

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2017.04.021



硫铝水泥和胶乳对水泥乳化沥青砂浆 低温硬化性能的影响

王涛

(中国铁道科学研究院 金属及化学研究所, 北京 100081)

摘要:通过分析水泥乳化沥青砂浆(CA 砂浆)冬季低温病害的产生原因,研究了硫铝酸盐水泥、胶乳对 CA 砂浆低温凝结和灌注质量的影响。结果表明,低温导致 CA 砂浆超长缓凝,使体系稳定性变差,并引起泌水和揭板起皮等病害;掺入硫铝水泥能加快 CA 砂浆的低温凝结过程,随替代量增加,凝结时间逐渐缩短;随温度升高,胶乳-水泥流态体系可搅拌时间呈降低趋势,选用低温稠化性能合适的胶乳,可改善新拌 CA 砂浆的低温均匀稳定性;复掺 10% 硫铝水泥和 8% 胶乳的 CA 砂浆在 24 h 的强度和膨胀率符合要求,在实测 0.5~7.7 °C 的低温环境中,揭板检查 CA 砂浆断面均匀、表面平整无起皮,符合上道要求。

关键词:砂浆;低温;硬化;强度

中图分类号:TU 521.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2017)04-0134-07

Effect of sulfur aluminum cement and polymer latex on harden performance of CA mortar in low temperature

Wang Tao

(Metals and Chemistry Research Institute, China Academy of Railway Sciences, Beijing 100081, P. R. China)

Abstract: The causes of low temperature diseases of cement asphalt emulsified mortar (CA mortar) was analyzed. The influences of hardening process and filling quality of sulfur aluminum cement (SAC) and polymer latex on CA mortar in winter were studied, and the results showed that CA mortar is super retarding in low temperature, and the system stability deteriorated, then some diseases appeared such as bleeding, peeling by removing slab, et al. The SAC could accelerate the hardening process with the substitution amount of SAC increases, and the setting time of CA mortar is faster. With the increase of temperature, the stirrable time of latex-cement system showed a decreasing trend, and uniform and stable of fresh CA mortar could be improved by latex with suitable thickening performance in low temperature. The expansion rate and 24h compressive strength of CA mortar which combined admixture SAC (the content of 10%) and polymer latex (the content of 8%) met the standard requirements, in 0.5 °C~7.7 °C environment, and CA mortar showed cross-section uniformity and smooth surface without peeling by removing track slab, which meet the requirement of the technology requirements.

收稿日期:2016-11-17

基金项目:国家自然科学基金(51408610)

作者简介:王涛(1979-),男,博士,副研究员,主要从事非金属材料研究,(E-mail)027wangtao@163.com.

Received:2016-11-17

Foundation item:National Natural Science Foundation of China (No. 51408610)

Author brief:Wang Tao (1979-), PhD, associate research fellow, main research interest: non-metallic materials for railway engineering, (E-mail)027wangtao@163.com.

Keywords: CA mortar; low temperature; hardening; strength

低弹模水泥乳化沥青砂浆(CA砂浆)是高速铁路 CRTS I 型板式无砟轨道的关键充填层结构与材料^[1-3],由水泥、乳化沥青、砂、消泡剂、引气剂等多种原材料组成,且乳化沥青质量多于水泥,体系中含有大量的无机、有机成分以及多种表面活性剂,材料成分复杂、性能敏感^[4-6],特别是在技术条件规定的施工温度范围两端,容易引起砂浆凝结硬化速度异常而造成病害。温度过高时流动性损失快,转运灌注时间过长,则有可能失去流动性而出现“闷锅”,造成原材料浪费和耽误工期;低温时缓凝虽避免了“闷锅”,但长时间不凝结会造成新拌体系中气泡上浮形成皮层、砂粒下沉形成分层以及膨胀率不足造成塌角离缝等病害^[7-9]。

在实际工程中,施工时间从秋季持续到冬季较为常见^[10-13],而冬季低温会使新拌 CA 砂浆凝结硬化时间延长,24 h 龄期难以满足拆模要求,且易出现泌水、起皮等病害。铁道部科技基[2008]74号暂行技术条件规定了“施工环境温度应在 5~35℃范围内”和“当日最低气温可能在 0℃以下时应应对新灌注砂浆采取适当的保温措施”,但冬季常遇春节或年度工程计价节点,工期紧张,此时砂浆灌注完毕后可能存在 0~5℃温度环境,而当前对最低温度在 0~5℃环境中出现的 CA 砂浆质量病害与原因及其解决措施缺乏研究。因此,研究 CA 砂浆低温病害及其优化技术对实际工程具有重要意义。

