

家具用马尾松单板层积材力学性能的研究

饶 鑫¹, 卫佩行^{1*}, 张 悦¹, 窦延光²

(1. 江苏农林职业技术学院, 江苏 句容 212400; 2. 陕西省林业工业产品质量监督检验站, 陕西 西安 710082)

摘 要:马尾松是我国分布广泛的针叶树种, 且木纹漂亮, 但富含油脂, 影响木材胶合。根据前人研究成果, 用酚醛树脂胶粘剂制造未脱脂马尾松单板层积材可以实现完美胶合。采用随机激励功率谱法测试单板层积材的动态弹性模量, 并采用 3 点静态弯曲试验代替 4 点弯曲试验测试制得板材的静态弹性模量、静曲强度和水平剪切强度以检验材料性能。结果表明: 马尾松单板层积材平均弹性模量 6 231 MPa, 静曲强度 45.5 MPa, 满足家具用材要求; 马尾松单板层积材垂直加载和平行加载条件下的弹性模量相同; 动态弹性模量和静态弹性模量基本吻合; 马尾松单板层积材平行加载下的水平剪切强度大于垂直加载条件下的水平剪切强度。

关键词:马尾松; 单板层积材; 力学性能; 家具

中图分类号:S781.29 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2015)04-0263-04

Mechanical Performances of Laminated Veneer Lumber from *Pinus massoniana* for Furniture Manufacturing

RAO Xin¹, WEI Pei-xing^{1*}, ZHANG Yue¹, DOU Yan-guang²

(1. Jiangsu Polytechnic College of Agriculture and Forestry, Jurong, Jiangsu 212400, China;

2. Shaanxi Province Forestry Industry Product Quality Supervision and Inspection, Xi'an, Shaanxi 710082, China)

Abstract: *Pinus massoniana* is widespread in China and has good-looking grain which leads to the potentiality in furniture manufacturing. However, the rich resin in the timber has influenced the perfect bonding. Based on the previous work, this work made an attempt to manufacture laminated veneer lumber (LVL) which was bonded with phenol-formaldehyde (PF) and test the mechanic performance of LVL product by three-points bending. The results showed that the average modulus of elasticity (MOE) was 6 231 MPa and the average modulus of rupture (MOR) was 45.5 MPa, which could meet the requirements of furniture making. MOE of LVL under flat-wise bending was similar to that of LVL under edge-wise bending. Dynamic MOE of LVL agreed well with static MOE and the horizontal shear strength of LVL under edge-wise bending was greater than that of LVL under flat-wise bending.

Key words: *Pinus massoniana*; laminated veneer lumber (LVL); mechanical performance; furniture

松木家具在西欧、北美、日本、新加坡及日本等地区均有很大的市场, 特别是以松木制作的厨房、室外野餐配套家具更是倍受欢迎^[1-3]。马尾松是我国特有的速生树种, 分布广、生长快、质量高^[4], 且木材花纹漂亮。然而马尾松的开发利用尚处于低附加值的初级阶段。由于马尾松富含松脂, 在加工利用过

程中松脂溢出会污染材面, 影响胶合和油漆, 因此一般情况下, 马尾松板材在使用前应进行脱脂处理^[5-7]。根据前人研究, 马尾松单板脱脂后力学性能下降, 而采用酚醛树脂胶粘剂可以使未脱脂马尾松胶合板实现完美胶合^[8]。另外, 胶粘剂的用量对单板层积材的物理力学性能影响甚小^[9]。正因为如

收稿日期: 2014-10-13 修回日期: 2015-03-24

基金项目: 江苏农林职业技术学院院级科技计划(28013001)。

作者简介: 饶鑫, 男, 讲师, 研究方向: 家具设计与制造。E-mail: raoxin_1983@163.com

* 通信作者: 卫佩行, 男, 讲师, 研究方向: 木质工程材料。E-mail: wayne0448123@163.com

此,若将马尾松制成单板层积材,可大大提高木材利用率,同时又不增加太多成本,用于家具制造则不失为新型优质家具材料。鉴于此,本文尝试采用未脱脂马尾松单板和酚醛树脂胶粘剂制造单板层积材,采用随机激励功率谱法测量单板层积材的动态弹性模量和三点静态弯曲试验测试单板层积材的静态弹性模量、静曲强度和剪切强度以检验材料性能,以期 为家具制造提供 1 种新材料。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

