

废弃红砖微粉填料制备环保乳胶漆及其性能研究

郑毅¹, 夏发发¹, 林顺洪², 柏继松², 黄仁华³, 周海燕³, 张美兰³, 赵由才^{1*} (1. 同济大学环境科学与工程学院, 污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海 200092; 2. 重庆科技学院, 重庆 401331; 3. 上海老港废弃物处置有限公司, 上海 201302)

摘要: 研究了利用废弃红砖生产环保乳胶漆的制备方法, 通过正交试验分析了乳液种类、乳液含量、醇酯十二含量、丙二醇含量和增稠剂含量对环保乳胶漆性能的影响。结果表明, 废弃红砖微粉与苯丙乳液有较好的相容性, 当乳液含量为 25%~30%, 醇酯十二 0.4%~1.2%, 丙二醇 3.00%~3.75%, 增稠剂 1%~1.5% 时, 砖质环保乳胶漆产品低温稳定性良好, 可成完全悬浮状态, 表干时间小于 30min, 摆杆阻尼次数可达 103 次, 附着力等级大于 5, 这为建筑废物资源化提供新的途径。

关键词: 建筑废物; 红砖; 乳胶漆; 资源化

中图分类号: X705 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6923(2019)02-0684-07

Preparation and properties of environmentally friendly latex paint with red brick waste powder. ZHENG Yi¹, XIA Fa-fa¹, Lin Shun-hong², Bai Ji-song², HUANG Ren-hua³, ZHOU Hai-yan³, ZHANG Mei-lan³, ZHAO You-cai^{1*} (1. State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, School of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Chongqing University of Science and Technology, Chongqing 401331; 3. Shanghai Laogang Waste Disposal Co., Ltd, Shanghai 201302, China). *China Environmental Science*, 2019, 39(2): 684-690

Abstract: In this paper, the preparation of environmentally friendly latex paint with red brick waste was investigated. Effects of emulsion type, and the dosages of emulsion, coalescent, propylene glycol and thickener were studied in detail. It was indicated that red brick waste powder had a good compatibility with styrene acrylic emulsion. The environmentally friendly latex paint was completely suspended and had an excellent low temperature stability under the optimum condition, which was the dosages of emulsion, coalescent, propylene glycol and thickener were 25%~30%, 0.4%~1.2%, 3.00%~3.75% and 1.0%~1.5%, respectively. In addition, under the optimum condition, the drying time, damped pendulum rod time and adhesion level were less than 30min, 103 and more than 5, respectively. All of the promising results manifested that the environmentally friendly latex paint was a potential resource and provided a new platform for reusing construction waste.

Key words: construction waste; red brick; latex paint; resource

近年来,我国建筑废物的产量逐年增加,据统计截止到 2016 年年底,我国建筑废物产生量约为 24 亿 t^[1]。大量的建筑废物不仅占据土地资源,同时也存在潜在危害性^[2-3],所以建筑废物资源化一直是许多研究的重点。建筑废物资源化利用途径可分为分拣利用和一般性回填、作为建筑物或道路的基础材料、还原成水泥和沥青等方式^[4-5],且以建筑物或道路的基础材料为主。但是因其生产的产品性能无法与天然原材料的产品相比^[6-9],因此其资源化利用受到限制。

在建筑涂料领域,乳胶漆是以合成树脂乳液为基料加入颜料、填料及各种助剂配制而成的一类水性涂料^[10],其可以分为浆料和浆液两部分。填料作为浆料的主要成分,主要起到骨架结构和改善涂料性能的作用,大多采用重质与轻质碳酸钙^[11]、滑石粉^[12]、硅灰石粉^[13]、云母粉^[14]和石英粉^[15]等矿物

质。其中滑石粉、硅灰石粉、云母粉和石英粉均为硅酸盐类或金属硅酸盐类矿物质,其与建筑废物中某些组分的组成相近^[16-17],因此建筑废物粉末具有部分或完全替代传统填料的可能性。目前,已有一些研究利用废石膏^[18]、粉煤灰^[19-20]和蛋壳粉^[21-22]等替代填料制备涂料,并且某些产品具有特别的功能,如利用蛋壳制备的涂料,其阻燃性能较好^[23]。也有部分研究根据废砖颗粒的可烧结性制备喷涂料,张雯文等^[24]采用废粘土砖作为骨料,结果显示 4a%废粘土砖颗粒取代 60 矾土骨料的涂料,可维持烧后线收缩不变;王立旺等^[25]利用硅莫砖作为原料制备喷涂料,研究表明硅莫砖喷涂料在水泥窑三次风管上具有

收稿日期: 2018-07-20

基金项目: 重庆市生活垃圾资源化协同创新中心资助项目 (Shljzyh2017-006)

* 责任作者, 教授, zhaoyoucai@tongji.edu.cn

良好的使用效果.但是关于使用废弃红砖制备水性涂料的研究较少.