笔者结合室内试验和实际工程线下 CA 砂浆揭板试验,研究了冬季低温环境中 CA 砂浆的凝结时间和强度发展规律,采用掺入硫铝水泥和聚合物乳液的技术调控 CA 砂浆硬化过程,使其低温施工揭板效果符合上道要求。

1 原材料与试验方法

1.1 原材料

乳化沥青: CRTS I 型砂浆专用阳离子慢裂型乳化沥青,固含量 $\geq 60\%$;干料: CRTS I 型砂浆专用干料, P·II 型硅酸盐水泥,干料中 $< 0.075\text{ mm}$ 的颗粒/粉料含量为 33%(质量占比);硫铝酸盐水泥: 北极熊快硬硫铝酸盐水泥;胶乳: 东方亚克力聚合物乳液 1#、2#、3# 和 4#,性能指标均满足技术条件要求^[14];消泡剂: 有机硅类;引气剂: 松香类。

试验配比: 干料: 乳化沥青: 水: 消泡剂: 引气剂 = 3: 1.4: 0.067: 0.000 4: 0.004。

砂浆车现场制备 CA 砂浆,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,取样成型抗压强度试样以及灌注揭板检查。

1.2 试验方法

CA 砂浆凝结时间采用维卡仪测试,试验过程参考水泥凝结时间(GB/T 1346—2011),记录试针扎入深度;干料抗压强度测试参照水泥胶砂强度检验方法(GB/T 17671—1999)进行;CA 砂浆抗压强度按照水泥乳化沥青砂浆暂行技术条件(科技基[2008]74号)附录进行。

胶乳-水泥适用性试验: 100 g 乳液与 200 g 水泥以 1 500 r/min 转速搅拌,记录流动性显著降低时所需时间(变稠状态)和失去流动性时间(塑性状态)。

胶乳-水泥相容性试验: 100 g 乳液在 1 500 r/min 转速搅拌下加入水泥,失去流动性时记录最大添加量。

胶乳-水泥粘度试验: 100 g 乳液加 200 g 水泥,1 500 r/min 搅拌分散 3 min 制得样品,在 0、30 min 时测试其粘度,粘度仅为 NDJ-5S 型旋转粘度计。

板下砂浆温度用 HC-TW20 无线温度检测仪监控,配套 1 个现场数据发射器,共 4 个数据采集通道,将传感器预设于砂浆上部、下部、板面上与环境中,在砂浆灌注后进行连续采集。

2 结果与讨论

2.1 CA 砂浆低温病害

中国长三角地区某高铁线路建设时,11月中旬发现置于室外的 CA 砂浆试样出现表面塌陷、上部泌水等病害(如图 1),CA 砂浆充填层揭板检查发现表面形成气泡层(灌注后板边覆盖棉被、整体覆盖防雨布),撕开灌注袋时起皮(如图 2);查询当天天气有寒潮降温,天气预报夜间环境温度最低 5℃,一般远离市区环境的实际温度比预报更低,这表明 CA 砂浆在冬季低温环境($\leq 5\text{ }^{\circ}\text{C}$)中容易产生泌水、揭板起皮等病害风险。

