

VAE 乳胶粉改性砂浆耐久性能研究

宁懿彭, 许金余*, 王志航, 姚 傲

(空军工程大学航空工程学院, 西安, 710038)

摘要 针对实际工程应用中普通砂浆耐久性不足问题,研究了 VAE 乳胶粉对水泥砂浆耐久性改性效果,对不同聚合物含量(8%、9%、10%、11%和 12%)的 VAE 乳胶粉改性砂浆通过收缩率、开裂性敏感度、抗渗性、耐氯盐腐蚀性和碳化实验,测试了收缩率、开裂总权值、渗水高度、透水压力、碳化深度以及氯离子渗透高度,结合扫描电镜实验,揭示了 VAE 乳胶粉对砂浆的微观改性机理。结果表明,VAE 乳胶粉的加入显著提高了砂浆的抗渗透性。当聚合物含量为 12%时,VAE 乳胶粉砂浆的开裂总权值仅为普通水泥砂浆的 55.1%,透水压力较普通水泥砂浆提高了 78.6%,28 d 碳化深度和氯离子渗透高度较普通水泥砂浆分别降低了 36.8%、53.1%。VAE 乳胶粉与砂浆中的骨料在浆体内部形成高黏结力的网状膜结构,填充改性砂浆的孔隙,使浆体内部更加密实,进而增强了改性砂浆的耐久性。

关键词 VAE 乳胶粉改性砂浆;收缩性;抗开裂性;抗渗性;抗碳化性;耐氯盐腐蚀性

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2022.02.016

中图分类号 TU528 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2022)02-0106-06

Research on Durability of VAE Latex Powder Modified Mortar

NING Yipeng, XU Jinyu*, WANG Zhihang, YAO Ao

(Aviation Engineering School, Air Force Engineering
University, Xi'an 710038, China)

Abstract In view of the insufficient durability of ordinary mortar in practical engineering application, the durability modification effect of VAE emulsion powder on cement mortar was studied. For VAE latex powder modified mortar with different polymer content (8%, 9%, 10%, 11% and 12%), through shrinkage, cracking sensitivity, impermeability, chloride corrosion resistance and carbonation experiments, the shrinkage, total weight of cracking, water seepage height, water permeability pressure, carbonation depth and chloride ion penetration height were tested. Combined with SEM experiments, the micro modification mechanism of VAE emulsion powder on mortar is revealed. The results show that the addition of VAE emulsion powder significantly improves the impermeability of mortar. When the polymer content is 12%, the total cracking weight of VAE latex powder mortar is only 55.1% of that of ordinary cement mortar, the permeability pressure is 78.6% higher than that of ordinary cement mortar, and the 28 day carbonation depth and chloride ion penetration height are 36.8% and 53.1% lower than that of ordinary cement mortar respectively. VAE emulsion powder and the aggregate in the mortar form a network membrane structure with

收稿日期: 2021-09-06

作者简介: 宁懿彭(1998—),男,辽宁沈阳人,硕士生,研究方向为防护材料。E-mail:ningyipeng1998@163.com

通信作者: 许金余(1963—),男,吉林靖宇人,教授,博士生导师,研究方向为防护工程。E-mail:jxy369@yeah.net

引用格式: 宁懿彭, 许金余, 王志航, 等. VAE 乳胶粉改性砂浆耐久性能研究[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2022, 23(2): 106-111.
NING Yipeng, XU Jinyu, WANG Zhihang et al. Research on Durability of VAE Latex Powder Modified Mortar[J]. Journal of Air Force Engineering University (Natural Science Edition), 2022, 23(2): 106-111.

high adhesion inside the slurry, fill the pores of the modified mortar, make the interior of the slurry more dense, and then enhance the durability of the modified mortar.

