

文章编号:1007-9629(2023)01-0001-06

# 聚羧酸减水剂对水泥基饰面砂浆泛碱性能的影响

张国防<sup>1,2,3,\*</sup>, 王聪<sup>1,2</sup>, 王肇嘉<sup>4</sup>, 王博<sup>1,2</sup>, 黄天勇<sup>4</sup>

(1. 同济大学 先进土木工程材料教育部重点实验室, 上海 201804; 2. 同济大学 材料科学与工程学院, 上海 201804; 3. 上海市水务局城市管网智能评估与修复工程技术研究中心, 上海 201900; 4. 北京建筑材料科学研究总院, 北京 100041)

**摘要:**研究了聚羧酸减水剂及其掺量变化对水泥基饰面砂浆泛碱性能的影响规律. 结果表明:聚羧酸减水剂能显著降低饰面砂浆初次泛碱面积和二次泛碱面积, 其掺量大于 0.6% 后, 饰面砂浆基本无泛碱现象; 掺加聚羧酸减水剂后, 饰面砂浆总孔隙率降低, 表面孔隙数量和内部孔隙率减小, 毛细孔吸水量下降, 连通孔隙减少, 抑制了饰面砂浆的表面泛碱现象.

**关键词:**饰面砂浆; 聚羧酸减水剂; 泛碱性能; 孔结构; 毛细孔吸水量

中图分类号: TU56<sup>+</sup>4.5

文献标志码: A

doi: 10.3969/j.issn.1007-9629.2023.01.001

## Effects of Polycarboxylate Superplasticizer on Efflorescence of Cement-Based Decorative Mortar

ZHANG Guofang<sup>1,2,3,\*</sup>, WANG Cong<sup>1,2</sup>, WANG Zhaojia<sup>4</sup>, WANG Bo<sup>1,2</sup>, HUANG Tianyong<sup>4</sup>

(1. Key Laboratory of Advanced Civil Engineering Materials of Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China; 2. School of Materials Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China; 3. Research Center of Intelligent Evaluation and Restoration Engineering Technology of Urban Pipe Network of Shanghai Water Bureau, Shanghai 201900; 4. Beijing Building Materials Academy of Sciences Research, Beijing 100041, China)

**Abstract:** The effect of polycarboxylate superplasticizer and its content on efflorescence of cement-based decorative mortar was studied. The results show that polycarboxylate superplasticizer can significantly reduce the primary and secondary efflorescence areas of decorative mortar. When the polycarboxylate superplasticizer content is higher than 0.6%, basically no efflorescence occurs in the decorative mortar. After adding superplasticizer, the total porosity, number of surface pores, internal porosity, water absorption of gross pores and connected pores of the decorative mortar decrease, and the surface efflorescence of the decorative mortar is restrained.

**Key words:** decorative mortar; polycarboxylate superplasticizer; efflorescence; pore structure; capillary water absorption

水泥基饰面砂浆具有施工便捷高效、装饰效果丰富、与墙体基材相容性好等优点, 是一种理想的墙体饰面材料, 但因其易产生泛碱现象制约了推广应用<sup>[1-3]</sup>. 已有研究大多聚焦于水泥基饰面砂浆泛碱性能及其抑制技术方面. 王培铭等<sup>[4-5]</sup>采用铝酸盐水泥

部分或完全替代硅酸盐水泥制备了水泥基饰面砂浆, 但并不能完全抑制其泛碱现象. 张灵等<sup>[6-7]</sup>利用矿渣微粉、偏高岭土及钢渣粉等掺和料替代部分水泥, 在一定程度上改善了饰面砂浆的泛碱性能. 杨正宏等<sup>[8]</sup>研究发现, 用水量不同也影响硅酸盐水泥的泛碱

收稿日期: 2021-11-18; 修订日期: 2021-12-12

基金项目: “十三五”国家重点研发计划项目(2018YFD1101003, 2016YFC0700905); 上海市住房和城乡建设委员会科研项目(2020-001-009); 固废资源化利用与节能建材国家重点实验室开放基金项目; 同济大学大型仪器设备开放测试基金资助项目(2021GX024)

第一作者(通讯作者): 张国防(1977—), 男, 河南鹿邑人, 同济大学副研究员, 博士生导师, 博士. E-mail: zgftj@sina.com

性能.一些化学外加剂可以改善水泥基饰面砂浆的泛碱性能.有机硅憎水剂能明显抑制水泥基饰面砂浆的泛碱现象,这与其 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 含量和表面碱浸出率的降低有关<sup>[8]</sup>.引气剂则是通过显著减少小毛细孔含量,抑制可溶性组分迁移,从而抑制水泥基饰面砂浆的泛碱现象<sup>[9]</sup>.消泡剂能降低水泥基饰面砂浆的泛碱程度<sup>[10]</sup>,这与其能降低水泥砂浆吸水量和改善孔结构有关<sup>[10-11]</sup>.