同时取现场砂浆车制备 CA 砂浆,出机温度 4.2℃,浇注强度试样,连续测试室内标准养护和室外自然养护砂浆试样 1、2、3、7 d 抗压强度,结果见图 3。



图 1 室外试样塌陷泌水

Fig. 1 Surface subsidence and bleeding in outdoor curing



图 2 砂浆揭板检查起皮

Fig. 2 Surface peeling by removing track slab

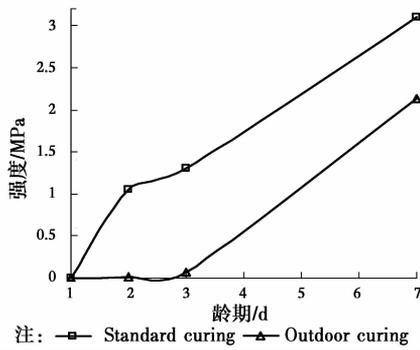


图 3 CA 砂浆强度

Fig. 3 Compressive strength

图 3 表明,在环境温度和砂浆初始温度均低于 5 °C 的情况下,砂浆标养 1 d 无强度、也未硬化,室外自然养护 2 d 无强度,3 d 和 7 d 强度均低于标准养护。原因可能在于低温时水泥水化速度大幅减缓,使得 CA 砂浆凝结硬化时间变长,造成早期不凝结而无强度;同时,未凝结体系内自由水、沥青颗粒和内部气泡容易上浮,在试模开口表面形成泌水,在板腔密闭空间沥青颗粒在表面形成皮层,阻止气泡逸出,并聚集形成沥青皮层。

因而,CA 砂浆在冬季低温环境中施工时,需采取相关措施对其低温硬化过程进行调控,以优化 CA 砂浆低温施工质量。相比外部增温保温措施,优化砂浆配合比具有费用小、施工效率高等优势,可通过硫铝酸盐水泥或聚合物乳液调节水泥-乳化沥青体系的低温硬化过程,达到改善 CA 砂浆低温质量的目的。

2.2 硫铝水泥对砂浆的影响

快硬硫铝酸盐水泥自身在 5 °C 低温环境中能正常硬化,为保持 CA 砂浆配比稳定,将硫铝水泥等量替代部分硅酸盐水泥制备干料,以调控 CA 砂浆在低温环境中的硬化。恒温恒湿试验室和环境箱的最低温度 ≥5 °C,砂浆出机温度为 6 °C (相比原材料 5 °C 的温度存在水化升温),凝结时间和抗压强度的养护和测试温度 6 °C,硫铝水泥不同掺量对 CA 砂浆凝结时间和强度的影响见图 4、图 5。

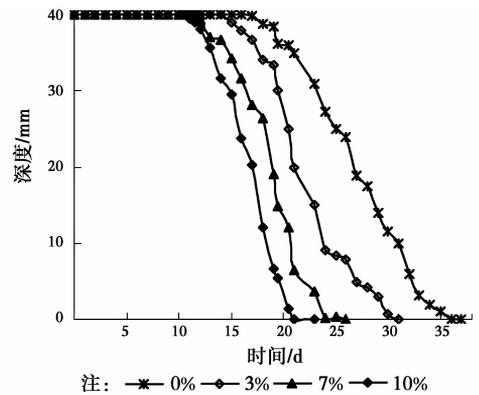


图 4 硫铝水泥对 CA 浆体凝结时间的影响

Fig. 4 Influence of SAC on setting time of CA mortar

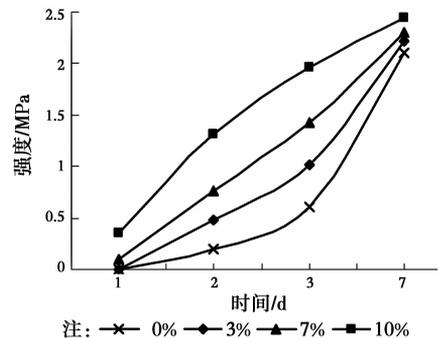


图 5 硫铝水泥对 CA 砂浆强度的影响

Fig. 5 Influence of SAC on strength of CA mortar

图 4 表明,硫铝水泥部分替代硅酸盐水泥能缩短 CA 砂浆的凝结时间,随着硫铝水泥替代量的增加,CA 砂浆的凝结时间逐渐缩短,当替代量为 10% 时,6 °C 环境下 CA 砂浆可在 24 h 内终凝;图 5 表明,掺有硫铝水泥的 CA 砂浆抗压强度在 1~7 d 内

呈现增长趋势,且其强度值均高于同龄期的基准 CA 砂浆(0%替代量),当硫铝水泥替代量 $\geq 7\%$ 时,低温下 CA 砂浆 1 d 强度可达 0.1 MPa 以上,也可在 24 h 内凝结,满足抗压强度 ≥ 0.1 MPa 的施工拆除工装要求,考虑低温下 CA 砂浆 24 h 抗压强度的富余量,硫铝水泥替代量为 10%时较好。

