

六安双墩一号汉墓墓室回填土改性研究

陈 华 陈绍慧 胡 轲

(荆州文物保护中心, 湖北荆州, 434020)

摘要 六安双墩一号汉墓是一座西汉“黄肠题凑”墓葬, 现场保护展示意义重大。墓室坑壁在发掘和“黄肠题凑”地下室工程建设中损坏严重, 需要进行回填保护, 但该墓室遗址土壤抗剪强度较低、具有膨胀潜势等, 用于墓室坑壁回填前需要进行改性。选择用于熊家冢遗址加固的泥土稳定剂作为改性材料进行试验, 处理后双墩一号汉墓遗址土不具膨胀潜势, 土体强度增加, 同时处理后遗址土颜色变化小、水稳定性好、耐候性好, 可以用于墓室坑壁现场回填时遗址土的加固、防灰化等改性改良。

关键词 双墩一号汉墓 泥土稳定剂 回填土 改性

1 墓 葬 概 况

六安双墩一号墓位于安徽省六安市金安区三十铺镇双墩行政村, 西北距六安市城区约10km, 距合肥市约60km, 地理坐标东经116°34'58", 北纬31°44'47.1", 海拔57.7m。2006年3月至2007年1月, 为配合国家重点工程沪汉蓉客运专用线合(肥)武(汉)段工程建设, 经国家文物局批准, 安徽省文物考古研究所和六安市文物部门组成考古发掘队, 对六安双墩一号汉墓进行了抢救性考古发掘。该墓是一座西汉“黄肠题凑”墓葬, 属于西汉时期诸侯王特有的葬式, 这种规格的汉墓在全国发现不多, 在安徽省属首次发现, 意义重大^[1]。此次发掘被评为“2006年十大考古新发现”之一。

2 研究 目 的

双墩一号汉墓受抢救性发掘和“黄肠题凑”地下室工程建设影响, 墓室坑壁、墓道毁损严重。根据墓地遗址保护规划, 双墩一号汉墓墓室将进行现场复原展示, 对受损的墓室坑壁进行回填复原保护展示。前期研究分析发现, 墓室底部没有到达基岩, 整个墓葬地基软弱, 承载力较差^[2], 遗址土的级配不良、抗剪强度较低、压缩性较高、渗透性较小且具有膨胀潜势^[3]。而现场设计墓室坑壁回填覆土高达5m, 所以在进行墓室坑壁回填时, 使用发掘时清理的土壤进行坑壁回填复原必须进行土壤改性, 降低膨胀潜势、提高强度及耐候性等。

泥土稳定剂在潮湿环境遗址的加固效果较好, 在熊家冢考古遗址公园遗址保护现场有大量使用, 在熊家冢遗址殉葬墓和车马坑发掘过程中使用泥土稳定剂, 采用了喷洒、滴渗和高压灌注相结

合的方式对遗址土进行加固，现场应急性保护工作已完成十多年，长4.7m、深4.7m、宽3.3m的殉葬墓墓坑边坡土体化学加固后坑壁无明显开裂、灰化现象，坑体整体稳定性良好。遗址土体经过泥土稳定剂加固后颜色变化小、水稳定性好、耐候性好、透气透水性好，强度提高，胀缩性降低^[4]。本次选用泥土稳定剂对六安双墩一号汉墓墓室回填土壤进行处理，通过实验研究确定其能否使此处土壤改性，对坑壁回填启动保护作用，达到较好的回填效果。

3 研究方法

本次实验按照《土工试验方法标准》GB/T 50123-2019^[5]，现场采集双墩一号汉墓遗址现场原状土样，使用泥土稳定剂采用喷洒、浸泡方式进行室内土样改性处理，对土样改性处理前后各项性能指标进行检测对比分析。

4 结果与分析

4.1 膨胀性的变化

由于双墩一号墓遗址土体为膨胀性土体，所以要求泥土稳定剂处理之后，能够对土体的膨胀缩性有所改变，能减小土体的膨胀缩性，本次实验为了减小土体自身的差异，所取土样保持在同一位置，同一深度处进行，实验所取结果取平均值，实验的膨胀性结果见表1。

