

不同x射线源测定木材微密度的研究*

梁景森 管宁

(中国林业科学研究院)

摘要 本文比较分析了三种x射线源(^{55}Fe 、 ^{238}Pu 和x光管)对木材进行微密度测定的精度,并对不同树种木材的质量衰减系数进行了测定和研究。

关键词 x射线法微密度测定;木材密度;木材密度变异;微密度特性;质量衰减系数

一、前言

密度是木材物理力学性质最重要的指标之一。木材的微密度(microdensity)是指木材的很窄小范围内的密度。微密度测定(microdensitometry)主要是为了考察年轮内和年轮间密度的差异。木材微密度特性为研究树木生长过程对木材性质的影响,对培育既速生而又材质合用的用材林是必不可少的。同时,对气候学、树木年代学的研究亦具有重要的意义。

x射线法微密度测定的基本原理是以x射线透射木材,测出窄小范围内透过试样前后射线强度的变化,推算出木材的微密度。此项技术创始于本世纪六十年代初^[4],方法是木材试样进行x射线透视摄影,然后对底片进行光密度扫描分析,测出微密度,后来又出现了用探头直接接收透过试样的射线,按其强度,推算出微密度的方法^[5],所用的x射线源有x光管和放射性同位素两种类型。

近年来,微密度测定技术开始引进我国,但国内尚不能生产微密度测定仪,使此项重要技术的推广受到限制,为了给研制和运用微密度测定仪提供依据,本文对三种x射线源的密度测定精度进行了比较分析,并研究了不同树种木材质量衰减系数的变异。在已见的文献中,这些问题的研究尚不充分。

本文于1990年1月31日收到。

*此项研究承蒙中国林科院木材工业研究所李源哲研究员指导,中国原子能科学研究院刘永辉、戚大海、李泽同志参加试验工作,特此致谢。

二、材料和方法

(一) 试验材料和试样

试验材料为密度差异较显著四个树种:红松(*Pinus koraiensis*)、杨木(*Populus sp.*)、桦木(*Betula sp.*)、和高山栎(*Quercus aquifolioides*),从每种材料的边材、心材不同部位各取四块试样。试样尺寸如图1所示。试样为长方体,接受射线透射的面为弦切面,长度方向与木材纹理方向平行,目的是使试样在长度和宽度方向不同部位的密度尽可能均匀一致。全部试样详情见表1。

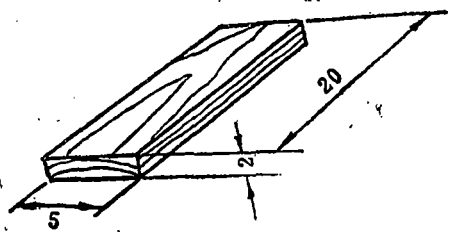


图1 试样的外形及纹理方向

(二) x射线源

选定了三种x射线源: 1) ^{55}Fe , 单能, 能量5.9keV; 2) x光管, 铜靶, 经单色化和准直, 能量8.04keV, x光机为日本岛津公司产品, 具有精密稳压系统; 3) ^{238}Pu , 多能, 能量范围13—20 keV。

(三) 试验装置

图2为试验装置示意图。x射线源产生的x射线

表1 试样详情记录

代号	树种	株号	部位	厚度 (cm)	重量 (g)	试样平均 密度 (g/cm ³)
1—1	红松	1	边材	0.212	0.191	0.407
1—2	红松	1	心材	0.206	0.191	0.419
1—3	红松	2	边材	0.203	0.171	0.377
1—4	红松	2	心材	0.197	0.183	0.427
2—1	杨木	1	边材	0.203	0.185	0.412
2—2	杨木	2	心材	0.211	0.195	0.423
2—3	杨木	2	心材	0.209	0.228	0.499
2—4	杨木	2	心材	0.213	0.264	0.570
3—1	桦木	1	边材	0.225	0.325	0.659
3—2	桦木	1	心材	0.205	0.309	0.688
3—3	桦木	2	心材	0.202	0.259	0.590
3—4	桦木	2	心材	0.205	0.285	0.642
4—1	高山栎	1	心材	0.185	0.484	1.199
4—2	高山栎	2	边材	0.224	0.445	0.893
4—3	高山栎	2	边材	0.207	0.433	0.941
4—4	高山栎	1	心材	0.198	0.485	1.118

