

# 江阴黄山小石湾炮台遗址修复 用灰土最佳配方筛选研究

张 慧, 万 俐

(南京博物院文物保护科学技术研究所, 江苏南京 210016)

**摘要:** 针对江阴黄山小石湾炮台遗址目前的保存现状, 急需抢救性修复保护。为了提高夯土墙基的整体抗风化性能, 对该三合土配方进行了优化。通过抗压强度、冻融循环等表征手段, 筛选出最佳性能的“三合土”配方为: 糯米浆浓度在 1% ~ 2% 范围内, 土灰质量比不高于 3:1, 明矾浓度不超过 0.1%, 从而为古炮台遗址维修加固保护提供借鉴和依据。

**关键词:** 炮台遗址; 灰土; 冻融循环

**中图分类号:** K878 **文献标识码:** A

## 0 引言

“黄山炮台遗址”是江苏省内保存较为完整的一处近现代江防建筑群遗址。该炮台遗址始建于明崇祯八年(1635年), 历时 300 余年。小石湾古炮台遗址是“黄山炮台遗址”的组成部分, 位于江阴市城北黄山山西麓至鹅山东麓之间的山凹之中。1988年, 江苏省江阴市博物馆发掘了小石湾炮台遗址, 清理了其中五分之三的面积, 包括 6 个炮室、4 个弹药库、3 口蓄水井和 1 座望江台基, 目前尚有五分之二遗址埋藏在地下。地面建筑遗存东西长约 200m, 南北宽 14m。小石湾古炮台遗址为土木混合结构, 版筑夯土做法, 墙内竖立若干木柱, 上置檩条与椽子形成木骨架, 木骨架与夯土墙共同承受屋顶荷载。该遗址由于长期受雨水侵蚀、风蚀及温湿度的变化, 外墙抹灰大面积酥碱、起翘、分层、开裂脱落, 致使夯土墙裸露, 夯土墙直接受到雨水淋刷凹凸不平, 表面酥松, 水蚀严重处夯土已呈蜂窝状。可见, 对该遗址的维修保护已迫在眉睫。

基于该遗址的上述保存现状, 经现场取样分析, 得出该遗址所用灰土配方为二元配方: 即土灰比约为 3:1。经测试, 该夯土墙还浇注了一定浓度的糯米浆, 其中糯米浆浓度约 0.5%。具体的分析测试方法见文献[1]。为了提高夯土墙基的整体抗风化性能, 本工作对该灰土配方进行了优化, 通过抗压强度、冻融循环等表征手段, 筛选出最佳性能的灰土配

方, 为古炮台遗址维修加固保护提供依据, 有关施工单位已于 2009 年 6 月开始对一、二号炮台遗址进行维修保护。

## 1 实验器材和方法

### 1.1 实验仪器与材料

SDJ6025 型湿热试验箱(重庆银河试验仪器有限公司), WDW3050 微机控制电子万能试验机(中科院长春科新公司测试仪器研究所), 自制制样器, 电热碗。

糯米(市售), CaO(AR, 汕头市西陇化工厂有限公司), 粘性土(取自江阴炮台遗址周边), 明矾(南京化学试剂有限公司)。

### 1.2 实验过程

**1.2.1 糯米浆的制备** 称取所需质量的糯米, 放入 2000mL 烧杯中, 加水至 2000mL, 加热煮沸至粘稠状, 乘热过滤, 除去不溶物, 滤液即为所需的糯米浆。

**1.2.2 土样制作方法** 将一定量的粘性土(已过筛)与所需量的已熟化的石灰混合后(其中已熟化的石灰是将一定量的水缓慢加入到所需生石灰(CaO)中, 待生石灰全部成粉末状即为已熟化的石灰), 搅拌均匀, 再加入所需浓度的糯米浆, 搅拌均匀, 控制含水率在 45% 左右, 即混合均匀后“手抓成团, 落地开花”, 表示夯筑时含水率适宜。本实验中, 灰土样品的固结时间均为一个月。在添加明矾制作土样时, 其中的明矾是溶解在糯米汁中, 其他步

