

研究与开发

应力波断层成像诊断木材内部缺陷

梁善庆^{1,2}, 赵广杰¹, 傅峰²

(1. 北京林业大学材料科学与技术学院, 北京 100083;

2. 中国林科院木材工业研究所; 国家林业局木材科学与技术重点实验室, 北京 100091)

摘要: 采用应力波断层成像技术对杉木和胡杨木材内部缺陷进行检测, 结果表明 3 种诊断方法均能对木材缺陷进行有效诊断, 通过波速矩阵二维图像重构, 能够直观显示缺陷部位、大小及形状等信息; 断层图像能为树干危险性评价提供依据, 但腐朽与空洞界线尚未能准确区分; 应力波在健康木材断面传播途径呈规律性, 在缺陷出现处应力波波速明显降低, 且传播无规律性。

关键词: 应力波断层成像; 木材缺陷; 诊断; 图像识别

中图分类号: TS6 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654(2010)05-0011-03

Diagnosis of Internal Defects of Wood With Stress Wave Tomography

LIANG Shan-qing^{1,2}, ZHAO Guang-jie¹, FU Feng²

(1. College of Materials Science and Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry; Key Lab of Wood Science and Technology of State Forestry Administration, Beijing 100091, China)

Abstract: Internal defects of Chinese Fir and Euphrates Poplar were evaluated through imaging recognition by stress wave tomography. Results showed stress wave tomography was an effective method in diagnosing internal defects in wood. Defect information, such as dimension, location and shape, could be reconstructed through 2D image velocity matrix. The stress wave tomography provided a useful reference for assessing the stability of tree trunks, but it did not accurately distinguish between decay and hollow areas in the wood.

Key words: stress wave tomography; wood defect; diagnoses; image recognition

木材属于各向异性生物材料, 且内部缺陷类型各异, 要准确诊断出各种缺陷存在较大困难。根据应力波在木材传播中的机理, 在应力波与立木性质关系研究^[1-2]的基础上, 开发出应力波断层成像检测技术。由于通过不同材质时应力波的衰减程度不同, 导致所接收到的传播时间存在差异, 根据所接收传播时间, 计算出波速并进行矩阵变换、图像重构, 最终以二维图像方式直观地显示木材内部缺陷情况。

通过试验, 探讨应力波在木材断面中传播规律, 为木材缺陷识别及诊断技术的应用提供技术支持。

1 材料和方法

1.1 试验材料

杉木(*Cunninghamia lanceolata*)为福建洋口林场人工林, 取两株立木(1[#], 2[#]), 直径分别为 34.7 和 32.8 cm; 胡杨(*Pouulus euphratica*)为内蒙古阿拉善额济纳旗天然林, 取 4 根长 1.3 m 木段(1[#]、2[#]、3[#]、4[#]), 直径分别为 28.1、37.0、28.0 和 30.6 cm。

1.2 检测仪器

1) Fakopp 2D 应力波检测仪通过传感器, 对树干力学性能及内部缺陷进行评价与诊断。

2) Arbotom 脉冲式断层成像仪, 采用传感器作为发送并接收应力波信号, 以图像重构方式把缺陷通过图像显示出来。可诊断树木内部腐朽、空洞和开裂等, 此外可通过 Arboradix 模块, 探测受损树根状态。

收稿日期: 2009-07-10; 修改日期: 2010-07-12

基金项目: 引进国际先进林业科学技术“948 项目”(2006-4-C03)。

作者简介: 梁善庆(1977—), 男, 中国林科院木材工业研究所博士。

通讯作者: 傅峰, 男, 中国林科院木材工业研究所研究员, 博士生导师。

3) Picus Sonic Tomography(Picas)应力波成像仪,通过敲击锤激发应力波在树干内部传播,接收传感器接收传播时间,并通过矩阵转换和图像重建,最终以图像形式显示树干内部缺陷。

1.3 试验方法

由于杉木为人工林木材,内部腐朽程度较低,因此采用 Fakopp 2D,配置 6 个传感器进行检测,同时可测量立木树干纵向波速来预测木材弹性模量。胡杨为天然林,常出现腐朽、空洞等严重缺陷,为获得更准确的缺陷信息,采用 Arbotom 和 Picus 配置 12 个传感器进行检测。

根据应力波断层成像理论^[3],采用 Fakopp 2D 应力波断层成像检测仪对杉木树干进行诊断,6 个传感器按均匀分布方式钉入树干,并确认连接稳固。依次敲击每个传感器,并通过软件接收应力波在木材内部传播时间,根据传播距离计算波速值用于图像重构。应力波传播路径及模拟树干形状与射线传播节点如图 1 所示。

