

文章编号:1007-9629(2011)06-0859-05

CRTS II 型板式无砟轨道 CA 砂浆抗冻性研究

孔德玉¹, 毛锦达¹, 钱晓倩², 孟 涛², 杨林江³

(1. 浙江工业大学 建筑工程学院, 浙江 杭州 310014; 2. 浙江大学 建筑工程学院, 浙江 杭州 310058;
3. 浙江兰亭高科股份有限公司, 浙江 绍兴 312044)

摘要: 研究了高速铁路 CRTS II 型无砟轨道 CA 砂浆在绝湿条件下养护 28 d 后的含水情况、水饱和度及其在绝湿和表面浸水条件下的抗冻性能. 结果表明: 绝湿条件下养护 28 d 的 CA 砂浆水饱和度约为 86.1% (质量分数, 下同); 在表面浸水条件下进行冻融循环时, CA 砂浆可能发生表面剥落破坏, 其单位面积剥落量随冻融循环次数增加而持续增大, 但冻融循环次数达 188 次时, 其单位面积剥落量仍远低于规范要求; 在绝湿状态下进行冻融循环时 CA 砂浆表面不会发生剥落破坏. 由于 CA 砂浆中的沥青为憎水性材料, 干燥 CA 砂浆再次吸水的速度很慢, 浸水 19 d 后, 其水饱和度仅为 50.5%. 实际工程并非绝湿状态, 其水饱和度远低于临界水饱和度, 因水结冰而导致 CA 砂浆发生冻融循环破坏的可能性很小.

关键词: 高速铁路; CRTS II 型无砟轨道; CA 砂浆; 抗冻性; 水饱和度

中图分类号: TU528.42 **文献标志码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1007-9629.2011.06.027

Frost Resistance of CA Mortar Used in CRTS II Ballastless Slab Track

KONG De-yu¹, MAO Jin-da¹, QIAN Xiao-qian², MENG Tao², YANG Lin-jiang³

(1. College of Architecture & Civil Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China;
2. College of Architecture & Civil Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 3. Zhejiang Lanting High-tech Co., Ltd., Shaoxing 312044, China)

Abstract: Moisture content, water saturation and frost resistance of cement asphalt mortar (CAM) in China railway traffic system II (CRTS II) ballastless slab track under humidity-insulation curing for 28 d have been studied. The results showed that the water saturation of the CAM under humidity-insulation curing for 28 d was about 86.1% (by mass). The CAM might be damaged during freeze-thaw process while the specimens were surface-immersed in the water, the surface-scaling amount of which keeps arising with increasing of the freeze-thaw cycles. However, CAM still showed excellent frost resistance with far lower surface-scaling amount than the requirement after 188 freeze-thaw cycles and will never be damaged for the specimens being freeze-thawed under humidity-insulation condition. After CAM was dried, the speed of water re-adsorption was very slow and the water saturation was only 50.5% even the dried CAM was immersed in water for 19 d due to hydrophobic behavior of the asphalt in the CAM. In actual projects, hardened CAM was often dried to lower water-saturation, thus it is impossible to be damaged due to freeze-thaw of the water in the CAM.

Key words: high-speed railway; China railway traffic system II (CRTS II) ballastless slab track; cement asphalt mortar (CAM); frost resistance; water saturation

板式无砟轨道是当今高速铁路无砟轨道的主要结构形式,具有几何状态稳定、维护成本低廉等优点,是一种很有发展前景^[1],并在国内外很多已建和在建工程中广泛应用的轨道结构形式^[2]. 板式无砟轨道的特点之一是在混凝土基床与轨道板之间铺有一层约 50 mm 厚的水泥-沥青砂浆(cement asphalt mortar,CAM),作为刚性轨道板和混凝土道床中间的一层减振调平结构垫层^[3-5],支承预制的钢筋混凝土轨道板,给轨道提供必要的强度和弹性,是板式无砟轨道核心技术之一^[6-7].

