

文章编号:1005-1538(2021)01-0008-09

DOI: 10.16334/j.cnki.cn31-1652/k.20200701815

微波技术在砖石质文物含水率检测中的应用

黄继忠¹, 曹 铖^{1,2}, 张 悦¹, 贺大龙³, 赵 朋⁴, 龚明权⁵

(1. 上海大学文化遗产保护基础科学研究院, 上海 200444; 2. 上海大学材料科学与工程学院, 上海 200444;
3. 山西省古建筑与彩塑壁画保护研究院, 山西太原 030012; 4. 山西省古建筑工程监理有限公司, 山西太原 030012;
5. 山西大同大学历史与旅游文化学院, 山西大同 037009)

摘要:水是造成砖石质文物劣化的主要因素之一,因此探明其在文物内部的分布、运移规律是开展保护研究的重要基础。微波技术在检测材料内部的水分含量方面表现出较好前景,但在文物保护领域还未普遍应用。基于此,本研究首先介绍了微波技术的理论基础和相关仪器,并选取山西省的长春玉皇庙为对象,针对砖石材料的内部含水率开展了室内样块检测和现场墙体检测。结果表明,微波技术能够较为准确地揭示出文物内部的空间含水率分布规律,这对于研究其病害成因等具有重要作用。此外,与其他多种无损检测技术相比,微波技术检测材料含水率的优点更多,值得文物工作者进一步研究与应用。

关键词:微波技术;砖石质;含水率;文物保护;病害

中图分类号: K876.9 **文献标识码:** A

0 引言

中华民族在漫长岁月中创造并保留了大量砖石质文物,但由于长期暴露于室外环境下,一系列物理、化学及生物风化作用促使不同类型的病害综合发育,文物的重要价值严重受损。影响砖石质文物劣化的外界因素主要包括温湿度、水、可溶盐和污染物等,水是最关键的因素之一,其来源包括大气降雨、地下毛细水及空气凝结水。因此,明确砖石质文物水分含量和运移规律,是解决其风化问题的首要任务^[1]。

目前,含水率检测主要应用于材料性能评价、木材加工、食品验收及原油生产等多个领域,其测量方法分为直接法和间接法。直接法是指通过简单的物理或化学方法去除材料中的水分,进而检测出绝对含水率值,主要包括称重法、碳化钙法和蒸馏法。这类方法存在检测时间长,结果单一等问题,并且无法测得材料内部水分的具体分布情况^[2]。间接法则是基于材料与水分之间的光电性能差异进行检测,

大多为无损检测技术,因此更适用于珍贵且不可再生的不可移动文物现场测试^[3-4]。例如:红外热成像技术根据水对不同频段红外线光谱的吸收强度差异来反映文物表层含水率大小^[5];核磁共振技术通过核磁信号强度曲线表征相对含水情况^[6];微电极无损检测技术则是以文物材料内部的视电阻率大小确定含水率高低。近年来,这些无损检测技术在文物水分探测方面的实际应用成果逐渐增多,但如何准确、快速地评价文物内部水分分布规律仍是被关注的一大话题。

1973年,美国学者 Kraszewski 首次提出将微波技术应用于材料含水率检测,至今已有几十年发展历程。英国公司 Moisture Sensors 成功将微波传感器应用于含水率测定,并将检测精度提高至 $\pm 0.1\%$ 。德国公司 Coliy 最新设计的微波水分测试仪几乎适用于所有固体,且测量范围更广。利用微波技术进行含水率检测具有以下优点:无损、检测速度快、灵敏度高、对环境的敏感性较小。另外,微波能提供很好的穿透深度,可同时检测材料表层及内

收稿日期:2020-07-11;修回日期:2020-09-20

基金项目:国家重点研发计划资助(2019YFC1520500);山西省重点研发计划资助(201803D31080);上海市文教结合项目“与国家文物局共建中华优秀传统文化传承平台”资助

作者简介:黄继忠(1965—),男,博士,研究员,主要从事砖石质文物保护和研究工作,E-mail: hjizhong@163.com

通信作者:张 悦(1989—),女,博士后,主要从事岩土质文物保护研究,E-mail: 2019zhangy@shu.edu.cn

部含水率大小,相比红外热成像技术等更加优越,但在文物保护领域尚未得到广泛应用。基于此,本工作研究了微波技术在砖石质文物含水率检测方面的优势,通过开展室内和现场检测,全面获取了文物内部空间含水率分布情况,并结合其病害现状初步开展了风化成因分析。