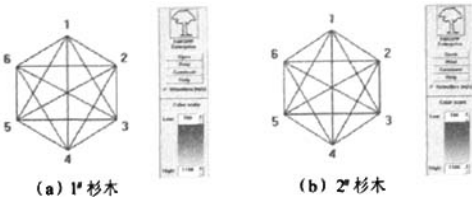


图 1 杉木应力波传播路径及树干断面模拟
Fig.1 Simulation of stress wave path and cross section of Chinese Fir

采用 Arbotom 应力波测定仪,12 个传感器对胡杨 1# 和 2# 树干进行诊断(图 2),检测步骤与 Fakopp 2D 相同,拾取传播时间误差率≤3%。

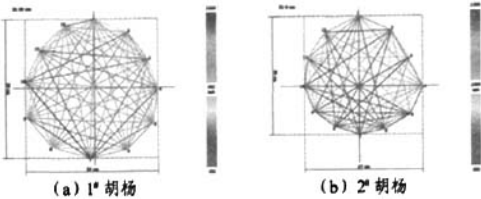


图 2 胡杨树干应力波传播路径及树干断面模拟
Fig.2 Simulation of stress wave path and section of euphrates poplar

采用 Picus 应力波断层成像仪,12 个传感器对胡杨 3# 和 4# 树干进行诊断,检测步骤与 Fakopp 2D 相同,传播图形与图 2 相似。

2 结果与分析

2.1 缺陷成像识别

Fakopp 2D 应力波检测仪通过波速矩阵重构,木材断面结果见图 3。从图 3 可知,1# 杉木应力波波速 996~1 185 m/s,2# 杉木 836~1 472 m/s。如木材内部出现缺陷,由于缺陷导致密度变化而引起波衰减程度不同,波速越低则材质越差;根据波速重构图像,能够通过颜色赋值进行表示,也可依据颜色,对木材断面材质作出诊断。

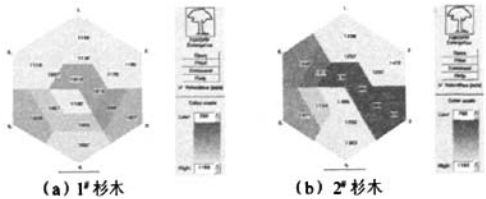


图 3 杉木 Fakopp 2D 图像
Fig.3 Tomograms of Chinese Fir from Fakopp 2D method

图 4(a)为健康树干断层 Arbotom 检测结果。若传播路径中出现波速变化,图像中即可表现出来。如经过髓心的路径应力波波速下降,从断层图像中间部位显示的小面积的浅色区域(图像显示为绿色),则为髓心区域。图 4(b)断层图像中,呈现的大面积深灰色(图像显示为深红色),即空洞面积。与实际观察的树干断面空洞部位、大小相比,具有较高的相似性。

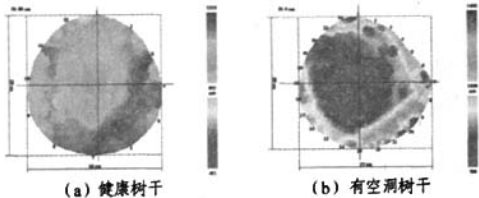


图 4 胡杨 1# (a) 和 2# (b) Arbotom 图像
Fig.4 Tomograms of euphrates poplar 1# (a) and 2# (b) from Arbotom method

图 5(a)为 Picus 波速重构胡杨树干断面结果。图 5(a)中的浅灰色(图像显示为蓝色和紫色),为低波速区域,表明断面内存在严重腐朽,褐色区域为高波速区域属于健康材。通过计算可知,该断面严重腐朽材面积占总树干断面面积的 68%,轻度腐朽材占 15%,健康材只占 17%。图 5(b)显示断面左侧存在两处严重腐朽区域,两腐朽区域中间的褐色区域,表明材质未受到破坏。断面严重腐朽面积占整个断面面积的 26%,轻度腐朽材占 32%,健康材占 42%。