本研究以废弃红砖作为典型建筑废物,通过正交试验的研究方法,探究乳液种类、乳液百分比、成膜助剂和增稠剂等因素对涂料性能的影响,并给出适宜的添加范围,提出了砖质建筑废物制备水性涂料的工艺路线,为建筑废物资源化提供新途径.

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验中所使用的材料如表 1 所示.

表 1 实验材料

Table 1 Experiment materials used

名称	规格	来源
废弃红砖	块/粉末	同济大学校内建筑物拆除墙体
苯丙/纯丙/硅丙乳液	工业级	上海巴德富实业有限公司
分散剂	工业级	广州市润宏化工有限公司
醇酯十二	工业级	宜兴市可信的化工有限公司
丙二醇	工业级	宜兴市可信的化工有限公司
羟乙基纤维素	分析纯	上海阿拉丁生化科技股份有限公司
消泡剂	工业级	宜兴市可信的化工有限公司

将红砖经过鄂式破碎和电磁粉碎两级破碎后,过 80 目筛,筛下物即为实验所用初始原料. $D(10)$ 、 $D(50)$ 和 $D(90)$ 分别表示低于此粒径值的颗粒含量分别占总体的 10%、50%和 90%, $D[4,3]$ 为颗粒的等体积平均粒径,其计算式如下:

$$D[4,3]=\sum(nd_i^4)/\sum(nd_i^3)$$

其特征粒径 $D(10)$ 、 $D(50)$ 和 $D(90)$ 分别为 $3.97\mu\text{m}$ 、 $25.5\mu\text{m}$ 和 $85.7\mu\text{m}$,体积平均粒径 $D[4,3]$ 为 $36.6\mu\text{m}$.废弃红砖微粉的化学组成见表 2,主要以 Si 和 Al 为主要元素.

表 2 废弃红砖微粉化学组成(以氧化物计)

Table 2 Chemical composition of red brick waste powder (Oxides)

成分	含量(%)	成分	含量(%)
SiO ₂	64.21	MnO	0.148
Al ₂ O ₃	18.2	BaO	0.064
Fe ₂ O ₃	6.579	ZrO ₂	0.0528
CaO	2.63	SrO	0.0346
K ₂ O	2.55	ZnO	0.0247
MgO	1.73	Cr ₂ O ₃	0.023
Na ₂ O	1.5	Rb ₂ O	0.0136
P ₂ O ₅	1.08	CuO	0.0105
TiO ₂	0.975	NiO	0.008
SO ₃	0.197		

1.2 正交试验设计

本实验采用 5 因素 3 水平正交试验设计,对水性涂料中的主要成分进行分析,选择乳液种类、乳液百分比、醇酯十二、丙二醇和增稠剂含量作为研究因素,正交试验因素水平表见表 3.

表 3 正交试验因素水平表

Table 3 Orthogonal factor level table

因素水平	乳液种类	乳液百分比(%)	醇酯十二(%)	丙二醇(%)	增稠剂(‰)
1	苯丙乳液	20	0.4	2.25	1
2	纯丙乳液	25	1.2	3	1.5
3	硅丙乳液	30	2.0	3.75	2

1.3 浆料制备

1.3.1 浆料 按质量计,取 50%的废弃红砖微粉(133g)与相应百分比的乳液,加入 3%的去离子水与适量分散剂,搅拌均匀后置于尼龙罐中,球磨珠为氧化锆研磨球,球料比 6:1.将尼龙罐置于行星式球磨机中,转速 500r/min,球磨 300min 后得到涂料浆料.

1.3.2 浆液 将增稠剂与 5%的去离子水混合均匀得到浆液 1,将相应比例的醇酯十二、丙二醇、消泡剂与剩余的去离子水混合均匀得到浆液 2.

1.3.3 调漆 将浆料与浆液 2 进行混合,加入适量消泡剂后剪切搅拌 10min,转速 200r/min,然后加入浆液 1 剪切搅拌 5min,转速 150r/min,最终即得水性涂料.