Key words modified mortar with VAE emulsion powder; contractility; cracking resistance; impermeability; carbonation resistance; corrosion resistance to chloride

普通砂浆在工程中应用广泛,用量巨大,大量砂浆用于地下防护工程、水工建筑物、隧道等工程的修补、防水抗渗。地下防护工程、水工建筑物、隧道等工程长期处于恶劣的自然环境中,结构容易发生腐蚀破坏,普通砂浆的耐久性能差,易变质失效,较短时间内便发生破坏,对于施工效率和耐久性要求较高的工程,修补效果较差,难以满足结构的使用要求。

聚合物改性砂浆是一种新型水泥基复合材料,由可分散在水中的有机聚合物、水泥和砂组成,其中由聚合物膜形成的网状结构可用于改善砂浆的力学性能^[1-3]和耐久性^[4-5],聚合物改性砂浆具有广泛的应用前景,是混凝土结构修补和加固^[6]的重要材料。因此,国内外学者对聚合物种类、掺量等进行大量研究,进一步改善了砂浆耐久性。Banjo Akinyemi 等^[7]研究了建筑垃圾废弃竹纤维增强乳胶改性水泥砂浆的性能,添加 1.5% 的竹纤维和 10% 的乳胶溶液改性的水泥砂浆性能最优。Zhang X 等研究了苯丙共聚乳胶(SA)对硅酸盐水泥/铝酸钙水泥/石膏三元胶凝体系(TBS)砂浆力学性能、黏结强度和吸水率的影响,结果表明,SA 聚合物的加入可以提高 TBS 砂浆的黏结强度和柔韧性,降低其吸水率^[8]。南雪丽等研究聚灰比对快硬水泥砂浆抗渗性、抗冻性及孔径分布的影响,聚灰比越大,聚合物砂浆的抗渗性、抗冻性越强,聚灰比为 0.5 时,其综合性能最佳^[9]。Edy Purwanto 等研究坎塔拉纤维织物增强材料对聚合物改性砂浆弯曲性能的影响,坎塔拉纤维织物增强材料显著改善了砂浆的延展性和残余强度^[1]。

综上所述,聚合物的加入能够提高砂浆的耐腐蚀性能、抗渗性、抗冻性能等,VAE 乳胶粉本身具有黏结强度高、耐水性和耐碱性强等优点,且关于 VAE 乳胶粉改性砂浆耐久性研究仍有空白。本文

结合聚合物改性砂浆的研究现状,提出利用 VAE 乳胶粉进行改性,通过收缩率实验,测试收缩率指标;通过开裂性敏感度实验,计算开裂总权值指标;通过抗渗性实验,测试渗透高度和透水压力指标;通过耐氯盐腐蚀性实验,测试氯离子渗透高度指标;通过碳化实验,测试碳化深度指标。研究揭示了 VAE 乳胶粉对砂浆耐久性能的影响规律,结合扫描电镜实验,揭示 VAE 乳胶粉对砂浆内部微观改性机理。

1 实验

1.1 实验材料

VAE 乳胶粉改性砂浆的原材料包括普通硅酸盐水泥、砂、VAE 乳胶粉、水、减水剂。尧柏牌 42.5 级普通硅酸盐水泥,灞河砂,VAE 乳胶粉,具体参数见表 1~3。减水剂为陕西中易化工产 40% 固含量的聚羧酸高性能减水剂母液。

表 1 VAE 乳胶粉的技术指标

性能	指标
外观	白色粉末,可自由流动
固含量/%	≥98
灰份(1 000 °C)/%	10±2
堆积密度/(g/L)	400~600
保护胶体	聚乙烯醇
平均粒径/μm	≥80
50%水溶液黏度/(Pa·s)	≥10
pH 值	6~8
玻璃转换温度/°C	2
最低成膜温度/°C	5

表 2 P.O 42.5 普通硅酸盐水泥性能指标

凝结时间/min		抗折强度/MPa		抗压强度/MPa		细度	安定性
初凝	终凝	3 d	28 d	3 d	28 d		
163	264	5.4	6.9	23.5	46.2	1.6	合格

