

MWMY 型木材微密度测定仪的研制

管 宁

(中国林科院木材工业研究所 北京 100091)

曲竞赛

王艳君

(北京科信机电技术研究所 北京 100026) (中国林科院木材工业研究所 北京 100091)

摘要 为开拓木材密度变异性的研究,中国林科院木工所与北京科信机电技术研究所合作研制成功了MWMY型木材微密度测定仪。本文报道了研制中解决的主要技术问题,包括仪器选型、总体布局、光栏、测量系统标定、微密度测定方法、软件系统和精度考核等项。测量精度与国外类似试验装置水平接近,在光栏结构、软件设计、质量衰减系数标定和试样制作工具方面有所创新。

关键词 木材;微密度测定仪

1 简介

木材微密度测定(wood densitometry 或 wood microdensitometry)是本世纪60年代兴起的一项重要的木材材性测定技术。木材密度是公认的最重要的木材材性指标之一。传统的木材密度测定方法是直接测出木材试样的体积和重量,算出密度数值(以下简称直接测定法)。木材微密度测定则是根据物质受到射线辐照时,不同密度物质使射线强度衰减程度不同的原理,在比直接测定法狭小得多的范围内测定木材的密度。其特长是通过逐点测量,较为精细地显示出木材不同部位间密度的变异。直接测定法可以测出年轮之间的密度变异;但要再进一步测定年轮内密度的变异则有很大困难。应用微密度法,则可以较高的精度和效率测出年轮之间和年轮内的差异。在研究木材由髓心至树皮间的径向密度变异时,不仅可以提供每个年轮的平均密度,而且还可提供早、晚材平均密度和年轮内密度最大、最小值等一系列密度分量(density components),使研究深入一步。此项技术在国外已用于多项研究;国内用此项技术

开展的材性研究至今基本上还是空白。国外的木材微密度仪也多是由用户购置通用仪器和零部件自行组装,市场上未见有直接扫描型式的定型产品。

为了满足树木材质改良对开展木材株内和年轮内材性变异研究的迫切需求,中国林科院木材工业研究所和北京科信机电技术研究所合作进行了MWMY型木材微密度测定仪定型产品的研制。本文报道研制过程中解决的主要技术问题。

2 仪器类型选择

60年代以来,国外已有几种不同类型的木材微密度仪问世。木材微密度仪所用射线有 β 射线和X射线两种。早期仪器曾用过 β 射线,后为X射线所取代,Polge^[1]和Harris^[2]等已有论述。本仪器选用X射线。

木材微密度仪的测量过程可分为两种:一种是以X射线束对试样进行扫描,以探头直接接收射线进行测量;另一种是先以X射线对试样进行摄影,然后对胶片进行光密度扫描。Hoag^[3]曾对两种方法进行比较分析。本仪器采用直接接收射线的方式,主要理由是,摄影和光密度扫描的方法比直接接收射线多了摄影、冲洗胶片等环节,而在这些环节

收稿日期 1994-05-03

* 本研究系世界银行贷款国家造林项目科研推广计划木材材性课题的一部分。

将引入胶片质量、暗室条件、冲洗质量等方面的误差。从我国具体情况看,这些环节达到较高精度难度较大。

X 射线微密度计的射线源又有 X 光管和同位素源两种。X 光管的优点是易于获得强度较大的射线,对提高测定精度和效率有利;缺点是欲获得强度稳定的射线,X 光管的电源必须有价格昂贵的高性能的稳压系统。同位素源虽然射线强度较小,但其稳定性好,且结构简单。在我国情况下,这些优点尤显重要。参考 Cowan^[4]的仪器和 Olson 等^[5]对最佳放射源能量的理论分析和梁景森等^[6]的试验结果,选定⁵⁵Fe 为放射源。

3 仪器的总体布局

仪器由以下主要部分构成(图 1)。

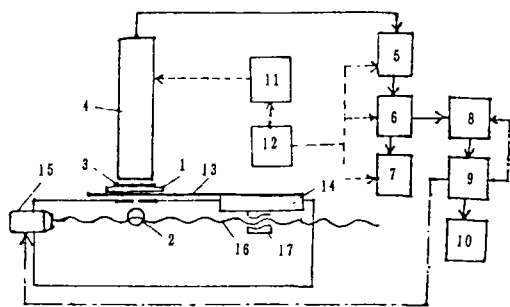


图 1 仪器总体布局示意图

图中:—→信号传递;—·—→控制;---→供电

3.1 放射源

同位素源放置在位于木材试样 1 下方的放射源库 2 中。不进行测量时,同位素源处于厚壁钢制壳体深部;开始测量前可方便地推到工作位置。源库的防护性能经放射卫生防护部门鉴定合格。