2.3 胶乳对浆体的影响

胶乳常用来优化水泥基材料硬化体性能,对 CA 砂浆的新拌体系稳定与硬化体性能也具有改善作用。低温环境中,胶乳可与水泥反应,促进 CA 砂浆硬化,其还能在碱性环境中胶凝稠化,改善新拌 CA 砂浆体系在低温环境中的分散稳定性:气泡不上浮、水分不泌出、砂粒不下沉,提高 CA 砂浆硬化体匀质性。

通过不同比例胶乳-水泥体系的流动性、粘度等指标,研究不同种类胶乳(1#~4#)对 CA 砂浆所用硅酸盐水泥新拌性能的影响。试验中胶乳-水泥体系初始温度和测试环境温度相同,胶乳-水泥适用性见图 6 和图 7、胶乳-水泥相容性见图 8,胶乳-水泥粘度变化见图 9(初始温度和测试环境温度均为 22.4 °C)。

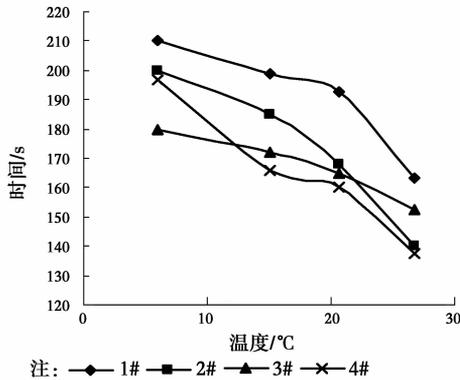


图 6 胶乳-水泥流动性显著降低时间
Fig. 6 Time for fluidity decrease

图 6 表明,在 6~27 °C 温度范围内,随温度升高,不同种类胶乳与水泥体系拌和时流动性显著降低时间呈降低趋势,其中 3# 胶乳拌和时间逐渐变化,无显著变化温度点,曲线相对较平缓,有利于 CA 砂浆新拌体系的灌注施工性;图 7 表明,在 6 °C 和 15 °C 相对低温环境中,胶乳-水泥体系搅拌时,不同胶乳在失去流动性所需的时间不同,3# 胶乳失去流动性所需时间均最短,不同胶乳失去流动性时间随温度升高而降低,所需时间降低幅度以 3# 胶乳最大,约为 41%;结合图 6、图 7 结果,高速搅拌加速胶乳-水泥稠化的适用性试验显示,3# 胶乳具有相对较好