表1 膨胀性实验结果

试样编号	类型	自由膨胀率/%	膨胀力/kPa	平均值		变化量	
				自由膨胀率/%	膨胀力/kPa	自由膨胀率/%	膨胀力/%
a-1	空白样	58.0	45.4	42	36.6	—	—
b-1	空白样	24.0	27.8				
c-1	空白样	46.5	76.7	45	53	—	—
d-1	空白样	43.5	29.3				
a-2	处理样	27.0	39.4	33.25	26.55	↓ 20.8	↓ 27.46
b-2	处理样	36.5	13.7				
c-2	处理样	28.5	24.3	26.25	31.5	↓ 41.7	↓ 40.57
d-2	处理样	24.0	38.9				

注：表中的a，b，c，d表示钻机在不同的四处位置所取的土样，↓表示降低。

从膨胀性实验的结果可以看出，试样经过处理之后，无论是自由膨胀率还是膨胀力都有较大的降低，根据规范^[6]可以判定处理后的土体不具膨胀潜势，说明土体经过泥土稳定剂处理之后，能够减小土体的膨胀性，泥土稳定剂可以对土体起到改良改性作用。

4.2 土体的压缩性

试验采用原状环刀样，一组直接开展压缩实验，另一组采用泥土稳定剂浸泡处理养护好后开展实验，发现土样处理后压缩模量都得到了提高，土样压缩模量平均值由处理前的12.60kPa增加到处

理后的23.13kPa，增长率为119.66%。压缩模量是衡量土体抵抗变形能力的指标值，土体压缩模量越大，其力学性能越强。

4.3 土体的强度

采用两组土样进行直剪实验，一组直接开展实验，另一组浸泡处理后开展实验，处理后前面要求养护好后再开展实验，试验结果发现泥土稳定剂处理后土样的黏聚力和内摩擦角都有很大程度的增加，具体表现为黏聚力从处理前的平均值26.25kPa升高到处理后的64.18kPa，增加了1.44倍；内摩擦角由处理前的平均值11.43°增加到处理后的33.7°，增加了近2倍，处理后土体的黏聚力增加幅度大于内摩擦角。

土样在泥土稳定剂中浸泡处理后，其无侧限抗压强度也得到了一定程度的提高，具体体现是土样由处理前的平均无侧限抗压强度值0.354MPa增加到0.528MPa，增加率为49.2%。

4.4 颜色的变化

色差是评价泥土稳定剂处理前后颜色的变化，采用美能达色差仪检测试块经泥土稳定剂处理后色差的变化，分析泥土稳定剂对土样颜色的影响，采用定点测量法，在试块上选定5个分散点作为测量点，取平均值，检测结果见表2。

表2 试样处理前后颜色变化情况

类型	编号	色差值 (ΔE)
处理前空白样	a-1	2.01
处理前空白样	b-1	2.07
处理前空白样	c-1	2.05
处理后样品	a-2	2.09
处理后样品	b-2	2.11
处理后样品	c-2	2.03

土样经泥土稳定剂处理前后照片和色差及光泽度测定结果表明，土样试块经泥土稳定剂处理的试块前后色差变化较小，颜色变化不明显；而光泽度有一定程度的提高，但在视觉范围之内（图1）。



图1 试样颜色变化图
左（空白样） 中（处理样） 右（处理样）

4.5 试样的重量变化

测量稳定剂处理前后试样的质量变化，按下式计算出增重的百分比，结果见表3。

$$G(\text{增重}) = (M_{\text{加固后}} - M_{\text{加固前}}) / M_{\text{加固前}} \times 100\%$$

表3 处理前后试样重量变化情况

编号	处理前质量/g	处理后质量/g	增重/%
a-1	122.1456	126.4512	3.45
b-1	124.5376	129.0475	3.49
c-1	122.7541	125.7514	2.38
d-1	125.1578	129.9754	3.71

通过表3可以看出，处理之后试样与处理之前相比，试样的质量均有增加，但是增加的范围都不大，均在4%范围内，所以用泥土稳定剂处理之后不会影响遗址的整体效果。

4.6 土样的水稳定性

膨胀土因含亲水矿物，遇水软化，水稳定性差，这里采用崩解实验研究泥土稳定剂处理后土体的水稳定性。实验采用一次击实重塑环刀样6个，分两组，一组用于直接实验，另一组浸泡处理后开展实验。将两组土样分别单独浸没在装水的透明烧杯中，记录开始崩解时间，并观察每一个土样的崩解过程。抗崩解实验结果见表4。

