

砖石质文物表面吸水性能检测初探

周 萍 王永进 赵 强

(陕西省文物保护研究院, 陕西 西安 710075)

摘 要:毛细水侵蚀是砖石质文物风化的主要诱导因素, 如何快速无损的检测多孔隙文物材质表层吸水性能是展开砖石文物材料本体性能、风化病因分析及其保护实施效果评定的基础与出发点。本文结合国家文物局《砖石质文物吸水性能测定——表面毛细吸收曲线法》行业标准的编制研究过程, 讨论了基于卡斯特测量瓶的砖石文物表层吸水性能检测程序及其可行性, 以促进砖石文物保护技术的发展与规范化。

关键词: 砖石文物 表面吸水性 毛细吸水 分析检测

Abstract: Capillary erosion is the main causing element of the weathering of the brick and stone cultural relics, and how to quickly and nondestructively test the surface water absorption capacity of the cultural relics made of porous materials is the foundation and starting point of the analyses of the material property and weathering causes of the brick and stone cultural relics and the estimation and evaluation of the preservation measures applied to them. Referring to the compiling procedure of the professional standard of *The study of water absorption of stone and brick cultural relics -- test method due to capillary* issued by the State Administration of Cultural Heritage, this paper discussed the testing procedure of the surface water absorption capacities of the brick and stone cultural relics based on Cast Bottle method and its feasibility, in order to propel the development and standardization of the conservation technologies of the brick and stone cultural relics.

Key words: Brick and Stone Cultural Relics; Surface Water Absorption Capacities; Capillary; Analysis and Testing

序言

众所周知, 砖石质文物属于多孔隙材料, 加之其多为长期户外保存, 砖石质文物通常会受到自然降雨及其地下水体迁移等原因出现表面或表层富水现象。表层富水不仅会导致石材或砖体表面色泽改变和材料软化水解现象, 而且会导致或诱发表面冻融及其可溶盐富集循环结晶。

长期研究表明, 水是引起砖石类文物表面风化破坏的主要诱因之一。其不仅影响多孔隙材料的长期稳定性, 同时也是造成表面风化病害的主要因素。一方面水本身的渗透将引起材料自身性能的劣化, 如表面强度降低、发生水解溶蚀病害等, 并加剧冻融病害, 诱发生物病害等; 另一方面水是侵蚀性介质(如钠离子、氯离子、硫酸根离子等^[1])进入材料

内部的主要载体, 会导致文物表面出现酥碱泛盐及可溶盐结晶破坏。

通常, 水及水溶性离子在多孔隙材料中有三种迁移方式^[2]: 饱和孔隙溶液中离子的扩散、非饱和状态下的毛细吸附及压力梯度下的渗透。除了完全保存在水下的情况外, 砖石质文物通常处于非饱和状态。在非饱和状态下, 材料的吸水性主要受毛细作用的影响^[3]。而且砖石质文物的保护过程中通常采用表面憎水封护的方法减少或避免水体进入砖石内部以达到表面防护的作用。因此研究多孔隙材料吸水过程对于砖石质文物自身材料性能及其表面防护材料耐老化处理工艺实施效果评价具有重要价值。

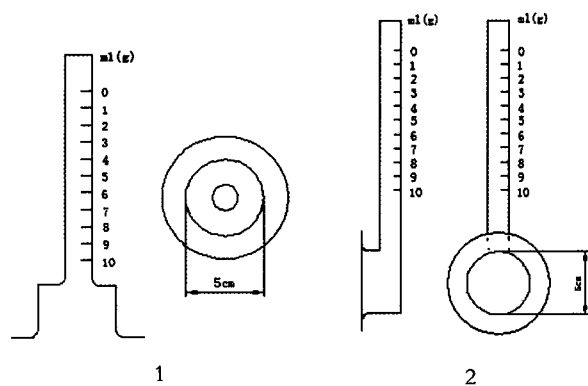
一般岩土工程方面, 通常采样法浸泡的方式测定其吸水率的方式来完成材质吸水或耐水性能测试。测试一般要采集至少5块、每块体积约为长宽

高分别为50cm的石材或砖体进行;但由于文物对象的特殊性,导致采集如此数量的样品对于文物对象来说根本不具备可行性。

国家文物局高度重视文物保护专用技术分析检测方法的科学化,本文在总结国家文物局行业标准《砖石质文物吸水性能测定——表面毛细吸收曲线法》编制过程中的基础上,拟从表面毛细吸收曲线法入手,探讨“无损”(原位分析)技术在砖石质文物表层毛细吸水性能检测实地应用效果,以推进我国砖石质文物保护工作规范化。

