

文章编号:1005-1538(2020)03-0058-07

一种饱水木质文物含水率无损检测方法的研究

陈华锋,陶静姝

(安徽博物院,安徽合肥 230061)

摘要: 含水率是评估饱水木质文物糟朽程度最常用的物理参数之一。目前含水率检测常用方法有烘干法、电阻法、近红外光谱法等,但这些方法或属于破坏性分析,或检测范围不适用。为寻找一种适用于饱水木质文物含水率的无损检测方法,基于饱水木材组成理论模型,建立了含水率与湿态密度、灰分含量三者之间关系,进而提出一种检测含水率的便捷方法——溶液密度法。采用上述方法对天长、淮北等地出土饱水木质样品含水率进行测试,并与烘干法测得标准值进行验证。结果发现两者数据较为接近,相对误差在10%以内,证明了该方法的可靠性。进一步研究发现,样品越糟朽,使用该方法获取的数据与标准值之间相对误差越小。说明该方法更适用于糟朽饱水木材含水率的检测。

关键词: 饱水古木;含水率;无损检测;溶液密度法

中图分类号: K876.6 **文献标识码:** A

0 引言

含水率是评价饱水木质文物糟朽程度常用的参数之一,含水率的高低决定其保护方法的选择。目前评价木材降解程度应用最广的分类方法是CHRISTENSEN^[1]提出的划分标准:含水率超过400%,为I度降解;含水率介于185%~400%,为II度降解;含水率低于185%,为III度降解。这是因为木材作为一种疏松多孔的材料,构成木材细胞的纤维素、半纤维素等成分在埋藏环境中发生分解,木材组织变得更加疏松多孔,水分逐渐渗透到木材组织内部,使得木材处于“饱水”状态。赵红英等^[2]通过对信阳长台关墓葬中出土的饱水梓木的理化性能和微观结构进行了研究,发现木材中的糖类物质的降解提高了木材纤维素的亲水性,增加了木材的孔隙,导致出土梓木含水率增加。张金萍^[3]通过对降解古木的微观特征和成分组成研究,发现含水率和基本密度参数在评估饱水木质文物糟朽程度具有一致性。

关于木材含水率的测量方法有很多,包括电导法^[4]、红外光谱法^[5]、烘干法等。前人应用上述方法对出土饱水木质的含水率测定开展了诸多研究。徐靖等^[6]应用电导法测定含水率时发现,该方法对

于含水率低于100%的饱水木材样品较为准确,一旦样品含水率超过100%,误差较大。因此这种方法适用于低含水率木材的检测。红外光谱法是利用木材中水的吸收峰强度来判断木材的含水率高低,定量计算时必须获取与测试样品相同树种、确定含水率数据的参比样。因此这种方法对于许多的出土木质文物并不适用。烘干法是目前各行各业含水率检测应用最广泛的方法,所获取的数据往往被视为标准值。操作时选取合适的木材样品置于 (103 ± 2) ℃的烘箱内进行烘干处理,按照水分质量与全干试样的质量之比计算含水率。这种方法同样是木材含水率测定的基本方法,如最新公布的《出土竹木漆器类文物含水率测定——失重法号》行业标准中也采用这种方法。由于烘干法测量时必须截取试样,属于破坏性检测,对于那些保存完整或取法取样的木质文物的检测同样是不适用的。综上所述,针对饱水木质文物的含水率检测,有必要研究一种简便、无损的检测方法。

1 方法研究

1.1 模型与方法

木质文物在埋藏环境下受到各种因素的影响会

收稿日期:2019-06-20;修回日期:2019-10-22

基金项目:安徽博物院院级课题资助(AB2018005)

作者简介:陈华锋(1983—),男,2010年硕士毕业于中国科学技术大学考古学与博物馆学文物保护专业,研究方向为饱水木漆器保护修复与研究,E-mail:276199042@qq.com

