中国传统糖水灰浆和蛋清灰浆科学性研究

方世强^①, 杨涛^①, 张秉坚^{①②*}, 魏国锋^③

① 浙江大学化学系, 杭州 310027;

② 浙江大学文物与博物馆学系, 杭州 310007;

③ 安徽大学历史系, 合肥 230601

* E-mail: zhangbiji@zju.edu.cn

收稿日期: 2015-02-01; 接受日期: 2015-04-01

国家科技支撑计划(批准号: 2012BAK14B05)、国家文物局“指南针计划”(批准号: [2011]1806)、国家文化科技提升计划“徽州牌坊的保护修复与数字化展示研究”(文科技函[2013]718 号)和中国博士后科学基金(批准号: 2014M551719)资助项目

摘要 红糖灰浆和蛋清灰浆作为我国传统石灰浆, 在岭南等地区具有广泛应用. 本文以这两类灰浆为研究对象, 通过实验室模拟样品的物理性能测试以及灰浆固化后的成分和结构分析, 探讨糖和蛋清对灰浆性能的影响及作用机理. 结果表明, 蔗糖对石灰浆具有减水作用, 2%的蔗糖含量减水效果就达到 20%以上, 能有效降低灰浆干缩开裂的风险. 但是, 蔗糖含量提高会影响灰浆的抗压强度和耐水性能. 蛋清对石灰浆具有增稠、提高粘结性、自修复能力和减小开裂风险的作用, 但是对灰浆的抗压强度和表面硬度有一定负面影响. 主要原因是蛋清的加入使灰浆结构致密, 减缓了碳化作用但它会在固化后的灰浆表面聚集, 形成较多小孔, 影响灰浆表面性能. 建议这两类添加剂的使用量在 4%以下.

关键词

蔗糖
蛋清
石灰浆
性能
文物保护

1 前言

石灰作为建筑胶凝材料在全世界都有着广泛的应用, 并且很多古建筑上的石灰灰浆至今还是十分牢固. 然而随着水泥等新型材料的不断发明和应用, 石灰浆逐渐淡出了历史舞台. 但在砖石质文物保护领域, 由于水泥和有机高分子胶黏剂暴露出越来越多的不适应性(如强度过高造成建筑原来的砖石保护性破坏, 孔隙率过低导致内部水分散失慢, 和建筑外观兼容性差等)^[1,2], 对石灰等传统材料的研究又逐渐活跃起来.

随着人们历史建筑保护意识的提高, 我国在近年来也涌现了大量关于传统石灰灰浆的研究. 如浙

江大学张秉坚教授课题组对中国传统糯米灰浆进行了大量研究^[3~5], 得出了其作用原理, 并经过科学化实验对其进行了现代改性, 在多处古建修复中得到使用, 社会反馈良好. Fang 等人^[6,7]通过古代灰浆和实验室模拟得到桐油灰浆的固化原理是氢氧化钙和桐油反应生成羧酸钙形成了致密结构, 该灰浆具有很好的粘结性和防水性. 陈佩杭等人^[8]和赵鹏等人^[9]分别对桐油-石灰浆研究得到该灰浆的性能相比于普通石灰浆有明显提高. 张坤等人^[10]概述了国内外研究得到动物血对灰浆具有加气、减水、防水、平整和抗龟裂等作用.

根据文献调研发现, 对于我国传统红糖灰浆和蛋清灰浆等详细实验研究报道还未有. 国外学者探

引用格式: 方世强, 杨涛, 张秉坚, 等. 中国传统糖水灰浆和蛋清灰浆科学性研究. 中国科学: 技术科学, 2015, 45: 865–873
Fang S Q, Yang T, Zhang B J, et al. Impacts of sugar and egg-white as additives on the performance of traditional lime mortar and their mechanisms (in Chinese). Sci Sin Tech, 2015, 45: 865–873, doi: 10.1360/N092015-00048

讨过土豆淀粉、仙人掌汁、干酪素、动物胶、血等多糖和蛋白质对灰浆性能的影响,但是关于蔗糖和蛋清的研究也并不多见. Tekin 和 Kurugol^[11]研究了黑糖、甘蔗汁、蛋清和蛋黄对灰浆性能的影响得到蛋清和蛋黄能提高灰浆强度,而蔗糖对灰浆有缓凝作用. 本工作选取中国传统红糖灰浆和蛋清灰浆为研究对象,对模拟样品进行性能比较和结构分析. 希望能丰富和完善我国传统灰浆的研究,并为现代古建筑保护提供更多的选材依据.