1.4 性能测试

根据国标对漆膜^[26]进行制备,并测试涂料的粘度^[27]、耐冻融性^[28]和干燥时间^[29],以及涂层的附着力^[30]和硬度^[31].粘度测试采用涂-4 杯测定,以涂料流出时间记;表干时间采用吹棉球法测定;附着力测试中等级一级、二级、三级、四级、五级、六级、七级分别以数字 7、6、5、4、3、2、1;涂层硬度以摆杆阻尼次数记.

2 结果与讨论

2.1 正交试验结果

正交试验及相关性能的测试见表 4.

2.2 涂层外观

正交试验各组配方的涂层外观如图 1 所示.部分组别配方的涂层出现一定程度的涂层缺陷,主要包括缩孔和气泡,这两种缺陷均与消泡剂的使用有关.乳

液、增稠剂等物质在水性涂料制备过程中容易造成体系中出现大量气泡,从而影响体系中各类物质的均一性,因此通过消泡剂来降低水性涂料体系的表面张力.消泡剂以不溶解于发泡介质的液滴形态存在于涂料体系中,液滴具有一定大小.当液滴较大时,涂层

表面存在高、低表面张力区,且表面张力差值较大,涂层液体容易从低表面张力区移动至高表面张力区,在涂层表面出现边缘上隆而中心下凹的缩孔.当液滴较小时,消泡剂液滴小于气泡壁厚,消泡能力下降,因此涂刷干燥过程中造成涂层表面的不均匀.

表 4 正交试验及性能测试
Table 4 Results of orthogonal design and performance test

编号	乳液种类	乳液百分比(%)	醇酯十二(%)	丙二醇(%)	增稠剂(‰)	粘度(s)	表干时间(min)	附着力	硬度(次)	低温稳定性
1	1	1	1	2	3	121	23	5(三级)	89	8
2	2	1	2	1	3	113	14	4(四级)	81	6
3	3	2	1	1	1	33	17	4(四级)	83	6
4	2	3	1	1	1	42	22	5(三级)	88	4
5	3	3	1	3	3	110	37	5(三级)	84	10
6	1	1	1	1	1	44	20	5(三级)	89	6
7	1	1	1	1	1	42	18	6(二级)	90	4
8	2	1	3	3	1	41	25	4(四级)	82	8
9	1	3	3	1	2	78	10	7(一级)	101	2
10	3	1	2	1	2	67	17	3(五级)	76	4
11	1	2	2	3	1	33	28	6(二级)	94	8
12	1	1	1	3	2	82	33	5(三级)	91	10
13	1	3	2	2	1	42	24	6(二级)	100	8
14	2	2	1	2	2	74	27	5(三级)	84	8
15	3	1	3	2	1	38	22	3(五级)	74	6
16	1	2	3	1	3	108	13	5(三级)	84	2

注:低温稳定性各等级,10:涂料呈完全悬浮状态;8:调刀下降过程中有明显沉降触感;6:调刀上出现明显的沉降块;4:调刀无法以自重落到底部,结块较厚;2:结块严重,有坚硬块状物.

配方 2、9、10、15 的涂层表面出现缩孔缺陷,其中配方 10、15 缩孔密集,说明该配方中消泡剂在制备过程中分散不够充分,液滴直径较大,导致涂层的

表面张力分布不均匀.配方 6、13、14、16 的涂层表面出现气泡缺陷,涂层表面不均匀,表明消泡剂在此体系中易于分散,造成液滴直径过小,分散性能欠佳.

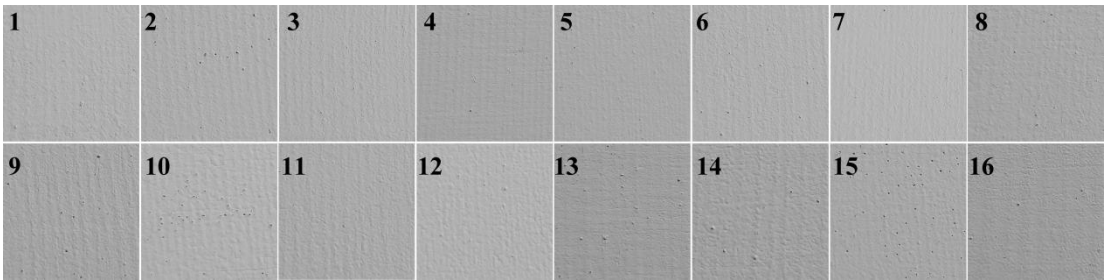


图 1 各组配方涂层外观
Fig.1 Appearance of each formulation coating

2.3 各因素对涂料性能的影响

2.3.1 粘度 涂料的粘度采用涂 4 杯进行测试,涂料的流出时间越长,则涂料的粘度越大,反之则越小.图 2 为各因素对流出时间的影响,其中增稠剂的方差(s^2)显著大于其他各因素,表明涂料产品的粘度完全受增稠剂含量的影响,其他因素的影响基本可以