收稿日期:2009-05-07; 修回日期:2009-07-23

作者简介:张 慧(1979—), 女, 2008 年毕业于陕西师范大学材料学专业, 博士, E-mail: uniquehui@126.com

骤同上。然后称取一定量的上述混合物,移入自制制样器中,成型后取出,自然干燥,待样品质量不再变化时即可。土样制备的配方见表 1~3。

### 1.3 表征手段

**1.3.1 抗压强度** 样品的抗压强度由 WDW3050 微机控制电子万能试验机测得,测试时横梁速度为 10mm/min,试样面积为  $2.255 \times 10^{-3} \text{m}^2$ 。由于所用样品为同一模具制备,故样品高度、截面积均相等,故抗压强度的测量结果直接以仪器的示值表示。平行 4 次取平均值(单位为 MPa),这样做可减小系统误差<sup>[2]</sup>。

**1.3.2 冻融循环试验** 冻融作用是影响土遗址寿命的一个很重要的因素之一,操作步骤如下<sup>[3]</sup>:将样品放在盛水( $t=20^\circ\text{C}$ )的容器中,土样浸入水中 4h 后取出,擦去多余的水分,将饱水土样置于  $-25^\circ\text{C}$  的低温冰箱中冷冻 4h 后取出,此为一个循环。然后再放回  $20^\circ\text{C}$  的水中浸泡 4h,再次进行冷冻。多次循环并记录土样的变化。最后比较各土样的耐冻融效果。

表 1 各土样配方数据

Table 1 The dates of every soil samples formula

样品编号	土灰质量比	糯米浆浓度/%
JY-1 <sup>#</sup>	3:1	0
JY-2 <sup>#</sup>	3:1	0.5
JY-3 <sup>#</sup>	3:1	1
JY-4 <sup>#</sup>	3:1	2
JY-5 <sup>#</sup>	3:1	3
JY-6 <sup>#</sup>	3:1	4

注:文献<sup>[1]</sup>表明,1 号古炮台遗址用灰土成分为土灰质量比 3:1,糯米浆浓度 0.5%,即为表 1 中的 JY-2<sup>#</sup> 号土样。故在制样时,固定土灰质量比为 3:1,改变糯米浆的浓度,以期筛选出合适的糯米浆浓度。

表 4 冻融循环试验土样的变化情况

Table 4 The freezing and thawing test of the earthen samples

冻融循环次数	JY-1 <sup>#</sup>	JY-2 <sup>#</sup>	JY-3 <sup>#</sup>	JY-4 <sup>#</sup>	JY-5 <sup>#</sup>	JY-6 <sup>#</sup>
1	表面、侧面均有裂缝,强度差	侧面有裂缝,强度差	侧面有细小裂缝	完好	侧面有裂缝	侧面有裂缝
2	土样全部坍塌、破碎	土样坍塌	土样掉渣	土样有细小裂缝	土样上下断裂	土样上下断裂
3	土样坍塌、崩解	土样坍塌、崩解	土样原貌破坏、坍塌	土样下部坍塌	土样坍塌	土样坍塌

表 5 各土样抗压强度数据

Table 5 The datum of the compressive strength

试样编号	抗压强度/MPa	破坏程度
JY-1 <sup>#</sup>	1390.4	部分破坏
JY-2 <sup>#</sup>	1413.2	部分破坏
JY-3 <sup>#</sup>	1434.8	部分破坏
JY-4 <sup>#</sup>	1388.0	部分破坏
JY-5 <sup>#</sup>	848.4	部分破坏
JY-6 <sup>#</sup>	824.3	部分破坏

注:各土样面积均为:  $2.255 \times 10^{-3} \text{m}^2$

表 2 各土样配方数据

Table 2 The dates of every soil samples formula

样品编号	土灰质量比	糯米浆浓度/%
JY-7 <sup>#</sup>	1:1	2
JY-8 <sup>#</sup>	2:1	2
JY-9 <sup>#</sup>	3:1	2
JY-10 <sup>#</sup>	4:1	2
JY-11 <sup>#</sup>	5:1	2

