

基于虚拟仪器的微密度仪测试系统研究^{*}

夏 萍, 印 崧, 张小龙, 陈黎卿, 刘盛全

(安徽农业大学 合肥 230036)

摘 要: 通过对微密度仪进行分析, 采用了虚拟仪器技术将微密度仪记录笔的模拟信号转变为数字信号, 应用通用软件 VC++ 为开发平台, 设计了微密度仪测试系统。微密度仪测定的结果为光密度, 需对其进行标定, 标定结果表明: 在样品厚度一定时, 光密度与密度的相关系数为 0.987; 在样品密度均匀一致时, 光密度与样品厚度的相关系数为 0.956, 呈高度线性相关; 完全可以用光密度来测定物体密度、厚度及其均匀性。数字化开发提高了微密度仪的测定精度和工作效率。

关键词: 微密度仪; 虚拟仪器; 测试系统; 密度标定

中图分类号: TH701 TH835 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 460.403

Micro-densimeter test system based on virtual instruments

Xia Ping, Yin Song, Zhang Xiaolong, Chen Liqing, Liu Shengquan

(Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)

Abstract: A micro-densimeter test system was developed based on virtual instruments technology. The analog signal of recording stylus in micro-densimeter is translated into digital signal. Visual C++ is employed as the development platform for virtual instruments. The micro-densimeter measurement result is optical density, its data need to be calibrated. Calibration results show that the correlation coefficient between optical density and the density is 0.987 for a definite sample thickness; the correlation coefficient between optical density and sample thickness is 0.956 when the samples have a uniform density. These relations have highly linear correlation, so optical density can be applied to measure the density, thickness and uniformity of the objects completely. The digital development of the system can improve the accuracy and efficiency of the micro-densimeter.

Key words: micro-densimeter; virtual instrument; test system; density calibration

1 引 言

微密度仪主要用于胶片、幻灯片、实体板材光密度测定和纸张厚度、非均质材料孔隙度等测定。3CS型微密度仪为高精度测量设备, 由英国 Joyce-Loebel 公司制造, 由于受当时条件限制, 输出的信号为模拟信号。记录笔将试样的光密度模拟信号记录在纸上, 并描绘成曲线, 然后由人工对曲线进行分割后标出数据输入计算机, 再经标准密度片标定后将光密度转换为密度。这些工作都是手工完成的, 操作时费时费力且精度不能保证。

虚拟仪器是随着计算机、通信及测量技术发展起来的一门新技术。随着微型计算机的发展, 虚拟仪器将会逐步取代传统的测试仪器而成为数字测试仪器的主流^[1-2]。对有利用价值的旧仪器、旧设备进行数字化改造是虚拟仪器技术的一种实际应用。本文拟对 3CS 型微密度仪进行研究, 采用虚拟仪器技术将微密度仪记录笔的信号由传感器、数据采集卡等硬件直接导入计算机, 将模拟信号转变为数字信号, 再以通用虚拟仪器工具软件 Visual C++ 为开发平台, 实现数据采集、密度标定等工作, 以提高微密度仪的测定精度和工作效率。

收稿日期: 2007-02 Received Date: 2007-02

* 基金项目: 国家自然科学基金 (30671641) 资助项目

2 系统总体结构

2.1 微密度仪结构及工作原理

微密度仪主要由电源设备、双光束系统、机械传动系统和操作控制设备等组成。双光束系统是微密度仪的核心部件,包括镜头、光圈、焦距等控制旋钮。工作时试样(胶片、实体板材、纸张)由电机驱动水平移动,普通聚焦光源垂直射入试样进行扫描,样品的密度不同,光束透过率随之不同,由此进行光密度测定(见图 1)。

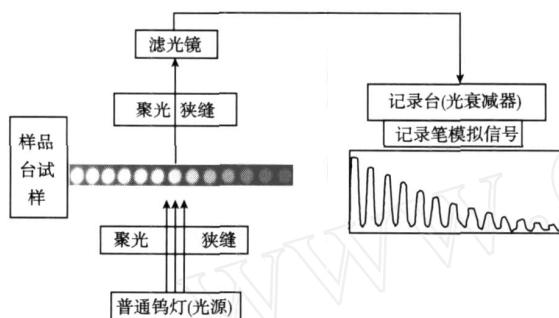


图 1 微密度仪工作原理

Fig 1 Principle of micro-densimeter

2.2 硬件设计

测试系统的功能不但要对实时采集系统的硬件进行控制,而且还要对采集的数据进行分析和显示。同时,系统还应该具有良好的开放性和可扩展性,通过连接方式完成数据的二次处理。数据采集硬件系统包括:传感器、转换电路、数据采集卡、PC 等(见图 2)。