目前我国将板式无砟轨道分为 CRTS I 型和 CRTS II 型. 无论是 I 型还是 II 型轨道,其中 CA 砂浆均处于轨道板和混凝土道床之间约 500 mm×280 mm×50 mm 的扁平空间内. 为便于灌注施工,通常要求新拌 CA 砂浆具有足够流动性,因此,在进行 CA 砂浆配比设计时,往往需加较多拌和水,对 II 型轨道 CA 砂浆,其水灰比往往接近于 0.58^[8]. 一般认为,CA 砂浆在硬化后期,除与水泥发生水化消耗部分水外,其内部通常还存在很多游离水,这部分水分很难排出,在冻融循环作用下,CA 砂浆可能存在冻胀破坏现象^[9].

根据《客运专线铁路 CRTS II 型板式无砟轨道水泥乳化沥青砂浆暂行技术条件》(科技基[2008]74 号,以下简称《暂行技术条件》),目前 CA 砂浆的冻融试验是在水饱和状态下进行的,但工程中 CA 砂浆实际上可能并非处于水饱和状态. 一方面,CA 砂浆中的水泥水化需消耗部分游离水;另一方面,沥青属于憎水性材料,由其配制而成的 CA 砂浆水硬化后应表现为较强的疏水性,即使有水接触到硬化 CA 砂浆表面,水分子也难以渗透进入其内部开口毛细孔隙中,使 CA 砂浆很难达到水饱和状态. 因此,理论上,无论 CA 砂浆的其他性能指标能否满足《暂行技术条件》要求,硬化后的 CA 砂浆实际上均应具有良好的抗冻性. 本文主要研究了在绝湿养护条件下,CRTS II 型无砟轨道 CA 砂浆水硬化 28 d 后的含水率、开口孔隙中的水饱和度以及 CA 砂浆失水后重新在水中浸泡时的吸水速度和水饱和度,同时研究了 CA 砂浆试件在浸水状态和绝湿状态下的抗冻性能,希望为实际工程中 CA 砂浆抗冻性测试和评价提供借鉴.

1 原材料与试验方法

1.1 原材料

沥青乳液由浙江兰亭高科股份有限公司生产,为 CA 砂浆专用慢裂快凝型阴离子沥青乳液,其基

本性能见表 1;干粉为苏州恒信节能建材科技有限公司制造的 CA 砂浆专用干粉,其基本性能见表 2,其中的 D_5 、 D_{30} 是按《暂行技术条件》附录 B 测得的出料扩展度及 30 min 扩展度;减水剂为 HG-PCA600 型聚羧酸高效减水剂,固含量为 35%(质量分数,本文所涉及的固含量、减水率等除特别指明外均为质量分数),减水率为 28%;消泡剂由浙江兰亭高科股份有限公司提供;水为自来水.

表 1 SBS 改性沥青乳液性能

Table 1 Properties of emulsified SBS-modified asphalt				
Cement adaptability/mL	Storage stability(5 d)/%	Solid content/%	Remainder on sieve/%	Ion charge
105	2.0	63	0.042	—

表 2 干粉性能

Table 2 Properties of dry-mixed mortar					
Spread/mm		Expansion/%	Compressive strength/MPa		
D_5	D_{30}		1 d	7 d	28 d
210	190	2.0	15	39	47

1.2 CA 砂浆配比

试验用 CA 砂浆配比见表 3,硬化后的 CA 砂浆基本性能见表 4. 由表 4 可见,配制得到的硬化 CA 砂浆基本力学性能满足《暂行技术条件》要求.

表 3 CA 砂浆配比

Table 3 Mix proportion of CAM				
Emulsified asphalt/g	Dry-mixed mortar/g	Water/mL	Superplasticizer/mL	Defoamer/mL
390	2 310	280	12	2

表 4 硬化 CA 砂浆基本力学性能

Table 4 Mechanical properties of hardened CAM							MPa
Flexural strength			Compressive strength			Elastic modulus at 28 d	
1 d	7 d	28 d	1 d	7 d	28 d		
1.56	2.79	3.98	3.28	13.20	21.30	8 700	

1.3 试验方法

新拌及硬化 CA 砂浆基本性能根据《暂行技术条件》进行检测. 考虑到沥青为憎水性材料,采用煤油中称重法测定 CA 砂浆表观密度和堆积密度,由此计算硬化 CA 砂浆开口孔隙率和总孔隙率.

