

昙石山遗址本体保护工程中几种检测方法的应用

林瑞明（福建省昙石山遗址博物馆 福建福州 350100）

【摘 要】土遗址本体保护主要采用的技术有本体化学加固、裂隙灌浆修复、坍塌部位修复、霉菌（微生物）治理、边坡锚固等。这些保护技术的应用，需要对土遗址本体实施各种检测手段并通过一定时段的对比分析之后，才能明了上述技术保护的效果如何。目前国内尚无统一的检测标准，也很少有相应的检测数据或图形支撑工程效果。昙石山遗址本体保护工程同样也涉及本体化学加固、裂隙灌浆修复、坍塌部位修复、霉菌（微生物）治理等技术措施。本工程施工过程采用了一定的检测手段，基本能反映出施工的实际效果。通过本文抛砖引玉，以供同行进行讨论，期望获得更好的检测技术应用于文物本体保护施工中。

【关键词】土遗址保护 检测手段 利弊分析

一、引言

土遗址本体保护所涉及的范围较广，近几年在昙石山遗址本体保护工程的实施实践中，常见的是遗址现状的维护，这里涉及本体加固、裂隙灌浆修复、坍塌部位修复、霉菌（微生物）治理、边坡锚固等等。其保护效果的界定和评估，目前尚无统一的标准，实施保护的检测手段也各不一。昙石山遗址本体保护工程采用了土壤硬度计对土体加固前后进行检测，评估其加固效果；采用热红外成像技术考量灌浆修复效果；高倍显微镜检测分析遗址内霉菌，并得以相应治理；土壤温湿度计测量其土壤内部含水情况，判断出遗址内出现渗水的来源等。本工程采用的检测手段有效果，但也存在一定的缺陷。本文旨在通过昙石山遗址本体保护的实例，以说明各种检测手段的应用尚需改进和完善。

二、几种检测方法在工程中的应用

1. 硬度测量在遗址加固中的应用

张金凤首先提出了硬度测量在土遗址保护中的应用，给出了土遗址保护中硬度检测需要遵循的基本原则^[1]；虽然尚无建立硬度与强度的换算关系，但硬度检测比其他任何一种试验方法都值得推广，

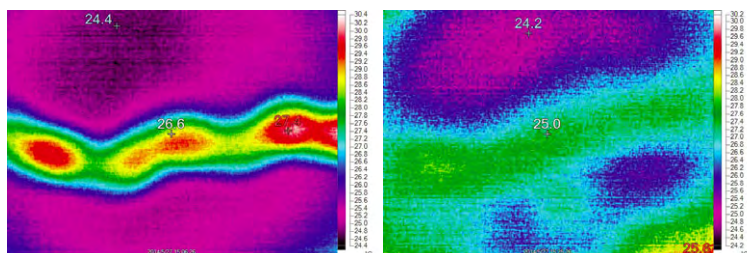
主要是因为其简单、方便、无损和直接与工作性能有关等特点。在本工程中，我们依据张金凤提出的原则采用土壤硬度计对土体加固前后进行了检测，发现在昙石山遗址的不同区域的单位平方内土壤的硬度在加固前和加固后有了明显的变化，其硬度普遍提高（表一）：

2. 红外成像对遗址返潮现象进行检测

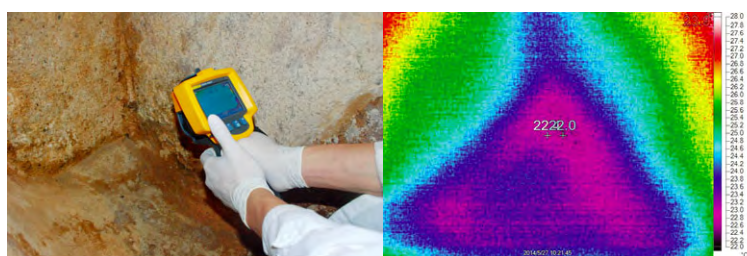
王同瑞等尝试使用红外热成像检测技术应用在PS加固土遗址土体加固中，为进行土遗址加固效果的无损检测提供了一种途径^[2]；王永进等提出了红外热成像技术在分析文物病害产生的原因及评价文