实际观测发现此两处区域均为空洞,空洞的位置形状与实际观测相似性很高。但对于严重腐朽与空洞的波速重构图像,尚不能准确界定边界。

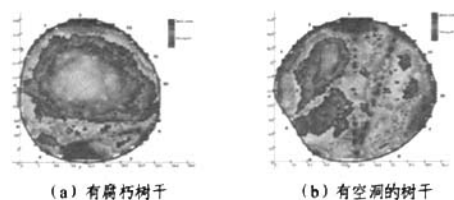


图5 胡杨3#(a)和4#(b) Picus图像

Fig. 5 Tomograms of euphrates poplar 3# (a) and 4# (b) from Picus method

2.2 应力波树干断面传播规律

根据 Arbotom 和 Picus 12个检测点的应力波波速检测结果,分别对树干断面11个接收传感器间传播波速进行作图,结果见图6和图7。

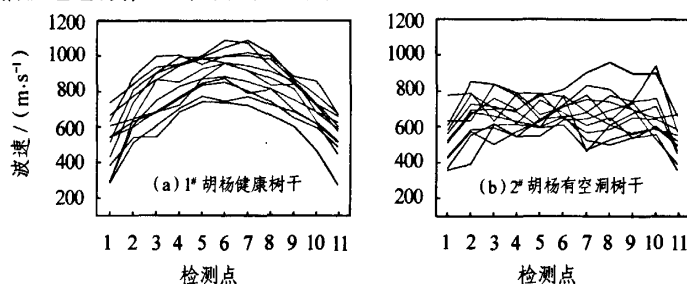


图6 Arbotom波速在健康(a)和空洞(b)断面变化趋势

Fig. 6 Velocity trend of healthy(a) and hollow(b) cross section from Arbotom method

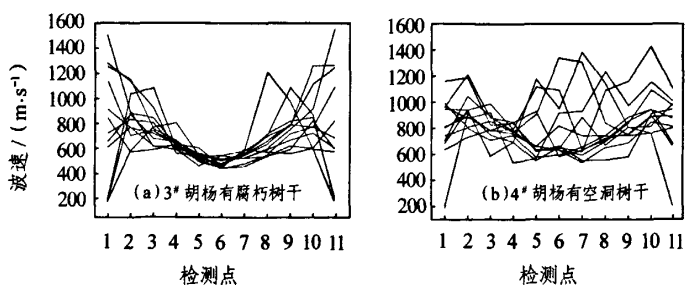


图7 Picus波速在腐朽(a)和空洞(b)断面变化趋势

Fig. 7 Velocity trend of healthy(a) and hollow(b) cross section from Picus method

图6(a)为健康树干断面应力波传播波速,在断面上呈先增加后降低趋势。在树干断面内,应力波以径向传播时间最短。图6(b)为断面内部出现大面积空洞的树干应力波波速变化,因遇到空洞区域发生折射,传播路径沿空洞边缘木材进行传播,径向波速明显降低。当断面内出现严重腐朽时,波的传播可以穿

过其腐朽区域,但由于应力波衰减较大,可导致波前走时明显滞后。

从图7(a)可看出,11条传播路径波速在径向部位呈凹陷形状,与健康断面波速传播规律相比明显不同。图7(b)为断面中出现小面积空洞波速发生变化的情况,应力波在传播中仅有遇到空洞的路径波速显著降低,而其中部分路径波速依然较高。应力波在木材内部传播规律及衰减情况较为复杂,木材各向异性特性使传播跟踪显示存在很大困难,应力波在木材内部传播规律还有待研究。

3 结论

1) 应力波断层成像技术能够模拟树干不同规则形状,对健康、腐朽、空洞缺陷诊断发现,由波速重构所得断层二维图像能够对木材内部腐朽和空洞有效识别,二维图像能够显示缺陷位置、大小和形状,此技术为木材内部缺陷识别提供了无损检测方法。

2) 通过图像可计算出缺陷占断面面积比率,为树干力学损失和危险性评价提供定量分析依据,但从断层图像中不能准确区分腐朽与空洞间界线。

3) 应力波在健康木材断面传播途径存在先增加后降低规律,当缺陷出现后,使应力波衰减增加并产生折射,波速明显降低,传播无规律性。

参考文献:

- [1] Wang X P, Ross R J, McClellan M, et al. Strength and stiffness assessment of standing trees using a nondestructive stress wave technique[D]. Res Pap FPL-RP-585. Madison, WI: U S Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2000:1-9.
- [2] Wang X P, Divos F, Pilon C, et al. Assessment of decay in standing timber using stress wave timing nondestructive evaluation tools-A guide for use and interpretation[R]. Gen Tech Rep FPL-GTR-147. Madison, WI: U S Department of Agriculture, Forest Service, Forest Prod Lab, 2004, 1-11.
- [3] 梁善庆,王喜平,蔡智勇,等.弹性波层析成像技术检测活立木腐朽[J].林业科学,2008,44(5):109-114.

(责任编辑 鲍加芬)