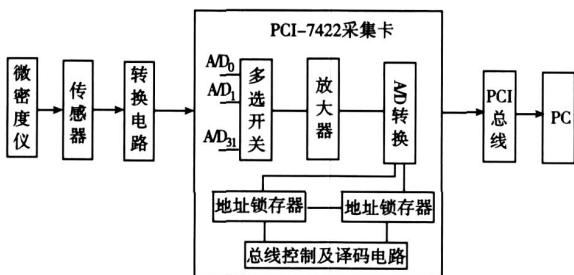


图 2 测试系统硬件原理图

Fig 2 Hardware principle diagram of the test system

虚拟仪器 PC 与外界端口通信方式根据其结构和性能可分为 4 类:插卡型虚拟仪器、外挂型虚拟仪器、高精度集成系统、网络化虚拟仪器^[3]。插卡型虚拟仪器可以利用 PC 组建成为灵活的虚拟仪器,是现在比较流行的虚拟仪器系统,这种方式借助于插入 PC 或工控机内的数据采集卡与专用的软件相结合,完成测试任务。它充分利用计算机总线、机箱、电源及系统软件的便利。一般来说

插卡型虚拟仪器主要用于小型仪器的开发,ISA (industry standard architecture)总线和 PCI(peripheral component interconnect)总线是现代 PC 最常用的插卡型系统总线。虚拟仪器 PC 与外界端口通信方式种类繁多,基于本实验室现有条件,且考虑硬件成本和开发周期,微密度仪测试系统拟选用电阻式角位移传感器,将采集的信号以电阻值输出,转换电路将接收到的电阻信号转换成电压信号输入 PCI-7422 型数据采集卡,输入 PC 的 PCI 总线口。

2.3 软件设计

虚拟仪器软件开发平台可以分为 2 类:一类是通用开发工具,如 Visual C++, C++ Builder, Delphi 等;另一类是专用开发工具,如 LabVIEW、LabWindows/CVI 等。一般来说,通用开发工具对虚拟仪器硬件条件要求较低,专用开发工具对虚拟仪器硬件条件要求较高。微密度仪数据采集平台拟采用通用软件 Visual C++ 6.0 为开发环境。

3CSTS 测试系统 (3CS test system)包括参数输入、数据采集、图形修正、密度标定、数据保存等模块(见图 3)。系统关键技术为密度标定模块。图 4 为 3CSTS 系统主要界面。

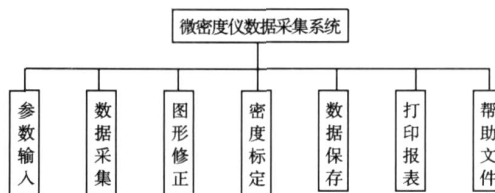


图 3 3CSTS 测试系统功能模块

Fig. 3 Functional modules of the 3CS test system

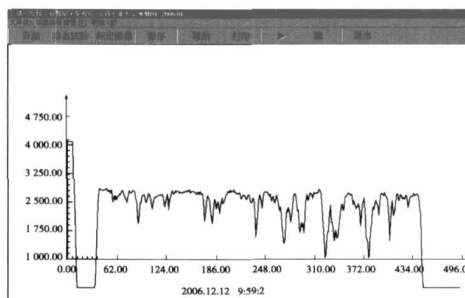


图 4 微密度仪测试系统主要界面

Fig. 4 Software interface window of the micro-densimeter test system

3 光密度与物体密度和厚度之间的关系

3.1 光密度与密度之间的关系

微密度仪测定的数据为光密度,需对其进行标定。为了定量分析物体密度与光密度之间的关系,现将标定

用的标准物体试样胶片在数字化试验机上进行测定。标准物体试样共有 19 片(材料厚度一致),其密度各不相同。

图 5 为标定物光密度图谱,从图中可以看出:标准试样最小密度为 0.152 g/cm^3 ,对应的平均光密度为 1 015;标准试样最大密度为 1.303 g/cm^3 ,对应的平均光密度为 3 910。即标准片密度越大,其光密度也就越大;相反,密度片密度越小,其光密度也就越小。

