

# 几种加固和防水材料控制土体盐结晶破坏的初步试验研究

周双林<sup>1</sup> 杨 琴<sup>2</sup> 郭青林<sup>2</sup> 王旭东<sup>2</sup>

(1. 北京大学考古文博学院, 北京, 100871; 2. 敦煌研究院, 甘肃敦煌, 736200)

**摘要** 在土遗址的破坏中盐分的循环结晶是重要因素, 本研究对含盐土的防风化保护进行了初步试验。使用不同种类的盐水制作含盐的土样, 然后使用一些对土体有加固和防水作用的化学材料处理土样, 并使在干湿循环下产生破坏, 通过试验发现一些材料对控制盐类的结晶破坏有较好的效用。具有加固和防水作用的非水分散体材料和甲基三乙氧基硅烷有好的效果, 而单纯的加固或防水材料效果不好。实验将有益于含盐土遗址的防风化保护。

**关键词** 土遗址 盐结晶 加固 防水

## 1 试验目的

我国的很多土遗址都受到盐分的破坏, 包括干燥环境的土遗址和潮湿环境的土遗址。土遗址经常由于盐的结晶而破坏, 当重要的考古遗迹已经开始面临盐的破坏时, 如何保护这些遗迹, 是需要研究的问题。

盐分对土遗址的破坏, 主要是盐分在水的作用下循环的溶解和结晶, 对土结构产生压力, 导致土体结构松散, 从而破坏。破坏的诱因是盐分结晶的压力和水, 那么对土体进行加固以抵抗盐结晶的压力, 以防水剂处理提高土体的拒水能力, 可否控制盐分的破坏呢?

本试验采用加固剂和防水剂对已经产生盐结晶破坏趋势的土体进行处理, 检验这些材料能否控制盐分的破坏。

## 2 试验方法

试验研究的思路是: 配制含盐的土, 使用可能的加固材料和防水材料对含盐土进行处理, 提高强度, 或者具有拒水性, 然后在湿度循环下, 诱导盐分溶解结晶, 检验各种材料对盐分破坏的抵抗力。

## 2.1 含盐土样的准备

将取自北京昌平的次生黄土粉碎，晾干后备用。

配制如下盐的盐水，浓度为1mol/L。这些盐是：氯化钠、硫酸钠、硝酸钾、氯化钙、氯化镁、三氯化铁。选择的原则是，1价、2价和3价的盐都要有。1价的3个，2价的2个，3价的1个。

分别取400克的干土，将盐溶液喷洒到土上，使土润湿，达到可塑成型的状态，将湿土密封在容器中1天使水分扩散均匀，各种盐水的用量见表1。

用抗压试模分别将样品压成 $\Phi 50\text{mm} \times 50\text{mm}$ 的圆柱状土样，然后在自然状态下干燥备用。

表1 各种盐水的用量

盐	用量/mL
氯化钠	207
硫酸钠	200
硝酸钾	197
氯化钙	193
氯化镁	233
三氯化铁	218

## 2.2 加固防水材料准备

配制如下加固剂和防水剂的溶液，并对土样进行加固和防水处理，每种材料处理一种含盐土的土样一个。

样品处理完成后，在自然环境中挥发，溶剂固化，时间为15天，各种材料的配比和用量见表2。

表2 各种保护材料的配比和用量

加固或防水材料	浓度	溶剂	平均用量/mL
TEOS	3 : 7 (体积分数)	乙醇	80
MTES	3 : 7 (体积分数)	乙酸丁酯	80
F8261	1% (质量分数)	乙醇	80
31J	2% (质量分数)	丁酮	80

15天后，将样品排列在通风橱中，用加湿器进行加湿，每次加湿5h，加湿过程中密闭通风橱。加湿完成后仍密闭通风橱，水分自然扩散，湿度降低。每次加湿半小时后空气湿度可达到90%，并不断维持高湿度，当停止加湿后，湿度逐步降低。