2 实验材料和仪器

2.1 实验材料

工业灰钙粉(氢氧化钙质量 $\geq 90\%$),购自浙江省建德市李家新兴涂料粉剂厂;红糖、白砂糖、鸡蛋、鸭蛋,购自超市;蔗糖,分析纯,购自国药集团化学试剂有限公司.

2.2 样品制备

称取一定量含有添加剂的溶液加入到灰钙粉中,加入搅拌桶中使用机械搅拌使均匀,当灰浆稠度基本不变时即可使用,实验搅拌速度为 70~90 r/min. 实验中所配灰浆信息如表 1 所示.

根据 JGJ70-2009《建筑砂浆基本性能试验方法标准》^[12],使用规格 50 mm $\times$ 50 mm $\times$ 50 mm 的试模制备抗压试样,40 mm $\times$ 40 mm $\times$ 160 mm 的试模制备收缩

表 1 不同灰浆配制信息

编号	石灰	添加剂	含量 w/w(%)	水灰比	稠度 (mm)
A1-1	工业石灰	红糖	2	0.55	41
A1-2			4		47
A1-3			6		51
A2-1		蔗糖	2	0.55	42
A2-2			4		49
A2-3			6		51
A3-1		白砂糖	2	0.8	41
A3-2			4		48
A3-3			6		52
B1-1		鸡蛋清	2	0.8	53
B1-2			4		50
B1-3			6		45
B2-1		鸭蛋清	2	0.8	53
B2-2			4		49
B2-3			6		43
Control		/	/	0.7	42

率试验试样. 制备时先在试模内表面喷涂适量脱模剂晾干,然后将调制好的灰浆转入试模中,插捣密实将灰浆表面抹平. 样品放置 1 d 后脱模,转入养护室进行养护($T=(20\pm 3)^{\circ}\text{C}$, $RH=(65\pm 5)\%$).

3 实验方法

3.1 性能测试

灰浆稠度、抗压强度和表面硬度测试方法参照标准 JGJ70-2009《建筑砂浆基本性能试验方法标准》进行. 灰浆收缩性使用游标卡尺直接测量,测量时,在 4 个侧面上分别测量 3 次,最后求平均值.

灰浆保水能力测试参考标准 JGJ70-2009《建筑砂浆基本性能试验方法标准》. 灰浆在砖石上的演变情况参考文献^[13],方法如下:将搅拌均匀的灰浆均匀涂抹在预先用水润湿过的砂岩表面,灰浆层厚约 5 mm,放置在实验室($T=17^{\circ}\text{C}\sim 22^{\circ}\text{C}$, $RH=35\%\sim 38\%$)中进行观察.

3.2 成分与结构分析

灰浆中无机成分采用 X 射线衍射(XRD)进行分析. 将灰浆试块养护一定时间,然后在试块近表面和内部分别进行取样,所取样品用玛瑙研钵研磨后,采用 X 射线衍射光谱仪(UltimaIV)进行分析,测试扫描速度(2θ) $20^{\circ}\text{ min}^{-1}$,扫描步数 0.02,测试波长 1.54 埃.

糖水中氢氧化钙的溶解度采用差减法. 准确配制所需浓度糖水溶液 100.00 ml,准确加入 4.0 g 氢氧化钙,搅拌均匀. 离心分离,收集沉淀,用真空干燥箱(105°C)干燥后称重,根据前后氢氧化钙质量差计算氢氧化钙在糖水中溶解量. 平行测定 3 次.

灰浆样品固化后的微观结构采用扫描电子显微镜(SEM)进行分析. 选取养护 28 d 的不同灰浆样品,在试块外部切割一小块,断面喷金后采用扫描电子显微镜(SIRION-100, FEI)进行观察.

4 结果与讨论

4.1 物理性能

4.1.1 稠度

不同灰浆稠度和配比之间的关系如图 1 所示. 水

灰比在 0.4~0.6 时(图 1(a)), 测得纯石灰浆稠度数值很小(数值越小, 稠度越高), 无法达到砌筑灰浆所要求的工作性能(稠度 $S \geq 30$ mm). 而在灰浆中加入 2% 的各类糖以后, 稠度值得到显著增长, 当水灰比为 0.5 时, 灰浆稠度值就大于 30 mm. 但是不同糖对于稠度的影响不大, 因此对灰浆稠度起主要作用的是 3 类糖中的蔗糖成分. 灰浆中加入 2% 的蛋清之后和纯石灰灰浆相比, 除了 1 组灰浆的数据比纯石灰浆略高以外, 其余 9 组灰浆稠度值都比纯石灰浆有所降低(图 1(b)), 这可能与蛋清蛋白自身黏结性和凝胶性有关^[14,15].

