速铁路精密工程测量技术体系及特点。为了实现线下工程按设计线型准确施工和保证轨道铺设的精度能满足客运列车高速、安全行驶,高速铁路工程测量应通过建立各级平面高程控制网逐级对控制网做精密测量。并提出高速铁路测量平面控制网在框架控制网(CPO)基础上分三级布设,高程控制网分二级布设的方法,平面坐标系统应采用边长投影变形值 $\leq 10$  mm/km的工程独立坐标系以及应按“三网合一”的原则进行高速铁路精密工程测量。

5)在无砟轨道工程材料的选取和研发上,我国综合国内外相关领域情况的基础,建立无砟轨道的分析模型和计算方法,并通过室内性能测验(建立钢轨模型:钢轨采用欧拉梁,承载层用弹性薄壳层,扣件、CA砂浆和路基均采用弹簧阻尼器模拟)研发适合我国国情的无砟轨道工程材料,从工程材料上保证无砟轨道结构的耐久性。

高速铁路使城市之间人流、物流效率与质量大幅度提高,拉动沿线经济和城市群的区域联系,带动相互间的经济发展,是现代社会的新型运输方式,也是交通运输现代化的重要标志。当前,中国高速铁路正进入飞速发展的时期,无砟轨道在其中有着不可替代的作用,它不仅是高速铁路发展的助推器,也将承载着推动经济飞速发展的重担。

## 二、相关理论知识

### (一)我国无砟轨道的发展历程

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,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、南疆线等长度超过一公里的隧道内铺设,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以关注。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型式(长枕埋入式、弹性支撑块式和大板式)及其设计参数。在原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;提出高速铁路无砟轨道桥梁徐变上拱的限值与控制措施;建立桥上无砟轨道车桥线耦合模型并进行仿真计算,初步分析高速铁路高架桥上无砟轨道的动力特性与车辆走行性能。我国虽然对于无砟轨道的研究虽然起步比较早,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国自有成熟的轨道结构形式。

2006 年至今,国内的无砟轨道技术迅猛发展。2004 年原铁道部组织开展无砟轨道工程技术经济论证,得出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高速铁路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、引进和再创新提供重要依据。同年,原铁道部经过调研,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。这标志着我国铁路具有自主知识产权的无砟轨道试验段建设成功,并为我国高速铁路无砟轨道技术再创新打下了基础。为了给我国高速铁路广泛采用无砟轨道创造条件,2005 年以来,原铁道部专家对世界各国无砟轨道型式进行分析研究,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式无砟轨道技术。同时针对我国的具体国情和路情,原铁道部在 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。

到今天为止,我国无砟轨道技术已经实现了从秦沈客专无砟轨道、赣龙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/h 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、郑西、广珠城际、宜万等项目的大面积铺设,标志着我国已逐渐的形成具有自主知识产权的无砟轨道技术体系。

目前,我国高速无砟轨道的基本类型有两种:即板式无砟轨道和双块式无砟轨道。板式无砟轨道又分为 CRTS I 型(China Railway Track System,简称 CRTS)。板式无砟轨道结构(单元板式)和 CRTS II 型板式无砟轨道结构(纵连板式)。目前应用单元板式无砟轨道的项目有:广珠城际、新广州站、广深港、沪宁、沪杭等;应用纵连板式无砟轨道的项目有:京沪、石武、宁杭等铁路。双块式无砟轨道又分为 CRTS I 型双块式无砟轨道结构和 CRTS II 型双块式无砟轨道结构。这两种无砟轨道从结构上来讲是没有本质的区别,其主要区别在于施工方法。但从目前应用的情况来看,由于旭普林无砟轨道采用振入式的施工方法,轨道的施工精度难以保证,这是最大的一个弊端。双块式无砟轨道主要应用在武广高速铁路、宜万铁路、沿海铁路、台武铁路等项目,旭普林无砟轨道用于郑西高速铁路。

