

木材含水率测量仪示值误差的测量不确定度评定

贺紫菲 张峻燊 卢梅

云南省计量测试技术研究院 云南 昆明 650000

摘要: 由于木材的含水率对其性质和用途的影响非常大,因此,测量木材的含水率可以确定其质量和适用范围。当木材的含水率过低或过高时,其性能和使用效果都会受到影响,包括强度、稳定性、耐久性、尺寸稳定等方面。通过使用木材含水率测量仪,可以对木材进行准确的含水率测量,确保木材质量符合要求。为方便技术人员的校准工作,通过分析木材含水率测量仪示值误差的测量不确定度来源即木材含水率测量仪示值重复性标准不确定度、天平引入的标准不确定度、湿度环境引入的标准不确定度和分辨率引入的不确定度,并对各分量进行评定,最后根据含水率范围分段对木材含水率测量仪示值误差的测量不确定度进行表示。

关键词: 木材含水率测量仪; 示值误差; 测量不确定度

引言

众所周知,木材置于一定的环境下,在足够长的时间后,其含水率会趋于一个平衡值,称为该环境的平衡含水率EMC。不同地区、不同用途,对木材含水率的要求也是不一样的。北方为12%左右,南方为18%左右,华中约为16%左右。木材平衡含水率在生产上有很大的意义。家具、门窗、室内装修等用材的含水率,必须干燥到使用地区的平衡含水率以下,否则木制品会开裂和变形。在这个时候,木材含水率测量仪就凸显出了其重要的作用,用木材含水率测量仪直接测试出木材的含水率后就能帮助企业能更快了解木材的使用范围,以及减少木材的浪费,加大木材的使用率。

1 概述

1.1 测量原理

木材含水率测量仪主要用于快速检测木材、木制品及人造板材中的含水率。木材含水率测量仪按原理区分,主要有电阻法和电容法。电阻法测量仪是把木材中的含水率通过探针及相关电路转换成电信号,再通过电信号的转换,显示仪表指示测量值。电容法测量仪把木材含水率变化引起的电容介质电常数的改变,通过测量电路转换为电信号,在经过转换,由显示仪显示测量值^[1]。

1.2 测量方法

木材含水率测量仪示值误差校准是通过用电子天平称重计算出木材样品的标准含水率与被校仪器的显示值比较来确定被测仪器的示值误差,以下为对一台量程为含水率6%~28%的仪器示值误差校准结果的不确定度评定。检定时环境条件满足:温度5℃~35℃,湿度小于85%RH。

1.3 测量对象

木材含水率测量仪按示值误差可分为三个等级即1.0级、2.0级和5.0级^{*},其中各级的示值误差判定级别适用于杨木,5.0级^{*}测量仪特指未指定材种或无杨木含水率刻度的测量仪,而且其任一材种刻度的示值误差均不大于±5.0%。有杨木含水率刻度的测量仪,其示值误差不得大于±2.0%^[2]。

1.4 样品制备

根据JJG986-2004《木材含水率测量仪检定规程》中附录C,对木材样品的技术要求如下:

木材样品应清洁,无锯末和毛刺,还应无树皮,无结节,无腐烂及其他伤痕。

木材样品的尺寸规格为50mm×30mm×10mm。

木材品种为杨木,其他品种可用于校准^[3]。

木材样品的制备:

应以单层形式分别平放在干燥器内饱和盐水溶液上方多孔金属板或瓷

板上,至少在室温下放置15天。

根据JJG986-2004《木材含水率测量仪检定规程》中附录B要求,分别在三个(或以上)干燥器内制作三套(或以上)饱和盐水溶液。盐溶液上方空气的相对湿度值与所用的种类和保干器的空气温度有关,3℃~35℃饱和和盐上方空气的相对湿度数据如下:

温度为5℃时: LiCl·H₂O为14.0%, MgCl₂·6H₂O为36.4%, Mg(NO₃)₂·6H₂O为59.2%, NaCl为75.1%, (NH₄)₂SO₄为82.6%, KNO₃为96.6%, K₂SO₄为98.4%;

温度为10℃时: LiCl·H₂O为13.3%, MgCl₂·6H₂O为34.2%, Mg(NO₃)₂·6H₂O为57.8%, NaCl为75.2%, (NH₄)₂SO₄为81.7%, KNO₃为95.5%, K₂SO₄为97.9%;

温度为15℃时: LiCl·H₂O为12.8%, MgCl₂·6H₂O

为33.9%, $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ 为56.3%, NaCl为75.3%, $(NH_4)_2SO_4$ 为81.1%, KNO_3 为94.4%, K_2SO_4 为97.5%;

温度为20℃时: $LiCl \cdot H_2O$ 为12.4%, $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ 为33.6%, $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ 为54.9%, NaCl为75.5%, $(NH_4)_2SO_4$ 为80.6%, KNO_3 为93.2%, K_2SO_4 为97.2%;