发生降解,其中木材中的单宁、色素、生物碱、蛋白质、多糖等成分首先流失。随着时间的推移,构成木材细胞的纤维素、半纤维素和木质素等成分也逐渐发生降解,进而细胞壁逐渐变薄,细胞腔变大,木材组织变得更加疏松多孔,水分逐渐渗透到木材组织内部。饱水木材主要成分由纤维素、半纤维素、木质素和水组成,其中纤维素、半纤维素、木质素约占古木干重的90%。除此之外还有少量填充其间的无机矿物、气泡等。一旦水分完全蒸发后,木材中只剩下由纤维素、半纤维素、木质素构成的细胞壁基质和少量无机矿物等杂质。JENSEN^[7]根据饱水木材的化学组成,提出了饱水木材组成的两种模型(图1),分别是:模型1—饱水古木材是由细胞壁基质、自由水和吸附水三种成分组成;模型2—忽略自由水和吸附水的区别,饱水古木材是由细胞壁基质和水分两种成分组成。

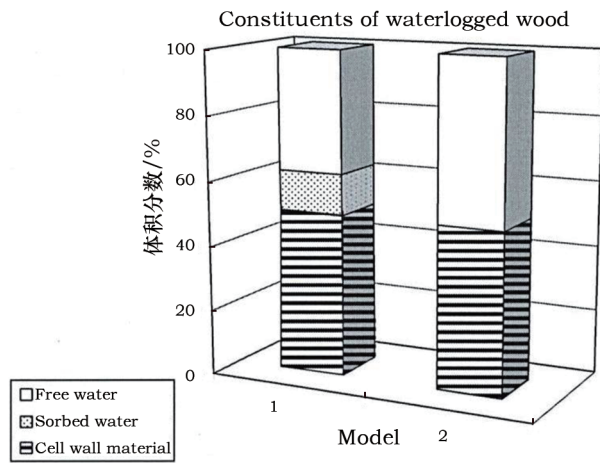


图1 考古出土古木组成理论模型^[7]

Fig. 1 Theoretical model of archaeological wood^[7]

本研究采用模型2进行研究。设 M_w 为古木含水质量, M_d 为古木绝干质量(由细胞壁基质和少量无机矿物组成), M_0 为湿态下的古木质量,则根据含水率的定义有:

$$W = \frac{M_w}{M_d} = \frac{M_0 - M_d}{M_d} \times 100\% = \left(\frac{M_0}{M_d} - 1 \right) \times 100\% \quad (1)$$

基本密度 ρ_{so} 是木材的一种属性,定义是木材绝干质量 M_d 与饱水体积 V_{ss} 之比。其中,绝干质量是通过在烘箱中蒸发掉水分后获得,体积则采用“饱和水”法,即在测试前使样品呈“浸饱水”状态。为了获得饱和水体积,实际工作中将样品置于真空室,使其完全处于浸饱水状态,即 $V_{ss} \approx V_{ws}$ 。木材湿态密度 ρ_{ss} 定义是木材湿态质量 M_0 与湿态体积 V_{ws} 之比,样品的湿态质量可以用分析天平直接测量。根

据定义,则有:

$$\frac{\rho_{ss}}{\rho_{so}} = \frac{M_0}{M_d} \times \frac{V_{ss}}{V_{ws}} \quad (2)$$

联系式(1),则有:

$$\frac{\rho_{ss}}{\rho_{so}} = (1 + W) \times \frac{V_{ss}}{V_{ws}} \quad (3)$$

通过对饱水木质文物含水率、基本密度等数据进行分析,前人总结了含水率与基本密度之间的数学关系^[8-9](见下式)。

$$\rho_{so} = \frac{1}{W + 0.667} \quad (4)$$

但是在实际中,仅利用基本密度计算含水率存在着一定的偏差。原因是这一数学关系基于如下的假设:饱水木材中的空隙全部被水侵占,忽略灰分和细胞壁基质的不同。由于出土的饱水木材中纤维素、半纤维素的流失,灰分的比例较之新鲜木材明显增加。在细胞壁基质减少的情况下,灰分的存在直接影响测得的密度数据,最终影响含水率的大小。此外,测量体积往往采用浮力法进行,即应用阿基米德原理通过排开水的体积来计算样品的体积,对于一些不规则或者体积较小的样品,这种方法测出来的体积与实际体积误差很大。故采用基本密度计算含水率时必须考虑灰分等杂质的影响^[10]。