先经特制的狭缝限宽和准直, 穿透试样后被 α 射线正比管记录, 输出的脉冲信号经前置放大器和线性放大器放大, 设置适当的单道脉冲分析器能量窗, 选出所需的 α 脉冲信号, 由自动定标器记下计数率, 即射线的强度。狭缝宽度, 用 ^{55}Fe 和 ^{238}Pu 源时为1mm, 用 α 光管时为0.25mm。

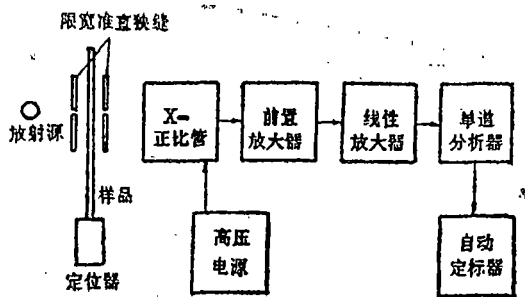


图2 试验装置示意图

(四) 质量衰减系数的测定

每个树种取三块试样, 每块试样从距端头4mm处开始, 每隔3mm取一个测试点, 共五个测试点, 依次在各测试点处, 用 α 射线透射, 测出射线在透过试样前后的强度变化。

α 射线与物质作用, 强度的衰减公式为

$$I = I_0 e^{-\mu_m \rho t} \quad (1)$$

式中: I_0 为 α 射线入射强度, I 为 α 射线穿透物质而衰减后的强度; ρ 为与 α 射线作用的物质的密度; t 为

该物质的厚度; μ_m 为质量衰减系数。认为同一试样各测试点处的厚度、密度及质量衰减系数相差很少, 则成立

$$\bar{\mu}_m = \frac{1}{n \bar{\rho} \bar{t}} \sum_{i=1}^n \ln \frac{I_0}{I_i} \quad (2)$$

式中: $\bar{\mu}_m$ 为样品的平均质量衰减系数; I_i 为第 i 个测试点处 α 射线透过试样后的强度; $\bar{\rho}$ 为试样的平均密度; $\bar{t}$ 为试样的平均厚度; n 为测试点数。根据此式算出每个试样的平均质量衰减系数。

(五) 密度的测定

用称重法测得的试样在含水率8%时的密度作为样品的平均密度。

微密度的测定方法是在含水率为8%条件下, 每个树种以一块试样, 从距端头4mm处开始每隔1.5mm取一个测试点, 共十个测试点依次进行 α 射线透射, 测出透射前后的射线强度, 根据下式算出各测试点处的微密度

$$\rho_i = \frac{1}{\bar{\mu}_m(\text{mean}) \bar{t}} \ln \frac{I_0}{I_i} \quad (3)$$

式中 ρ_i 为第 i 个测试点处的微密度, $\bar{\mu}_m(\text{mean})$ 为试样所属树种由前述三块样品测得的平均质量衰减系数的平均值。

三、结果与讨论

(一) 质量衰减系数的变异

表2列出了质量衰减系数的测定结果, 数据的方差分析结果见表3。

由表3可见, 用 ^{55}Fe 为 α 射线源时, 树种间的质量衰减系数表现出显著差异, 而用 α 光管和 ^{238}Pu 为 α 射线源时未表现出显著差异。试样间(包括株间和株内不同部位)的质量衰减系数, 用 ^{55}Fe 和 α 光管时, 均表现出特别显著的差异, 而用 ^{238}Pu 时, 未表现出显著差异。这表明, 不同树种间和同一树种内木材的质量衰减系数均存在一定的差异。用不同的 α 射线源时, 差异的显著程度不同, 这主要是由于用不同 α 射线源时测定精度不同所致。由表2可见, 用 ^{55}Fe 为 α 射线源时各测试点测定结果的变异系数较小; 用 α 光管时多数情况下的变异系数较用 ^{55}Fe 时大; 用 ^{238}Pu 时的变异系数则显著大于前二者。这表明, 对测定精度要求较高时, 树种间和树种内的质量衰减系数的变异是值得注意的。