表一

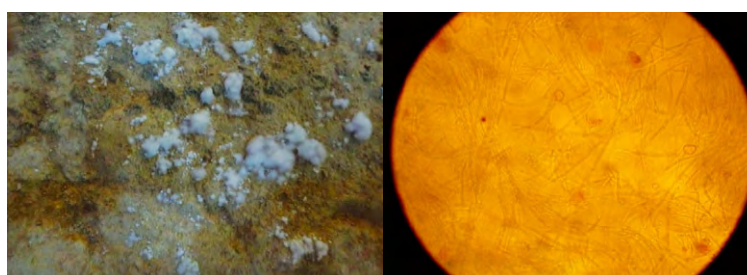
区域	编号	施工前土壤硬度 (KG/cm2)	施工后土壤硬度 (KG/cm2)	土壤硬度提高 (%)
一区	1	16.2	20.3	25.31
	2	17.9	22.1	23.46
二区	1	18.3	22.9	25.14
	2	19.6	24.3	23.98
三区	1	22.4	24.7	10.27
	2	23.8	25.9	8.82
四区	1	18.5	23.0	24.32
	2	20.2	24.4	20.79
五区	1	19.8	24.2	22.22
	2	20.7	23.8	14.98



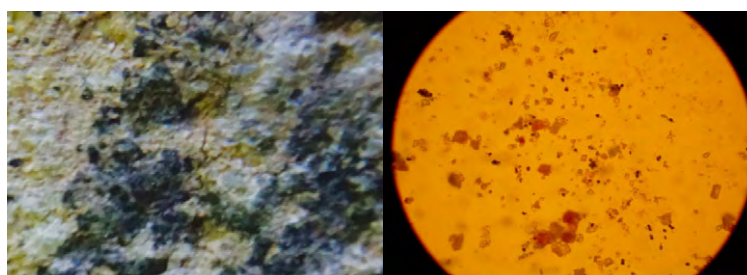
图一 裂隙灌浆前后红外热成像对比图片



图二 表面潮湿检测位置及红外热成像图片



图三 一区 M122 头部南方



图四 陶窑西南角墙面

物保护保存状况中具有重要作用^[3]；张慧慧应用红外热成像无损检测技术对太阳照射下不同湿度岩石的热像变化特征作了实验研究，并验证了应用红外热成像技术检测石质文物渗水病害的可行性^[4]。综合上述的观点，我们采用了热红外成像技术用于昙石山遗址本体保护工程中，对四区西南角表层土潮湿现象和灌浆效果进行了检测（图一～二）：

从图一可以看出，在灌浆前裂隙经红外热辐射后，红色区域温度较高，其内部为中空形态，在进行灌浆后，其表面温度降低，且红色区域消失，说明裂隙空腔基本灌满，达到了灌浆效果。

因昙石山遗址博物四周已经做了防水帷幕，在正常的情况下应该达到隔水效果，但在昙石山四区西

南角表面长期出现类似潮湿现象，此现象究竟是土样原因还是因水潮湿的问题，若是潮湿，其水究竟是来自于土层还是表面冷凝水，有待继续监测确认。我们采用了红外热成像技术对表面进行了测量，发现局部表面温度较低，而周边温度较高，表明其表面是潮湿现象；若来自外部冷凝水，则空气水蒸气在表面凝结会释放热量，其温度会升高，因此其表面的水为内部渗透水，说明此处确实存在毛细水现象。出现这样现象可能来自于多方面，例如防渗墙施工存在缺陷，造成水汽渗入至土壤内部，也有可能因原展馆施工时引入的土壤内部水一直得不到挥发造成。

3. 高倍光学显微镜对遗址霉菌的检测

霉菌是昙石山遗址存在的重要病害，对霉菌的鉴定尤为重要，特别是在施工队进场对现场表层去除后，遗址内爆发大量的霉菌，因此对霉菌的鉴定直接影响到杀菌材料的选择。我们通过现场取样，采用高倍光学显微镜对霉菌进行了检测（图三、四）：

从上述图片来看，黑斑确定为丝状真菌及孢子。遗址区内的霉菌主要为镰孢属、青霉属及曲霉属，这三种霉菌常滋生土壤及腐土中，且生命力及再生能力非常强。在本工程中采用复合杀霉菌剂（主剂为：0.5%丙酸钠、1%八硼酸钠及0.5%有机亚磷酸酯及其添加剂）分步施工，取得良好的效果。