根据密度与光密度的变化规律,对 19 个标准密度片进行一元线性回归(见图 6)。结果表明:密度与光密度的相关系数为 0.987,标准估计误差为 0.0427 g/cm^3 ;标准密度片光密度与实际密度的相关性很高,完全可以采用光密度来测定物体的密度。

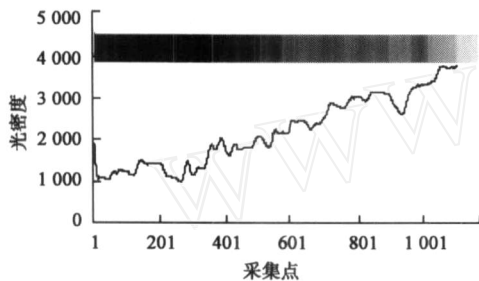


图 5 标定物光密度图谱

Fig. 5 Optical density spectrum of standard samples

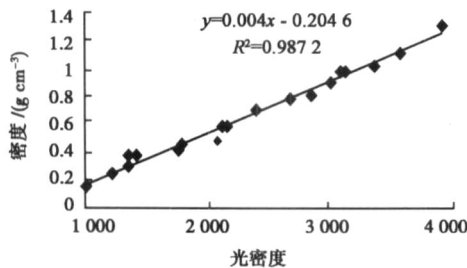


图 6 光密度与密度线性拟合图

Fig. 6 Linear fitting of optical density and the density

3.2 光密度与试样厚度之间的关系

为了定量分析厚度与光密度之间的关系,现将标定的等效物胶片在数字化测试系统上进行测定。等效物为均质复合材料,共有 13 个标定点,各点距离相同,深度正比于点数(见图 7)。从图中可以看出:标定点深度越浅(即厚度越大),X 光片越亮,对应的光密度也就越大;相反标定点深度越深,光密度也就越小。

对等效物对应的数据进行一元线性回归和指数回归(图 8),结果表明:厚度与光密度的相关系数为 0.956、0.994。为了简便计算,拟采用线性回归模型。在密度相同条件下,均质等效物光密度与其厚度的相关性很高,完全可以采用光密度来测定均质材料厚度。

微密度仪除了可以直接测定非均质材料微密度外,还可直接测定均质材料厚度。光密度与其厚度的相关性很高,因此,应用微密度仪直接测定密度时,要求试样厚度均匀一致,否则厚度将影响测定精度。

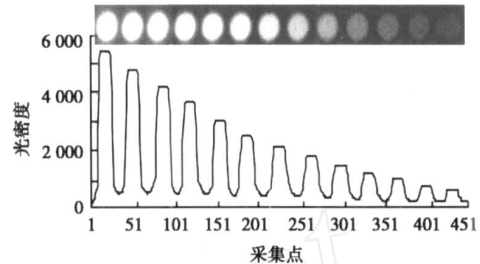


图 7 标定点光密度图谱

Fig. 7 Optical density spectrum of sample thickness

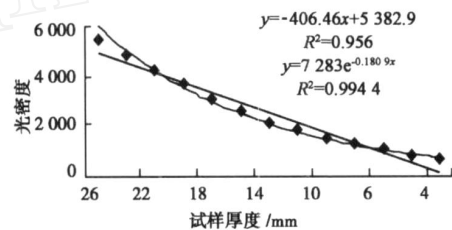


图 8 标定点厚度与光密度关系

Fig. 8 Correlation between optical density and thickness of the sample

3.3 密度标定

微密度仪测定的结果为胶片或实体板材的光密度,微密度仪光圈、焦距的大小和初始位置均影响光密度。因此,微密度仪测定结果无任何物理意义。为了定量分析物体微密度,需对光密度进行标定。标定方法为:将标准参照物(密度已知)与待测物一同放置到拍摄装置中同时拍摄,同时进行光密度测定,分析参照物光密度与标准密度或厚度的相关关系,建立光密度与密度或厚度数学模型,将待测物的光密度转换为密度或厚度。标定公式如下:

$$(\rho) = \frac{a - b}{P_a - P_b} P(\rho) + \frac{b P_a - a P_b}{P_a - P_b}$$

式中: (ρ) 为样本 r 处的微密度或厚度; a 、 b 为测定物 A 和 B 的平均密度或厚度; $P(x, y)$ 为样本 r 处的光密度; P_a 、 P_b 为测定物 A 和 B 的平均光密度。