1 微波技术与仪器

1.1 理论基础

微波是频率范围在 300 MHz ~ 300 GHz 的一类高频电磁波,当其与材料相互作用时,会呈现反射、吸收及透射等特性(图 1)。水分子是极性分子,在外加电磁场的作用下其运动状态会发生改变,同时伴随着旋转极化现象和能量消耗。这一能量损耗变化的过程通常采用介电常数来表征,大多数建筑材料的介电常数在 1 ~ 5 之间。而与之相比,水的介电常数较高,为 80 左右^[7]。因此,水在微波波段呈现的特殊行为使利用微波技术检测常规材料的含水率成为可能。

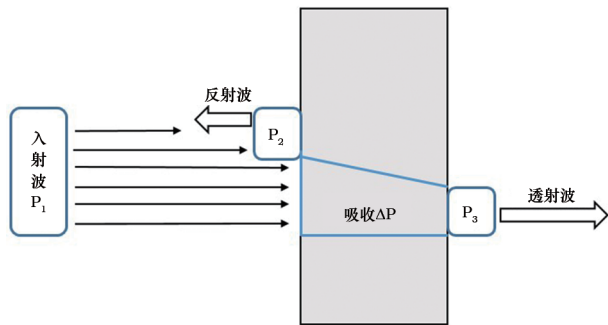


图 1 微波与材料的相互作用示意图
Fig. 1 Schematic diagram of microwave interacting with material

材料含水率是指一定体积内自由水质量与材料质量的比值,以化学键形式连接的结合水不在考虑范围内^[8]。一般而言,材料含水率分为干基含水率 $w(dry)$ 和湿基含水率 $w(wet)$,其计算公式分别如下:

$$w(dry) = \frac{m_w}{m_d} \times 100\% \tag{1}$$

$$w(wet) = \frac{m_w}{m_w + m_d} \times 100\% \tag{2}$$

式中, m_w 为自由水质量; m_d 为干燥的基质材料质量。

在实际检测材料含水率的过程中,应严格设定微波入射波的频率、功率等物理参数,避免对结果造

成影响。若微波频率较高,水分子之间存在很强的约束力,难以发生旋转极化现象,介电损耗明显;而微波功率过大,则会产生足够热量,从而导致材料中水分蒸发。

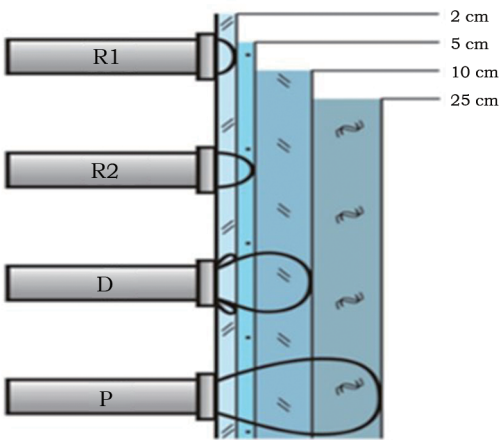
1.2 微波水分测定仪

本工作使用德国 Hf sensor 公司 Moist 350B 微波水分测定仪(图 2a)开展相关检测。该仪器的微波发射频率为 2.45 GHz 左右,发射功率小于 1 mw,主要通过微波与材料接触后的反射波振幅和相位变化来计算得到具体的干基含水率值^[9]。该仪器的使用十分方便快捷,从发射微波、接收信号到含水率呈现,整个过程可瞬时完成。

Moist 350B 微波水分测定仪配备了 4 个微波探头,可满足材料不同深度的含水率检测,具体参数如表 1 所示。需要强调的是,所得含水率反映的是材料表面至内部某个深度这一特定体积范围内的平均值(图 2b)。



(a) 仪器实物图



(b) 探头检测示意图

图 2 微波水分测定仪 (Moist 350B)
Fig. 2 Microwave moisture meter (Moist 350B)

为避免误差,实际检测时需注意以下几点:1) 待测材料厚度必须大于所用微波探头的检测深

度,否则会导致入射波在材料界面处提前发生反射;2)待测材料表面应光滑平整,避免其与探头接触不紧密而导入大量空气,引起微波入射不充分;3)各检测点之间应保持一定距离,防止被测区域发生重叠。