假设 V_d 为细胞壁的体积, V_w 为水的体积, V_a 为灰分等杂质的体积,则湿态下古木的体积有:

$$V_{ss} \approx V_{ws} = V_d + V_w + V_a \quad (5)$$

假设木材中的灰分所占比例为 α , ρ_a 为灰分的密度。根据木材基本密度的定义,有如下推算:

$$\begin{aligned} \rho_{so} &= \frac{M_d}{V_{ss}} = \frac{M_d}{V_d + V_w + V_a} \\ &= \frac{M_d}{\frac{M_d - (1 - \alpha)M_d}{\rho_d} + \frac{M_d W}{\rho_w} + \frac{\alpha M_d}{\rho_a}} \\ &= \frac{1}{\frac{1 - \alpha}{\rho_d} + \frac{W}{\rho_w} + \frac{\alpha}{\rho_a}} \end{aligned} \quad (6)$$

联系式(3),则有如下关系:

$$1 + W = \rho_{ss} \times \left(\frac{1 - \alpha}{\rho_d} + \frac{W}{\rho_w} + \frac{\alpha}{\rho_a} \right) \quad (7)$$

ρ_a 一般在 $1.8 \sim 3.0 \text{ g/cm}^3$,这里取值 2.5 g/cm^3 。 ρ_w 为常态下水的密度,取 1.0 g/cm^3 。 ρ_d 为细胞壁基质的密度。组成木材各种细胞的细胞壁成分主要是纤维素、半纤维素和木素,它们的成分和比例基本相同,因而各种木材的实质密度也是相近的,大约在 $1.46 \sim 1.59 \text{ g/cm}^3$ 之间。对于糟朽的木质文物,纤

纤维素、半纤维素降解后含量减少,木质素性质稳定,不易降解,木质素的比例上升,因而糟朽木材的实质密度与健康材的实质密度差异较大。对于饱水木材,这里 ρ_d 取值 1.50 g/cm^3 。将上述数值代入式(7),含水率与湿态密度、灰分含量之间存在着如下关系:

$$W = \left(\frac{0.333}{\rho_{ss} - 1} - 0.667 \right) + \left(\frac{0.267\alpha}{\rho_{ss} - 1} \times \rho_{ss} \right) \quad (8)$$

式(8)中饱水木材的含水率由两部分组成,前一部分表示木材纤维中不含灰分时饱水木质文物的含水率;后一部分表示灰分存在对于含水率的修正情况。需要指出的是,上述推导基于以下前提条件:即饱水木材湿态密度 ρ_{ss} 应大于 1.0 g/cm^3 。对于密度小于或等于 1.0 g/cm^3 的出土木材,应用排水法测量其体积时会漂浮于水面之上,获取的数据并不能反映木材的真实体积,故上述关系不适用于密度小于 1.0 g/cm^3 出土木材。

1.2 灰分含量及影响讨论

根据式(8)的函数关系,采用 Origin8.0 软件分别绘制灰分含量 $\alpha=0\%$ 和 $\alpha=5\%$ 时饱水木质文物湿态密度与含水率之间数学曲线。如图2所示,在一定灰分含量下,饱水木质文物含水率与湿态密度之间存在着明显的负相关性,红、蓝色曲线分别表示灰分含量为 0% 、 5% 时饱水木材湿态密度与含水率之间关系。对于新鲜木材,灰分所占比例一般都比较低,约占木材干重的 0.5% ,往往在研究中忽略不计。但对于已经发生严重降解的饱水木材,由于纤维素、半纤维素等构成细胞壁基质主成分流失,使得灰分含量明显增加(一般在 12% 以内),甚至达到降解木材干重的 20% 。

为了解不同含水率的饱水木材灰分含量,笔者收集已经目前部分发表的饱水木材灰分含量并进行了归类分析^[10-12],结果见图3。当含水率在 200% 以下,灰分含量在 $0.3\% \sim 7.0\%$,平均值为 1.6% ,灰分含量普遍低于 2% ;当含水率在 $200\% \sim 600\%$ 时,灰分含量无明显规律,分布范围在 $2\% \sim 12\%$,平均值为 4.8% ;当含水率在 $600\% \sim 1000\%$,灰分含量变化不大,平均值为 6.5% ;当含水率大于 1000% ,灰分含量在 $6.0\% \sim 9.5\%$,平均值为 7.5% ,灰分含量趋于集中。由此可见,饱水木材的含水率在 600% 以上,其灰分含量差异不大。上述规律可能与木材的降解过程有关。在降解初期,木材中的单宁、色素等物质首先流失,无机矿物质含量所占比例变化增加,但增大比例变化不大。随着纤

