

土遗址裂隙注浆材料 PS - (C + F) 与 SH - (C + F) 性能对比研究

湛文武¹, 刘建¹, 崔凯², 韩宁¹, 杨光¹, 任晓峰¹

(1. 兰州大学土木工程与力学学院, 西部灾害与环境力学教育部重点实验室, 甘肃兰州 730000;

2. 兰州理工大学土木工程学院, 甘肃兰州 730000)

摘要: 西北干旱、半干旱地区保存有大量的土遗址, 裂隙、淘蚀、洞穴、冲沟、坍塌等一系列病害对遗址的破坏作用明显。就裂隙注浆材料而言, 本研究基于 PS - (C + F) 的成功应用, 为使注浆材料多元化, 对比研究 SH - (C + F) 浆液作为注浆材料的适用性。通过室内对两种材料的力学性能、水理性质、抗冻性、抗老化性的比较以及现场对裂隙加固效果的检测, 最终分析数据得出结论, SH - (C + F) 与 PS - (C + F) 的力学性能相当, 但 SH - (C + F) 的抗渗性、抗崩解性、抗冻性、抗老化性等略好一些。因此, SH - (C + F) 浆液适宜作为注浆材料应用于土遗址裂隙加固中。试验结果对西北地区土遗址裂隙加固材料的多元化有重要的参考意义和指导作用。

关键词: 裂隙注浆; SH - (C + F); PS - (C + F); 强度; 贯入阻力; 波速

中图分类号: TU18 **文献标识码:** A

0 引言

土遗址是指以土作为主要建筑材料的人类历史上生产、生活等各种活动遗留下来的遗迹, 是一种重要的文物资源, 承载着巨大的历史、艺术、科学和社会价值^[1]。受自然环境、历史事件以及人为活动的影响, 中国西北地区众多土遗址普遍面临坍塌消失的威胁^[2,3]。裂隙对于古城墙来说是致命的病害之一, 裂隙注浆材料也在不断尝试改进^[4]。在干旱地区, 土遗址裂隙灌浆材料 PS - (C + F) 得到了成功应用^[4-6]。为使注浆材料多元化, 适用于多种气候条件下的土遗址, 对 SH 材料与 PS 材料进行对比研究, 调配适当配比的黏土与粉煤灰, 添加适当的添加剂, 参考前人的施工工艺对裂隙进行注浆^[7,8]。

青海省东部地区处于半干旱、半湿润气候, 有众多土遗址。贵德古城是青海省乃至西北地区保存最为完整的古城之一, 2001 年被列为国家级重点文物保护单位。但其城墙发育有多种病害, 尤其裂隙发育较多, 此次野外现场试验以贵德古城城墙作为裂隙注浆现场试验研究对象。

1 试验材料

1.1 土遗址加固材料要求

按照文物保护的要求, 土遗址注浆材料需满足遗址赋存环境的要求, 并且应有足够的强度, 但强度不宜太高, 比被加固墙体的新鲜土体强度略高即可, 同时材料的颜色和风化产物等应和遗址土体有较好的相容性^[9,10]。

1.2 试验材料概述

SH 材料是 2001 年兰州大学根据国家高技术研究发展计划(863 计划)课题“固沙植被用新材料及低成本制备技术”, 由多位科研工作者共同研制开发出的新型高分子材料。SH 材料为改性聚乙烯醇, 遇水可以无限稀释, 分子量在 2×10^4 左右, 密度是 1.09g/cm^3 , 乳白色, 粘度较低。凝胶时间易于控制, 无毒性, 价格便宜。它具有良好的物理力学性能, 在生态改造方面也具有广阔的前景, 为高科技绿色产品^[11,12]。其最初的用途是用于固沙, 此次试验将其与黏土与粉煤灰混合调制成浆液, 其干燥后的性质与土体性质基本接近。

PS 是一种高模数硅酸钾水溶液, 是敦煌研究院研制出的一种土遗址加固材料, 对西北干旱地区土遗址的加固有明显的保护效果, 已经在西北地区的

收稿日期: 2015-09-22; 修回日期: 2017-08-25

基金项目: 国家科技支撑计划资助(2014BAK16B02), 国家文物局文物保护科学和技术研究课题资助(2013-YB-HT-013)