表 1 微波探头的检测参数

探头名称	检测深度/cm	检测体积范围/cm ³
R1	2	20
R2	5	150
D	10	2 000
P	25 ~ 30	10 000

2 文物含水率检测方案

2.1 文物概况

长春玉皇庙位于山西省长治市长治县荫城镇长春村,是山西省第五批省级文物保护单位(图 3)。庙宇整体坐北朝南,现存文物建筑七座,分别是戏台(明),山门(明),钟楼(明),鼓楼(明),正殿(宋、金、明),大佛殿(明)和西耳殿(清)。长春玉皇庙历经数百年,已出现不同程度劣化,如砖石风化、墙体开裂、墙面剥落、木质结构腐朽等。



图 3 长春玉皇庙
Fig. 3 Changchun Yuhuang Temple

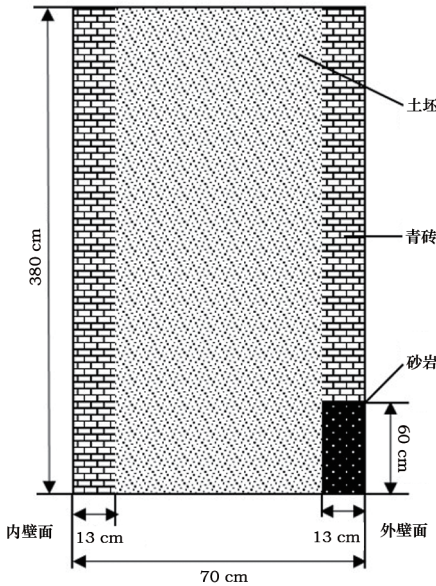
砖、石是长春玉皇庙墙体的主要建筑材料,其保存状况与整个建筑的稳定性密切相关。前人已指出,这类岩土质材料的劣化受环境因素尤其是水分的影响巨大。基于此,本工作选取长春玉皇庙大佛殿东墙为研究对象(图 4),借助微波技术检测其内部含水率的空间分布情况,同时结合现场勘察初步分析病害成因,以期为后续保护工程提供可靠数据和科学依据。



(a) 外观



(b) 东墙体外壁面



(c) 东墙体截面图

图 4 大佛殿
Fig. 4 Dafo Hall

2.2 室内样块检测

首先开展室内试验,通过对比微波水分测定仪与传统称重法所得的材料含水率值,分析该无损检测仪器的适用性和可靠性。待测样块为长春玉皇庙的青砖和云冈地区砂岩,其尺寸和形状如图 5 所示,箭头所示为检测深度方向(由表面到内部)。

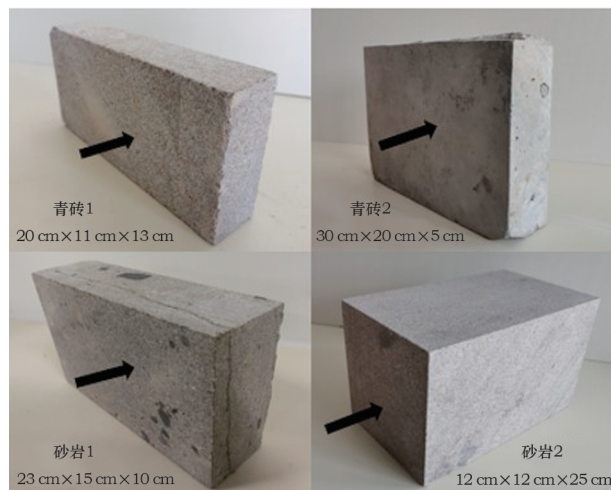


图5 室内检测的青砖和砂岩样块

Fig. 5 Brick and sandstone samples for laboratory measurement

试验的具体操作步骤如下。检查样块,确保待测表面平整光滑,防止对微波入射造成干扰。其次,将样块于 105 ℃ 烘箱内烘干 24 h 后拿出并放入密封容器中,待其冷却至室温后称重,记录完全干燥样块的质量,并采用微波水分测定仪检测其内部的含水率分布情况。随后,参照 GB/T 50266—2013《工程岩体试验方法标准》,将样块置于玻璃干燥器中注水淹没并真空抽气 4 h,待其表面无气泡冒出即认为达到完全饱和。根据样块吸水前后的质量变化可计算得到其饱和吸水率,并再次采用微波水分测定仪检测不同深度的含水率。为避免材料非均质性的影响,微波探头的测点选择样块的四角和中心部位,每个位置测量多次以减小误差;5 个测点的含水率平均值则最终视为样块整体的含水率值。

