

CRTSIII无砟轨道结构中 自密实混凝土研究 现状综述

陈永胜¹, 徐桂弘², 任旭², 曹文泽²

¹中铁十一局集团第三工程有限公司, 湖北 十堰

²贵州理工学院, 贵州 贵阳

Email: 544845365@qq.com

收稿日期: 2021年6月1日; 录用日期: 2021年6月22日; 发布日期: 2021年6月29日

摘要

自密实混凝土相比普通混凝土, 具有流动性能好、不需要振捣等优点, 应用范围广。本文综述了自密实混凝土材料自身性能包括的影响。简单介绍了CRTSIII型板式无砟轨道自密实混凝土的灌注工装、施工质量控制以及CRTSIII无砟轨道层间离缝、伤损研究。最后, 提出了当前研究存在的一些问题和将来的研究方向, 尽管国内外已在自密实混凝土材料的工作性能、力学性能、及其与环境的动、静荷载耦合问题等方面做了大量的研究, 但CRTSIII无砟轨道基础结构动态演化机制缺乏研究。

关键词

自密实混凝土, CRTSIII无砟轨道, 轨道板

Research Review of Self-Compacting Concrete in CRTSIII Ballastless Track Structure

Yongsheng Chen¹, Guihong Xu², Xu Ren², Wenze Cao²

¹China Railway 11th Bureau Group Third Engineering Co., Ltd., Shiyuan Hubei

²Guizhou Institute of Technology, Guiyang Guizhou

Email: 544845365@qq.com

Received: Jun. 1st, 2021; accepted: Jun. 22nd, 2021; published: Jun. 29th, 2021

Abstract

Compared with ordinary concrete, self-compacting concrete has the advantages of good mobility and no vibration, and has a wide range of applications. This paper reviews the effects of the properties of self-compacting concrete material included. This paper introduces the construction quality control of CRTSIII-type ballastless track and the study of CRTSIII ballastless track. Finally, some problems and future research direction are proposed. Although much research has been done in the working performance, mechanical properties and static load coupling with environment, the dynamic evolution mechanism of CRTSIII ballastless track infrastructure is lacking at home and abroad.

Keywords

Self-Compacting Concrete, CRTSIII Ballastless Track, Track Board

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

自密实混凝土(Self Consolidating Concrete, 简称 SCC)是具有“高流动性”、“稳定性”和“均质性”,浇筑时不须要外力振捣,能够在自重作用下流动并布满整个模板空间的混凝土。比普通混凝土,具有流动性能好、不需要振捣等优点,因此极大地拓宽了自密实混凝土的应用范围。

目前针对自密实混凝土的研究大致可分为以下几个方面:

首先是针对混凝土自身材料性能的研究方面,包括:为改善自密实混凝土性能的配合比、提高强度等研究,针对自密实混凝土本身的收缩徐变研究。

其次,是针对添加其他矿物材料或纤维材料,改善自密实混凝土性能方面的研究。如:自密实混凝土中添加钢渣、钢纤维、聚丙烯纤维,甚至有些学者研究添加(土体材料),希望达到改善自密实混凝土的力学性能的目的。

第三,集中在钢管混凝土的研究。因为随着我国基础设施的发展和复杂高层建筑物的需要,钢材和自密实混凝土材料性能互补的结合可以达到良好的效果。

第四,主要是一些现场工程人员,针对具体工程中自密实混凝土现场出现的一些问题或针对某个工程上的需要,而进行的自密实混凝土的研究。

第五,是针对自密实混凝土耐久性能的研究。

第六,是自密实混凝土在高铁、城市轨道交通中的应用。

2. CRTSIII 型板式轨道结构中自密实混凝土

自 2008 年 9 月至今,研究、设计、施工单位联合攻关,研发出了我国拥有自主知识产权的无砟轨道结构——CRTSIII 型板式无砟轨道,CRTSIII 型板式无砟轨道采用路桥隧轨道结构单元、轨道板与自密实混凝土形成复合板结构、利用可调模板进行轨道结构几何形位控制等先进技术,在成灌铁路工程首次成功应用,经优化改进后推广应用于武汉城轨铁路、沈丹、盘营客专、郑徐客运专线、京沈、成贵、

成绵乐等客运专线。

作为轨道板和底座板间的填充层，自密实混凝土起到支持、限位、调整标高等功能，其施工质量决定整个无砟轨道结构运营的安全性与耐久性。由于 CRTSIII 型板式无砟轨道充填层属于狭长的封闭板腔，针对 CRTSIII 型无砟轨道结构自密实混凝土充填层的研究主要集中在：自密实混凝土材料研究、无砟轨道施工质量控制研究、无砟轨道结构动力性能研究和层间离缝伤损研究方面。