3.2 射线测量系统

放射源前端工作位置上设光栏 3,使射线在狭小范围内穿过试样进入探头 4,其输出信号经线性放大器 5 和单道分析器 6,可由自动定标器 7 直接显示,也可通过接口板 8 进入微机 9,进行数据采集和处理,结果可通过屏幕显示或由打印机 10 输出。测量系统由高压电源 11 和低压电源 12 供电。

• 20 •

3.3 试样送进系统

木材试样装在托板 13 上,托板固定在试样台 14 上,试样台由步进电机 15 通过精密丝杠副 16、17 驱动,由微机控制,实现射线对试样的扫描。

试样送进可以是等延时的,即每一步停下来测量的时间相等。这种方法的缺点是密度变异较大的试样,不同的测量点延时相等,计数值将有很大差异,随之各点的测量精度也将差异较大,计数率偏低处测量精度较低。为解决此问题,本仪器设定一个最小计数水平,通过计算机控制,在计数率较小的点自动延长测量时间,使计数值不低于最小计数水平,以保证计数率较小的点的测量精度。

3.4 微机及应用控制软件系统

采用通用 286 微机,编制了专用软件。仪器还配备有专用的试样制作工具,可简易地制出厚 1mm 左右,厚度偏差不大于 0.01mm 的试样。

4 光栏

光栏的作用是限定通过木材试样进入探头的射线束的形状,是决定仪器精度和效率的一个关键部位。射线束断面尺寸(主要是其在扫描方向上的宽度)越小,对于密度变异的分辨能力越强,对提高测量精度有利;但在放射源活度不变的情况下,如果通过减小光栏狭缝来减小射线束的断面,则将使计数率减小。统计物理学证明,射线强度计数值固有的统计误差与其平方根成反比。所以,计数率减小,在测量延时一定的条件下,计数值将减小而使统计误差增大,使测量精度降低;如欲使计数值增大,保持原有测量精度,则需加长延时,这样又会使工效下降。微密度仪光栏的评价原则应是在获得较窄的射线束的同时,又有较大的计数率。

光栏的通常形式是以两个等宽狭缝将射线准直成平行光束通过试样。本仪器设置了一种特殊结构的光栏,可在不改变通过试样的射线宽度的条件下,使计数率增大近一倍。

以此种光栏和通常形式光栏分别对四个树种(红松 *Pinus koraiensis*、落叶松 *Larix* sp.、山杨 *Populus davidiana*、水曲柳 *Fraxinus mandshurica*)的六种年轮宽度和构造不同的木材试样的五个主要密度分量进行了测定和对比,每个试样重复测五次。两种光栏测得的三项平均值和最小值之差在所有的情况下都未超过 $0.01\text{g}/\text{cm}^3$,最大值之差未超过 $0.02\text{g}/\text{cm}^3$ 。

5 测量系统的标定

微密度测量是一种相对测量。为得出密度值,须进行标定。Cowm^[4]和 Choi^[7]报道过以直接测定法测得密度的试样进行射线扫描求出表征材料特性的参数——质量衰减系数的标定原理。此原理的根据是公认的公式

$$I = I_0 e^{-\mu x} \dots\dots\dots (1)$$

式中: I 为穿过试样后的射线强度; I_0 为未穿过试样的射线强度; μ 为质量衰减系数; ρ 为木材密度; t 为试样厚度。

基本方法是以测得的 I 、 I_0 、 ρ 、 t , 求出 μ 。本仪器研制中,参照此原理建立了质量衰减系数标定的方法步骤。此问题将有专门报道,此处从略。

6 微密度测定方法

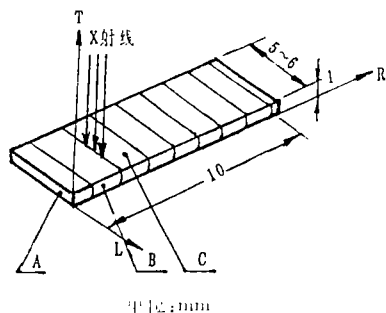


图2 取样示意图

取样方法如图2所示,试样宽度5~7mm,厚度1.0mm,长度根据试验材料的具体情况决定,超过12cm者可以分段测量。按操作者指定的步距和需达到的最小计数水平进行扫描测量,在试样前后,取若干个点的