作为一种常用的化学外加剂,聚羧酸减水剂被应用于水泥基饰面砂浆中,目的是改善水泥基饰面砂浆的工作性,并提高其物理力学性能<sup>[12]</sup>.然而聚羧酸减水剂对水泥基饰面砂浆泛碱性能的影响鲜有报道.因此,本文主要探讨了聚羧酸减水剂对水泥基饰面砂浆泛碱性能的影响,并分析了掺入聚羧酸减水剂的情况下水泥基饰面砂浆泛碱性能与孔结构参数之间的关系,以期制备性能优良的水泥基饰面砂浆提供一定的技术支撑.

## 1 试验

### 1.1 原材料

水泥为阿尔博波特兰有限公司生产的52.5R白色硅酸盐水泥(WPC),其化学组成(质量分数,本文涉及的组成、掺量、比值等除特殊说明外均为质量

分数或质量比)、物理性能分别见表1、2;聚羧酸减水剂为江苏苏博特新材料股份有限公司生产的PCA-300P粉状聚羧酸减水剂(PCE),水溶性固体粉末;瓦克化学(中国)有限公司生产的乙烯-醋酸乙烯酯可再分散乳胶粉(RDP);陶氏化学(中国)有限公司生产的羟乙基甲基纤维素(HEMC),黏度为15 000 mPa·s,水溶性固体粉末;粒径为150~380  $\mu\text{m}$ 的石英砂;德国朗盛颜料公司生产的氧化铁红颜料(FPT);水为去离子水.

### 1.2 配合比

水泥饰面砂浆(下文简称饰面砂浆)的胶砂比为1:4.RDP、HEMC的掺量分别为水泥质量的10.0%、0.3%;为了便于观察和分析泛碱面积,掺入FPT颜料使得饰面砂浆颜色为红色,其掺量为胶凝材料质量的3.0%;减水剂掺量 $w_{\text{PCE}}$ (以水泥的质量计)分别为0%(基准组)、0.2%、0.4%、0.6%、0.8%、1.0%;控制饰面砂浆的流动度为(170 $\pm$ 5) mm,用水量根据流动度相应调整.饰面砂浆的配合比见表3.

表1 WPC的化学组成

Table 1 Chemical composition of WPC

										$w/\%$
$\text{Na}_2\text{O}$	MgO	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{SO}_3$	$\text{K}_2\text{O}$	CaO	MnO	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	
0.40	3.10	2.20	17.20	0.01	3.93	0.58	72.17	0.03	0.30	

表2 WPC的物理性能

Table 2 Physical properties of WPC

Specific surface area/( $\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-1}$ )	Whiteness	Setting time/min		Flexural strength/MPa		Compressive strength/MPa	
		Initial	Final	3 d	28 d	3 d	28 d
425	88	105	150	6.9	9.1	35.4	54.7

表3 饰面砂浆的配合比

Table 3 Mix proportions of decorative mortar

Specimen	$w_{\text{PCE}}/\%$	Mix proportion/g		
		WPC	Sand	Water
R	0	100	400	100
D1	0.2	100	400	83
D2	0.4	100	400	81
D3	0.6	100	400	79
D4	0.8	100	400	77
D5	1.0	100	400	75

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 泛碱面积

根据JC/T 1024—2019《墙体饰面砂浆》,将搅拌均匀的饰面砂浆涂抹在150 mm $\times$ 70 mm $\times$ 5 mm的水泥纤维板上(板表面提前用苯丙乳液密封处理),涂抹厚度为(5 $\pm$ 1) mm,然后将试件置于(23 $\pm$ 2)  $^{\circ}\text{C}$ 、

相对湿度为(50 $\pm$ 5)%下养护至规定龄期.

