

木构件材料力学性能快速检测研究

孙燕良¹, 张厚江¹, 朱磊¹, 闫海成¹, 王喜平², 廖春晖¹

(1. 北京林业大学 工学院, 北京 100083; 2. 美国农业部 林产品实验室, WI 53726-2398)

摘 要:木材的各项力学性能是反映木材综合利用价值的重要指标,如何快速预测出其各项指标,更好的运用木材,一直是相关工作者努力的方向。以木建筑常用材料——红松和落叶松 2 种木材为研究对象,运用微钻阻力仪和应力波测试仪分别对其进行力学性能快速检测,并将检测结果与传力学试验机检测结果进行对比分析。结果表明,这 2 种方法都适于快捷检测评估木构件材料力学性能,其中对于红松,宜选用应力波速度检测弹性模量和抗弯强度 2 项性能;对应落叶松来讲,宜选用微钻阻力检测弹性模量、抗弯强度、抗压强度 3 项性能。

关键词:木建筑;力学性能;微钻阻力仪;应力波测试仪;快速检测

中图分类号:S791.08 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2012)02-0245-04

Rapid Test on Mechanical Properties of Wooden Components

SUN Yan-liang¹, ZHANG Hou-jiang¹, ZHU Lei¹, YAN Hai-cheng¹, WANG Xi-ping², LIAO Chun-hui¹
(1. School of Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. USDA Forest Products Laboratory, WI 53726-2398)

Abstract: Mechanical properties of wood are important indicators to reflect its comprehensive utilization value. How to predict these indicators fast and use wood better, is always troubled with related workers. Based on the common material of wooden structures - Korean pine and larch, the article tested mechanical properties of them respectively with micro-drilling resistance meter and stress wave tester, and compared the results with those tested by the traditional mechanical tester. It was found that both the two methods are suitable for quick evaluation of mechanical properties of wooden component. The micro-drilling resistance method is more suitable for measurement of mechanical properties of larch materials such as bending modulus, compressive strength and bending strength, while the stress wave is more suitable for the estimation of the bending modulus and bending strength of the Korean pine materials.

Key words: wooden building; mechanical property; micro-drilling resistance meter; stress wave tester; rapid test

木材具有良好的弹韧性、材质轻以及耐冲击等特点,是人类最早使用的建材之一。作为一种重要的建筑材料,木材不仅加工能耗少,而且能够固碳、环境污染小,是人类当今社会可持续发展战略构想理想材料^[1]。我国有许多木结构古建筑,近年来木结构房屋也逐渐增多。这些建筑中木构件材料力学性能是关系到整体建筑安全性和寿命的重要指标。如何于建筑现场快捷检测、评估出木构件材料的力学性能,是木结构建筑维护中需要解决的一个

关键问题。

本文运用微钻阻力仪和应力波测试仪 2 种常用的木材性能检测仪器,针对木建筑结构常用的 2 种材料——红松和落叶松,以此为试验对象,分别对 2 种材料加工的试件性能进行了快速测试;通过 2 种方法的对比,探索了对应于不同树种的木材力学性能快速检测的最佳方法,旨在为相关人员在节约时间的基础上,快速获得所期望的结果,从而为木建筑修缮工作提供较为准确的数据基础。

1 材料与方法

1.1 材料

试验开始前先将 2 块红松原材料(板材)和 3 块落叶松原材料(板材)沿顺纹径向加工成 20 mm×20 mm×300 mm 的标准试件,其加工方法遵循《木材物理力学试材锯解及试样截取方法》(GB1929-1991)^[5]。每块红松原材料选取试件 50 根,分别编

为 A、B 2 组;3 块落叶松原材料分别加工出 26、34、28 根试件,分别编为 A、B、C 3 组。并对各组每个试件进行编号,试件试验的顺序与编号顺序一一对应,以便进行数据的记录。根据不同试验,试件尺寸要求不同。这些标准试件用于应力波试验和三点弯曲试验。在这些标准试件上截取一段 30 mm 长的试件用于每个试件的抗压强度检测(表 1)。

表 1 试件尺寸和数量
Table 1 Sizes and numbers of the specimens

试材编号	应力波试验、三点弯曲试验		微钻试验		抗压试验	
	试件尺寸/mm	件数/个	试件尺寸/mm	件数/个	试件尺寸/mm	件数/个
红松 A		50		50		50
红松 B		50		50		50
落叶松 A	20×20×300	26	20×20×300	26	20×20×30	26
落叶松 B		34		34		34
落叶松 C		28		28		28