尽管我国铁路在无砟轨道研究方面已经做了大量的工作,但这并不表明我们已经解决了所有的无砟轨道技术难题,目前在京沪、郑武、宁杭客专采用的 CRTS II 型板式无砟轨道,这种轨道结构在大型高架站咽喉区地段的技术难题依然没有解决,高速铁路的部分轨道设备(高速度岔、曲线地段的伸缩调节器等)也没能得到有效地解决。还有,我们国内的无砟轨道技术发展和建设过于迅猛,基本上处于一种边研究、边设计、边施工的模式,设计中存在的问题不能及时暴露。无砟轨道修建完成以后,运营阶段轨道几何状态的调整基本取决于扣件的调整能力,而扣件的可调节量总是有限的,当发生较大变化时,调整将非常困难。另一方面,无砟轨道结构的应用还存在局限性,在国外许多铁路上还处于试验阶段,中国发展无砟轨道结构,还存在许多问题需要研究解决。

## (二)我国无砟轨道取得的成就

根据《中国铁路中长期发展规划》,到 2020 年,为满足快速增长的旅客运输需求,建立省会城市及大中城市间的快速客运通道,规划“四纵四横”铁路快速客运通道以及三个城际快速客运系统。建设客运专线 1.2 万公里以上,客车速度目标值达到每小时 200 km 及以上。

中国高速铁路建设进程正在不断加快,目前,武汉及周边城际圈、郑州及周边城际圈、长沙—株洲—湘潭地区、长春—吉林等经济集中带或经济据点,均将规划修建城际铁路。

除此之外,广州至南宁、广州至贵阳、成都至兰州等重要省会之间或重大城市之间,将来随着经济规模的扩大和客运需求的增加,都将陆续修建 200 km 及以上的高速铁路或城际铁路。预计到 2020 年,中国 200 km 及以上时速的高速铁路建设里程将超过 1.8 万 km,将占世界高速铁路总里程的一半以上。

中国高速铁路的建设无疑掀起了世界高速铁路建设的第四次浪潮。中国高速铁路建设将在世界高速铁路的建设史上画上浓浓的一笔厚彩! 2008 年 8 月 1 日,京津城际高速铁路正式通车,运营时速达到 350 km(瞬间时速达 394.3 km),创造了世界高铁运营的第一速度。2009 年 12 月 26 日,武广高速铁路建成通车,这是世界上一次建成里程最长(1 069 km)的、运营速度最快(瞬间时速达 394.2 km)的高速铁路。2010 年 2 月 6 日,世界首条修建在湿陷性黄土地区,时速 350 km 的郑西高速铁路正式开通。2010 年 7 月 1 日,沪宁城际高速铁路的开通运

营。并且,日本的高速铁路和既有线不兼容,德国、法国高铁和既有线是采取高速列车下线覆盖既有线,中国高铁是和既有线跨线运行,在推进铁路高速化的同时,保持了完整的中国客运铁路网。中国高速列车通过引进先进技术消化吸收,完全国产化生产了时速 200~250 km 的高速列车;自主设计研制了时速 350 km 动车组。2008 年 2 月 26 日,原铁道部和科技部签署了《中国高速列车自主创新联合行动计划》,共同研发运营时速 380 km 的新一代高速列车,设计的运行速度、综合舒适度均高于国外,这新一代高速列车即将下线。

总之,中国高速铁路现已成为世界上高速铁路系统技术最全、集成能力最强、运营里程最长、运行速度最快、应用范围最广、在建规模最大的国家。走出了一条具有中国特色的自主创新之路。

### (三)我国无砟轨道的应用

CRTS I 型无砟轨道主要应用于哈大(哈尔滨至大连)、沪宁城际(上海至南京)、海南东环、哈齐(哈尔滨至齐齐哈尔)。

CRTS II 型无砟轨道主要应用于京津城际(北京至天津)、京沪(北京至上海)、京石武(北京至石家庄至武汉)、宁杭(南京至杭州)、合蚌(合肥至蚌埠)、津秦(天津至秦皇岛)、杭甬(杭州至宁波)、大西(原平至西安)。

CRTS III 型无砟轨道主要应用于成绵乐(成都至绵阳至乐山)、武汉城际(武汉至孝感、武汉至黄石、武汉至咸宁)、盘营(盘锦至营口)、成灌线(成都至都江堰)。

## 学习项目 3 国内外无砟轨道结构形式

### 一、引 文

无砟轨道包括道床板/轨道板、隔离/调整层、底座或支承层及联结结构等,其功能类似于有砟轨道的轨枕和道床,起到支承和传递荷载的作用。

高速铁路上的无砟轨道都由预制结构和现场浇筑结构组成,其中预制结构都为混凝土制品。为提高无砟轨道结构的耐久性,必须在原材料、养生等方面严格要求。

无砟轨道上部结构层的设计和制作是一个系统工程,与机车车辆(荷载)、电力(速流)、信号制式(轨道电路)、基础工程(结构要求)、减振降噪(弹性)、施工(方法及工期)、养护维修(结构要求)等都有密切关系,应当将其与上述各专业的协调以及技术经济的最佳平衡作为设计目标。所以,上部结构层的设计和制造一般应遵循以下原则:

1)应具有足够的承载能力和抵抗变形能力,以适应高速列车长期动荷载作用,维持轨道结构稳定和几何状态良好。

2)应具有合理的几何尺寸,尤其是合理的结构高度,既保证结构承载能力和抵抗变形能力,又满足谐振式的轨道电路要求。

3)应具有良好的施工性和修复性,便于组织快速施工和安装,便于配套设备和机械的应用,便于保证施工质量和提高施工进度;对于混凝土道床的局部损坏应考虑有修复的可能性,在出现破坏性伤损时,能尽快恢复线路,减少运输中断时间。

4)预制结构具有成熟的制造工艺和材料。

5)保持与下部基础工程的协调,与路基、桥梁、隧道结构具有相当的使用耐久性。

## 二、相关理论知识

### (一) 国外高速铁路无砟轨道的结构型式

#### 1. 日本新干线板式轨道

从无砟轨道结构的推广应用看,以日本的板式轨道最为广泛。截止到目前,其板式轨道累计铺设里程已达 2 700 多公里。板式轨道的开发始于 1965 年,在最初的“新轨道结构的研究”研究项目中,日本铁道综合技术研究所组成了由轨道结构、材料、土工、物理、有机化学研究室人员组成的新轨道结构研究组,分别承担相应的课题研究。

日本定型的轨道板有适用于隧道或高架桥上的 A 型、框架型轨道板,适用于土质路基上的 RA 型轨道板及特殊减振区段用的防振 G 型轨道板等,构成了适用于各种不同使用范围的轨道板系列。

从津田沼、日野土木试验所内的实尺模型试验到既有线、新干线的桥梁、隧道和路基上的各种型式无砟轨道结构的试铺,总共建立了 20 多处近 30 多公里的试验段,开展大量的室内、运营线上动力测试和长期观测的试验研究工作,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(图 1-1)、框架型(图 1-2)等板式轨道结构作为标准定型。

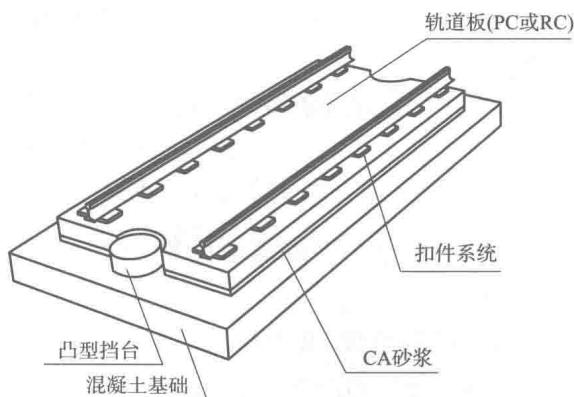


图 1-1 普通 A 型板式轨道(钢筋混凝土、预应力混凝土轨道板)

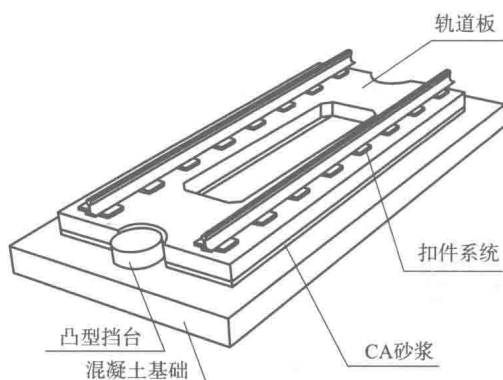


图 1-2 框架型板式轨道(钢筋混凝土轨道板)

