

“十一五”国家科技支撑计划专栏

超声波预测落叶松规格材的抗弯性能

张训亚, 殷亚方, 罗彬, 姜笑梅

(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: 用超声波法测量落叶松规格材的动态弹性模量(DMOE), 用弯曲试验测量其静态抗弯弹性模量(MOE)和抗弯强度(MOR), 分析 DMOE 与 MOE 和 MOR 的相关性。研究结果表明: 落叶松规格材的 DMOE 值比 MOE 高; DMOE 与 MOE 和 MOR 的相关性均在 0.01 水平显著, DMOE 与 MOE 的相关性高于 DMOE 与 MOR 的相关性。

关键词: 无损检测; 超声波法; 规格材; 动态弹性模量; 抗弯弹性模量; 抗弯强度

中图分类号: S791.22; TS6 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654(2010)03-0001-03

Predicting Bending Performance of Larch Dimensional Lumber by an Ultrasonic Technique

ZHANG Xun-ya, YIN Ya-fang, LUO Bin, JIANG Xiao-mei

(Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry; Key Lab of State Forestry Administration,
Beijing 100091, China)

Abstract: The ultrasonic method, one of the important non-destructive evaluation (NDE) technologies, was used to determine the dynamic modulus of elasticity (DMOE) of dimensional lumber collected from a commercial larch (*Larix gmelinii*) forestry plantation in China. The modulus of elasticity (MOE) and modulus of rupture (MOR) were measured by a three-point bending test. The relationship between DMOE and static MOE, as well as the one between DMOE and static MOR were analyzed. The results indicated that the average DMOE value was greater than the average MOE value. Moreover, the relationship between DMOE and MOE and the relationship between DMOE and MOR were both significant at the 0.01 level. On the other hand, the determination coefficient between DMOE and MOE was greater than that between DMOE and MOR.

Key words: non-destructive testing; ultrasonic method; dimensional lumber; dynamic modulus of elasticity; modulus of elasticity; modulus of rupture

发展快速准确的无损检测技术, 预测建筑结构材的力学性质, 对降低测试成本、推广木结构建筑, 具有重要意义。国内外许多学者利用无损检测法测试锯材的动态弹性模量(dynamic modulus of elasticity, DMOE), 进而预测规格材的强度性质, 取得了显著的成就^[1-3]。

在众多的木材无损检测技术中, 超声波技术具有

方向性好、穿透力强、反射特性敏感, 不易受木材含水率、密度等差异影响的特点, 得到了广泛应用。已有研究表明, 利用超声波法测得木材的 DMOE, 与其静态抗弯弹性模量(modulus of elasticity, MOE)之间具有显著相关性^[4-6]。

本研究利用超声波, 对经过目测分等的国产落叶松规格材进行 DMOE、MOE 和抗弯强度(modulus of rupture, MOR)测试, 分析 DMOE 与 MOE 和 MOR 之间的相关性, 为开发快速、准确的规格材无损检测技术提供理论依据。

收稿日期: 2010-03-11; 修改日期: 2010-04-09

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAD18B07)。

作者简介: 张训亚(1975—), 女, 中国林科院木材工业研究所博士研究生。

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 试验材料

落叶松(*Larix gmelinii*)原木取自黑龙江省塔河,经锯解、干燥后加工成 40 mm×90 mm×4 000 mm 的规格材,共计 194 根。根据 GB 50005-2003《木结构设计规范》进行目测分等,各等级规格材分等结果为:Ⅰ. 70 根,Ⅱ. 35 根,Ⅲ. 56 根,Ⅳ. 33 根。

1.2 试验方法

调整规格材试样的平衡含水率为 12%左右,测量其 DMOE、MOE 和 MOR。

1) DMOE 的测试

使用 Sylvastest-Duo 超声波检测仪,利用超声波脉冲穿透法,根据超声波脉冲在试样中的传播距离(即试样的长度)和传播时间,计算出超声波的平均波速,再由公式(1)计算试样的 DMOE。

$$DMOE=\rho c^2$$
 (1)

式中:DMOE—超声波法测得的动态弹性模量,GPa;
 ρ —试样的密度,kg/m³;c—超声波的传播速度,m/s。

2) 抗弯性能的测试

完成超声波无损检测后,按照最大降等缺陷在两支点间随机分布的原则,将规格材截成长度为2 000 mm 的试样。根据 ASTM D4761《规格材和木基结构用材力学性能测试方法标准》,测试抗弯性能。采用窄边加载方法,跨高比为 18 : 1。

