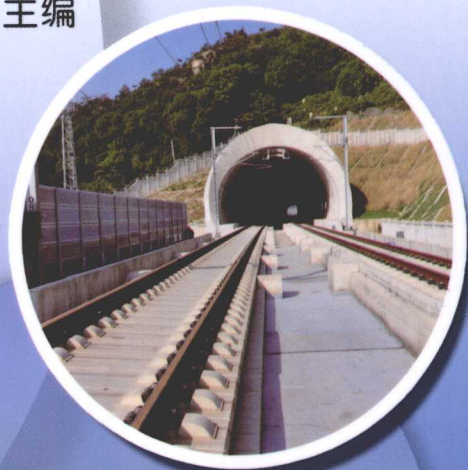


# CRTS II 型板式无砟轨道 砂浆充填层施工技术

● 邓德华 辛学忠 主编

13.2  
08



中国铁道出版社  
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

013034584

U213.2  
08

# CRTS II 型板式无砟轨道 砂浆充填层施工技术

邓德华 辛学忠 主编

邓德华 辛学忠 谢友均 编著  
元 强 丁任盛 郭建光



U213.2  
08

中国铁道出版社

2013年·北京



北航

C1642238

013034287

## 内 容 简 介

本书的编写以编著者的科研成果为基础,结合水泥乳化沥青砂浆充填层现场施工和管理经验,围绕水泥乳化沥青砂浆充填层的施工技术,系统介绍了水泥乳化沥青砂浆的组成与性能、砂浆充填层施工前准备、砂浆充填层施工技术、砂浆充填层常见施工质量问题及对策等,本书可为 CRTS II 型板式无砟轨道结构砂浆充填层的施工和管理人员提供参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

CRTS II 型板式无砟轨道砂浆充填层施工技术/邓德华,  
辛学忠主编;邓德华等编著. —北京:中国铁道出版社,  
2013.4

ISBN 978-7-113-16283-2

I. ①C… II. ①邓…②辛… III. ①高速铁路-无砟  
轨道-板式轨道-砂浆-充填法-工程施工 IV. ①U213.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 057739 号

书 名: CRTS II 型板式无砟轨道砂浆充填层施工技术

作 者: 邓德华 辛学忠 主编

---

责任编辑: 曹艳芳 电话: 010-51873017

编辑助理: 张卫晓

封面设计: 郑春鹏

责任校对: 胡明峰

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: 中国铁道出版社印刷厂印刷

版 次: 2013 年 4 月第 1 版 2013 年 4 月第 1 次印刷

开 本: 787 mm×960 mm 1/16 印张: 7.25 字数: 142 千

书 号: ISBN 978-7-113-16283-2

定 价: 26.00 元

---

### 版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部调换。

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



经过长期系统的科研攻关和工程实践，我国已基本形成了适应我国国情和路情的 CRTS (China Rail Track System) 系列无砟轨道结构体系。其中 CRTS II 型板式轨道结构是我国高速铁路（客运专线）采用的主要轨道结构型式之一，在京津、京沪、石武、杭甬等高速铁路和铁路客运专线中应用，总里程突破了双线 4 000 km。水泥乳化沥青砂浆充填层是 CRTS II 型板式轨道结构的重要组成部分，具有支撑调整、缓冲协调与黏结约束等功能。水泥乳化沥青砂浆具有配制技术难、环境敏感性高、施工要求严等特点。砂浆充填层灌注施工是无砟轨道施工的难点和关键点。砂浆充填层的施工质量不但影响整个无砟轨道结构的施工质量，而且对高速列车运行安全性、平顺性和舒适性以及无砟轨道结构耐久性有极其重大的影响。

本书编著者承担了铁道部科技司及国家自然科学基金委资助的多项科研课题，对水泥乳化沥青砂浆的组成原理、技术性能及其影响因素、配制和工程应用技术进行了大量系统的研究，并参与了多条铁路客运专线板式轨道结构砂浆充填层施工技术咨询，积累了丰富的水泥乳化沥青砂浆研发、生产、施工和管理经验。本书的编写以编著者的科研成果为基础，结合水泥乳化沥青砂浆充填层现场施工和管理经验，围绕水泥乳化沥青砂浆充填层的施工技术，系统介绍了水泥乳化沥青砂浆的组成与性能、砂浆充填层施工准备、砂浆充填层施工技术、砂浆充填层常见施工质量问题及对策等，为 CRTS II 型板式无砟轨道结构砂浆充填层的施工和管理人员提供参考。