为考察在标准养护条件下水硬化 28 d 后 CA 砂浆的含水率及水饱和情况,采用 40 mm×40 mm×160 mmCA 砂浆试块(CAM)和普通水泥砂浆试块(CM),在(60±5)℃下烘 102 h,然后在(105±5)℃下继续烘干至试块不再失水为止,记录试块失重曲线,由此计算 CA 砂浆含水率,并根据计算得到的开

口孔隙率来计算 CA 砂浆水饱和度. 最后将完全干燥后的试块置于水中, 观察 CA 砂浆的再吸水规律和吸水后的水饱和度.

作 CA 砂浆抗冻性测试时, 按《暂行技术条件》中规定的方法成型 2 组共 12 个试件, 标准养护 24 h 拆模后, 采用保鲜膜进行包覆处理, 在绝湿状态下继续养护至 7 d 后进行切割加工. 考虑到实际工程中硬化 CA 砂浆一般为非饱水状态, 试验时考虑浸水状态和非浸水状态(绝湿状态)两种情况下的抗冻性能. 浸水状态下的试件进行抗冻测试时, 直接按《暂行技术条件》中规定的方法进行; 绝湿状态下的 CA 砂浆进行抗冻测试时, 将经保鲜膜包裹处理的 CA 砂浆试件置于冻融试验箱中, 在未浸水状态下进行冻融循环试验. 每 8 次冻融循环为 1 个周期, 每个周期测 1 次数据.

2 结果分析与讨论

2.1 绝湿状态下 CA 砂浆的含水状况

CA 砂浆属于多孔、非匀质多相结构. 已拌和的 CA 砂浆, 当沥青乳液破乳后会形成网络结构, 但内部尚含有大量未参与水化反应的水分, 在绝湿状态下, 这部分游离水可能是导致 CA 砂浆冻融破坏的主要原因. 表 5 所示为采用排煤油法和煤油中称重法测得的 CA 砂浆基本物理性能和气孔率. 由表 5 可见, CA 砂浆的开口孔隙率高达 19.4%, 但其闭口孔隙率也较大, 约为 10.8%. 同时, 试验测得在绝湿状态下养护 28 d 的 CA 砂浆饱和面干质量含水率约为 10%, 由此可计算得到在绝湿状态下养护的 CA 砂浆开口孔隙中的水饱和度约为 86.1%. 水结冰体积膨胀值约为 9%, 理论上, 当水饱和度超过临界值(91.7%)时^[10], 水结冰将会在 CA 砂浆内部产生很大的膨胀张应力, 导致 CA 砂浆膨胀破坏. 由此可见, 在绝湿状态下养护的 CA 砂浆水饱和度虽低于临界值, 但仍然较高, 理论上仍存在由于局部饱水

而导致其受冻破坏的可能性.

表 5 硬化 CA 砂浆基本物理性能
Table 5 Physical properties of hardened CAM

Density/(kg · m ⁻³)			Porosity(by volume)/%	
True	Bulk	Apparent	Total	Open
2.39	1.67	2.07	30.2	19.4

