

工业 CT 扫描在原木内部缺陷检测中应用

戚玉涵¹, 葛浙东², 张星梅¹, 周玉成¹

(1. 中国林科院木材工业研究所, 北京 100091; 2. 山东建筑大学信息与电气工程学院, 山东济南 250101)

摘要: 利用工业 CT 对三组原木进行扫描, 并通过 VGStudio MAX 软件将扫描数据进行三维重建, 检测原木内部缺陷。结果表明: 原木的三维重建体模型能反映出缺陷在原木中的三维空间分布情况, 对原木截面的虚拟剖切, 可直观了解缺陷的形状、位置和分布, 精确获知缺陷的大小, 实现优质和珍贵原木的利用率及利用价值最大化。

关键词: 工业 CT; VGStudio MAX; 缺陷检测; 三维重建体模型

中图分类号: S781.5; TS67 文献标识码: B 文章编号: 1001-8654 (2018) 06-0038-03

Log Internal Defect Detection using Industrial CT Scanning

QI Yu-han¹, GE Zhe-dong², ZHANG Xing-mei¹, ZHOU Yu-cheng¹

(1. Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;

2. School of Information and Electrical Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan 250101, Shandong, China)

Abstract: Three log samples were scanned with an industrial CT scanner. The CT scanning data were reconstructed in three-dimension by VGStudio MAX software in order to detect interior defects of the log samples. The results showed that the reconstructed volume model of the logs could reveal three-dimensional distribution of the log defects. Therefore, shape and location of the defects could be observed intuitively by virtual log sawing, resulting in precisely measured size of the defects. Yield of high quality lumber and value of precious logs could be maximized.

Key words: industrial CT; VGStudio MAX; defects detection; 3D reconstruction volume model

原木的锯切加工过程, 需根据木材最终用途, 尽量减少内部缺陷的残留, 因此, 对原木内部缺陷的位置、大小和分布等进行准确、全面的检测, 意义重大^[1-2]。

计算机断层成像 (Computed Tomography, CT) 技术集计算机技术、X 射线扫描技术和数字化图像重建技术于一体, 在无损伤破坏的条件下, 以二维断

面图像或三维立体图像的形式, 展示原木内部的构造及缺陷信息^[3-4]。近年来, 相关研究人员已开始应用医用或工业 CT 扫描, 获取木材内部构造图像, 并据此研究木材内部结构, 如髓心、年轮、节子、腐朽、裂隙等的分布^[5-9], 这类研究大都是针对原木中是否存在缺陷、缺陷的分类识别以及缺陷的边缘提取技术等展开的, 而对于原木内部缺陷的几何尺寸以及不同切面上缺陷的位置、角度却无法精确获取。

VGStudio MAX 软件是由德国 Volume Graphics 公司开发的专用于工业 CT 三维重建的商业软件^[10]。采用该软件处理原木扫描数据可实现: 1) 原木的三维重构可视化; 2) 任意截面剖切, 并获得原木三个截面的图像, 便于观察和了解缺陷形状、位置和分

收稿日期: 2018-03-14; 修改日期: 2018-08-08

基金项目: 中国林科院基本科研业务费专项资金项目“基于机器视觉和 CT 技术的原木检测算法研究” (CAFYBB2016QA010); 山东建筑大学博士基金“基于 X 射线的木结构建筑用材无损检测系统研究” (XNBS1622)。

作者简介: 戚玉涵 (1984—), 女, 中国林科院木材工业研究所助理研究员。

布; 3) 在 CT 重建图像上, 对任意两点距离、两条线段夹角进行测量、标注, 便于了解缺陷的大小; 4) 用透明或半透明的方式展示缺陷的位置以及缺陷在原木中的三维空间分布情况。

笔者在利用工业 CT 扫描原木获取二维断面图像的基础上, 使用三维重建专业软件 VGStudio MAX 2.1, 对被检原木的二维 CT 图像进行三维重建, 得到原木的三维重建体模型, 对原木内部缺陷进行检测, 以图像可视化的方式, 模拟原木切削, 旨在为提供最优下锯方案, 实现优质或珍贵原木的高效利用及利用价值的最大化。

1 材料和方法

1.1 CT 扫描原理

CT 扫描的基本原理: 射线源发射 X 射线束, 部分光子被木材吸收或发生散射, 探测器接收衰减后的 X 射线强度, 计算 X 射线在木材内的线性衰减系数, 大小用 CT 值来表示。