本书编著单位及人员：中南大学邓德华、谢友均、元强，沪昆铁路客



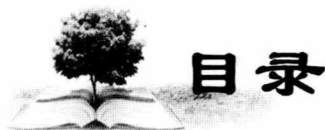
## CRTS II 型板式无砟轨道砂浆充填层施工技术

运专线浙江有限责任公司辛学忠、丁任盛，沪昆铁路客运专线江西有限责任公司郭建光。

中国铁道科学研究院的谢永江、曾志、刘竞，以及中铁四局安徽中铁工程材料有限公司的甄天星、黄玉华、黄海等提供了部分工程化应用的内部资料，编著者深表感谢！

由于编著者水平有限，书中不当之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编者  
2013 年 1 月



|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| <b>第 1 章 概 述</b> .....             | 1  |
| 1.1 高速铁路的轨道结构 .....                | 1  |
| 1.2 日本无砟轨道的发展与应用 .....             | 2  |
| 1.3 德国无砟轨道的发展与应用 .....             | 3  |
| 1.4 我国无砟轨道的发展与应用 .....             | 3  |
| 1.5 CRTS II 型板式无砟轨道 .....          | 4  |
| <b>第 2 章 水泥乳化沥青砂浆的组成与性能</b> .....  | 7  |
| 2.1 水泥乳化沥青砂浆在板式轨道结构中的应用 .....      | 7  |
| 2.2 水泥乳化沥青砂浆的组成材料 .....            | 12 |
| 2.3 水泥乳化沥青砂浆的双组分材料 .....           | 20 |
| 2.4 水泥乳化沥青砂浆的性能 .....              | 25 |
| 2.5 水泥乳化沥青砂浆性能的影响因素 .....          | 29 |
| <b>第 3 章 砂浆充填层施工准备</b> .....       | 33 |
| 3.1 技术准备 .....                     | 33 |
| 3.2 原材料与砂浆搅拌车 .....                | 38 |
| 3.3 水泥乳化沥青砂浆配合比确定 .....            | 46 |
| 3.4 砂浆充填层灌注施工工艺性试验 .....           | 47 |
| 3.5 编制板式无砟轨道及其砂浆充填层施工组织设计 .....    | 50 |
| <b>第 4 章 水泥乳化沥青砂浆充填层施工技术</b> ..... | 53 |
| 4.1 概 述 .....                      | 53 |
| 4.2 水泥乳化沥青砂浆拌制技术 .....             | 55 |
| 4.3 砂浆充填层灌注施工 .....                | 63 |
| 4.4 砂浆充填层施工质量控制措施 .....            | 78 |



|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 第 5 章 砂浆充填层常见质量问题及对策 ..... | 88  |
| 5.1 外观检查的常见质量问题及对策 .....   | 88  |
| 5.2 揭板检查的常见质量问题及对策 .....   | 97  |
| 5.3 提高砂浆充填层施工质量的措施 .....   | 106 |
| 第 6 章 结    语 .....         | 108 |

# 第 1 章

## 概 述

### 1.1 高速铁路的轨道结构

1964 年,世界上第一条高速铁路——日本东海道新干线开通,标志着高速铁路建设进入一个新的发展阶段。继日本之后,德国、法国、西班牙、意大利、瑞典、韩国等国家相继开始兴建高速铁路,各国开始对高速铁路轨道结构型式进行研究。

与普通铁路轨道结构一样,高速铁路轨道结构也由钢轨、扣件、轨枕、道床和道岔等部件组成。这些由力学性质不同的材料制造的各部件共同工作,承受来自高速列车车轮的作用力。钢轨直接承受由机车车辆传来的巨大动力,并传向轨枕;轨枕承受钢轨传来的竖向垂直力、横向和纵向水平力后再将其分布于道床,并保持钢轨正常的几何位置;轮轨间的各种作用力通过轨枕和扣件的隔振、减振和衰减后传递给道床,道床再将作用力传递于路基。因此轨道结构是一个系统,任何一个部件的性能和结构的变化都会影响其他部件的工作环境,并对列车运行质量产生直接的影响。由于列车速度给轨道结构的作用力与其速度的  $n$  次方成正比,因此要求高速铁路的轨道结构比普通铁路轨道结构具有更高的安全性、可靠性和平顺性,而轨道各部件的力学性能、使用性能和结构的整体性能等都比普通轨道部件高得多。