控制水灰比一定, 改变添加剂(蔗糖和鸡蛋清)浓度得到, 糖水灰浆的稠度值随着添加剂的增加而增加, 当浓度超过 4% 时, 变化趋于缓和; 而蛋清灰浆的稠度值随着添加剂的增加而减小(图 1(c)).

以上结果表明糖类中的蔗糖成分对石灰灰浆有减水作用, 而蛋清对石灰灰浆有一定的增稠作用.

4.1.2 保水性

保水实验结果(图 2(a))显示, 灰浆中加入蔗糖或者蛋清对于灰浆的保水性并没有显著影响. 这是因

为石灰本身的保水能力就比较强^[13].

为了加快吸水过程以及和真实使用环境相近, 参照 Izaguirre 等人^[13]的研究, 将灰浆抹在砂岩表面观察其变化(砂岩具有更好的吸水性)(图 2(b)). 灰浆抹在砂岩表面 48 h 以后, 对照组几乎全部出现大裂缝, 并且从基底上脱落; 而添加了糖和蛋清的灰浆样品, 除了少部分会产生开裂外, 大都保持完好. 并且, 从实验发现, 开裂的产生和添加剂含量(2%~6%)并没有明显关系.

该结果表明加入这两类添加剂可以提高灰浆的保水性能, 降低灰浆早期因为失水过快而导致的干缩开裂风险.

4.1.3 收缩性

纯石灰灰浆具有较大的收缩性, 因此固化后容易产生开裂, 对它的使用产生不良效果. 图 3 是实验中各类灰浆样品在前 28 d 内的收缩统计结果. 结果显示, 纯石灰浆制备的样品在前 7 d 内会发生强烈的干缩, 收缩率达到 4.4%, 28 d 内总收缩率为 7.0%. 在添加了糖类之后, 由于直接减少了水灰比, 因此有效

图 1 不同添加剂和水灰比对灰浆稠度的影响

图2 不同灰浆的保水性试验(a)和在砂上演变过程的部分照片(b)

图3 (网络版彩图)不同灰浆样品收缩率

降低了该类灰浆的干缩, 28 d 内总收缩率仅为 1.9%. 蛋清的加入对于灰浆收缩性稍有改善, 前 7 d 收缩达到 3.8%, 28 d 内总收缩为 5.7%.

4.1.4 强度

各类灰浆的表面硬度和抗压强度如表 2 所示. 养护 28 d 后纯石灰浆样品的表面硬度达到 37.4 HD; 添加糖类之后, 样品的表面硬度值得到明显提高, 其平均值在 50 HD 以上, 当糖类添加量在 4% 时有最大值; 而蛋清的加入会降低灰浆表面硬度, 下降程度和添加量关系并不明显, 和纯石灰比较表面硬度降低约 42%.

比较 28 和 60 d 抗压强度结果得到, 两类添加剂的加入均会导致抗压强度值下降, 添加剂的含量和纯度差异对强度下降没有规律性影响. 含糖灰浆 28 和 60 d 的平均抗压强度值为 0.27 和 0.34 MPa, 分别降低 40% 和 35%; 含蛋清灰浆相应值为 0.34 和 0.43

MPa, 分别降低 15% 和 17%.

4.2 结构和成分

4.2.1 溶解度

氢氧化钙溶解度随溶液中蔗糖含量的变化如图 4 所示. 结果表明, 氢氧化钙的溶解度随着蔗糖含量的增加而增加. 当加入 6% 的蔗糖后, 和含糖时相比氢氧化钙溶解度提高了约 4.5 倍, 这是因为蔗糖和氢氧化钙可以反应生成溶解度更大的蔗糖钙^[16]. 因此, 引入蔗糖可以减少石灰灰浆的用水量, 从而降低由于灰浆强烈干缩引起的开裂等风险.

