

石灰在熊家冢殉葬墓保护中的试验研究

陈 华 吴顺清 陈光利 魏彦飞

(荆州文物保护中心, 荆州 434020)

摘要: 本文介绍了熊家冢殉葬墓的概况以及水文地质状况, 指出了保护中需要解决的主要问题。通过以石灰为主的防水加固材料进行殉葬墓防水加固对比试验, 检验了土体处理前后性能变化, 含水率、渗透系数下降, 抗剪强度增强, 土体的防水能力得到提高, 强度增加。并对石灰防水加固机理进行了初步分析。该试验研究工作的开展对熊家冢殉葬墓的保护起到指导作用。

关键词: 熊家冢 殉葬墓 石灰 加固

1. 前 言

石灰是一种最老也是最自然的保护加固材料, 几乎所有古代文明的民族都懂得烧制石灰。我国将石灰作为建筑材料利用, 始于距今五六千年前的仰韶文化时期, 大量保存下来的古遗迹、古建筑等都有使用石灰的痕迹。例如, 始建于战国时代的都江堰, 正是以石灰砌石建成了举世闻名的坚固的水利工程。用石灰加固软弱地基至少有2000年的历史, 北京故宫和圆明园建筑的地基, 代表了我国古建筑提高地基土承载力的传统做法。石灰用于土遗址的加固、裂缝灌浆填充和破碎块的粘连在国内外也都有研究。本文尝试将石灰用于熊家冢殉葬墓的防水加固保护上, 形成了生石灰混合联体暗墙技术, 在熊家冢殉葬墓的保护中取得了良好的效果。

2. 熊家冢殉葬墓概况

熊家冢位于湖北省荆州市川店镇张场村一条呈南北走向的“西山岗”上, 属亚热带季风湿润气候区, 四季分明, 多年平均降水量1096.6mm, 雨水充足。墓地面积约15万 m^2 , 由主冢、祔冢、殉葬墓、车马坑、祭祀坑及附属建筑六大部分组成, 为东周楚国大型墓地之一。

熊家冢的殉葬墓为两部分, 一部分在主冢以南, 另一部分在祔冢之北。主冢南面共发现92座殉葬墓, 大体规律为4个一排, 共24排, 其中第16排为3座, 第24排为1座, 祔冢以北目前勘探发现40余座殉葬墓。这些殉葬墓都为长方形土坑竖穴墓, 一般长约4.7m、宽约3.3m、深约4.7m。

从墓地地质勘探报告确认, 墓地遗址土体的主要矿物成分为蒙脱石、石英、绿泥石, 其中蒙脱石含量高达30%, 土体为中等膨胀潜势的膨胀土, 自由膨胀率为55%~90%。遗址土体的主要化学成

分为SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃，此外还含有少量的MgO、CaO、Na₂O、K₂O、TiO₂、P₂O₅、MnO；遗址土体中可溶盐主要为Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺、Na⁺等阳离子和HCO₃⁻、Cl⁻、SO₄²⁻等阴离子组成。

从发掘现场来看，开挖的殉葬墓在太阳暴晒后，出现大量龟裂纹，裂缝相互切割，呈鱼网状，长约8~15cm，深约15cm甚至更深。开挖深度达4m左右在临时支护保护时，坑壁可以暂时保持直立。日晒夜露下，暴露空气中的土体在吸收和失去水分的过程中产生膨胀与收缩，呈鳞片状剥落。在受到雨水侵蚀后，迅速发生膨胀软化，出现垮塌现象。可见，殉葬墓的保护重点首先在防水加固。

3. 生石灰混合联体暗墙试验方案

为有效保护发掘的殉葬墓，研究确定采用生石灰混合联体暗墙技术对殉葬墓进行整体支护。该技术采用35cm厚三合土材料挡墙进行支护，三合土材料支护挡墙距离墓坑边缘30cm，挡墙顶部20cm为填土，挡墙的深度超出墓坑深度150cm。三合土挡墙由人工采用洛阳铲凿槽后填入搅拌混匀的三合土，然后分层进行夯实，距离地表20cm回填素土（图1）。

