

文章编号:1005 - 0523(2009)04 - 0058 - 05

板式无碴轨道垫层 CA 砂浆研究与进展

徐 健,陈志华,王 凯,杨 洋

(华东交通大学 土木建筑学院,江西 南昌 330013)

摘要:CA 砂浆是板式无碴轨道结构弹性调整层的核心。从板式无碴轨道 CA 砂浆材料物理力学性能、耐久性及耐候性等多方面阐述了其组成、结构及其与性能之间的相互影响,指出当前板式无碴轨道 CA 砂浆的冻融、老化等破坏机理,并提出其防治措施。

关 键 词:板式无碴轨道;CA 砂浆;研究进展

中图分类号:U213.2*42 文献标识码:A

与有碴轨道相比,无碴轨道因具有“几何状态更加稳定、运营维护成本低”等诸多优点,在铁路客运专线中采用板式无碴轨道结构逐渐成为现代高速铁路建设的主流模式和必然趋势。板式无碴轨道由钢轨、预制的轨道板、混凝土底座、混凝土凸形挡台及乳化沥青砂浆弹性调整层等组成,其中核心技术的结构弹性调整层为 CA 砂浆垫层(cement asphalt mortar,简称 CA 砂浆),给轨道提供合理的强度、弹性、耐久性和便于维修作业^[1~4]。所谓 CA 砂浆是一种由水泥、沥青乳液、细骨料(砂)、混合料、添加剂等多种原材料组成,经水泥水硬化与沥青破乳胶结共同作用而形成的一种新型有机无机复合材料,填充于轨道板与混凝土道床之间厚度约 50 mm 的扁平状空间内(见图 1)。在板式无碴轨道结构中,CA 砂浆主要起到支承轨道板、缓冲高速列车荷载与减振等作用,其性能的好坏对板式无碴轨道结构的平顺性、耐久性和列车运行的舒适性与安全性以及运营维护成本等有着重大影响。

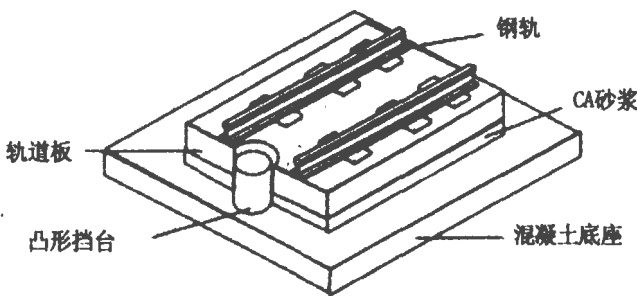


图 1 板式无碴轨道结构

1 CA 砂浆的研究进展

日本铁路自 1965 年开始研究以少维修为目标的板式无碴轨道,经在全国新干线高速铁路上的几处试铺,1970 年在山阳新干线初次大量施工取得成功。在研究中作为板式轨道结构的关键技术——弹性调整层材料(CA 砂浆)得到了广泛应用。经过 30 多年的试验研究和试铺,日本铁路积累了丰富的实践经验,近年来又根据其不同的使用条件,如:温暖地区、寒冷地区、海岸线、减振区段、现场修补等,开发出各种不同的 CA 砂浆配方与填充材料,并提出了相应的性能试验方法、施工工艺等,为板式轨道结构在日本新干线的全面推广应用打下了坚实的技术基础。至今日本铁路 CA 砂浆的使用量达到约 40 万 m³ 以上,铺设的

收稿日期:2009 - 03 - 02
基金项目:铁路环境振动与噪声教育部工程中心项目(08TM03)
作者简介:徐 健(1949 -),男,江苏金坛人,教授,研究方向为新型材料在结构工程中的应用。