2.3 现场墙体检测

现场检测时间为 2019 年 7 月 25 日下午,天气晴,气温 24 ~ 33 ℃,期间无降雨。为避免砌缝导致的探头接触不良等影响,测点均选在平整的青砖表面。

如图 6a 所示,大佛殿东墙外壁面的测点布置为 5 行 7 列,共计 35 个检测点,其编号遵从“先列后行”,如“2-1”指第 2 列第 1 行的测点。行间距为 0.4 m,列间距为 0.6 m,最下 1 行距地面高度为 0.3 m,第 1 列与第 7 列距墙面边缘均为 0.3 m。第 1 ~ 4 行测点对应青砖材料,第 5 行测点对应砂岩材料。

大佛殿东墙内壁面的测点布置如图 6b 所示,为 3 行 5 列,共计 15 个检测点。行间距为 0.5 m,列间

距为 1.0 m,最下 1 行距地面高度为 0.2 m,第 1 列与第 5 列距墙面边缘均为 0.8 m。测点编号规律同上,且内壁面均为青砖材料。

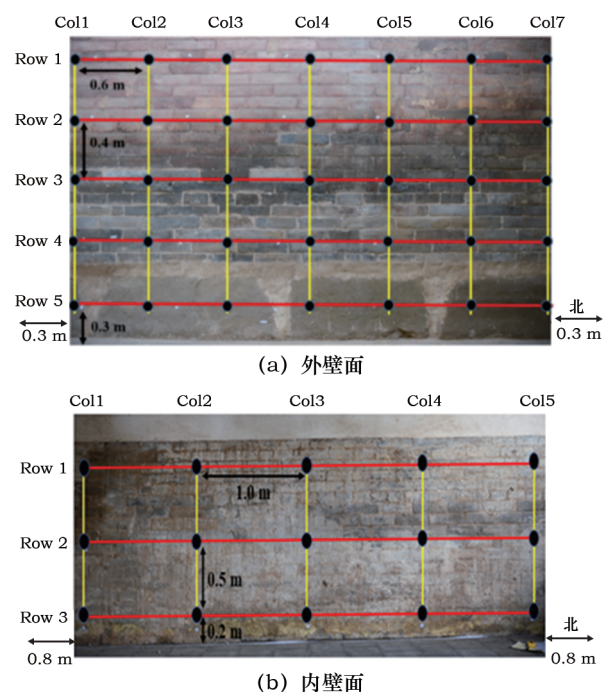


图6 大佛殿东墙测点布置图

Fig. 6 Layout of the measuring points on the eastern wall of Dafo Hall

3 结果与讨论

3.1 室内样块

微波水分测定仪针对样块含水率的检测深度取决于其具体尺寸,即需保证样块厚度不小于所用微波探头的穿透深度。

不同样块在完全干燥条件下的含水率检测结果如表 2 所示。可以看出,针对 4 个完全干燥样块,微波检测得到整体含水率值很小,基本在 0.1% 左右,最大不超过 0.24%,该值在仪器误差允许范围内,可认为检测结果与实际情况相符。

不同样块在完全饱和条件下的含水率检测结果如表 3 所示。称重法结果表明,吸水后样块含水率显著增加,青砖 1 和青砖 2 的饱和吸水率达到 13.31% 和 14.9%。相比之下,由于砂岩样块孔隙率较小,其饱和吸水率值也较低,仅为 3% 左右。对比微波法与称重法所得结果发现,两者基本吻合,具有很好的一致性。此外,微波法还能揭示出样块不同深度含水率的微小变化,如随着深度增加,砂岩 1 含水率表现为表面高内部低,而砂岩 2 含水率则呈现出先降低后升高的趋势。这可能与材料内部的非

均质性或局部缺陷(砂岩 1 表面附近有肉眼可见裂隙)有关,即层间含水率差异是由材料局部持水能力不同或微波穿透过程受到干扰引起的。

总体而言,微波水分测定仪能较为准确、可靠地检测出砖、石质材料的含水率,结果具有分析与参考价值。

表 2 完全干燥样块的含水率检测结果
Table 2 Moisture contents of samples after full drying (%)

样块	检测深度/cm	位置					整体含水率 (微波法)
		左上角	左下角	右上角	右下角	中心点	
青砖 1	2	0.2	0.1	0.4	0.3	0.1	0.22
	2	0.1	0.3	0.4	0.2	0.2	0.24
青砖 2	5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.10
	2	0.1	0.2	0.3	0.1	0.3	0.20
砂岩 1	5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.10
	10	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.10
	2	0.1	0.1	0.3	0.2	0.2	0.16
砂岩 2	5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.10
	10	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.10
	25	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.10
	2	0.1	0.1	0.3	0.2	0.2	0.16

表 3 完全饱和样块的含水率检测结果
Table 3 Moisture contents of samples after full saturation (%)

