

“十一五”国家科技支撑计划专栏

无损检测技术评估规格材的性质

安源¹, 殷亚方¹, 王喜平², R. J. Ross², 吕建雄¹, 姜笑梅¹

(1. 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;

2. USDA, Forest Products Laboratory, Madison 53726-2398, WI, USA)

摘要: 采用两种应力波设备对北美黄杉规格材进行抗弯强度性质的预测, 分析规格材破坏模式, 并讨论木材节子对规格材强度的影响。测试结果表明, 动态与静态测试结果之间的相关程度较高。结构材的破坏模式主要为纹理断裂和脆性断裂; 在规格材中间部位节子较多, 且节子在规格材横断面上投影面积较大时, 易发生脆性断裂。

关键词: 规格材; 应力波; 无损检测; 节子; 破坏模式

中图分类号: S791.16; TS6

文献标识码: A

文章编号: 1001-8654(2009)04-0005-04

Evaluation of Bending Performance of Structural Lumber Using Nondestructive Methods

AN Yuan¹, YIN Ya-fang¹, WANG Xi-ping², R. J. Ross², LU Jian-xiong¹, JIANG Xiao-mei¹

(1. Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry; Key Lab of Wood Science and Technology of State Forestry Administration, Beijing 100091, China; 2. USDA, Forest Products Laboratory, Madison 53726-2398, WI, USA)

Abstract: A study was conducted to evaluate the bending performance of Douglas-fir structural lumber based on two different types of stress wave equipment. The dynamic performance, based on the stress wave tests, was compared to the result from the static bending test. The failure modes of structural lumber, and the impact that knots had on the static test, were analyzed. It was found that the correlation between the dynamic and static test results was high. Fibrous tension and brash tension were the two main failure modes. When knots appeared within the midspan range, and the ratio of knot diameter to knot depth of the cross section was high, the structural lumber was prone to brash tension failure.

Key words: structural lumber; stress wave; NDT; knots; failure modes

早期的无损检测主要采用目测法和机械应力法, 对板材及木制品的强度进行分等与评价^[1]。目测法完全是凭借操作员的经验进行判断, 存在着一定的主观因素。机械应力法采用机械应力测定设备对木材进行非破坏性试验, 按测定的木材静态弹性模量和抗弯强度确定木材的性质^[2], 这种方法提高了木材分等的效率和精度, 但设备售价较高, 很难在中小型规模

的木材加工企业中推广。

应力波技术作为木材无损检测技术中的一种, 在过去几十年得到了迅速的发展^[3]。应力波技术具有传播距离远, 能量大, 无需特殊条件, 检测设备运行成本低, 可靠性高, 携带方便, 对人体无害^[4]等特点, 可有效弥补目测法和机械应力法的不足。笔者运用两种应力波无损检测设备, 进行木材性质的预测, 再与静态抗弯测试结果进行比较, 并分析节子对测试结果和结构材破坏模式的影响, 以探讨应力波技术对规格材强度评估的可行性与可靠性, 为开发我国商品材落叶松规格材强度的无损检测评估技术, 提供理论方法和技术依据。

收稿日期: 2009-04-20; 修改日期: 2009-05-21

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAD18B07)。

作者简介: 安源(1980—), 男, 中国林科院木材工业研究所助理研究员, 硕士。

通讯作者: 殷亚方, 男, 中国林科院木材工业研究所副研究员。

1 材料与方法

1.1 材料

北美黄杉(*Pseudotsuga menziesii*)规格材(38 mm×137 mm×5 030 mm),共计 99 根,由美国林产品实验室提供。将试材含水率调整至 12%后,测量其质量和实际尺寸,以及最大降等缺陷(节子)在规格材横截面上的投影面积。

1.2 应力波动态弹性模量测试

应力波的工作原理:当规格材的一端受冲击波作用时,在其内部即产生应力波的传播,通过测定应力波传播速度,可确定规格材动态弹性性质。本试验采用示波器和 Director HM200 应力波测试仪,对规格材进行纵向应力波动态弹性模量的测试。用示波器先测定应力波在规格材中的传播时间,再计算出应力波的传播速度;而 Director HM200 应力波测试仪可直接测出应力波在规格材中的传播速度。通过式(1)计算动态弹性模量:

$$MOE=\rho\times v^2 \tag{1}$$

式中: ρ —密度,kg/m³;v—应力波传播速度,m/s。

1) 应力波传播时间

将示波器的两个传感器探针以 45°角沿纵向分别钉入规格材两端,深度约为 5 mm,随后用专用锤敲击传感器,通过示波器测定应力波在规格材中传播时间,重复测量 3 次,计算出应力波传播速度与弹性模量。

