

流体静力称衡法测定生长锥取样 木材密度的改进方法

胡传双, 苏志尧, 云虹, 文伟, 王婷, 鲁群霞

(华南农业大学 林学院, 广东 广州 510642)

摘要:利用生长锥取样观测树木密度指标是评价林木培育措施和效果的一种常用技术手段,但由于生长锥表面形状不规则导致采用常规手段无法进行密度测试.本文在考虑木材作为多孔材料吸水影响的基础上,基于阿基米德定律提出了利用实验室常用天平采用流体静力称衡法和助沉法相结合确定生长锥取样密度测算的改进方法.为了验证改进方法的可靠性,分别按照国家标准(GB1993—2009)木材密度测定方法和改进方法对形状规则的杉木 *Cunninghamia lanceolata*、樟木 *Cinnamomum camphora*、印茄 *Intsia bijuga* 和铁樟木 *Eusideroxylon zwageri* 试件进行了密度测算,结果表明对于具有规则形状的试件,改进方法测试的密度值与 GB1993—2009 方法测试的密度值具有非常好的一致性.对采自广东省乐昌市龙山林场的不同植株杉木的东南西北向 13 个生长锥取样,按照改进方法进行密度测试,结果表明,考虑木材作为多孔吸水材料的方法操作更为简单,测试结果分布更合理.

关键词:木材物理; 密度; 生长锥

中图分类号: S781.31

文献标识码: A

文章编号: 1001-411X(2010)03-0105-04

An Improved Method for Determining the Density of Increment Core Wood Samples Using Hydrostatic Weighing Techniques

HU Chuan-shuang, SU Zhi-yao, YUN Hong, WEN Wei, WANG Ting, LU Qun-xia

(College of Forestry, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: A common and effective technique to evaluate wood quality and the effects of forest cultivation is by determining wood density using increment core sample sections, however, it is difficult to measure the density due to irregular surface of the increment core sample sections. An improved method for determining the density of the increment core sample sections was proposed considering the porous properties of wood based on the Archimedes Law. A series of regular samples made of Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*), Camphor (*Cinnamomum camphora*), Intsia (*Intsia bijuga*), and Belian (*Eusideroxylon zwageri*) were used to verify the robust and effectiveness of the proposed system in comparison with the standard testing method of GB1993—2009. The results showed that the densities determined by the proposed method were very close to those determined by the standard testing method. The 13 increment sections, which were sampled from the Longshan Forest Farm, Lechang, Guangdong Province, were also tested using the proposed methods. The results demonstrated that density determination by Formula (6), which considered the effects of the porous properties of the sample, are more operable and reasonable as compared with those determined by Formula (7).

Key words: wood physics; density; increment core

收稿日期: 2009-12-11

作者简介: 胡传双(1978—), 男, 副教授, 博士, E-mail: cshu@scau.edu.cn

基金项目: 广东省财政厅项目“粤北森林冰雪灾害评估及灾后复产技术研究示范”(2008A020100013)

树干密度是评价森林培育和抚育措施的一项最重要的材性指标^[1],在不破坏和不影响活立木生长的情况下,在试验周期内利用生长锥取样连续监控树干密度的变化是森林定向培育过程中的常用技术.但如何从生长锥取样测定木材密度是一个看似简单实则充满挑战的工作.虽然利用 X-ray 剖面密度仪可以快速测定生长锥密度^[2-6],但由于仪器本身昂贵,且维护和使用成本高,而限制了此种技术方案在基层单位的应用.国家标准《木材密度测定方法》(GB/T 1993—2009)^[7]中规定了按照标准采样制作标准体积的试件,分别测定试件的体积和质量,利用质量和体积之比求得木材的密度.由于生长锥形状的不规则,特别是表面粗糙,导致采用 GB1993—2009 中的密度测定技术无法满足精度要求.虽然有文献探讨了利用排液法测试木材密度^[8-12],但在具体应用到生长锥取样测试木材密度时有 2 个因素影响测试结果:1) 木材作为多孔材料,采用排液法确定体积时不可避免会出现木材吸收液体而影响体积测试结果.在用蒸馏水作为液体介质时,为了避免水进入木材的微孔中常用某些物质(通常用高分子材料)作防水膜,但实践证明防水膜难以完全防止渗水,特别是生长锥表面微观形貌复杂,防水膜难以覆盖生长锥取样的所有内外表面.如加厚防水膜,则防水膜材料本身的重量和体积对所测密度会产生很大的影响.或采用很难渗入木材孔隙的水银作为液体介质,但同时大大增加了操作环境受污染的概率和试验操作难度.2) 木材的密度多小于水等液体,测试过程中需要解决木材试样的沉降.美国林产品试验室的 Smith^[13]提案了一个基于试样饱和水质量和绝干质量的测试计算生长锥取样木材的方法,但此方法中,试件在 100 °C 左右高温绝干过程中,由于挥发物的散失而导致绝干质量值偏低.针对利用生长锥测试木材密度所面临的挑战,本文在考虑了木材作为多孔材料吸收水分的基础上,基于阿基米德原理利用实验室常用的电子天平,提案了流体静力称衡和助沉法相结合测定生长锥取样木材密度的改进方法.