样块	检测深度/cm	位置					整体含水率 (微波法)	饱和吸水率 (称重法)
		左上角	左下角	右上角	右下角	中心点		
青砖 1	2	12.9	13.3	13.1	12.8	13.4	13.10	13.31
青砖 2	2	15.2	15.4	15.3	15.6	15.3	15.36	14.90
	5	15.2	15.4	15.1	15.2	15.5	15.28	
砂岩 1	2	4.5	4.9	4.6	4.2	4.5	4.54	3.21
	5	4.2	3.8	4.1	3.8	4.2	4.02	
	10	3.9	3.8	3.8	3.9	3.8	3.84	
砂岩 2	2	3.2	3.1	3.6	3.4	3.4	3.34	3.12
	5	2.6	2.9	3.3	3.1	2.7	2.92	
	10	2.5	2.8	2.7	3.2	3.2	2.88	
	25	4.1	3.9	3.9	3.8	3.6	3.86	

3.2 现场墙体

图 7 为大佛殿东墙外壁面不同深度含水率分布情况,可以看出外壁面含水率受深度影响显著,整体随深度呈现先降低后升高的趋势。墙体浅表层 2 cm 处的平均含水率为 3.98%,最大值达到 8.5%,其表面湿度较大,这与几天前的降雨有直接关系(7 月 20 日~7 月 22 日)。但墙体内部平均含水率不超过 1%,说明表面水分未明显渗入。

另外,分析含水率随高度的变化规律可以发现,墙体在检测深度 5~10 cm 范围内几乎完全干燥,而浅表层 2 cm 与深部 25 cm 处的含水率由底部向上逐渐降低。浅表层的潮湿区域集中在距地面 0.7~1.1 m 高度处(第 3~4 行检测点),最高可

达到 1.5 m,而深部的潮湿区域主要出现在距地面 0.3~0.7 m 处(第 4~5 行检测点)。

如前所述,外壁面检测区域包括 2 种建筑材料,以距地面 0.6 m 处为界,上部为青砖(第 1~4 行检测点),下部为砂岩(第 5 行检测点)。砂岩的介电常数为 1.1~2.2,青砖的介电常数为 1,两者对微波的吸收能力几乎相同^[4]。因此,检测结果发现砂岩区域整体含水率略高于青砖区域,表明墙体底部一定程度上受到了毛细水上升的影响。

图 7 还显示,墙体检测区域内存在局部含水率异常点,如测点 1-3、测点 3-4 与测点 7-3 对应位置。根据现场肉眼观察可发现,这些位置的青砖已发生严重风化,砖块之间存在明显裂隙且较周围