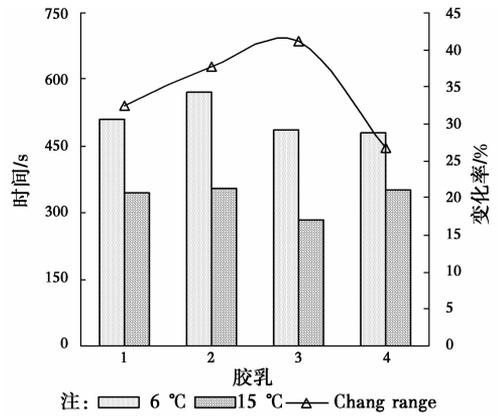


图 7 6~15 °C 失去流动性时间
Fig. 7 Time for fluidity lose/ plastic state

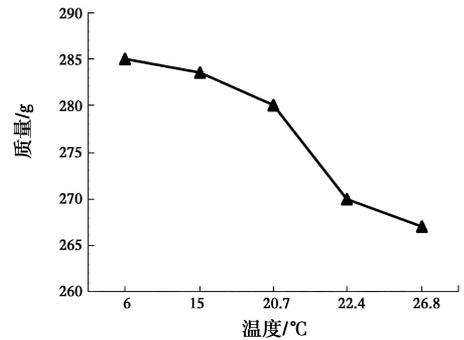


图 8 不同温度下胶乳-水泥相容性
Fig. 8 Miscibility of latex-cement

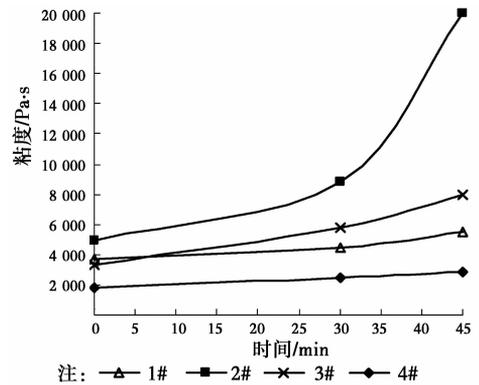


图 9 粘度随时间变化
Fig. 9 Change of viscosity with time

的低温稠化性能,可提高体系中各组分的均匀性,防止长时间处于流态时 CA 砂浆组分离析。

图 8 表明,胶乳-水泥体系高速搅拌时,3# 胶乳可加入的最大水泥量在 6~27 °C 温度范围内逐渐降低,机理在于:温度升高促进水泥水化,进而缩短了胶乳-水泥体系失去流动性的时间;另外,图 6 和图 8 显示,胶乳-水泥体系流动性在温度约为 20 °C 时存在陡降趋势,这与实际工程中 CA 砂浆流动性与温

度的关系相似:在大于 20 ℃时,CA 砂浆可工作时间随温度升高而显著缩短。

图 9 表明,相同温度环境下,不同胶乳与水泥的浆体粘度随时间的变化呈现不同规律,2# 胶乳在 30 min 时存在粘度突变增大,在实际施工中存在不能灌注的风险,4# 胶乳几乎无变化,在实际工程中不利于新拌砂浆体系内部成分的均匀稳定,2# 和 3# 胶乳粘度均匀变化,利于施工;结合图 6、图 7 和图 8 的试验结果,选择 3# 胶乳既可保证施工时的可灌注性,又能兼顾新拌体系的均匀稳定性。

2.4 硫铝水泥+胶乳复合

根据上述结果,用硫铝水泥等量替代硅酸盐水泥 10%,同时胶乳分别等量取代乳化沥青 8%(1# 曲线)和 10%(2# 曲线),出机温度和养护温度 6 ℃,两者复掺的影响见图 10、图 11。

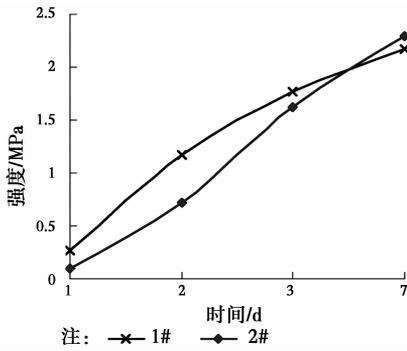


图 10 早期强度
Fig. 10 Strength in early stage

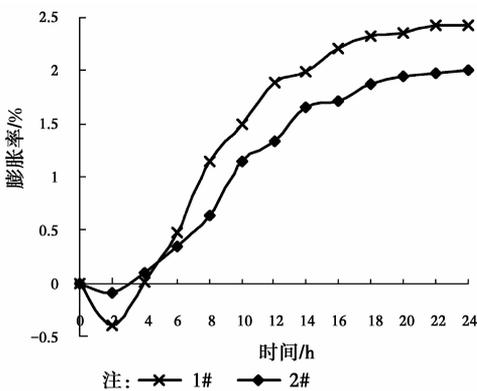


图 11 早期膨胀
Fig. 11 Expansion in early stage

图 10 表明,在硫铝水泥等量取代 10% 硅酸盐水泥条件下,胶乳取代量 8% 的砂浆强度在前 3 d 内均相对较高,而胶乳取代量 10% 的砂浆在 7 d 时反超,原因可能在于新拌体系中胶乳稠化胶凝锁住的水分挥发或消耗较慢,影响 3 d 内的强度,而水分降低至一定值后,胶乳成膜成网后的增强作用显示

出来。

图 11 中 24 h 膨胀结果表明,CA 砂浆早期膨胀呈现先收缩后膨胀的规律,其中胶乳取代量 10% 的 CA 砂浆的收缩和膨胀值均小于取代量为 8% 的砂浆,原因可能在于:CA 砂浆早期新拌体系塑性强度低,不能随干料中铝粉发气而膨胀,且铝粉发气速度小于体系中的气泡逸出速度,反而出现收缩,当体系塑性强度随水化反应而增加到一定值后,砂浆随铝粉发气而膨胀;胶乳量增加使 CA 砂浆早期体系稳定性增强,减缓早期气泡逸出速度,表现为收缩也相对较小,同时 CA 砂浆体系稠化塑性强度高,铝粉发气产生的自由膨胀量也会受到部分抵消,表现为砂浆膨胀率降低。

