

## 木质地板结构与密度分布特征的 CT 技术检测

彭冠云<sup>1,2</sup> 江泽慧<sup>2,3</sup> 刘杏娥<sup>2</sup> 任海青<sup>3</sup> 余 雁<sup>2</sup>

(1 中国科学院上海应用物理研究所 2 国际竹藤网络中心 3 中国林业科学研究院木材工业研究所)

**摘要:**利用 CT 技术无损检测实木地板、杨木重组木地板以及毛竹重组竹地板的内部结构,并分析了三者的密度变异特征。结果表明:密度变异重组木地板 > 重组竹地板 > 实木地板;杨木重组木地板从表面到背面的剖面密度分布(VDP)呈现小幅下降后大幅上升的趋势,而实木地板与毛竹重组竹地板 VDP 无明显变化规律。CT 技术能用于地板结构与密度的检测与分析,并将在木质地板质量无损检测以及重组材地板工艺优化研究中产生积极影响。

**关键词:**计算机断层扫描;无损检测;实木地板;杨木重组木;毛竹重组竹

中图分类号:S781.2;T3653 文献标志码:A 文章编号:1000-1522(2010)06-0109-05

PENG Guan-yun<sup>1,2</sup>; JIANG Ze-hui<sup>2,3</sup>; LIU Xing-e<sup>2</sup>; REN Hai-qing<sup>3</sup>; YU Yan<sup>2</sup>. **Detection of structure and density distribution of wooden floor by computed tomography.** *Journal of Beijing Forestry University* (2010) **32** (6) 109-113 [Ch, 15 ref. ]

1 Shanghai Institute of Applied Physics, Chinese Academy of Sciences, 201204, P. R. China;

2 International Center for Bamboo and Rattan, Beijing, 100102, P. R. China;

3 Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry, Beijing, 100091, P. R. China.

Structure and density distribution of wooden floor to a large extent determine its physical and mechanical properties. The internal structure of three kinds of wooden floors, including solid wood, poplar scrimber and moso bamboo scrimber, was detected using computed tomography (CT), and their density characteristics were also presented in this paper. The density variation was poplar scrimber > moso bamboo scrimber > solid wood flooring; and VDP of poplar scrimber presented substantial upward trend after declining slightly from the wooden floor surface to bottom, while solid wood flooring and moso bamboo scrimber had not obvious change rules. It was found that CT could be used to detect the structure and density of wooden floor. As an advanced non-destructive technique, CT will be applicable to quality detection for wooden floor and benefit to the study on process optimization of scrimber flooring.

**Key words** CT (computed tomography); non-destructive detection; solid wood flooring; poplar scrimber; moso bamboo scrimber

木质地板的结构与密度检测是木地板研究和质量检测的重要内容。然而,传统的方法均不能在无损条件下同时获取材料的结构与密度分布特征<sup>[1-2]</sup>。

X 射线计算机断层扫描(computed tomography, 简称 CT)检测能显示出生物体内各种组织的断层影像,具有定性、定量、定位、操作方便等特点,自从 20 世纪 70 年代被发明后已变成一个重要的无损检

测工具。80 年代开始,CT 技术被用于木材研究<sup>[3-4]</sup>。近 30 年来,CT 在树木结构特征与木材物理性能检测方面已取得很大发展。

本文利用 CT 无损检测技术,以实木地板、杨木重组木地板、毛竹重组竹地板为试验材料,检测其结构并分析其密度分布特征,以期为木质地板质量无损检测以及重组材地板工艺优化提供理论与技术支持。

收稿日期:2010-01-08

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划项目(2008BADA9B03、2006BAD19B01、2006BAD07A07)。

第一作者:彭冠云,博士。主要研究方向:木质材料无损检测。电话:13916763339 Email: pengguanyun@sinap.ac.cn 地址:201204 上海浦东新区张江高科张衡路 239 号中国科学院上海应用物理研究所。