作者简介: 湛文武(1966—), 男, 河南信阳人, 教授, 工学博士, 博士生导师, 主要从事地质工程、岩土工程和文物保护工程方面研究, E-mail: sungp@lzu.edu.cn

多处土建筑遗址保护中推广使用^[13-16]。

F 为粉煤灰,是从煤燃烧后的烟气中收捕下来的细灰。粉煤灰是燃煤电厂排出的主要固体废物,主要氧化物组成为:SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、CaO 等。本次试验所用粉煤灰为兰州西固热电有限责任公司生

产的二级灰,其主要化学成分见表 1。这种粉煤灰具有和易性好、可泵性强、终饰性改善、抗冲击能力提高、抗冻性增强等优点。

C 为黏土,粉煤灰与黏土、SH 拌合并且养护 30d 后,其性质和夯土层基本接近,具有很好的相容性。

表 1 粉煤灰主要化学成分及含量

Table 1 The main chemical ingredients and composition of fly ash

(%)

成分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	其他
质量分数	52.2	31.1	3.5	2.5	1.7	0.2	8.8

2 试验方案

2.1 室内试验

用 7.07cm × 7.07cm × 7.07cm 模具进行制样(图 1),在常温下养护 28d 后,对试样依次做无侧限抗压强度、抗拉强度试验、抗渗性试验、崩解试验、波速测试、抗冻融性试验、抗老化试验,对比分析各试样与土遗址原状样的力学性质、水理性质与耐老化性。



图 1 室内试样

Fig. 1 Indoor sample

2.2 野外试验

鉴于室内封闭的试样养护环境与外界环境明显不同,因此有必要对 SH-(C+F)与 PS-(C+F)的浆液进行野外试验研究,探究在野外真实情况下养护后浆材的性质。

在试验区,寻找不同宽度的裂隙(1, 3, 5, 7, 9cm),控制 SH-(C+F)与 PS-(C+F)浆液的质量分数为 1.2%,桐油质量分数为 2%。配制 0.40~0.65(0.40, 0.45, 0.50, 0.55, 0.60, 0.65)同一梯度的水灰比浆液,参照前人的注浆方法,进行裂隙充填注浆,对不同宽度裂隙选取注浆时适宜水灰比的浆液^[13,14]。最后用地基承载力贯入仪,SM-SY5(T)非金属声波检测仪检测测试其效果^[17]。