首先针对自密实混凝土材料自身性能方面，从近几年的最新文献显示，马昆林[1]等针对 CRTSIII 型板式无砟轨道结构的混凝土材料碳化性能，进行了试验测试。中国铁道科学研究院谭盐宾[2]等针对充填层的封闭结构空间和承载功能，并结合设计和无砟轨道结构对自密实混凝土的要求，制备了 C30、C40 和 C50 三种强度等级自密实混凝土，进行体积稳定性试验、氯离子渗透试验和单边冻融试验，研究其工作性能、体积稳定性和耐久性能。李林香[3] [4]等针对自密实混凝土坍落扩展度、含气量和胶凝材料用量对自密实混凝土与轨道板粘接性能的影响。黄法礼[5]从提升自密实混凝土稳健性，确保施工质量，研究原材料、配合比及搅拌机制等关键参数对自密实混凝土剪切作用下流变行为的影响。

徐文[6]等基于高分子聚合物结构设计及调控原理，研发了一种高稳健性聚羧酸减水组分 PCA-W，利用该减水剂制备的新拌水泥基材料对用水量、含泥量波动，以及外界机械扰动等具有最高的稳健性，尤其适用于敏感性强的高速铁路 CRTSIII 型板式无砟轨道自密实混凝土，并在郑徐客运专线得到了成功应用。

楚立署、陈艳朋[7] [8]等通过对时速 350 km 京沈客运专辽宁段 TJ-13 标 CRTS III 型板式无砟轨道自密实混凝土配合比设计及施工，总结了自密实混凝土配合比设计中注意的一些要点。

在 CRTSIII 型板式无砟轨道自密实混凝土的灌注工装、施工质量控制方面，积累了较为丰富的经验，相关现场施工研究较为丰富。李化建，谭盐宾[9]等结合自密实混凝土在我国高速铁路中的应用，讨论自密实混凝土充填层施工工艺流程，从原材料控制、灌注漏斗、轨道板扣压装置和模板装置方面开展灌注工装研究；从轨道板腔湿润工艺、自密实混凝土灌注工艺改进和拆模与养护方面开展灌注工艺研究。陈孟强[10]针对自密实混凝土充填层设计特点及技术难点，研究了具有灌注施工性好、体积稳定性好、低弹性模量和高耐久性等特点的自密实混凝土配合比设计技术，以及“先铺轨道板，后灌混凝土；逐块板精调，逐块板灌注”和“每块板一次连续灌注成形”的自密实混凝土灌注施工技术。

李昌、宁戴、邢雪辉等[11] [12]通过试验研究，进行轨道板封边固定及排气孔、灌浆口位置选择，灌注漏斗、轨道板扣压装置和模板装置方面开展灌注工装研究，研究轨道板自密实混凝土灌注工艺、精调支座拆除时间等，从一定程度上有效控制混凝土施工缺陷。

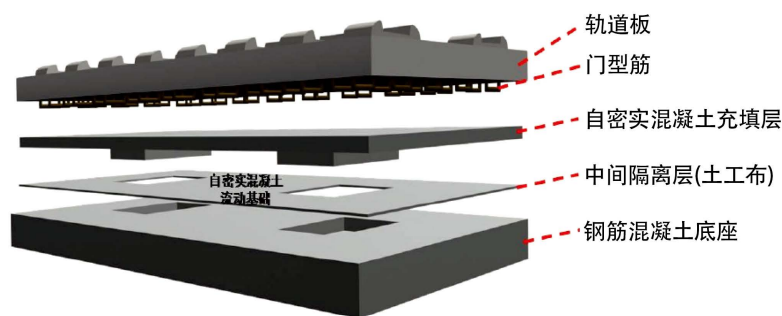


Figure 1. Self-compacting concrete flow foundation
图 1. 自密实混凝土流动基础

史升亮、谭盐宾、孙彬[13] [14] [15] [16] [17]等介绍底座板浇筑、轨道板精调、自密实混凝土灌注(做法构造见图 1)等关键工序控制要点，为类似工程提供施工参考。从 CRTS III 型板式无砟轨道复合结构特

点出发,针对充填材料的特殊要求、自密实混凝土性能指标、施工关键工艺等关键工序控制进行了研究。

李季佩等[18]以沈阳至丹东铁路客运专线 TJ-3 标段四工区 CRTS III 型板式无砟轨道自密实混凝土的施工为例,通过对自密实混凝土配合比优化设计和施工控制,解决了混凝土灌注轨道板上浮问题,且通过不同的施工条件下采用不同的灌筑方式,解决了沿线路、桥、隧工点分散,施工交叉严重等复杂环境条件下自密实混凝土灌注施工的难题。