忽略.增稠剂的添加量为 1‰,1.5‰和 2‰所对应的平均流出时间分别为 39.38s,75.25s 和 113s,其流出时间均在涂 4 杯测试范围内,符合相关标准要求.涂料的粘度影响其在使用过程中的涂刷效果,粘度过低易出现流挂现象,粘度过高又会造成施工困难.实验中发现 1‰增稠剂添加量的涂料过稀,1.5‰和 2‰

的添加量可以涂刷出正常的涂层,且不会对涂刷造成阻碍.因此增稠剂的添加量建议为 1.5%~2%.

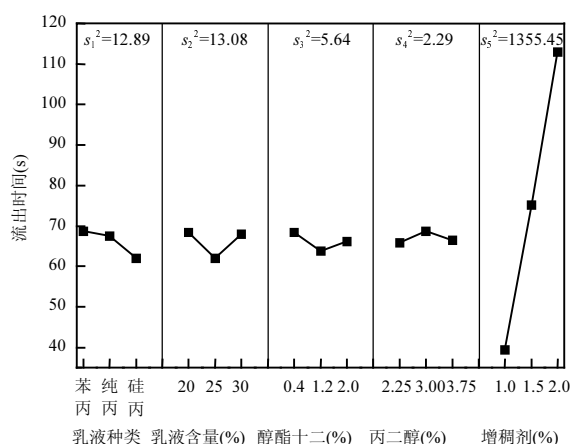


图2 各因素对涂料流出时间的影响

Fig.2 Effect of various factors on the outflow time of coatings

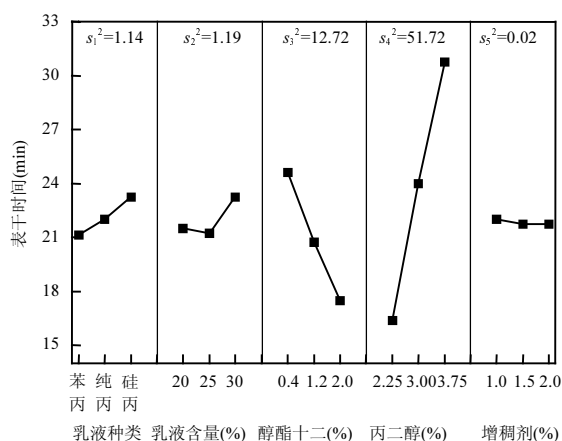


图3 各因素对涂层表干时间的影响

Fig.3 Effect of various factors on the surface drying of coatings

2.3.2 表干时间 表干时间较大会增长两次涂刷的间隔时间,不利于施工过程的顺利进行.表干时间过短,涂层表面干燥成型,但涂层内部仍为湿软状态,其干燥过程会继续收缩,致使涂层表面出现裂纹等缺陷的出现.因此需要对表干时间进行一定的控制,使其既减小涂刷的间隔时间,又可保证涂层的美观.由图3可知,所有配方的涂料表干时间均小于32min,不同因素对涂料表干时间影响的方差大小依次为:丙二醇>醇酯十二>乳液含量>乳液种类>增稠剂,其中丙二醇和醇酯十二均属于成膜助剂,它们的含量对表干时间的长短起主导作用.随着醇酯十二的增多,砖粉水性涂料的最低成膜温度逐渐降低,因此其

表干时间缩短,有利于快速成膜.丙二醇在涂料体系中起到慢干剂的作用,一定程度延长表干时间.在实验添加范围内,表干时间与丙二醇添加量呈正相关.结合涂层外观情况,当醇酯十二添加量为1.2%或2%,且丙二醇添加量为2.25%或3%时(配方2、9、10、16),涂层易出现缩孔缺陷.因此以表干时间和涂层情况为参考指标,最终确定醇酯十二和丙二醇的添加范围分别为0.4%~1.2%和3%~3.75%.

2.3.3 附着力 附着力反映的是涂层与底材之间的粘结程度,乳液种类及乳液含量是影响涂层附着力等级的关键因素,其方差远大于其余三种因素.对于不同种类的乳液,苯丙乳液制备出来的砖粉水性涂料的附着力较大,附着力平均值为5.625,表明砖粉与苯丙乳液的适应性相对较好.硅丙乳液的附着力平均值仅为3.75,说明其不易与砖粉组分形成较好的结合关系,从而影响与底材之间的粘结效果.