2.2 冻融环境对 CA 砂浆抗冻性的影响

图 1 为绝湿养护的 CA 砂浆试件在不同冻融环境下进行冻融循环时, 其单位面积剥落量、相对动弹模量随冻融循环次数变化的关系. 由图 1(a)可见, 按《暂行技术条件》进行冻融试验时, 随冻融循环次数增加, 试件单位面积剥落量持续增大, 但经 56 次冻融循环后, 其单位面积剥落量仅为 7.1 g/m², 经 188 次冻融循环后, 其单位面积剥落量也仅为 28.8 g/m², 均远小于《暂行技术条件》的规定(56 次冻融循环后单位面积剥落量小于 2 000 g/m²). 随冻融循环次数增加, 试件的相对动弹模量在 98%~100%之间跳跃变化, 经 56 次和 188 次冻融循环后, 试件的相对动弹模量均远高于《暂行技术条件》规定的 60%. 试件相对动弹模量未发生明显变化的原因可能是由于《暂行技术条件》中规定, 浸水状态下进行冻融循环试验时, 其浸水高度仅为 10 mm, 冻融循环对其他高度范围内 CA 砂浆的影响与绝湿状态下几乎相同, 而绝湿状态下, 冻融循环对 CA 砂浆的相对动弹模量影响很小所致. 由此可见, 在浸水状态下进行冻融循环, 虽然 CA 砂浆表面单位面积剥落量持续增大, 但制备得到的 CA 砂浆仍具有很好的抗冻性, 大大超过《暂行技术条件》对 CA 砂浆抗冻性的要求. 由图 1(b)可见, 在绝湿状态下进行冻融循环时, 随冻融循环次数增加, 试件单位面积剥落量几乎不变, CA 砂浆试块未发生任何形式的局部破坏, 而其相对动弹模量亦在 98%~100%之间跳跃变化. 可见, 在绝湿状态下进行冻融循环时, 即使 CA 砂浆的水饱和度达到 86.1%, 接近临界水饱和度, 但其

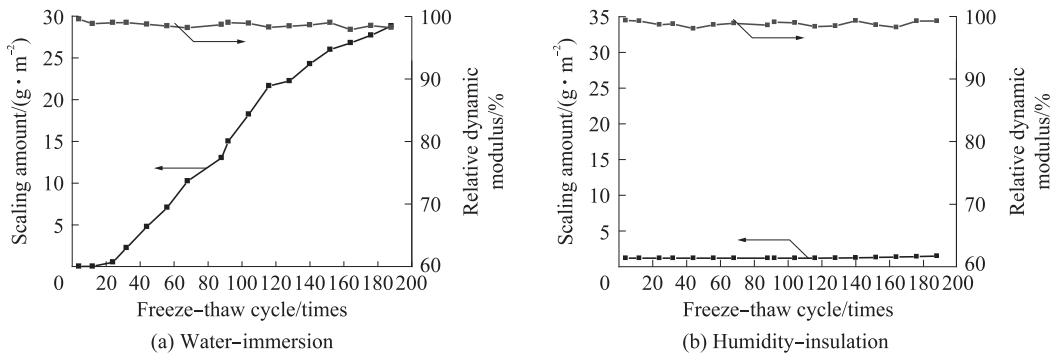


图 1 不同冻融环境下 CA 砂浆抗冻试验结果
Fig. 1 Experimental results of frost resistance of CAM under various freeze-thaw environments

仍具有优异的抗冻性. 图 2 所示为经 188 次冻融循环和超声洗浴后的 CA 砂浆表面照片. 由图 2 可见, 经 188 次冻融循环后, 浸水饱和状态下的试件表面

有轻微剥落现象, 表面开口孔隙明显增多, 而绝湿状态下的试件表面未发现任何剥落现象.

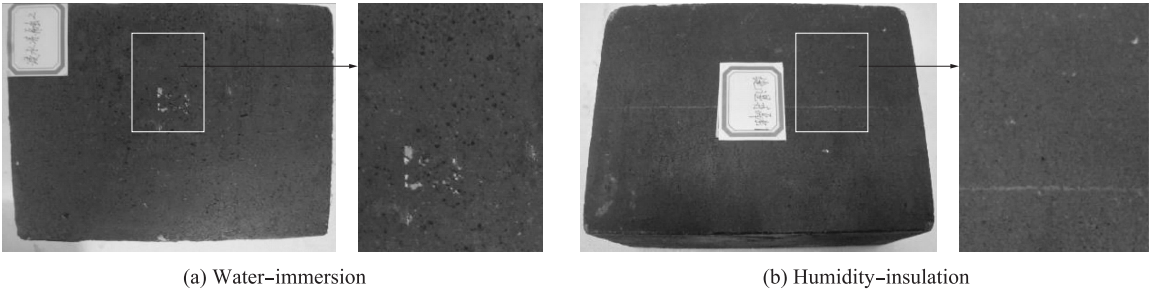


图 2 经 188 次冻融循环后的试件表面剥落情况
Fig. 2 Scaling of specimen surface after 188 freeze-thaw cycles