表 3 各土样配方数据

Table 3 The dates of every soil samples formula

样品编号	土灰质量比	糯米浆浓度/%	明矾的浓度/%
JY-98-0 <sup>#</sup>	5:1	0.6	0
JY-98-1 <sup>#</sup>	5:1	0.6	0.1
JY-98-2 <sup>#</sup>	5:1	0.6	1
JY-98-3 <sup>#</sup>	5:1	0.6	10

注:文献<sup>[1]</sup>表明,1 号古炮台遗址经 98 年修复时用灰土成分为土灰质量比 5:1,糯米浆浓度 0.6%,即为表 3 中的 JY-98-0<sup>#</sup> 号土样。由于在古代有用石灰、糯米浆和明矾作为建筑凝胶材料,故在本实验中,以 JY-98-0<sup>#</sup> 号土样的土灰质量比和糯米浆浓度为标准,改变明矾的浓度,比较加入明矾的利弊。

## 2 结果与讨论

### 2.1 糯米浆浓度对土样性能的影响

糯米浆浓度对土样性能的影响见表 4~5 所示。

由表 1、4 可知:从 JY-1<sup>#</sup> 至 JY-6<sup>#</sup> 样品,土灰质量比是相同的,糯米浆的浓度逐渐增大。从耐冻融性来讲,从 JY-1<sup>#</sup> 至 JY-6<sup>#</sup> 样品,随着糯米浆浓度的增大,土样耐冻融性先增大后减小,即 JY-4<sup>#</sup> 号样品耐冻融性最好,经历 3 次冻融循环后,下部坍塌;而其他 5 个样品均由不同程度的坍塌、崩解。由此可知:糯米浆的浓度以 2% 为宜。

由表 1、5 可知:从 JY-1<sup>#</sup> 至 JY-6<sup>#</sup> 样品,土灰质量比是相同的,糯米浆的浓度逐渐增大,其抗压强度也是先增大后减小;其中 JY-3<sup>#</sup> 号土样抗压强度值最大。综合冻融循环试验,得出糯米浆的浓度以 1%~2% 为宜,低于 1% 的话,土样耐冻融性差;高于 2% 的话,土样耐冻融性也差,而且抗压强度也在逐渐降低。

### 2.2 土灰比对土样性能的影响

土灰比对土样性能的影响见表 6~7 所示。

表6 冻融循环试验土样的变化情况

Table 6 The freezing and thawing test of the earthen samples

冻融循环次数	JY-7 <sup>#</sup>	JY-8 <sup>#</sup>	JY-9 <sup>#</sup>	JY-10 <sup>#</sup>	JY-11 <sup>#</sup>
1	完好	表面有细小裂缝	完好	土样表层掉皮	表层掉皮、有裂缝
2	表面开裂	表面开裂	土样有细小裂缝	表面严重掉皮	表面开裂、掉皮、原貌被破坏
3	表面严重开裂、甚至坍塌	表面严重开裂、甚至坍塌	土样下部坍塌	土样坍塌	土样坍塌、强度差

由表2、6可知:从JY-7<sup>#</sup>至JY-11<sup>#</sup>样品,糯米浆的浓度均为2%,土灰质量比逐渐增大。从耐冻融性来讲,从JY-7<sup>#</sup>至JY-11<sup>#</sup>样品,随着土灰质量比的增大,土样耐冻融性逐渐减小,其中JY-10<sup>#</sup>样品和JY-11<sup>#</sup>样品经冻融循环后表层掉皮,分析其原因可能是灰土内外含水量即干湿程度不同,容易形成两层,从而导致样品掉皮脱落。由上表结果可知:土灰质量比不高于3:1为宜。