表 3 减水剂的技术指标

减水率/%	泌水率比/%	含气量/%	凝结时间之差/min	抗压强度比/%		收缩率比/%	外观
				7 d	28 d		
≥25	≤60	≤6.0	210	≥150	≥140	≤110	褐色透明液体

1.2 试件制备与实验方法

1.2.1 试件制备

VAE 乳胶粉改性砂浆配合比见表 4, A0 组为

普通水泥砂浆, A1~A5 组为 VAE 乳胶粉改性砂浆。按照表 4 所示配合比进行 VAE 乳胶粉改性砂浆的制备, 具体制备过程见图 1。

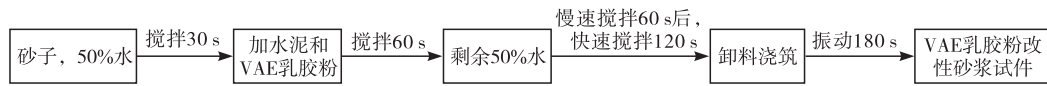


图 1 VAE 乳胶粉改性砂浆试件制备流程

表 4 VAE 乳胶粉改性砂浆配合比

实验组	聚灰比/%	水灰比	灰砂比	减水剂掺量/%	砂/g	灰/g	水/g	减水剂/g	VAE 乳胶粉/g
A0	0	0.38	0.375	1	2 400	900	342	9	0
A1	8	0.38	0.375	1	2 400	900	342	9	72
A2	9	0.38	0.375	1	2 400	900	342	9	81
A3	10	0.38	0.375	1	2 400	900	342	9	90
A4	11	0.38	0.375	1	2 400	900	342	9	99
A5	12	0.38	0.375	1	2 400	900	342	9	108

1.2.2 实验方法

收缩率实验具体参考《建筑砂浆基本性能实验方法标准》(JGJ/T 70—2009)进行。见图 2。

开裂性敏感度实验按照《公路工程水泥及水泥混凝土实验规程》(JGJ 3420—2020)进行, 试件先进行环形约束收缩实验, 如图 3 所示。试件成型后拆除外模, 内模对试件起约束作用, 两边使用风扇加速开裂。观察并测量裂缝的长度和宽度, 未出现裂缝时, 每隔 6 h 测量一次, 裂缝出现后, 每隔 1 h 测量一次, 28 h 后测量并记录最大裂缝宽度及开裂时间。以最大裂缝宽度和裂缝面积为主要指标, 以裂缝长度和裂缝出现时间为次要指标, 共同评价裂缝开裂, 其中裂缝面积等于裂缝长度与裂缝的权值宽度相乘。



图 2 收缩率实验



图 3 试件成型示意图

裂缝宽度的权值分布见表 5。

表 5 裂缝宽度权值表

$d(10^{-2} \text{ mm})$	$d \leq 1$	$1 < d \leq 2$...	$10 < d \leq 11$	$11 < d \leq 12$
权值 A_i	1	2	...	11	12

$$W = \sum A_i l_i \quad (1)$$

式中: W 为开裂总权值; A_i 为不同宽度裂缝权值; l_i 为裂缝长度。

抗渗性实验按照《公路工程水泥及水泥混凝土实验规程》(JGJ 3420—2020)进行, 见图 4。



图 4 抗渗性实验

耐氯盐腐蚀性实验按照《公路工程水泥及水泥混凝土实验规程》(JGJ 3420—2020)进行, 实验采用 $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ 的立方体试件, 养护龄期 28 d 时, 用环氧树脂密封试件的上下底面, 然后用 2.5% 的 NaCl 溶液浸泡试件, 上底面距液面 50 mm, 下底面距槽底 10 mm。28 d 后劈开试件, 测量氯离子渗透高度, 耐氯盐腐蚀性实验见图 5。