衰减系数的差异, 反映了木材内部的不同构造和缺陷状况^[11-12]。木材内部构造不同, 使其在密度上存在差异, 木材密度越大, 对射线的吸收就越强。

1.2 原木样本

选取具有不同缺陷类型的三组原木样本, 分别为: 檀香紫檀、红松和青冈。紫檀和青冈样本由中国林科院木材所标本馆提供, 各原木样本的详细信息见表 1。

表 1 三组原木样本的详细信息
Tab.1 Information of log samples

树种名称	原木试样规格/cm	主要缺陷
檀香紫檀 (<i>pterocarpus santalinus</i>)	长径 13, 短径 11, 材长 20	心材腐朽
红松 (<i>pinus</i> spp.)	直径 9.5, 材长 8	节子, 径向开裂
青冈 (<i>cyclobalanopsis</i> spp.)	长径 24.5, 短径 12, 材长 3.2	节子, 双心材

1.3 试验方法

采用通用型工业 450-TY-ICT CT 机, 对原木进行扫描。被测原木试样置于旋转载物台中心, 在不同旋转角度时, 探测器采集透过原木的 X 射线强度, 采集系统获取原木 360°的投影数据用于三维重建, 得到的原木三维体模型分辨率 (体素 voxel) 为: 160

$\mu\text{m} \times 160 \mu\text{m} \times 160 \mu\text{m}$ 。

CT 设备型号、扫描参数、成像分辨率、图像重建算法以及原木直径、材长等因素, 对原木扫描的成像结果均有影响。因此在前期试验的基础上, 根据原木试样的长度, 分别设定檀香紫檀、红松以及青冈的扫描层间距为 8、5 和 4 mm。

试验设定原木旋转一周为一个扫描周期。

2 结果与分析

2.1 檀香紫檀横、纵切面 CT 图像

对檀香紫檀进行 CT 扫描, 重建得到其断面 CT 图像, 对 CT 图像进行阈值分割, 并根据图像灰度差异进行边缘检测, 得到经过图像边缘提取后的紫檀横、纵切面的 CT 图像, 见图 1。

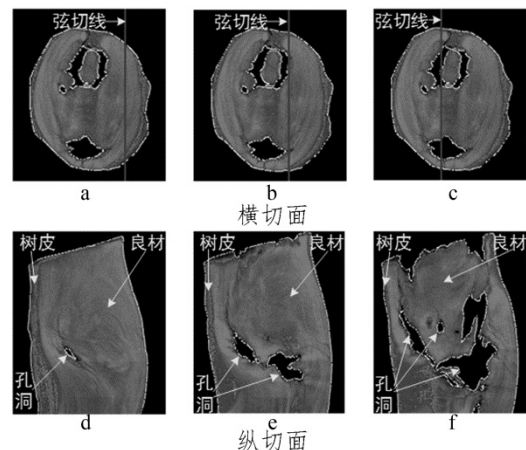


图 1 檀香紫檀横、纵切面 CT 图像

Fig.1 Cross and vertical sectional CT images of *pterocarpus santalinus* wood

图 1a~c 为紫檀某一横切面的 CT 图, 图 1d~f 为分别沿着横切面中所示的弦切线, 进行纵向剖切得到的纵切面。阈值分割后 CT 图像将木段的良材和腐朽孔洞部分予以区分; 纵切面 CT 图像清晰地显示了不同下锯位置时, 得到锯材内部的腐朽位置和程度, 从而辅助加工人员制定合理、最优的下锯方案。

2.2 红松横切面 CT 图像及三维重建体模型

在红松木段中选取节子和径裂特征显著的某一横切面进行 CT 扫描, 得到二维断面图像 (图 2a-e); 三维重建体模型, 如图 2f 所示。

不同物质密度的木材构造具有不同的 CT 值, 反映在 CT 图像上为灰度值的差异。红松横切面 CT 图像上的年轮明显, 早晚材急变, 且灰度差异大。

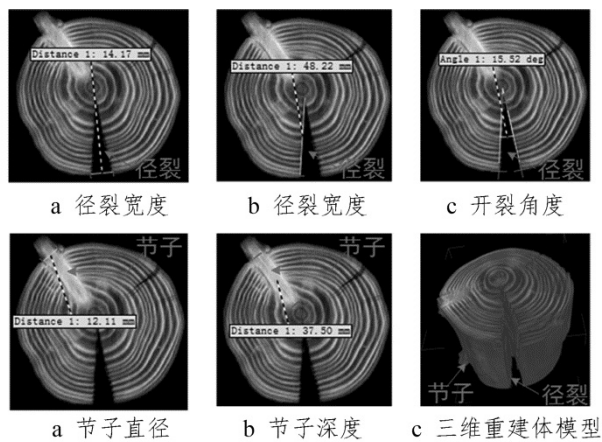


图2 红松横切面 CT 二维图像及三维重建体模型

Fig.2 Cross sectional CT images and 3D reconstructed volume model of *pinus* spp. wood

图2显示, 径向裂纹由边材沿半径方向延伸至木段髓心处, 测得径向开裂宽度为14.17 mm, 深度为48.22 mm, 开裂角度为15.52°; 节子嵌入在木段中, 测得节子直径为12.11 mm, 嵌入木段深度为37.50 mm。实现了对原木内部缺陷的测量和分析。