4 应用实例

微密度仪主要用于胶片、幻灯片、实体板材密度和纸张厚度、非均质材料孔隙度的等测定,现对树木年轮微密度和纸张厚度进行测定和分析。

4.1 树木年轮微密度测定

树木年轮微密度是指年轮内窄小范围内的密度,传统方法一般只能研究到生长轮平均密度的层次,随着测量方法和技术的不断改进和完善,木材密度已从平均密度发展到年轮内微密度及密度分布的测定^[4-8]。目前,木材物理学、生物遗传学、树木年代学均把年轮密度组成成分作为研究树木改性、加工利用、生物遗传、气候变化、水文变化、环境污染等重要手段。

树木年轮的形成是由树木形成层受外界季节变化产生周期性生长的结果。树轮是由一系列有规则明暗交替的轮圈组成,树轮的几何形状和密度变化是树轮的主要特征。在有四季变化的地区生长的树木由于生长季节的前半期细胞分裂旺盛,该木质部的组织较为粗糙、颜色浅、密度小;在生长季节的后半期,分裂速度衰减,其木质部的组织致密、颜色深、密度大。图 9 为雪松木材微密度径向变化图谱,从图中可以看出,雪松年轮明显,图中共有 34 个波峰,即为 17 年。微密度径向变化图谱反映了年轮内窄小范围的密度变化,为木材改良和气候年轮学提供数据依据。

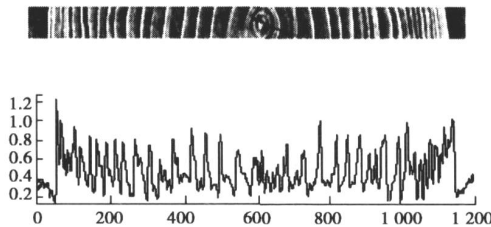


图 9 雪松年轮微密度径向变异图谱

Fig 9 Micro-density radial variation spectrum of annual ring of *Cedrus deodara*

4.2 纸张厚度及其均匀性测定

纸是由切成薄片的木材经制浆处理后的产物,相同原材料纸张的密度可以认为是均匀一致的^[9]。在密度相同的条件下,微密度仪测定的光密度值与纸张厚度线性相关。现对宣纸和复印纸厚度及其均匀性进行测定(纸张,长 \times 宽=150 mm \times 30 mm,测定条件和标定系数相同),图 10 为宣纸和复印纸厚度及其均匀性三维和等高线分布图。从图中可以看出:宣纸的厚度比复印纸小;变化幅度比复印纸大。统计分析结果表明:宣纸的平均厚度为 0.044 mm、相对变异系数为 38.63%;复印纸的平均厚度为 0.104 mm、变异系数为 7.69%。拉伸试验结果表明:纸张初始断裂位置为厚度相对较小的两侧,图 10(a)在(1,140)位置点处断裂,图 10(b)在(1,170)位置点处断裂。