本刊网址: <http://www.bjfujournal.cn>; <http://journal.bjfu.edu.cn>

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

试件为实木地板(300 mm × 90 mm × 18 mm)(长 × 宽 × 厚)、杨木(*Populus*)重组木地板(235 mm × 130 mm × 18 mm)(长 × 宽 × 厚)、毛竹(*Phyllostachys heterocycla*)重组竹地板(235 mm × 130 mm × 18 mm)(长 × 宽 × 厚),含水率为10%~11%,均由中国林业科学研究院人造板与木材检验实验室提供。因3种试件背面均有槽,故统一研究无槽厚度(约14.5 mm)内的材料结构。

### 1.2 CT检测原理及检测方法

#### 1.2.1 CT检测原理

当高度准直的X射线束环绕物体某一部位作断面扫描时,部分光子被吸收,X射线的强度因而衰减。未被吸收的光子穿透物体,被检测器吸收后经放大并转化为电子流,作为模拟信号输入电子计算机进行处理运算,重建图像,最终将数据在屏幕上显示,并获得相应点的CT值。CT图像中的强度(灰度)数值能与被检对象材料的辐射密度产生对应的关系,发现被检对象内部辐射密度的微小变化<sup>[5-6]</sup>,所采用的标准根据各种组织对X射线的吸收系数来决定<sup>[7-8]</sup>。空气CT值为-1 000 HU,软组织(包括脂肪、肌肉和其他身体组织)CT值从-100~60 HU;皮质骨的衰减较大,CT值从250~1 000 HU;而气干木材的CT值一般为-900~-200 HU。

Lindgren<sup>[9-10]</sup>在利用CT技术检测木材密度方面

做了系统研究。结果表明:CT能比较准确地检测到木材密度,木材CT值与其密度有很强的线性关系,即当CT值变化为1 HU时,其密度相对应有0.001 g/cm<sup>3</sup>左右的变化。戚大伟等<sup>[11]</sup>、韩书霞等<sup>[12]</sup>对12种气干木材的密度与其CT值进行了研究,得出与Lindgren相似的结论。目前,木材密度与其CT值之间的线性关系在国内外已获得广泛认同。本研究中,以CT值来反映木材密度的变异特征。

#### 1.2.2 CT仪器与检测方法

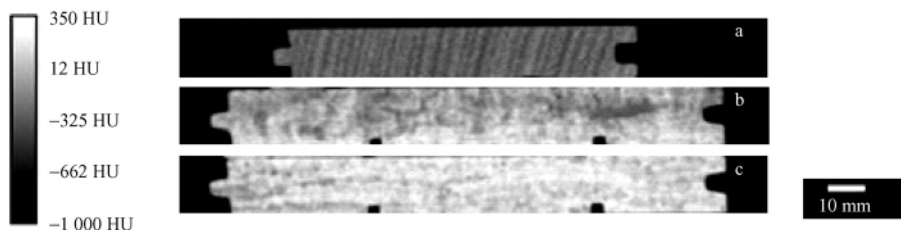
仪器:美国通用电气(general electric, GE) BrightSpeed Excel 4 螺旋CT,由通用电气(中国)医疗集团研发中心提供。扫描条件:80 kV、160 mA·s, 1.25 mm 层厚,垂直于木质材料横断面连续扫描,采用detail重建算法。利用CT工作站以及ImageJ软件分析图像,研究各材料的内部结构与密度变异特征。

## 2 结果与分析

### 2.1 CT图像分析

从图1可知:3种材料的CT图像均能较清晰地反映其内部结构及密度分布。根据图像亮度差异,不难发现重组竹密度要高于实木和重组木;杨木重组木呈现背面密度高于其表面的特征。

实木地板是直接将一定规格实木在一定条件下烘干,然后再机械加工而成,一般仍保持原木的纹理和色彩图案等特征。实木地板的CT图像中年轮特征清晰可见,不难观察到地板剖面的密度随年轮呈现出有规律的变异(图2)。