2.3 青冈 CT 图像及三维重建体模型

利用工业 CT 扫描青冈木, 得到二维断面图像(图3a-c)及其三维重建体模型(图3d)。

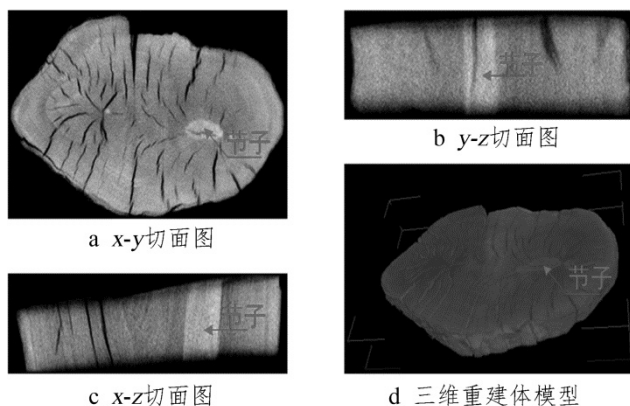


图3 青冈切面 CT 图像及三维重建体模型

Fig.3 Sectional CT images and 3D reconstructed volume model of *cyclobalanopsis* sp. wood

图3显示, 青冈木段为双心缺陷材, 且右侧存在一个明显的椭圆形节子。各切面 CT 图像和三维重建体模型均能呈现出椭圆形节子在木段中的三维分布情况, 测得青冈中节子的长径为36.1 mm, 短径为14.8 mm, 高度为31.6 mm。亦实现了对原木内部缺陷的测量和分析。

3 结语

1) 利用 CT 扫描技术辅以 VGStudio MAX 软件, 可清晰地观察和了解带缺陷原木不同截面处缺陷的位置和形状、精确测量原木缺陷的大小, 直观地呈现出缺陷在原木中的三维分布情况。检测结果可用于计算木材出材率, 并以可视化方式模拟原木虚拟切削, 确定原木最优下锯方案, 提高原木的利用率。

2) 在原木试样扫描的过程中, 影响因素包括 CT 设备型号、扫描参数以及原木直径、材长等因素。因此, 针对不同的原木树种类型和规格尺寸, 选取合适的 CT 扫描设备和测试条件, 以提高原木扫描数据的精确度和重建图像的分辨率, 有待进一步研究。

3) 断层扫描技术应用于原木缺陷检测, 成本是制约其推广应用的主要因素。随着 CT 技术的进步以及 CT 系统的拓展应用, CT 设备将会成为木材工业研究和生产中一种常规设备。

参考文献:

- [1] 童雀菊, 丁建文, 王厚立. 非破坏性木材内部缺陷检测(续)——木材 CT 扫描研究动态[J]. 林产工业, 2005, 32(3): 14-16.
- [2] 丁建文, 王宝山, 郭晓磊. CT 技术在木材工业中的应用[J]. 木材加工机械, 2008, 19(4): 44-47.
- [3] 高上凯. 医学成像系统(第2版)[M]. 北京: 清华大学出版社, 2010.
- [4] 张训华, 业宁, 丁建文, 等. 原木 CT 图像 3D 重建及其虚拟加工技术研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2010, 34(2): 77-80.
- [5] Longuetaud F, Mothe F, Kerautret B, et al. Automatic knot detection and measurements from X-ray CT images of wood: A review and validation of an improved algorithm on softwood samples[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2012, 85(5): 77-89.
- [6] Wei Q, Leblon B, Rocque A L. On the use of X-ray computed tomography for determining wood properties: a review[J]. Can. J. For. Res., 2011, 41(11): 2120-2140.
- [7] Wehrhausen M, Laudon N, Bruchert F, et al. Crack detection in computer tomographic scans of softwood tree discs[J]. Forest Prod. J., 2012, 62(6): 434-442.
- [8] Roussel J R, Mothe F, Krähenbühl A, et al. Automatic knot segmentation in CT images of wet softwood logs using a tangential approach[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2014, 104(6): 46-56.
- [9] 王丽艳. 基于模糊 C 均值算法的木材缺陷 CT 图像处理[D]. 哈尔滨: 东北林业大学硕士学位论文, 2014.
- [10] 张于北, 王倩妮. VGStudio MAX2.0 软件在 CT 图像三维重建中的应用[J]. 计算机技术与应用, 2011, 31(5): 30-32.
- [11] Hsieh Jiang. 计算机断层成像技术原理、设计、伪像和进展[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [12] 戚玉涵, 徐佳鹤, 张星梅, 等. 基于扇形 X 射线束的立木 CT 成像系统[J]. 林业科学, 2016, 52(7): 121-128.

(责任编辑 孟凡丹、向琴)