1 材料与方法

生长锥取样木材的体积可以分为实体部分和孔隙部分,孔隙部分又可分为与外界不相通的封闭孔隙部分和与外界相通的开口孔隙部分.当木材浸入水中时只有开口孔隙部分吸水,经一段时间后趋于稳定.为了方便处理,假设试样总体积为 V/cm^3 ,被水占孔隙部分的体积为 V_1/cm^3 ,剩余部分(包括实体部分、封闭孔隙部分以及未被水浸入的开口孔隙部分)的体积为 V_0/cm^3 ,试样在空气中的质量为 m_1/g ,待

渗水稳定后试样在水中的质量为 m_2/g ,含有稳定渗水量的试样在空气中的质量为 m_3/g ,待测木材的密度为 $\rho_{\text{物}}/(g \cdot \text{cm}^{-3})$,某温度下水的密度为 $\rho_{\text{水}}/(g \cdot \text{cm}^{-3})$.由阿基米德定律可得公式(1):

$$m_2 = (m_1 + \rho_{\text{水}} V_1) - \rho_{\text{水}}(V_1 + V_0), \quad (1)$$

由于 $V_0 = (m_1 - m_2)/\rho_{\text{水}}$, $V_1 = (m_3 - m_1)/\rho_{\text{水}}$,又 $V = V_0 + V_1 = (m_1 - m_2)/\rho_{\text{水}} + (m_3 - m_1)/\rho_{\text{水}}$,从而

$$V = (m_3 - m_2)/\rho_{\text{水}}. \quad (2)$$

由密度的定义可得公式(3):

$$\rho_{\text{物}} = m_1/V = m_1\rho_{\text{水}}/(m_3 - m_2), \quad (3)$$

如不考虑水渗透入木材空隙对测量密度的影响,则利用阿基米德原理测得的木材密度可表达为公式(4),推导过程可参考上面.

$$\rho_{\text{物}} = m_1\rho_{\text{水}}/(m_1 - m'_2), \quad (4)$$

式(4)中, m_1 为试样在空气中的质量; m'_2 为试件浸入水中的初始质量.

所用天平为日本 A & D 公司生产的 GR-200 型,测试精度 20 mg,测试量程 200 g.考虑了木材作为密度小于水的多孔吸水材料的基础上,基于阿基米德原理所提案的流体静力称衡和助沉法相结合测定生长锥取样木材密度的辅助系统如图 1 所示.盛水玻璃杯放在不锈钢板扎制而成的杯托盘上,用于测量试样在空气和水中质量的称量托盘 1 和 2 由支撑架系统支撑,支撑架底部安置在天平原来放置托盘的插槽里,温度计悬挂在玻璃杯壁.由于多数木材密度均小于水,此处设计了一个不锈钢网制成的圆罩杯,测量水质量时把待测试样放入罩杯并锁住即可.