但是, 由于蔗糖钙溶解度大, 在实验中我们发现如果灰浆长时间受水浸泡会导致结构破坏, 严重影响糖水灰浆的耐水性. 然而根据文献, 红糖水作为灰浆添加剂, 流传在福建、广州和台湾等地区有较多使用^[17]. Zhang 等人^[18]对福建客家土楼调研也证实当地

表 2 不同灰浆表面硬度和抗压强度

编号	28 d 表面硬度 (HD)	抗压强度 (MPa)	
		28 d	60 d
A1-1	51.2	0.26	0.34
A1-2	56.0	0.24	0.34
A1-3	55.2	0.38	0.42
A2-1	57.6	0.30	0.38
A2-2	58.4	0.28	0.34
A2-3	40.0	0.22	0.32
A3-1	59.5	0.20	0.28
A3-2	62.7	0.28	0.34
A3-3	52.8	0.26	0.34
B1-1	22.8	0.32	0.40
B1-2	23.2	0.30	0.42
B1-3	19.4	0.34	0.42
B2-1	24.0	0.36	0.48
B2-2	21.6	0.36	0.42
B2-3	22.1	0.34	0.44
Control	37.4	0.40	0.52

图 4 氢氧化钙溶解度和蔗糖含量的关系曲线

在制作室内地面时,会在三合土中添加蔗糖等有机物,这样制作的地面十分结实.因此,蔗糖单独和石灰使用在耐水性方面有问题,但加入土、砖粉、糯米汁等其他成分后,或许会有改善,其中原理还有待进一步研究.

4.2.2 结构分析

图 5 和图 6 分别是灰浆固化后表面照片和截面 SEM 照片.首先,从养护 60 d 的灰浆表面照片发现,普通灰浆固化后表面留下很脆的表皮,使得灰浆表面不是那么平滑.蛋清灰浆则在表面产生了很多小

图 5 不同灰浆固化后表面照片

(a) 普通灰浆; (b) 蛋清灰浆; (c) 糖水灰浆

坑,这是因为蛋清具有很好的加气作用,因此,当灰浆固化后会留下许多小孔,这可能是该类灰浆表面性能降低(表 2)的原因,从这方面讲,蛋清作为添加剂不能加入太多.蔗糖灰浆的表面显得十分平滑且致密,适合作为抹面装饰用.

其次,对固化后灰浆截面进行 SEM 观察(图 6)发现,普通灰浆在样块近表面处和内部的形貌结构并没有明显差异,灰浆颗粒大小差异较大(图 6(a)和(b)).蛋清灰浆在近表面发现一些条形的固体并聚集在一起,分布不均匀,这些结构应该是氢氧化钙受到蛋清调控影响形成的特殊形貌的碳酸钙^[19],但是在灰浆内部并没有发现这种结构(图 6(c)和(d)).研究发现,如果有机添加剂和灰浆颗粒的吸附较弱,那么在灰浆固化过程中它们会随着水分往灰浆表面移动聚集^[20].本文中产生上述现象的原因很可能是蛋清在灰浆固化中往灰浆表面迁移了,使得在近表面处,蛋清对碳酸钙起到了矿化的生物调控.而蛋清引气作用,使得蛋清灰浆固化后表面形成很多小气孔(图 5(b)),影响了灰浆表面性能.灰浆中加入蔗糖之后,灰浆近表面有很多分布均匀的针状绒球结构(图 6(f)),该结构被认为是蔗糖钙的特殊形貌^[16].同样其内部结构并没有发生明显变化(图 6(e)),原理可能和上述蛋清灰浆一样.而蔗糖在灰浆表面的聚集,也造成了该类灰浆特殊的表面性质.

4.2.3 XRD 分析

图 7 是普通灰浆、蛋清灰浆(B1-2)和糖水灰浆(A2-2)的 XRD 图谱.从图谱分析得到,这三种灰浆在实验室放置 1 年后,灰浆中检测出的无机成分都是方解石和氢氧化钙.当不考虑两种结晶物质晶型缺陷、颗粒度等问题时,比较两者衍射主峰的面积大致可以看出它们在灰浆中的组成情况.对于普通灰浆和糖水灰浆,在放置 1 年后灰浆外部和内部氢氧化钙和方解石的比例已经十分接近,相对而言,糖水灰浆的碳化程度比普通灰浆高一些.对于蛋清灰浆,外部碳

图6 不同灰浆固化后表面和断面的SEM照片

(a), (b) 普通灰浆内部和近表面; (c), (d) 蛋清灰浆内部和近表面; (e), (f) 糖水灰浆内部和近表面

化程度远高于内部. 而且和其他两种灰浆相比, 蛋清灰浆的外部碳化程度比普通灰浆和糖水灰浆均高, 而内部碳化程度又远低于两者. 杨富巍等人^[21]研究认为, 适度延缓碳化速率有利于维持灰浆高碱性, 有利于保存灰浆中的有机添加剂, 稳定有机-无机复合灰浆的性能. 此外, 石灰浆的耐久性和其相对较慢的碳化速率有关, 因为随着时间的推移, 氢氧化钙持续碳化不仅可以逐渐提高灰浆强度, 还能自我修复内部缺陷^[22]. 由此可以预测, 蛋清的加入对于提高灰浆耐久性会有更大帮助.