初次泛碱面积 $S_F$ 的测试步骤为:将试件养护1 d后,浸入去离子水中8 h;取出晾干后,观察试件表面泛碱情况;用数码相机采集数字图像,并利用图像处理软件Image-Pro Plus 6.0计算 $S_F$ .

二次泛碱面积 $S_S$ 的测试步骤为:将初次泛碱面积测试试件分别再养护至7、28 d后,浸入去离子水中8 h;取出晾干后,观察试件表面泛碱情况;用数码相机采集数字图像,并利用图像处理软件Image-Pro Plus 6.0计算 $S_S$ .

$S_F$ 、 $S_S$ 均为饰面砂浆发生泛碱现象的面积与其总面积的比值.

#### 1.3.2 毛细孔吸水量

根据JC/T 1024—2019标准,成型40 mm $\times$ 40 mm $\times$ 160 mm的饰面砂浆试件,并置于(23 $\pm$ 2)  $^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为(50 $\pm$ 5)%下养护.养护至7、28 d

后,将试件置于60℃的烘箱内干燥至恒重,冷却后将除上下表面外的4个侧面用石蜡密封,称重并记作初始质量 $m_0$ ;接着将试件上表面倒扣浸入水中2~3 mm,同时开始计时,根据吸水48 h后的试件质量变化,计算得到其单位面积吸水量 $W_s$ 。

### 1.3.3 微观形貌

采用Quantachrome公司的Pore master GT-60型自动压汞仪(MIP)、Zeiss公司生产的Gemini型场发射扫描电子显微镜(SEM)以及光学显微镜对饰面砂浆进行孔结构和微观形貌测试。测试样品为养护28 d的饰面砂浆:先将其破碎成粒径5~8 mm的颗粒,然后用无水乙醇浸泡7 d以终止水化,并置于40℃真空恒温干燥箱内烘干至恒重。

## 2 结果与讨论

### 2.1 PCE对饰面砂浆泛碱面积的影响

#### 2.1.1 初次泛碱

初次泛碱通常发生在饰面砂浆凝结硬化后的早龄期阶段<sup>[9]</sup>。PCE掺量对饰面砂浆初次泛碱面积的影响见图1。由图1可见:未掺PCE的基准饰面砂浆表面出现较为明显的泛碱现象,初次泛碱面积较大(达17%);掺入PCE后,饰面砂浆初次泛碱现象变轻,初次泛碱面积明显减小,且随着PCE掺量的增大,初次泛碱面积逐渐减小;当 $w_{PCE} > 0.6\%$ 时,饰面砂浆初次泛碱面积接近于0。综上,PCE可有效抑制饰面砂浆发生初次泛碱现象,且随着其掺量的增大,抑制效果显著增强。

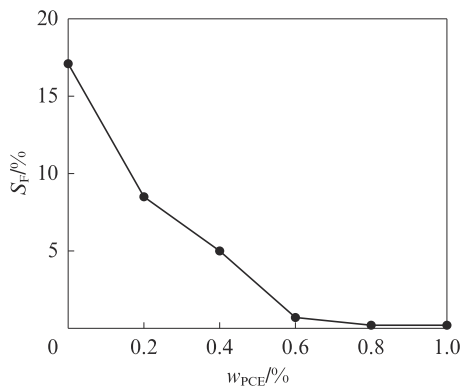


图1 PCE掺量对饰面砂浆初次泛碱面积的影响  
Fig. 1 Effect of  $w_{PCE}$  on primary efflorescence area of decorative mortars

#### 2.1.2 二次泛碱

二次泛碱通常是指在饰面砂浆硬化后的中后期阶段,随着饰面砂浆内部离子的迁移并累积在其表面而产生的泛碱现象<sup>[9-10]</sup>。PCE掺量对饰面砂浆二次泛碱面积的影响见图2。由图2可见:PCE掺量变化对养护7、28 d的饰面砂浆二次泛碱面积的影响

规律基本相同,随着PCE掺量的增大,饰面砂浆二次泛碱面积均逐渐降低;与基准组相比, $w_{PCE} = 0.4\%$ 的饰面砂浆7、28 d的二次泛碱面积分别降低了79.2%、63.2%,而 $w_{PCE} = 0.6\%$ 的饰面砂浆二次泛碱面积降幅分别达到83.7%、76.7%; $w_{PCE} = 1.0\%$ 的饰面砂浆甚至未出现二次泛碱现象。由此可见,PCE能有效抑制饰面砂浆的二次泛碱现象,且随着其掺量的增大,抑制效果逐渐增强。