1.2 方法

具体检测试验包括应力波传播速度测定、微钻阻力测定以及试件力学性能测定等。根据试件尺寸条件,依次进行试验。试验时试件含水率保持在 9%左右。

1.2.1 应力波速度检测 应力波检测法是基于应力波通过被测材料的速度与被测材料密度以及弹性模量的物理关系所建立的测试技术^[6]。利用脉锤撞击木材,使其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质材料的性质^[7-9]。本试验中采用匈牙利制造的 Fakopp 应力波测试仪进行应力波传播速度的检测。先将应力波测量仪的 2 个探针插入试件两端,测量测定点间的距离(本试验均为 30 mm),再沿试件纵向测定,2 个探针与试件长度方向夹角均为 45°。测定时第 1 次敲击的传播时间读数无效,从第 2 次开始,连续测定 3 次所得传播时间读数的平均值作为该试样的测试结果。然后根据试件长度和应力波传播时间计算应力波在该试件中的传播速度。

1.2.2 微钻阻力检测 微钻阻力仪是一种检测木材内部状况的无损检测仪器,将一根探针钻入木材中,通过记录探针钻入过程中的阻力参数来反映木材密度、内部缺陷以及虫蛀等具体情况^[10-12]。本次试验采用德国制造的 Resistograph 4452-P 进行微钻力检测。在试件两端未破坏部分,垂直于试件表面分别进行 2 次微钻试验。将试验过程中采集到的阻力参数导入到电脑中,通过分析阻力曲线图,截取有效数据,导入到 Excel 中计算平均值。将 2 次结果的平均值作为该试件的微钻力最终测定结果。

1.2.3 力学性能检测 抗弯强度的测定依据国标 GB1936.1-1991 进行^[13]。运用深圳瑞格尔公司生产的微机控制电子万能试验机(RGW-3010),根据三点弯曲法沿径向方向对试件进行均匀加载,直到使其破坏(大约 2~3 min),试验中试样跨度为 240 mm,长度方向为顺纹方向。试验中同时测得其抗弯强度和弹性模量;顺纹抗压强度检测依据国标 GB1935-1991 进行^[14]。试验所用仪器为深圳瑞格尔公司生产的微机控制电子万能试验机(RGM-100),以均匀的速度不断对试件进行加载(本试验速度为 3 mm·min⁻¹),直到试件断裂,记录试验结果。试样尺寸为 20 mm×20 mm×30 mm,长度方向平行于木材纹理方向。

2 结果与分析

2.1 红松力学性能与应力波速度(v)、微钻力(F)的相关性分析

结合图 1~图 6 及表 2 可得,应力波速度与红松的弹性模量及抗弯强度均呈显著相关,其中弹性模量与应力波速度呈极显著相关,相关系数达 0.8 以上。与红松的抗压强度相关性较差;微钻力与红松的抗弯弹性模量及抗弯强度也均呈显著相关,但相关系数都小于应力波速度与二者的相关程度;微钻力与红松的抗压强度的相关性一般,且稍好于应力波速度与其的相关性。

2.2 落叶松力学性能与应力波速度、微钻力的相关性分析

由图 7~图 12 及表 3 可知,应力波速度与落叶松的抗弯弹性模量及抗弯强度呈一般线性相关,相

关系数均在 0.4 左右。与落叶松的抗压强度呈明显线性相关,但相关系数小于微钻力与其抗压强度的系数;微钻力与落叶松的抗弯弹性模量及抗压强度均极显著相关,相关系数在 0.8 以上。与落叶松的抗弯强度也呈明显线性相关,且相关性稍好于应力波速度与其抗压强度的相关性。