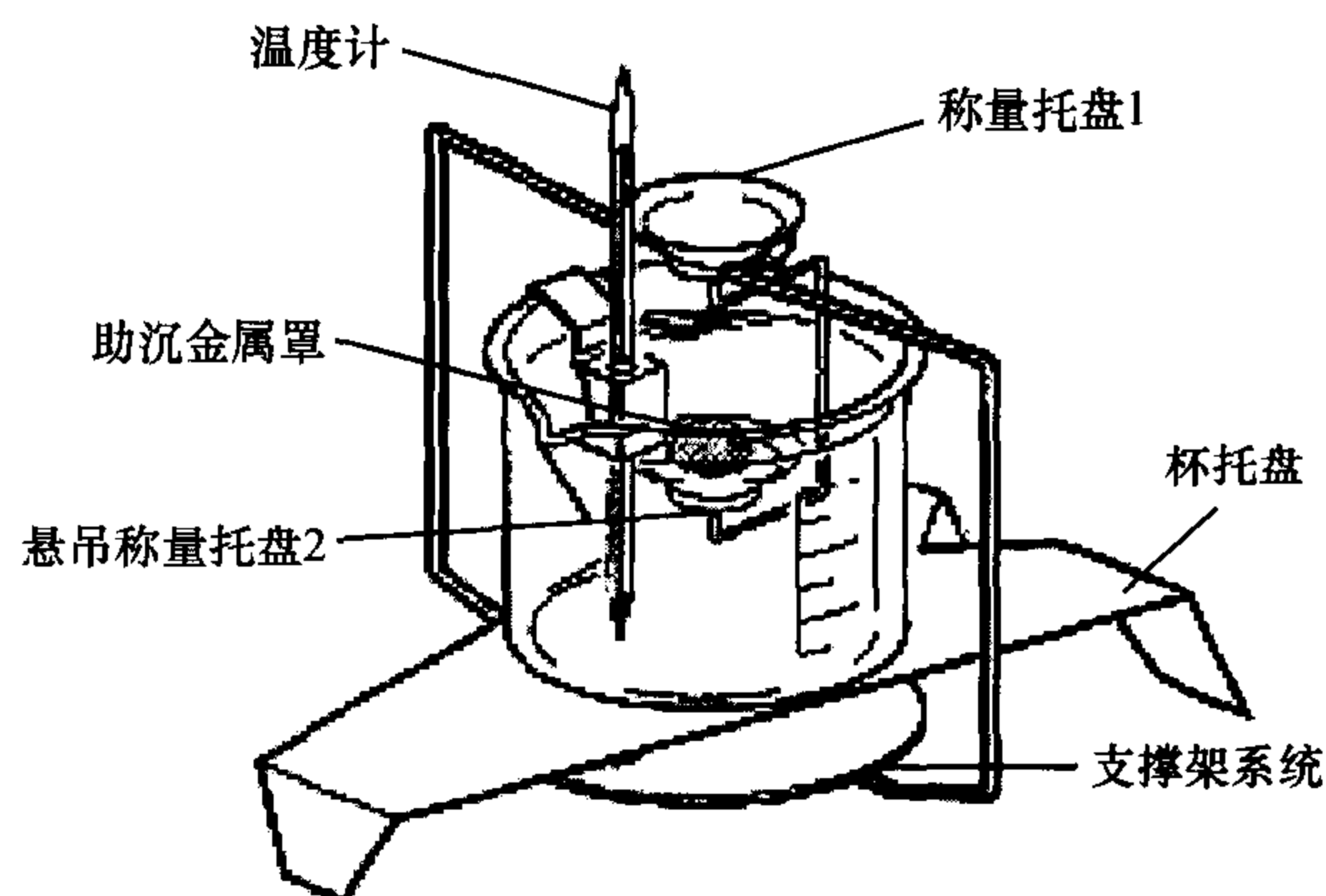


图1 辅助密度测试系统图

Fig. 1 Diagram of the auxiliary system

为了验证提案系统的可靠性,按照木材密度测定方法国家标准(GB1993—2009)制作并测试了试件的密度,所用树种为杉木 *Cunninghamia lanceolata*、樟木 *Cinnamomum camphora*、印茄 *Intsia bijuga* 和铁樟木 *Eusideroxylon zwageri*,试验重复数为 3.同时按

照所提案的测试方法对试样进行了密度测试,首先称量试件在空气中的质量 m_1 ,之后放入助沉罩杯中,立即称量试件在水中的质量 m'_2 ,充分浸泡后称量试件在水中的质量 m_2 ,最后称试件充分浸泡后在空气中的质量 m_3 .称量完毕后,从温度计读出测试时水温为 29 ℃,此温度下水的密度为 0.995 7,分别把测试所得参数代入公式(3)和(4)计算得出密度.

在完成提案系统对规则形状的木材密度测试后,又通过试验验证了提案系统对生长锥取样木材密度测试结果的灵敏度.从广东省乐昌市龙山林场的不同植株杉木的东、南、西、北向进行生长锥取样共 13 个,按照提案方法分别对取样进行密度测定,同时按照百度试验法测试了取样的含水率.

