

文章编号: 1674—8247(2018)01—0001—05

CRTS I 型板式无砟轨道砂浆渗水机理及其影响研究

王 涛 贾恒琼 李洪刚 魏 翌 李海燕

(中国铁道科学研究院, 北京 100081)

摘 要:文章针对 CRTS I 型板式无砟轨道砂浆灌注施工时的渗水现象,研究了 CRTS I 型砂浆充填层的渗水机理及其对轨道板上浮、砂浆性能等方面的影响。结果表明:(1)试验小板砂浆渗水时间与环境温度有关,温度高,渗水时间短,但最终渗水率较相近;(2)板下砂浆渗水动力来源于内部铝粉发气产生的膨胀压力,且较高的温度能促进铝粉发气;(3)砂浆渗出水中含固量较少,依时间延长而降低,30 min 后基本稳定;(4)实际工程中砂浆渗出部分水后,其硬化体试样吸水率和电通量大幅降低,均远小于室内模具成型试样,板下砂浆的密实性和耐久性得到显著提升。

关键词:无砟轨道;轨道板;CA 砂浆;渗水;膨胀

中图分类号:U215.4 **文献标志码:**A

Study on Water Seepage Mechanism of CRTS I CA Mortar and Its Effect

WANG Tao JIA Hengqiong LI Honggang WEI Zhao LI Haiyan

(China Academy of Railway Sciences, Beijing 100081, China)

1

Abstract: According to the seepage phenomenon of CRTS I CA mortar in grouting construction, seepage mechanism, influence on slab floating, and mortar properties are studied, the results show that: (1) Seepage time of small-scale model mortar is associated with environmental temperature. The higher environmental temperature is, the shorter seepage time of mortar is, and the final seepage ratios are close in different environmental temperatures; (2) The power of seepage comes from the mortar internal expansion pressure because of aluminum powder forming gas, and the higher temperature can promote the aluminum powder react and form gas; (3) Solid content in seepage water is less, gradually reduced over time, and tending to stability after 30 min; (4) The water absorption and the electric flux of CA mortar in practical project is far less than the molding specimen, and the compactness and the durability of CA mortar under slab are improved observably.

Key words: ballastless track; track slab; CA mortar; seepage; expansion

CRTS I 型板式无砟轨道由混凝土底座、充填层袋装砂浆和轨道板等主要结构组成,具有施工快捷、维修方便等特点^[1-5],在我国严寒地区哈大客运专线、哈齐客运专线中得到大规模应用。CRTS I 型水泥乳化沥青砂浆(CA 砂浆)由水泥、乳化沥青、砂、水和多种外加剂等组成,含有大量的无机、有机成分以及多种表面

活性剂,依靠自重充填于轨道板与混凝土道床之间厚度约为 40~60 mm 的扁平空腔内,是板式无砟轨道的关键材料与结构之一。

CA 砂浆早期施工方式是在板腔四周立模板(模筑法)后进行灌注,改进后,采用无纺布灌注袋代替模板,铺设方便快捷且不需拆模,大幅提升了砂浆施工效

收稿日期:2017-09-01

作者简介:王涛(1979-),男,副研究员。

引文格式:王涛,贾恒琼,李洪刚,等. CRTS I 型板式无砟轨道砂浆渗水机理及其影响研究[J]. 高速铁路技术,2018,9(1):1-5.

WANG Tao, JIA Hengqiong, LI Honggang, et al. Study on Water Seepage Mechanism of CRTS I CA Mortar and Its Effect [J]. High Speed Railway Technology, 2018, 9(1): 1-5.

率,目前已普遍应用。但无纺布自身具有透气透水性,新拌砂浆灌注后会有水从灌注袋周边渗出,理论上会减少充填层砂浆体积、降低与板底密贴程度、甚至影响板面高程,而实际工程中的砂浆灌注施工质量均能满足无砟轨道验收要求,并未突出表现为理论上的负面结果。同时,目前相关研究并未深入涉及砂浆渗水的机理、产物、以及砂浆性能等方面^[6-7],使得人们对板下CA砂浆的渗水机理及其相关影响的判断存在误区。因而,深入研究CA砂浆的渗水机理及其影响,对人们正确理解砂浆施工中的渗水现象具有重要意义。

本文结合实际工程具体情况,对CA砂浆充填层中水的渗出规律、渗水机理及其对轨道板上浮、砂浆性能影响等方面进行系统研究,相关结果可供我国CRTS I、CRTS II、CRTS III型板式无砟轨道结构设计与施工参考。