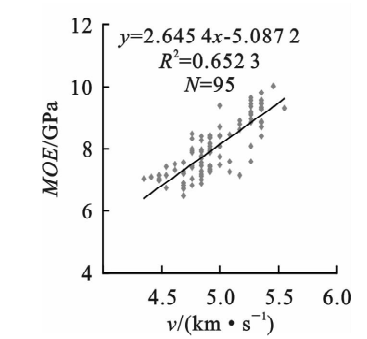


图 1 红松的 MOE 和 v 的关系
Fig. 1 Correlation of MOE and v

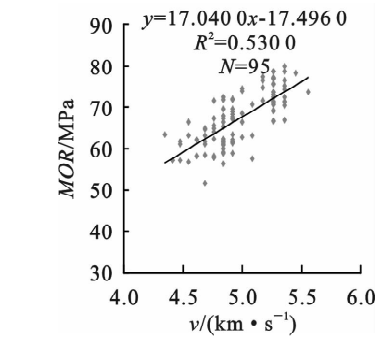


图 2 红松的 MOR 和 v 的关系
Fig. 2 Correlation of MOR and v

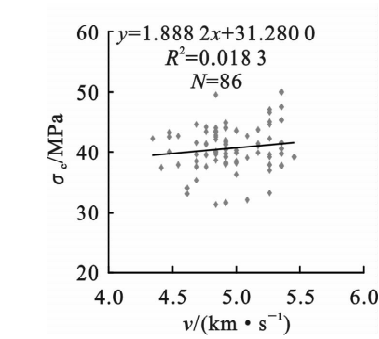


图 3 红松的 σ_c 和 v 的关系
Fig. 3 Correlation of σ_c and v

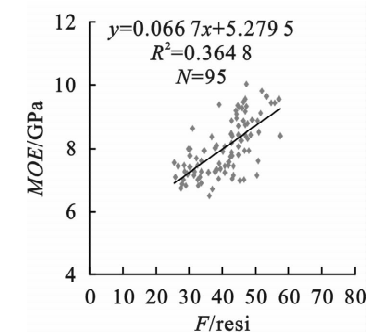


图 4 红松的 MOE 和 F 的关系
Fig. 4 Correlation of MOE and F

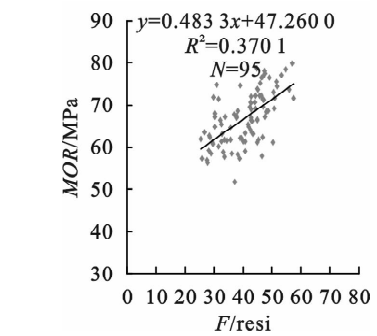


图 5 红松的 MOR 和 F 的关系
Fig. 5 Correlation of MOR and F

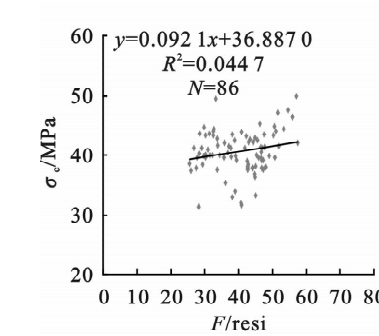


图 6 红松的 σ_c 和 F 的关系
Fig. 6 Correlation of σ_c and F

表 2 红松的 3 种力学性能与应力波速度、微钻阻力的相关分析

Table 2 Correlation equation between v/F and mechanical properties of korean pine

试件数	线性回归方程: $y=ax+b$				相关系数 r	显著性 Sig.
	y	x	a	b		
95	MOE	v	2.645 4	5.087 2	0.807 7	* *
95	MOR	v	17.040 0	17.496 0	0.728 0	*
86	σ_c	v	1.888 2	31.280 0	0.135 3	0.21
95	MOE	F	0.066 7	5.279 5	0.604 0	*
95	MOR	F	0.483 3	47.260 0	0.608 4	*
86	σ_c	F	0.092 1	36.887 0	0.211 4	0.29