高速铁路轨道结构的主要类型有有砟轨道和无砟轨道。有砟轨道是铁路的传统结构,其道床由散粒碎石(道砟)堆积而成。它具有弹性良好、价格低廉、更换与维修方便、吸噪特性好等优点。但随着行车速度的提高,其缺点也逐渐显现。高速铁路的发展史证明,如果使用有砟轨道系统,会造成道砟粉化严重、轨道破损和变形加剧、线路维修频繁的后果,且其安全性、舒适性和经济性均相对较差。

无砟轨道是以水泥混凝土或沥青基材料取代散粒碎石道床而构成的轨道结构型式,无砟轨道在国内外高速铁路上获得了越来越广泛的应用,并已成为发展趋势。与有砟轨道相比,无砟轨道具有如下技术特点:

(1)采用整体化道床,从根本上克服了有砟道床易变形、粉化、道砟飞溅及需要频繁维修的缺点,轨道稳定性好,线路养护维修工作量显著减少,线路利用率高。

(2)钢轨扣件与整体化道床连接,施工后的轨道状态及几何形位能长久保持,提高





列车运行的安全性、可靠性和平顺性。

(3)耐久性好,延长了使用寿命,在使用期结束时可整体更换。

(4)钢轨刚度均匀性好,能满足高速列车运行舒适性和对轨道高平顺性的要求。

(5)轨道结构高度低、自重轻,可减轻桥梁二期恒载,降低隧道净空。

(6)轨道结构必须建于坚实、稳定、不变形或有限变形的基础上,一旦基础变形下沉超出轨道可调整范围或导致轨道结构损伤等,其修复和整治将十分困难。

(7)振动噪声和初期投资相对较大。

虽然无砟轨道初期工程投资高于有砟轨道,但无砟轨道“高稳定性和少维修”的特点,使无砟轨道生命周期成本低于有砟轨道,并且无砟轨道具有刚度均匀、结构稳定和平顺等优点,使无砟轨道成为世界各国建设高速铁路首选的轨道结构型式。

板式无砟轨道是最主要的无砟轨道结构型式之一,它由现浇混凝土底座板或支承层、水泥乳化沥青砂浆充填层、混凝土轨道板、长钢轨及扣件等部件构成。主要有两种板式无砟轨道结构型式:其一是最先由日本发明并应用于高速铁路的单元板式无砟轨道;其二是由德国博格公司创立的纵连板式无砟轨道。我国在引进、消化、吸收和再创新的基础上,确立为 CRTS I 型板式无砟轨道、CRTS II 型板式无砟轨道和 CRTS III 型板式无砟轨道。

## 1.2 日本无砟轨道的发展与应用

日本无砟轨道研发采用较为统一的模式,其无砟轨道结构型式较为单一。从 20 世纪 60 年代开始针对板式无砟轨道开展系统的理论和试验研究。首先,在既有线和新干线上桥梁和隧道段共铺设了 20 多处近 30 km 的试验段,在土质路基上应用板式无砟轨道同样经历了 30 多年的发展历程,开展了大量的室内外试验研究工作。1968 年提出 RA 型板式无砟轨道,并在铁道技术研究所进行性能试验。20 世纪 70 年代,日本将板式无砟轨道作为铁路建设的国家标准进行推广,从而得到了广泛应用。20 世纪 90 年代初,提出用混凝土道床代替沥青混凝土道床的结构方案,并用普通 A 型轨道板取代 RA 轨道板,实现板式无砟轨道结构的统一型式——单元板式无砟轨道。为了适应东北、上越新干线的寒冷地区,又研制出双向预应力结构轨道板,后来为了节省投资,在标准 A 型轨道板的基础上,研制出框架式轨道板。到目前为止,其板式无砟轨道累计铺设里程达到 2 700 多 km。另外,日本铁道综合技术研究所基于普通的钢筋混凝土轨枕、法国式的双块式轨枕、普通板式轨道、框架型板式轨道等 4 种轨下基础型式开发了梯子形无砟轨道。该结构在美国的 FAST 线上进行了试验,取得了成功,在日本的城市轨道交通领域已经开始使用。