质量衰减系数的变异是由木材元素组成的变异所造成的。质量衰减系数一方面与射线的能量有

表2 质量衰减系数的测定结果

树 种			红 松			杨 木			桦 木			高 山 栎		
样 品 号			1-1	1-2	1-4	2-1	2-2	2-4	3-1	3-3	3-4	4-2	4-3	4-4
质量衰减系数 (cm^2/g)	55Fe	平均值	17.140	17.211	17.329	17.399	18.165	18.319	17.907	18.110	18.141	18.226	19.098	18.269
		标准差	0.129	0.244	0.280	0.106	0.199	0.174	0.269	0.493	0.101	0.157	0.166	0.160
		变异系数 (%)	0.75	1.43	1.62	0.61	1.10	0.95	1.50	2.72	0.56	0.86	0.87	0.88
	x光管	平均值	7.532	7.087	7.428	7.292	6.962	7.694	6.910	8.405	7.573	7.682	8.047	7.542
		标准差	0.068	0.135	0.111	0.079	0.116	0.085	0.100	0.223	0.062	0.116	0.159	0.041
		变异系数 (%)	0.90	1.90	1.49	1.08	1.67	1.10	1.45	2.65	0.81	1.51	1.98	0.54
	238Pu	平均值	1.324	1.318	1.263	1.268	1.324	1.319	1.299	1.311	1.291	1.329	1.367	1.268
		标准差	0.052	0.049	0.074	0.086	0.074	0.050	0.043	0.055	0.055	0.065	0.040	0.029
		变异系数 (%)	3.92	3.72	5.86	6.78	5.59	3.79	3.31	4.20	4.26	4.89	2.93	2.29

表3 质量衰减系数的方差分析结果

放射源	变异来源	平方和	自由度	均方	F值	显著性
55Fe	树 种 间	13.072	3	4.357	6.836	•
	试 样 间	5.1	8	0.637	9.582	••
	测试点间	3.193	48	0.067		
	合 计	21.365	59			
x光管	树 种 间	2.085	3	0.695	0.68	
	试 样 间	8.173	8	1.022	59.044	••
	测试点间	0.831	48	0.017		
	合 计	11.089	59			
238Pu	树 种 间	0.004	3	0.001	0.252	
	试 样 间	0.047	8	0.006	1.379	
	测试点间	0.203	48	0.004		
	合 计	0.254	59			

• —0.05水平显著, •• —0.01水平显著

关,另一方面则与作用物质的原子序数有关。Fengel等^[2]和Hagglund^[3]发表的几种针叶树材的数据表明,不同树种木材的元素组成存在一定的变异。而且不同树株和株内不同部位的元素组成亦不会完全均匀一致,因此,质量衰减系数的变异是合乎规律的现象。

(二)微密度及影响其测定精度的因素

表4列出了微密度的测定结果。各试样十个测试点处测得的微密度。平均值与称重法测得的试样平均密度基本吻合,只有桦木试样差异稍大;同一试样各测试点处测得的微密度值有一定的变异,变异系数在0.5~6%之间。差异的主要来源是:

1. 试样制作和测量的误差及木材本身的不均匀性。试样在取样、加工和测量等环节上力求准确,

不同部位厚度的差异不超过0.03mm,但各环节上不可避免仍有一定的误差,而且由于木材本身的不均匀性,各测试点处实际的微密度不会完全一致。微密度的平均值与试样平均密度在多数情况下差异不大,同一试样各测试点微密度值在多数情况下变异也不大,表明本试验中有关试样的误差基本上得到了控制。要实现精确的微密度测定,必须尽可能提高试样特别是标定仪器用的已知密度样品的精度。Moschler等^[6]研究了精确加工试样的技术,具有重要的意义。