注: * * 为极显著相关; * 为显著相关,(表 3 同)。

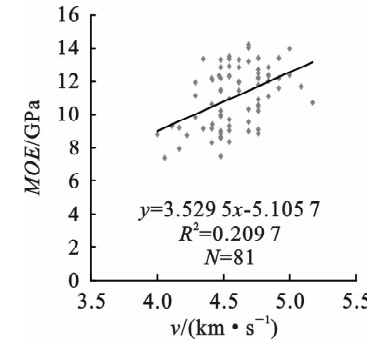


图 7 落叶松的 MOE 和 v 的关系
Fig. 7 Correlation of MOE and v

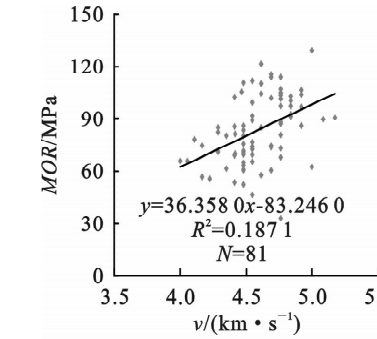


图 8 落叶松的 MOR 和 v 的关系
Fig. 8 Correlation of MOR and v

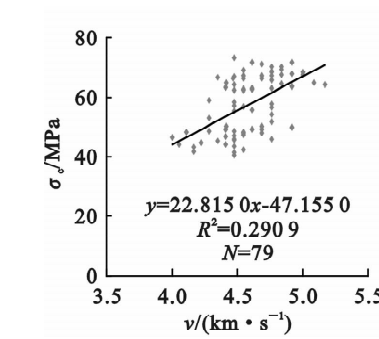


图 9 落叶松的 σ_c 和 v 的关系
Fig. 9 Correlation of σ_c and v

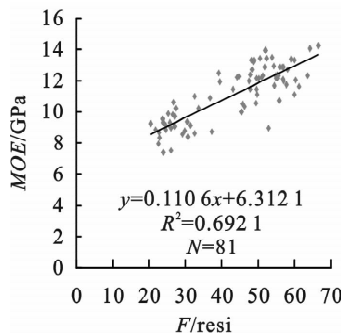


图 10 落叶松的 MOE 和 F 的关系

Fig. 10 Correlation of MOE and F

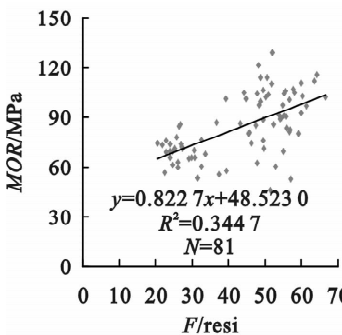


图 11 落叶松的 MOR 和 F 的关系

Fig. 11 Correlation of MOR and F

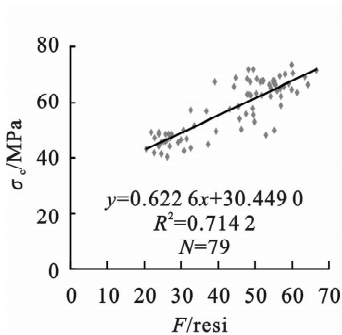


图 12 落叶松的 σ_c 和 F 的关系

Fig. 12 Correlation of σ_c and F

表 3 落叶松的 3 种力学性能与应力波速度、微钻力的相关分析

Table 3 Correlation equation between v/F and mechanical properties of larch

试件数	线性回归方程: $y=ax+b$				相关系数 r	显著性 Sig.
	y	x	a	b		
81	MOE	v	3.529 5	-5.105 7	0.457 9	一般
81	MOR	v	36.358 0	-83.246 0	0.432 6	一般
79	σ_c	v	22.815 0	-47.155 0	0.539 4	*
81	MOE	F	0.110 6	6.312 1	0.831 9	**
81	MOR	F	0.822 7	48.523 0	0.587 1	*
79	σ_c	F	0.622 6	30.449 0	0.845 1	**

3 结论

微钻阻力和应力波速度都能在一定程度上与木材的弹性模量、抗弯强度和抗压强度相关。但根据被测木材种类不同,每种检测方法表现出的相关性有差别。从有效检测木材力学性能角度,希望采用相关性较高的方法。对于红松来讲,宜选用应力波速度检测和评估弹性模量和抗弯强度 2 项性能,但抗压强度不建议采用这 2 种方法进行快速预测,需结合其他指标进行准确测量;对于落叶松来讲,宜选用微钻阻力检测和评估弹性模量、抗弯强度、抗压强度 3 项性能。其中抗弯弹性模量和抗压强度检测精度较高,均可以得到较为可靠的数据。抗弯强度建议采用预测的弹性模量进行评估。

参考文献:

[1] 黄建中,李雪红,申世杰. 浅析我国木材工业的可持续发展[J]. 林产工业,2008,35(2):47-48
HUANG J Z, LI X H, SHEN S J. Discussion on sustainable development of China's wood industry[J]. China Forest Products Industry, 2008, 35(2):47-48. (in Chinese)

[2] 李霞. 木结构建筑的特点及应用前景[J]. 林产工业,2008,35(5):10-11
LI X. Characteristics and application prospect of wooden building[J]. China Forest Products Industry, 2008, 35(5):10-11. (in Chinese)

[3] 石磊尘,徐如海,黄小兵. 浅谈木结构的应用[J]. 山西建筑,2010,36(24):78-79

SHI Y C, XU R H, HUANG X B. On application of wooden structures[J]. Shanxi Architecture, 2010, 36(24):78-79. (in Chinese)

[4] 雷得定,周军浩,刘波,等. 木材改性技术的现状与发展趋势[J]. 木材工业,2009,23(1):37-39
LEI D D, ZHOU J H, L B, *et al.* Current status and development prospect of wood modification technology [J]. China Wood Industry, 2009, 23(1):37-39. (in Chinese)

[5] GB/T 1929-1991. 木材物理力学试材锯解及试样截取方法[S]. 北京:中国标准出版社,2005.

[6] 王欣,申世杰. 木材无损检测研究概况与发展趋势[J]. 北京林业大学学报,2009,31(增刊 1):202-203
WANG X, SHEN S J. Advances in non-destructive testing for lumber[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2009, 31(Supp. 1):202-203. (in Chinese)

[7] 刘妍,张厚江. 木质材料力学性能无损检测方法的研究现状与趋势[J]. 森林工程,2010,26(4):46-47
LIU Y, ZHANG H J. Research situation and trend on non-destructive testing method of wood material mechanical properties[J]. Forest Engineering, 2010, 26(4):46-47. (in Chinese)

[8] 孟令联,赵钟声,刘一星. 木材无损检测技术及其应用与展望[J]. 林业机械与木工设备,2001,26(9):4-5
MENG L L, ZHAO Z S, LIU Y X. Wood non-damage examination technology and its application and prospect[J]. Forestry Machinery & Woodworking Equipment, 2001, 26(9):4-5. (in Chinese)

[9] ROBERT J R, ROY F P. Nondestructive evaluation of wood [M]. America: Forest Products Society, 2002:149-151.