碳化实验按照《普通混凝土长期性能和耐久性实验方法》(GB/T 50082—2009)进行, 见图 6。



图 5 耐氯盐腐蚀性实验



图 6 碳化实验

扫描电镜实验使用型号为 JSM6510 的扫描电子显微镜,如图 7 所示。首先将新制备的微观切片试样进行喷金处理(实验仪器见图 8)90 s,随后将经喷金处理后的微观切片试样置于扫描电镜实验舱内进行微观形貌扫描观测。



图 7 SEM 实验



图 8 全自动离子溅射仪

2 实验结果与讨论

收缩率、开裂性敏感度、抗渗性、耐氯盐腐蚀性和碳化实验均进行 3 组,3 组实验结果取平均值后将每组实验结果与平均值取差值,如果误差值超过平均值的 5%,则认为这组实验是失败的,重新补做一组后再进行对比,直至每组实验结果误差值满足要求后,取均值作为实验最终结果。

2.1 VAE 乳胶粉改性砂浆的收缩性

图 9 为砂浆的收缩率与龄期关系。由图可得,随着龄期的延长,砂浆的收缩量均大幅提升,VAE 乳胶粉改性砂浆的增幅相对较小。

28 d 时,与普通砂浆相比,聚灰比为 12% 的收缩率减少了 9.9%;普通砂浆 42 d 的收缩率较 14 d 时增大了 39.6%,聚灰比为 9% 时仅增长了 23.9%。龄期为 42 d 的 VAE 乳胶粉改性砂浆,当聚灰比^[9]为 11% 时收缩量仅为普通砂浆的 86.3%。这是由于 VAE 乳胶粉具有保水性,水化反应时砂浆的收缩较小,后期 VAE 乳胶粉上活性基团与水化产物反应,在填充内部孔隙基础上进一步加固密实砂浆内部结构。

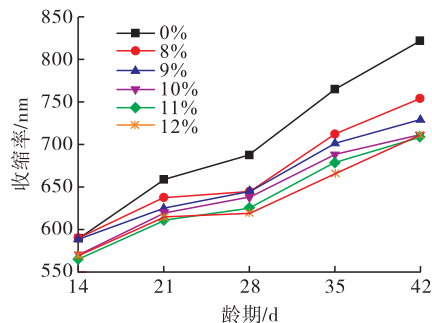


图 9 改性砂浆收缩率实验结果

2.2 VAE 乳胶粉改性砂浆的抗开裂性

实验结果见表 6,由表 6 可知,VAE 乳胶粉改性砂浆裂缝出现的时间晚于普通砂浆,且最大裂缝宽度、裂缝数量均小于普通砂浆。设普通砂浆的开裂总权值为 1,VAE 乳胶粉改性砂浆的开裂总权值比如图 10 所示,结合图表分析可得,聚灰比为 11% 和 12% 的 VAE 乳胶粉改性砂浆的开裂总权值分别为普通砂浆的 53.6% 和 54.1%,开裂破坏时间相比普通砂浆均延长了 60%,最大裂缝宽度较普通砂浆分别减小了 33.3% 和 41.7%。聚灰比由 11% 增加至 12%,开裂总权值有所回升,这是由于 VAE 乳胶粉掺量超过 11% 后,VAE 乳胶粉不能均匀分散至水泥砂浆内部,影响其与砂浆中的骨料形成高黏结力的膜结构,进而开裂敏感性提高。

表 6 砂浆开裂性实验结果

实验组	开裂时间/d	最大裂缝宽度/mm	开裂总权值
A0	5	0.12	102.1
A1	7	0.07	56.3
A2	7	0.07	55.9
A3	7	0.08	55.1
A4	8	0.08	54.8
A5	8	0.07	55.2