维素、半纤维素等物质降解和流失,使得灰分所占比例快速增大,有的能占到木材干重 20% 。直到严重降解的阶段,由于木材中孔隙继续扩大,无机矿物质中一些不溶物质也随着降解物一起流出,使得木质成分和灰分都减少。

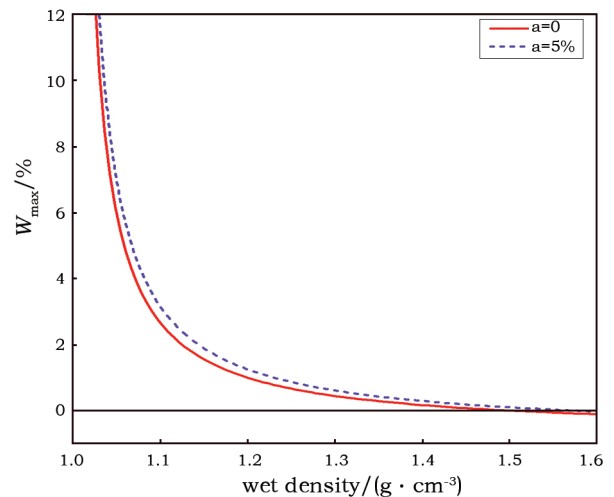


图2 饱水木材湿态密度与含水率之间关系

Fig. 2 Relationship between wet density and water content of waterlogged wood

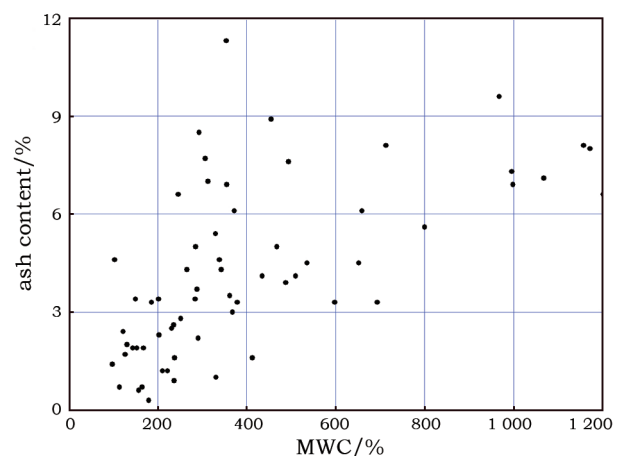


图3 考古出土木材灰分含量与含水率关系

Fig. 3 Relationship between ash content and water content of archaeological wood

与出土的饱水木质文物不同,海洋出水饱水木材经过长时间的海水浸泡,除了砂粒、沉积物之外,内部还含有大量氯化钠、氯化钙等可溶盐,以及硫铁化合物等难溶盐,因此刚出水木质品其灰分含量远大于出土饱水木质文物。田兴玲等^[13]对“南澳I号”明代沉船进行研究,发现船体木构件(荷木)灰分含量较高,高达 10.13% 。实际上一般正常荷木灰分含量低于 1% 。假设测得某一出水木材的湿态

密度为 1.041 g/cm^3 , 脱盐前、后的灰分含量分别为 10.13%、1%。经计算不同的灰分含量引起的含水率修正值分别为 67.8%、6.78%, 二者相差较大。这说明脱盐结果对于出水饱水木材的含水率、湿态密度、灰分含量三者之间上述数学关系的成立有着重要的影响。