3 试验结果分析

3.1 室内试验结果分析

3.1.1 无侧限抗压强度试验 各试样在养护 28d 后,对其进行无侧限抗压强度与抗拉强度试验,具体试验结果见图 2~3。

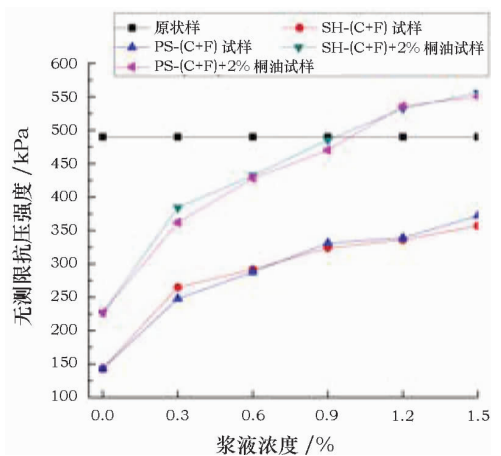


图 2 浆液浓度与抗压强度关系

Fig. 2 The relationship of slurry concentration with compressive strength

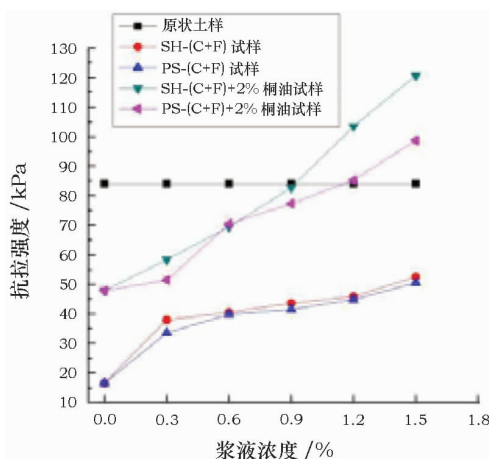


图 3 浆液浓度与抗拉强度关系

Fig. 3 The relationship of slurry concentration with tensile strength

从图 2 与图 3 曲线结果可知,土遗址原状样的抗压强度为 490kPa,抗拉强度为 84kPa;SH-(C+F)与 PS-(C+F)浆液强度随浓度的增大而增大,但增大幅度较小。在未添加桐油时,同等浓度下两种浆液的抗压抗拉强度大致相当,但均低于土遗址原状样强度。在添加 2% 桐油之后,浆材强度提升明显,两种材料在抗压强度增幅一致,但对于抗拉强度,SH 浆材的增幅要大于 PS 浆材。从抗拉强度、抗压强度与土体协调性的角度分析,两种浆材的最优浓度均为 1.2% 左右,且添加 2% 桐油。

3.1.2 渗透性试验结果分析 水灰比—渗透系数关系如图 4。

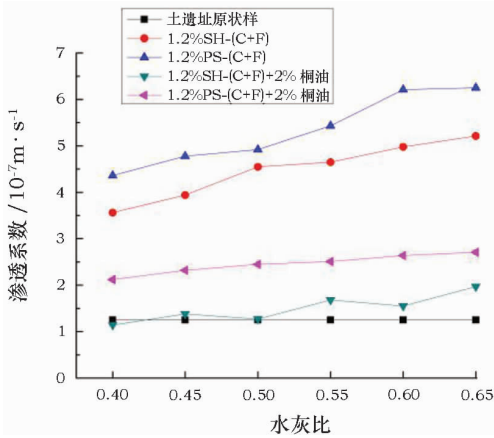


图 4 水灰比—渗透系数关系图

Fig. 4 Cement ratio - permeability relationship diagram

试验结果显示,土遗址原状样的渗透性约为 $1.25 \times 10^{-7} \text{m/s}$,而对于 PS-(C+F)与 SH-(C+F)两种浆液,其渗透性均高于土遗址原状样;加入桐油后,两种浆液的渗透性均明显下降。其中,SH-(C+F)在加入桐油后的渗透性与土遗址原状样比较接近,但 PS-(C+F)渗透性仍然高于土遗址原状样^[18]。

分析数据得知,桐油的添加对浆液抗渗性的提高有明显效果。SH-(C+F)的抗渗性要强于 PS-(C+F),与土遗址原状样渗透系数更接近,较 PS-(C+F)更适宜于作为注浆材料^[19]。

3.1.3 抗崩解性试验结果 未添加桐油的 SH-(C+F)与 PS-(C+F)两种浆液的抗崩解性能均低于土遗址原状样,但添加 2% 桐油后,抗崩解性能明显提升,且相同条件下 SH 浆材的抗崩解性能要稍强于 PS 浆材(图 5)。

两种浆液和土遗址原状样在盐溶液中的抗崩解性能明显下降;添加桐油后的两种浆液的抗崩解性能虽然降低,但仍然强于土遗址原状样在纯水中的抗崩解性。因此,添加桐油后的两种浆液抗崩解性能能够满足需求。

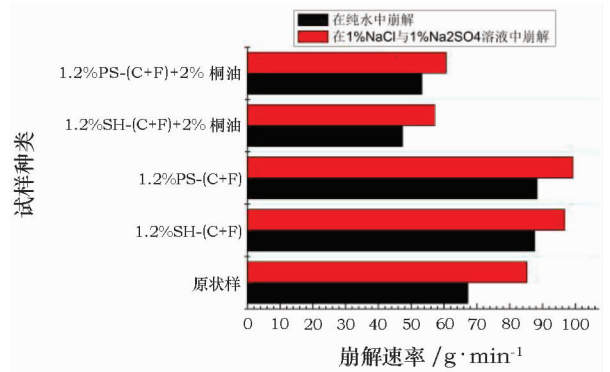


图 5 试样种类与崩解速率关系

Fig. 5 The relationship of the sample types and disintegration rate

3.1.4 RSM-SY5(T)非金属声波检测仪检测 试验采用武汉中岩科技有限公司生产的 RSM-SY5(T)非金属声波检测仪进行波速测试,检测方式为对测。试样的波速能够体现出试样的致密性以及连续性,对试样与土遗址原状样的波速测定结果见图 6 与图 7。