### 1.3 德国无砟轨道的发展与应用

德国铁路于20世纪60年代末开始进行无砟轨道的研究。首先在希尔赛德车站试铺了3种型式的无砟轨道结构,随后又在雷达车站和奥尔德车站试铺了2种型式的无砟轨道结构,1977年又在慕尼黑试验线试铺6种型式的无砟轨道结构。1959~1988年是德国无砟轨道的试铺期,共铺设无砟轨道36处,累计21.6 km。在此期间先后在土质路基、高架桥及隧道内试铺了各种混凝土道床和沥青混凝土道床的无砟轨道。经过不断改进、优化和完善,形成了德国铁路的无砟轨道结构系列、比较成熟的技术规范和管理体系,研制了成套的施工机械设备和工程质量检测设备,为无砟轨道在德国铁路建设中推广应用创造了良好的条件。20世纪90年代后期在新建高速铁路线上,特别是客货混运的线路上,有砟轨道的道砟呈现明显的磨损粉碎而发白的现象,养护维修工作量显著增加。促进了德国铁路部门推广应用无砟轨道。

经过几十年的开发和研究,德国已经成功研发了雷达型、博格板型、旭普林型、Berlin型、ATD型、Getrac型、BTD型、SATO型、FFYS型、Walter型、Heitkamp型等十几种无砟轨道结构型式。目前,德国主要应用的无砟轨道结构型式有博格板式、雷达型、旭普林型3种无砟轨道结构型式。雷达型无砟轨道是以1972年铺设于德国比勒菲尔德—哈姆铁路的雷达车站而命名的,经过不断优化,由雷达普通型发展到雷达2000型、雷达柏林型,目前德国有50%以上的高速铁路采用的是雷达型无砟轨道,英国、法国、印度、荷兰、韩国以及我国台湾省和大陆地区都引进和采用了德国雷达型无砟轨道技术。旭普林型无砟轨道是1974年开发铺设在科隆—法兰克福高速铁路上发展起来的,其结构与雷达型无砟轨道相似,都是在水硬性混凝土承载层上铺设双块轨枕埋入式无砟轨道,只是施工工艺不同。该结构型式使用不多,除德国本土外,我国郑西客运专线采用了旭普林无砟轨道结构型式。博格板式无砟轨道是通过优化改进,1979年在卡尔斯费尔德—达豪铁路铺设的一种板式无砟轨道而形成的,已用于德国纽伦堡—英戈尔施塔特高速铁路,设计速度330 km/h,运营速度300 km/h,线路长度为89 km,其中无砟轨道75 km(含全部25.6 km的隧道和475 m的桥梁区段)。截止2003年,德国铁路无砟轨道铺设总长度超过600 km。

### 1.4 我国无砟轨道的发展与应用

我国于20世纪60年代开始对无砟轨道进行研究,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、整体灌注式等整体道床以及框架式沥青道床等多种型式。无砟轨道开发初期,在成昆线、京原线、京通线、南疆线等长度超过1 km的隧道



内铺设支承块式整体道床,总铺设长度约 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。1995 年开始对弹性支承块式无砟轨道展开研究,并得到推广应用。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;以后又陆续在宁西线(南京—西安)、兰武复线、宜万线、湘渝线等隧道内及城市轨道中得到广泛应用,累计铺设弹性支承块式无砟轨道近 200 km。在国家科技攻关专题“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 种无砟轨道结构型式及其设计参数;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。1999 年在秦沈客运专线沙河特大桥开始试铺长枕埋入式无砟轨道,在渝怀线鱼嘴 2 号隧道进行了试铺;同年,在秦沈客运专线狗河特大桥直线和双河特大桥曲线上开始试铺板式轨道,在赣龙线枫树排隧道也进行试铺验证。经过 40 多年的无砟轨道的理论研究、室内模型试验、桥上和隧道内试验段铺设,取得了一系列的研究成果。通过实践,我们在无砟轨道的结构设计、施工方法、轨道基础技术等方面积累了宝贵的经验,为进一步发展无砟轨道技术打下了坚实的基础。2004 年开展了遂渝线无砟轨道综合试验段关键技术研究,通过引进、消化吸收和再创新,掌握无砟轨道的关键修建技术,致力于打造具有中国自主知识产权的高速铁路。2005 年开始京津城际 CRTS II 型板式无砟轨道的建设,2008 年建成通车,目前运营状况良好。随后,我国进入板式无砟轨道建设的高潮期,开始了京沪、哈大、京石武、广珠、广深港、杭甬、杭长等高速铁路和客运专线板式无砟轨道结构的建设。

