

机械应力分等法评估落叶松结构用锯材力学性质

申世杰, 杨洋, 陈勇, 张瀚文, 高昕晖, 罗雯

北京林业大学; 木材科学与工程教育部重点实验室, 北京 100083

摘要 运用日本产机械应力分等机, 对 384 根足尺天然林落叶松锯材进行动态弹性模量 E_{MSR} 测定, 然后依据美国标准 ASTM D 4761-05, 测量其静态抗弯弹性模量 E_S , 分析 E_{MSR} 与 E_S 的相关性。试验结果显示, 机械应力分等法得到的动态弹性模量 E_{MSR} 的平均值比静态抗弯弹性模量 E_S 的平均值高 3.45% (0.56 GPa); 动态弹性模量 E_{MSR} 与静态抗弯弹性模量 E_S 具有良好的相关性, 相关系数为 0.9423, 且在 0.01 水平显著。该研究表明, 机械应力分等法可作为快速准确评价足尺结构用材力学性质的有效方法。

关键词 结构用材; 机械应力分等; 动态弹性模量; 静态抗弯弹性模量

中图分类号 S781.2, TU531.1

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7875.2011.06.007

Evaluation of Mechanical Properties of Structural Larch Sawn Lumber by Machine Stress Rating

SHEN Shijie, YANG Yang, CHEN Yong, ZHANG Hanwen, GAO Xinhui, LUO Wen

Key Laboratory of Wood Science and Engineering, Ministry of Education; Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

Abstract Elastic properties of 384 full-size Chinese larch (*Larix gmelinii*) sawn lumber (32mm×120mm×3900mm) were tested based on the NDT technique Machine Stress Rating (MSR) and three-point bending test are defined and implemented according to the American Society for Testing and Materials (ASTM) D 4761-05 standard. It is shown that the mean value of E_{MSR}/GPa is 3.45% (0.56 GPa), which is greater than E_S . Statistical linear regression analyses indicate that a relationship exists among dynamic and static elastic properties (at the significance level of 0.01), with a correlation coefficient of 0.9423 between E_{MSR} and E_S . Therefore, it may be concluded that the MSR technique can be used as an effective tool to predict static properties of full-size structural lumber. In addition, with a high degree of automation and the advantage of continuous batch detection, the MSR technique is very suitable for industrial applications today. So, a wide application of the mechanical stress grading technology in wood processing enterprises is surely possible.

Keywords structural lumber; machine stress rating; dynamic modulus of elasticity; static modulus of elasticity

0 引言

随着木材及各种工程木质产品越来越多地应用于建筑领域, 如何在保障工程质量的前提下, 高效合理地利用材料, 已经成为全球建筑者与科研人员关注的焦点。目前, 国际上一致认可的方法是运用无损检测技术评估结构用材的力学性质。

与欧美发达国家相比, 中国在评估结构用材力学性质方面的研究虽刚刚起步, 但取得了较为显著的突破与进展。2005年, 王永维等^[1]就曾对规格材机械分等原理和方法进行

了较为系统的研究, 确定了中国机械分等等级及每一等级的设计强度, 为建立中国机械分等方法奠定了理论基础。国家科技部于 2006 年, 全面启动“十一五”国家科技支撑计划“高强度结构材加工利用技术”课题, 通过引进国外先进技术和设备, 一系列研究工作相继展开。2007 年, 中国林业科学研究院与加拿大国家林产品研究院进行了以“规格材分等测试研究”为课题的项目合作, 探讨利用横向振动技术评估结构材的力学性质^[2], 试验数据表明, 采用横向振动方法得到的动态弹性模量与抗弯弹性模量的相关系数 R^2 为 0.766, 横向振动

收稿日期: 2010-11-01; 修回日期: 2011-02-13

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目 (2006BAD18B0705)