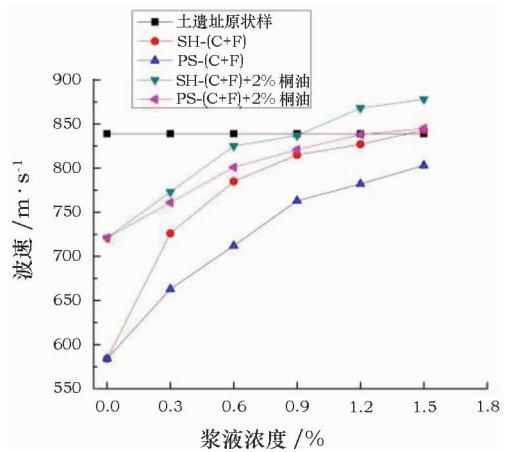


图 6 浆液浓度与波速关系

Fig. 6 The relationship of the slurry concentration and velocity

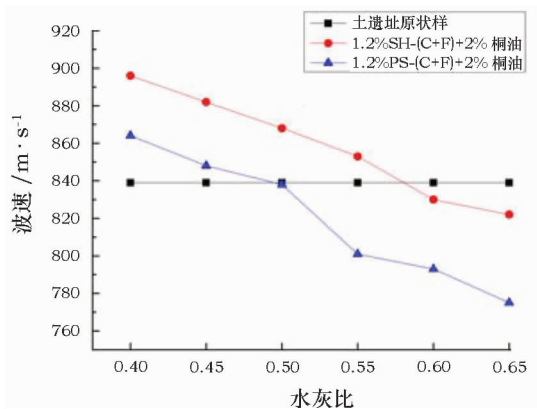


图 7 不同水灰比与波速关系

Fig. 7 The relationship of water - cement ratio with velocity

通过观察图6发现,土遗址原状样的波速测定结果为839m/s,在未添加桐油时,两种浆材的波速测定结果均略低于原状样。这说明两种材料的致密性与连续性不及原状样。在加入2%桐油后,在SH质量分数达到0.9%时,SH-(C+F)的波速与原状样持平;PS质量分数为1.2%时,PS-(C+F)的波速与原状样持平。桐油的添加对浆液波速即致密性与连续性的提升有明显作用。

从图7明显看出,浆材波速随着水灰比的增大而减小,不难理解,水灰比越大,浆液的密度越小,削弱了其致密性与连续性;但从图7中显然看到,相同条件下SH浆材的致密性与连续性要优于PS浆材。

3.1.5 抗冻融性试验结果 试验对象为土遗址原状土样、水灰比均为0.5的养护之后的1.2%PS-(C+F)、1.2%SH-(C+F)、1.2%PS-(C+F)+2%桐油、1.2%SH-(C+F)+2%桐油5种试样。将以上试样放置烘箱烘干之后称重,加入适量的水,使其充分浸泡。随后,将两种完全浸湿的浆液放进冰箱中冷冻,温度调至 $(-20 \pm 0.5)^\circ\text{C}$,冷冻4h之后,将浆液放入保湿器中融化4h,以上步骤作为一个循环。对试样做25次上述操作,最后将试样放入烘箱内烘干,测其质量与无侧限抗压强度,计算其质量损失率与强度损失率,试验结果如图8所示。

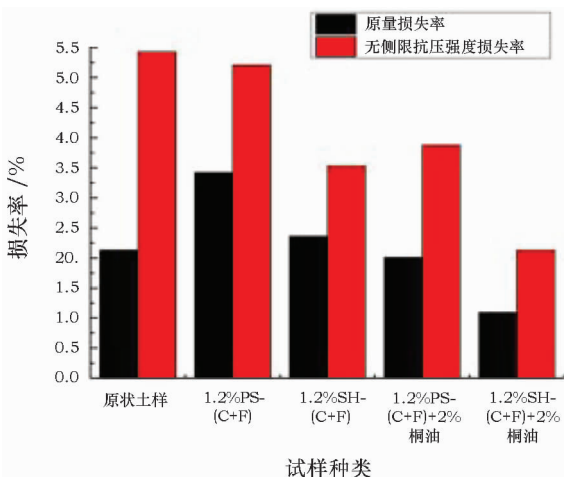


图8 抗冻融性试验结果

Fig.8 The test results of freeze-thaw resistance

从图8明显可以看到,在不添加桐油的情况下,经过25次的冻融循环之后,SH浆材与PS浆材的质量损失率均大于原状土样的质量损失率,这说明其抗冻融性较原状土样弱;对比SH浆材与PS浆材可以明显观察到SH浆材的抗冻性更强。在添加2%桐油之后,两种浆液的质量损失率与强度损失率均