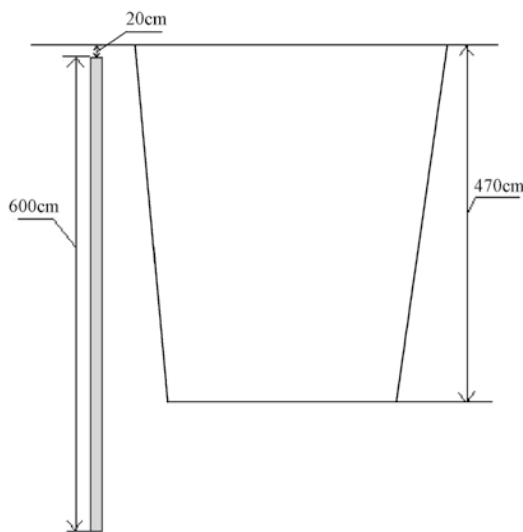
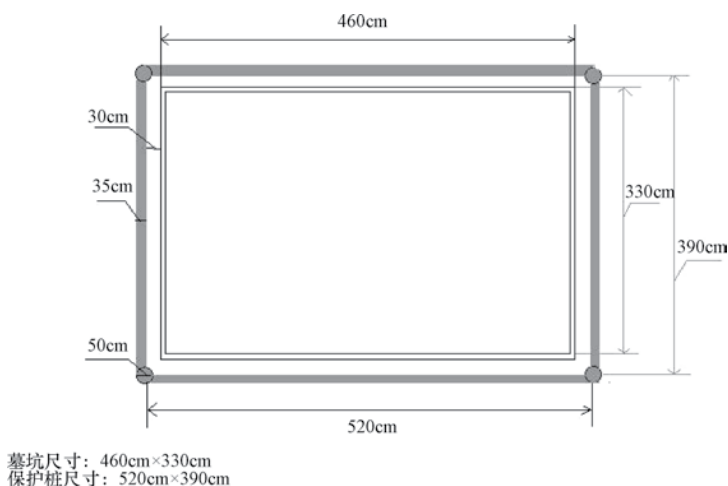


图1 石灰暗墙示意图

3.1 试验材料及位置

3.1.1 原材料及三合土配制

生石灰：荆州市松滋斯家场石灰厂生产，有效氧化钙和氧化镁含量68.6%；

粉煤灰：来源于荆州城南火电厂，烧失量为8.60%，主要成分SiO₂、Fe₂O₃、Al₂O₃为81.90；

聚丙烯纤维：武汉路盛达路桥材料有限公司生产（长度20mm、抗拉强度<500MPa）；

土：遗址区内原状土，半干时粉碎过筛。

三合土A：按照生石灰30%，粉煤灰25%，土45%混合搅拌均匀；

三合土B：按照生石灰30%，粉煤灰20%，土49%，聚丙烯纤维1%，混合搅拌均匀。

3.1.2 试验位置

试验坑1号（殉葬墓M8旁空地），试验坑2号（殉葬墓M12旁空地）。

3.2 试验操作方法

在试验坑1号、试验坑2号划定位置分段用洛阳铲掏挖宽35cm、深6m的沟槽，然后填充混合均匀的三合土（试验坑1号填充三合土A，试验坑2号东南段填充三合土A、西北段填充三合土B），填充时分层夯实，距地表20cm时回填素土，三合土墙四周连在一起最后形成整体，填充完后进行养护。

3.3 检测数据及结果

在距地表1m处取原状土样，养护15天、30天、45天后分别取试验坑1号距地表1m处的三合土样A1、A2、A3、A4，取试验坑2号距地表1m处的三合土样B1、B2、A5进行检测，检测执行标准为《土工试验方法标准》（GB/T50123-1999），检测数据见表1及表2。

表1 试验坑1号处理前后物理性能指标对比

试样	含水率 $\omega/\%$	密度		土粒比重 G_s	孔隙比 e	饱和度 $S_r/\%$	76克锥稠度界限			
		天然/(g/cm ³)	干/(g/cm ³)				液限 $W_L/\%$	塑限 $W_p/\%$	塑性指数 I_p	液性指数 I_L
原状土	28.0	1.87	1.46	2.70	0.849	89.0	56.2	27.1	29.1	0.03
A1	23.8	1.59	1.19	2.53	1.126	75.9	36.5	31.4	5.1	0.47
A2	28.0	1.54	1.25	2.53	1.279	76.4	38.8	28.8	10.0	0.98
A3	—	1.59	—	—	—	—	—	—	—	—
A4	—	1.62	—	—	—	—	—	—	—	—

