包装技术与工程

高频热压杨木单板层积材纵向弹性模量和泊松比的测定与分析

黄先宝[1]，卫佩行[2]，王泉中[2]
（南京林业大学，南京 210037）

摘要：基于四点弯曲法，对一种基于高频热压技术的厚型杨木单板层积材的纵向弹性模量和纵横向泊松比进行了试验测定。其中纵向弹性模量的测定，分别采用了挠度法和应变片法。实验结果表明，2 种测量方法所得纵向弹性模量数值比较接近，但又存在一定的差异，并对其差异的影响因素进行了探讨。基于高频热压技术的杨木单板层积材纵向弹性模量的测定结果表明，其纵向弹性模量接近甚至超过杨木单板，为该材料引入重型产品包装箱领域甚至结构用材料，从而替代原木，提供了一定的参考价值。

关键词：高频热压技术；单板层积材；LVL；纵向弹性模量；纵横向泊松比
中图分类号：TB487；TB484.2　**文献标识码**：A　**文章编号**：1001-3563(2013)05-0001-04

Measurement and Analysis of Longitudinal Elastic Modulus and Poisson´s Ratio of High Frequency Hot Pressing Poplar Laminated Veneer Lumber

HUANG Xian-bao[1]，*WEI Pei-xing*[2]，*WANG Quan-zhong*[2]
(Nanjing Forestry University，Nanjing 210037，China)

Abstract：The longitudinal elastic modulus and length-breadth Poisson´s ratio of a thick high frequency hot pressing poplar laminated veneer lumber was determined using four-point bending method. Flexibility method and strain gauge method was used to determine the longitudinal modulus of elasticity. The experimental results showed that the values of longitudinal elastic modulus in the two measurements are relatively close，but there are also some differences. The influencing factors on the differences were discussed. The test results of high frequency hot pressing poplar LVL longitudinal elastic modulus showed that the longitudinal elastic modulus is close to or above the poplar veneer，which can be reference for substitution of the material for raw wood in heavy product box or even structural materials.

Key words：high frequency hot pressing technology；laminated veneer lumber；LVL；longitudinal elasticity modulus；length-breadth Poisson´s ratio

木材是一种生物质材料，具有很好的环境性能，作为包装材料使用时具有很多的性能优势，如强重比高，抗机械损伤能力强、可承受较大的堆垛载荷，具有一定的缓冲性能，取材广泛，制作比较容易，易于吊装和回收性能好等[1]，至今仍是机电设备与工业产品的主要运输包装容器。我国森林资源相对匮乏，近年来木材供需之间的矛盾也越来越激烈，使得实木在包装工业中的继续发展得到了限制。然而经干燥、热压等深加工工艺生产的包装用人造板，因其在资源、结构和检验检疫方面的优势，近年来发展迅速，具有广阔的应用前景[2]。

单板层积材（LVL）是以小径材和低质原木为主要原料，经旋切成单板后，通过顺纹组坯高频热压胶合而成的工程材料。与实木相比，单板层积材材质均匀、变形小、强度高。我国从 1985 年开始研究这种产品，但结构用 LVL 还没出现大规模的生产和应用，主要作为出口原料。国内单板层积材则主要应用于车厢地板和集装箱底板等，总体规模不大，与国际市场

收稿日期：2013-01-09
基金项目：国家林业公益性行业科研专项(201104004)；财政部项目(特大型机电产品包装箱用竹木复合材料研究与开发)
作者简介：黄先宝(1982-)，男，湖北人，南京林业大学硕士生，主攻固体力学。
通讯作者：王泉中(1956-)，男，南京林业大学教授、博士生导师，主要研究方向为固体力学。

相比存在较大的差距。目前,在国内常见的单板层积材主要是家具用的层合板、轻型包装箱等,其材料的厚度也较小,一般为 18 ~ 75 mm,长度可以不受生产方式的限制[3-4]。

1 高频热压技术在 LVL 中的应用

高频热压技术是解决厚型 LVL 生产的关键。基于高频热压制造技术,项目组成功研制开发出了厚度大于 150 mm 的厚型杨木单板层积材,这种层积材是一种结构用材,用途广,可用于重型机电产品包装箱等。目前,多数企业中木质包装箱的强度设计过高,包装材料选择不当而造成包装过剩的现象很普遍[5],因此对此种材料进行力学性能测定是很有必要的。