板式轨道达 2 500 km 以上。

2 CA 砂浆材料组成

无碴轨道在日本于 20 世纪 60 年代在山阳新干线试铺,在德国的技术最为成熟。作为无碴轨道的关键组成部分,目前一些发达国家如日本、德国等,对 CA 砂浆的材料组成已进行过大量的研究与应用。日本开发的 CA 砂浆包括温暖地区用的 CA 砂浆和寒冷地区用的 CA 砂浆^[5](配合比见表 1)。日本东亚道路株式会社制备的 CA 砂浆的主要原材料:水泥、混合材料、A 乳剂(乳化沥青)、P 乳剂(氯丁胶乳)、细砂、铝粉、消泡剂、AE 剂(MNC—AE 型减水型引气剂)、添加水等。

表 1 日本东亚道路株式会社采用的 CA 砂浆配合比

使用地区	水泥 /kg	混合材料 /kg	A 乳剂 /kg	P 乳剂 /kg	细砂 /kg	铝粉 /g	消泡剂 /g	AE 剂 /kg	添加水 /kg
温暖地区	279	31	496	—	620	40	155	7.8	< 78
寒冷地区	284	32	441	63	630	41	158	7.9	< 63

在我国,CA 砂浆在秦沈客运专线上属首次应用,通过试验研究,可为我国今后高速铁路无碴轨道结构发展方向提供一定的理论支持和实践经验。赵东田^[2]等介绍了 CA 砂浆的配方研制;徐伟建、王智勇^[6]通过引入微小气泡,研制出了抗冻型 CA 砂浆的配方;左景奇、姜其斌^[7]等对 CA 砂浆及其专用沥青乳液的配合比进行了研究;结合遂渝铁路试验段,周熙、贺铭^[8]介绍了 CA 砂浆的工程配合比。

3 CA 砂浆的物理力学性能

CA 砂浆物理力学性能指标主要有抗压强度、流动度、可工作时间、膨胀率、分离度、空气含量、弹性模量等,CA 砂浆各组成对其物理力学性能有重要影响。

CA 砂浆的抗压强度与水泥、沥青、砂、水和引气剂等的用量有重要关系。王涛^[9]等采用正交试验分析水泥、沥青乳液和砂对 CA 砂浆强度的影响规律,试验结果表明 CA 砂浆的抗压强度随着水泥用量和砂用量的增加而增加,随着沥青乳液用量的增加而降低,影响 CA 砂浆抗压强度的主次因素依次为水泥用量、沥青乳液用量和砂的用量;王涛^[10]等通过试验研究沥青乳液加料顺序引起 CA 砂浆早期抗压强度不同的原因,研究结果表明,先加沥青乳液对水泥具有较强的缓凝作用,而后加沥青乳液的缓凝作用较弱,这是导致后加沥青乳液能显著提高 CA 砂浆早期抗压强度的根本原因。王涛^[11]通过试验表明,沥青乳液离子类型、颗粒粒径,水泥的用量和品种以及砂的细度模数等对 CA 砂浆的强度具有一定的影响。

CA 砂浆流动度与可工作时间是保证板式轨道 CA 砂浆现场灌注施工质量的重要指标。适宜的流动度对于砂浆的性能与灌注质量非常重要,流动度过大,砂浆材料会出现离析,影响其强度和耐久性;流动度过小,砂浆粘稠,就难以将轨道板与基础间的空隙填充密实,影响其强度和耐久性,直接影响灌注质量^[4]。影响 CA 砂浆流动度的因素很多,在拌和方式、投料顺序定的条件下,流动度随温度、外加剂、主要原材料的配合比、水灰比的变化而不同。CA 砂浆的可工作时间是指 CA 砂浆处于规定的流动度范围内所经历的时间。王涛^[11]通过试验表明,沥青乳液离子类型、颗粒粒径以及水泥的用量和品种对 CA 砂浆的流动度与可工作时间具有一定影响。

CA 砂浆灌注后固化,一般会产生 2~3 mm 的收缩,因此直接影响板底砂浆的填充效果,为此设计中必须考虑在原材料中添加适量的膨胀剂使砂浆产生膨胀。设计中要求 CA 砂浆膨胀率应控制在 1%~3% 之内。膨胀剂种类的不同,其对 CA 砂浆的依时变形特性的影响不同^[12]。在流动度较小,或砂的粒径偏大的情况下,CA 砂浆原材料之间会出现分离、泛浆或沉淀现象,砂浆的强度和耐久性会相应降低。所用细集料的细度模数越大,CA 砂浆的材料分离度也越大,粉煤灰的掺入降低了 CA 砂浆的材料分离度^[11];王发洲^[13]等发明一种复合添加剂,该复合添加剂能很好的阻止 CA 砂浆发生分层离析。