a. 实木; b. 杨木重组木; c. 毛竹重组竹

图1 试件的CT图像

Fig. 1 CT images of specimens

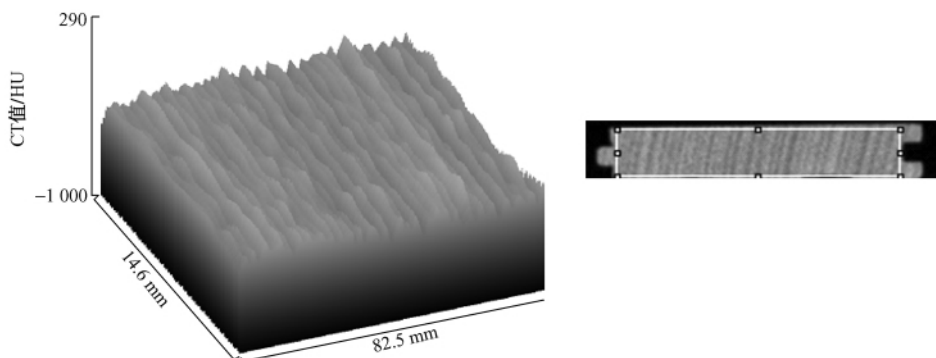


图2 实木地板的CT图像及CT值柱状图

Fig. 2 CT images and its CT value histogram of solid wood flooring

杨木重组木地板与毛竹重组竹地板是分别利用小径杨木与毛竹为原料,经碾压疏解分离成束后,重新组合加工而成的复合材料。由图 3、4 可知:杨木重组木地板密度变异较大,背面密度高于表面

的;而毛竹重组竹地板密度分布表现出一定的规律,这与其具有以毛竹碾压后所形成的条束状单元结构有关。

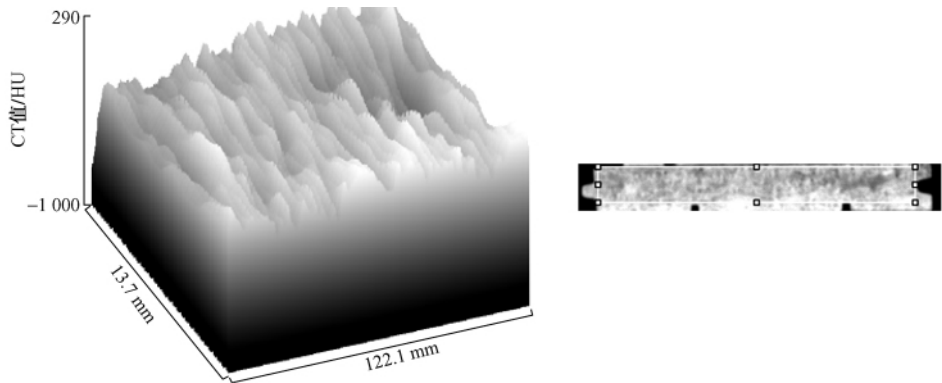


图 3 杨木重组木地板的 CT 图像及 CT 值柱状图  
Fig. 3 CT images and its CT value histogram of poplar scrimber flooring

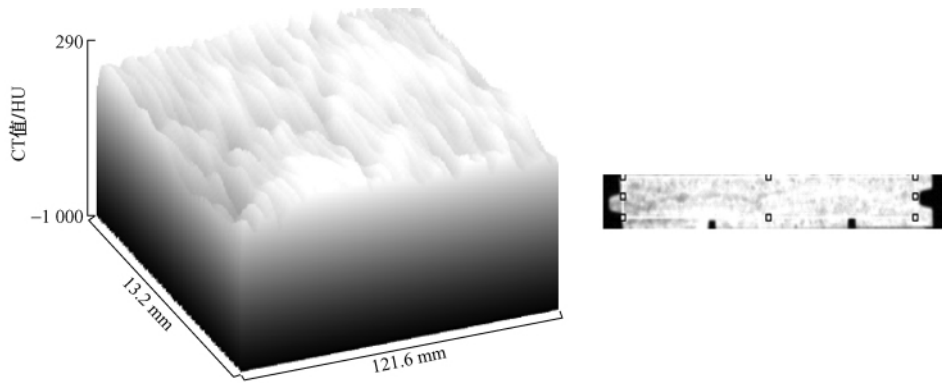


图 4 毛竹重组竹地板的 CT 图像及 CT 值柱状图  
Fig. 4 CT images and its CT value histogram of moso bamboo scrimber flooring