经过长期系统的科研攻关和现场实践,我国已形成了适应我国国情和路情的 CRTS(China Rail Track System)系列无砟轨道结构体系,主要有以下几种型式:

- (1) CRTS I 型板式无砟轨道;
- (2) CRTS II 型板式无砟轨道;
- (3) CRTS III 型板式无砟轨道;
- (4) CRTS I 型双块式无砟轨道;
- (5) CRTS II 型双块式无砟轨道。

## 1.5 CRTS II 型板式无砟轨道

### 1.5.1 结构组成

CRTS II 型板式无砟轨道结构通常由 60 kg/m 钢轨、WJ-8C 型扣件、预制轨道板、



水泥乳化沥青砂浆充填层(简称砂浆充填层)和混凝土底座板或支承层等部件组成。其轨道结构高度为:钢轨(176 mm)+扣件、承轨台(73 mm)+轨道板(200 mm)+砂浆充填层(30 mm)+支承层(300 mm)或底座板(200 mm)=轨道高度(779 mm 或 679 mm)。轨道板、底座板或支承层为纵向连续结构,整体性和稳定性好。板式无砟轨道混凝土结构设计使用年限不小于 60 年。图 1-1 和图 1-2 是桥梁无砟轨道结构曲线段和直线段横断面图。

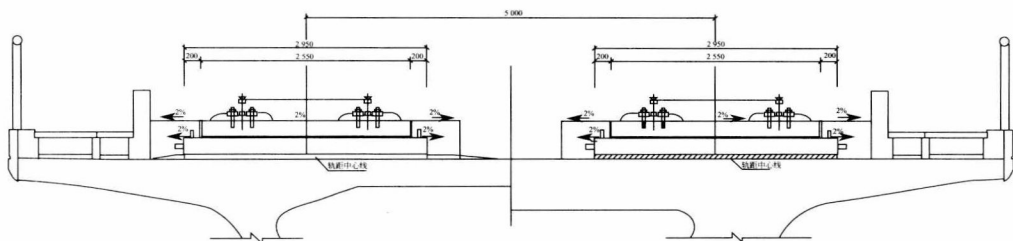


图 1-1 桥上 CRTS II 型板式无砟轨道结构横断面(超高=0)(单位:mm)

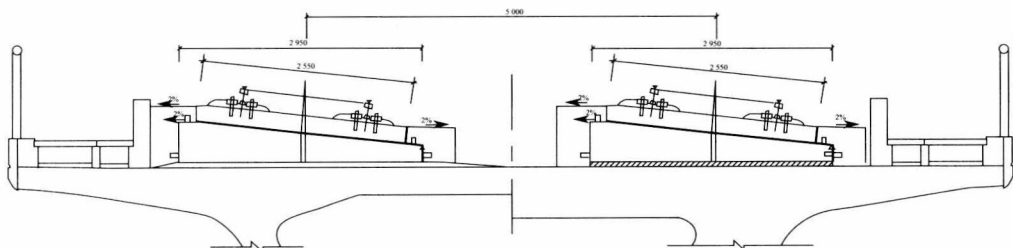


图 1-2 桥上 CRTS II 型板式无砟轨道横断面(超高=175 mm)(单位:mm)

CRTS II 型轨道板采用强度等级为 C55 的混凝土工厂化预制生产,根据用途不同,有标准板、特殊板和补偿板,标准板尺寸为 6 450 mm×2 550 mm×200 mm,单块板重约 8.6 t,轨道板横向布置预应力筋,纵向配置 6 根精轧螺纹钢用于轨道板的纵向连接。每块轨道板具有十对承轨台,承轨台之间设置 V 形槽用于控制轨道板的开裂。轨道板上预留三个直径为 16 cm 的孔,中间孔为灌注孔,用于水泥乳化沥青砂浆的灌注,两端的孔为观察孔,用于观察新拌砂浆的灌注状态。