一、检测理论基础

砖石质文物表面吸水性能检测,必须通过无损(原位)分析手段展开。通常是采用“卡斯特”瓶来完成测定。该检测为德国人卡斯特最先引入文物保护领域,现场检测采用卡斯特瓶(Custer bottle)进行。卡斯特瓶按其结构分为水平面测试瓶和竖直面测试瓶两种,水平面测试瓶用于文物本体水平部位的检测工作;竖直面测试瓶用于文物本体竖直面的检测工作。两种卡斯特的具体结构如图一所示。



图一 卡斯特瓶测试示意图
1. 水平面测试瓶 2. 竖直面测试瓶

卡斯特检测瓶由吸附圆盘和吸收直读管两部分构成,一般其吸附圆盘的有效吸附面直径多为5cm,吸收直读管为带有刻度的圆柱体,标准刻度起始值为0ml,最小分度线多为0.1ml。

一般检测过程中多采用橡皮泥将卡斯特检测瓶固定到检测平面上。快速注水后,记录吸水量与对应吸水时间,即测定文物本体表层单位面积内吸水量对应吸水时间平方根所形成的曲线,以达到检测与评估砖石类多孔隙材质表面毛细吸水性能。

表层吸水性能的测定具体方法是根据所测单位表层吸水量与对应吸水时间平方根的关系制作表面

毛细吸收曲线。曲线前段近似直线部分的斜率,记作表面吸水系数 W_w ,表征其表面吸水性能, W_w 值越大其表面吸水性能越强。 W_w 值按式(1)计算:

$$W_w = \Delta Q_i / \Delta \sqrt{t_i} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

W_w ——表面吸水系数,单位为 $g/(s^{1/2} \cdot cm^2)$;

ΔQ_i ——测试时间点上测试对象单位面积的表面吸水量的瞬间变化值;

$\Delta \sqrt{t_i}$ ——测试对象测试点上时间的瞬间变化值的平方根,单位为根号秒($s^{1/2}$)。

$$\Delta Q_i \approx [m_i - m_{i-1}] / A \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

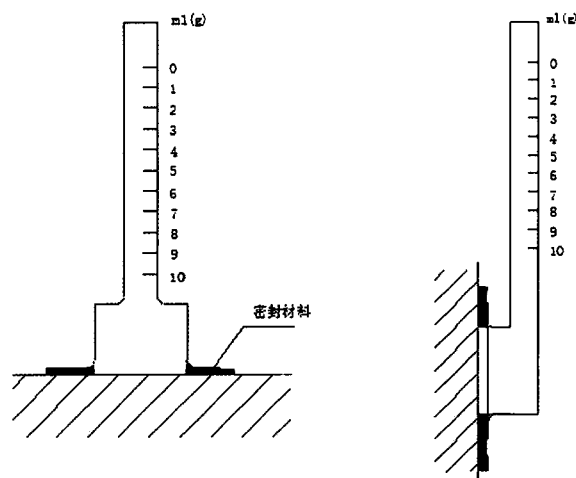
$[m_i - m_{i-1}]$ ——测试时间点前后测试对象表面吸水量的变化值,其单位为克(g);

A ——样块测试面积,即测试对象与水层的有效接触面积,单位为平方厘米(cm^2)。

二、检测方法及其程序

现场检查法具体测试方法及程序如下。

1. 选取较为平整的文物表面进行简单的表面清理、除去表面浮灰等,按图二所示,采用密封材料(如橡皮泥等)将卡斯特瓶安装于测试对象表面,要求粘结层粘贴平整牢固,不漏水,且卡斯特瓶与测试对象形成的有效吸收面积等于或接近卡斯特瓶设计吸收面积(即密封材料不得占用有效测试空间)。



图二 卡斯特瓶安装方式示意图

2. 安装完成后,由卡斯特瓶上孔注水至零点,要求卡斯特瓶内无气泡,不漏水,否则需要重新换位安装。

3. 开始注水,当检测管水位达到“0”后,开始计

时。并记录卡斯特检测瓶刻度为 1ml、2ml、3ml、…等整数值之时对应的时间；也可记录不同时间间隔下直读管中的水体吸收值。

4. 拆除试验装置，对文物表面进行必要的清理。

5. 以 X 轴代表吸水时间因子 ($S^{1/2}$) 和 Y 轴代表单位面积内吸水量 Q (g/cm^2) 绘制吸水曲线，曲线斜率代表文物本体的表面吸水系数 W_w ， W_w 值越大（曲线斜率越大）说明物体表层吸水性能越大。