2.2 密度变异分析

为深入研究材料密度分布特征,从扫描试材 CT 图像中等间隔距离依次选取 10 张 CT 图像,分析每剖面的 CT 特征,结果列于表 1。

由表 1 可知:实木地板、杨木重组木地板、毛竹重组竹地板的最大 CT 值依次分别在 -175 ~ -129 HU、203 ~ 274 HU 及 275 ~ 355 HU 之间;最小 CT 值依次分别在 -607 ~ -443 HU、-958 ~ -428 HU 及

表 1 试件 CT 值分布的特征分析  
Tab. 1 CT value of specimens

试材	参数	剖面										HU
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
实木地板	最大 CT 值	-152	-129	-159	-150	-156	-175	-137	-171	-163	-135	
	最小 CT 值	-443	-443	-443	-445	-464	-474	-458	-551	-504	-607	
	CT 平均值	-281.46	-279.99	-296.57	-310.06	-311.76	-314.01	-314.06	-313.36	-314.02	-315.39	
	标准差	42.43	43.71	46.58	45.87	46.62	46.18	47.08	46.03	45.54	47.61	
杨木重组木地板	最大 CT 值	205	238	274	223	210	224	265	203	226	205	
	最小 CT 值	-504	-928	-958	-524	-429	-587	-524	-899	-672	-428	
	CT 平均值	-139.01	-129.79	-87.40	-84.95	-74.90	-72.25	-68.29	-79.07	-66.41	-82.26	
	标准差	113.62	112.25	116.56	111.40	109.42	103.33	100.80	104.02	108.57	103.81	
毛竹重组竹地板	最大 CT 值	276	336	311	338	275	291	282	287	336	355	
	最小 CT 值	-323	-254	-244	-165	-250	-201	-435	-482	-624	-345	
	CT 平均值	81.82	155.33	119.68	148.88	103.75	115.33	80.76	104.95	83.83	205.95	
	标准差	86.32	78.13	75.84	72.57	72.27	74.30	82.63	74.13	84.80	70.08	

-624 ~ -165 HU 之间;CT 平均值依次分别在 -315.39 ~ -279.99 HU、-139.01 ~ -66.41 HU 及 80.76 ~ 205.95 HU 之间;标准差依次分别在 42.43 ~ 47.61 HU、100.80 ~ 116.56 HU 及 70.08 ~ 86.32 HU 之间。从而可得出,密度毛竹重组竹地板 > 杨木重组木地板 > 实木地板;而密度变异则重组木地板 > 重组竹地板 > 实木地板。杨木重组木的最小 CT 值为 -958 HU, 接近空气的 CT 值 -1 000 HU, 从而表明杨木重组木有空隙存在。根据 CT 图像的体素大小 0.49 mm × 0.49 mm × 1.25 mm, 可推断其空隙大小至少达到体素大小。毛竹重组竹第 10 层刚好位于原材料的竹节部位, 其 CT 值明显高出其他层的平均 CT 值(205.95 HU)。

### 2.3 剖面密度分布

剖面密度分布(VDP)也称剖面密度梯度,是人造板重要的结构特征,也是影响其物理力学性能的重要因素之一。如在板平均密度不变的条件下,表层密度增大,心层密度下降,VDP 曲线变得陡峭。这时,表心层密度差增大,板的刚度和静曲强度提高,内结合强度降低,边部握钉力减小。若表心层密度差减小,VDP 曲线趋于平缓,则各项强度性能的变化情况正好相反<sup>[13-14]</sup>。

剖面密度与板坯的铺装、工艺参数的设定及热压机的性能直接相关。而剖面密度的分布不同将直接影响板材的性能及质量。因此,精确测定板材的剖面密度并对其进行分析,是了解铺装和热压过程、进行产品质量控制的重要手段。根据人造板剖面密度的变化,可以随时修订热压工艺参数,进而达到提高产品性能的目的<sup>[15]</sup>。