试验进行20个循环后，记录形态变化，然后再进行10个循环，记录形态变化和重量变化。

加湿使用的为亚都加湿器（YC-X100，性能指标水箱容积：2L，额定电压：220V，额定频率：50Hz功率：35W外型尺寸：156mm $\times$ 303mm，净重：1kg，标准加湿量： $\geq 200\text{mL/h}$ ），加湿的最高湿度可达95%。

用毛发湿度计和自动记录的温度湿度监测仪监测湿度变化（DSR-TH型），自动记录的温度和湿度变化曲线见图1中间的一段，可见湿度的变化比较明显且有规律。

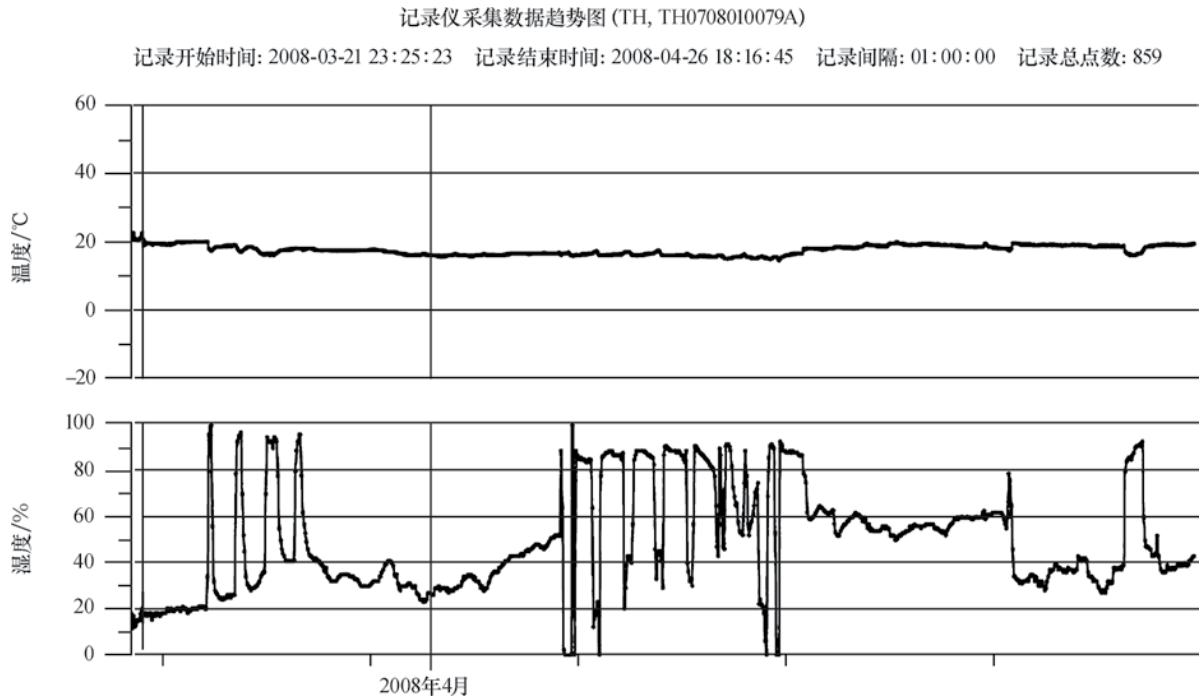


图1 湿度循环变化曲线

### 3 试验结果

#### 3.1 实验20次循环后的情况

在试验中发现含氯化钠和硫酸钠的土样在湿度循环中有变化,这两种盐的变化情况见表3、表4和图2~图6。

含有硝酸钾、2价和3价盐的样品几乎无变化,只有含氯化钙、氯化镁、三氯化铁三种盐,经过MTES和F8261处理的土样出现掉土现象,但空白无变化,原因不明。

表3 含氯化钠样品的加速老化结果

循环	空白	TEOS	MTES	F8261	31J
1					
2		开始掉土		开始掉土	
3	开始掉土	发展		发展	
4	发展	掉土多		掉土多	
5	发展	掉土多		掉土多	
10	掉土多	掉土多	少量掉土	掉土多	
20	掉土多	掉土多	少量掉土	掉土多	
结论	破坏严重	破坏严重	轻度破坏	破坏严重	无破坏