1 试验概况

1.1 砂浆原材料、配比及制备

1.1.1 砂浆原材料

(1)乳化沥青 CA 砂浆专用阳离子慢裂型乳化沥青,固含量 60%;

(2)干料 CA 砂浆专用干料,干料中 $<0.075\text{ mm}$ 的颗粒含量为 33%;

(3)胶乳:TD-08 聚合物乳液;

(4)消泡剂:有机硅类;

(5)引气剂:松香类。

1.1.2 配比及制备

(1)配合比:干料:乳化沥青:胶乳:水:消泡剂:引气剂 = 3:1.29:0.11:0.067:0.000 4:0.004;其中干料:1 103 kg/m^3 。

(2)CA 砂浆采用南方路机砂浆搅拌车制备,自动计量各材料,搅拌工艺为:先加水、乳化沥青、胶乳、消泡剂,转速 30 r/min ;再加干料,转速 80 r/min ;最后加引气剂,开始高速搅拌,速度 120 r/min ,搅拌时间为 120 s;低速 30 r/min 搅拌 30 s,砂浆制备完成。

1.2 试验方法

(1)砂浆小板渗水试验:模型小板由两块面积 600 mm × 800 mm、厚 10 mm 的钢板组成,四角部位经螺栓连接,通过螺栓丝扣调整两块钢板间距离为 50 mm;将尺寸为 600 mm × 800 mm × 50 mm 的单口灌注袋塞入板腔,灌注新拌砂浆直至饱满,立即将该模型小板整体略微倾斜(便于渗出水流出)放置在电子秤

上(量程 150 kg)称量,通过整体减少重量、钢模重量和砂浆重量,计算出渗水率。

(2)轨道板上浮量测试:将百分表分别放置在灌注袋进浆口和出浆口对应的轨道板上表面部位,人工读取百分表数值,其变化值代表轨道板的上浮量。

(3)砂浆膨胀率:按照中国铁路总公司企业标准 Q/CR469-2015《高速铁路 CRTS I 型板式无砟轨道用水泥乳化沥青砂浆》中附录 F(量筒法)进行试验。

2 结果与分析

CA 砂浆灌注后渗水指标并不能直接测试,采用灌注小板称重、量筒中砂浆膨胀和取渗出物分析等方式,对其渗出速率、水中固含量、相关物质成分以及板下砂浆性能影响等方面进行研究,系统分析了水渗出的主要影响因素及其对高程与砂浆质量的影响。

2.1 砂浆依时渗水率

砂浆小板渗水试验在晴天 19℃ ~ 27℃ 和阴天 10℃ ~ 18℃ 两种环境中进行,依据时间记录小板砂浆渗水量,砂浆渗水率依时变化规律如图 1 所示,轨道板上浮规律如图 2 所示。

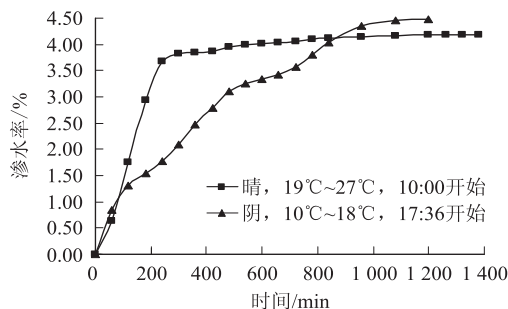


图1 小板砂浆渗水率依时变化

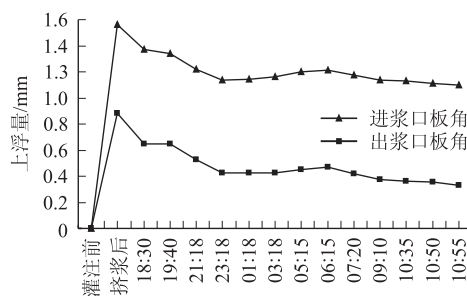


图2 轨道板上浮量变化

由图1表明,试验小板砂浆渗水率变化与环境温度关系较大,晴天且处于温度上升环境时,渗水率先快速增加,持续约 4 h,后变缓慢逐渐趋稳,表明渗水结束;阴天且处于温度下降环境时,砂浆渗水速率减缓,

在夜间最低10℃环境中,渗水持续时间约15 h以上,后趋稳定。原因在于砂浆凝结硬化过程受温度影响较大,温度高,硬化快,渗水时间短,反之亦然。

由图1表明,砂浆小板试验渗水率约为4%,若板下砂浆渗水量照此估算,则砂浆体积会大约减少4%,而现场砂浆平均体积膨胀率约2%(技术条件要求量筒法体积膨胀率1%~3%),两者相抵,砂浆体积减小约2%,再加上部分含气量随水渗出,板面将会下降,而这推论与灌注后板面上浮的实际情况不符,小板渗水试验表现出“尺寸效应”。