在 CA 砂浆的配制过程中导入适量的微小气泡,可提高在寒冷、积雪地区 CA 砂浆的抗冻性,这种气泡可缓和 CA 砂浆层内的自由水等受冻害膨胀时产生的冻晶压力,根据日本铁路的研究结果,空气量达 9% 以上时,抗冻害性有显著的提高,但若超过 16%,砂浆层的密实度降低,影响其抗压强度。为此,设计中将空气量控制在 9% ~ 12% 范围内。

4 CA 砂浆的耐久性与耐候性

由于自身水灰比大、沥青会老化,以及受外界环境气候影响等,CA 砂浆在实际服役中存在耐久性与耐候性的问题。本文对 CA 砂浆的体积稳定性、抗冻性、耐老化性能、抗化学介质侵蚀性能和耐候性进行了探讨,综述了各种性能的影响因素及其作用规律,为制备高性能 CA 砂浆提供了重要的参考依据。

4.1 体积稳定性

1) 体积变形机理

在没有外在荷载的作用下,CA 砂浆硬化体结构主要有五种体积变形,分别是化学减缩、塑性收缩、自收缩、干燥收缩、温度引起的热胀冷缩。不同组成或处于不同条件的 CA 砂浆,以上各种收缩变形在总的体积变形中所占的比例是不同的。分析占主导作用的收缩变形对于设计高性能 CA 砂浆非常重要,有助于寻求减小 CA 砂浆收缩的技术措施,以保持轨道结构的稳定。

2) 体积变形特性

为保持板式轨道关键材料 CA 砂浆的体积稳定,针对上述引起体积变形的原因,探讨了膨胀剂种类、掺量以及不同养护湿度对 CA 砂浆依时变形特性的影响。文献^[11,14]等研究了膨胀剂种类、掺量和养护湿度对 CA 砂浆依时变形特性的影响。结果表明,铝粉作膨胀剂时,CA 砂浆在 0 ~ 12 h 内膨胀,16 h 后收缩,铝掺量对其硬化后变形基本无影响。U 型膨胀剂对 CA 砂浆 12 h 内的收缩补偿作用较小,20 h 后体积产生明显胀,7 d 时膨胀率最大,后收缩,且其收缩率随膨胀剂掺量增加而降低。

4.2 抗冻性

1) 冻融破坏机理

CA 砂浆处于轨道板与混凝土道床之间厚度约 50 mm 的扁平状空间内,在此空间内 CA 砂浆内部的水分很难排出,为保证砂浆具有适当的流动性以利施工,CA 砂浆的绝对用水量(沥青乳液中的水分和外加水)远高于水泥水化用水,绝对水灰比般在 0.8 以上,造成在水泥水化硬化后期 CA 砂浆内部仍然存在大的游离水,在负温时结冰发生体积膨胀,使 CA 砂浆遭受冻胀破坏。

2) 抗冻性能

通过改善 CA 砂浆的组织结构、减少拌合用水及补偿体积收缩可防止冻害。防止初期冻害主要采取提高 CA 砂浆早期强度、加速凝结时间、适宜的养护条件等方法。具体可采取的措施如下:(1) 优化配合比、改进原材料;(2) 引入一定量的微小气泡;(3) 减少拌合用水;(4) 加强养护。

CA 砂浆的抗冻性随 A/C 值(沥青与水泥的比值)增加而提高,但采用硫铝酸盐水泥(SAC)代替硅水泥(C)制备的 CA 砂浆抗冻性较差,加入橡胶粉(CRB)、聚合物胶粉(P3)、有机纤维(FR)和硅灰(SF)能提高 CA 砂浆的抗冻性能,提高幅度以 CRB 最大,FR 次之,P3 更次之,SF 最小^[11]。