针对无砟轨道在列车循环荷载作用下结构动力性能方面的研究,目前相对比较匮乏。何燕平[19]基于有限元方法和疲劳损伤理论,对 CRTSIII 型板式无砟轨道结构的疲劳特性进行了初步的分析。王成晓[20]以武汉城市圈城际铁路为依托工程,建立了 CRTS III 型板式无砟轨道空间耦合静、动力学计算模型,对轨道结构选型的相关因素进行了研究。刘伟斌[21]等学者针对复合轨道板自密实混凝土的收缩应力、温度翘曲应力及复合轨道板动应力等进行了一系列试验研究。

吕天航[22]利用包含板边离缝的 CRTSIII 型板式无砟轨道-路基系统实尺模型和落轴试验车,开展了不同落轴高度的落轴冲击试验,测量统计了 CRTSIII 型板式轨道板边离缝的几何分布特征,并开展了落轴冲击试验研究,测试了落轴冲击荷载作用下离缝区域轨道-路基结构的垂向位移、速度、加速度、动应力等相关振动响应时程曲线,得到了不同加载工况下轨道和路基结构离缝区域处各点的耦合动力响应的时空分布规律。

在 CRTSIII 无砟轨道层间离缝、伤损研究方面,刘恒辉、杨政、洪康、刘学毅等[23] [24] [25],基于现场调查,针对 III 型板式轨道伤损特征进行了总结,其伤损主要有预应力钢棒断裂窜出、自密实混凝土层与支承层/底座板或轨道板间离缝冒浆、承轨台挡肩裂纹等。从混凝土层裂结构理论和新老混凝土粘界面薄弱等方面,初步阐述了离缝的成因。建立 III 型板式轨道静力学分析模型,针对不同位置和长度的层间离缝对轨道结构受力的影响进行研究。刘少飞[26]针对 CRTSIII 型板式无砟轨道结构轨道板与自密实混凝土层之间的离缝问题,建立有限元模型,分析在温度、自密实混凝土收缩、列车荷载和基础变形作用下的层间受力情况。王继军等[27]针对现浇道床开裂、沥青砂浆充填层与钢筋混凝土主体结构寿命不匹配、连续结构温度变形等问题,进行了分析。蒋付林[28]结合郑徐铁路客运专线无砟轨道出现的底座板裂纹、自密实混凝土离缝,对修补材料进行了研究,提出修补措施。

除此外,有关 CRTSIII 型无砟轨道的研究,针对门型钢筋的合理布置研究,全毅、刘学毅[29]等针对 CRTSIII 型板式轨道结构特点,建立包含钢轨、轨道板、门型连接钢筋、自密实混凝土和混凝土底座的轨道结构受力分析模型,分析不同荷载作用下层间离缝位置和长度对门型筋受力和连接效果的影响。

3. 存在的问题和研究展望

综上国内外研究现状所述,尽管国内外已在自密实混凝土材料的工作性能、力学性能、及其与环境的动、静荷载耦合问题等方面做了大量的研究,但是 CRTSIII 无砟轨道基础结构动态演化机制仍缺乏研究。

在无砟轨道动态性能演变与失效机理研究方面,针对我国无砟轨道结构疲劳荷载与环境荷载耦合作用机制,开展无砟轨道结构累积损伤演变过程及其破坏形态的理论与试验,确定列车疲劳荷载作用下 SCC 部件的动态力学性能本构关系和破坏临界值;列车疲劳荷载与多种不利因素耦合重复作用下 SCC 部件动态性能的演变和劣化行为;确定层间失效、结构损伤开裂、疲劳裂纹扩展等结构安全服役限值,目前还缺乏系统研究。