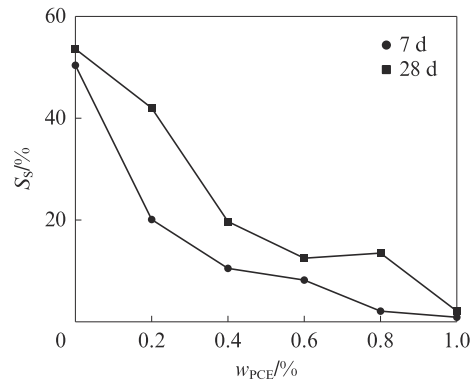


图2 PCE掺量对饰面砂浆二次泛碱面积的影响  
Fig. 2 Effect of  $w_{PCE}$  on secondary efflorescence area of decorative mortars

### 2.2 PCE对饰面砂浆毛细孔吸水量的影响

PCE掺量对饰面砂浆毛细孔吸水量的影响见图3。由图3可见:养护7、28 d的饰面砂浆毛细孔吸水量均随着PCE掺量的增大而逐渐减小;当 $w_{PCE}$ 从0%增大至0.4%时,养护7 d的饰面砂浆毛细孔吸水量从1.63 kg/m<sup>2</sup>降低到0.93 kg/m<sup>2</sup>,降幅达42.9%,而养护28 d的饰面砂浆毛细孔吸水量从1.83 kg/m<sup>2</sup>降低至0.95 kg/m<sup>2</sup>,降幅达48.1%;当 $w_{PCE} > 0.4\%$ 时,随着PCE掺量的增大,饰面砂浆毛细孔吸水量变化不大,且养护龄期的影响也可忽略不计。这表明PCE能够明显降低饰面砂浆的毛细孔吸水量。

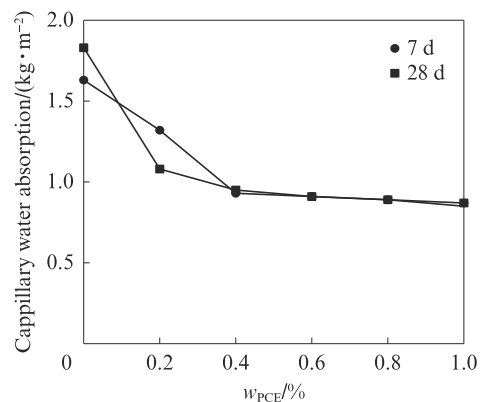


图3 PCE掺量对饰面砂浆毛细孔吸水量的影响  
Fig. 3 Effect of  $w_{PCE}$  on capillary water absorption of decorative mortars

饰面砂浆二次泛碱面积与毛细孔吸水量的关系见图4.由图4可见,掺加PCE的饰面砂浆二次泛碱面积与毛细孔吸水量之间呈很好的线性正相关性,随着毛细孔吸水量的增大,其二次泛碱面积逐渐增大.这说明饰面砂浆毛细孔吸水量是影响其二次泛碱面积大小的关键因素,而毛细孔吸水量大小与开口毛细孔数量的多少呈正相关.由此可见,聚羧酸减水剂使饰面砂浆开口毛细孔数量和毛细孔吸水量降低,是饰面砂浆二次泛碱面积减小的原因之一.

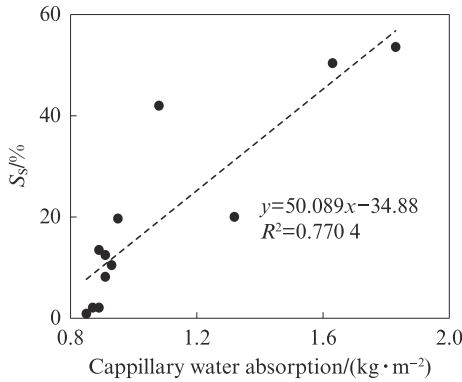


图4 饰面砂浆二次泛碱面积与毛细孔吸水量的关系  
Fig. 4 Relationship between the secondary efflorescence area and capillary water absorption of decorative mortars

### 2.3 饰面砂浆的孔结构

水泥砂浆的孔结构是影响其毛细孔吸水量的重要因素<sup>[13-14]</sup>.水泥砂浆内的孔隙,根据孔径 $d$ 可分为凝胶孔( $d < 10$  nm)、小毛细孔( $d = 10 \sim 50$  nm)、大毛细孔( $d = 50$  nm  $\sim 1$   $\mu$ m)和气孔( $d > 1$   $\mu$ m)<sup>[15]</sup>.为

了进一步探讨饰面砂浆泛碱性能与孔结构的关系,对养护28 d的饰面砂浆,用MIP测试了其孔结构,用光学显微镜和SEM测试了其表面形貌和内部微观形貌.