更加潮湿。局部含水率偏高现象在 2~5 cm 深度范围内均有所体现,可初步推断开裂病害在墙体内部有

一定程度的发育,但具体情况仍需结合其他检测技术开展进一步探究。

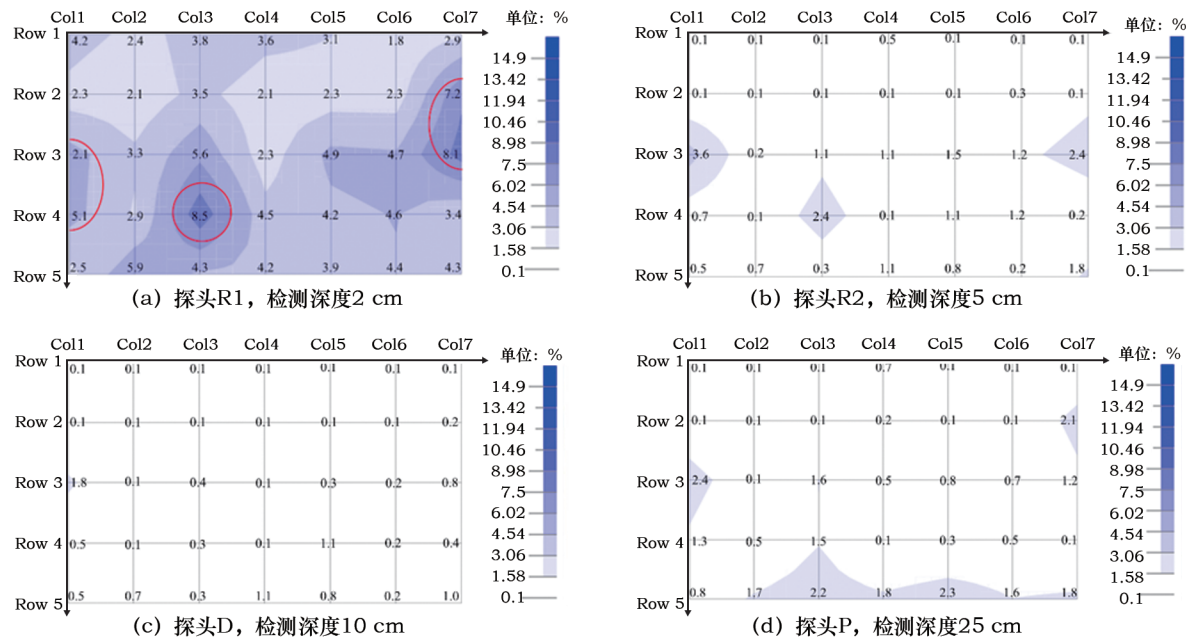


图 7 大佛殿东墙外壁面不同深度含水率分布图

Fig. 7 Moisture content distribution at different depths of the exterior surface of the eastern wall of Dafo Hall

图 8 为大佛殿东墙的空间含水率分布图,对比内、外壁面的检测结果可以发现,内壁面各深度处的含水率平均值均高于外壁面相同深度处的值。大佛

殿东墙整体厚度较大,故内、外壁面的检测区域并不存在重复性。这可能是由于室内的光照弱、通风差,造成墙体内部面的水分蒸发更加缓慢。

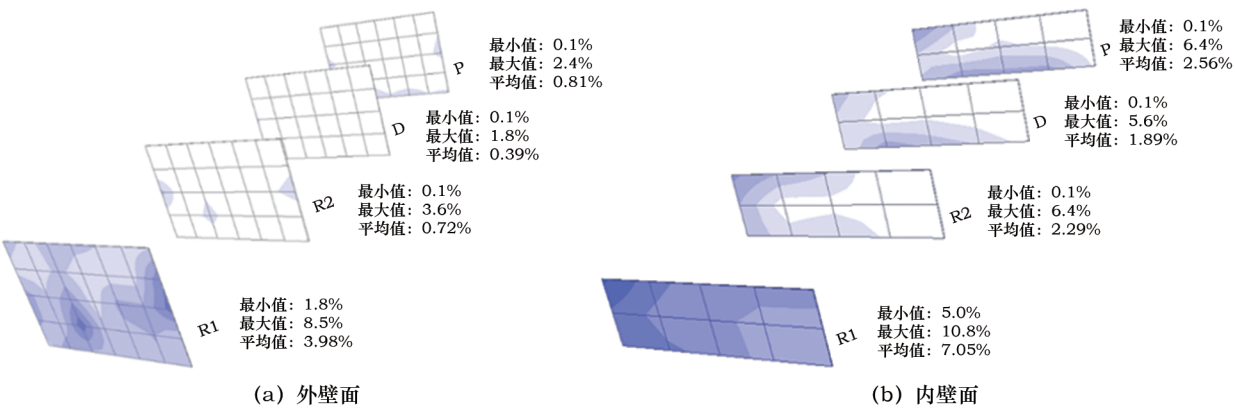


图 8 大佛殿东墙空间含水率分布图

Fig. 8 Spatial distribution of moisture content of the eastern wall of Dafo Hall

与外壁面不同深度的含水率分布规律类似,内壁面也表现出含水率在墙体浅表层 2 cm 处最高,其值随着深度增加而逐渐降低;墙体底部含水率高于上部,表明其可能受到毛细水作用。如图 9 所示,墙体底部砖块颜色加深且结构相对疏松,表明其风化程度更为严重。另外,微波检测结果显示墙体内部左侧含水率大于右侧,现场以肉眼观察该区域可

发现大面积水渍造成的青砖颜色加深(图 9)。这可能与大佛殿后墙外(北侧)地势更高,导致该区域更容易汇水有关。

3.3 含水率无损检测方法对比

目前文物材料的含水率无损检测主要采用红外热成像技术、便携核磁技术及微电极测深技术来完成。红外热成像无损检测原理是通过接收材料的红

外辐射并转化成可识别图像形式呈现出来,因此材料的含水率不同时其表面温度也存在显著差异。图 10 为不同青砖的红外热成像图,完全干燥样块的表面温度接近于空调制冷条件下的室内气温(23.6°C),而完全饱和样块则趋近于水温(25.8°C)。很明显,红外热像仪能区分文物表面温度的“冷区”和“热区”,进而快速判断出含水区域^[10]。该技术具有不需要人工热辐射源,灵敏度高,工作速度快等优势,但缺点是仅反映了材料表面的温度情况,难以定量表征含水率的具体值,并且无法获取水分的内部空间分布。