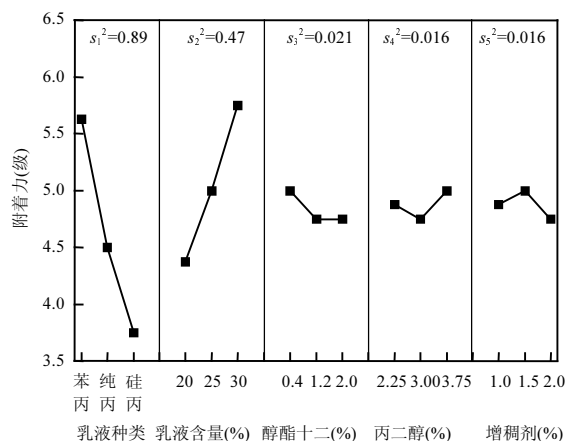


图4 各因素对涂层附着力的影响

Fig.4 Effect of various factors on coating adhesion

附着力数值随乳液含量增大呈上升趋势,且当乳液含量为30%时,附着力可达到5.75.当乳液含量较低时,乳液分子对涂层与底材之间的粘结作用贡献较小,此时附着力体现在砖粉与底材之间的作用.乳液含量升高时,乳液分子可充分介于砖粉颗粒和底材之间,形成较好的粘附效果.

2.3.4 硬度 涂层硬度是表示涂层机械强度的主要指标之一,反映当其他物体作用在涂层较小表面时涂层产生的变形能力.硬度越高则变形越小,外界物体与涂层接触时越不容易在其表面留下痕迹.填料种类及含量、乳液种类及含量、填料与乳液结合情况、成膜效果均是影响涂层硬度的影响较大,纯

丙乳液和硅丙乳液涂料的平均硬度较低,分别为 83.75 和 79.25 次,苯丙乳液的涂料的因素.由图 5 可知,涂层硬度受乳液种类及含量可达到 92.25 次,说明苯丙乳液与砖粉所形成的涂层相较于其他两种乳液“质硬”.

另一方面,砖粉颗粒在乳液含量较少情况下无法有效结合,当外界施加作用力在涂层表面时,表层颗粒极易脱落,并进而对内层结构造成破坏,因此表现为硬度较低,乳液含量 20%时平均次数仅为 84 次.当乳液含量升高为 30%时,摆杆阻尼次数可达 93.25 次,此时乳液分子与砖粉颗粒形成较好的共存体系,填料与乳液结合密切,所形成的涂层更为致密.

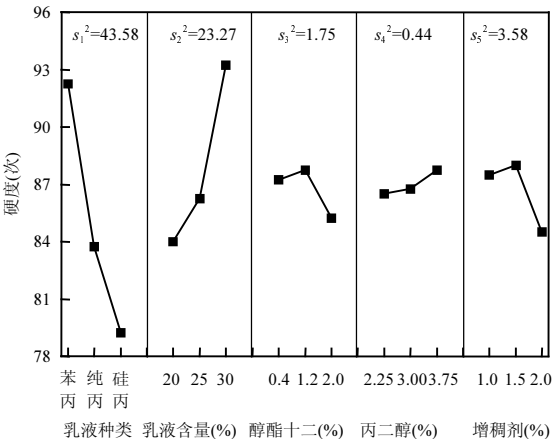


图 5 各因素对涂层硬度的影响

Fig.5 Effect of various factors on coating hardness

2.3.5 低温稳定性 各因素对涂料低温稳定性的影响如图 6 所示,砖粉水性涂料在低温环境下的稳定性主要受成膜助剂的影响.当丙二醇不仅有利于涂料的成膜过程,同时可降低涂料体系的冰点,起到防冻剂的作用.因此丙二醇含量较低时,砖粉水性涂料在低温环境中容易结块,且恢复室温后,无法满足均一体系的要求.当添加量大于 3%时,涂料不易凝结成固体,体系中的有机组分和无机组分仍能很好地互溶,具备良好的低温储存能力.醇酯十二与丙二醇的作用效果相反,其含量的增多会降低砖粉水性涂料的低温稳定性.因而,醇酯十二的使用量应控制在较低的使用范围中.