表4 含硫酸钠样品的加速老化结果

循环	空白	TEOS	MTES	F8261	31J
1		开始掉土		开始掉土	
2	开始掉土	发展		发展	
3	发展	发展	开始掉土	发展	
4	发展	掉土多	发展	掉土多	
5	发展	掉土多	发展	掉土多	
10	中等	掉土多	中等	掉土多	无破坏
20	掉土多	掉土多	中等	掉土多	
结论	破坏严重	破坏严重	中度破坏	破坏严重	无破坏

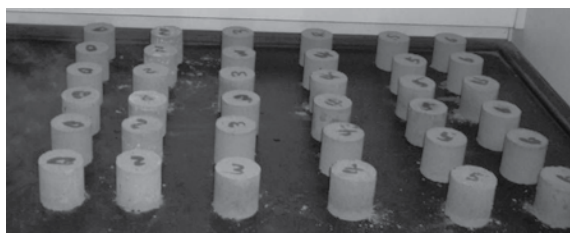


图2 实验开始的情况



图3 实验进行10次情况



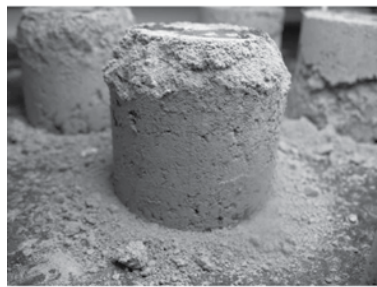
图4 实验进行20次情况



图5 实验进行20次情况  
上, 硫酸钠; 下, 氯化钠  
自左至右: 空白, MTEs, 31J, MTEs, F8261



空白: 左, 氯化钠; 右, 硫酸钠



TEOS: 左, 氯化钠; 右, 硫酸钠



MTES: 左, 氯化钠; 右, 硫酸钠



F8261: 左, 氯化钠; 右, 硫酸钠



3IJ: 左, 氯化钠; 右, 硫酸钠

图6 实验进行20次后各样品的情况

### 3.2 试验30个循环后的情况

30个循环后，样品的破坏更严重，主要还是含硫酸钠和氯化钠的土样的破坏，其中破坏最严重的是空白、TEOS处理的样品和F8261处理的样品。

另外，含氯化钙、氯化镁和三氯化铁的土样，被TEOS和F8261处理的样品，略微掉土。试验结果见图7~图9。



图7 实验进行30次情况

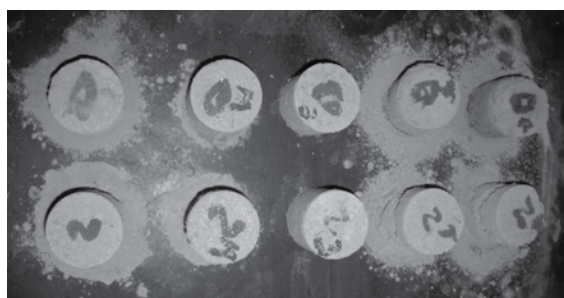


图8 实验进行30次情况  
上，硫酸钠；下，氯化钠  
自右至左：空白，MTES，31J，MTES，F8261

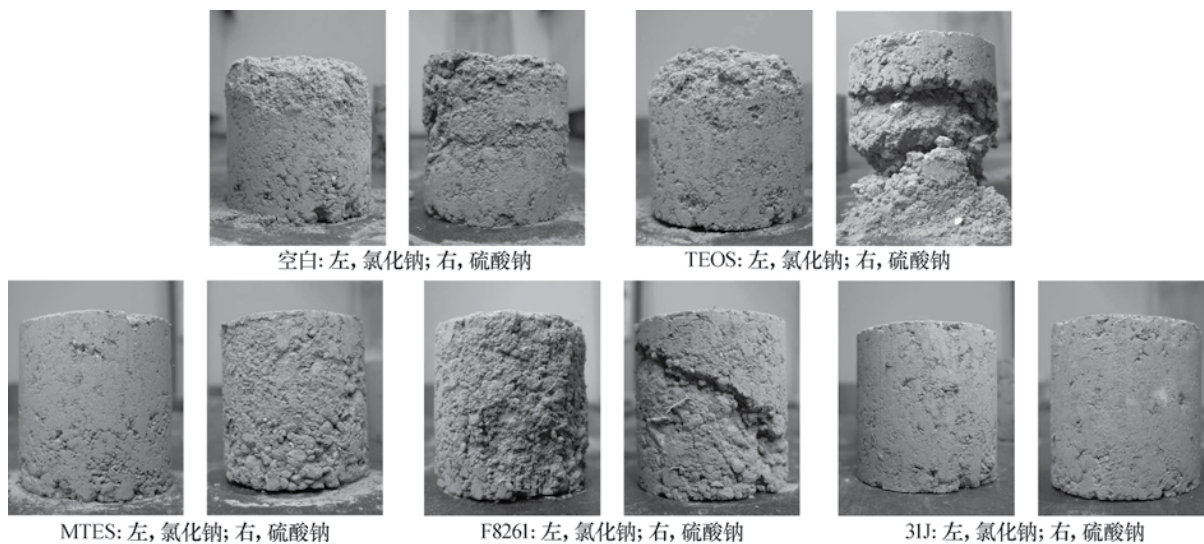


图9 实验进行30次后各样品的情况

