

# 应力波仪和阻力仪用于雪松立木内部材性检测的研究

吴福社, 吴贻军, 邵卓平\*

(安徽农业大学林学与园林学院, 合肥 230036)

**摘要:** 采用应力波仪和阻力仪分别对雪松进行了材性检测分析。结果表明, 由应力波断层扫描得到的图片和阻力仪得到的阻力曲线图比较准确地反映出雪松立木内部的材质分布情况, 应力波仪和阻力仪结合在一起对立木内部材性进行检测时, 提高了检测结果的准确性, 而且很好地弥补了每个设备的不足; 通过和实际测量的生材密度相比较, 无论是应力波速和雪松密度还是阻力值和雪松密度的相关系数都大于 0.8, 能够证明应力波和阻力仪所反映的材质材性信息和雪松立木的密度有较好的相关性。

**关键词:** 应力波; 阻力仪; 无损检测; 雪松立木内部材性

中图分类号: S781

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2011)01-0127-04

## Determination of cedar sample interior characteristics based on stress wave and resistograph

WU Fu-she, WU Yi-jun, SHAO Zhuo-ping

(School of Forestry and Landscape Architecture, Anhui Agricultural University, Hefei 230036)

**Abstract:** The cedar sample was tested by the technique of stress wave and resistograph. The results showed that the photographs obtained from stress wave and resistograph could exhibit the distribution of cedar sample interior characteristics. Combination of stress wave with resistograph for determination of standing tree interior characteristics could improve the testing accuracy and make up for the deficiency of both instruments. Moreover, there is a good correlation between the information of photographs obtained from stress wave and resistograph and the wood density with more than 0.8 correlation coefficients.

**Key words:** stress wave; resistograph; nondestructive test; cedar sample interior characteristics

树木在生长过程中由于自然原因会不可避免的存在缺陷, 不仅影响树木的正常生长, 还会影响到树木的综合利用以及木材的等级划分。由于不能对立木伐倒前对其结构进行破坏, 为了更有效的保护和利用, 又要对其内部可能产生的腐朽、虫蛀等材质状况进行准确的勘察界定, 在对立木内部材性的勘察中就有必要采用便捷、有效、无损或损害很小的技术<sup>[1]</sup>。我国从 20 世纪 70 年代末期已经开始应用无损检测方法对木材材性检测进行试验性研究, 但对立木内部材质状况的无损检测方面的报道却不多。这主要是因为立木受到含水率、周围环境等不稳定因素的影响, 导致测量结果的不可靠性<sup>[2]</sup>。自 20 世纪 90 年代以来, 美国、日本、新西兰等发达

国家开展了许多研究, 用以验证采用冲击应力波检测活立木力学性质的可行性<sup>[3]</sup>。现阶段无损检测在立木保护方面的应用主要有立木内部材质状况的勘测, 立木内部腐朽及空洞的定位, 古树名木的健康状况评价等。本文采用应力波仪和阻力仪分别对雪松进行了材性检测并结合密度作比较性分析, 为雪松活立木材性无损伤快速评估提供间接的评价方法。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验材料选用生长在合肥地区的一棵树龄为 26 年的雪松, 胸径 35 cm。分别在不同高度进行测量, 选择高度距地面 127 cm 处进行分析, 因为此处

收稿日期: 2010-06-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(30571452)资助。

作者简介: 吴福社, 男, 硕士研究生。

\* 通讯作者: 邵卓平, 男, 教授。E-mail: szp8@163.com

节子相对较少,对试验结果影响很小,试验结束后把雪松伐倒,在测量位置锯断并拍照,拍照后把横截面锯成经过髓心的木条,然后把木条分成10个小试块,测量其密度变化。

## 1.2 实验仪器

检测仪器为德国生产的 ARBOTOM 应力波树木断层测试仪、RESISTOGRAPH® 针刺仪。

应力波无损检测技术是多种木材无损检测技术中的一种,基本原理是固定在树干周围的传感器受冲击力作用,使树干内部产生应力波的传播,通过测量应力波传播速度的变化来确定木材材料的性质。与其他无损检测技术相比,应力波无损检测技术具有其独特优势,应力波的传播距离远,传播的能量大,抗干扰能力较强,不需要任何耦合剂和任何特殊条件。同时应力波无损检测对人体无害,安全可靠,其设备小巧,可方便携带<sup>[4]</sup>。