为系统分析材料的剖面水平密度梯度,从扫描试材 CT 图像中等间隔距离依次选取 10 张 CT 图像,分析其水平剖面的 CT 值特征(图 5 ~ 7)。

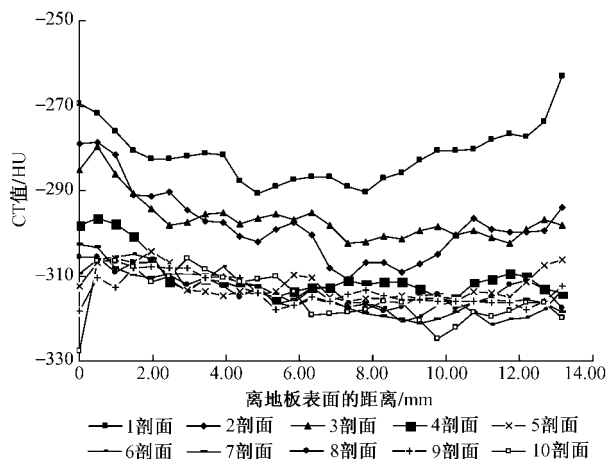


图5 实木地板的剖面密度分布

Fig. 5 VDP of solid wood flooring

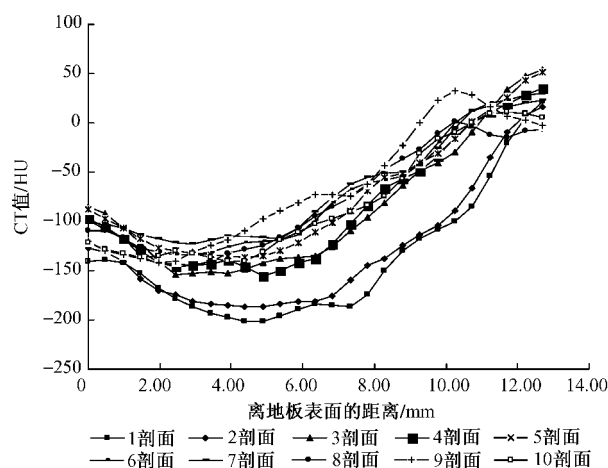


图6 杨木重组木地板的剖面密度分布

Fig. 6 VDP of poplar scrimber flooring

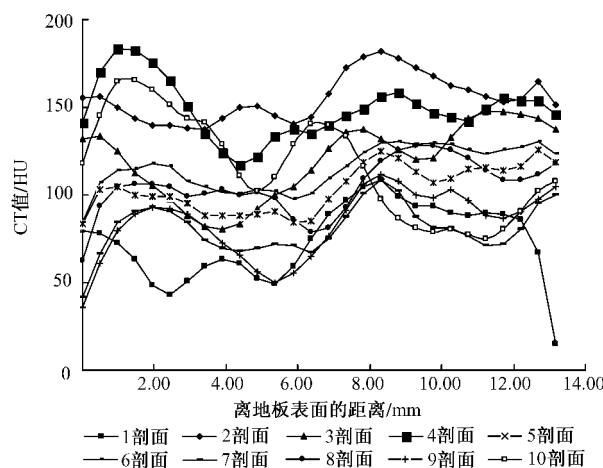


图7 毛竹重组竹地板的剖面密度分布

Fig. 7 VDP of moso bamboo scrimber flooring

由图 5 ~ 7 可知:实木地板的 VDP 曲线变化幅度相对较小;杨木重组木地板表面到背面 VDP 呈现小幅下降后大幅上升的趋势,而实木地板与毛竹重组竹地板 VDP 无特定的变化规律。

地板 VDP 曲线规律与其材料、工艺等密切相关。因为实木地板剖面密度本身变异不大,故 VDP 曲线变化幅度相对较小;而毛竹重组竹与杨木重组木均为复合材料,密度变异相对要大。其中杨木重组木地板剖面 VDP 的规律性变异与其特定的制造工艺有关。

## 3 结 论

木竹重组材作为一种新型的结构用材,以价值低廉的速生木材和竹材为原料,为天保工程实施后速生材和非木质材料的开发利用提供了一种可借鉴的思路。将重组木和重组竹做成地板,是拓宽重组材利用、丰富地板原材料的一条重要途径。本文利用 CT 技术检测了实木地板、杨木重组木地板及毛竹重组竹地板的结构与密度分布特征。结果表