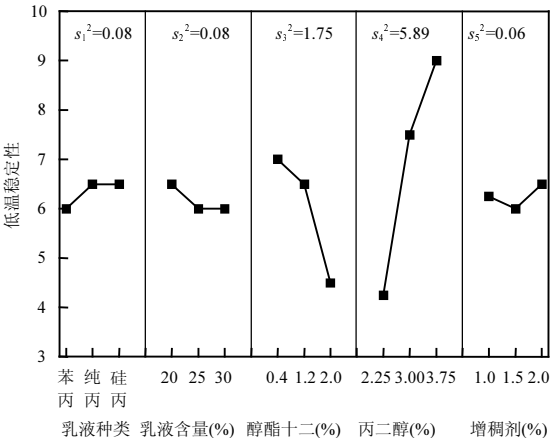


图 6 各因素对涂料低温稳定性的影响

Fig.6 Effect of various factors on coating stability under low temperature

表 5 优化配方各组含量及涂料性能测试

Table 5 Dosages of various component with optimized formulation and its performance test

编号	乳液百分比(%)	醇酯十二(%)	丙二醇(%)	增稠剂(%)	粘度(s)	表干时间(min)	附着力	硬度(次)	低温稳定性
1	25	0.4	3	1	42	14	5(三级)	89	8
2	25	1.2	3	1.5	52	20	6(二级)	88	8
3	25	2.0	3.75	2	78	17	6(二级)	93	10
4	30	0.4	3	1	45	15	6(二级)	98	8
5	30	1.2	3.75	1.5	55	27	7(一级)	91	10
6	30	2.0	1	2	71	25	6(二级)	103	10

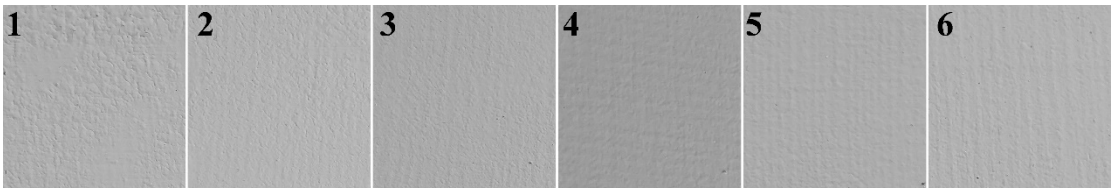


图 7 优化配方涂层外观情况

Fig.7 Appearance of coating with optimized formulation

2.4 配方优化

根据正交试验结果,选择苯丙乳液作为基体材料,并对各因素的最佳添加范围进行验证.试验结果如表 5 所示,涂料的流出时间范围为 42~78s,表干时间 14~27min,附着力等级一至三级,摆杆阻尼 88~103 次,低温稳定性可达评价指标 8 以上.图 7 为涂层的外观情况,各试验配方涂层表面完整,且均未出现明显缺陷.优化试验结果表明,所测试的性能符合相关标准要求,且具有良好的性能及外观.因此,各因素的最佳添加范围为苯丙乳液 25%~30%,醇酯十二 0.4%~1.2%,丙二醇 3%~3.75%,增稠剂 1%~1.5%。

3 结论

3.1 乳液种类及添加量、醇酯十二和丙二醇的添加量对废弃红砖水性涂料的粘度影响较小,其主要受增稠剂添加量的影响,为确保良好的施工性能,建议增稠剂添加量为 1%~1.5%。

3.2 表干时间和低温稳定性与醇酯十二和丙二醇的添加量有关,当醇酯十二含量 0.4%~1.2%,丙二醇含量 3%~3.75%时,砖质水性涂料在低温环境下不变质结块。

3.3 附着力和硬度受乳液种类和添加比的影响,相较于纯丙乳液和硅丙乳液,苯丙乳液和废弃红砖微粉间具有更好的相容性,成膜效果更好.在实验的乳液添加量范围内,附着力和硬度随乳液添加量增加而变大,因此乳液添加比建议为 25%~30%。

参考文献:

- [1] 兰 聪,卢佳林,陈 景,等.我国建筑垃圾资源化利用现状及发展分析 [J]. 商品混凝土, 2017,(9):23-25.
Lan cong, Lu Jialin, Chen Jing, et al. Status Quo and Development Analysis of Resource Utilization of Construction Waste in China [J]. Eady-Mixed Concrete, 2017,(9):23-25.
- [2] 战立伟,张玉玲.分析建筑固体废物污染的资源化处理 [J]. 资源节约与环保, 2016,(1):93.
Zhan Liwei, Zhang Yuling. Analysis of Resource-based Treatment of Construction Solid Waste Pollution [J]. Resources Economization & Environment Protection, 2016,(1):93.
- [3] 谢 田,高小峰,黄 晟,等.重金属建筑废物中污染物随酸雨的迁移研究 [J]. 山东化工, 2015,44(6):157-160+164.
Xie Tian, Gao Xiaofeng, Huang Sheng, et al. Pollution Transformation of Heavy Metal Polluted CDW in Acid Rain [J]. Shandong Chemical Industry, 2015,44(6):157-160+164.
- [4] 冷发光,何更新,张仁瑜,等.国内外建筑垃圾资源化现状及发展趋势 [J]. 环境卫生工程, 2009,17(1):33-35.
Leng Faguang, He Gengxin, Zhang Renyu, et al. Status and Development Trend of Construction Waste Resource at Home and Abroad [J]. Environmental Sanitation Engineering, 2009,17(1):33-35.
- [5] 孙丽蕊.再生微粉材性及其对再生制品影响的研究 [D]. 北京:北京建筑工程学院, 2012.
Sun Lirui. Research on properties of recycled fine powder and its effects to recycled products [D]. Beijing: Beijing Institute of Civil Engineering and Architecture, 2012.
- [6] 王竞妍.再生骨料缺陷对再生混凝土耐久性的影响 [D]. 北京:北京交通大学, 2013.
Wang Jinyan. Influence of Recycled Aggregate Defects on the Durability of Recycled Aggregate Concrete [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2013.
- [7] 李 婷.再生骨料缺陷对再生混凝土力学性能影响的研究 [D]. 北京:北京交通大学, 2013.
Li Ting. Influence of Recycled Aggregate Defects on the Mechanical Properties of Recycled Aggregate Concrete [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2013.
- [8] Pérez I, Pasandín A R, Medina L. Hot mix asphalt using C & D waste as coarse aggregates [J]. Materials & Design, 2012,(36):840-846.
- [9] Pasandín A R, Pérez I. Laboratory evaluation of hot-mix asphalt containing construction and demolition waste [J]. Construction & Building Materials, 2014,52(2):284-293.
- [10] Fallah Fatemeh, Khorasani Manouchehr, Ebrahimi Morteza. Improving the mechanical properties of waterborne nitrocellulose coating using nano-silica particles [J]. Process in Organic Coatings, 2017,(109):110-116.
- [11] 王 杰,闫小星,王 粲,等.碳酸钙和硅烷偶联剂协同改性对水性涂料性能的影响 [J]. 科技创新与应用, 2017,(24):27-28.
Wang Jie, Yan Xiaoxing, Wang Can, et al. Effect of Co-modification of Calcium Carbonate and Silane Coupling Agent on Performance of Waterborne Coatings [J]. Scientific Technological Innovation and Application, 2017,(24):27-28.
- [12] 黄志雄,马 波,石敏先,等.滑石粉/苯丙乳液水性阻尼涂料的制备与研究 [J]. 武汉理工大学学报, 2016,38(8):7-12.
Huang Zhixiong, Ma Bo, Shi Minxian, et al. Talcum/Styrene-acrylate Emulsion Prepared Aqueous Damping Coatings and Its Study [J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2016,38(8):7-12.
- [13] 熊绍泊.经济型耐洗刷乳胶漆及除醛耐洗刷乳胶漆的开发和性能研究 [D]. 广州:华南理工大学, 2016.
Xiong Shaobo. Study on the Development and Performance of the Economical Scrub Resistant Latex Paint and Formaldehyde-removing Scrub Resistant Latex Paint [D]. Guangzhou:South China University of Technology, 2016.
- [14] 胡 钊,类成林,杨 涛.填料对水性阻尼涂料性能的影响 [J]. 涂料工业, 2012,42(6):52-54+59.
Hu Zhao, Lei Chenglin, Yang Tao. Influence of Fillers on Aqueous Damping Coating [J]. Paint & Coatings Industry, 2012,42(6):52-54+59.
- [15] 雷敏娟.玻璃体复合水性锌铝涂层的制备及组织和耐蚀性能的研究 [D]. 广州:广东工业大学, 2012.
Lei Minjuan. Study on preparation and Organization structure and corrosion resistance performance of glass composite water-based