表7 各土样抗压强度数据

Table 7 The datum of the compressive strength

试样编号	抗压强度/MPa	破坏程度
JY-7 <sup>#</sup>	866.4	部分破坏
JY-8 <sup>#</sup>	745.6	部分破坏
JY-9 <sup>#</sup>	689.0	部分破坏
JY-10 <sup>#</sup>	648.9	部分破坏
JY-11 <sup>#</sup>	787.7	部分破坏

注:各土样面积均为:2.255 × 10<sup>-3</sup> m<sup>2</sup>

表8 冻融循环试验土样的变化情况

Table 8 The freezing and thawing test of the earthen samples

冻融循环次数	JY-98-0 <sup>#</sup>	JY-98-1 <sup>#</sup>	JY-98-2 <sup>#</sup>	JY-3 <sup>#</sup>
1	土样侧面有细小裂缝	土样侧面有较宽裂缝	土样表层土疏松、掉皮、剥落,原貌被破坏	土样表层土较疏松、掉皮、剥落,原貌被破坏
2	各土样有掉皮、剥落现象	各土样掉皮、剥落严重,甚至坍塌	各土样掉皮剥落较严重	各土样掉皮剥落较严重
3	各土样掉皮剥落现象严重	各土样坍塌、原貌破坏	各土样掉皮、剥落、原貌破坏	土样坍塌破坏严重

表9 各土样抗压强度数据

Table 9 The datum of the compressive strength

试样编号	抗压强度/MPa	破坏程度
JY-98-0 <sup>#</sup>	839.7	部分破坏
JY-98-1 <sup>#</sup>	1131.4	部分破坏
JY-98-2 <sup>#</sup>	1976.3	部分破坏
JY-98-3 <sup>#</sup>	1892.8	部分破坏

注:各土样面积均为:2.255 × 10<sup>-3</sup> m<sup>2</sup>

### 3 结 论

江阴小石湾炮台遗址以“三合土”和糯米浆为主要建筑材料夯筑而成,由上述实验结果分析得出以下结论:在夯筑“三合土”过程中,其糯米浆浓度在1%~2%范围内,土灰质量比不高于3:1,明矾浓度以不超过0.1%为宜。

由表2、7可知:从JY-7<sup>#</sup>至JY-11<sup>#</sup>样品,糯米浆的浓度均为2%,土灰质量比逐渐增大,其抗压强度总体是逐渐减小,其中JY-11<sup>#</sup>样品抗压强度值较大可能是由于制样所带来的误差引起。

### 2.3 明矾对土样性能的影响

明矾对土样品性能的影响见表8~9所示。

由表3、8可知:从JY-98-0<sup>#</sup>至JY-98-3<sup>#</sup>样品,土灰质量比、糯米浆的浓度均一致,明矾的浓度逐渐增大。从耐冻融性来讲,JY-98-0<sup>#</sup>至JY-98-3<sup>#</sup>样品,随着明矾浓度的增大,土样耐冻融性逐渐减小,说明明矾的加入使得土样耐冻融性降低。

由表3、9可知:从JY-98-0<sup>#</sup>至JY-98-3<sup>#</sup>样品,土灰质量比、糯米浆的浓度均一致,明矾的浓度逐渐增大,其抗压强度先增大后减小,根据遗址现状来看,其强度要求适中,故明矾的浓度以不超过0.1%为宜。

### 参考文献:

[1] 张 慧, 万 俐. 江阴黄山小石湾古炮台遗址“三合土”研究[J]. 东南文化, 待发表.  
ZHANG Hui, WAN Li. Research on “San - he - tu” Obtained from Xiaoshiwan Forts Site of Jiangyin Huangshan [J] Southeast Cultwe, submitted.

[2] 曾余瑶, 张秉坚, 梁晓林. 传统建筑泥灰加固材料的性能研究与机理探讨[J]. 文物保护与考古科学, 2008, 20(2): 1-7.  
ZENG Yu - yao, ZHANG Bing - jian, LIANG Xiao - lin. Study on characteristics and consolidation mechanism of historical mortar materials [J]. Sci Conserv Archaeol, 2008, 29(2): 1-7.