最初的轨道板为普通钢筋混凝土结构,为应用于东北、上越新干线的寒冷地区,后来又研制出双向预应力结构的轨道板,以防止混凝土裂纹的发生与扩展。

为解决新干线的噪声振动问题,实现高速铁路发展与社会环保兼容的目的,日本从 20 世纪 70 年代后期开始,在日野土木研究所、东北新干线上的“小山试验线”、北上地区、古河地区的高架桥上分别试铺了 20 多种型式的减振性板式轨道结构(防振 A 型~防振 H 型),观测其噪声振动效果,在进行技术、经济分析后,最终将防振 G 型板式轨道(图 1-3 和图 1-4)作为标准型式在减振降噪区段推广铺设。

#### 2. 德国高速铁路 Rheda 型无砟轨道

德国的联邦铁路、高校研究所以及工业界自 20 世纪 70 年代一直进行无砟轨道的研究,曾试铺过十余种无砟轨道结构,其轨道的基础分钢筋混凝土和沥青混凝土两类。目前德国有 20



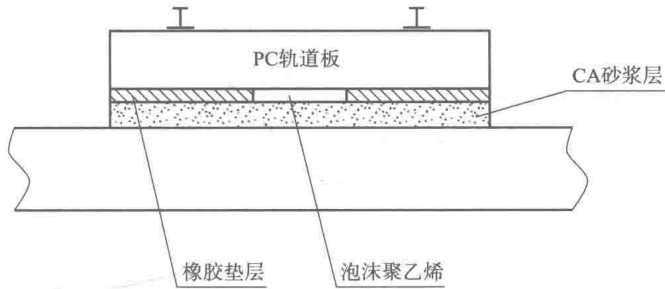


图 1-3 防振 G 型板式轨道结构

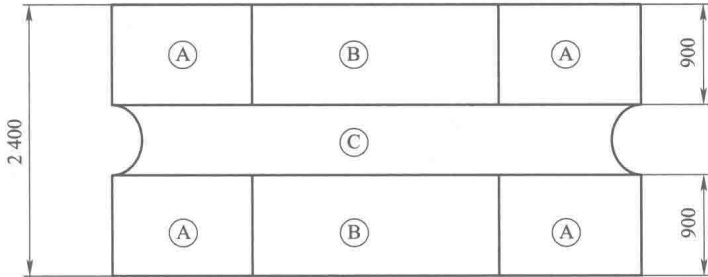


图 1-4 防振 G 型板式轨道板底橡胶垫层的布置(单位: mm)

多家企业参与无砟轨道新结构的开发,形成市场竞争的局面,推进了新技术的发展。其提出的结构型式多种多样。德铁规定试铺的轨道结构要经过 5 年的运营考验后经批准才能正式使用。1996 年德铁又批准了 7 种新结构在曼海姆~卡尔斯鲁厄线上试铺。

Rheda 型无砟轨道(图 1-5)作为钢筋混凝土底座上的结构型式之一。

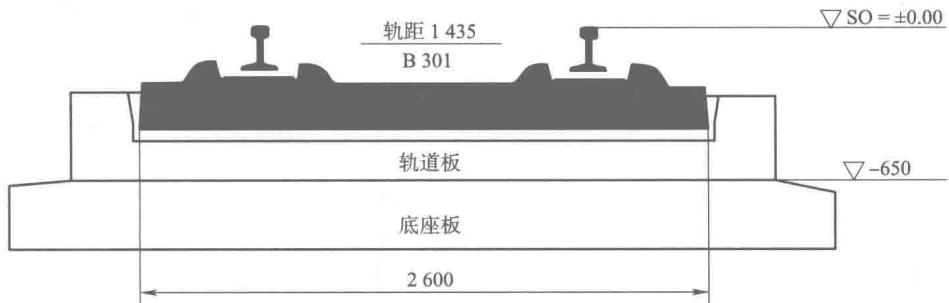


图 1-5 普通 Rheda 型无砟轨道结构(单位: mm)

在建立大量试铺段进行运行试验和长期观测的研究基础上,在德铁桥梁、隧道和土质路基上全面推广应用,在德铁铺设的 660 km 无砟轨道(含 80 多组道岔区)中,Rheda 型约占一半以上。