温度为25℃时: $LiCl \cdot H_2O$ 为12.0%, $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ 为33.2%, $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ 为53.4%, NaCl为75.8%, $(NH_4)_2SO_4$ 为80.3%, KNO_3 为92.0%, K_2SO_4 为96.9%;

温度为25℃时: $LiCl \cdot H_2O$ 为12.0%, $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ 为33.2%, $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ 为53.4%, NaCl为75.8%, $(NH_4)_2SO_4$ 为80.3%, KNO_3 为92.0%, K_2SO_4 为96.9%;

温度为30℃时: $LiCl \cdot H_2O$ 为12.0%, $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ 为33.2%, $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ 为53.4%, NaCl为75.8%, $(NH_4)_2SO_4$ 为80.3%, KNO_3 为92.0%, K_2SO_4 为96.9%;

温度为35℃时: $LiCl \cdot H_2O$ 为11.7%, $MgCl_2 \cdot 6H_2O$

为32.5%, $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ 为50.6%, NaCl为75.5%, $(NH_4)_2SO_4$ 为79.8%, KNO_3 为89.3%, K_2SO_4 为96.4%。

文章中用的是温度为20℃时饱和盐上方空气的相对湿度数据, 配置饱和盐水溶液^[4]。

2 测量模型

仪器示值误差

$$\Delta\tau = \bar{\tau} - \tau_s$$

$\Delta\tau$ —被检定测量仪器示值误差

$\bar{\tau}$ —含水率测量结果

τ_s —标准含水率

3 标准不确定度评定

3.1 示值重复性标准不确定度 u_1 的评定:

选择一台量程为含水率6%~28%的仪器进行实验, 用含水率为9%, 14%, 22%的木材样品在条件相同的情况下进行连续测定, 得到测量结果列表如下表:

表1 测量结果

表中单位均为(%)

范围	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	T ₁₁
6%~10%	8.1	8.2	8.4	8.6	8.5	8.6	8.7	8.6	8.5	8.6	8.6
10%~20%	15.3	15.1	15.3	15.6	15.4	15.3	15.4	15.4	15.3	15.2	15.2
20%~28%	23.3	23.8	23.7	23.9	23.7	23.8	23.5	23.6	23.7	23.8	23.7

根据公式计算出单次试验的平均值与标准差:

$$\bar{\tau} = \frac{1}{11} \sum_{i=1}^{11} \tau_i, s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{11} (\tau_i - \bar{\tau})^2}{10}}$$

表2 平均值与标准差

范围	示值平均值 $\bar{\tau}$	标准偏差s
6%~10%	8.5	0.19%
10%~20%	15.3	0.13%
20%~28%	23.7	0.17%

则:

$$u_{1(6\% \sim 10\%)} = s_1 = 0.19\%, u_{1(10\% \sim 20\%)} = s_2 = 0.13\%,$$

$$u_{1(20\% \sim 28\%)} = s_3 = 0.17\%$$

3.2 天平引入的标准不确定度 u_2 的评定:

输入量 τ_s 的不确定度主要来源于称量木材样品用天平的不确定度, 上述试验中所用天平的最大允许误差 $MPE = \pm 0.5mg$, 引起的木材样品含水率变化(以本次试验用木材样品平均值24.6g计), 则天平引入的标准不确定度:

$$u_2 = \frac{0.0005}{24.6 \times \sqrt{3}} \times 100\% = 0.0012\%$$

3.3 湿度环境引入的标准不确定度 u_3 的评定:

由于全年湿度分布不均匀, 所以取极端环境, 经测定在湿度较低环境(30%RH)木材称重时每分钟至多减少重量为0.003g, 而每次测定木材样品大概需要20s时间^[5], 完成11次测定木材样品减重最大为0.003g×4 = 0.012g。水流量以本次试验用木材样品平均值24.6g计, 湿度环境引入的标准不确定度: $u_3 = 0.012 / 24.6 \times 100\% = 0.049\%$

3.4 分辨率引入的不确定度 u_4 的评定: $u_4 = 0.1\% / \sqrt{3} / 2 = 0.03\%$

4 合成标准不确定度评定

输入量标准不确定度汇总表:

4.1 含水率范围: 6%~10%^[6]

表3 输入量标准不确定度汇总

标准不确定度分量	标准不确定度来源	标准不确定度值
μ_1	仪器测量不重复性	0.19%
μ_2	天平	0.0012%
μ_3	环境湿度	0.049%
μ_4	仪器分辨率	0.028%

合成标准不确定度的计算:

由于四个分量不相关则: $u_c^2 = u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2$

$$u_c = \sqrt{0.12\%^2 + 0.0020\%^2 + 0.049\%^2 + 0.028\%^2} = 0.20\%$$

扩展不确定度 $U_{6\% \sim 10\%}$ 为： $U_{6\% \sim 10\%} = u_c \times k = 0.20\% \times 2 = 0.40\% = 0.4\%$ ($k = 2$)