混凝土底座板或支承层分别采用强度等级为 C30 和 C15 的混凝土现浇成型。

### 1.5.2 砂浆充填层

CRTS II 型板式轨道结构中的砂浆充填层是由水泥乳化沥青砂浆灌注成型的,将新拌水泥乳化沥青砂浆灌入底座板或支承层和轨道板之间的封边空腔中,凝结硬化后



形成砂浆充填层,如图 1-3 所示。

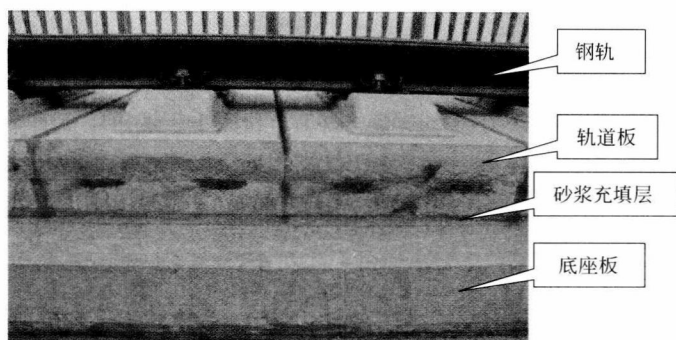


图 1-3 CRTS II 型板式无砟轨道结构砂浆充填层

### (1) 砂浆充填层的功能

砂浆充填层作为 CRTS II 型板式无砟轨道结构中的重要组成部分,对轨道结构的平顺性、耐久性、列车运行的舒适性、安全性和运营维护成本有重大影响,其主要功能有:

1) 支撑调整: CRTS II 型板式轨道底座板(支承层)施工完成后,将轨道板置于底座板(支承层)上,通过精调,将轨道板承轨台标高调节至设计范围,精度为 mm 级;随后,将轨道板与底座板(支承层)之间的空腔封边,灌入新拌水泥乳化沥青砂浆,硬化后形成砂浆充填层支撑起轨道板。轨道板与底座板(支承层)之间空腔的高度,即砂浆充填层厚度为承轨台标高的控制起调整作用。

2) 缓冲协调: 由于砂浆充填层含有较多的沥青材料,从而为板式无砟轨道结构提供减振消能的作用,并对轨道结构提供一定的变形协调作用。

3) 黏结约束: 新拌砂浆灌入轨道板与底座板(支承层)之间形成的空腔,凝结硬化后,与轨道板及底座板(支承层)产生一定的黏结力,对轨道板的空间位移起到一定约束作用。

### (2) 充填层用砂浆性能指标确定原则

板式无砟轨道结构用垫层砂浆的技术性能指标确定原则有 3 个方面:

- 1) 砂浆有很好的工作性,满足灌注施工、充盈饱满的要求;
- 2) 砂浆的物理力学性能须满足轨道动力学理论和功能要求;
- 3) 砂浆的耐久性应满足使用环境条件的要求。

## 第 2 章

# 水泥乳化沥青砂浆的组成与性能

水泥乳化沥青砂浆(Cement Emulsified Asphalt Mortar)是由乳化沥青、水泥和水混合形成的复合胶凝浆料,再加入砂和适当添加剂,拌和而成的一种有机-无机复合砂浆。

国内外有关水泥-沥青复合材料的研究较少,公开发表的文章较少见到,只有一些相关专利文献。早在 1926 年,美国人发明由沥青与水泥作为复合胶凝材料制备水泥沥青板,并取得专利(US1589512)。该专利采用的是沥青而不是乳化沥青,先将沥青与硅酸盐水泥热拌混合成均匀的水泥沥青混合物,然后将这种混合物与热水泥浆混合成水泥沥青浆体,再采用辊压或注模工艺制成板材或片材,用作韧性防水材料。在 1932 年的美国专利(US1889437)中,采用了乳化沥青制备水泥乳化沥青砂浆及其制品(如路面板、地板等),其沥青体积含量达到 50%。该专利文献还指出,制备的水泥乳化沥青砂浆及其制品的性能不但与组分材料的性能有关,而且还与拌和过程中各组分材料的加料方式有关。

## 2.1 水泥乳化沥青砂浆在板式轨道结构中的应用

### 2.1.1 日本的应用情况

20 世纪 60 年代,日本最先研发并采用水泥乳化沥青砂浆(Cement Emulsified Asphalt Mortar,简称 CA 砂浆)作为其板式无砟轨道结构中的弹性垫层材料,大范围推广应用始于 1975 年开通运营的山阳新干线西段。经过多年的研究与应用实践,日本形成了由预制轨道板(含平板和框架板)、CA 砂浆垫层、混凝土底座、凸形挡台等构成的单元板式无砟轨道结构,如图 2-1 所示。