明显减小,这说明桐油的添加显著提高了两种浆液的抗冻融性能。

对于其强度的变化,未添加桐油前,PS浆材的强度损失率明显高于SH浆材;在添加桐油之后,其强度损失率均有所降低。这说明桐油的添加能够提高试样的抗冻性能。

3.1.6 抗老化性试验结果 将5种试样分别置于耐老化试验箱中,在试验箱中2个300W的紫外线弧灯的照射下,模拟日光照射的情况,采用间断照射的方式,以12h为界开灯和关灯,试验持续120h。试验结束后对各试样进行无侧限抗压强度试验,计算出试样的强度损失率,试验结果如图9。

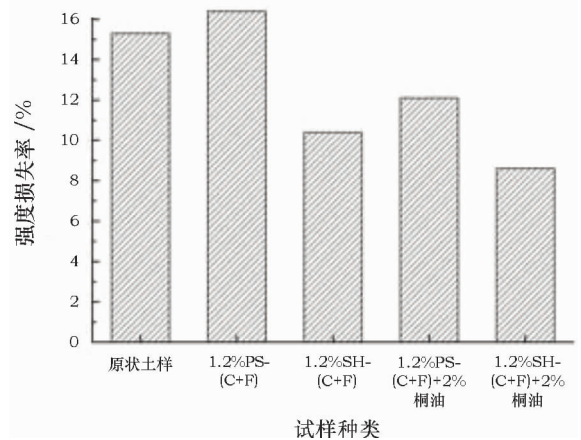


图9 抗老化性试验结果

Fig.9 The test results of aging resistance

从各试验的抗压强度损失率可以看出,SH的抗老化性能明显优于PS浆材的耐老化性能,而且桐油的加入显著减小了试样的抗压强度损失率。故桐油对于浆材耐老化性能的提升有明显的作用。

3.2 野外试验结果

在贵德古城对所选裂隙注浆完成且经过30d的养护之后,用地基承载力贯入仪、RSM-SY5(T)非金属声波检测仪进行检测。

3.2.1 地基承载力贯入仪检测结果分析 用地基承载力贯入仪对浆液表面与周围土体进行强度测试,测试结果如图10。

据图10,随着水灰比的增大,SH-(C+F)与PS-(C+F)这两种浆液的表层贯入阻力逐渐减小,且在同一水灰比的条件下其表面强度相当,均略大于周边土体的表层贯入阻力。随着水灰比的增大,浆液养护后的密度越来越小,固体颗粒间隙变大,因此,其强度下降。但从数据分析,水灰比为0.65的

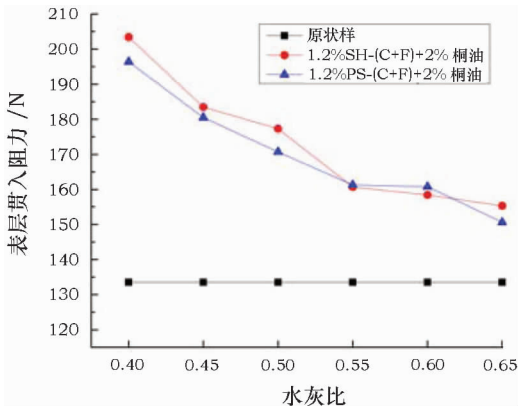


图 10 水灰比与贯入阻力关系

Fig. 10 The relationship of water - cement ratio and penetration resistance

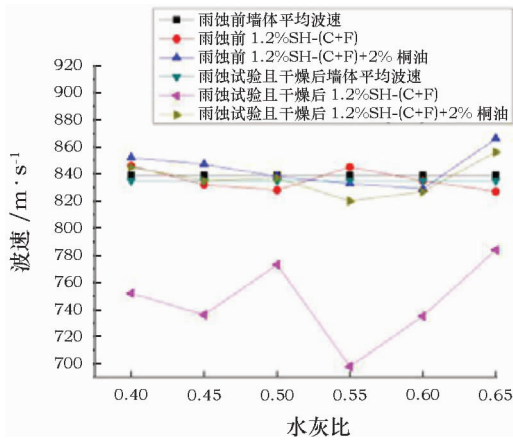


图 11 雨蚀前后水灰比 - 波速关系

Fig. 11 The relationship of cement ratio - velocity during rain erosion before and after