2 应用与分析

2.1 样品基本信息与处理

样品基本信息见表 1。其中 No. 1、No. 2 为淮北市区火车站南广场东汉初期水井中出土的两片保存相对完整的木牍, 正反面均无字。

表 1 样品基本信息

Table 1 Basic information on archaeological wood samples

样品编号	取样文物	样品描述	样品来源	备注
No. 1	木片 001	样品为长方形薄片, 厚度为 3 mm, 长、宽分别为 5 cm、3 cm	淮北金色云天北苑(火车站南广场)工地	清洗表面泥土
No. 2	木片 002	样品为长方形薄片, 厚度为 3 mm, 长、宽分别为 4.2 cm、3 cm	淮北金色云天北苑(火车站南广场)工地	清洗表面泥土
No. 3	1036-3 彩绘漆耳杯	样品为不规则形状, 漆膜脱落, 见漆灰层, 清理漆灰层后重 10.6 g	安徽省天长市纪庄汉墓	清理漆灰层
No. 4	1037-1 木梳齿	样品为木梳齿, 重量为 3.0 g	安徽省天长市纪庄汉墓	清洗表面
No. 5	木胎漆盘	样品为不规则形状, 重 7.4 g	安徽省天长市宋桥战国墓	清理漆灰层

2.2 数据检测

清理样品表面的杂质后, 称量样品质量 M_0 。用蜂蜡处理表面后, 将木材样品放入装有一定体积水的容器中, 缓慢加入 40% 乙二醛溶液。由于饱水状态的木材其湿态密度大于水, 所以样品最初沉在容器底部。随着乙二醛的加入, 混合后的液体密度逐渐增大, 待到木质样品悬浮于混合液体中, 停止加入乙二醛溶液。按照阿基米德原理, 混合液密度即为样品湿态密度。最后用液体天平测量混合液密度。

为判断溶液密度法测定木材含水率的可靠性和准确性, 对上述木材样品继续采用烘干法获取样品的绝干质量 M_d 。操作方法按照《出土竹木漆器类文物含水率测定—失重法》规定的程序进行。最后把烘干后的样品, 放入马弗炉 $600 \text{ }^\circ\text{C}$ 灼烧 3 h, 称量残留灰分的质量。灰分含量为灰分质量与绝干质量之

百分比。

2.3 数据分析

溶液密度法获取的含水率依据式(8)计算, 烘干法获取的数据反映样品含水量真实值。对两种方法获取的含水率数据(表 2)进行相关性分析。以烘干法检测值为 X 轴, 溶液密度法检测值为 Y 轴做散点图(图 4)。曲线拟合的结果表明两组数据之间呈显著性正相关(相关系数 $r = 0.9996$)。经回归分析可得: $Y = 0.985X - 0.264$ 。从曲线拟合的结果来看, 溶液密度法获取的数据与真实值之间存在着一致性。对于同一样品, 烘干法和溶液密度法获取含水率之间的绝对误差 $w - w_a - |X - Y| = 0.005X + 0.264 \approx 26.4\%$ 。在实际工作中可以根据两种方法之间的差值, 利用无损检测方法获取的数据更加准确地判断饱水木材的含水情况。

表 2 样品不同方法测得含水率结果

Table 2 Results of water content measured by different methods

样品编号	湿态密度/ $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	灰分含量/%	溶液密度法 w_a /%	烘干法 w /%
No. 1	1.048	8.1	674.3	713.3
No. 2	1.108	3.7	251.8	277.3
No. 3	1.036	9.6	932.1	968.7
No. 4	1.074	4.1	399.2	435.1
No. 5	1.051	4.5	611.0	652.4

从表 3 数据来看, 五个样品采用溶液密度法测定的含水率与烘干法获取的标准值比较接近, 且相对误差均在 10% 以内。为进一步评价溶液密度法检测数据的准确性, 对上述溶液密度法和烘

干法两组数据进行方差分析, 结果为: $F(0.0457) < F_{\text{crit}}(5.317)$, $P\text{-value}(0.836) > 0.05$, 表示两组数据之间无明显差异, 验证了溶液密度法检测结果的准确性和可靠性。

表 3 同一样品两种方法测得含水率误差

Table 3 Errors in water content measured by different methods

(%)

样品编号	灰分修正值 Δ	溶液密度法 w_a	烘干法 w	相对误差 E
No. 1	47.2	674.3	713.3	5.5
No. 2	10.1	251.8	277.3	9.2
No. 3	73.8	932.1	968.7	3.8
No. 4	15.9	399.2	435.1	8.3
No. 5	24.8	611.0	652.4	6.3