2. 质量衰减系数的估计误差。微密度计算中代入的质量衰减系数,是由同种木材另外三块试样测得的质量衰减系数的平均值。就所用材料而言,这样的估计是较精确的,但质量衰减系数的测定中仍有一定误差,而且同一种树种不同试样间和同一试样不同的测试点间的质量衰减系数也不会完全一致。微密度测定结果表明,这部分误差也基本上得到了控制。在微密度测定中,合理确定质量衰减系数,使之与试样实际的质量衰减系数尽可能接近,是保证测定精确的重要环节。Cown等^[7]认为对每批试材都要测定其质量衰减系数以尽可能减小各种误差。这样的考虑还是很有必要的。

3. 测量系统的误差。测量系统的误差一方面是统计误差,是此种测量方法固有的。统计物理学已证明,对一个计数率 I ,其统计误差为其本身的 $\frac{1}{\sqrt{I}}$ 。另一方面则是仪器系统中的误差。在不放试样或试样对 α 射线源的位置保持不变的情况下,多

表4 微密度测定结果

x射线源	树 种	试 样 号	质量衰减系数 (cm^2/g)	试样平均密度 (g/cm^3)	微密度 (g/cm^3)			统计误差 (%)
					平 均 值	标 准 差	变异系数 (%)	
^{55}Fe	红 松	1—3	17.227	0.375	0.379	0.0029	0.85	0.5
	杨 木	2—3	17.961	0.496	0.499	0.0025	0.5	0.7
	桦 木	3—2	18.053	0.687	0.668	0.0119	1.8	0.9
	高山栎	4—1	18.531	1.169	1.141	0.0067	0.6	1.8
x光管	红 松	1—3	7.349	0.371	0.360	0.0079	2	1.0
	杨 木	2—3	7.314	0.491	0.498	0.0052	1	1.2
	桦 木	3—2	7.629	0.677	0.651	0.0108	1.6	1.4
	高山栎	4—1	7.757	1.165	1.168	0.0116	1.0	1.8
^{238}Pu	红 松	1—3	1.301	0.371	0.380	0.0250	6	1.0
	杨 木	2—3	1.304	0.491	0.491	0.0144	2.9	1.0
	桦 木	3—2	1.300	0.677	0.659	0.0173	2.6	1.0
	高山栎	4—1	1.321	1.165	1.150	0.0148	1.2	1.1

注：因试验过程中环境条件变化，对试样平均密度进行了修正，故平均密度值略有变化。

次测得射线强度均有一定的变异，并较统计误差为大，说明仪器系统存在一定的误差。测定结果多数情况下较好，表明测量系统的误差不大。本试验所用的测量系统全部由国产通用仪器组成，试验结果表明，用现有国产仪器组成测量系统，达到一定的精度要求，实现有效的测定是可能的。

4. x射线源能量。尽管测定中存在多方面的误差，不同x射线源测定不同样品时的统计误差也不一致（在表4中列出），但由不同x射线源测得的各测试点微密度值的变异系数仍可明显看出用 ^{55}Fe 和x光管比用 ^{238}Pu 时测量精度高。其原因主要是x射线的能量不同。Olson等^[7]的研究证明，对一定的木材试样，存在一个最佳x射线能量。射线能量越接近此最佳能量，射线的分辨率（指区分较高和较低密度的性能）越高，测定的精度也越高，九种针叶树材1mm厚样品的最佳能量在5.13—5.69keV之间。本试验中所用 ^{55}Fe 和x光管的能量与最佳能量较接近，而 ^{238}Pu 的能量显著偏高，又是多能的。测红松和测高山栎时计数率之比：用 ^{55}Fe 时为11.9，用x光管时为3.1；而用 ^{238}Pu 时只有1.2。Cown等^[1]和Woods等^[8]报道的微密度仪均用 ^{55}Fe 为x射线源。