4.2 含水率范围：10% ~ 20%

表4 输入量标准不确定度汇总

标准不确定度分量	标准不确定度来源	标准不确定度值
μ_1	仪器测量不重复性	0.13%
μ_2	天平	0.0012%
μ_3	环境湿度	0.049%
μ_4	仪器分辨率	0.028%

合成标准不确定度的计算：

由于四个分量不相关则： $u_c^2 = u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2$

$$u_c = \sqrt{0.13\%^2 + 0.0012\%^2 + 0.049\%^2 + 0.028\%^2} = 0.14\%$$

扩展不确定度 $U_{10\% \sim 20\%}$ 为： $U_{10\% \sim 20\%} = u_c \times k = 0.14\% \times 2 = 0.28\% \approx 0.3\%$ ($k = 2$)

4.3 含水率范围：20% ~ 28%

表5 输入量标准不确定度汇总

标准不确定度分量	标准不确定度来源	标准不确定度值
μ_1	仪器测量不重复性	0.17%
μ_2	天平	0.0012%
μ_3	环境湿度	0.049%
μ_4	仪器分辨率	0.028%

合成标准不确定度的计算：

由于四个分量不相关则： $u_c^2 = u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2$

$$u_c = \sqrt{0.17\%^2 + 0.0012\%^2 + 0.049\%^2 + 0.028\%^2} = 0.18\%$$

扩展不确定度 $U_{20\% \sim 28\%}$ 为： $U_{20\% \sim 28\%} = u_c \times k = 0.18\% \times 2 = 0.36\% \approx 0.4\%$ ($k = 2$)^[7]

木材含水率测量仪扩展不确定度汇总如下：

含水率范围为6% ~ 10%，扩展不确定度为： $U_{6\% \sim 10\%} = 0.4\%$ ， $k = 2$ ；

含水率范围为10% ~ 20%，扩展不确定度为： $U_{10\% \sim 20\%} = 0.3\%$ ， $k = 2$ ；

含水率范围为20% ~ 28%，扩展不确定度为： $U_{20\% \sim 28\%} = 0.4\%$ ， $k = 2$ 。

结束语

木材含水率对木材的物理、力学性能具有重要影响，是木材加工过程中的重要参数。据统计，75%的木制品质量问题是由木材加工时对所用原材料的含水率控制不准确造成的。对木材原料含水率进行严格控制是保证生产高质量木制品的先决条件。针插式木材测湿仪作

为控制含水率的一类测量工具，在木制品半成品加工阶段的使用比较广泛。针插式测湿仪又称电阻式测湿仪，其工作原理是把木材中的含水率通过探针及相关电路转换成电信号，再通过电信号的转换，显示仪表指示测量值。该类仪器的电参数只有在木材纤维饱和点以下，才会与木材含水率呈一定的线性关系，其测量的准确率才会较高，因此该类仪器的测量范围一般在6% ~ 30%，当超过这一范围时，仪器的准确率和精度将不能得到保证。针插式测湿仪的优点是操作简便，但其受温度影响较大。为保证测量的准确率，一般情况下仪器自身要有温度补偿功能。其影响因素主要包括树种、环境温度和插入深度等。该类仪器主要应用于木制品原材料和半成品加工领域。

文章中所使用的木材含水率测量仪为电阻式测湿仪，通过分析木材含水率测量仪示值误差的测量不确定度来源即木材含水率测量仪示值重复性标准不确定度、天平引入的标准不确定度、湿度环境引入的标准不确定度和分辨率引入的不确定度，并对个分量进行评定，最后根据含水率范围分段对木材含水率测量仪示值误差的测量不确定度进行表示，为技术人员提供了较为准确的不确定度参考。

参考文献

- [1] 国家质量监督检验检疫总局.木材含水率测量仪: JIG986-2004 [S].2004.11-15.
- [2] 樊浩杰, 朱岳辉, 何剑红.木材含水率测量仪测量结果的不确定度评定[J].计量与测试技术, 2008, (8). DOI: 10.3969/j.issn.1004-6941.2014.03.033.
- [3] 国家质量监督检验检疫总局.测量不确定度评定与表示: JJF1059.1-2012[S].2012.
- [4] 钟雪娥, 谭国宁.木材含水率测量仪示值误差测量值的不确定度评定[J].计量与测试技术.2014, (3).DOI: 10.3969/j.issn.1004-6941.2014.03.033.
- [5] 秦树伟.木材含水率测量仪校准和测量能力(CMC)评定[J].计量与测试技术.2015, (11).DOI: 10.15988/j.cnki.1004-6941.2015.11.036.
- [6] 闫明玉, 邓庆义.电阻式木材含水率测量仪校准方法研究 [J].建筑工程技术与设计.2019,
- [7] 国家市场监督管理总局.计量标准考核规范: JJF1033-2023[S].2023.