2) 应力波传播速度

将 Director HM200 应力波测试仪与规格材端面紧密接触,并用专用锤敲击仪器所接触的端面,记录应力波在规格材纵向方向的传播速度,重复测量 3 次,计算弹性模量。

1.3 静态弯曲检测

参照 ASTM D198-99^[5],利用 50 t 抗弯强度力学试机,以上方压头液压式加载方式,进行侧向 4 点弯曲试验,将最大降等缺陷放置于规格材的受拉边。在规格材一侧悬挂 Yoke 装置(图 1),其中心线与规格材的中心线为同一直线上,Yoke 上的线性电压位移传感器,测量规格材中性轴中点处的挠度值。支撑点间跨距与规格材高度比均为 29:1,两载荷压头间距离为 1 320 mm,加载至破坏。然后根据断裂载荷 20%~40%的数据,计算静态抗弯弹性模量,再根据断裂载荷计算静态抗弯强度。所测试材中最小断裂载荷为 2.6 kN,最大断裂载荷为 13.6 kN。

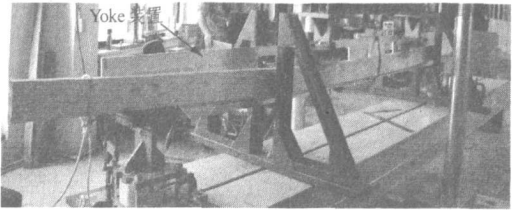


图 1 静态弯曲测试
Fig. 1 Static bending test

2 结果与分析

通过两种设备测定获得的纵向应力波速度(v_0 和 v_H)和弹性模量(E_0 和 E_H)、静态抗弯最大载荷(L_{SB})、静态抗弯弹性模量(E_{SB})和抗弯强度(MOR),测试结果见表 1。

表 1 规格材动态和静态下的测试结果
Tab. 1 Dynamic and static testing results

性能	平均值	最小值	最大值	标准差	变异系数/%
$v_0/(m\cdot s^{-1})$	4 735	3 676	5 596	478.8	10.11
$v_H/(m\cdot s^{-1})$	4 770	3 675	5 747	487.0	10.21
E_0/GPa	11.06	5.42	18.51	3.09	27.96
E_H/GPa	11.23	5.42	18.48	3.15	28.04
L_{SB}/kN	6.49	2.65	13.60	2.69	41.39
E_{SB}/GPa	11.57	5.30	18.67	3.18	27.48
MOR/MPa	36.49	14.60	78.85	15.68	42.96

2.1 两种纵向应力波测试结果的相关性分析

通过两种测试设备的测试结果,计算试材纵向应力波弹性模量。1) v_0 和 v_H 之间关系的线性方程为 $v_H=1.004\ 1v_0+15.393$,相关系数为 0.987 2,在 0.001 水平上显著相关;2) E_0 和 E_H 之间关系,可用线性方程 $E_H=1.010\ 4E_0+0.050\ 3$ 表示,相关系数为 0.992 6,在 0.001 水平上显著相关。方差分析表明, v_0 和 v_H 以及 E_0 和 E_H 之间为无显著差异($P>0.5$)。

2.2 测试结果的相关性分析

试材的动态和静态测试结果之间的相关关系,可用方程 $y=ax+b$ 表示(表 2)。回归分析结果表明:两种设备测得的 E_0 和 E_H 与 E_{SB} 均具有较好的相关性,相关系数 R 分别为 0.936 4 和 0.940 0。 E_0 和 E_H 与 MOR 之间也都具有较好的相关性,相关系数 R 分别为 0.802 9 和 0.793 9,但比 E_0 和 E_H 与 E_{SB} 之间的相关性略低。

在已往的研究中,采用横向振动技术获得加拿大云杉-松-冷杉(SPF)结构材的动态弹性模量,静态 MOE 和静态 MOR 之间的相关系数(R^2)为 0.766 和

表 2 规格材动态和静态下测试结果的回归分析

Tab. 2 Results of regression analysis of dynamic and static test

y	x	A	B	R ²	R	显著性
E _{SB}	E _O	0.962 4	0.923 3	0.876 9	0.936 4	**
E _{SB}	E _H	0.949 1	0.913 2	0.883 7	0.940 0	**
MOR	E _O	4.068 6	-8.525 8	0.644 6	0.802 9	**
MOR	E _H	3.952 3	-7.894 1	0.630 3	0.793 9	**