2 结果与分析

采用提案方法测试的密度和完全按照 GB1993—2009 测试的密度数据如图 2 和表 1 所示,对于密度从 0.3 g/cm³(速生杉木)到 1.1 g/cm³(坤甸)内具有规则形状的试件,按照提案方法测试的密度和按照 GB/T1993—2009 方法测试的密度具有非常好的一致性,结果表明提案的方法是有效可行的.如不考虑木材作为多孔材料的吸水性而根据公式(4)进行密

度测试,在实际测试过程中,由于木材的吸水过程的即时发生,特别是低密度的杉木,会导致在记录变化的读数时产生偏差,增加操作难度.在采用公式(4)测算密度时,如果读数判断准确,则公式(4)的测算结果与 GB/T1993—2009 测算的结果更吻合.在采用公式(4)方法进行密度测试的试验过程中发现杉木助沉于水中后,天平的读数会出现先减小后增大的现象,经分析,原因可能为杉木疏松的空隙结构中发生了气和水的交换.

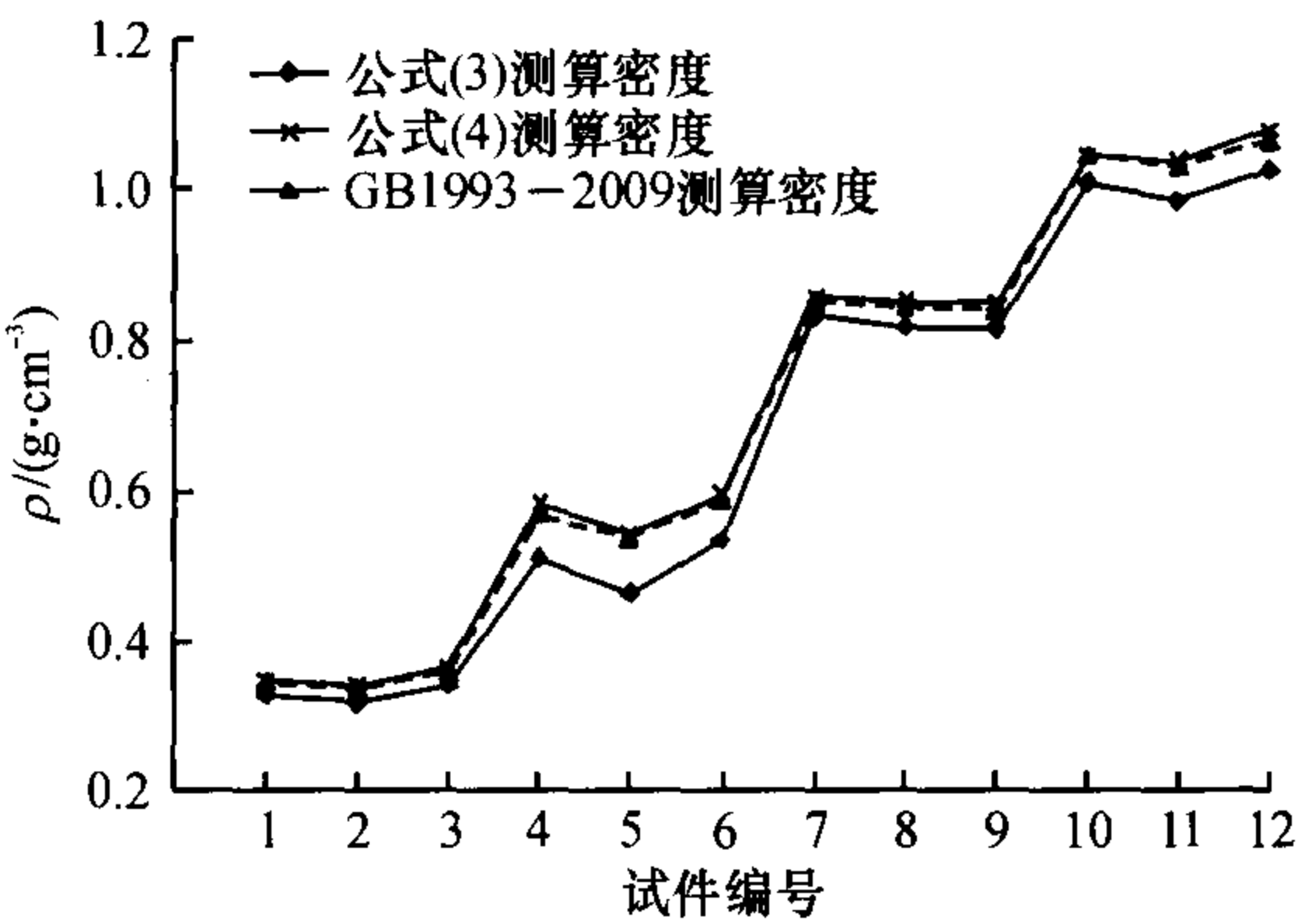


图 2 提案方法与 GB1993—2009 法测试的试件密度比较
Fig. 2 Comparison of the densities measured by the proposed and GB1993—2009 methods

表 1 不同方法测算的试件密度值
Tab. 1 Density values measured by different methods

试件 编号 ¹⁾	$w(\text{H}_2\text{O})/\%$	l/cm	b/cm	h/cm	V/cm^3	m_1/g	m'_2/g	m_2/g	m_3/g	$\rho/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$		
										公式(3)	公式(4)	国标
1	6.92	19.784	19.403	21.104	8.101	2.803 7	-2.685 1	-5.170 6	5.819	0.328 3	0.350 1	0.346 1
2	7.43	19.727	19.279	21.023	7.995	2.703 1	-2.138 5	-5.210 1	6.302 9	0.318 8	0.341 2	0.338 1
3	7.70	19.522	19.811	20.835	8.058	2.901 2	-3.445 5	-5.001 5	4.987 3	0.342 6	0.365 5	0.360 0
4	7.72	19.844	20.078	21.238	8.462	4.819 8	-1.058 1	-3.424 5	8.335 8	0.510 9	0.582 1	0.569 6