四、结 论

三种x射线源比较， ^{55}Fe 和x光管的测定精度明显高于 ^{238}Pu 。主要原因是前者的射线能量更接近最佳能量，与理论分析结果吻合。正确选择放射

源，用国产仪器研制微密度仪，实现对木材微密度的有效测定是可能的。

不同树种间和同一树种内，木材的质量衰减系数有一定的变异。对测定精度要求较高时，这种变异是值得考虑的。

（责任编辑 袁东岩）

参 考 文 献

- (1) Cown, D.J. and Clement, B.C., 1983, A wood densitometer using direct scanning with x-rays, *Wood Science and Technology*, 17: 91-99.
- (2) Fengel, D. and G. Wegener, 1984, *Wood Chemistry, ultrastructure, reactions*, Walter de Gruyter & Co. Berlin.
- (3) Hagglund, E., 1951, *Chemistry of wood*, Academic Press, New York.
- (4) Heger, L., Parker, M.L. and Kennedy, R.W., 1974, X-ray densitometry, a technique and an example of application, *Wood Science*, 7 (2): 140-148.
- (5) Hoag, M. and Mckimmy, M.D., 1988, Direct scanning x-ray densitometry of thin wood sections, *Forest Products Journal*, 38(1): 23-26.
- (6) Moschler, W.W. and Woods, F.W., 1975, A note on the precision machining of

increment cores, Wood and Fiber, 7 (2)
: 149-150.

- (7) Olson, J.R., Liu, C.J., Tian, Y. and Shen, Q., 1988, Theoretical wood densitometry: II, optimal x-ray energy for wood density

measurement, Wood and Fiber Science, 20(2): 187-196.

- (8) Woods, F.W. and Lawhon, W.T., 1974, Gamma densitometry of increment cores, Forest Science, 20(3): 269-271.

Studies on wood microdensitometry with different x-ray sources

Liang Jingsen Guan Ning

(Chinese Academy of Forestry)

Abstract By using direct scanning method, the accuracy of wood microdensitometry with 3 kinds of x-ray source (^{55}Fe , ^{238}Pu and x-ray tube) was studied and the variation of mass attenuation coefficients of 4 species of wood was determined and analyzed. The measurement with ^{55}Fe and x-ray tube was found more accurate than that with ^{238}Pu because the x-ray energy of the formers is closer to the optimal one than the latter. A certain degree of variation of wood mass attenuation coefficient among species and within a species was showed in the tests, which should be considered as high accuracy of the measurement is expected.

Keywords X-ray microdensitometry; Wood density; Wood density variation; Microdensitometrical characteristics; Mass attenuation coefficient

(上接第52页)

想、结构安排各具特色。

意境深远、自然朴实。具有浓郁的自然美以及民族的和乡土的风味气息。

结构严谨、灵活多变。单体与组合、伸张与收缩相结合, 旋转自如、可装可拆、功能多变, 较好地体现了物为人用、人与物之间相容关系。

科学技术全面渗透。光、电、声、色、美(术)等现代应用科学技术、装饰技术和新材料全面渗入家具整体, 基本形成了一个有机的综合体, 使家具具有无限的生命力, 更进一步促进了人与家具、空

间的依存关系。

色调粗犷而不失细腻。大胆地采用了草绿、大红、杏红、黑白相间的色调, 大大开拓了视野, 引发人们对家具的创造性的联想。这些都对家具心理学、家具商品学、家具美工学、家具经济学和家具与环境学的理论研究有促进作用。

苏联家具的质量是比较好的, 价格也是比较便宜的, 与用户的购买心理和购买能力基本相符。

由于考察时间较紧, 了解情况十分有限, 本文所述, 仅系个人观感, 供同行参考。

(责任编辑 袁东岩)