此外, 对比 3 类灰浆的碳化情况和强度实验结果 (表 2) 发现, 碳化速度的快慢和强度发展并不一定一致, 可能和灰浆固化后的结构等因素还有很大关联. 因此, 在设计灰浆材料时, 我们需要从多方面进行关注.

4.2.4 自修复试验

研究认为, 石灰浆的耐久性和其相对较慢的碳化速率有关, 因为随着时间的推移, 氢氧化钙持续碳化不仅可以逐渐提高灰浆强度, 还能自我修复内部

缺陷^[22]. 因为氢氧化钙的溶解性大于碳酸钙, 在石灰含水量较多(毛细作用)情况下灰浆中氢氧化钙溶解并发生迁移; 当水分减少之后, 这些氢氧化钙又析出沉淀下来, 填充微裂缝, 起到粘结和阻止微裂缝发展的作用. 本文对放置半年的三类灰浆样品进行断裂面自修复实验, 实验过程和结果如图 8 所示. 结果显示, 碳化程度较低的蛋清灰浆样品(B1-2)在水中浸泡 14 d 后, 断开的两截样品又重新粘合上了, 即使提起也不会掉落; 而碳化程度较高的另外两种灰浆样品(A1-2 和空白对照)虽然也有一定修复但是提起即断. 因此, 该结果表明适当降低灰浆碳化速率, 对于灰浆保持长期工作性能或许会有促进作用.

5 结论

1) 蔗糖对石灰浆具有减水效果, 蔗糖含量为 2% 时, 减水量达到 20% 以上(稠度 40 mm 左右), 并且随着蔗糖含量的升高而升高; 而蛋清对石灰浆具有增稠作用, 增稠效果随着蛋清含量的增加而增加.

图 7 普通灰浆、蛋清灰浆和糖水灰浆的 XRD 谱图

图 8 三类灰浆样品裂缝自修复试验示意图

2) 这两类添加剂都可以有效提高石灰浆保水性能,降低石灰浆初期由于失水而产生的干缩开裂风险;另外良好的保水性可以使灰浆保持更久的流动

性,促进石灰颗粒进入被粘砖石表面孔隙,提高灰浆固化后的粘结性能.

3) 添加蔗糖可以增加固化后石灰浆的表面性能,

但是对抗压强度有一定负面效应, 添加量在 4% 时, 综合效果较好; 由于蛋清具有引气作用, 它会使固化后灰浆的表面硬度降低 40% 左右, 抗压强度降低 15% 左右, 因此建议实际应用中不宜单独使用。

4) 成分和结构分析显示, 蔗糖对石灰浆性能的改善主要源于蔗糖和石灰反应生成溶解度更大的蔗

糖钙, 固化过程中糖钙向灰浆表面聚集形成坚硬的外壳, 提高灰浆表面性能。蛋清对石灰浆性能的影响主要是蛋清蛋白自身的黏结性和胶凝性可以使固化后的石灰浆结构变得更加致密, 减缓了碳化作用, 使固化后的灰浆能够更持久的保持碱性, 提高灰浆对抗因外力而产生的损伤的自修复能力。