5	7.31	19.892	19.944	21.286	8.445	4.513 7	-1.237 0	-3.771 1	8.440 3	0.464 4	0.542 5	0.534 5
6	8.36	19.788	19.845	20.958	8.230	4.851 3	-0.464 6	-3.226 1	8.544 0	0.536 2	0.598 0	0.589 5
7	7.69	19.736	19.722	20.724	8.067	6.852 4	-0.351 4	-1.111 8	7.866 0	1.007 2	1.045 2	1.043 5
8	7.36	19.708	19.711	20.738	8.056	6.770 3	-0.431 5	-1.167 3	7.809 8	0.984 7	1.038 5	1.028 4
9	7.15	19.693	19.653	20.722	8.020	6.713 1	-0.428 6	-1.187 0	7.792 1	1.024 5	1.076 8	1.065 4
10	5.77	19.439	19.311	21.213	7.963	8.309 5	0.619 2	0.393 9	8.834 0	0.830 3	0.856 7	0.849 5
11	5.34	19.436	19.366	21.223	7.988	8.214 9	0.446 6	0.338 4	8.753 6	0.818 0	0.849 3	0.840 4
12	6.01	19.193	19.455	20.958	7.826	8.337 8	0.732 2	0.628 0	8.835 5	0.813 1	0.846 1	0.837 1

1) 试件 1~3 为杉木,4~6 为樟木,7~9 为印茄,10~12 为铁樟木.

根据提案公式(3)和(4)分别对采自广东省乐昌市龙山林场的 13 个生长锥取样进行了密度测试,结果如表 2 和图 3 所示.从表 2 和图 3 中可观察得出,考虑了木材作为多孔材料吸水影响的公式(4)测算的密度具有更集中的分布区间,最值分别为 0.285 5和0.398 8 g/cm³,均值和方差分别为0.355 2和0.001 5 g/cm³.而没有考虑木材作为多孔材料吸水影响的公式(3)所测算的密度分布区间更大,最值分别为0.277 9和0.454 2 g/cm³,均值和方差分别为

0.376 3和0.006 9 g/cm³.虽然生长锥取样植株之间和取样植株内密度均会有差异,但由于取样杉木树龄、抚育措施和立地条件等基本一致,从这一点而言根据公式(4)所测算的密度具有更好的可靠度.在实际的试验过程中也发现,由于生长锥取样表面粗糙且杉木质地疏松导致沉入水中后试样快速吸水,并导致天平读数显示变化较快,读取稳定的质量显示值较困难.试验过程和结果表明,考虑了木材作为多孔吸水材料影响的公式(3)更易于操作,测试结果更可靠.