表4 土样抗崩解实验结果

试样编号	类型	浸入水中崩解情况	水稳定性
a-1	未加固样	6min后开始脱落，16min后脱落一半，24min后完全崩解	差
b-1	未加固样	3min后开始脱落，6min后出现崩解，14min后崩解一半，28min后完全崩解	差
c-1	未加固样	4min后出现脱落，5min后出现崩解，17min后崩解一半，27min后完全崩解	差
a-2	加固样	无明显变化，1个月后仍完好，强度无明显变化	好
b-2	加固样	无明显变化，1个月后仍完好，强度无明显变化	好
c-2	加固样	无明显变化，1个月后仍完好，强度无明显变化	好

抗崩解实验的结果表明未经处理的试样的耐水性能很差，遇水浸泡后，在半小时内基本上都能完全崩解，但是试样经过泥土稳定剂处理之后，试样的耐水性能都非常高，在水中浸泡一个月之后，试样仍然保持完好，并且具有很好的强度，说明泥土稳定剂可以大大提高遗址土体的耐水性能。

4.7 土样的耐候性

采用环刀样研究遗址土泥土稳定剂处理前后的抗干湿循环能力，实验方法是采用低温60℃烘干6h模拟干燥过程，按规范要求采用抽气饱和模拟吸湿过程。由湿到干为一轮循环，一共开展5轮干湿循环，试验结果见表5。

表5 土样干湿循环实验结果

试样编号	类型	第一轮循环	第二轮循环	第三轮循环	第四轮循环	第五轮循环
a-1	空白样	出现龟裂纹	出现裂缝	裂缝扩大数量增多	试样破碎	—
b-1	空白样	出现龟裂纹	出现裂缝	裂缝扩大贯通	试样破裂	—
c-1	空白样	出现龟裂纹	出现裂缝	裂缝扩大数量增多	试样破裂	—
a-2	处理样	完好	完好	完好	完好	完好
b-2	处理样	完好	完好	完好	完好	完好
c-2	处理样	完好	完好	完好	完好	完好

从试样的耐候性试验结果可以看出，处理前土样的耐候性能很差，经过一次干湿循环后土样就会出现裂缝，但是处理后土样的耐候性能都得到了明显的改善，经过5轮循环之后，试样仍然保持完好。

5 结 论

综合分析实验结果发现，使用泥土稳定剂处理后，双墩一号汉墓遗址土不具膨胀潜势，同时处理后遗址土颜色变化小、水稳定性好、耐候性好，土体强度增加，符合文物保护材料使用基本原则。可见泥土稳定剂对双墩一号汉墓遗址土起到了改性作用，可以用于墓室坑壁现场回填时遗址土的加固、防灰化等改性改良。由于现场发掘及“黄肠题凑”地下室工程建设时，对原遗址土扰动较大，遗址土堆积混乱，现场施工时还需进行检测分析及实验的进一步优化，确保墓室坑壁回填后达到预期效果。

参 考 文 献

[1] 安徽省文物考古研究所，安徽省六安市文物局. 安徽六安双墩一号汉墓发掘简报 [C] // 安徽省文物考古研究所，安徽省考古学会. 文物研究（第17辑）. 北京：科学出版社，2010.

[2] 安徽省地勘局第一水文工程地质勘察院. 六安双墩一号汉墓保护区水文地质、工程地质勘察报告 [R]. （2014-10）

[3] 王通洋，姚政权，陈华，等. 六安双墩一号墓土体性能分析与保护对策研究 [J]. 华北国土资源，2016，（6）：46-50.

[4] 陈华，周丽珍，吴顺清. 泥土稳定剂在熊家冢遗址土化学加固中的应用 [C] //中国文物保护技术协会，山西博物院. 中国文物保护技术协会第十次学术年会论文集. 北京：科学出版社，2020：334-342.

[5] 中华人民共和国水利部. GB/T 50123-2019土工试验方法标准 [S]. 北京：中国计划出版社，2019.

[6] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50112—2013 膨胀土地区建筑技术规范 [S]. 北京：中国建筑工业出版社，2013.