PCE掺量对饰面砂浆孔径分布曲线及孔结构的影响分别见图5及表4.由图5及表4可见:掺加PCE后,饰面砂浆的孔结构发生了明显变化;与基准饰面砂浆相比,随着PCE掺量的增大,饰面砂浆孔隙率(体积分数)逐渐减小,最可几孔径和中值孔径也显著降低,气孔减少,而凝胶孔、小毛细孔以及大毛细孔增多;与基准饰面砂浆相比, $w_{\text{PCE}}$ 为0.2%、1.0%的饰面砂浆大小毛细孔含量增幅分别为25%、46%.饰面砂浆的SEM照片见图6.由图6可见,PCE的掺入使饰面砂浆的气孔明显减少.综上,PCE在一定程度上能细化饰面砂浆的孔结构,提高其密实程度.

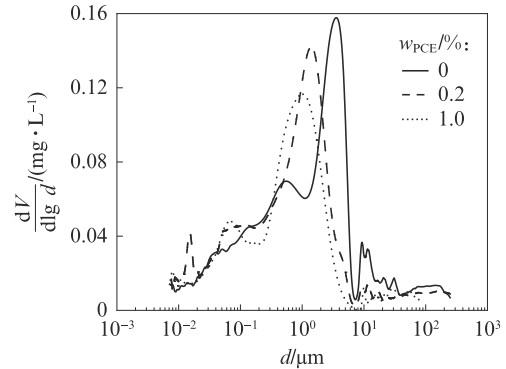
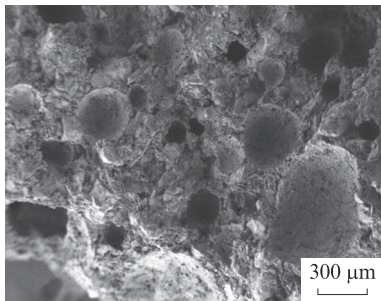


图5 PCE掺量对饰面砂浆孔径分布曲线的影响  
Fig. 5 Effect of  $w_{\text{PCE}}$  on pore distribution of decorative mortars

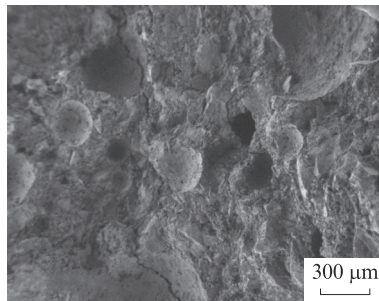
表4 PCE掺量对饰面砂浆孔结构的影响

Table 4 Effect of PCE content on pore structure of decorative mortars

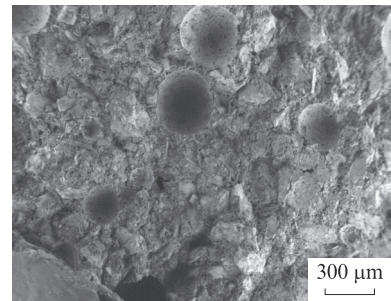
$w_{\text{PCE}}/\%$	Porosity (by volume)/%	Pore proportion/%				Most probable pore size/ $\mu$ m	Median pore size/ $\mu$ m
		Gel pore	Small capillary pore	Large capillary pore	Macro pore		
0	30.57	0.95	7.68	35.65	55.72	2.79	1.53
0.2	30.26	1.31	10.51	43.63	44.55	1.27	0.85
1.0	27.12	1.65	9.89	53.42	35.04	1.02	0.64



(a) R



(b) D1



(c) D5

图6 饰面砂浆的SEM照片

Fig. 6 SEM images of decorative mortars

饰面砂浆的表面孔隙状况见图7.由图7可见:掺入PCE后,饰面砂浆的表面孔隙数量明显减少;随着PCE掺量的增大,饰面砂浆的表面孔隙数量变少,密实度增大.这表明PCE在一定程度上改善了饰面砂浆的表面孔隙状况.