材料:马尾松单板取自安徽六安某胶合板厂,尺寸为 600 mm×600 mm×1.9 mm,初始含水率为 12%左右。在使用前,将单板置于热压机 100℃ 压板温度下进行干燥,使之含水率低于 5%;酚醛树脂来自南京某化工企业,固含量为 45%。

设备:XLB 型平板硫化机,中国青岛亚东橡机有限公司;恒温恒湿箱,无锡伯乐达试验设备有限公司;万能力学试验机,深圳新三思有限公司;安正振动及动态信号采集分析系统包括加速度计,南京安正软件有限公司。

1.2 试验方法

根据前文研究^[10],单板单面涂胶,涂胶量为 120 g·m⁻²。15 张涂胶单板按照顺纹组坯成 1 张单板层积材板坯,共压制 12 张单板层积材,4 张为 1 组,分 3 组。板坯放置在热压机中进行热压,热压参数为:热压温度 140℃,热压时间 30 min,热压压力 1.2 MPa。板坯热压后放置冷却 24 h 后,按图 1 所示将其中 1 组的 2 张板子锯切成弹性模量和静曲强度测试所需尺寸(垂直加载试件:600 mm×40 mm×25 mm;平行加载试件:600 mm×25 mm×25 mm)。如图 2 所示将组中另外 2 张板子锯切成水平剪切强度测试所需尺寸(垂直加载试件:150 mm×40 mm×25 mm;平行加载试件:150 mm×25 mm×25 mm)。其余 2 组作为重复试验,试件制取方法同上。

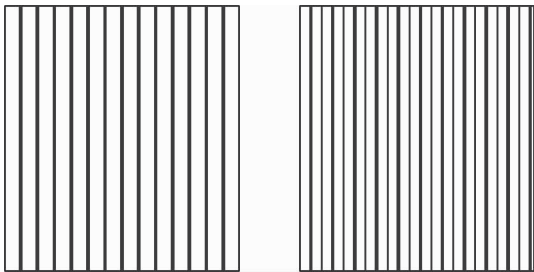


图 1 单板层积材弹性模量和静曲强度测试试件的制取
Fig. 1 LVL specimens' preparation for modulus of elasticity (MOE) and modulus of rupture (MOR)

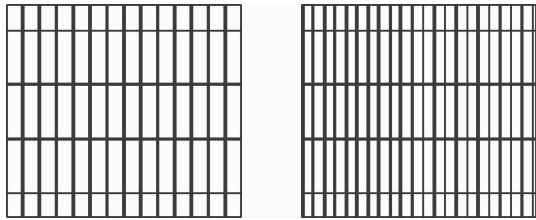


图 2 单板层积材水平剪切强度测试试件的制取

Fig. 2 LVL specimens' preparation for horizontal shear strength

1.2.1 马尾松单板层积材动态弹性模量测试 试件制取完成后,放入恒温恒湿箱中,在温度为 20℃±2℃、相对湿度为 65%条件下平衡至含水率为 12%,然后进行动态弹性模量测试。测试过程(图 3):将 1 只加速度计安装于单板层积材悬臂梁的自由端,通过数据采集箱和计算机,运行振动及动态信号采集分析系统软件,利用频谱分析来测定单板层积材的第 1 阶固有频率 f_1 ,并根据公式(1)计算出 E_d 值^[11]。

$$E_d = \frac{16\pi^2 (M + \frac{33}{140}m) l^3 f_1^2}{bh^3}$$

(1)

式中, M 是加速度计的质量(g), m 是梁的质量(g), f_1 是基频(Hz), l 是梁的长度(mm), b 是梁的宽度(mm), I 是梁的高度(mm)。

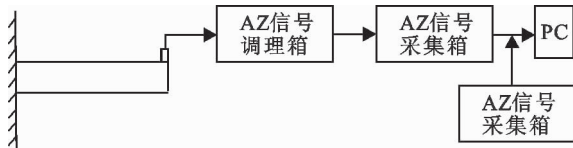


图 3 试件动态弹性模量测试试验

Fig. 3 Test diagram of LVL beam dynamic modulus of elasticity (MOE)