图 9 大佛殿东墙内壁面病害

Fig. 9 Diseases on the interior surface of the eastern wall of Dafo Hall

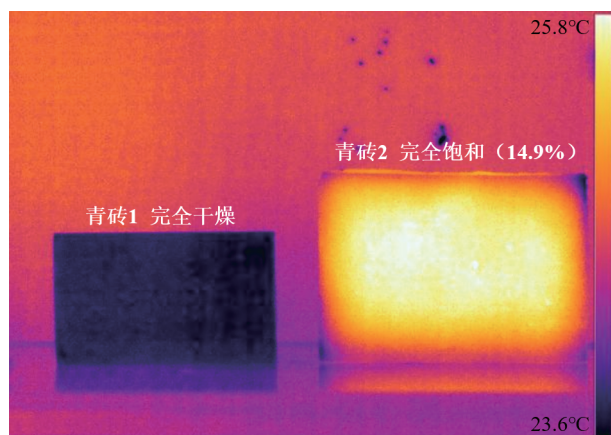


图 10 不同青砖的红外热成像图

Fig. 10 Infrared thermal image of different brick samples

便携核磁技术和微电极测深技术也得到了文物工作者的重点关注。周华等^[11]采用低场核磁技术对砖石材料进行了含水率分析。结果表明,核磁共振 FID 曲线所围成面积与被测物体的含水量存在正相关函数关系。李宏松等^[12]利用微电极测深技术对云冈石窟文物近表面(4 cm)的微构造、风化带及含水程度进行了精细成像测试,有效评价了文物近表面的含水情况。以上 2 种无损技术虽然能判断出

文物含水率的整体变化趋势,但均存在不足:核磁设备体积大、价格昂贵,现场测试以及后续数据处理工作量大;微电极测深系统单次可检测的面积和深度范围均十分有限,无法快速获取大型文物的空间含水率分布信息,且材料的结构、成分等其他因素也会对视电阻率值造成影响,数据分析存在一定难度。

微波因其宽频带、分辨率高、抗干扰强、响应速度快等优点很快被研究者们熟知并加以应用。研究结果表明,利用微波技术检测砖石质材料的含水率确实具有可行性,微波水分测定仪能快速、准确地反映材料内部不同深度的含水情况,并以三维图像形式呈现,结果更加直观(图 8)。目前,文物的含水率检测仍是一大难题,微波技术的应用与推广具有重要意义。

4 结 论

本研究以砖石质文物——长春玉皇庙为对象,通过开展室内和现场检测,研究了微波技术在砖、石材料含水率检测方面的适用性和可靠性,并与其他几种无损检测技术对比,分析了微波技术的特点和优势,主要结论如下:

- 1) 微波技术检测得到的青砖、砂岩样块含水率与传统称重法结果基本一致;
- 2) 微波技术可揭示大佛殿东墙内部含水率随墙体深度和高度的变化,该空间含水率分布规律与文物所处环境、自身病害等密切相关;
- 3) 在文物含水率检测方面,微波技术更为经济、快速、便捷、高效、准确,应用价值高,适用功能性更强。

总之,采用微波技术检测文物含水率能为其病害机理分析及修复方案制定等相关保护工作提供一定的科学依据,值得进一步探索与研究。

致 谢: 本次科研项目得到山西省古建筑保护研究院李士杰经理等人的帮助,现场检测工作在章云梦、郑伊、赵恒宇、赵文冠等同学协助下完成,在此一并表示衷心感谢。

参考文献:

- [1] 郭宏,黄槐武. 文物保护中的“水害”问题[J]. 文物保护与考古科学, 2002, 14(1): 56-62.
GUO Hong, HUANG Huaiwu. The problem of water - damage faced in the conservation of antiquities[J]. Sciences of Conservation and Archaeology, 2002, 14(1): 56-62.
- [2] NIJLAND W, VAN DER MEIJDE M, ADDINK E A, et al. Detection of soil moisture and vegetation water abstraction in a Mediterranean natural area using electrical resistivity tomography[J]. Catena,