I_{oi} , 求出平均值 $\bar{I}_o$, 按下式计算出试样第 i 个点的密度值。

$$\rho_i = I_n \left(\frac{\bar{I}_o}{I_i} \right) \mu \cdot t \dots\dots\dots (2)$$

测出一系列测量点的密度以后,需进一步进行数据处理,其主要问题是划分早晚材。已报道的方法主要有两种:一种是根据木材解剖学的早晚材定义,根据具体的树种,确定一个早晚材分界处的木材密度值,然后按此指定密度值划分早晚材;另一种是以年轮的密度最大和最小值的中值作为划分早晚材的界限。这两种方法应当可以互相补充,适当地分别用于不同的具体情况。例如第一种方法,从原理上,根据较为确切,但如果不同年轮的密度平均值变异较大(例如一些针叶树的幼龄期中,木材密度随树龄有显著变化)。统一地给出一个用于所有年轮的早晚材界限是不合理的;而分年轮给出各自的界限又过于繁琐而难以实现。第二种方法含义的确切程度不如第一种,但其基本含义也是将密度较大的部分与密度较小的部分分开,而且对于上述第一种方法不易实施的情况,显得更为适当。本仪器的程序设计使两种方法都可以运行,由操作者根据具体情况选择。考虑到有些树种年轮界限都是不清楚的,除上述两种主要方法外,还设置了第三种方法,即不划分年轮,而将试样从髓心到树皮等分为若干段进行处理。

7 应用控制软件系统

软件系统用 MICROSOFT C6.0 语言编写,包括步进电机运行方面的扫描启动,扫描步距控制,按最小计数水平控制测量延时,自动返回起始位置和微密度数据处理方面的数据采集,图形显示,早晚材和年轮划分,统计计算,差错纠正,以表格或图形显示结果,结果存储以及本底(无射线照射时探头显示的计数)测量,质量衰减系数标定等多项功能穿插配合,充分满足了微密度测定过程多方面的要求。

8 仪器的精度考核

木材微密度仪国内外目前还没有公认的精度标准。已见的文献中关于木材微密度仪的考核有两方面内容：①以微密度法测得的试样平均密度值与该试样用直接测定法测得的密度值进行比较，考查其变异^[7,3,8]。②对同一试样重复测出密度变异图形，通过目测比较，考查其差异^[7,9]。本仪器的精度考核参考上述经验从以下三方面进行。

8.1 微密度法与直接测定法结果的差异

从落叶松、山杨和水曲柳三个树种的不同树株取样，以每个树种三个试样，精确测出体积和重量，根据已知密度进行质量衰减系数的标定，每个试样重复5次，测量延时2 sec，扫描步距0.1mm。结果是，除水曲柳一个试样重复标定的变异系数为1.14%外，其余都在1%以下，准确指数均不超过1%。将各树种的平均值作为质量衰减系数的标定值。再用与上述标定试样在相同环境中达到平衡含水率的其他试样(3个树种共12个)，也先直接测定密度，然后进行微密度测定，最小计数水平600，步距0.05mm，按上一步所得衰减系数标定值，求出试样的平均密度。两种测定方法所得结果的差值最大未超过0.015g/cm³，12个试样有10个未超过0.01g/cm³，最大相对差值未超过4%，大部分在2%以下。

Hoag 1988年^[3]报道的微密度仪，进行了6个试样的比较，此项差异在0.03g/cm³以下；1991年^[8]报道的另一仪器，此差异为±0.01g/cm³；Choi 1987年^[7]报道的仪器为±3%~5%；中国林科院1982年引进的德国克劳迪茨研究所研制的刨花板微密度仪，原理与本仪器相似，此差异为±5%。本仪器此项考核结果应认为与国外类似仪器差别不大。

作为参考，还将落叶松一个试样的两个年轮先进行微密度测定，绘出密度变异图形。然后，沿扫描方向已测了微密度的两个年轮部位，用解剖刀切若干次，每次切下尽量薄的一片，切口尽量与扫描方向垂直，每切下一片后，测出试样剩余部分的体积和重量，计算出

该小片的密度值，也绘出密度变异图形。由于切开时很难保证各切口与扫描方向严格地垂直，所以每一小片的密度测定值必有一定的误差。但是，由图3所见，两种方法所得的变异图形是基本吻合的。与前述试样平均密度相吻合的情况结合考虑，可以肯定，以适当方法进行标定，微密度法与直接测定法是同样有效的。