4.3 耐化学介质侵蚀研究

板式轨道结构在实际服役中,CA 砂浆垫层在拆模后将局部暴露于外部环境中,必将受到外部各种化学介质的侵蚀作用,如大气中酸雨的酸性侵蚀,机车行使过程中带来的油性侵蚀等。

王涛^[11]通过将 CA 砂浆浸泡在四种侵蚀介质(酸、碱、盐、油)中一定龄期测试其与对比试样的强度变化,来反映 CA 砂浆对侵蚀介质的抵抗能力。试验结果表明,CA 砂浆具有较好的耐化学介质侵蚀性能,满足最高的耐蚀等级,其中耐机油侵蚀性较耐酸、耐碱和耐盐差。

4.4 耐老化性能研究

CA 砂浆的耐候性是指 CA 砂浆在服役期间,由于沥青组分长时间暴露在光、氧、雨水等自然气候条件

下,会发生一系列的物理化学变化,使其性质发生变化,进而导致CA砂浆性能劣化的过程。

1) 老化机理

沥青是CA砂浆的最重要原材料,其性能的好坏决定了CA砂浆的质量和使用寿命。CA砂浆灌注时受热氧作用,板式无砟轨道建成后受自然因素和交通荷载作用,沥青的技术性能向着不理想的方向发生不可逆的变化即沥青的老化^[12]。依据沥青原样和老化时组成与结构变化认为:沥青的老化是一个缓慢的自氧化过程,在温度或光的作用下沥青分子中活性基团裂解产生自由基,该活性自由基与氧反应进一步转化成氢过氧化物中间体(R—O—O—H)。一方面氢过氧化物中间体不稳定分解转化成含羰基官能团的组分;另一方面沥青分子中的双键在氢过氧化物的作用下可以转化成含羰基的官能团结果。

2) 抗老化机理

引起沥青老化的原因主要是温度,即沥青混合料施工温度。其次是高温保持时间和与空气接触的条件等因素。那么,减轻沥青短期老化的措施就应从以下几个方面入手。为减轻沥青的短期化,可考虑以下几项措施:

(1) 尽可能采用比较低的拌合温度,并严格控制不得超过规范规定的最高拌合温度。同时,应尽可能避免在低温季节施工。(2) 尽量缩短沥青混合料的高温保存时间。特别是对拌和好的沥青混合料避免长时间在热贮料仓存放,还应避免混合料运输距离太长,或因拌合设备生产能力与摊铺设备不匹配造成等料时间过长。(3) 保证足够的摊铺、碾压温度,势必要提高拌合温度,在运输过程中应加盖蓬布,减少与空气的接触。

但是,实践表明,采取工程结构措施有一定效果,但并不能解决根本问题。因此,外掺抗老化剂就成为改进沥青抗老化性能的主要方法。改性沥青能够很好的解决沥青的老化问题,从而提高CA砂浆的耐久性。高性能改性乳化沥青的使用对CA砂浆技术的发展无疑将产生巨大的推动作用^[15]。

5 结 语

(1) 国外已经摒弃了按传统沥青特性3大指标(针入度、延伸度和黏度或软化点)来分级的方法,以面向使用性能的CA砂浆质量检验新概念建设新的标准体系,即用旋转膜烘箱试验(Rolling Thin Film Oven, RTFO)、压力老化烘箱试验(Pressure Aging Vessel, PVA)、动态剪切流变仪试验(Dynamic Shear Rheometer, DSR)、旋转黏度仪试验(Rotational Viscometer, RV)、弯曲梁流变试验(Bending Beam Rheometer, BBR)和直接拉伸试验(Direct Tension Tester, DTT)等6项试验及其相应的指标,检验CA砂浆的质量。因此,有必要对我国铁路公布的CA砂浆质量检验内容作进一步改进。

(2) 板式无砟轨道在使用过程中,CA砂浆垫层不可避免地需要维修,应研究快速、可靠的维修技术,以使板式无砟轨道持续保持良好状态,保证铁路运输安全。

(3) CA砂浆一些长期性能,如在荷载长期反复作用下的稳定性和南方高温下的稳定性温下的稳定性能都需要进一步研究。

参考文献:

- [1] 赵东田,王铁成,刘学毅,等.板式无砟轨道CA砂浆的配制和性能[J].2008,41(7):793-799.
- [2] 赵东田.板式无砟轨道CA砂浆与施工技术研究[D].西南交通大学,2003.
- [3] 金守华,陈秀方,杨军.板式无砟轨道用CA砂浆的关键技术[J].中国铁道科学,2006,28(2):20-25.
- [4] 王效国.板式无砟轨道施工技术[D].西南交通大学,2007.
- [5] 西頭常彦.コンクリートスラブ式轨道の~造解析とその設計にする研究[R].日本:日本道合技术研究所,1977.
- [6] 徐伟建,王智勇.抗冻性CA砂浆性能研究[J].铁道建筑,2003,43(12):66-67.
- [7] 左景奇,姜其斌,傅代正.板式轨道弹性垫层CA砂浆的研究[J].铁道建筑,2005,45(9):96-98.
- [8] 周 熙,贺 铭.乳化沥青水泥(CA)砂浆配合比设计与试验计算[J].公路交通技术,2006,59(3):25-27.
- [9] 王 涛,胡曙光,王发洲,等.CA砂浆强度主要影响因素的研究[J].铁道建筑,2008,48(2):109-111.

- [10] 王 涛,胡曙光,王发洲,刘志超,高 涛,邹进忠. 沥青乳液加料顺序影响 CA 砂浆早期强度的机理研究[J]. 铁道建筑技术, 2008, 48(1): 1-3.
- [11] 王 涛. 高速铁路板式无碴轨道 CA 砂浆的研究与应用[D]. 武汉理工大学, 2008.
- [12] 赫 丹,向 俊,郭高杰,等. 砂浆刚度和阻尼对高速列车一板式轨道时变系统竖向振动的影响[J]. 铁道科学与工程学报, 2006, 3(3): 26-30.
- [13] 王发洲,胡曙光,王 涛,等. 一种可有效防止 CA 砂浆分层离析的复合添加剂[P]. 中国专利: CN1821157, 2006-08-23.
- [14] 胡曙光,王 涛,王发洲. 膨胀剂对 CA 砂浆依时变形特性的影响[J]. 西南交通大学学报, 2008, 55(3): 341-345.
- [15] 江 成,范 佳,王继军. 高速铁路无碴轨道设计关键技术[J]. 中国铁道科学, 2004, 26(2): 43-48.

Research and Progress on CA Mortar of Ballastless Slab Track Cushion

XU Jian, CHEN Zhi-hua, WANG Kai, YANG Yang

(School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: CA mortar is the most important component of flexible adjusting layer of ballastless slab track structure. In terms of the material physical and mechanical properties, durability and weather-durability of ballastless slab track of CA mortar, the paper elaborates its composition, structure and performance of the interaction, and points out the current ballastless slab track of CA mortar of freeze-thaw and aging of the mechanism of destruction, and puts forward the its mechanism and preventing measures.

Key words: ballastless slab track; CA mortar; research progress

(责任编辑:王全金)

(上接第 33 页)

Experimental Study of Absorption Solution of CO₂ Sequestration Using Chemical Absorption

WANG Qiu-hua¹, ZHANG Wei-feng¹, YUAN Ai-jun²

(1. School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China; 2. Hangzhou Lvcheng Xizi Real Estate Group Co., Ltd. Hangzhou 330006, China)

Abstract: The experiments of CO₂ separation from simulative flue gas are studied with the small scale experimental bench. Using different concentrations of aqueous MEA, MDEA and AAAP as absorption solutions, the absorption and regeneration of CO₂ by absorption solution are tested. The results show that the CO₂ absorption ability of aqueous MEA and AAAP are better than that of aqueous MDEA. The regeneration of aqueous MDEA can reach a stabilized state in a short time and aqueous MDEA is better for regeneration than aqueous MEA and AAAP.

Key words: environment engineering; chemical absorption; carbon dioxide; absorption solution

(责任编辑:刘棉玲)