基金项目

国家自然科学基金(51868009),贵州省科技厅基金项目(黔科合基础-ZK[2021]一般 296),贵州理工学院高层次人才科研启动基金。

参考文献

- [1] 马昆林, 龙广成, 谢友. CRTSIII 型板式无砟轨道充填层自密实混凝土碳化及力学性能演变的研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2012, 9(6): 42-48.
- [2] 谭盐宾, 谢永江, 李化建, 李林香, 易忠来. 高速铁路 CRTSIII 型板式无砟轨道自密实混凝土性能研究[J]. 铁道建筑, 2015(1): 132-135.
- [3] 李林香, 谭盐宾, 李化建, 谢永江, 冯仲伟. CRTSIII 型板式无砟轨道用自密实混凝土粘接性能研究[J]. 铁道建筑, 2015(1): 137-140.
- [4] 李林香, 谭盐宾, 李化建, 谢永江. CRTSIII 型板式无砟轨道用低胶凝材料用量自密实混凝土的制备与性能[J]. 铁道建筑, 2016(1): 84-89.
- [5] 黄法礼. CRTSIII 板式无砟轨道自密实混凝土剪切作用下的流变行为研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国铁道科学研究院, 2016.
- [6] 徐文, 杨勇, 刘金枝, 蒋金洋. 高速铁路 CRTSIII 型板式无砟轨道自密实混凝土高稳健性减水剂研发与应用[J]. 混凝土, 2016(1): 153-155+160.
- [7] 楚立署, 杨卫华, 史雨. CRTSIII 型板式无砟轨道自密实硅配合比设计及施工技术研究[J]. 铁道建筑, 2017(1): 112-116.
- [8] 陈艳丽, 刘赫, 龙广成, 谢友均. CRTSIII 型板式轨道结构充填层自密实混凝土拌合物稳定性测试方法及评价[J]. 混凝土, 2017(11): 145-148+153.
- [9] 李化建, 谭盐宾, 谢永江, 易忠来. 自密实混凝土的特点及其在高速铁路中的应用[J]. 铁道建筑, 2012(8): 143-146.
- [10] 陈孟强. CRTSIII 型板式无砟轨道自密实混凝土施工关键技术[J]. 高速铁路技术, 2013, 4(5): 35-39.
- [11] 李昌宁, 戴宇, 高健. CRTSIII 型板式无砟轨道自密实混凝土揭板试验及质量控制研究[J]. 高速铁路技术, 2015, 6(5): 30-33.
- [12] 邢雪辉. CRTSIII 板式无砟轨道自密实混凝土灌注工装浅析[J]. 中小企业管理与科技(下旬刊), 2016(3): 94.
- [13] 史升亮. CRTSIII 型板式无砟轨道结构技术研究[J]. 铁道建筑, 2017(1): 118-120.
- [14] 谭盐宾, 谢永江, 杨鲁, 李林香. CRTSIII 型板式无砟轨道自密实混凝土技术研究与应用[J]. 中国铁路, 2017(8): 21-26.
- [15] 孙彬, 陈继娇. CRTSIII 型板式无砟轨道自密实混凝土施工技术[J]. 施工技术, 2015, 44(S2): 303-308.
- [16] 李怀甫. CRTSIII 型板充填层自密实混凝土施工质量控制探讨[J]. 科技创新导报, 2017, 14(20): 72+74.
- [17] 彭航行. CRTSIII 型板式无砟轨道自密实混凝土施工技术[J]. 绿色交通, 2017(8): 206-207.
- [18] 李季佩. CRTSIII 型板式无砟轨道自密实混凝土施工技术[J]. 佳木斯大学学报(自然科学版), 2016, 34(3): 368-343.
- [19] 何燕平. CRTSIII 型板式无砟轨道疲劳特性研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2011.
- [20] 王成晓. CRTSIII 型板式无砟轨道力学特性研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2011.
- [21] 刘伟斌, 王继军, 江成, 王梦, 赵勇. 高速铁路 CRTSIII 型板式无砟轨道复合轨道板受力特性研究[J]. 铁道建筑, 2017(1): 30-33+75.
- [22] 吕天航. 板边离缝对 CRTSIII 型轨道 - 路基系统动力特性影响研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2017.
- [23] 刘宜辉. 低等级粉煤灰自密实混凝土的研究[J]. 混凝土世界, 2017(4): 99-102.
- [24] 陈勇. 自密实混凝土工作特性研究[J]. 佳木斯职业学院学报, 2017(9): 494.
- [25] 高小建, 孙博超, 叶焕, 王子龙. 矿物掺合料对自密实混凝土流变性能的影响[J]. 吉林大学学报(工学版), 2016, 46(2): 439-444.
- [26] 刘少飞. CRTSIII 型板式无砟轨道层间离缝原因分析[J]. 铁道建筑, 2017(4): 107-109.
- [27] 王继军, 王梦, 刘伟斌, 赵勇. CRTSIII 型板式无砟轨道系统技术[J]. 中国铁路, 2017(8): 11-16.
- [28] 蒋付林. CRTSIII 型板无砟轨道裂纹及离缝修补技术应用[J]. 交通工程, 2017(13): 126-129.
- [29] 全毅, 刘学毅, 杨荣山. CRTSIII 型板式轨道层间离缝下门型筋合理布置研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2016, 13(3): 407-441.