作者简介: 申世杰, 教授, 研究方向为工程木质材料, 电子信箱: shijies@263.net

方法能够用于预测建筑结构材的静态抗弯强度。2009年,安源等^[5]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。2010年,张训亚等^[6]用超声波法测量落叶松规格材的动态弹性模量,用弯曲试验测量其静态抗弯弹性模量和抗弯强度,分析动态弹性模量与静态弹性模量的相关性,也得到了相似的研究结果。

运用无损检测技术评价木材力学性质的主要依据是通过动态的方法测定木材的动态弹性模量,再根据已知的动态弹性模量与静态弹性模量之间的关系来实现对木材力学强度的评估^[9]。本研究在前人研究的基础上,利用机械应力分等法和静态三点弯曲,分别对足尺天然林落叶松锯材进行动态弹性模量和静态抗弯弹性模量测试,通过比较动态和静态弹性模量之间的相互关系,探讨利用机械应力分等法评估大尺寸落叶松锯材力学性质的可行性,为今后落叶松材在木结构建筑中的安全、合理、高效应用,提供理论与技术支持。

1 试验材料与设备

1.1 材料

试验材料为兴安落叶松 (*Larix gmelinii*) 原木,由黑龙江省漠河县宜家木业有限公司提供,产地为黑龙江省大兴安岭,径级主要为 22cm 和 26cm 两个规格,经锯截、干燥、刨光等加工工序,最终制成规格为 32mm×120mm×3900mm 的锯材,共计 384 根。调整含水率至 15% 后,测定试材平均密度为 0.61g/cm³。

1.2 设备

本研究用于动态弹性模量测定的机械应力分等设备由大连龙华木业有限公司提供,生产厂商为日本饭田工业株式会社,型号为 MGFE-251(图 1)。用于静态抗弯弹性模量测定的试验设备为日本津岛 AG-100KNI MO 木材力学万能试验机。



图 1 机械应力分等机

Fig. 1 MSR machine

2 试验方法

2.1 机械应力分等法

机械应力分等法 (Machine Stress Rating, MSR), 是 19 世纪 60 年代逐渐被开发利用的木材无损检测方法,其使用应力分等机对板材施加恒定的变形或力,测得相应的载荷或变形,由计算机系统算出板材的弹性模量,并对板材进行强度

分等^[6]。

本研究使用的机械应力分等机基于两端支撑,中部施压的三点弯曲原理(图 2)。当试材通过机器时,机器中部下方的圆辊对试材施加恒定的变形,与圆辊连接的载荷传感器获得相应的载荷,再由计算机控制系统计算出试材的弹性模量。

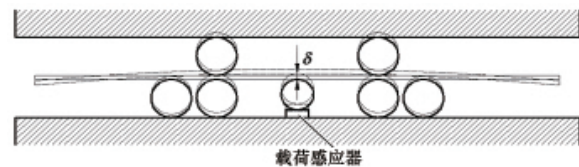


图 2 MGFE-251 原理图

Fig. 2 Schematic diagram of MGFE-251

2.2 静态三点弯曲法

按照美国 ASTM D 4761-05《木材和木质结构材力学性能的测试方法》^[7] 中的要求进行测试。采用宽面加载三点平弯(图 3),随机选择拉伸面,并选取跨高比为 100,测试速度为 10mm/min。



图 3 三点平弯试验

Fig. 3 Flat-wise bending (with center-point loading)