注: 相对误差 = $\frac{|w_a - w|}{w} \times 100\%$ 。

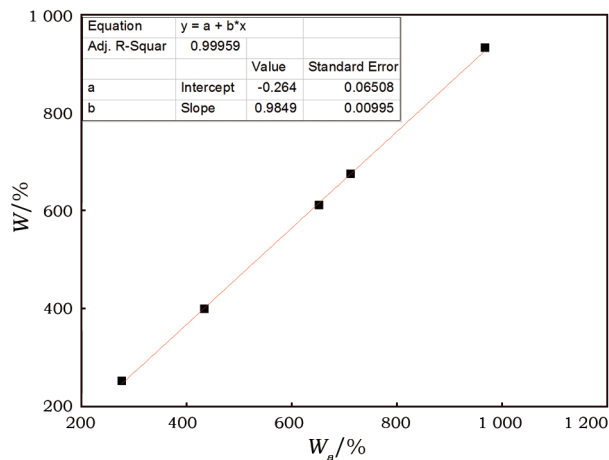


图 4 两种含水率测试方法不同数据的曲线拟合

Fig. 4 Curve fitting of two sets of data of water content

比较不同样品的灰分修正值发现, $\Delta(\text{No. 3}) > \Delta(\text{No. 1}) > \Delta(\text{No. 5}) > \Delta(\text{No. 4}) > \Delta(\text{No. 2})$, 可见样品越糟朽, 灰分对于含水率的影响越大。但进一步研究发现, 相对误差呈现 $E(\text{No. 3}) < E(\text{No. 1}) < E(\text{No. 5}) < E(\text{No. 4}) < E(\text{No. 2})$ 。对应五个样品的湿态密度 $\rho_{ss}(\text{No. 3}) < \rho_{ss}(\text{No. 1}) < \rho_{ss}(\text{No. 5}) < \rho_{ss}(\text{No. 4}) < \rho_{ss}(\text{No. 2})$ 。可以得到如下结论: 样品保存状况越好, 其湿态密度越大, 该方法获取的含水率相对误差也越大。结合图 5 中相对误差 E 值与含水率不同的五个样品之间关系可以看出, 随着含水率的降低, 对于含水率在 200% 以下的木材样品, 此方法的检测结果与实际值之间的相对误差可能会超过 10%。

根据式(8)可以看出, 某一饱水木质文物的含水率 W 函数与湿态密度 ρ_{ss} 和灰分含量 ρ_a 两个变量相关。从数学上看, 灰分修正值随着饱水木材的湿态密度减小而增大, 随灰分含量增加而增大, 即饱水木材越糟朽, 灰分修正值越大。但同时纤维素、半纤维素、木质素等木质成分降解引起的含水率增加值

远远大于灰分修正值, 因此相对误差会随着糟朽程度的增加而减少, 这就说明这种溶液法测试含水率更适用于糟朽程度严重的样品。由于研究中样本还不多, 其规律性还有待论证。