2 结果与讨论

2.1 规格材无损检测和抗弯性能的测试结果

落叶松规格材 DMOE 及 MOE 和 MOR 的检测结果列于表 1。

表 1 无损检测和静态弯曲试验结果

Tab. 1 The results of NDT and bending test

检测指标	来源	Ⅰc	Ⅱc	Ⅲc	Ⅳc	总计
平均值/GPa		18.151	16.743	16.954	17.158	17.383
DMOE 标准偏差/GPa		2.730	2.131	2.713	2.615	2.654
变异系数/%		15.04	12.73	16.00	15.24	15.27
平均值/GPa		14.761	12.701	13.136	12.771	13.582
MOE 标准偏差/GPa		2.523	1.834	2.488	2.650	2.571
变异系数/%		17.10	14.44	18.94	20.75	18.93
平均值/MPa		69.491	54.018	58.676	54.925	61.100
MOR 标准偏差/MPa		20.805	19.684	19.937	21.120	21.286
变异系数/%		29.94	36.44	33.98	38.45	34.84

由表 1 可以看出,各等级试样的 DMOE 值均比 MOE 值偏高。这是因为木材力学性质具有明显的

黏弹性,即木材荷载状态下的变形,包括弹性变形和蠕变变形。黏弹性材料的变形特点在于对时间的依从性。采用静态试验方法,如三点弯曲法测试的 MOE 结果,不仅包含弹性变形的影响,还包括与时间相关的黏性变形的影响;而无损检测法求得的 DMOE,由于测试时间极短,一般未考虑蠕变对变形的影响,即忽略了其黏性变形的影响。因此,规格材的 DMOE 值比其 MOE 值偏高;进行木结构的动力学分析时,必须考虑此差别。

在四个等级的规格材中,Ⅰ. 等级试样的 DMOE、MOE、MOR 平均值均最高。单因素方差分析和 Turkey 多重比较的结果表明,Ⅰ. 等级试样的 DMOE、MOE、MOR 与其他 3 个等级试样的 DMOE、MOE、MOR,在 0.05 水平皆具有显著性差异,而Ⅱ.、Ⅲ. 和Ⅳ. 等级试样间的差异性均不显著。该结果表明,目测分等法尚具有一定的局限性,无损检测方法对提高规格材的分等精度意义重大。

2.2 规格材 DMOE 与抗弯性能之间的关系

对不同等级和所有等级试样的 DMOE 与 MOE 和 MOR 进行一元线性回归分析,见表 2 和图 1~2。

表 2 不同等级试样的 DMOE 与抗弯性能之间
回归方程和相关性

Tab. 2 The regression equation and relationship
between DMOE and MOE, MOR of different
dimensional lumber grades

规格材	回归方程	决定系数 R ²	显著性
Ⅰc	MOE=0.778DMOE+0.643	0.708	***
	MOR=3.702DMOE+2.292	0.236	***
Ⅱc	MOE=0.710DMOE+0.818	0.680	***
	MOR=4.649DMOE-23.816	0.253	***
Ⅲc	MOE=0.799DMOE-0.409	0.759	***
	MOR=3.952DMOE-8.333	0.289	***
Ⅳc	MOE=0.797DMOE-0.896	0.618	***
	MOR=3.899DMOE-11.807	0.232	**
TOTAL	MOE=0.814DMOE-0.570	0.706	***
	MOR=4.255DMOE-12.865	0.282	***

注:**表示在 0.01 水平显著,***表示在 0.001 水平显著。

回归分析结果表明,超声波法得到的 DMOE,与弯曲试验法得到的 MOE 和 MOR 之间,具有显著的相关性。除了Ⅳc 等级试样的 DMOE、MOR 的相关性在 0.01 水平显著外,其余等级试样的 DMOE 和 MOR,以及所有等级试样的 DMOE 和 MOE 的相关性,均在 0.001 水平显著相关。

从表 2 所列决定系数 R² 可以看出,各等级和所有试样的 DMOE 与 MOE 的相关性,均高于相应等

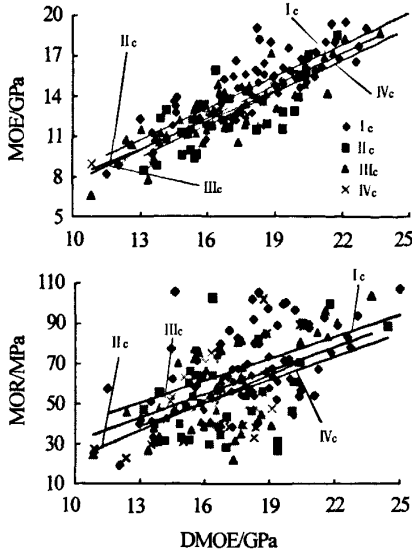


图 1 同等级试样 DMOE 和 MOE、MOR 的相关性
Fig. 1 Relationship between DMOE and MOE, MOR of different dimensional lumber grades