无裂隙墙体波速大致为 840m/s,雨蚀前,有裂隙墙体在注浆后的波速和无裂隙墙体波速大致相当。但经过雨蚀后,未添加桐油的 SH-(C+F)和 PS-(C+F)浆液的波速都明显下降,添加桐油的两种浆液下降幅度不大。因而从某种意义上来说浆液添加桐油之后效果会更好。

此外,对比两种浆液,PS-(C+F)浆液加固裂隙后的加固效果要略次于 SH-(C+F)。

4 机理分析

4.1 PS 与 SH 的作用

对于 SH-(C+F)和 PS-(C+F),其中 SH 与 PS 是很好的有机黏结材料,对固体颗粒具有固化作用。它们能够明显提高浆液的整体性能,不仅是浆材固体颗粒之间互相黏结,而且在裂隙注浆现场试验中能够使浆液与周围土体更好的黏结。

两种浆液表层强度仍然大于周边土体。

3.2.2 RSM-SY5(T) 非金属声波检测仪检测 在裂隙两侧各约 15cm 的地方凿出长宽 10cm、深 7cm 的槽坑,便于放置声波仪探头。测试方式为对测,所测出的波速为裂隙灌浆后波速;在周边具有代表性的墙体中凿出同样的槽坑,测出无裂隙墙体波速,检测注浆效果。

之后,人工模拟降雨 10min,所用雨蚀试验仪器为背负式农药喷洒器,以手拉杆按压频率为 1 次/2s,出水口距墙体表面 30cm,保持出水角度与水平方向角度为 30°。雨蚀试验后,待 2d 浆液完全干燥后再进行一次测试,比较两次测试结果,如图 11~12 所示。

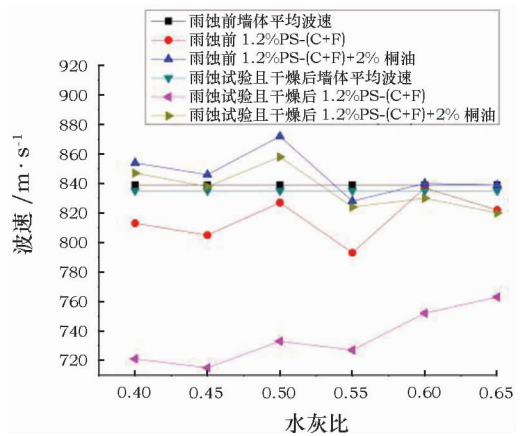


图 12 雨蚀前后水灰比 - 波速关系

Fig. 12 The relationship of cement ratio - velocity during rain erosion before and after

4.2 粉煤灰的作用

添加粉煤灰的主要作用是利用其养护过程中的膨胀组分。粉煤灰的膨胀组分主要是游离氧化钙,游离氧化钙水化将会引起膨胀;如果只有黏土,在浆液养护期间,会由于失水而收缩,从而产生很多裂缝。因此,在添加粉煤灰后,在养护过程中,其膨胀组分会在一定程度上防止浆液产生收缩裂缝。

4.3 桐油加固机理

试样添加桐油后,经过一段时间的养护,其无侧限抗压强度与抗拉强度显著增加,这是由于粉煤灰中含有 CaO,桐油能够促进石灰与黏土之间化学键的形成。其强度提高的主要原因是桐油主要成分为桐油酸(十八碳三烯烯酸),桐油酸的一个分子中有三个双键互成共轭体系,因此桐油酸容易聚合及被氧化。具有上述化学性质的桐油与 CaO 进行化学反应的时候,能够产生强大的化学胶结料。因此,试

样的无侧限抗压强度与抗拉强度、抗冻性、抗老化性进一步增强。

对于其抗渗性、抗崩解性的增强,是由于桐油的主要成分桐油酸分子具有一定的聚合反应特性和良好的成膜性,能较好地与周围固体颗粒形成连续的高分子包膜层,其憎水性极大地增强了试样的抗渗透性与抗崩解性。

在雨蚀过程中,由于水不断地冲刷,部分水分最终会进入微裂隙,使其逐渐加深变宽,以至于互相贯通,使浆液遭到破坏;而添加桐油后,浆液表面变得致密光滑,水分很难进入,有效增强了浆液的耐久性^[19]。