2.5 灌注揭板效果

考虑实际低温施工环境要求 CA 砂浆具有早期硬化不缓凝、强度满足工装周转、膨胀率合适以及经济性等特点,选择硫铝水泥等量替代硅酸盐水泥 10%、胶乳等量取代乳化沥青 8%(1#)的复掺技术方案,进行冬季低温环境现场灌板揭板试验,现场砂浆出机温度 9.5 ℃,灌注后板边覆盖棉被、整体覆盖防雨布,温度曲线见图 12、揭板检查结果见图 13。

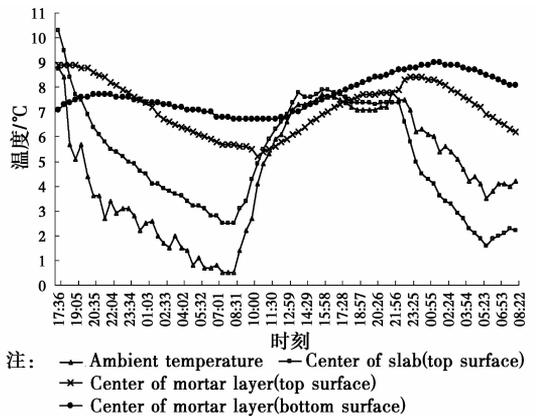


图 12 施工现场温度
Fig. 12 Measured temperature of construction site



图 13 揭板检查情况
Fig. 13 CA mortar evaluation by removing track slab

图 12 表明,砂浆层温度和板面温度随环境温度

呈现规律性变化。CA砂浆灌注完后,环境温度8.9℃,夜间逐渐降温,2.5 h后温度降至4.4℃,已低于技术条件规定的5~35℃施工环境温度;14 h后环境温度进一步降至0.5℃,气温随着第2天到来而回升;板面温度10.3℃,随后下降至2.5℃,再回升,变化规律与环境气温几乎同步;砂浆充填层上部在随后2 h内温度保持8.9℃不变,后逐渐下降至5.2℃,变化幅度3.7℃,而下部温度则在3 h内从7.1℃小幅升至7.7℃,后逐渐降至6.7℃,变化幅度1℃,上下部温度变化幅度存在2.7℃差异,原因可能在于单元板轨道不同部位与外界环境热传导存在不同的热传导系数,上部砂浆与外界间隔了一层轨道板,而下部砂浆与外界间隔了轨道板和砂浆层。另外,早期CA砂浆温度略有上升,并未随环境温度降低而降低,表明水泥水化产生热量抵消了一部分热量损失,与混凝土水化热引起的温升相比^[15-16],CRTSI型水泥乳化沥青砂浆的薄层结构散热快,其水化热引起的温升在冬季施工时可以忽略。

图13表明,同时采用硫铝水泥等量替代10%硅酸盐水泥、胶乳等量替代8%乳化沥青的复掺技术,CA砂浆揭板检查断面均匀、表面平整无起皮,符合充填层砂浆揭板检查质量要求;也表明通过合理技术手段可以解决CA砂浆在冬季低温环境中出现起皮、泌水等病害。

3 结论

1)低温导致CA砂浆超长缓凝,使体系稳定性变差,并引起泌水和揭板起皮等病害,室外自然养护2 d无强度,3 d和7 d强度均明显低于标准养护强度。

2)硫铝水泥部分替代硅酸盐水泥能缩短CA砂浆低温下的凝结时间,随着硫铝水泥替代量的增加,CA砂浆的凝结时间逐渐缩短,当替代量为10%时,6℃环境下CA砂浆可在24 h内终凝。

3)在6~27℃的试验温度范围内,随温度升高,胶乳-水泥流态体系可搅拌时间呈降低趋势,选用低温稠化性能合适的胶乳,可改善新拌CA砂浆的低温均匀稳定性。

4)复掺10%硫铝水泥和8%胶乳的CA砂浆在24 h的强度和膨胀率符合要求,在实测0.5~7.7℃的低温环境中,揭板检查CA砂浆断面均匀、表面平整无起皮,符合上道揭板检查要求。