- 2010, **81**(3):209–216.
- [3] 王允丽. 用改进的含水率测量仪对文物进行无损检测[J]. 文物保护与考古科学, 2005, **15**(2):30–32.
- WANG Yunli. Calibration of the moisture meter of harmless measurement for cultural relics[J]. Sciences of Conservation and Archaeology, 2005, **15**(2):30–32.
- [4] 张心同. 基于微波透射技术的含水率检测方法 & 装置的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2015.
- ZHANG Xintong. Research of moisture detection method and device based on microwave transmisson[D]. Changchun: Jilin University, 2015.
- [5] 方云, 张俊建, 夏国正, 等. 红外热成像在龙门石窟奉先寺渗水探测中的应用[J]. 现代地质, 2013, **27**(3):750–754.
- FANG Yun, ZHANG Junjian, XIA Guozheng, *et al.* Application of infrared thermal imaging on seepage probing of Fengxian Temple in Longmen Grottoes[J]. Geoscience, 2013, **27**(3):750–754.
- [6] 周科平, 李杰林, 许玉娟, 等. 基于核磁共振技术的岩石孔隙结构特征测定[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2012, **43**(12):4796–4800.
- ZHOU Keping, LI Jielin, XU Yujuan, *et al.* Measurement of rock pore structure based on NMR technology[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2012, **43**(12):4796–4800.
- [7] PIUZZI E, CANNAZZA G, CATALDO A, *et al.* A comparative assessment of microwave – based methods for moisture content characterization in stone materials[J]. Measurement, 2018, **114**:493–500.
- [8] TRABELSI S, NELSON S O. Calibration methods for nondestructive microwave sensing of moisture content and bulk density of granular materials[J]. Transactions of the ASAE, 2004, **47**(6):1999–2008.
- [9] ORR S A, YOUNG M, STELFOX D, *et al.* An ‘isolated diffusion’ gravimetric calibration procedure for radar and microwave moisture measurement in porous building stone [J]. Journal of Applied Geophysics, 2019, **163**:1–12.
- [10] 吴育军, 刘善军. 岩画渗水病害的红外热成像检测研究[J]. 工程勘察, 2010(5):31–35.
- WU Yujun, LIU Shanjun. Infrared imaging detection on water – permeation of rock paintings[J]. Geotechnical Investigation and Surveying, 2010(5):31–35.
- [11] 周华, 高峰, 张中俭, 等. 便携核磁技术在砖石材料含水率无损分析中的应用[J]. 建筑与装饰, 2018(5):146–148.
- ZHOU Hua, GAO Feng, ZHANG Zhongjian, *et al.* Application of portable nuclear magnetic technology in nondestructive analysis of moisture content of masonry materials[J]. Construction Materials and Decoration, 2018(5):146–148.
- [12] 李宏松, 翟松涛, 肖宽怀. 微电极测深系统在石质文物表层劣化检测中的应用研究[J]. 工程勘察, 2010(5):78–83.
- LI Hongsong, ZHAI Songtao, XIAO Kuanhuai. Micro – electrode system development and applied research in the deterioration detection of the surface of stone monument [J]. Geotechnical Investigation and Surveying, 2010(5):78–83.

Application of microwave technology in detecting the moisture content of brick and stone cultural heritages

HUANG Jizhong¹, CAO Cheng^{1,2}, ZHANG Yue¹, HE Dalong³, ZHAO Peng⁴, GONG Mingquan⁵

(1. *Institute for the Conservation of Cultural Heritage, Shanghai University, Shanghai 200444, China;*

2. *School of Materials Science and Engineering, Shanghai University, Shanghai 200444, China;*

3. *Institute for the Conservation of Shanxi Ancient Architecture and Painted Frescoes, Taiyuan 030012, China;*

4. *Shanxi Ancient Architecture Engineering Supervision Co., Ltd., Taiyuan 030012, China;*

5. *School of History and Tourism, Shanxi Datong University, Datong 037009, China)*

Abstract: Water is one of the main factors causing the deterioration of brick and stone cultural heritages. Thus, clarifying the distribution and movement pattern of water inside these objects has been an important task in conservation studies. Though microwave technology shows good prospects for detecting the moisture content of these materials, it has not been widely adopted in this field. Based on this, our paper first introduces the theoretical foundation of microwave technology and the related devices. The Yuhuang Temple in Shanxi Province was then chosen as a site for measurement of the moisture content of brick and stone material, both in the laboratory and *in situ*. The results show that microwave technology can accurately reveal the spatial distribution of moisture inside the object, and thus can play an important role in researching the causes of various diseases. In addition, compared to some other nondestructive testing technologies, microwave technology is more advantageous in detecting the moisture content of the material. Thus it is worthy of being studied and applied by cultural heritage researchers and conservators.

Key words: Microwave technology; Brick and stone; Moisture content; Cultural heritage conservation; Disease

(责任编辑 张存祖;校对 谢 燕)