- zinc-aluminum coating [D]. Guangzhou: Guangdong University of Technology, 2012.
- [16] Zedan Sayieda R, Mohamed Maha R, Ahmed Doaa A, et al. Effect of demolition/construction wastes on the properties of alkali activated slag cement [J]. HBRC Journal, 2015,13(3):331-336.
- [17] 陈 建,马鸿文,蒋周青,等.高铝粉煤灰提铝硅钙渣制备硅灰石微晶玻璃研究 [J]. 硅酸盐通报, 2016,35(9):2898-2903.
- Chen Jian, Ma Hongwen, Jiang Zhouqing, et al. Preparation of Wollastonite Glass-ceramics by Using Silicate-calcium Slag Generated in Process of Extracting Alumina from High-alumina Fly Ash [J]. Bulletin of The Chinese Ceramic Society, 2016,35(9):2898-2903.
- [18] 高章韵.工业副产石膏资源化处理及用于干粉涂料制备的研究 [D]. 长沙:湖南大学, 2010.
- Gao Zhangyun. Utilization of Industrial by-product Gypsum and its application in architecture powder coating [D]. Changsha: Hunan University, 2010.
- [19] Zheng Keren, Chen Lou, Gbozee Mulbah. Thermal stability of geopolymers used as supporting materials for TiO_2 film coating through sol-gel process: Feasibility and improvement [J]. Construction and Building Materials, 2016,(125):1114-1126.
- [20] Song Huiping, Liu Jianqiang, Xue Fangbin, et al. The application of ultra-fine fly ash in the seal coating for the wall of underground coal mine [J]. Advanced Powder Technology, 2016,27(4):1645-1650.
- [21] Yew M C, Ramli Sulong N H, Yew M K, et al. Eggshells: A novel bio-filler for intumescent flame-retardant coatings [J]. Progress in Organic Coatings, 2015,(81):116-124.
- [22] Yew M C, Ramli Sulong N H, Yew M K, et al. The formulation and study of the thermal stability and mechanical properties of an acrylic coating using chicken eggshell as a novel bio-filler [J]. Progress in Organic Coatings, 2013,(76):1549-1555.
- [23] Dong Jin Kang, Kaushik Pal, Se Jeong Park, et al. Effect of eggshell and silk fibroin on styrene-ethylene/butylene-styrene as bio-filler [J]. Materials and Design, 2009,31(4):2216-2219.
- [24] 张雯文.废黏土砖在铝硅系不定形耐火材料中的利用 [C]//河北省冶金学会.2013 钢铁用耐火材料生产、研发和应用技术交流会论文集. 2013:3.
- Zhang Wenwen. Utilization of Waste Clay Bricks in Amorphous Refractories of Aluminum-Silicon System [C]//Proceedings of 2013 Symposium on Technology Exchange of Production, Research and Development and Application of Refractories for Iron and Steel.
- [25] 王立旺.水泥窑用硅莫砖回收料制备喷涂料的研究与应用 [C]//2015 耐火材料综合学术年会(第十三届全国不定形耐火材料学术会议和 2015 耐火原料学术交流会)论文集(3)
- Wang Liwang. Research and Application of Spraying Coatings Prepared from Silicon Mould Brick Recycling Material Used in Cement Kiln [C]//Proceedings of 2015 Annual Conference on Refractories.
- [26] GB/T 1727-1992 漆膜一般制备法 [S]. GB/T 1727-1992 General preparation of paint film [S].
- [27] GB/T 1723-1993 涂料粘度测定法 [S]. GB/T 1723-1993 Determination of viscosity of coatings [S].
- [28] GB/T 9268-2008 乳胶漆耐冻融性的测定 [S].
- GB/T 9268-2008 Determination of freeze-thaw resistance of latex and emulsion paints [S].
- [29] GB/T 1728-1979 漆膜、腻子膜干燥时间测定法 [S].
- GB/T 1728-1979 Methods of test for drying time of coatings of paints and putties [S].
- [30] GB/T 1720-1979 漆膜附着力测定法 [S].
- GB/T 1720-1979 Method of test for adhesion of paint films [S].
- [31] GB/T 1730-2007 色漆和清漆 摆杆阻尼试验 [S].
- GB/T 1730-2007 Paints and varnishes—Pendulum damping test [S].

作者简介: 郑 毅(1995-),男,河北邯郸人,同济大学硕士研究生,主要从事固体废物处理处置与资源化。

《中国环境科学》获评“2014 中国最具国际影响力学术期刊”

2014 年 12 月,中国环境科学学会主办的《中国环境科学》被评为“2014 中国最具国际影响力学术期刊”。

“中国最具国际影响力学术期刊”是《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司、清华大学图书馆、中国学术国际评价研究中心对我国 5600 余种中外文学术期刊,根据总被引频次、影响因子、被引半衰期等计算出的国际影响力综合评价指标 CI 进行排序,遴选出的排名前 5%的期刊.获评“中国最具国际影响力学术期刊”的科技类期刊共 175 种。

自 2012 年开始此项评选以来,《中国环境科学》已连续 3 年获此殊荣。

《中国环境科学》编辑部