5 结论

1) 同一浓度的 SH-(C+F)和 PS-(C+F)的抗压强度与抗拉强度大致相当,会随着浓度的提升而增强,但高浓度的浆液强度仍然无法达到土遗址原状土样的强度。

2) 桐油的添加会显著增强浆液的抗压、抗拉强度、抗渗透性、抗崩解性、抗冻性以及抗老化性等,且能够提高浆液的波速,使得与土遗址更加协调。现场雨蚀试验也证明桐油的添加会显著提高浆材的耐久性。

3) PS-(C+F)与 SH-(C+F)在室内、野外试验对比表明,1.2% SH-(C+F)+2%桐油与1.2% PS-(C+F)+2%桐油适合作为土遗址裂隙注浆材料,但抗渗透性与抗崩解性、抗冻性以及抗老化性 SH-(C+F)略优于 PS-(C+F)。

参考文献:

[1] 黄克忠. 岩土文物建筑的保护[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998: 5-9.
HUANG Ke-zhong. The protection of geotechnical heritage buildings[M]. Beijing: China Building Industry Press, 1998: 5-9.

[2] 李最雄. 丝绸之路古遗址保护[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
LI Zui-xiong. The protection of the Silk Road in ancient relics [M]. Beijing: Science Press, 2010.

[3] 李最雄, 张虎元, 王旭东. 古代土建筑遗址的加固研究[J]. 敦煌研究, 1995(3): 117.
LI Zui-xiong, ZHANG Hu-yuan, WANG Xu-dong. The reinforcement research of the ancient Earth Structure Sites [J]. Dunhuang Research, 1995(3): 117.

[4] 王 贇. 土遗址加固材料比选及试验研究[J]. 陕西理工学院学报: 自然科学版, 2010, 26(2): 36-39.
WANG Yun. Comparison and selection of consolidation materials for the earthen sites and experimental study [J]. Journal of Shanxi University of Technology (Natural Science Edition), 2010, 26(2): 36-

39.

[5] 孙满利, 李最雄, 王旭东, 等. 交河故城垛泥墙体裂隙注浆工艺研究[J]. 文物保护与考古科学, 2013, 25(1): 1-5.
SUN Man-li, LI Zui-xiong, WANG Xu-dong, et al. Study of grouting techniques for repairing the cranny of the stacking mud wall of Jiaohe Ruins [J]. Sciences of Conservation and Archaeology, 2013, 25(1): 1-5.

[6] 杨 涛, 李最雄, 汪万福. 交河故城土体裂隙灌浆材料性能试验 [J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(增刊2): 3782-3788.
YANG Tao, LI Zui-xiong, WANG Wan-fu. Performance test of compatible slurry grouting into soil Fracture at ancient city of Jiaohe [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28 (Suppl 2): 3782-3788.

[7] 和法国, 谌文武, 张景科, 等. PS 材料加固交河故城土体试验研究[J]. 敦煌研究, 2008(5): 32-35.
HE Fa-guo, CHEN Wen-wu, ZHANG Jing-ke, et al. Experimental study of soil reinforcement using PS material in Jiao he Ruins [J]. Dunhuang Research, 2008(5): 32-35.

[8] 和法国, 谌文武, 张景科, 等. 交河故城 41-3 亚区崖体裂隙注浆研究[J]. 敦煌研究, 2008(6): 23-28.
HE Fa-guo, CHEN Wen-wu, ZHANG Jing-ke, et al. The research of cliff crack grouting in 41-3 sub-region in Jiaohe Ruins [J]. Dunhuang Research, 2008(6): 23-28.

[9] 庞正智. 加固交河古代遗址裂缝——化学法处理遗址土试验 [J]. 文物, 1997(11): 8891.
PANG Zheng-zhi. Test for chemical treatment of soil sample of the Ancient Ruins of Jiaohe [J]. Culture Relics, 1997(11): 8891.

[10] 张秉坚, 魏国锋, 杨富巍, 等. 不可移动文物保护材料研究中的问题和发展趋势[J]. 文物保护与考古科学, 2010, 22(4): 102-109.
ZHANG Bing-jian, WEI Guo-feng, YANG Fu-wei, et al. challenges and future trends in conservation material for immovable objects of cultural heritage [J]. Sciences of Conservation and Archaeology, 2010, 22(4): 102-109.