明:CT能应用于木质材料的结构与密度检测;密度为毛竹重组竹地板>杨木重组木地板>实木地板;而密度变异则重组木地板>重组竹地板>实木地板;实木地板的VDP曲线变化幅度较小;杨木重组木地板从地板表面到背面VDP呈现小幅下降后大幅上升的趋势;而毛竹重组竹地板VDP无一定的变化规律。CT技术能对木质地板的结构与密度进行无损检测,最终为重组材地板工艺优化研究提供重要的技术支持。

#### 参 考 文 献

- [1] 李家伟,陈积懋.无损检测手册[M].北京:机械工业出版社,2002.
- [2] 王莉娟.无损检测方法评估人工林杨木材性质的研究[D].北京:北京林业大学,2005.
- [3] BENSON-COOPER D M, KNOWLES R L, THOMPSON F J, et al. Computed tomographic scanning for the detection of defects within logs [M]. Rotorua, NZ: Bull Forest Research Institute, New Zealand Forest Service, 1982.
- [4] HATTORI Y, KANAGAWA Y. Non-destructive measurement of moisture distribution in wood with a medical CT-scanner [J]. *Journal of the Japan Wood Research Society*, 1985, 31 (12): 974-982.
- [5] 于雷.计算机断层扫描技术在木材检测中应用[D].哈尔滨:东北林业大学,2007.
- [6] 张朝宗.工业CT技术参数对性能指标的影响——兼谈如何选择工业CT产品[J].无损检测,2007,29(1):48-52.
- [7] HSIEH J. *Computed tomography: principles, design, artifacts, and recent advances* [M]. Bellingham: SPIE Press, 2003.
- [8] 徐澍敏,于勇,王俊.机械损伤苹果CT值的试验研究[J].农业机械学报,2006,37(6):83-85.
- [9] LINDGREN L O. The accuracy of medical CAT-scan images for non-destructive density measurements in small volume elements within solid wood [J]. *Wood Science and Technology*, 1991a, 25: 425-432.
- [10] LINDGREN L O. Medical CAT-scanning: X-ray absorption coefficients, CT-numbers and their relation to wood density [J]. *Wood Science and Technology*, 1991b, 25:341-349.
- [11] 戚大伟,牟洪波.具有图像处理功能的原木X射线检测系统[J].森林工程,2007,23(1):30-31,75.
- [12] 韩书霞,于雷,孔超,等.基于计算机断层扫描技术的木材密度检测研究[J].森林工程,2007,23(1):19-23.
- [13] 吴章康,周定国,张宏健.木质人造板剖面密度分布的意义与研究进展[J].木材工业,2001,15(4):3-5.
- [14] 张宏健,赵立. PF-MDF 断面密度分布特征的研究[J].北京林业大学学报,1991,13(1):66-74.
- [15] 程放,高可城,施建平.人造板剖面密度测定仪的研制[J].木材工业,2001,15(2):29-31,34.

(责任编辑 李文军)

## 《中国林学(英文版)》征稿启事

《中国林学(英文版)》(Forestry Studies in China)始创于1992年,是一份由北京林业大学主办的全英文刊物,目前为季刊,大16开本。主要发表经同行评议的研究论文、简报、综述。内容包括森林生态学、森林培育学、森林经理学、林木遗传与育种、林木生理学、森林病虫害防治、森林资源信息管理、林业经济学,以及林业相关学科如水土保持科学、木材科学与技术、林产品加工等,面向国内外征稿和发行。

《中国林学(英文版)》致力于促进国内外林业领域科研人员的学术交流,缩短中国与其他国家在相关领域的差距。本刊从2007年开始与全球著名的学术出版机构——德国Springer出版社正式合作出版,全文链接于SpringerLink数据库,并委托其代理本刊在中国大陆以外地区的发行权,进一步加快了本刊的国际化步伐。详细信息请登录<http://www.springer.com/journal/11632>。

《中国林学(英文版)》为中国科学技术信息所核心刊物、中国期刊网全文数据库、万方数据库刊源期刊。目前收录、检索本刊的国外著名的检索机构、数据库有CA(美国化学文摘)、JA(俄罗斯文摘杂志)、CABI(国际农业与生物科学中心)等。

地址:北京市清华东路35号北京林业大学148信箱《中国林学(英文版)》编辑部

邮编:100083

电话:010-62337915

Email:lihui@bjfu.edu.cn