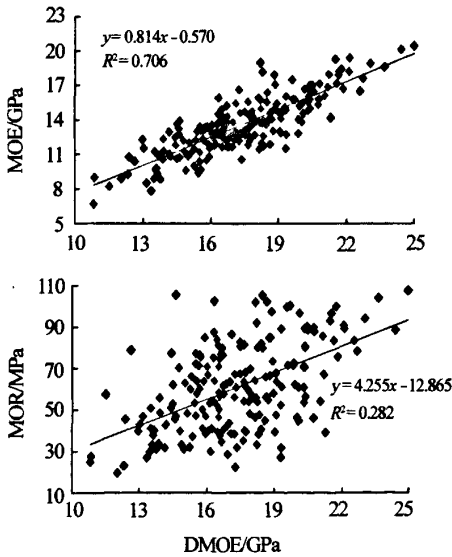


图 2 所有试样 DMOE 和 MOE、MOR 的相关性
Fig. 2 Relationship between DMOE and MOE, MOR of all lumber specimens

级试样 DMOE 与 MOR 的相关性。其主要原因可能在于, MOR 是由材料的局部缺陷特性决定的, 而 DMOE 和 MOE 反映的是木材的整体性能。殷亚方^[7]等的研究结果亦表明, DMOE 和 MOE 之间的相关性($R^2=0.766$)高于 DMOE 与 MOR 之间的相关性($R^2=0.438$), 与本研究结果一致。

试样 DMOE 与 MOE 和 MOR 之间的相关性, 均以Ⅲ_c等级最高, Ⅳ_c等级最低。不同等级试样的 DMOE 与 MOE 和 MOR 之间的决定系数范围分别为: 0.618~0.759 和 0.232~0.289, 不同等级之间的差异均较小。因此, 在采用超声波法预测落叶松规格材的抗弯强度性能时, 可以考虑把所有等级的试样综合起来建立模型, 而不必对各个等级分别建立模型; 而落叶松规格材 DMOE 与 MOR 之间的决定系数偏低, 说明利用超声波法测得的 DMOE 预测 MOR 的效果不够理想, 需要寻求新的途径。

3 结论与建议

1) 由超声波法得到的 DMOE 值比抗弯试验实测的 MOE 值偏高, 各等级试样 DMOE 与 MOE、DMOE 与 MOR 的相关性差异较小, 在采用超声波法预测落叶松规格材的抗弯性能时, 可以用所有等级的试样建立综合模型。

2) 用超声波法测得的 DMOE 预测 MOE 具有普遍意义。在今后的研究工作中, 有待进行不同树种、尺寸、含水率、温度等条件下, 规格材各种强度性能的测试, 以进一步检验应用超声波预测规格材强度性能的可行性和可靠性。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] Udaya B Halabe, Gangadhar M Bidigalu, Hota V S Ganga Rao, et al. Nondestructive evaluation of green wood using stress wave and transverse vibration techniques[J]. Materials Evaluation, 1997, 55(9): 1013-1018.
- [3] Rajeshwar B, Bender D A, Bray D E, et al. An ultrasonic technique for predicting tensile strength of southern pine lumber[J]. Transactions of the ASAE, 1997, 40(4): 1153-1159.
- [4] 江京辉, 吕建雄, 任海青, 等. 3 种无损检测技术评估足尺规格材的静态弹性模量[J]. 浙江林学院学报, 2008, 25(3): 277-281.
- [5] 嵇伟兵, 马灵飞. 利用超声波检测杉木抗弯弹性模量[J]. 浙江林业科技, 2006, 26(3): 21-24.
- [6] Oliverira F G R, Pletz E. Assessment of mechanical properties of wood using an ultrasonic technique[C]. California: Proceedings of the 13th international symposium on nondestructive testing of wood, 2002: 75-78.
- [7] Yin Yafang, Lv Jiangxiong, Ni Chun, et al. Evaluation of bending, tensile, and compressive strength of structural lumber with transverse vibration technique[J]. Journal of Building Material, 2007, 10(5): 543-547.

(责任编辑 向 琴)