注: ** 为 0.001 水平显著相关。

0.651,均在 0.01 水平上显著^[6]。三种无损检测方法对巨尾桉无疵小试样的试验发现,动态 MOE 和静态 MOE 以及静态 MOR 之间的相关系数较高^[7]。对 4 种人工林桉树规格材的试验^[8],也得到了与笔者一致的结论。

综上所述,不同尺寸木材的动态 MOE 与静态 MOE 之间的相关系数,仅因树种的不同而略有差异,总体上,两者的相关程度很高;而动态 MOE 和静态 MOR 之间的相关性略低,其主要原因可能是由于试材的节子位置、纹理走向以及年轮宽度等因素的影响,使试材的断裂载荷有所下降。

2.3 断裂破坏模式分析

由于木材各向异性的特点,所以对木材断裂模式的研究进展缓慢。有研究表明,木材断裂处应力比较集中^[9];对木材中存在的节子,应力波传播速度的结论,具有较高的敏感程度^[10]。

笔者根据断口形状,将试材的破坏模式分为脆性断裂(Brush tension)和纹理断裂(Fibrous tension)两种类型,不同破坏模式对应的强度性质测试结果见表 3。

表 3 断裂破坏模式分析
Tab. 3 Analysis of failure modes

破坏模式	数量/根	E _O /GPa	E _H /GPa	E _{SB} /GPa	MOR/MPa
脆性断裂	7	7.6	7.6	7.7	21.8
纹理断裂	92	11.3	11.5	11.9	37.6

1) 脆性断裂

是指断口与试材纹理方向垂直的断裂(图 2),这类试材的 MOE 和 MOR 平均值,均要低于纹理断裂类型,一般在规格材中央处均存有较多节子,最大降等缺陷在木材横断面上的投影比例较大。

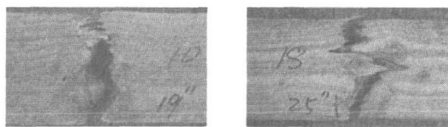


图 2 脆性断裂
Fig. 2 Typical brush tension failure

2) 纹理断裂

纹理断裂又分为横纹断裂和顺纹断裂。横纹断裂指断裂面与试材纹理方向相交的断裂,其纹理不平行于试材的纵向方向,且中央处存在节子。断裂通常是从试材受拉边的节子处开始,弹性模量和抗弯强度的平均值较大(图 3a)。顺纹断裂指断裂面与木材纹理方向平行的断裂。通常是由于拉力的作用,从节子处开始,沿试材的纹理向两端延伸(图 3b)。

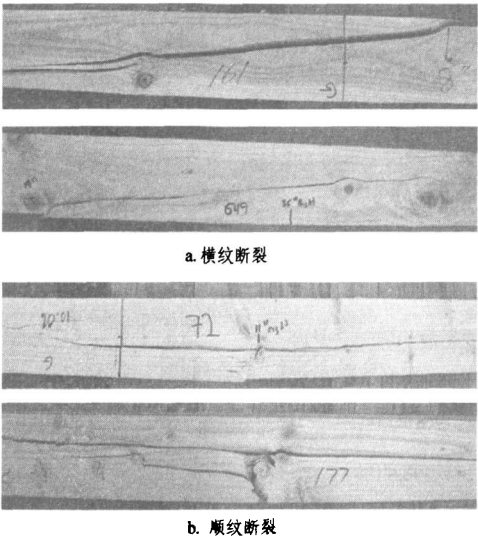


图 3 纹理断裂
Fig. 3 Typical fibrous tension failure

2.4 降等缺陷破坏模式分析

最大降等缺陷是指影响目测法等级的木材缺陷。按最大降等缺陷在试材横断面上的投影面积与试材横断面的比例大小,将试材分成 3 组,破坏模式分布情况见图 4 所示。当横截面比例 <10% 时,规格材发生脆性断裂的数量为 0,随着最大降等缺陷投影比例的增大,发生脆性断裂的规格材数量随之增多。

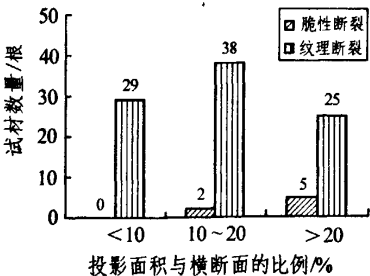


图 4 最大降等缺陷投影面积比例对规格材破坏模式的影响
Fig. 4 Maximum degrading cross section vs. failure modes

本试验中发生纹理断裂规格材为 92 根, 占全部试材的 92.9%。发生纹理断裂的规格材, 与最大降等缺陷投影比例大小无直接关系。

3 结论

1) 两种应力波设备测定的试材纵向应力波 MOE 表现出较好的相关性, 与静态 MOE 之间的关系在 0.001 水平上显著相关, 所建立的木材强度性质预测模型也基本一致。