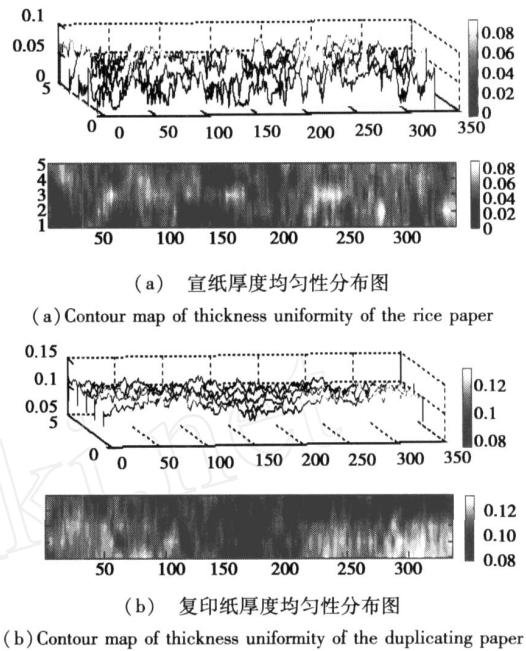


图 10 纸张厚度三维和等高线分布图

Fig 10 3D contour maps of paper thickness

5 结 论

通过对微密度仪实验装置进行改造,设计了实时数据采集硬、软件系统。硬件系统选用 PCI-7422 数据采集卡,输入 PC 的 PCI 总线口。软件系统应用通用虚拟仪器工具软件 Visual C++ 为开发平台,3CSTS 测试系统(3CS Date Test System)包括参数输入、数据采集、图形修正、密度标定、数据保存等模块。

微密度仪测定的结果为物体或胶片的光密度,为了定量分析物体微密度,需对光密度进行标定。在样品厚度一定时,光密度与密度的相关系数为 0.987,呈高度线性相关,完全可以用光密度来测定物体的密度。在样品密度均匀一致时,光密度与样品厚度的相关系数为 0.956,呈高度线性相关,完全可以用光密度来测定均匀物体的厚度及其均匀性。

参考文献

- [1] BARNEY G C Intelligent instrumentation [M]. New Jersey: Prentice Hall, 1985.
- [2] 李顶根,曹继光,陈传尧,等.基于虚拟仪器平台的飞行物体质量特性测量系统[J].仪器仪表学报,2003,24(1):53-56

LID G, CAO J G, CHEN CH R, et al Measurement system of quality characteristic of flight object based on virtual instrument platform [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2003, 24(1): 53-56

- [3] 祖先锋,潘孟春,罗飞路,等. 基于虚拟仪器技术的虚拟监视器设计 [J]. 仪器仪表学报, 2006, 27 (Suppl 3): 1808-1810
ZU X F, PAN M CH, LUO F L, et al Design of virtual monitor based on virtual instrument technology [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2006, 27 (Suppl 3): 1808-1810
- [4] COWN J D, CLEMENT B C. A wood densitometer using direct scanning with X-rays [J]. Wood Sci Technol, 1983, 17: 91 ~ 99.
- [5] POLGE H. Une nouvelle méthode de détermination de la texture du bois: l'analyse densitométrique de clichés radiographiques [J]. Ann Sci Forest, 1963, 20 (4): 531-581.
- [6] PARKER M L, JOZSA L A. X-ray scanning machine for tree-ring width and density analyses Wood and Fiber [J]. 1973, 5: 192-197.
- [7] JAGELS R, TELEWSKI F W. Computer aided image analysis of tree ring Methods of dendrochronology [J]. COOK E R, KARLUKSTIS L A. International Institute for Applied Systems Analysis, Netherlands, 1990: 76-93.
- [8] DAGM, OLAV H. Development and variation of wood density, kraft pulp yield and fibre dimensions in young Norway spruce: Picea abies [J]. Wood Sci Technol, 2006, 40: 173-189.

作者简介



夏萍, 2007年于安徽农业大学获得博士学位, 现为安徽农业大学副教授, 主要研究方向为机械设计与仿真, 木材物理。

地址: 安徽省合肥市长江西路 130号安徽农业大学工学院, 230036

电话: 0551-5786398; E-mail: xiaping @

ahau.edu.cn

Xia Ping received PhD degree from Anhui Agricultural University in 2007. Now she is an associate professor in Anhui Agricultural University. Her research interests are machine design and simulation

Address: No. 130 Changjiang West Street, Hefei 230036, Anhui, China

Tel: +86-551-5786398; E-mail: xiaping@ahau.edu.cn



印崧, 2007年获得合肥工业大学硕士学位, 现为安徽农业大学讲师, 主要研究方向为机电控制与CAT技术。

地址: 安徽省合肥市长江西路 130号, 230036

电话: 0551-5786389; E-mail: yinsong@mail.hf.ah.cn

Yin Song received M. S. from Hefei University of Technology in 2007. Now he is a lecturer in Anhui Agricultural University. His research interests are mechatronics and CAT technology

Address: No. 130 Changjiang West Street, Hefei 230036, Anhui, China

Tel: +86-551-5786389; E-mail: yinsong@mail.hf.ah.cn