[11] 郭志谦. 一种用于土遗址加固的新材料渗透性试验研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2014: 11-12.
GUO Zhi-qian. Experimental study on the permeability of a new Reinforced material in earthen sites [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2014: 11-12.

[12] 王银梅, 谌文武, 韩文峰. SH 固沙机理的微观探讨[J]. 岩土力学, 2005, 26(4): 650-654.
WANG Yin-mei, CHEN Wen-wu, HAN Wen-feng. Microstudy on mechanism of sand fixation with SH [J]. Rock and Soil Mechanics, 2005, 26(4): 650-654.

[13] 孙满利. 吐鲁番交河故城保护加固研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2006: 125-126.
SUN Man-li. A study of the protection and reinforcement about The Ruins of Jiaohe of Turpan [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2006: 125-126.

[14] 朱 杰, 蔡乐刚, 郭 戈. 硅酸乙酯类加固材料在潮湿环境土遗址加固保护中的应用研究[J]. 文物保护与考古科学, 2015, 27(4): 7-14.
ZHU Jie, CAN Yue-gang, GUO Ge. Application of ethyl silicate

- as a strengthening agent for consolidation and conservation of earthen sites under moisture circumstances[J]. *Sciences of Conservation and Archaeology*, 2015, **27**(4):7-14
- [15] 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 antiweathering consolidants for earthen architectures and monuments [J]. *Sciences of Conservation and Archaeology*, 2003, **15**(2):4048.
- [16] 裴强强,邵明申,陆立成,等. PS 加固不同含水率遗址土体的特性研究[J]. *敦煌研究*, 2009(6):59-65.
PEI Qiang-qiang, SHAO Ming-shen, LU Li-cheng, *et al.* PS material reinforcement strength characteristics of sites soil in different moisture contents[J]. *Dunhuang Research*, 2009(6):59-65.
- [17] 夏小亮. 注浆材料优化配比与注浆试验研究[D]. 淮南:安徽理工大学, 2011:1-2.
XIA Xiao-liang. Study on the optimization ratio of grouting materials and grouting experiment[D]. Huainan: Anhui University of Science and Technology, 2011:1-2.
- [18] 邵明申. PS 加固对非饱和遗址土的渗透特性影响研究[D]. 兰州:兰州大学, 2010.
SHAO Ming-shen. Influence of PS consolidation on permeability of unsaturated soil from earthen sites[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2010.
- [19] 唐晓武,林廷松. 利用桐油和糯米汁改善黏土的强度及环境土工特性[J]. *岩土工程学报*, 2007, **29**(9):1324-1329.
TANG Xiao-wu, LIN Ting-song. Strength and geoenvironmental properties of clay improved by tung oil and sticky rice juice[J]. *Journal of Geotechnical Engineering*, 2007, **29**(9):1324-1329.

The comparative study to performance of the earthen sites fissure grouting material PS-(C+F) and SH-(C+F)

CHEN Wen-wu¹, LIU Jian¹, CUI Kai², HAN Ning¹, YANG Guang¹, REN Xiao-feng¹

- (1. *Key Laboratory of the Western Disaster and Environmental Mechanics, Ministry of Education, School of Civil Engineering and Mechanics, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China;*
2. *School of Civil Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730000, China*)

Abstract: There are still many earthen ruins in the Northwestern China. Various kinds of damage, including fissuring, undercutting, caves, gullies and collapse, are great threats to the ruins. This paper focuses on the successful application of the PS-(C+F) materials and diverse grouting materials. The suitability of SH-(C+F) as a slurry grouting material was tested. The mechanical properties, hydrological properties, frost resistance, aging resistance of two indoor materials were compared. Also the effect of consolidation of cracks on the site was recorded. The results show that both SH-(C+F) slurry and PS-(C+F) have the same mechanical properties, but the former is slightly better for resistance due to permeability, disintegration, frost and aging. Therefore, SH-(C+F) is suitable as a slurry grouting material to reinforce fissured earthen sites. These results have important reference and guidance values for selecting reinforcing materials for fissured earthen sites in Northwestern China.

Key words: Fissure grouting; SH-(C+F); PS-(C+F); Strength; Penetration resistance; Wave velocity

(责任编辑 马江丽)