4. 土壤温湿度检测仪在遗址内对渗水评价的应用

价的应用

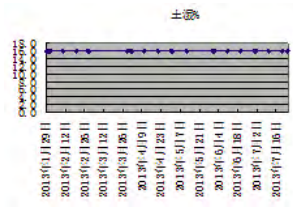
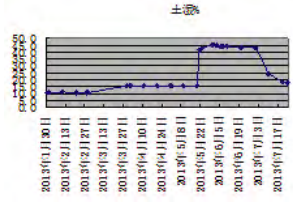
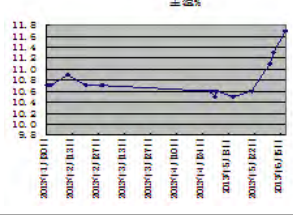
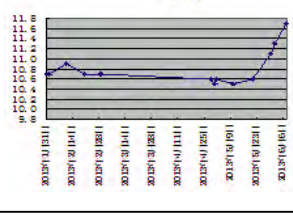
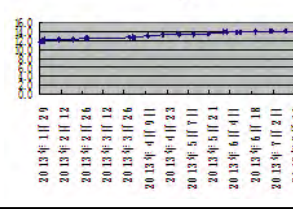
土壤温湿度检测仪主要用于检测土壤内部温湿度变化情况，从而检测毛细水的运动及内部含水情况，将土壤温湿度检测仪运用到南方土遗址中，对土遗址的内部水的运动具有重要的监测作用，在本工程中，采用了土壤温湿度检测仪对各区土体内部进行监测，其结果如下（表二）：

从上表可以看出，遗址内土壤的湿度除一区基本稳定以外，二、三、四、五区均有增加的趋势，其中二区在3月13日起开始，湿度逐渐增加至15.8，在5月21日骤然增大至44.4，说明二区在这两个时间段，土壤湿度有较大变化，甚至处在很湿的状态（昙石山遗址土壤的液限为32.1）。三、四、五区土壤湿

度也基本在 5 月 21 日起有所变化，但是变化范围在 0 ~ 3 之内。这说明在同一时间内，遗址下土壤的湿度均基本在同一时间增大，但是由于传感器埋深不同，其中二区埋深最深，其湿度变化值最大。三区虽然也有渗水现象，但是其渗水来自高处的水管破

裂，即水是从高往下渗，当水被抽干，在渗透系数较低的原生土中也就无法继续渗透至传感器位置。因此初步判断水是自下而上，由于二区壕沟标高最低，水优先从二区的遗址的最薄弱处渗出，从图五看到的孔洞可以证明。

表二

序号	区域	湿度变化表格	传感器探头埋深
1	一区		距离室外平台地面 1.1 米
2	二区		距离室外平台地面 4.2 米
3	三区		距离室外平台地面 3.6 米
4	四区		距离室外平台地面 2.7 米
5	五区		距离室外平台地面 2.6 米



图五 2014 年 5 月 21 日二区渗水现状照片

三、效果及利弊分析

- 1. 采用土壤硬度计对土遗址加固前后进行检测，最大的优点是具有便携性，对遗址破坏小，整体上能反映出加固前后的变化；缺点是只能对点进行检测，但同一个点不能反复检测，具有较大随意性和误差。
 - 2. 热红外成像技术在土遗址灌浆修复检测处理，对表层检测基本没有问题，但对深层次的修复程度如何无法确认。今后可以考虑采用超声波或剪切波的检测。
 - 3. 高倍光学显微镜对遗址霉菌的检测需要取样，然后进行培养才能确认霉菌，对于霉菌杀灭后的状况具有局限性，希望能有更好的方法进行对比检测。
 - 4. 土壤温湿度检测仪能基本反映出土壤内部含水的情况，但是对于土遗址内部土壤在何种阈值的情况下让土遗址保存较好的状况需要进一步做研究。
- 文物本体保护的目标是最大限度地延长文物本体的生命，以上几种检测方法的应用，有一定的效果，但也都有其局限性，同时，这几种保护技术的实施到目前时间还相当有限，还需通过不断的监测，利用监测数据来评估其效果，并通过改进技术措施以完善保护技术。

注释：

[1] 张金凤：《硬度测量在土遗址保护中的应用问题》，《中国文物科学研究》2012 年第 4 期。

[2] 王同瑞、张得煊、王旭东、郭青林：《PS 加固土遗址土体的红外热像检测试验研究》，《岩体力学》第 32 卷增刊，2011 年 4 月。

[3] 王永进、齐扬、周伟强、赵林娟：《红外热像技术在文物保护中的应用》，《中国文物科学研究》2009 年第 2 期。

[4] 张慧慧：《红外热成像无损检测石质文物渗水病害的实验研究》，《辽宁省交通高等专科学校学报》2013 年第 6 期。