充填层砂浆灌注后,进浆口和出浆口板角上浮量相对较大,其变化见图2。

图1和图2表明,砂浆灌注和挤浆操作可使板角迅速上浮,灌注漏斗中砂浆的水头压力是板面上浮的主因,随后缓慢下降,幅度在0.5 mm左右,这应与砂浆渗水有关,符合砂浆渗水规律。

2.2 试验小板渗水率与量筒膨胀率

由于精调爪和压板装置的限位,砂浆灌注充填板腔后,其持续渗水所需的压力来源于轨道板上浮压力和砂浆内部膨胀两方面。现场施工观测进浆口精调爪松动情况表明,砂浆完成灌注30 min左右轨道板回落,精调爪重新不能松动。选取不同天气下时同锅砂浆测试量筒膨胀率和小板渗水率,以膨胀率为横坐标、渗水率为纵坐标作图,结果如图3、图4所示。

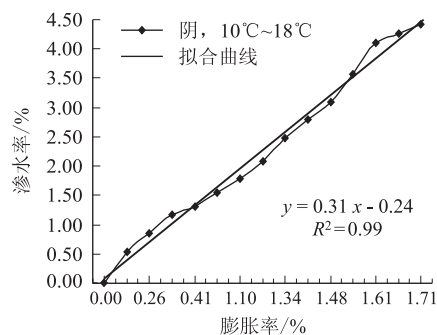


图3 阴天砂浆膨胀与渗水

图3和图4表明,CA砂浆的渗水率和膨胀率相关性良好,呈正相关,拟合曲线相关系数为97%以上,进一步说明,灌注后袋内砂浆渗水的主要动力来源于内部膨胀。

晴天和阴天的膨胀-渗水曲线略有不同,可能在于晴天时太阳光能提供热能,影响砂浆初始温度、环境温升速率等不同而造成膨胀率差异有关,但最终渗水率较为相近。

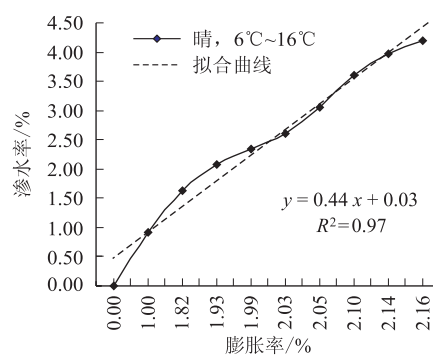


图4 晴天砂浆膨胀与渗水

2.3 砂浆温度与膨胀

砂浆内部膨胀可能由铝粉发气产生,也有可能是水泥水化升温引起的热膨胀,为探明砂浆膨胀产生的主要因素,试验采用混凝土非接触式变形测量仪,并分别选取不同初始温度的新拌CA砂浆,测试其早期硬化过程中的水平膨胀率与内部温度,结果如图5、图6所示。

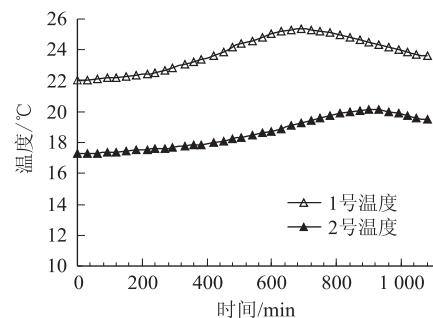


图5 砂浆温度

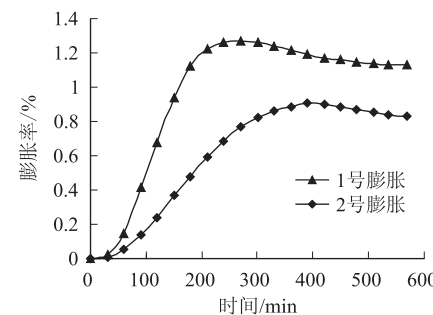


图6 砂浆膨胀

图5、图6表明,CA砂浆在硬化过程中会放热升温,1号、2号新拌CA砂浆的初始温度分别为22℃和17.3℃,其内部温度依次在11.5 h和15 h后达到峰值,分别上升3.4℃和2.8℃,说明较高温度对CA砂浆水化过程具有促进作用;CA砂浆硬化过程中会产生膨胀,水平方向膨胀曲线显示,1号、2号CA砂浆的