最新开发的 Rheda-2000 型轨道(图 1-6)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了原 Rheda 型中的整体轨枕;取消原结构中的槽形板,统一了隧道、桥梁和路基上的型式;同时,轨道的建筑高度从原来的 650 mm 降低为 472 mm。Rheda-2000 型中的特殊双块式轨枕只保留承轨和预埋扣件螺栓部位的预制混凝土,其余为桁架式的钢筋骨架,使与现场灌注混凝土的新、老界面减至最少,有利于改善施工性,提高施工质量和结构的整体性。建筑高度的下降,对降低轨道本身和线路的造价都是有利的。将无砟轨道的造价降低到有砟轨道的 1.3~1.4 倍是德铁力争的目标。



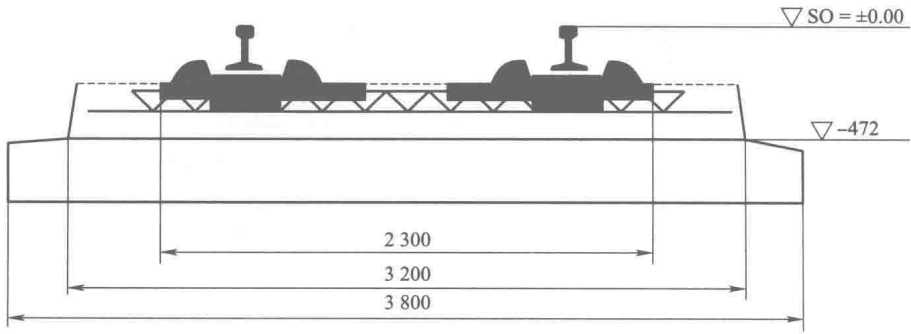


图 1-6 Rheda-2000 型无砟轨道结构(单位:mm)

### 3. 法国高速铁路弹性支承块式(LVT)无砟轨道

LVT 型无砟轨道是在双块式轨枕(或两个独立支承块)的下部及周围设橡胶套靴,在块底与套靴间设橡胶弹性垫层,而在双块式轨枕周围及底下灌注混凝土而成型,为减振型轨道。其最初由 Roger Sonneville 提出并开发。瑞士国铁于 1966 年在隧道内首次试铺。法国开发的 VSB—STEDET 系轨道也属此类,在地下铁内使用居多。1993 年开通运营的英吉利海峡两单线隧道内全部铺设独立支承块式 LVT 型轨道(图 1-7)。目前,LVT 轨道的铺设总长度约 360 km。

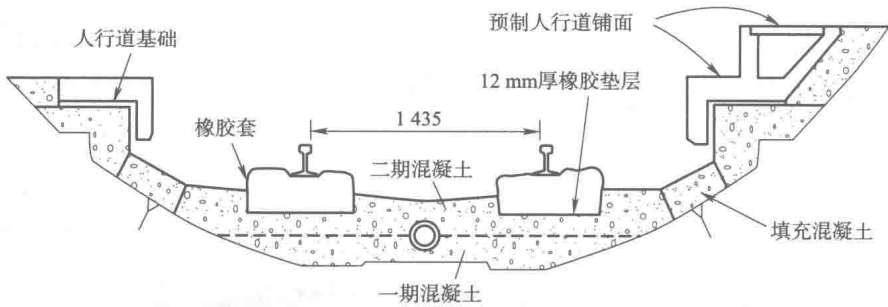


图 1-7 英吉利海峡隧道内的 LVT 型轨道结构(单位:mm)

### 4. PACT 型(Paved Concrete Track)

PACT 型无砟轨道为就地灌注的钢筋混凝土道床(图 1-8),钢轨直接与道床相连接,轨底与混凝土道床之间设连续带状橡胶垫板,钢轨为连续支承。英国自 1969 年开始研究和试铺,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 80 km。

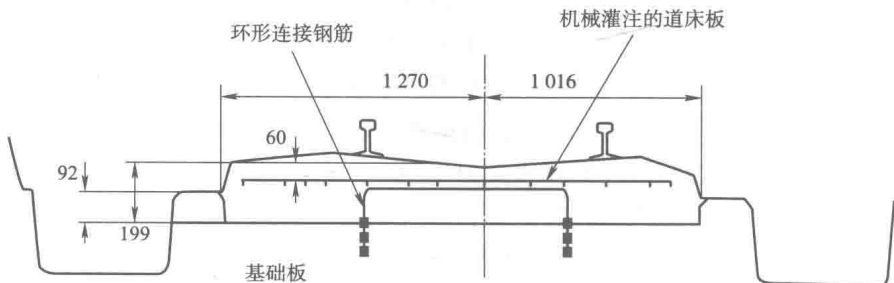


图 1-8 PACT 型无砟轨道(单位:mm)