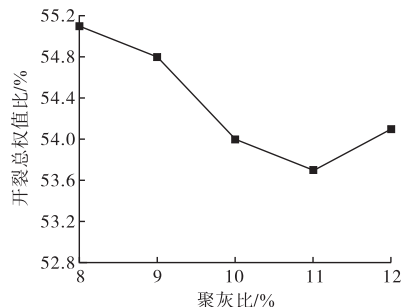


图 10 改性砂浆开裂敏感性实验结果

2.3 VAE 乳胶粉改性砂浆的抗渗性

图 11、12 分别表示加压 2.0 MPa 时渗水高度、透水压力与聚灰比的关系,从图中可以看出,砂浆的抗渗性能随着聚灰比增大有着显著提高,对普通砂浆试件施加 1.4 MPa 的恒压 8 h,3 个试件全部破坏,VAE 乳胶粉改性砂浆试件仍保持完好,继续加压到 2.0 MPa 并恒压 8 h,VAE 乳胶粉改性砂浆试件表面未出现渗水现象,聚灰比为 12% 时测量试件内部渗水高度均值为 3.0 cm。另一组 VAE 乳胶粉改性砂浆试件加压至渗透破坏,测得试件的透水压力均值为 2.5 MPa,比普通砂浆提高了 1.1 MPa;随着 VAE 乳胶粉掺量的增加,透水压力显著提升,分别达到 64.3%~78.6%。这是由于 VAE 乳胶粉包裹在水化产物外部,增加了其水化膜层厚度,有效阻止了外部水分子的浸入,进而提高了改性砂浆的抗渗性能。

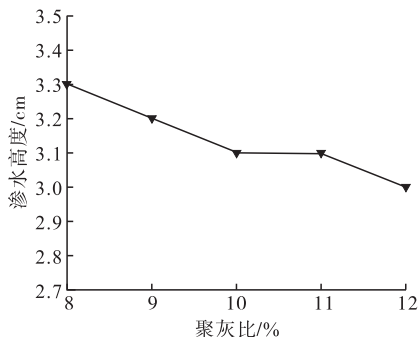


图 11 改性砂浆渗水高度实验结果

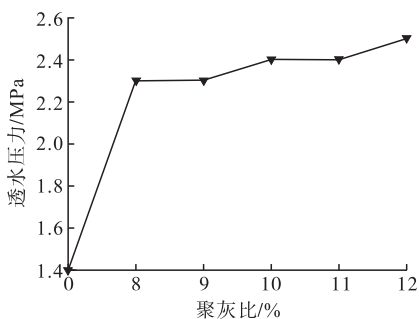


图 12 改性砂浆透水压力实验结果

2.4 VAE 乳胶粉改性砂浆的耐氯盐腐蚀性

砂浆抗氯离子渗透性与混凝土耐久性息息相关,氯离子的侵蚀导致结构较早损坏,对结构的安全性带来极大的危害,甚至造成重大事故^[16]。

VAE 乳胶粉改性砂浆氯离子渗透深度与聚灰比的关系如图 13 所示,当聚灰比为 12% 时,VAE 乳胶粉改性砂浆 28 d 氯离子渗透深度最小,为 11.74 mm,普通砂浆氯离子渗透深度为 25 mm,VAE 乳胶粉改性砂浆的氯离子渗透深度仅为普通砂浆的 47.2%。说明 VAE 乳胶粉膜可以有效填充水泥砂浆内部孔隙,包裹砂石以及水化产物,使其相互间接触面积增大,从而使砂浆内部结构更加密实,耐氯盐腐蚀性显

著增强。

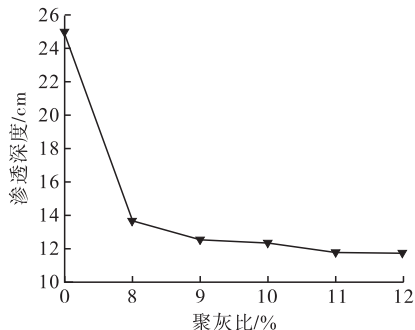


图 13 改性砂浆耐氯盐腐蚀性实验结果

2.5 VAE 乳胶粉改性砂浆的抗碳化性

碳化^[15]是一种化学腐蚀,空气中的 CO_2 气体进入 VAE 乳胶粉改性砂浆内部,碱性物质与其发生化学反应: $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$,降低 VAE 乳胶粉改性砂浆的碱性,增大其内部钢筋在实际工程应用中被腐蚀破坏的风险。VAE 乳胶粉改性砂浆的碳化深度与聚灰比的关系如图 14 所示。