1.2.2 马尾松单板层积材静态力学性能测试 试件动态弹性模量测试完成后,再用万能力学试验机进行马尾松单板层积材静态力学性能测试(图 4、图 5)。

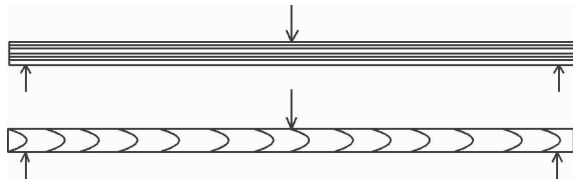


图 4 单板层积材弹性模量和静曲强度的测试(三点弯曲)

Fig. 4 Test of LVL MOE and MOR (three-points bending)

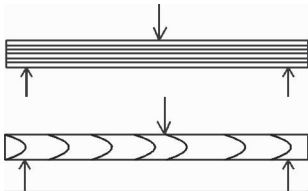


图 5 单板层积材水平剪切强度的测试(三点弯曲)

Fig. 5 Test of LVL horizontal shear strength (three-points bending)

2 结果与分析

2.1 马尾松单板层积材动态弹性模量测试

图 6 为实测的某一马尾松单板层积材试材频谱。频谱中,其横坐标表示频率(Hz),纵坐标为功率量(dB)。将测得的数据带入式(1),并将计算结果取平均值得: $E_d=6\ 354\ \text{MPa}$ (502 MPa)(括号内为标准偏差)。

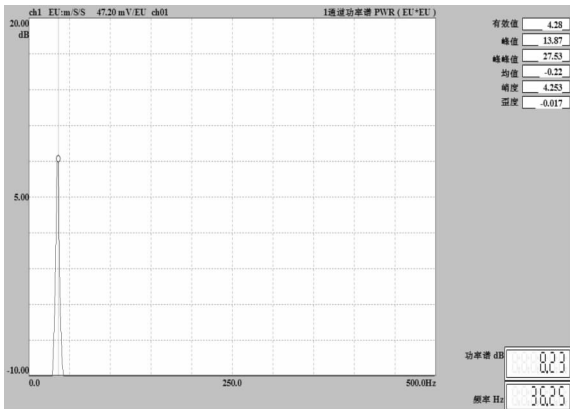


图 6 频谱图

Fig. 6 Frequency spectrum

2.2 马尾松单板层积材静态力学性能测试

2.2.1 马尾松单板层积材静态弹性模量和静曲强度的测试 对马尾松单板层积材试件按照上述方法进行静态弹性模量和静曲强度测试(图 7、图 8)。

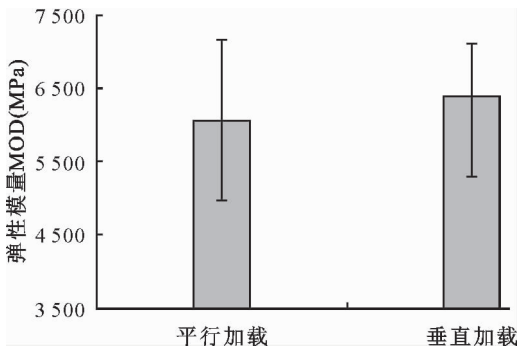


图 7 马尾松单板层积材静态弹性模量测试结果

Fig. 7 Static MOE of *P. massoniana* LVL

从图 7 和图 8 可以看出,马尾松单板层积材静态弹性模量和静曲强度的变异性非常大,这是由于马尾松材性变异大所决定的;尽管在不同加载(垂直加载和平行加载)条件下,测得马尾松单板层积材弹性模量和静曲强度有数值上的差异,但是根据 t 检验(给定显著性水平 $\alpha=0.05$),加载方式对马尾松单板层积材的纵向力学性能无显著性影响;马尾松单板层积材平均静态弹性模量 6 231 MPa,最小静态弹性模量为 5 017 MPa;静曲强度 45.5 MPa,最小静曲强度为 34 MPa,满足家具用材要求。