## (二)我国常用的无砟轨道结构

### 1. 单元板式无砟轨道

板式轨道已成为国外高速铁路运用比较成熟的一种轨道结构形式,如图 1-9 所示。具有坚固耐用,变形小,平顺性好,少维修等特点。日本新干线已将其定为标准型而广泛使用。目前我国也在沪宁、哈大、哈齐设计铺设了这种轨道。板式轨道也是城市轻轨青睐的轨道形式之一。

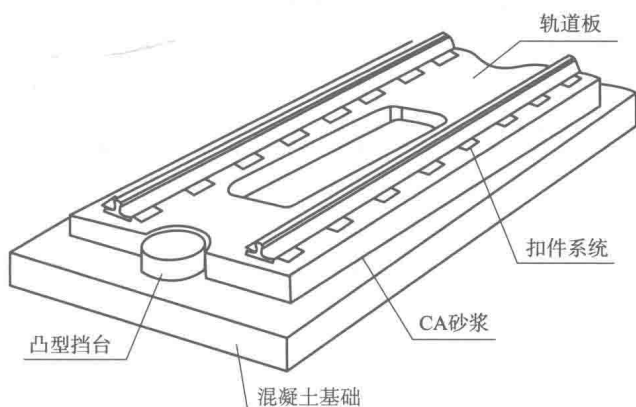


图 1-9 单元板式无砟轨道结构组成

板式轨道的组成有钢轨与扣件、轨道板、水泥沥青(CA)砂浆垫层、混凝土凸形挡台以及混凝土底座等。一般多铺设于具有坚实基础隧道内和高架桥上。

一般轨道板的尺寸为  $493\text{ cm} \times 240\text{ cm} \times 19\text{ cm}$ ,每一标准  $25\text{ m}$  长的轨道配置 5 块轨道板,板间留有  $7\text{ cm}$  的调整缝和伸缩缝,每块板上布置 9 对扣件。板的两端各留有半径为  $30\text{ cm}$  的半圆缺口,与设置在混凝土基床上的凸形挡台相嵌合,以阻止轨道板的纵横向移动。轨道板上还设有定位螺母、起吊螺母、砂浆注入孔等,以满足施工要求。

CA 砂浆由乳化沥青、水泥、砂、水及外加剂按比例拌和而成,具有一定的强度和弹性,起缓冲减振作用。

圆形混凝土凸形挡台是为了控制轨道板的纵、横向移动,其位置设在混凝土基床上,且在轨道板两端的中间,半径为  $25\text{ cm}$ ,高为  $25\text{ cm}$ 。

混凝土基床作为轨道板的基础,其作用:一是为了在隧道超挖回填和仰拱之间能用混凝土施工;二是为了获得厚度均匀的沥青砂浆垫层,以使轨道弹性均匀;三是为了设置曲线超高。

### 2. 弹性支承块式无砟轨道

弹性支撑块式无砟轨道(图 1-10)主要由轨道与扣件、钢筋混凝土支撑块、橡胶靴套、枕(块)下橡胶垫板、混凝土道床板、隔离层及混凝土底座等组成。弹性支撑块式无砟轨道已用于我国秦岭等长大隧道内。

钢筋混凝土支撑块采用普通钢筋混凝土结构,混凝土强度等级为 C50,按  $8 \times \phi 10$  螺纹钢配筋,顶面尺寸为  $624\text{ mm} \times$

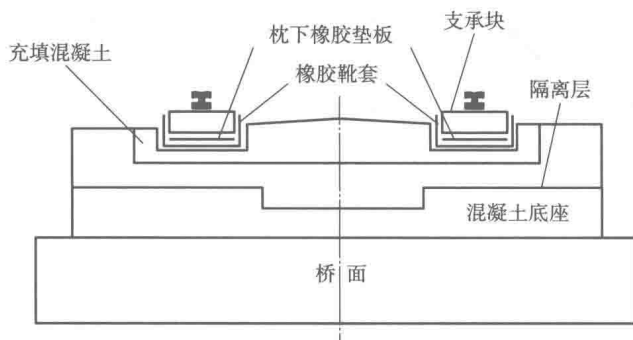


图 1-10 弹性支承块式无砟轨道结构