3 结果与讨论

3.1 动态和静态弹性模量的测试结果

采用机械应力分等法和静态三点弯曲法对同一批次 384 块足尺锯材进行试验,测得的动态弹性模量 E_{MSR} 、静态抗弯弹性模量 E_S 如表 1 所示。

由表 1 可以看出,机械应力分等法所得的动态弹性模量 E_{MSR} 范围为 9.60~24.04GPa,与静态弹性模量 E_S 的变化范围 (8.56~25.75GPa) 非常接近,但 E_{MSR} 平均值比 E_S 平均值高 3.45%(0.56GPa)。分析其原因,由于木材不是完全的弹性体,而是黏弹性体,测定时间较长的静态三点弯曲试验法得到的静态弹性模量往往存在黏性应变成分;而动态弹性模量由于测试时间很短,黏性应变可忽略不计,几乎是一个纯粹的弹性现象,因此 E_{MSR} 值比 E_S 值偏高。而二者体现在数值上的差值,正是由于木材发生蠕变,弹性滞后和弹性后效变形所引起。对于试验过程中产生的个别异常值,如 E_S 最大值比 E_{MSR} 最大值高出 1.71GPa,这也许是由于木材自身的巨大变异性所造成,此外,在弯曲试验中试件受到剪切和扭转惯量的影响也不容忽视。

3.2 动态与静态弹性模量频率分布

图 4、图 5 分别为动态弹性模量和静态弹性模量的概率

表 1 足尺锯材动态和静态弹性模量测试结果统计值

Table 1 Elastic properties from dynamic MSR and three-point bending of full-size sawn lumber

弹性性质	试样数	最小值 /GPa	最大值 /GPa	均值 /GPa	标准差	方差	变异系数 /%	偏度	峰度	置信度 (95%)
E_{MSR}	384	9.60	24.04	16.29	2.5709	6.6095	15.78	0.0649	0.0665	0.2579
E_S	384	8.56	25.75	15.73	2.7752	7.7017	17.64	0.1937	0.4267	0.2784

分布图,结合表 1 可以看出, E_{MSR} 与 E_S 均呈现偏正态分布,其中 E_{MSR} 正态性较 E_S 强,这与先前运用机械应力分等法测定木材动态弹性模量的研究结果相似^[8-9]。

3.3 动态与静态弹性模量的相互关系

动态与静态弹性模量之间的相关关系可用线性模型 $y=$

$ax+b$ (y 为 E_S , x 为 E_{MSR}) 表示。回归分析结果表明,机械应力分等方法得到的动态弹性模量 E_{MSR} , 与三点弯曲法测得的静态弹性模量 E_S 具有很好的相关性,相关系数达到 0.9423,且在 0.01 水平显著(图 6)。