另外,比较单板层积材动态弹性模量(6 231 MPa)和静态弹性模量(6 354 MPa),可以发现动态弹性模量和静态弹性模量基本吻合。

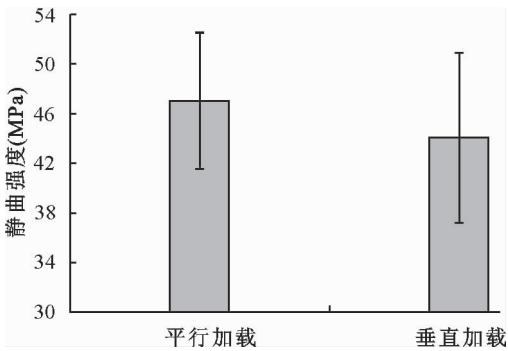


图 8 马尾松单板层积材静曲强度测试结果

Fig. 8 MOR of *P. massoniana* LVL

2.2.2 马尾松单板层积材水平剪切强度 对马尾松单板层积材试件按照上述方法进行水平剪切强度测试^[12](表 1)。

从表 1 可以看出,马尾松单板层积材平行加载下的水平剪切强度大于垂直加载条件下的水平剪切强度。这是因为木材剪切强度大于胶层剪切强度,平行加载时单板层积材的剪切破坏主要是木材剪切顺纹破坏导致,而垂直加载时单板层积材的剪切破坏主要是胶层剪切破坏导致。

表 1 马尾松单板层积材水平剪切强度

Table 1 Horizontal shear strength of *P. massoniana* LVL

测试项目	平行加载	垂直加载
水平剪切强度/MPa	46.6(10.1)	34.4(9.78)

注:括号中为标准偏差。

3 结论与讨论

马尾松单板层积材的力学性能尽管变异性大,但马尾松单板层积材平均弹性模量 6 231 MPa,静曲强度 45.5 MPa,能满足家具用材的需要;

根据 FPL 的结论,三点静态弯曲条件下,跨高比越大,剪切效应越低^[13]。本文中试件跨高比超过 20,根据欧拉-伯努利假设,可以忽略剪切效应。在悬臂梁自由端方式下,采用随机激励功率谱法测量马尾松单板层积材的动态弹性模量 E_d ^[11]。试验结果发现,随机激励功率谱法测定的马尾松单板层积材动态弹性模量和三点弯曲测定的静态弹性模量基本吻合。从试验上佐证了以下推论:一是三点弯曲在跨高比较大的情况下,可以代替四点弯曲测试材料的静态弹性模量;二是试验精度允许的情况下,采用随机激励功率谱法测定的材料动态弹性模量可以反映材料的静态弹性模量。

根据复合材料力学,串联模型和并联模型沿纤

维方向的宏观纵向拉伸弹性模量表达式一致^[15],另外梁的弯曲模量和纵向拉伸弹性模量近似相等^[15]。因此,可推导出垂直加载和平行加载条件下的弹性模量相同。试验发现,马尾松单板层积材垂直加载和平行加载条件下的弹性模量基本相同。说明理论推导和试验结果相吻合。

马尾松单板层积材平行加载下的水平剪切强度大于垂直加载条件下的水平剪切强度。由于木材剪切强度大于胶层剪切强度,马尾松单板层积材平行加载下的水平剪切强度大于垂直加载条件下的水平剪切强度。

参考文献:

[1] 余光. 马尾松家具用材改性处理的几个问题[J]. 林业科技开发,2004,18(1): 41-42.

[2] 李素瑕,刘文金. 几种连接方式对脱脂马尾松家具结构强度的影响[J]. 西北林学院学报, 2014,29(1):169-173.

LI S X, LIU W J. Effects of joint methods on the structural strength of *Pinus massoniana* furniture [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2014, 29(1):169-173. (in Chinese)

[3] 孙静,吴智慧,黄秋陆,等. 层积材家具造型设计初探[J]. 西北林学院学报,2012,27(1):251-254.

SUN J, WU Z H, HUANG Q L, *et al.* Modeling design of laminated veneer lumber furniture [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27(1):251-254. (in Chinese)

[4] 周政贤. 中国马尾松[M]. 北京:中国林业出版社,2001.

[5] 董会军,杜国兴. 马尾松板材的脱脂处理[J]. 林业科技开发, 2001, 15(6): 24-26.

[6] 杨哲,解林坤,彭万喜. 马尾松板材的强碱性脱脂技术[J]. 林业

科技开发,2004,18(2): 39-40.

[7] 卫佩行,黄思维,周定国. 马尾松单板脱脂处理前后性能的变化[J]. 西南林业大学学报, 2012,32(4): 86-89.