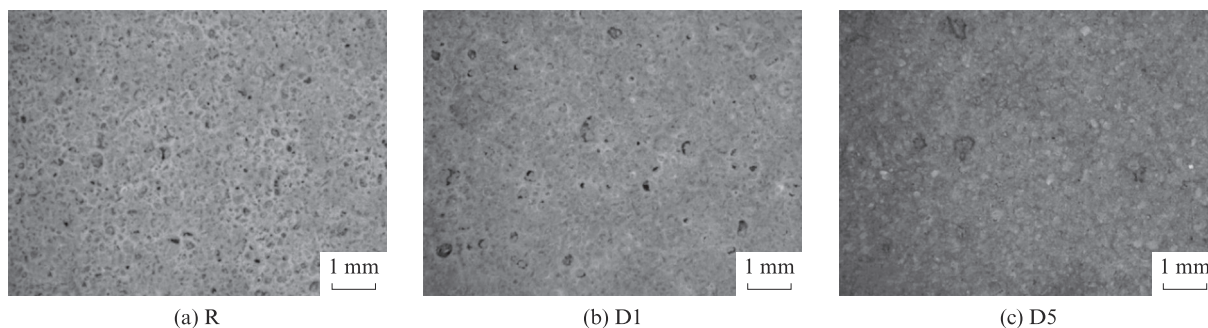


图7 饰面砂浆的表面孔隙状况

Fig. 7 Pores on the surfaces of decorative mortars

综上,PCE显著降低了饰面砂浆的内部大孔、连通毛细孔隙和表面孔隙数量,减少了饰面砂浆内部泛碱物质向其表面迁移的通道,从而能显著降低饰面砂浆的泛碱现象,提高饰面砂浆的抗泛碱性能.

### 3 结论

(1)聚羧酸减水剂能使饰面砂浆初次泛碱面积及二次泛碱面积大幅减小,其掺量大于0.6%后,饰面砂浆表面基本无泛碱现象.

(2)掺入聚羧酸减水剂后,饰面砂浆二次泛碱面积与毛细孔吸水量呈现出较好的线性正相关性,表现为饰面砂浆毛细孔吸水量减小,相应的二次泛碱面积也减小.

(3)聚羧酸减水剂显著改善了饰面砂浆的孔结构,使饰面砂浆的孔隙率、气孔含量以及表面孔隙数量明显减少,降低了饰面砂浆内部连通毛细孔数量,使得毛细孔以封闭孔隙为主,从而导致水分和离子向砂浆表面的迁移通道减少,显著降低了饰面砂浆泛碱现象,提高了其抗泛碱性能.

**致谢:** 特别感谢同济大学材料科学与工程学院材料测试中心实验室于龙老师、张震雷老师在微观测试分析中的帮助和支持.

#### 参考文献:

[1] VILHENA A, SILVA C, FONSECA P, et al. Exterior walls covering system to improve thermal performance and increase

结合饰面砂浆的表面孔隙状况、孔结构以及毛细孔吸水量变化情况,可知:PCE使饰面砂浆内部毛细孔增多,但毛细孔吸水量降低,这可能是由于PCE使饰面砂浆内毛细孔多为封闭孔;PCE还明显降低了饰面砂浆表面及内部的气孔数量.

service life of walls in rehabilitation interventions[J]. Construction and Building Materials, 2017, 142:354-362.

[2] WALKER C, KOSAR D. Evaluating stucco-clad building wall systems through hydrothermal modeling [J]. ASHRAE Transactions, 2007, 113(2):306-320.

[3] 胡婷,丁益民,黄平,等.水泥基饰面砂浆抗泛碱性能的研究进展[J].粉煤灰综合利用,2017,31(5):76-80.

HU Ting, DING Yimin, HUANG Ping, et al. Research progress of prevention of efflorescence on Portland cement-based decorative mortar[J]. Fly Ash Comprehensive Utilization, 2017, 31(5):76-80. (in Chinese)

[4] 王培铭,薛伶俐,朱绘美,等.半水石膏对硅酸盐水泥-铝酸盐水泥饰面砂浆泛白的影响[C]//第五届全国商品砂浆学术交流会论文集.南京:化学工业出版社,2013:246-250.