阻力仪利用一根在电机驱动下的微型钻的钻针,以恒定速率钻入木材内部,并通过微机系统把钻针在木材中产生的阻力计入数据采集卡,经过计算后显示出阻力曲线图。阻力仪钻针的针尖直径为3 mm,针杆直径为1.5 mm,因此钻针在所测木材上只钻出直径3 mm左右的小孔,属于微损检测技术<sup>[5]</sup>。阻力仪因便携性强、检测范围宽、准确度高和操作简单的优点已成为古建木构件及立木材性勘查中最有效的检测设备之一。

## 1.3 试验方法

**1.3.1 应力波检测** 对于应力波的断层扫描装置,每个传感器都是一个独立的系统,利用在每两个传感器之间的传播时间不同能形成一个用传播速度表示出树干区域的二维图片<sup>[6]</sup>。这个区域可以用颜色表示:绿色区域表示健康材部分,受到轻微影响的部分用黄色区域表示,中等程度的破坏对应于应力波图片的红色区域。试验过程:在雪松立木树干周围选定的位置钉上探针(钢钉),此探针的作用是固定传感器并传递应力波给立木,在探针上挂上传感器,传感器和探针之间要紧密封接,且保持垂直,将传感器按顺序连在一起,注意连接时线路的进和出(图1),将应力波测试仪与笔记本电脑相连,打开应力波软件 Arbotom,设置相应参数,点击应力波开始测试按钮,用小锤分别轻敲传感器,为减少人为误差,每个传感器用小锤轻敲3~5次。用 Arbotom 软件对应力波图片进行处理分析,并存盘。

**1.3.2 阻力仪检测** 采用阻力曲线法,应力波实验做完之后,在选定的探针位置用阻力仪进行探测(图1),通过微机系统采集钻针在木材中产生的阻力参

数,最后把得到的阻力曲线转移到计算机中并进行分析处理。这个试验的过程中要注意的是:用阻力仪对立木进行探测时注意钻头要沿树干的径向方向,这样才能保证钻头通过髓心位置,有利于后面的分析,而且在实验过程中要保证阻力仪的稳定,稍有晃动就会产生过大的阻力,造成测量结果失真。



图1 应力波和阻力仪检测

Figure 1 Stress wave and resistograph test

**1.3.3 后期处理** 试验结束后把雪松伐倒,在测量位置锯断并拍照,得到树干横截面的真实照片,拍照后把横截面锯成经过髓心的木条,测量从边材到心材的密度变化。比较用应力波得到的断层照片和阻力仪得到的阻力曲线和横截面的真实照片。

## 2 结果与分析

### 2.1 应力波图片和雪松真实照片的比较

试验选择的材料属于轻微腐朽的雪松立木,因此得到的二维图片颜色差异不是很大,但是和真实照片相比较能得到,用应力波断层扫描得到的图片和实际的雪松立木内部结构相关性很大,如图2所示,图A是用断层扫描装置测量出来的应力波图片,图B是被测量横截面的真实照片,图C是被测横截面上有明显腐朽的区域。

本试验用8个传感器进行测量,也就是把整个圆盘分为8个点,从图2可以看出:1到3之间有褐腐现象,对应于左边的1到3的黄色区域;3到4之间有一块明显的真菌引起的腐朽(图C),对应于左边3到4之间的红色区域;5到7之间因树脂含量比较多,出现树脂漏现象,密度相对比较大,属于健康材部分,对应于图A中5到7之间的绿色区域;雪松立木的髓心密度较小,对应于图A中间的红色区域。从上面的比较能得出应力波断层扫描可以很好的探测雪松立木内部的材质分别状况。