WEI P X, HUANG S W, ZHOU D G. Study on property of *Pinus massoniana* veneer before and after degreasing treatment [J]. Journal of Southwest Forestry University, 2012, 32(4): 86-89. (in Chinese)

[8] 卫佩行. 马尾松实木复合地板的研究[D]. 南京:南京林业大学,2011.

[9] WEI P X, WANG B J, ZHOU D G, *et al.* Mechanical properties of poplar laminated veneer lumber modified by carbon fiber reinforced polymer [J]. BioResoures, 2013, 8 (4): 4883-4898.

[10] 饶鑫,卫佩行,周定国. 马尾松单板胶合工艺优化研究[J]. 木材加工机械,2014,12(6):30-32.

[11] 王正,王志强,罗鸿顺. 胶合板弹性模量与阻尼比的动态测量[J]. 木材加工机械,2007(6):8-10.

[12] 卫佩行,王泉中,周定国. 分离刚度法测试杨木单板层积材木梁剪切模量的试验研究[J]. 土木建筑与环境工程, 2012 (34):177-180.

[13] 沈观林,胡更开. 复合材料力学[M]. 北京:清华大学出版社, 2006.

[14] THELANDERSSON S, LARSEN H J. Timber engineering [M]. New York: J. Wiley, 2003.

[15] 朱一辛,程丽美,关明杰. 竹木复合板水平剪切强度的研究[J]. 西北林学院学报, 2006, 21(6): 180-182.

ZHU Y X, CHENG M L, GUAN J M. Study on horizontal shear of bamboo & wood composite board [J]. Journal of Southwest Forestry University, 2006, 21(6): 180-182. (in Chinese)

(上接第 262 页)

[4] 赵泾峰,冯德君,吕智荣. 韩城梁带村芮国 M502 墓葬出土木材研究[J]. 西北林学院学报,2012,27(1):238-259.

ZHAO J F, FENG D J, LYV Z R. Identification of unearthed woods from Rui State Burial at Liangdai Village[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27 (1): 238-259. (in Chinese)

[5] 冯德君,王望生,尹申平,等. 陕西旬邑县东汉壁画墓出土木材的研究[J]. 西北林学院学报,2002,17(1):29-32.

FENG D J, WANG W S, YIN S P, *et al.* Identification of unearthed woods from fresco grave of East Han at Xunyi, Shaanxi[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2002, 17(1):29-32. (in Chinese)

[6] 冯德君,杨军凯,赵泾峰,等. 灞桥段家村汉代水上大型建筑遗址出土木材的研究[J]. 西北林学院学报,2004,19(1):136-141.

FENG D J, YANG J K, ZHAO J F, *et al.* Identification of unearthed woods from big building Ruins on the water of Han Dynasty at Duanjiacun, Baqiao[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2004,19(1):136-141. (in Chinese)

[7] 汪秉全. 陕西木材[M]. 西安:陕西人民出版社,1979:65-67, 73-80,84-88,101-103.

[8] 成俊卿. 木材学[M]. 北京:中国林业出版社,1985:986-987, 1017-1019,1106-1107,1070-1073,1088-1089,1076-1077.

[9] 王西成,田杰. 陶瓷化木材的复合机理[J]. 材料研究学报, 1996(4):435-440.

[10] 王西成,程之强,莫小洪,等. 木材/二氧化硅原位复合材料的界面研究[J]. 材料工程,1998(5):16-18.

[11] 王西成,史淑兰,程之强,等. (Si-, Al-)陶瓷化木材的化学方法[J]. 材料研究学报,2000(1):51-55.

[12] 廖秋霞,卢灿辉,许晨. 原位溶胶—凝胶制备木材—PMMA—SiO₂ 复合材料及其显微结构[J]. 福建化工,2001(1):21-23.

[13] 李坚,邱坚. 纳米技术及其在木材科学中的应用前景(Ⅱ)——纳米复合材料的结构、性能和应用[J]. 东北林业大学学报,2003,31(2):1-3.

[14] 李坚,邱坚. 生物矿化原理与木材纳米结构复合材料[J]. 林业科学,2005,41(1):189-193.

[15] 李坚,邱坚,刘一星. Sol-Gel 法制备木材功能性改良用 SiO₂ 凝胶[J]. 林业科学,2007,43(12):106-111.