[3] 周双林, 原思训, 杨宪伟, 等. 丙烯酸非水分散体等几种土遗址防风化加固剂的效果比较[J]. 文物保护与考古科学, 2003, 15(2): 40-48.  
ZHOU Shuang - lin, YUAN Si - xun, YANG Xian - wei, et al. Comparison of consolidation effectiveness of acrylic non - aqueous dispersion and other anti - weathering consolidants for earthen architectures and monuments [J]. Sci Conserv Archaeol, 2003, 15(2): 40-48.

## Research on the optimal formula of “Lime – soil” for restoration of the Xiaoshi harbor fort site at Huangshan, Jiangyin

ZHANG Hui, WAN Li

(Institute of Cultural Relic Conservation Science and Technology of Nanjing Museum, Nanjing 210016, China)

**Abstract:** The current state of preservation of Xiaoshi harbor forts site at Huangshan, Jiangyin city, indicates that rescue restoration and conservation are urgently needed. In order to improve the overall weathering – resistance of the rammed earth wall, the “San – he – tu” formula was optimized based on compressive strength and freezing – thaw cycle tests. Results showed that the concentration of glutinous rice plasma should be 1% ~ 2%, that the mass ratio of earth to lime should be higher than 3:1 and that the potassium alum concentration should not be higher than 0.1%. These results provide a reference when considering the strengthening and conservation of ancient forts sites.

**Key words:** Forts site; Lime – soil; Freezing – thaw cycles

(责任编辑 谢 燕)

· 通 讯 ·

### 关于举办“全国第十二次释光与电子自旋共振测定年代学术讨论会”的通知(第一号)

根据中国文物保护技术协会释光与电子自旋共振测定年代专业委员会的安排,2010年7月19-21日将举办我国第十二次释光与电子自旋共振测定年代学术讨论会,现将会议相关事宜通知如下:

#### 一、会议主题

(1)释光与电子自旋共振测年的原理、理论、测年技术;(2)释光与电子自旋共振测年的应用;(3)仪器设备的开发和改进;(4)剂量学;

#### 二、论文要求

会议要求作者于2010年6月20日前提交论文或论文摘要,请寄到赵俊香、尹功名、夏君定处,以便在会议前汇编会议论文集(摘要)集。会后,论文将通过专业委员会在《核技术》上集中发表,对于优秀的年轻学者或学生论文提供适当的资助。

#### 三、会议时间和地点

会议地点:中国云南省大理市中国地震局滇西实验场

会议时间:2010年7月19-21日。19日全天报到,20和21日全天报告,22日后野外考察。

#### 四、报告

会议提供计算机和投影仪,请报告人准备PowerPoint。未提交论文摘要的代表,请在报到时提供电子版的文件,以便在会前打印。

#### 五、会议组织和承办单位

本次会议由中国文物保护技术协会释光与电子自旋共振测定年代专业委员会组织(专业委员会挂靠在上海博物馆),中国地震局地壳应力研究所年代学实验室、上海博物馆和中国地震局地质研究所地震动力学国家重点实验室共同承办。

#### 六、会费

正式代表:550元;学生代表:260元,主要用于会务费、资料费、伙食补贴、会议中间考察费等。住宿费和会后考察费自理。

#### 七、会议联系人:

北京:赵俊香

电话:010-62842629,010-62842634(可传真),13661072334

通信地址:100085,北京海淀区安宁庄路1号,中国地震局地壳应力研究所;电子邮箱:zhjx1014@tom.com;

上海:夏君定

电话:021-62512243,62512844,传真:021-54363740,13671993509

通信地址:200050,上海市延安西路1357号1楼,上海博物馆实验室;电子邮箱:jundingxia@hotmail.com

北京:尹功名

电话:010-62009115,传真:010-62009190,13910199083

通信地址:北京9803信箱,邮编:100029;电子邮箱:yingongming@sina.com

《文物保护与考古科学》编辑部转发