膨胀率依次在 4.5 h 和 6.5 h 后达到峰值,分别为 1.27% 和 0.91%,相比内部温度峰值时间大幅提前,说明 CA 砂浆早期膨胀不是由于材料的“热胀冷缩”性质引起,而是由干料组成中铝粉发气膨胀产生,且较高温度能促进铝粉发气,因而,1 号砂浆的膨胀率峰值较 2 号砂浆高、所需时间较短。

2.4 砂浆灌注施工后渗水

实际工程中,不同地段和不同灌注袋均对砂浆灌注施工后的渗水存在影响,选取亿博灌注袋,对曲线段的渗水进行取样,每隔 15 min 取样一次,将渗水样自然晾干,称重残留物,计算渗出水中固含量;取残留物适量,用三氯乙烯溶解后抽滤,计算其中可溶物组分(沥青分量),试验结果如图 7 所示。

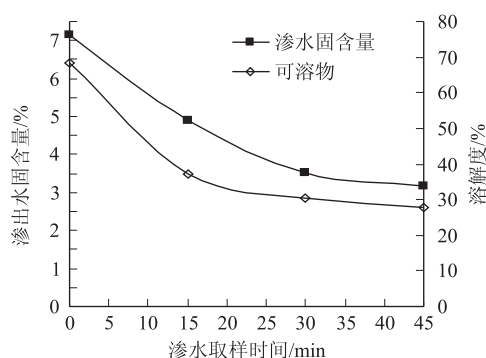


图7 不同时间渗水固含量与可溶物

图7表明,曲线地段砂浆渗出水中含有固体组分,随时间延长,渗出水中固体组分在 15 min 内快速减少,30 min 后固含组分基本稳定,约为 3%。实际工程中,最初的渗出水颜色浑浊,后变为清澈,验证了砂浆渗出水中固体组分早期多,后期少的结果,其主要成分为无机盐类结晶物,若换算成砂浆中单一原材料(水泥、沥青等)的渗出量,远低于砂浆搅拌车计量 $\pm 1\%$ 的精度要求,可完全忽略渗出物对砂浆组成原材料重量的影响。

渗水固体份中沥青成分溶于三氯乙烯,其含量随渗水时间延长而降低,后期趋稳,变化趋势与渗水固含量变化大致相同。

2.5 现场砂浆吸水率

自由水渗出后,理论上会影响充填层 CA 砂浆硬化体性能。将同一锅砂浆分别进行模具浇注室内成型试样、现场板下砂浆钻芯取样进行泡水试验,按龄期称重,对比两者吸水率依时变化规律,试验结果如图 8 所示。

图8表明,现场钻芯砂浆试样浸水 8 h 时,其吸水

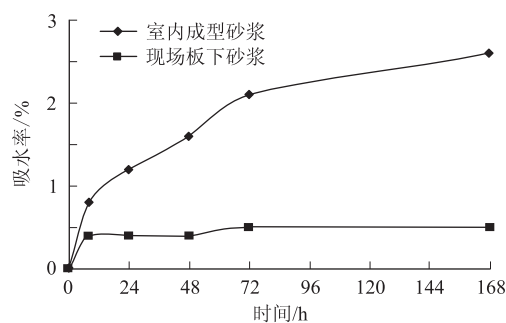


图8 模具成型试样和现场钻芯取样吸水率

率趋于稳定,约 0.5%,模具成型砂浆试样的吸水率随浸水时间延长而增大,7 d 后趋于稳定,约 2.5%,大约为现场钻芯试样吸水率的 5 倍。砂浆试样吸水率大小取决于其内部孔结构,孔隙多吸水率大,因而现场板下充填层砂浆内部结构孔隙率小,而其与模具成型试样的差异在于,现场砂浆硬化过程中有水渗出,因而,渗出水分有利于提高板下砂浆的密实度。另外,水是造成砂浆冻融破坏的主要原因,提高密实度有助于提高充填层砂浆的耐久性。

2.6 现场砂浆电通量

氯离子渗透能力常用来表征水泥基材料的渗透性能,采用 6 h 电通量指标评价砂浆抗渗性,试验结果如图 9 所示。

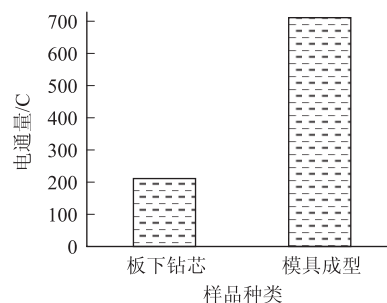


图9 板下钻芯/模具成型砂浆试样电通量

图9表明,板下砂浆钻芯试样的电通量为 210 C,模具成型砂浆试样的电通量为 710 C,现场砂浆渗出水后,其电通量不到模具成型砂浆试样的 1/3,表明现场砂浆经渗出部分水后,其抗渗性进一步得到了大幅提升,与吸水率试验结果吻合。因而,板下砂浆渗出部分水有助于提高板下砂浆密实度和耐久性。