参考文献

- 1 Maravelaki-Kalaitzaki P, Bakolas A, Karatasios I, et al. Hydraulic lime mortars for the restoration of historic masonry in Crete. *Cement Concrete Res*, 2005, 35: 1577–1586
- 2 Ventolà L, Vendrell M, Giraldez P, et al. Traditional organic additives improve lime mortars: New old materials for restoration and building natural stone fabrics. *Constr Build Mater*, 2011, 25: 3313–3318
- 3 Yang F W, Zhang B J, Pan C C, et al. Traditional mortar represented by sticky rice lime mortar—One of the great inventions in ancient China. *Sci China Ser-E Tech Sci*, 2009, 52: 1641–1647
- 4 Yang F W, Zhang B J, Ma Q L. Study of sticky rice-lime mortar technology for the restoration of historical masonry construction. *Accounts Chem Res*, 2010, 43: 936–944
- 5 Wei G F, Zhang H, Wang H M, et al. An experimental study on application of sticky rice-lime mortar in conservation of the stone tower in the Xiangji Temple. *Constr Build Mater*, 2012, 28: 624–632
- 6 Fang S Q, Zhang H, Zhang B J, et al. A study of the Chinese organic-inorganic hybrid sealing material used in "Huaguang No.1" ancient wooden ship. *Thermochim Acta*, 2013, 551: 20–26
- 7 Fang S Q, Zhang H, Zhang B J, et al. A study of Tung-oil-lime putty—A traditional lime based mortar. *Int J Adhes Adhes*, 2014, 48: 224–230
- 8 陈佩杭, 徐炯明, 鬼塚克忠. 桐油与石灰加固吉野里坟丘墓土的实验研究. *文物保护与考古科学*, 2009, 04: 59–66
- 9 赵鹏, 李广燕, 张云升. 桐油-石灰传统灰浆的性能与作用机理. *硅酸盐学报*, 2013, 8: 1105–1110
- 10 张坤, 张秉坚, 方世强. 中国传统血料灰浆的应用历史和科学性. *文物保护与考古科学*, 2013, 2: 94–102
- 11 Tekin C, Kurugol S. Impacts of various organic additives on carbonization of lime. *J Fac Eng Archit Gaz*, 2012, 27: 717–728
- 12 陕西省建筑科学研究设计院. JGJ70-2009 建筑砂浆基本性能试验方法标准. 2009
- 13 Izaguirre A, Lanás J, Álvarez J I. Effect of water-repellent admixtures on the behaviour of aerial lime-based mortars. *Cement Concrete Res*, 2009, 39: 1095–110
- 14 陈安强. 古代建筑油饰彩画地仗层修复粘结材料的合成与应用. 硕士学位论文. 西安: 西北大学, 2009
- 15 徐雅琴. 鸡蛋白粉的凝胶性质改性研究. 硕士学位论文. 无锡: 江南大学, 2005
- 16 蔡希高. 缓凝外加剂缓凝作用的化学本质. *化学建材*, 2007, 23: 41–44
- 17 戴志坚. 福建民居. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009
- 18 Zhang K, Zhang H, Fang S Q, et al. Textual and experimental studies on the compositions of traditional Chinese organic-inorganic mortars. *Archaeometry*, 2014, 56: 100–115
- 19 杨效登, 沈强徐, 桂英. 水溶性大分子调控碳酸钙结晶的研究进展. *物理化学学报*, 2010, 26: 2087–2095
- 20 De Gasparo A, Herwegh M, Zurbriggen R, et al. Quantitative distribution patterns of additives in self-leveling flooring compounds (underlayments) as function of application, formulation and climatic conditions. *Cement Concrete Res*, 2009, 39: 313–323
- 21 杨富巍, 张秉坚, 潘昌初, 等. 以糯米灰浆为代表的传统灰浆—中国古代的重大发明之一. *中国科学 E 辑: 技术科学*, 2009, 39: 1–7
- 22 Lubelli B, Nijland T G, van Hees R P J. Simulation of the self-healing of dolomitic lime mortar. *Mater Tehnol*, 2012, 46: 291–296

Impacts of sugar and egg-white as additives on the performance of traditional lime mortar and their mechanisms

FANG ShiQiang¹, YANG Tao¹, ZHANG BingJian^{1,2} & WEI GuoFeng³

¹ Department of Chemistry, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China;

² Department of Cultural Heritage and Museology, Zhejiang University, Hangzhou 310007, China;

³ Department of History, Anhui University, Hefei 230601, China

The brown sugar and egg-white are widely used as lime mortar additives in southeast of China and other regions. In this paper, the mechanical properties testing and the composition and structure after curing were used to discuss the impact of these two additives on the performance of lime mortar and their mechanism. The results indicate sugar could reduce the water-lime ratio of lime mortar. When 2% sugar was added the water reduce effect could reach above 20% and effectively reduce the risk of cracking induced by mortar dry shrinkage. However, the excessive sugar content would affect the compressive strength and water resistance of mortar. Egg-white could improve the consistence, cohesiveness, durability and reduce the risk of cracking of lime mortar, while it has negative influence on the compressive strength and surface hardness of lime mortar. The main reason is the addition of egg-white make the mortar become much more compact and slow down the carbonation progress of lime mortar. But the egg-white gather on the surface on the mortar would influence the surface properties of mortar. Thus we suggest that the safe amount of these two additives is less than 4%.

sucrose, egg-white, lime mortar, performance, heritage conservation

doi: 10.1360/N092015-00048