### 2.2 应力波照片和阻力曲线的比较

应力波断层扫描装置和阻力仪同样作为立木无损检测的设备,两者之间必定有很大的相关性,根据阻力仪的工作原理可知,除了在试验时的操作失

误外, 用阻力仪得到的阻力曲线和立木内部材质分布的相关性很高, 因此对于同一种材料同时用这两

种设备进行检测, 从理论上讲应该能使检测结果更加准确。检测结果如图 3 所示。

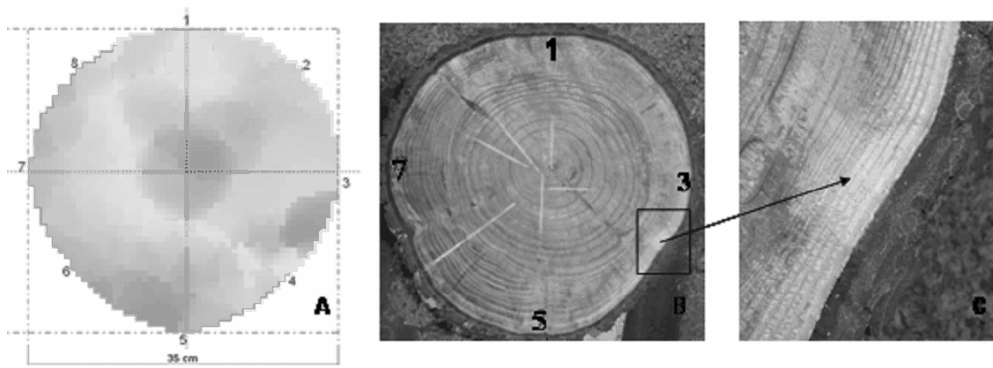


图 2 应力波图片和雪松真实照片的比较

Figure 2 Comparison of stress wave photograph and cedar's cross section

图 3 的上半部分是应力波图片, 下半部分是阻力曲线, 阻力曲线的横坐标表示钻针钻入木材的深度, 纵坐标为对应的阻力仪检测的阻力值。虚线箭头表示阻力仪工作的位置和方向。应力波图片和阻力曲线来自雪松立木的同一个横截面, 也就是用应力波断层扫描装置测量之后在同一高度用阻力仪测量。图 A 的阻力曲线是沿着 1 到 5 方向上测量得到的, 图 B 的阻力曲线是沿着 3 和 4 之间的箭头方向上测量得到的。对于同一横截面用两种无损检测设备进行测量, 就是为了更准确的检测出雪松立木内部的材质状况, 如果两种测量设备的检测结果不一致, 则必然有测量不准确的地方。图 3 的应力波图片是用 8 个传感器测量得到的, 图 A 中阻力曲线与应力波图片上 1 到 5 方向的材质变化基本一致, 从 1 到 5 阻力先降低至髓心位置阻力最小然后逐渐增大至 5 时阻力最大, 对应的应力波图片从 1 到 5 的颜色变化是黄色、红色、黄色、绿色; 图 B 中阻力曲线和应力波图片上的变化也是相关性很大, 沿着箭头方向阻力曲线是先有微弱的增大至髓心附近开始降低, 在髓心位置阻力最小, 然后从髓心开始至边材位置阻力逐渐增大, 而且前半部分阻力小于后半部分, 对应的应力波图片是前半部分多为红色, 后半部分多为黄色。对于应力波仪器, 在没有和真实照片进行比较之前, 很多时候还不能确定其测量结果的准确性, 如果同时测量得到的阻力曲线和应力波照片相关性很高, 也就能进一步确信应力波照片的准确性; 而阻力仪只能测量雪松立木内部一个方向的材质分布, 不能对一个横截面的每个位置都进行测量, 单独使用时也是没有很大的参考价值。应力波和阻力仪结合在一起对雪松立木内部材性进

行检测时, 提高了检测结果的准确性, 而且很好地弥补了每个仪器的不足。

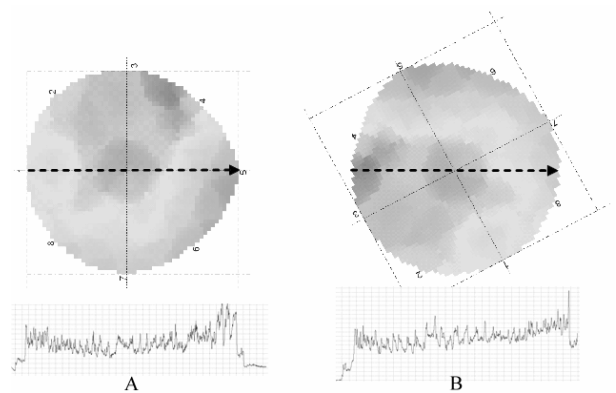


图 3 应力波照片和阻力曲线的比较

Figure 3 Comparison of stress wave photograph and resistograph

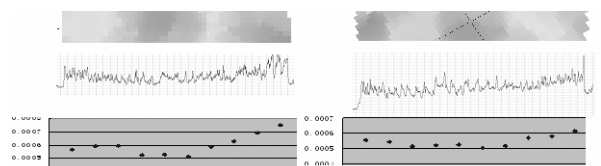


图 4 应力波图片和阻力曲线以及密度三者之间的比较

Figure 4 Comparison of stress wave photograph , resistograph and density

### 2.3 应力波图片和阻力曲线以及密度之间的比较

为了进一步验证两个设备的准确性, 在用实验仪器测量之后把试验材料锯成小试块, 用来测量试验材料在同一个横截面上的密度变化。图 4 是在实验室测量得到的密度散点变化趋势和两种无损检测仪器测量得到的图片之间的比较。