表2 公式(3)和(4)测算杉木生长锥取样的密度值
Tab.2 Densities of the increment core sampling calculated by formula (3) and (4)

试件 编号	$w(\text{H}_2\text{O})/\%$	m_1/g	m'_2/g	m_2/g	m_3/g	$\rho/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	
						公式(4)	公式(3)
1	12.12	0.262 2	-0.393 9	-0.110 8	0.616 6	0.397 9	0.358 9
2	12.03	0.297 9	-0.355 1	-0.017 6	0.758 2	0.454 2	0.382 3
3	11.87	0.197 8	-0.500 6	-0.158 8	0.474 6	0.282 0	0.310 9
4	11.96	0.274 3	-0.925 7	-0.127 9	0.643 9	0.227 6	0.353 9
5	12.20	0.263 7	-0.353 5	-0.154 4	0.653 3	0.425 4	0.325 1
6	11.94	0.281 2	-0.674 3	-0.129 2	0.693 1	0.293 0	0.340 5
7	12.14	0.311 5	-0.324 2	-0.127 8	0.652 9	0.487 9	0.397 3
8	12.13	0.338 6	-0.428 3	-0.147 5	0.667 6	0.439 6	0.413 6
9	11.98	0.285 3	-0.442 4	-0.129 2	0.664 2	0.390 4	0.358 1
10	11.97	0.237	-0.390 4	-0.032 4	0.708 8	0.376 1	0.318 4
11	11.96	0.308 4	-0.796 6	-0.187 9	0.632 2	0.277 9	0.374 4
12	11.98	0.210 6	-0.364 2	-0.200 1	0.534 3	0.364 8	0.285 5
13	12.02	0.342 5	-0.376 2	-0.038 3	0.816 9	0.474 5	0.398 8
均值						0.376 3	0.355 2
方差						0.006 9	0.001 5