WANG Peiming, XUE Lingli, ZHU Huimei, et al. The effect of hemihydrate gypsum on efflorescence resistance of decorative mortars of the mixed system of Portland cement and calcium aluminate cement[C]//Proceeding of 5th National Commercial Mortar. Nanjing: Chemical Industry Press, 2013:246-250. (in Chinese)

[5] 薛伶俐,黎红兵,高云龙.铝酸盐水泥-半水石膏二元体系饰面砂浆泛白原因分析[J].硅酸盐通报,2018,37(10):3213-3216. XUE Lingli, LI Hongbing, GAO Yunlong. Analysis of the reasons for efflorescence performance of decorative mortar based on aluminate cement and gypsum system [J]. Bulletin of the Chinese Ceramic Society, 2018, 37(10):3213-3216. (in Chinese)

[6] 张灵,王培铭,朱绘美,等.矿渣粉和偏高岭土对水泥基饰面砂浆性能的影响[C]//第四届全国商品砂浆学术交流会论文集.上海:化学工业出版社,2011:286-292.

ZHANG Ling, WANG Peiming, ZHU Huimei, et al. Influences of slag powder and metakaolin to the performances of cement-based decorative plasters[C]//Proceeding of 4th National Commercial Mortar. Shanghai: Chemical Industry Press, 2011, 286-292. (in Chinese)

- [7] 胡婷, 丁益民, 陆文雄, 等. 固体废弃物对水泥基饰面砂浆性能的影响[J]. 材料导报, 2018, 32(增刊1):475-477.  
HU Ting, DING Yimin, LU Wenxiong, et al. Effect of solid industrial wastes on the performance of cement-based decorative mortar[J]. Materials Reports, 2018, 32(Suppl 1):475-477. (in Chinese)
- [8] 杨正宏, 刘美晨, 于龙, 等. 用水量对硅酸盐水泥石泛白的影响及作用机理[J]. 建筑材料学报, 2022, 25(7):663-671.  
YANG Zhenghong, LIU Meichen, YU Long, et al. Effects of water amount on efflorescence of Portland cement-based artificial stone and its mechanisms[J]. Journal of Building Materials, 2022, 25(7):663-671. (in Chinese)
- [9] 朱绘美, 王培铭, 张国防. 憎水剂影响硅酸盐水泥基饰面砂浆泛白的机理[J]. 建筑材料学报, 2014, 17(5):882-886.  
ZHU Huimei, WANG Peiming, ZHANG Guofang. Effect of hydrophobic agent on efflorescence of Portland cement-based decorative mortar[J]. Journal of Building Materials, 2014, 17(5):882-886. (in Chinese)
- [10] 朱绘美, 王培铭, 张国防. 引气剂对水泥基饰面砂浆泛白的影响及其机理[J]. 建筑材料学报, 2017, 20(1):1-6.  
ZHU Huimei, WANG Peiming, ZHANG Guofang. Effect of air entraining agent on efflorescence of cement-based decorative mortar and its mechanism[J]. Journal of Building Materials, 2017, 20(1):1-6. (in Chinese)
- [11] 王俊洁, 薛善彬, 张鹏, 等. 引气剂对冻融循环前后砂浆毛细吸水规律的影响[J]. 建筑材料学报, 2022, 25(10):1007-1014.  
WANG Junjie, XUE Shanbin, ZHANG Peng, et al. Effect of air entraining agent on capillary water absorption of mortar before and after freeze-thaw cycles[J]. Journal of Building Materials, 2022, 25(10):1007-1014. (in Chinese)
- [12] 石齐. 水泥基饰面砂浆泛碱性能及抑制措施研究[D]. 重庆:重庆大学, 2014.  
SHI Qi. Research on efflorescence and suppression measures of cement-based decorative mortar[D]. Chongqing: Chongqing University, 2014. (in Chinese)
- [13] SOULIOS V, HANSEN E, PEUHKURI R, et al. Durability of the hydrophobic treatment on brick and mortar[J]. Building and Environment, 2021, 201:107994.
- [14] POWERS T C. Structure and physical properties of hardened Portland cement paste[J]. Journal of the American Ceramic Society, 1946, 41(1):1-6.
- [15] FAURE P F, CARE S, MAGAT J, et al. Drying effect on cement paste porosity at early age observed by NMR methods[J]. Construction and Building Materials, 2012, 29:496-503.