2) 应力波弹性模量与抗弯强度之间的相关性也较高, 但低于动态 MOE 和静态 MOE 之间的相关性。

3) 当最大降等缺陷位于规格材中部, 且横断面上投影面积较大时, 规格材易发生脆性断裂, 抗弯强度较低。

致谢: 美国林产品实验室 James T Gilbertson 提供帮助, 深表谢意。

参考文献:

[1] 梁善庆, 蔡智勇, 王喜平, 等. 北美木材无损检测技术的研究与

应用[J]. 木材工业, 2008, 22(3): 5-8.

- [2] 任海青, 郭伟, 殷亚方. 北美规格材机械分等综述[J]. 世界林业研究, 2006, 19(3): 66-70.
- [3] 冯国红, 王立海, 杨慧敏, 等. 应力波木材无损检测信号采集系统[J]. 森林工程, 2008, 24(2): 22-24, 87.
- [4] 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.
- [5] ASTM D198-99. Standard test methods of static tests of lumber in structural sizes[S].
- [6] YIN Y F, Lu J X, Ni C, et al. 横向振动技术评估结构材抗弯、抗拉和抗压强度(英文)[J]. 建筑材料学报, 2007, 10(5): 543-547.
- [7] 罗彬, 殷亚方, 姜笑梅, 等. 三种无损检测方法评估巨尾桉木材抗弯和抗压强度性质[J]. 北京林业大学学报, 2008, 30(5): 137-140.
- [8] 林兰英, 傅峰. 三种无损检测方法预测四种桉树木材弹性模量的对比研究[J]. 木材加工机械, 2007(3): 24-29, 12.
- [9] 江泽慧, 任海青, 胡一贯, 等. 木材断裂过程的研究[J]. 核技术, 2000, 23(8): 572-576.
- [10] 司慧, 鹿振友. 落叶松材生长特性对应力波传播速度的影响[J]. 木材加工机械, 2007(5): 14-16.

(责任编辑 鲍加芬)

(上接第 4 页)

受金融危机冲击影响, 2009 年 2 月家具出口额急剧下降, 创三年来月度新低。大量外向型企业调整产品结构, 转向国内市场。随着国家一系列惠民措施的出台, 我国家具协会也将联合多家有影响力的专业市场, 力推家具服务农村计划。预计未来几年, 国内广阔的二、三级市场, 将成为家具企业进军的新大陆。

3.5 木门产业蓬勃向上

我国的木门行业刚刚起步, 处在上升时期, 发展空间较大。木门企业的规模整体偏小, 3 000 多家企业中, 能够工业化生产的、年产值超过 500 万元的企业仅 2 000 家。集中分布在广东、辽宁、浙江、福建、山东、江苏、云南、上海、吉林和新疆等地的一线城市。

2004 年以来, 我国木门行业连续以 30% 以上的速度快速增长, 出口额以 10% 以上的速度提高。我国木门出口量占总产量的 11%, 主要出口到美国、日本等。2008 年木门销售额近 500 亿元, 出口量为 30.3 万 t, 比 2007 年下降了 10.3% (图 5)。随着我国经济的复苏, 木门的生产、消费都将蓬勃向上。

4 结语

在我国经济发展减缓的调整转型中, 企业要定好

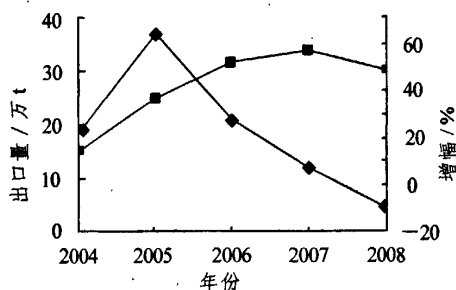


图 5 2004—2008 年木门出口量及增幅

Fig. 5 Wooden door's export volume and growth rate in China from 2004—2008

方位, 找准方向, 以科学发展观为指导, 加快转变增长方式, 坚持自主创新, 强化品牌意识, 形成以科技进步、资源节约、环境友好为特征的竞争优势, 克服困难, 不断进取; 做大做强, 促进资源 and 市场国际化, 完成产业链的全球布局, 推动木材加工行业可持续发展。

参考文献:

- [1] 华尔街日报. 中国经济数据[EB/OL]. <http://chinese.wsj.com/gb/20090617/BCH0800302.asp?comp=china>.

(责任编辑 姜征、张一萍)