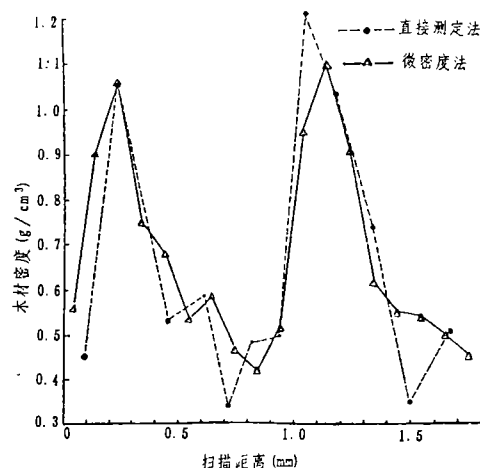


图3 微密度法与直接测定法密度变异图形的比较

8.2 重复测定的微密度图形差异

在精度考核的多次测定中，试样重复测定所得的密度变异图形未见有较大差异。图4(a)和(b)是落叶松试样两次重复测得的密度变异图形，步距0.05mm，最小计数水平600，是考核中差异较显著者。可以看出，图形的细节有一定差异，但基本形状和基本变异表现则一致，与Choi^[7]报道的结果水平接近。

8.3 密度分量重复测定结果的变异

以上对密度图形变异考核是比较粗略的。为了进一步显示此种变异，对四个树种的六种年轮，以步距0.05mm，最小计数水平600，各进行10次重复测定，对本仪器提供的各密度分量的变异进行了考查。结果表明，较宽的年轮，表现出的变异较小。五个密度分量中，早、晚材和年轮平均密度的变异较小，绝大部分在1.5%以下；密度最大值和最小值的变异系数则较大：最大值2%~3%，最小

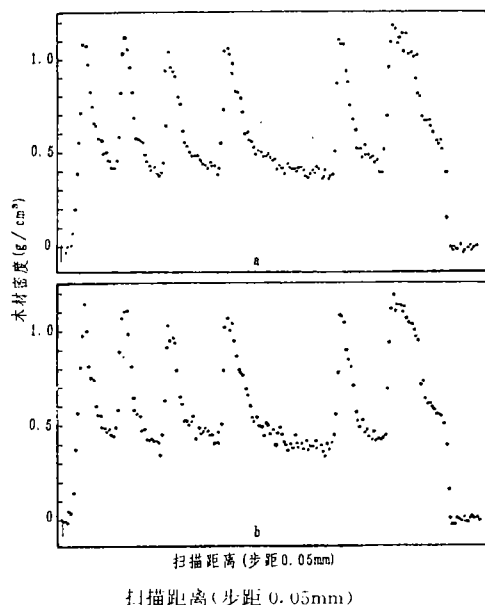


图4 重复测定所得的密度变异图形

值3%~5%。这显然是由于前三者是一定数量测量点的表现。而后二者是个别测量点的表现。而且,由于木材构造的不均匀性和不连续性,单个测量点的微密度值本身就有相当大的不确定性。因此,从木材固有的特性看,前三个密度分量也是具有较大确定性和代表性的。以上微密度测定所用试验条件是比较用的,如有取得更精确结果的必要,还可选用更严密的条件,如设定较高的最小计数水平,进行重复测定取平均值等,但测定工效会有相应的下降。

9 参考文献

- 1 Polge H. Fifteen years of wood radiation densitometry. *Wood Science and Technology*, 1978, 12: 187~196
- 2 Harris J, Polge H. A comparison of X-ray and beta ray techniques for measuring wood density. *Journal of the Institute of Wood Science*, 1967, 19: 34~42
- 3 Hoag M, McKim M D. Direct scanning X-ray densitometry of thin wood sections. *Forest Products Journal*, 1988, 38 (1): 23~26
- 4 Cown D, Clenent B C. A wood densitometer using direct scanning with X-rays. *Wood Science and Technology*, 1983, 17: 91~99
- 5 Olson J R, Liu C J, Tian Y, Shen Q. Theoretical wood densitometry II. Optimal X-ray energy for wood density measurement. *Wood and Fiber Science*, 1988, 20(2): 187~196
- 6 梁景森、管宁. 不同 X 射线源测定木材微密度的研究. *木材工业*, 1990, 4(4): 33-37
- 7 Choi A S C. Correlation between mechanical strength of wood and annual ring characteristics in Douglas-fir juvenile and mature wood. A thesis for degree of M. S., Oregon State University, 1987
- 8 Hoag M L, Krahmer R L. Polychromatic X-ray attenuation characteristics and wood densitometry applications. *Wood and Fiber Science*, 1991, 23(1): 23~31
- 9 Heger L, Parker M L, Keunedy R W. X-ray densitometry: A technique and an example of application. *Wood Science*, 1974, 7(2): 140~148