备注：为保证实验数据的可信度，每个检测对象的检测点一般为 3~5 个或以上。

三、应用范例

随着文物保护实践工作越来越多地被展开，保护效果的长期有效性也越来越多的受到社会各界的关注，作为砖石质文物风化的诱导因素毛细水侵蚀及其保护处理的吸水或耐水性能的检测已经成为砖石质文物保护过程中必不可少的检测条目。

以陕西大雁塔砖体保护工作来说，大雁塔作为我国体量最为庞大的砖体结构建筑，由于历时久远，塔体尤其是塔顶砖体由于水体（降雨）入侵导致的表面粉化、酥碱已经成为威胁到该塔长期结构稳定，雨水沿风化层面入侵导致塔体进水，塔顶长期处于潮湿状态。陕西省文物保护研究院联合多家文物保护单位经过长期监测与实验研究，结果显示采用脱盐——硅酸乙酯浸透补强——长链有机硅表层憎水封护等维护工艺，有效抑制了塔顶风化、外来水体

入侵对塔体的破坏。但由于缺乏有效的检测手段一直不能科学有效的评定防护效果。采用表面毛细吸收曲线就可以较好的解决这一实际问题。

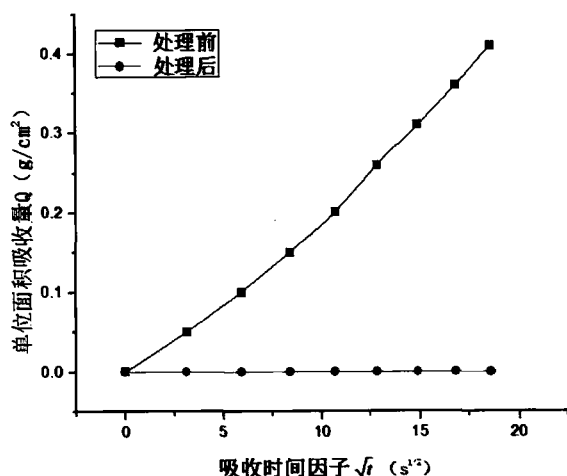
由图三可以看出，处理前后大雁塔砖体表面吸水性能发生明显变化，处理前大雁塔吸水系数约为 0.016，而处理后砖体表面几乎不吸收水份，吸收曲线与 X 轴几乎平行。

四、总结与展望

毛细水侵蚀及其诱发的冻融、可溶盐破坏是砖石类文物表层风化的主要诱导因素，故快速、无损地分析文物本体材料吸水性能对于多孔隙文物保护研究必不可少。建筑及其岩土专业早就制定了该方面的行业规范——《MT 42~87 岩石吸水性测定方法》以规范该类检测方法的科学化与规范化并提高数据的可比性。但《MT 42~87 岩石吸水性测定方法》需要在采样的基础上才能完成，不适用于文物对象的检测。采用卡斯特测量瓶可以原位无损快速的完成文物对象表面吸水性能的检测。但必须强调的是由于表面毛细吸收曲线绘制与测量过程中采用的测量器皿及其所采用的单位制式不统一极易导致测量结果的偏差，使得测定数据可比性降低，故建立文物系统行业标准以统一测量过程及其使用单位，对于多孔隙砖石文物表面毛细水吸收能力及其保护效果评估意义重大，目前国家文物局已经组织相关单位编制《砖石质文物吸水性能测定 表面毛细吸收曲线法》行业标准，相信这一文物保护行业标准的出台将极大促进多孔隙材质文物性能及其耐水防护效果评估工作的科学有效展开。

注释：

- [1] 王立成：《氯盐环境下钢筋混凝土结构使用寿命评价的研究进展》，《水利水电工程学报》2004 年第 4 期。
- [2] 黄蓓、钱春香：《掺合料混凝土的毛细吸水现象》，《混凝土与水泥制品》2008 年第 4 期。
- [3] 李淑红、王立成：《多孔建筑材料毛细吸水过程研究进展综述》，《水利与建筑工程学报》2012 年第 6 期。



图三 大雁塔砖体防水处理前后表面吸水性曲线图