参考文献:

- [1] SHIGERU M, HIDEYUKI T, MASAO U, et al. The mechanism of railway tracks [J]. Japan Railway and Transportation Review, 1998(3): 38-45.
- [2] MURATA O. Overview of recent structure technology R & D at RTRI [J]. Quarterly Report of RITI, 2003, 44(4): 133-135.
- [3] KATSUOSHI A. Development of slab tracks for Hokuriku Shinkansen line [J]. Quarterly Report of RITI, 2001, 42(1):35-41.
- [4] 邵丕彦,李海燕,吴韶亮,等. CRTSI型轨道板温度变形及与砂浆垫层间离缝的测试研究[J]. 中国铁道科学,2013, 34(2): 18-22.
SHAO P Y, LI H Y, WU S L, et al. Measurement and research on temperature warping of CRTSI track slab and crack between track slab and cement asphalt mortar cushion [J]. China Railway Science, 2013, 34(2): 18-22. (in Chinese)
- [5] 傅强,谢友均,郑克仁,等. 水泥乳化沥青砂浆统计损伤本构模型[J]. 西南交通大学学报,2014, 49(1): 111-118.
FU Q, XIE Y J, ZHENG K R, et al. Statistical damage constitutive model of cement and asphalt mortar [J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2014, 49(1): 111-118. (in Chinese)
- [6] HARADA Y. Development of ultrarapid-hardening cement-asphalt mortar for grouted-ballast track structure [J]. Quarterly Report of RTRI, 1976, 17(1):6-11.
- [7] HARADA Y, TOTTORI S, ITAI N. Development of cement asphalt mortar for slab tracks in cold climate [J]. Quarterly Report of RTRI, 1983, 15(1): 62-67.
- [8] COENRAAD E. Recent development in slab track [J]. European Railway Review, 2003, 9(2): 81-85.
- [9] 王涛,刘子科,李洪刚,等. CRTSI型CA砂浆泵送技术研究与应[J]. 铁道科学与工程学报,2016, 13(9): 209-213.
WANG T, LIU Z K, LI H G, et al. Research and application of CRTSI CA mortar pumping technology [J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2016, 13(9): 209-213. (in Chinese)
- [10] SONG H, DO J Y, SOH Y S. Feasibility study of asphalt-modified mortars using asphalt emulsion [J]. Construction and Building Materials, 2006, 20(5): 331-338.
- [11] 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: 33-70.
Wang T. Research and application on CA mortar in

- ballastless slab track of high speed railway [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2008: 33-70. (in Chinese)
- [12] 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 X H, XIE Y J, DENG D H. 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. (in Chinese)
- [13] 王涛. CA 砂浆力学性能与体积对温度的稳定性[J]. 建筑材料学报, 2013, 16(1): 127-130.
WANG T. Temperature stability of mechanics property and volume of CA mortar [J]. Journal of Building Materials, 2013, 16(1): 127-130. (in Chinese)
- [14] 中华人民共和国铁道部. 客运专线铁路 CRTS I 型板式无砟轨道水泥乳化沥青砂浆暂行技术条件[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2008.
Department of Science & Technology of China Railways Ministry. Passenger line CRTS I type ballastless track cement asphalt-emulsified mortar temporary technical conditions [S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2008. (in Chinese)
- [15] 王甲春, 阎培渝, 韩建国. 混凝土绝热温升的试验测试与分析[J]. 建筑材料学报, 2005, 8(4): 446-451.
WANG J C, YAN P Y, HAN J G. Experiment and analysis of concrete adiabatic temperature rise [J]. Journal of Building Materials, 2005, 8(4): 446-451. (in Chinese)
- [16] 强晟, 侯光普, 娄二召, 等. 考虑温度影响的混凝土水化热温升反演分析[J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2015, 37(4): 6-9.
QIANG S, HOU G P, LOU E Z, et al. Inverse analysis of temperature rise of hydration heat considering effect of temperature [J]. Journal of China Three Gorges University (Natural Sciences), 2015, 37(4): 6-9. (in Chinese)

(编辑 胡英奎)