表2 试验坑1号处理前后主要力学指标比较

试样	直剪		压缩系数 $a_{1,2}/$ MPa ⁻¹	压缩模量 E_s/MPa	渗透系数 $K_{20}/(\text{cm/s})$	无侧限抗压强度 q_u/kPa	养护期
	黏聚力 C/kPa	内摩擦角 $\phi/(\text{°})$					
原状土	95	13	0.12	15.6	5.72×10^{-3}	—	饱和状态
A1	50	27	0.33	6.9	—	—	15天

续表

试样	直剪		压缩系数 $a_{1,2}$ / MPa ⁻¹	压缩模量 E_s /MPa	渗透系数 K_{20} /(cm/s)	无侧限抗压强 度 q_u /kPa	养护期
	黏聚力 C /kPa	内摩擦角 ϕ /(°)					
A2	70	21	0.20	12.2	4.31×10^{-4}	522	15天
A3	90	29	—	—	3.26×10^{-4}	531	30天
A4	92	20	—	—	5.66×10^{-4}	560	45天

从表1、表2检测数据可看出, 试验样与原状土进行比较, 其抗剪强度、干密度、渗透系数等主要物理力学指标均明显提高, 特别是渗透系数。可见生石灰混合联体暗墙的使用, 不仅起到对墓坑的整体支护作用, 同时具有防止地表水外渗的作用。

从表3不同配比三合土材料处理数据可见, 材料中添加1%的聚丙烯纤维后, 各项物理力学指标均明显提高, 加固防水效果比添加前要好, 有利于提高挡墙质量更好的保护殉葬墓。

表3 试验坑2号处理前后主要物理指标比较

试样	密度		直剪		渗透系数 K_{20}
	天然/g/cm ³	干/g/cm ³	黏聚力 C /kPa	内摩擦角 ϕ /(°)	/(cm/s)
原状土	1.96	1.50	45	10	—
A5	1.58	1.11	70	18	4.25×10^{-4}
B1	1.65	1.35	73	30	3.67×10^{-4}

结合表4对比击实试验检测数据, 试验试样的干密度和含水率都没有达到最优值, 其强度和密实度还有进一步提高的空间, 在施工时墙体材料在最优含水率的状态下搅拌均匀后再逐层夯实, 并应增加夯实强度。

表4 试验坑2号处理后击实试验

试样	击数 N	最大干密度/(g/cm ³)	最优含水率 ω /%
B2	25	1.39	26.0

4. 石灰作用机理分析

(1) 生石灰与土壤等搅拌均匀, 很快产生水化作用, 生成 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 。该反应中有相当于生石灰重量32%的水被吸收。在生石灰变为熟石灰的过程中, 释放出热量, 热量促进水分蒸发, 蒸发的水分相当于生石灰重量的47%, 使得土壤水分大幅减少。同时石灰体积产生膨胀1~2倍, 此时膨胀力作用到周围土壤, 挤压促进周围土的固结加密, 从而大大提高土壤强度。

(2) 熟石灰的 Ca^{2+} 在水的作用下与土壤颗粒产生絮凝反应, 土壤颗粒结合水膜厚度减薄, 土的塑性降低, 土粒间的黏结力增强, 从而土壤强度和水稳定性提高。

上述两种反应主要发生在搅拌后的数小时内, 这是石灰的早期作用。

(3) 熟石灰与土壤矿物发生作用生成一种不溶于水的将土颗粒结合在一起的硅酸钙胶。硅酸钙胶形成了起包裹和连接作用的一层薄膜, 形成网状结构, 这与形成网状结构的聚丙烯纤维之间相

互交叉,增大了摩擦阻力,改变了土壤的结构,使土壤颗粒联系得更牢固,大大改善了土的物理力学性质。该过程持续很多年,这是石灰的后期作用。

5. 结 语

通过抗剪强度、干密度、渗透系数等主要指标试验分析,得出生石灰混合联体暗墙对殉葬墓能起到较好的防水加固作用。结合前期试验,三合土的配方为生石灰:粉煤灰:土:聚丙烯纤维=30:20:49:1时具有较好效果,该试验研究为熊家冢殉葬墓的保护施工和理论研究提供了参考。

参 考 文 献

- [1] 黄克忠.岩土文物建筑的保护.北京:中国建筑工业出版社,1998:109.
- [2] 张登良.加固土原理.北京:人民交通出版社,1990.
- [3] 陈光利,魏彦飞.熊家冢土遗址保护概况,东南文化,2009,(3):114-118.