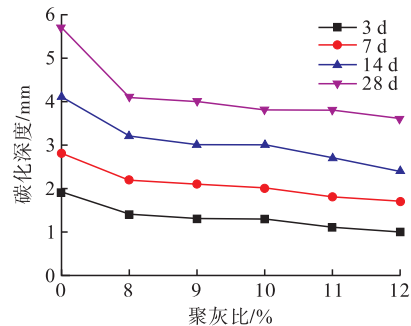


图 14 改性砂浆抗碳化性实验结果

由图 14 可知,VAE 乳胶粉的加入能够增强砂浆的抗碳化性能,砂浆的碳化深度随着聚灰比的增大而减小,随着碳化时间的延长而增长。28 d 时,相较普通砂浆,聚灰比为 12% 时,VAE 乳胶粉改性砂浆碳化深度减少了 36.8%。普通砂浆 28 d 碳化深度较 3 d 时增大了 3.8 mm,而聚灰比为 10% 时,仅增大了 2.5 mm。这是由于 VAE 乳胶粉的加入可以填充砂浆内部有害孔隙,可有效抵挡 CO_2 进入砂浆内部,其中聚灰比为 8% 时,VAE 乳胶粉填充孔隙基本已达到相对饱和状态。

3 机理分析

为了研究 VAE 乳胶粉在砂浆中的结构形式,探究改性机理,SEM 实验下试件放大 20 000 倍的微观形貌见图 15~16。普通砂浆的内部结构疏松,分布着大量针状物质及直径较大的孔隙,且孔隙间的连接较多,因此抗渗性能较差。VAE 乳胶粉改性砂浆中大量膜结构(VAE 乳胶粉和水泥水化产物)填充 VAE 乳胶粉改性砂浆的孔隙,部分膜结构穿插于

孔隙之间,连接着孔隙两侧,致使孔隙减少,直径变小。VAE 乳胶粉改性砂浆中存在许多较粗的柱状物质,代替普通砂浆中的针状物质,硬化水泥浆体内部孔隙显著减少,形成多道隔膜网,阻断水分、气体和氯离子运输通道,从而提高砂浆的抗渗、抗碳化和耐氯离子腐蚀性能。部分水化产物由刚性接触转变为柔性接触,增强了内部结构柔韧性及变形性能,进一步促进了水化产物的发育,在聚合物周围团簇了更多的水化产物钙矾石相,VAE 乳胶粉加入促进了水泥砂浆后期水化,从而进一步提高了改性砂浆的耐久性。

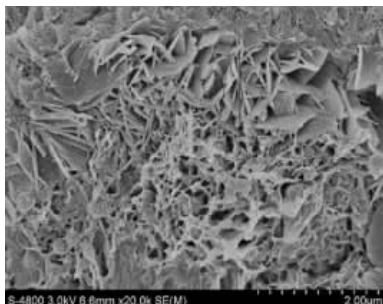


图 15 普通砂浆微观形貌

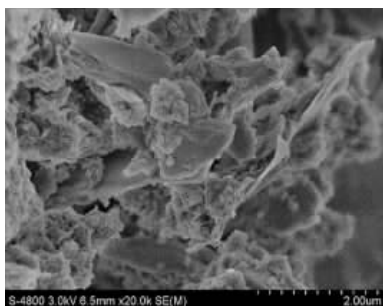


图 16 VAE 乳胶粉改性砂浆微观形貌

4 结论

1)VAE 乳胶粉改性砂浆的耐久性能相较普通砂浆有显著提升,VAE 乳胶粉的加入显著提高了水泥砂浆的抗开裂性、抗渗性、抗碳化性和耐氯盐腐蚀性,收缩性有所改善。

2)VAE 乳胶粉改性砂浆抗渗性良好,透水压力最大为 2.5 MPa,较普通砂浆提高 78.6%。同一龄期下,聚灰比为 11% 的 VAE 乳胶粉改性砂浆抗开裂性最好,聚灰比为 12% 的 VAE 乳胶粉改性砂浆抗碳化性和耐氯离子腐蚀性最好。