Development of MWMY Wood Densitometry

Guan Ning

(The Research Inst. of Wood Industry, CAF Beijing 10091)

Qu Jingsai

(Beijing Kexin Inst. of Mechanical and Electrical Techniques, Beijing 10026)

Wang Yianjun

(The Research Inst. of Wood Industry, CAF Beijing 10091)

Abstract For filling the room in China of the research on wood density including the differences within annual rings, a wood densitometer MWMY was built by the Research Institute of Wood

(下转第 30 页)

术,锯条加热适张度技术,整料机,锯材标准下锯图,原木划线,激光投影等技术、设备和装置。对制材工艺生产线进行了改造。实践结果,效益明显,大大提高了锯材产品质量。锯材一次合格率由原来的70%提高到84%^[4],特、一等锯材产品率达到48.2%。制材车间改造后,工厂获纯利超过6万元/季,仅一年就收回了改造所用的全部投资。

2.4 发展锯材产品包装 锯材产品包装是锯材产品后期处理的重要工序,锯材产品包装通常是用塑料包装带或防雨纸带和铁皮扣,通过打包机,对相同树种、材种、等级、规格的锯材进行打件包装。每件锯材材积至少在0.2m³以上,为便于装、卸和运输,每件中锯材材长要一致。

锯材产品包装有明显的经济效益和社会效益。据大连、青岛1987年9月在港口对锯材打捆包装运输总结资料,按350万 m³锯材运量计算,铁路运输减少木材损失1%。水运减少木材损失4%,减少车皮7500个,可多运37万 m³木材。特别是锯材产品包装可缩短装卸时间,提高车、船的装卸效率和装载量,货场利用率提高3.1倍。另据图们制材厂1989年锯材打捆包装统计^[5],在储存过程中,散放锯材翘曲变形占实测总材积的23%,而包装后的锯材翘曲变形只有5.7%,减少了17.3%;在装、卸、运过程中,散装锯材破损折断占锯材材积的5%,而打捆包装后减少到1%。

按该厂打捆包装统计资料计算,目前全国每年生产锯材1600万 m³,板材占70%,包

装数量为1120万 m³,平均售价按800元/m³计算,每年可挽回储存损失15.5亿元,装、卸运输损失3.584亿元,合计全国每年可挽回锯材储存和装、卸运输损失达19亿多元,潜力是十分可观的。

目前,外销出口锯材已普遍采用产品包装,内销锯材由于制材厂缺乏技术要求和保管不完善,锯材产品包装尚未普遍采用。

今后应加强制材厂科学管理,制订必要的规章制度,加强技术交流,切实把锯材产品包装这一行之有效的技术措施在全国各制材厂普遍推广。

3 结束语

综上所述,振兴国营大、中型制材企业,关键是发展社会主义市场经济,围绕转换企业经营机制这个中心,强化技术管理,加强职工培训和人材培养,才能不断增强企业的活力和发展后劲。

4 参考文献

- 1 乔境. 转换企业经营机制,把森工企业推向市场. 中国林业企业,1993,创刊号,14
- 2 高家炽主编. 制材工艺与设备. 东北林业大学出版社. 1993,67
- 3 丁廷文. 小径木的制材方法与工艺. 林业科技,1990,(3):35
- 4 杨坤等. 集中应用制材科技成果经济效益分析. 林业科技,1990,(5):46
- 5 梁德君. 包装技术在锯材产品中的应用. 林产工业,1990,(2):35

(上接第23页)

Industry, CAF, and the Beijing Kexin Institute of Mechanical and Electrical Techniques. The main problems resolved in the research and manufacture work for the densitometer were reported, involving instrument selection, overall design, aperture structure, calibration of measuring system, determination of microdensitometrical characteristics, software design, and accuracy evaluation. The measuring accuracy of the MWMY densitometer proved to be at the the same level as that of similar foreign devices. Several creations were made relative to the aperture, software, calibration, and wood sample making.

Keywords Wood; Densitometer