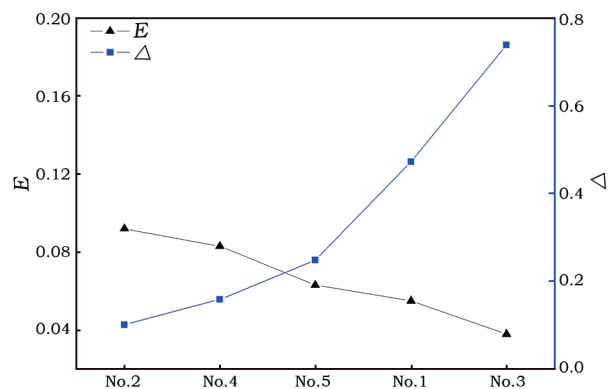


图 5 同一样品两种方法测定值之间相对误差

Fig. 5 Relative error between results of the same sample by different methods

根据式(8)测定饱水木材的含水率需要获取湿态密度和灰分含量两个变量的数值, 但是由于灰分含量的测定同样需要取样, 属于破坏性分析。本研究中所选择的五个样品对象, 其灰分含量变化不大, 故采用赋值法来估算饱水样品的含水率, 则成为简化思路之一。这里灰分含量赋值 $a = 5.0\%$, 对上述样品分别估算含水率(表 4)。从表 4 来看, 赋值法计算出的数据与测试值之间误差均在 5% 以内, 说明利用赋值法可以在不测量灰分含量的情况下估算含水率。根据 1.2 节中关于饱水木材灰分含量的分析讨论得知, 绝大多数出土饱水木材(除出水木材)灰分含量低于 12%, 因此赋值法($a = 5.0\%$)应适用于大多数出土的饱水木材。而对于少数灰分含量超过 12%, 甚至更高的出土样品, 其超出部分灰分含量的含水率修正值呈现出不同特点: 对于保存状况较糟朽(含水率在 400% 以上)木材, 超出部分的灰

分含量对结果的影响程度较小,可以忽略;对于保存状况较好(含水率在200%以下)样品,虽然超出部

分的修正值不大,但对于结果的影响较大,甚至相对误差超过其结果的10%。

表4 同一样品赋值法含水率与测试值比较

Table 4 Comparison of assignment data with testing values (%)

样品编号	赋值法	溶液密度法 w_a	绝对误差	相对误差
No. 1	656.2	674.3	18.1	2.7
No. 2	255.3	251.8	-3.5	-1.4
No. 3	896.7	932.1	35.4	3.8
No. 4	402.7	399.2	-3.5	-0.9
No. 5	613.8	611.0	-2.8	-0.5

3 结论

采用 Origin 8.0 分析软件对两种方法获取同一样品的含水率进行相关性检验,显示溶液密度法(Y)和烘干法(X)的检测结果显示具有高度相关性($r = 0.9996$)。经回归分析可得: $Y = 0.985X - 0.264$,显示两种方法之间的绝对误差约为26.4%。两组数据的方差分析结果说明两种方法在检测含水率方面具有高度一致性。上述研究提出了一种饱水木质文物含水率无损检测方法——溶液密度法,即通过获取饱水样品的湿态密度来计算含水率。而赋值法的结果表明可以在不测量灰分含量的情况下估算含水率,为那些无法取样的木质文物含水率无损检测提供了新的思路。但需要注意的是:

1) 溶液密度法只适用于湿态密度 ρ_{ss} 大于 1.0 g/cm^3 饱水木质文物含水率的无损检测,同时对于含水率在200% (ρ_{ss} 约为 1.129 g/cm^3) 以下木质文物的检测,其结果与真实值之间的相对误差会超过10%。

2) 夹纻胎漆器由于胎质的材料与木材有着根本的区别,因此上述方法不适用于夹纻胎漆器含水率的检测。是否适用于木胎漆器含水率的测试还有待进一步研究。

3) 海洋出水木质文物由于木材内部残留较多的盐分导致灰分含量过高,故使用溶液密度方法测定其含水率前应尽可能析出木材内部的盐分、沙粒以及沉积物等杂质,以降低灰分含量引起的误差。

4) 对于出土的大型木质构件、木质文物如独木舟等,由于体积庞大,若采用此方法必须有足够大容积的盛器和混合溶液。除操作上较为繁琐之外,成本也较高,因此对于大型的木质文物建议进行裁样测试。

致谢:本研究作为安徽博物院院级课题(AB2018005)成果之一,得到中国科技大学龚德才教授的指导。

参考文献:

- [1] CHRISTENSEN, BRORSON B. The conservation of waterlogged wood in the National Museum of Denmark[J]. Studies in Conservation, 1970(15):27-44.
- [2] 赵红英,王经武,崔国士. 饱水木质文物的理化性能和微观结构表征[J]. 东南文化,2008(4):89-92.
ZHAO Hongying, WANG Jingwu, CUI Guoshi. Physical and chemical properties and microscopic structure characterization of archaeological wood[J]. Southeast Culture, 2008(4):89-92.
- [3] 张金萍,章瑞. 考古木材降解评价的物理指标[J]. 文物保护与考古科学,2007,19(2):34-37.
ZHANG Jinping, ZHANG Rui. The physical index on the degradation of archaeological wood[J]. Sciences of Conservation and Archaeology, 2007,19(2):34-37.
- [4] 李芳. 基于微电容测量的木材含水率检测系统研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2012:8-23.
LI Fang. Research on a wood moisture measurement system based on tiny capacitance detection[D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2012:8-23.
- [5] 江泽慧,黄安民. 木材中的水分及其近红外光谱分析[J]. 光谱学与光谱分析,2006,26(8):1464-1468.
JIANG Zehui, HUANG Anmin. Water in wood and its near infrared spectroscopic analysis[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2006,26(8):1464-1468.
- [6] 徐靖,袁传勋,姚政权,等. 古木材纤维饱和点初探[C]//中国文物保护技术协会. 中国文物保护技术协会第五次学术年会论文集. 北京:科学出版社,2008:302-305.
XU Jing, YUAN Chuanxun, YAO Zhengquan, et al. Analysis on the fiber saturation point of the ancient wood[C]//China Association for Preservation Technology of Cultural Relics. Proceedings of the 5th Annual Academic Conference of China Association for Preservation Technology of Cultural Relics. Beijing: Science Press, 2008:302-305.
- [7] JENSEN P, GREGORY D J. Selected physical parameters to characterize the state of preservation of waterlogged archaeological wood; a practical guide for their determination[J]. Journal of

- Archaeological Science, 2006, **33**:551 – 559.
- [8] SCHNIEWIND A P. Physical and mechanical properties of archaeological wood [M]//ROWELL R M, BARBOUR R J. Archaeological Wood. Washington: American Chemical Society, 1990:87 – 109.
- [9] 陈华锋. 饱水木质文物含水率与基本密度相关性研究[J]. 文物鉴定与鉴赏, 2017(11):86 – 88.
CHEN Huafeng. Correlation studies on basic density and water content of waterlogged wood[J]. Identification and Appreciation to Cultural Relics, 2017(11):86 – 88.
- [10] BABINSKI L, IZDEBSKA – MUCHA D, WALISZEWSKA B. Evaluation of the state of preservation of waterlogged archaeological wood based on its physical properties: basic density vs. wood substance density [J]. Journal of Archaeological Science, 2014, **46**:372 – 383.
- [11] PIZZO B, GIACHI G, FIORENTINO L. Evaluation of the applicability of conventional methods for the chemical characterization of waterlogged archaeological wood [J]. Archaeometry, 2010, **52** (4):656 – 667.
- [12] CAPRETTI C, MACCHIONI N, PIZZO B. The characterization of waterlogged archaeological wood: the three roman ships found in Naples (Italy) [J]. Archaeometry, 2008, **50**(5):855 – 876.
- [13] 田兴玲, 李乃胜, 张治国, 等. 广东汕头市“南澳 I 号”明代沉船木材的分析研究 [J]. 文物保护与考古科学, 2014, **26** (4):109 – 115.
TIAN Xingling, LI Naisheng, ZHANG Zhiguo, *et al.* Analysis and research on the wood from the Ming Dynasty shipwreck, Nan' ao No. 1, in Shantou city, Guangdong [J]. Sciences of Conservation and Archaeology, 2014, **26**(4):109 – 115.

A non – destructive method for the determination of water content of waterlogged archaeological wood

CHEN Huafeng, TAO Jingshu
(Anhui Museum, Hefei 230061, China)

Abstract: Water content is one of the most commonly – used physical parameters to assess the deterioration of waterlogged archaeological wood. Currently, popular methods for the determination of water content include the drying method, the resistance method, near – infrared spectrometry, etc. However, these methods are either destructive or not applicable due to determination ranges. In order to find a non – destructive method suitable for the determination of water content of waterlogged archaeological wood, relationships among water content, wet density and ash content of waterlogged wood were established in our study. Accordingly, we put forward a convenient method, called the “solution density method” to determine water content. Samples unearthed in Tianchang, Huaipei and other places were tested using this method. It was found that the data from this method, compared with standard values (obtained using dry method) were quite close (relative error within 10%), which demonstrates its reliability. A further study showed that the more the wood had deteriorated, the smaller the relative error was, indicating that this non – destructive method is more suitable for waterlogged wood with serious degradation.

Key words: Waterlogged wood; Water content; Non – destructive test; Solution density method

(责任编辑 潘小伦; 校对 谢 燕)