2.3 干燥 CA 砂浆的吸水特性

图 3 所示为绝湿状态下养护 28 d 的硬化 CA 砂浆失水曲线和干燥 CA 砂浆在水中浸泡时的吸水曲线, 其中对比试件为普通水泥砂浆试件, 其水灰比为 0.50, 所用水泥为 P·O42.5 水泥. 由图 3 可见, 绝湿条件下养护 28 d 的 CA 砂浆试件含水率 w_h 约为 10%. 当 CA 砂浆试件在 60 °C 下干燥时, 其失水速率与普通水泥砂浆相似, 但在 105 °C 下干燥时, 其失水速率明显加快.

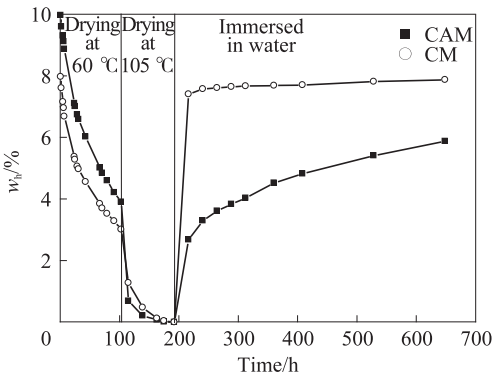


图 3 砂浆的失水和吸水曲线
Fig. 3 Dehydration and adsorption curves of mortar

由图 3 还可发现, 将绝干状态下的 CA 砂浆试件置于水中时, 其吸水速率远小于普通水泥砂浆试件. 普通水泥砂浆在 24 h 内已基本吸水饱和, 但 CA 砂浆浸水 24 h 后, 其含水率仅为 2.67%, 远小于 CA 砂浆试件的初始含水率. 随浸泡时间延长, CA 砂浆含水率逐渐增加, 但浸水 19 d 后, 其含水率仍仅为 5.87%, 水饱和度仅为 50.5%. 干燥后的 CA 砂浆吸水能力差的主要原因是沥青为憎水性材料. 图 4 为水在 CA 砂浆试件断面和表面的存在形态照片. 由图 4 可见, 无论是断面还是表面, CA 砂浆均呈现明显的憎水性. 在图 4(b)中, CA 砂浆表面的水分在

短时间内几乎无渗入迹象, 而普通水泥砂浆表面的水分已明显渗入试件内部. 由此可见, 一旦 CA 砂浆失去水分, 其再吸水并导致冻融循环破坏的可能性几乎为 0. 实际上, 在 CRTS II 型板式无砟轨道结构中, 轨道板和混凝土底板之间的 CA 砂浆两侧与外界是不封闭的, 其侧面在施工完毕后基本处于干燥状态, 因此, 即使在北方严寒地区, 与外界接触的两侧 CA 砂浆也应该不存在冻融破坏现象. 对于中间部位的 CA 砂浆, 由于混凝土轨道板的吸水性及其与轨道板之间结合的非紧密性, 其失水可能性大大增加, 在夏季高温下尤甚. 图 5 所示为灌注施工 3 d 揭板后立即拍摄的 CA 砂浆表面照片. 由图 5 可见, 实际工程中灌注施工后的 CA 砂浆表面含水率很低. 根据以上分析可以预测, 除非 CA 砂浆长期浸泡