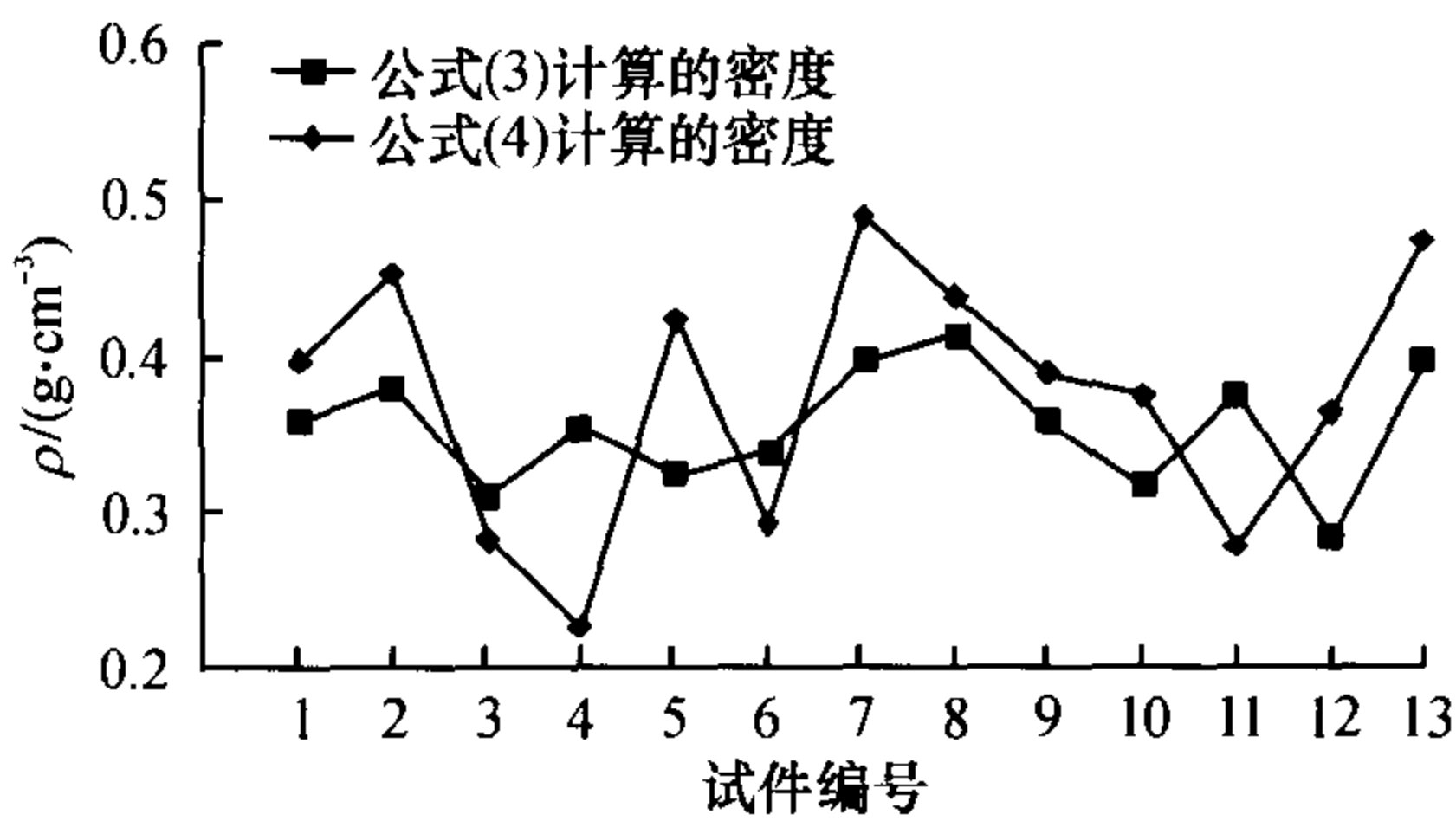


图3 公式(3)和(4)测算的杉木生长锥取样密度比较
Fig.3 Comparison of the densities guided by formula (3) and (4)

3 结论

本文在考虑了木材作为多孔材料吸收水分的基础上基于阿基米德原理利用试验室常用的电子天平提案了流体静力称衡和助沉法相结合测定生长锥取样木材密度的改进方法,结果表明所提案的方法可克服生长锥取样密度测试的困难,测试结果准确可靠.

参考文献:

[1] JIM L B,RUBIN S,JOHN G H. Forest products and wood science[M] 4th edition. 2121 State Avenue, Ames, Iowa, USA. Iowa state press,2003:205.
[2] BERGSTEN U,LINDBERG J,RINDBY A, et al. Batch measurements of wood density on intact or prepared drilled cores using X-ray microdensitometry[J]. Wood Science and Techonology,2001,35:435-452.
[3] COWN J D,CLEMENT B C. A wood densitometer using direct scanning with X-rays[J]. Wood Science and Technology,1983,17:91-99.
[4] PERNESTAL K,JONSSON B. A method for automatic collimator alignment in microdensity measurements[J]. Wood

Science and Technology,1996,30:91-97.
[5] LINDGREN O,DAVIS J,WELLS P, et al. . Non-destructive wood density distribution measurements using computed tomography[J]. Holz Als Roh-und Werkstoff,1992,50(7/8):295-299.
[6] YANG Jun-li, EVANS R. Prediction of MOE of eucalypt wood from microfibril angle and density[J]. Holz Als Roh-und Werkstoff,2003,61(6):449-452.
[7] 国家林业局. GB/T1993—2009 木材密度测定方法[S]. 北京:中国林业科学院木材工业研究所,2009.
[8] BETBAL J S,HARRAR E S. Method of determining specific gravity of small wood samples[J]. Tropical Woods, 1948,93:53-56.
[9] ERICSON B. An immersion method for determining the wood density of increment core sections[R]. Uppsala, Sweden: Forest Research Institute of Sweden, Department of Forest Yield Research, Reports No. 1,1959:1-30.
[10] FIKRET I,BAILIAN L. Rapid assessment of wood density of live trees using the resistograph for selection in tree improvement programs[J]. Can J For Res,2003,33(12):2426-2435.
[11] MITCHELL H L, Wood quality evaluation from increment cores[J]. Tappi,1958,41(4):150-156.
[12] MARKWARDT L J,PAUL B H. Methods for determining the specific gravity of wood and wood based materials[G] // Amer. Soc. Testing Mater. Proceedings: Vol. 46. Philadelphia: Amer. Soc. of Testing Mater. ,1946:1520-1539.
[13] SMITH D M. Maximum moisture content method for determining specific gravity of small wood samples[R] // United States Depart. of Agriculture. Forest Service, Forest Products Laboratory Rept: No. 2014. Madison, USA: United States Depart. of Agriculture,1954:1-8.

【责任编辑 李晓卉】