## 4 结论、讨论和展望

### 4.1 结论

通过试验可确认, 含有某些盐分的土在湿度大幅度高频率循环时, 很容易导致盐的结晶与溶解。

试验中所选择的1价盐如氯化钠、硫酸钠在湿度循环变化中的破坏最为严重, 而2价与3价盐基本没有变化。

在所选的加固和防水材料中, 31J非水分散体材料对盐的破坏有好的抵抗能力, 甲基三乙氧基硅烷有中等的保护作用, 其他几种材料没有作用。

通过试验可以确定通过一些加固材料或防水材料对含盐土进行保护处理, 可以减缓或阻止盐分在湿度循环下产生的破坏, 这为土遗址盐分破坏的控制, 找到了可能的解决办法。

### 4.2 讨论

#### 1) 处理样品, 出现粉化问题

在试验中, 正硅酸乙酯和F8261所处理的土样较空白样品先粉化, 可能是采用乙醇做溶剂造成的影响, 这种情况在其他试验中也有发现, 推测可能是乙醇进入土体后, 对土体颗粒有膨胀作用, 同时它的表面张力小, 在挥发时不会产生水挥发导致的将土体颗粒拉在一起的作用, 导致土体颗粒直接松散, 强度降低。盐分的破坏就容易起作用。

#### 2) 防水剂的效果问题

MTES和F8261作为防水剂, 一般有很好的效果, 但是在循环中出现粉化, 可能是水以蒸汽或小水珠的形式进入土体, 产生了盐的溶解与结晶。由于MTES既有加固作用, 又有防水作用, 因此土体的破坏较小。

#### 3) 硝酸钾土样的问题

在试验中, 含硝酸钾的土样不容易出现盐结晶破坏的现象, 这是因为硝酸钾不容易潮解, 因此, 湿度循环对它的影响不大。

#### 4) 试验条件的问题

由于所选的加固剂和防水剂有限, 所以在以后的研究中可以多采用一些加固剂, 如聚氨酯材料、聚乙烯醇缩丁醛等材料, 而含盐的样品可采用在遗址中有破坏作用的盐类。

### 4.3 展望

通过试验, 确定采用加固材料对含盐土体的盐分循环破坏有控制作用, 但是从试验到使用, 还有一个过程, 需要进行更多的试验。