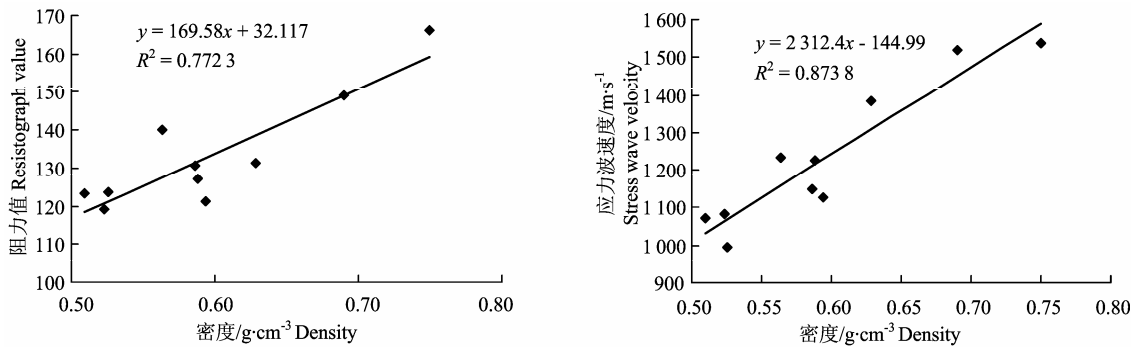


图 5 1-5 方向应力波速度和阻力值与密度的相关性

Figure 5 The correlation of stress wave velocity and resistograph value to density with 1-5 direction

图 4 中最下面是实际测量出来的沿着阻力仪探针方向的密度分布情况，左边是 1-5 方向密度变化趋势，右边是 3 和 4 之间方向的密度变化趋势。密度的测量方法是沿着阻力仪探针工作方向锯出一根木条，把木条分成 10 个小试块，分别测量这 10 个小试块的密度，测量出来的 10 个密度值就是图 4 中最下面两幅图中的 10 个点。可以看出 1-5 方向雪松立木材质在左侧及中部密度稍低，材质较差，右侧密度逐渐增大，材质较好；而 3 与 4 之间方向在靠近中心部位时略有下降。与上面用阻力仪检测结果基本吻合。

图 5 是 1-5 方向雪松密度与应力波速和阻力值的相关关系。从图中能看出无论是应力波速和雪松密度还是阻力值和雪松密度的相关系数都大于 0.8，两者相关性都比较大。再一次验证了应力波断层扫描装置对雪松立木进行检测得到的图片能比较准备的反映出雪松立木内部的材质分布情况。而且和阻力仪结合在一起能检测出雪松立木内部的密度变化趋势。

### 3 结论

从上面的检测结果分析可以得出，由应力波断层扫描得到的图片和阻力仪得到的阻力曲线图能比较准确的反映出雪松立木内部的材质分布情况，应

力波仪和阻力仪结合在一起对雪松立木内部材性进行检测时，提高了检测结果的准确性，而且很好的弥补了每个设备的不足；并且，通过和实际测量的生材密度相比较，无论是应力波速和雪松密度还是阻力值和雪松密度的相关系数都大于 0.8，能够证明应力波和阻力仪所反映的材质材性信息和雪松立木的密度有较好的相关性。

### 参考文献：

- [1] 王朝志, 张厚江. 应力波用于木材和活立木无损检测的研究进展[J]. 林业机械与木工设备, 2006, 34(3): 9-13.
- [2] 安源, 殷亚方, 姜笑梅, 等. 应力波和阻抗仪技术勘查木结构立柱腐朽分布[J]. 建筑材料学报, 2008, 11(4): 457-463.
- [3] Schwarze F W M R, Rabe C, Ferner D. Detection of decay in trees with stress waves and interpretation of acoustic tomograms[J]. Arboricultural Journal, 2004, 28: 3-19.
- [4] 林文树, 杨慧敏, 王立海. 超声波与应力波在木材内部缺陷检测中的对比研究[J]. 林业科技, 2005, 30(2): 39-41.
- [5] 张晓芳, 李华, 刘秀英, 等. 木材阻力仪检测技术的应用[J]. 木材工业, 2007, 21(2): 41-43.
- [6] Chuang S T, Wang S Y. Evaluation of standing tree quality of Japanese cedar grown with different spacing using stress-wave and ultrasonic-wave methods[J]. J Wood Sci, 2001, 47: 245-253.