2.7 现场渗出物微观分析

渗出物中含有沥青、无机盐等成分,取其自然干燥后的固体成分,经三氯乙烯去掉其沥青等有机成分,采用 XRD 分析三氯乙烯不溶物成分,结果如图 10 所示。

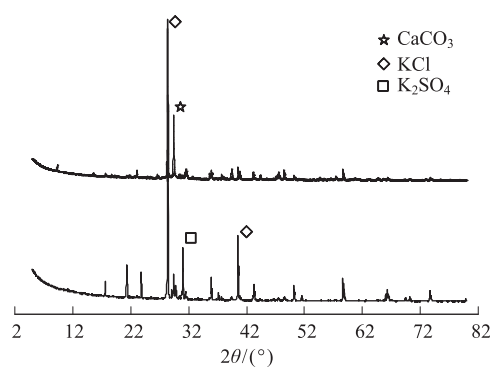


图 10 三氯乙烯溶解残留物 XRD 分析

图 10 表明,渗出物中固体成分含有多种无机盐类, CaCO_3 来源于水泥水化生成的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$, Cl^- 来源于阳离子乳化沥青、 K^+ 、 SO_4^{2-} 离子来源于乳液中乳化液成分,在渗出液自然干燥过程中逐步形成。

3 结论

(1) 试验小板砂浆渗水率变化与环境温度关系较大,温度高,硬化快,渗水时间短,但最终渗水率较为相近,且小板渗水率远小于施工中实际渗水率,具有“尺寸效应”。

(2) CA 砂浆的渗水量与膨胀率具有良好的正相关性,拟合曲线相关系数 97% 以上,袋内砂浆渗水主要动力来源于内部膨胀,其早期膨胀由铝粉发气产生,且高温能促进铝粉发气。

(3) 砂浆渗出水中含固量较少,依时间延长而降低,30 min 后基本稳定。

(4) 实际工程中砂浆渗出部分水后,其硬化体试样吸水率和电通量大幅降低,均远小于室内模具成型试样,板下砂浆的密实性和耐久性得到显著提升。

参考文献:

- [1] 王涛. 高速铁路板式无砟轨道 CA 砂浆的研究与应用[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2008.
WANG Tao. Research and Application on CA Mortar in Ballastless Slab Track of High-speed Railway [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2008.
- [2] 吴韶亮, 李海燕, 邵丕彦, 等. CRTS I 型砂浆低温施工技术的试验研究[J]. 铁道建筑, 2012, 52(9): 138-140.
WU Shaoliang, LI Haiyan, SHAO Piyan, et al. Experimental Study on Construction Technology for CRTS I CA Mortar in Low Temperature Environment[J]. Railway Engineering, 2012, 52(9): 138-140.
- [3] 彭勇, 杨荣山. CRTS I 型板式无砟轨道施工工艺及施工技术[J]. 铁道建筑, 2011, 51(11): 110-113.
PENG Yong, YANG Rongshan. Construction Methods and Technology of CRTS I Slab Ballastless Track [J]. Railway Engineering, 2011, 51(11): 110-113.
- [4] 王涛, 刘子科, 李洪刚, 等. CRTS I 型 CA 砂浆泵送技术研究与应用[J]. 铁道科学与工程学报, 2016, 13(9): 1681-1685.
WANG Tao, LIU Zike, LI Honggang, et al. Research and Application of CRTS I CA Mortar Pumping Technology [J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2016, 13(9): 1681-1685.
- [5] 曾晓辉, 谢友均, 邓德华. 温度对水泥乳化沥青砂浆早期膨胀特性的影响[J]. 硅酸盐学报, 2012, 40(2): 207-211.
ZENG Xiaohui, XIE Youjun, DENG Dehua. Effect of Temperature on Early Expanding Character of Cement and Emulsified Asphalt Mortar [J]. Journal of the Chinese Ceramic Society, 2012, 40(2): 207-211.
- [6] JIA Hengqiong, WANG Tao, WEI Zhao. Research on Performance of CRTS I Cement-emulsified Asphalt Mortar on Site [J]. 2016 Advanced Materials Research, 2016, 1142: 334-339.
- [7] WANG Tao, JIA Hengqiong, LI Honggang, et al. Research on Water Seepage of Cement Asphalt Emulsified (CA) Mortar [J]. Construction and Building Materials, 2016 (125): 595-599.

(编辑: 赵立红 白雪)