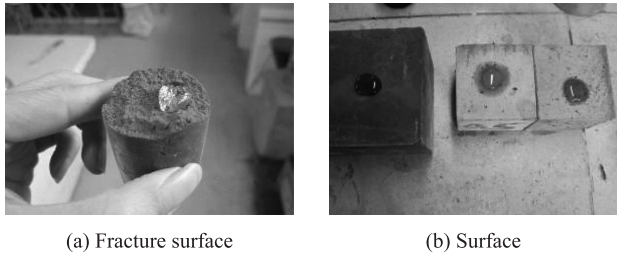


图 4 CA 砂浆断面和表面疏水状态
Fig. 4 Hydrophobic behavior of the CAM surface



图 5 揭板后的 CA 砂浆表面
Fig. 5 Surface of the CAM after the slab was uncovered

于水中,否则实际工程中 CA 砂浆在冻融循环下由于水结冰导致其体积膨胀发生破坏的可能性很小。

3 结论

(1)绝湿条件下养护 28 d 的 CA 砂浆含水率约 10%,水饱和度为 86.1%,接近临界水饱和度(91.7%),理论上存在因局部水饱和而导致其冻融循环破坏的可能性。

(2)在浸水状态下,CA 砂浆单位面积剥落量随冻融循环次数增加而持续增大,试件存在由于冻融循环引起的表面剥落现象,但单位面积剥落量很小,经 188 次冻融循环后,仍远小于《暂行技术条件》规定的剥落量,其相对动弹模量则基本不变;在绝湿状态下,随冻融循环次数增加,其单位面积剥落量和相对动弹模量均基本不变。因此,表面浸水和绝湿状态下的 CA 砂浆均具有优异的抗冻性能。

(3)CA 砂浆干燥后再次吸水的速度很慢,浸水 19 d 后,其水饱和度仅 50.5%。实际工程并非绝湿状态,CA 砂浆层两侧和中间部位均存在一定的失水现象,其水饱和度远低于临界水饱和度,因此实际工程中 CA 砂浆由于游离水结冰而发生冻融循环破坏的可能性很小。

参考文献:

[1] 徐学东,徐建,陈志华,等. 板式无砟轨道垫层 CA 砂浆研究与进展[J]. 华东交通大学学报,2008,26(4):58-62.
XU Xue-dong, XU Jian, CHEN Zhi-hua, et al. Research and progress on CA mortar of ballastless slab track cushion[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2008, 26(4): 58-62. (in Chinese)

[2] MAKOTO U, MASAO U, MASAMICHI S, et al. Development of new type guideway structure[J]. QR of RTRI, 2004,

45(1):13-16.

[3] KATSUTOSHI A, MAKOTO S, HIFUMI A, et al. Development of slab tracks for Hokuriku Shinkansen Line[J]. QR of RTRI, 2001, 42(1):35-41.

[4] 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,2006,27(2):20-25.
JIN Shou-hua, CHEN Xiu-fang, YANG Jun. Key technologies of CA mortar for slab track[J]. China Railway Science, 2006, 27(2):20-25. (in Chinese)

[5] 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(2):109-111.
WANG Tao, HU Shu-guang, WANG Fa-zhou, et al. Main factors influencing strength of CA mortar[J]. Railway Engineering, 2008(2):109-111. (in Chinese)

[6] YATAKA H, TOTTORI S, NORIYUKI I. Development of cement-asphalt mortar for slab tracks in cold climate[J]. QR of RTRI, 1983, 15(1):62-67.

[7] WANG Fa-zhou, LIU Zhi-chao, WANG Tao, et al. A novel method to evaluate the setting process of cement and asphalt emulsion in CA mortar[J]. Materials and Structures, 2008, 41(4):643-647.

[8] 万贇,洪锦祥,王文峰,等. I 型板式无砟轨道 CA 砂浆抗冻性研究[J]. 铁道建筑,2009(12):95-98.
WAN Yun, HONG Jin-xiang, WANG Wen-feng, et al. Research on frost resistance of type-I CA mortar in ballastless slab track[J]. Railway Engineering, 2009(12):95-98. (in Chinese)

[9] 胡曙光,王涛,王发洲,等. CA 砂浆抗冻性能的影响因素[J]. 武汉理工大学学报,2008,30(8):30-33.
HU Shu-guang, WANG Tao, WANG Fa-zhou, et al. Factors affecting frost resistance of CA mortar[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2008, 30(8):30-33. (in Chinese)

[10] SUSANTA C. Aspects of freezing process in porous material-water system; Part 2. Freezing and properties of frozen porous materials[J]. Cement and Concrete Research, 1999, 29(5):781-784.