20 世纪 70 年代以来日本人获得了 10 多项专利,如:JP2005179554、JP9086993、JP2001164152、JP2000159558、JP55069651、US3867161、US5223031、US4084981 等。这些专利技术涉及 CA 砂浆的组成、制备方法、性能及其改善方法、施工方法和用于制备 CA 砂浆的沥青乳液,以及 CA 砂浆的修补材料与方法等各方面。

单元板式轨道结构中采用 CA 砂浆的主要目的:一是可提供无砟轨道结构弹性;二

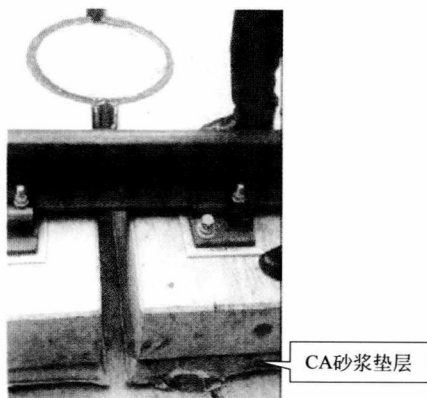


图 2-1 日本的 Shinkansen 板式无砟轨道应用现场照片

是可填满轨道板与混凝土底座的间隙；三是在下部结构变形至某一限度时可进行修补，以保证轨道结构的平顺性。日本 CA 砂浆的性能指标要求见表 2-1。

表 2-1 日本 CA 砂浆和德国 BZ 砂浆的主要性能指标

| 序号 | 性能                      |      | 日本 CA 砂浆  | 德国 BZ 砂浆                                             |
|----|-------------------------|------|-----------|------------------------------------------------------|
| 1  | 施工温度(℃)                 |      | 5~30      | 5~35                                                 |
| 2  | 流动度                     |      | 16~26 s   | $a_5 \geq 300 \text{ mm}, t_{300} \leq 18 \text{ s}$ |
| 3  | 分离度(%)                  |      | <3        | 目测                                                   |
| 4  | 含气量(%)                  |      | 8~12      | $\leq 10$                                            |
| 5  | 表观密度( $\text{kg/m}^3$ ) |      | $>1\,300$ | $>1\,800$                                            |
| 6  | 抗压强度(MPa)               | 1 d  | $>0.1$    | $>2.0$                                               |
|    |                         | 7 d  | $>0.7$    | $>10.0$                                              |
|    |                         | 28 d | $>1.8$    | $>15.0$                                              |
| 7  | 抗折强度(MPa)               | 1 d  | —         | $\geq 1.0$                                           |
|    |                         | 7 d  |           | $\geq 2.0$                                           |
|    |                         | 28 d |           | $\geq 3.0$                                           |
| 8  | 弹性模量(MPa)               |      | 100~300   | 7 000~10 000                                         |
| 9  | 膨胀率(%)                  |      | 1~3       | $>2$                                                 |
| 10 | 抗冻性                     |      | 300 次冻融循环 | 56 次冻融循环                                             |
| 11 | 耐老化性                    |      | —         | 10 000 次疲劳                                           |
| 12 | 泌水率(%)                  |      | 0         | —                                                    |



日本 CA 砂浆采用材料组分逐一投料方式拌制:先在搅拌机中逐一加入沥青乳液、聚合物乳液、消泡剂和水,再依次加入膨胀剂、水泥、细骨料、引气剂、发泡剂等组分,按不同的搅拌速度进行拌制。

施工工艺主要采用灌注法,灌注在轨道板与混凝土底座间的间隙中。为了提高砂浆的施工效率、耐久性和可维修性,CA 砂浆灌注方式由模注改为袋装灌注。

日本 CA 砂浆的管理工作是由 JR TT(日本铁道建设公团)总负责。JR TT 委托轨道公司组织 CA 砂浆的实施。其中乳化沥青研发、生产由东亚道路公司和日产化学公司完成,其所有权属于 JR TT。CA 砂浆的施工由乳化沥青生产企业牵头进行。培训工作由 JR TT 负责组织。可以说,日本 CA 砂浆的生产和施工基本上是由专业化队伍进行实施。

### 2.1.2 德国的应用情况

德国于 1977 年开始板式无砟轨道研究,并于 1999 年在德国客货混运的卡尔斯鲁厄—海德堡之间建成了一段 735 m 长的博格板式无砟轨道直线试验段,此后,又在德国胡苏姆附近的哈特施德特建成了第二条长度为 285 m 博格板式无砟轨道曲线示范段,在 2006 年开通运营的纽伦堡—英戈施塔特高速线上铺设了双线 35 km 的纵连板式无砟轨道。