在本研究中,尽管机械应力分等方法获得的动态弹性模

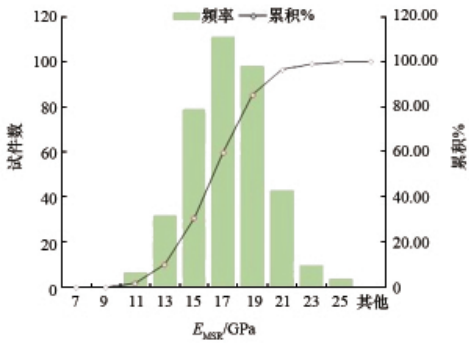


图 4 动态弹性模量概率分布

Fig. 4 Histogram and cumulative frequency of E_{MSR}

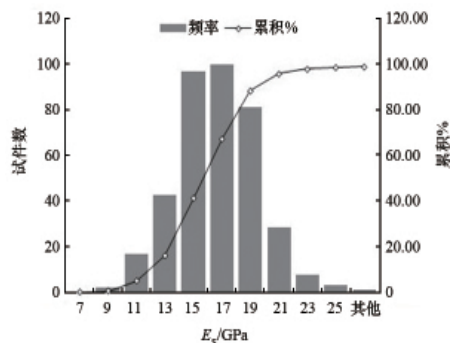


图 5 静态弹性模量概率分布

Fig. 5 Histogram and cumulative frequency of E_S

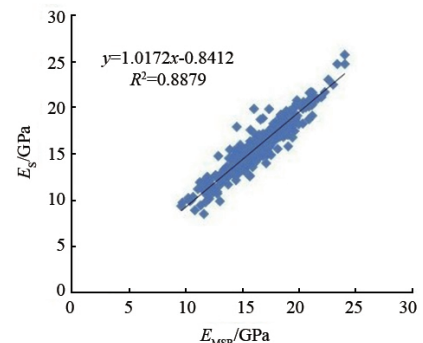


图 6 E_{MSR} 与 E_S 的相互关系

Fig. 6 Relationship between E_{MSR} and E_S

量比根据 ASTM D4761-05 标准测得的静态弹性模量要大,但两者之间显著的相关性说明该机械应力分等设备能够很好地评估足尺结构用材的静态弹性模量,这也表明通过机械应力分等法测得 E_{MSR} 预测 E_S 具有普遍意义。

4 结论

(1) 由机械应力分等法得到的动态弹性模量 E_{MSR} 值比静态弯曲试验实测的 E_S 值高 3.45% (0.56GPa), 二者在数值上的变化范围非常接近。

(2) 试验结果显示, E_{MSR} 与 E_S 二者存在线性关系 $E_S=1.0172E_{MSR}-0.8412$, 且在 0.01 水平上显著相关, 相关系数为 0.9423。

(3) 研究表明,机械应力分等方法能够很好地预测足尺结构材的静态抗弯弹性性质,是一种评价结构用材力学性质的有效方法。并且,该方法自动化程度高,可以实现连续化批量检测,非常适用于工业化实际应用。

参考文献 (References)

[1] 王永维, 龙卫国, 杨学兵. 规格材机械分级方法的研究[J]. 四川建筑科学研究, 2005, 31(6): 3-8.
Wang Yongwei, Long Weiguo, Yang Xuebing. *Sichuan Building Science*, 2005, 31(6): 3-8.
[2] 殷亚方, 吕建雄, 倪春, 等. 横向振动技术评估结构材抗弯、抗拉和抗压强度[J]. 建筑材料学报, 2007, 10(5): 543-547.

Yin Yafang, Lu Jianxiang, Ni Chun, et al. *Journal of Building Materials*, 2007, 10(5): 543-547.
[3] 安源, 殷亚方, 王喜平, 等. 无损检测技术评估规格材的性质 [J]. 木材工业, 2009, 23(4): 5-8.
An Yuan, Yin Yafang, Wang Xiping, et al. *China Wood Industry*, 2009, 23(4): 5-8.
[4] 张训亚, 殷亚方, 罗彬, 等. 超声波预测落叶松规格材的抗弯性能[J]. 木材工业, 2010, 24(3): 1-3.
Zhang Xunya, Yin Yafang, Luo Bin, et al. *China Wood Industry*, 2010, 24(3): 1-3.
[5] 张金菊. 结构用锯材非破坏性检测综合分等技术研究 Combigrade 课题第二阶段试验[D]. 北京: 北京林业大学, 2007.
Zhang Jinju. Potential of strength grading of timber with combined measurement techniques A study on the Combigrade project phase 2[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2007.
[6] 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.
Ren Haiqing, Guo Wei, Yin Yafang. *World Forestry Research*, 2006, 19(3): 66-70.
[7] ASTM. ASTM D 4761-05 Standard test methods for mechanical properties of lumber and wood-base structural material[S]. Washington D C: ASTM International, 2005.
[8] 杨洋, 申世杰, 姜中华. 长白落叶松层板目测分等及动态弹性模量研究[J]. 西南林学院学报, 2010, 30(4): 65-67, 71.
Yang Yang, Shen Shijie, Jiang Zhonghua. *Journal of Southwest Forestry College*, 2010, 30(4): 65-67, 71.
[9] 何林, 王欣, 赵丹, 等. 落叶松锯材外观分等与机械应力分等的试验研究[J]. 林业科技, 2009, 34(6): 50-51, 54.
He Lin, Wang Xin, Zhao Dan, et al. *Forestry Science & Technology*, 2009, 34(6): 50-51, 54.
(责任编辑 代丽)