3)VAE 乳胶粉与砂浆中的骨料可以在浆体内部形成高黏结力的网状膜结构,填充改性砂浆的孔隙,阻断水分、气体和氯离子运输通道,使浆体内部更加密实,进而增强了改性砂浆的耐久性。

参考文献

[1] PURWANTO E, KRISTIawan S, SANTOSA B, et

- al. Effect of Cantala Fiber as Textile Reinforcement on the Flexural Behaviour of Polymer Modified Mortar [J]. MATEC Web of Conferences, 2017, 138: 1-8.
- [2] 顾超,许金余,孟博旭. 聚丙烯纤维对两种聚合物 VAE 乳胶粉改性砂浆力学性能的影响[J]. 硅酸盐通报, 2018, 37(12): 3764-3768.
- [3] 刘东,焦晓东,熊剑平,等. 不同聚合物改性硫铝酸盐水泥性能研究[J]. 公路, 2021, 66(5): 247-252.
- [4] 尹艳平,陈华鑫,宋莉芳,等. PVAc 改性水泥砂浆耐化学腐蚀性能[J]. 硅酸盐通报, 2017, 36(3): 971-978.
- [5] 李悦,何赫. 聚合物改性水泥砂浆的研究进展[J]. 功能材料, 2016, 47(7): 7038-7045.
- [6] BESTER J, KRUGER D. Concrete Crack Repair with Polymer Modified Mortars: The Status Quo in the South African Construction Industry and the Way Forward[J]. Advanced Materials Research, 2015, 1129: 422-428.
- [7] AKINYEMI B, OMONIYI T. Properties of Latex Polymer Modified Mortars Reinforced with Waste Bamboo Fibers from Construction Waste [J]. Buildings, 2018, 8(11): 1-10.
- [8] ZHANG X, LI G X, SONG Z P. Influence of Styrene-Acrylic Copolymer Latex on the Mechanical Properties and Microstructure of Portland Cement/Calcium Aluminate Cement/Gypsum Cementitious Mortar [J]. Construction and Building Materials, 2019, 227: 116666. 1-116666. 9.
- [9] 南雪丽,邵楷模. 聚灰比对聚合物快硬水泥砂浆耐久性的影响[J]. 硅酸盐通报, 2016, 35(5): 1627-1631.
- [10] 韩冬冬,陈维灯,钟世云. 乳胶粒径对聚合物改性水泥基材料性能的影响[J]. 建筑材料学报, 2017, 20(6): 943-949.
- [11] 黄浩良,吴欣桐,刘昊,等. 固化海水离子裂缝自修复剂制备及其在硬化水泥浆体中的作用机理[J]. 硅酸盐学报, 2021, 49(8): 1619-1630.
- [12] 朱志远,岑国平,王硕太,等. 基于正交实验的水泥砂浆开裂敏感性研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2010, 42(4): 561-566.
- [13] 陈潇,王杰,朱国瑞,等. 化学官能团对地聚合物力学性能的影响研究[J]. 混凝土, 2017(7): 26-29.
- [14] 邢小光,陈震,许金余,等. 混凝土受氯盐腐蚀后动力学特性损伤研究[J]. 硅酸盐通报, 2017, 36(2): 589-594.
- [15] 张玲峰,韩建德,刘伟庆,等. 大掺量矿渣水泥砂浆碳化过程研究[J]. 硅酸盐通报, 2015, 34(3): 591-596.
- [16] 聂良学,许金余,王宏伟,等. 混凝土受酸腐蚀后的动力学性能弱化及微观结构研究[J]. 振动与冲击, 2017, 36(14): 126-132.

(编辑:姚树峰)