经德国联邦铁路管理局(EBA)批准许可,上述三个试验段分别采用了 M50a、Hattstedt 和 01 型三种不同配方的沥青水泥砂浆(Bitumen Zement Mortar,简称 BZ 砂浆)作为轨道板与底座板间的垫层材料。前两种砂浆的强度和弹性模量较低(与日本 CA 砂浆相近),在纽伦堡—英戈施塔特高速线上应用的“01 型”砂浆强度和弹性模量较高。在“01 型”砂浆的基础上,经过不断改进和完善,形成了目前 BZ 砂浆的配方、性能和施工工艺体系。

BZ 砂浆的早期配方中,原材料的种类很多,为了提高施工效率,采用材料组分组合投料方式拌制砂浆:先在搅拌机中依次加入沥青乳液、水、减水剂和消泡剂等组分,再加入由膨胀剂、水泥、细骨料等共混而成的干料,按不同的搅拌速度进行拌制,BZ 砂浆的性能指标要求见表 2-1。

施工工艺采用砂浆封边模腔灌注方式,图 2-2 为德国博格板式无砟轨道现场灌注 BZ 砂浆的施工照片。

虽然 CA 砂浆与 BZ 砂浆的主要组分材料基本相同,但由于设计理念和轨道结构的差异,两种砂浆的性能指标不同(表 2-2),且各具特点:

(1) 在性能方面,CA 砂浆以为轨道结构提供足够的承载能力和一定的弹性为目的,BZ 砂浆在承载的基础上更侧重于轨道板与砂浆之间的半刚性黏接。因此,前者的弹韧性要求高于后者。



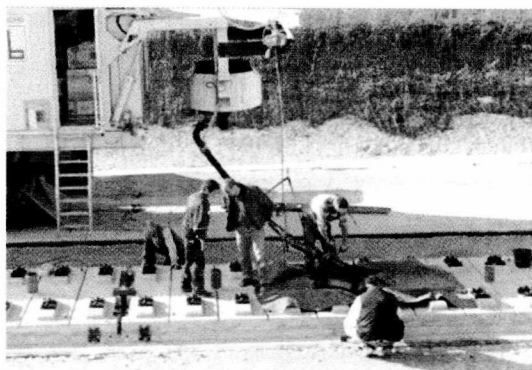


图 2-2 德国博格板式无砟轨道乳化沥青水泥(BZ)砂浆施工现场

表 2-2 CA 砂浆和 BZ 砂浆对比

| 项 目 \ 砂浆类型     | CA 砂浆      | BZ 砂浆        |
|----------------|------------|--------------|
| 应用起始时间         | 1975 年     | 2003 年       |
| 运营里程(km)       | 2 600      | 71.3         |
| 维修技术           | 有          | 无            |
| 弹性模量(28 d,MPa) | 100~300    | 7 000~10 000 |
| 抗压强度(28 d,MPa) | $\geq 1.8$ | $\geq 15$    |
| 沥青/水泥质量比       | 0.7~0.96   | 0.3~0.35     |
| 投料方式           | 分散投料       | 两组分投料        |
| 灌注袋            | 有          | 无            |
| 可修复性           | 易          | 难            |
| 初期成本           | 稍高         | 稍低           |

(2) 在轨道结构方面,日本板式轨道结构以每块轨道板作为单元,通过凸型挡台对轨道板进行限位,轨道板各自独立,允许 CA 砂浆垫层和轨道板之间有一定限度的纵向滑移;德国博格板式轨道的轨道板之间通过纵向连接成为一体,要求 BZ 砂浆垫层与轨道板有一定的黏接和摩擦力,阻止轨道板发生滑移。

(3) 在组成与经济性方面,CA 砂浆中沥青乳液用量较大,而 BZ 砂浆中沥青乳液用量较少,砂浆垫层厚度较薄,因此,后者用料量较少,成本相对较低。

## 2.1.3 国内研发与应用情况

我国于 20 世纪 70 年代开始了板式轨道结构和水泥乳化沥青砂浆的研究与试应用工作,大致经历了四个阶段:

第一阶段。1979 年 10 月,在北京西北环线军庄一三家店间铺设了 40 m 的水泥沥