2 厚型杨木 LVL 材料弹性模量的实验测定

复合材料力学中,平面应力状态下的单层板有 4 个独立的弹性常数:纵向弹性模量、横向弹性模量、纵横向剪切模量、纵横向泊松比。通过这些弹性常数可以计算、预测整个层合板的刚度值,并进行结构设计[6]。笔者主要针对厚型杨木 LVL 纵向(顺纹)弹性模量和纵横向泊松比进行实验测定。

2.1 材料的准备

材料取自高频热压成形技术生产的可用于重型包装箱的厚型单板层积材(LVL),其厚度达 150 mm 以上,并依据国家标准制作试件。

2.2 材料纵向(顺纹)弹性模量 E_L 的测定

基于四点弯曲测试模型,分别采用挠度法和应变片法测定杨木 LVL 纵向弹性模量 E_L,见图 1 和图 2。挠度法利用百分表获取跨中点处的挠度;应变片法测

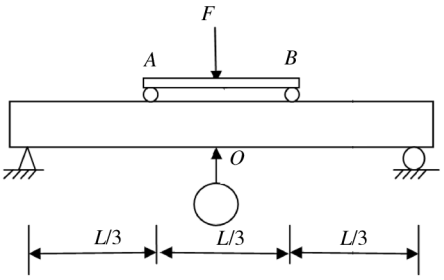

图 1 材料纵向 E_L 的四点弯曲法测量简化模型

Fig. 1 Simple model of longitudinal elastic modulus E_L measurement based on four-point bending method

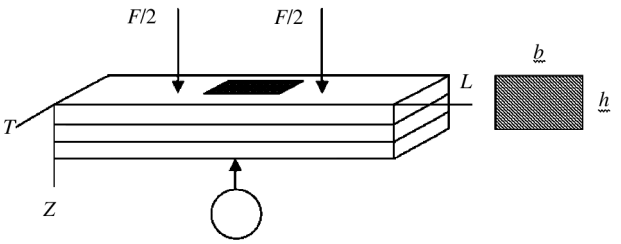

图 2 材料纵向 E_L 的挠度法和应变片法测量

Fig. 2 Simple diagram of longitudinal elastic modulus E_L measurement based on flexibility method and strain gauge method

定试件上下表面应变片的应变值。测试用万能试验机为 WYS-1 型,应变仪为 DH3818 静态应变测试仪。测试采用等增量法加载,每次加载相同的载荷 ΔF,逐级加载。取样材料的尺寸为 $L \times b \times h$,其中 $L = 600$ mm。

用挠度法计算 E_L[7]:

$$E_L = \frac{23\Delta F L^3}{108\Delta y b h^3} \tag{1}$$

用应变片法计算 E_L:

$$E_{上L} = \frac{\Delta F L}{\Delta \varepsilon_{上L} b h^2} \tag{2}$$

$$E_{下L} = \frac{\Delta F L}{\Delta \varepsilon_{下L} b h^2} \tag{3}$$

式中:E_L 为纵向弹性模量;$E_{上L}$为上表面弹性模量;$E_{下L}$为下表面弹性模量;ΔF 为每次加载的载荷;L 为试件跨度值;b 为试件横截面宽度;h 为试件横截面高度;Δy 为中点处的百分表读数(挠度值);$\Delta \varepsilon_{上L}$为上表面纵向应变仪读数;$\Delta \varepsilon_{下L}$为下表面纵向应变仪读数。测试结果见表 1 和 2。

表 1 纵向弹性模量 E_L 的挠度法测定结果

Tab. 1 Longitudinal elastic modulus E_L measurement based on flexibility method

编号	中点 Δy ($\times 10^{-2}$)/ mm	b /mm	h /mm	ΔF /kN	E_L /MPa
1	-27.6	39.36	24.33	-0.02	5880
2	-26.0	38.36	24.74	-0.02	6091
3	-25.8	38.80	24.60	-0.02	6173
4	-26.6	39.65	24.22	-0.02	6139
5	-28.83	39.30	24.17	-0.02	9349
6	-24.8	38.61	24.84	-0.02	6269
7	-26.0	38.66	24.27	-0.02	6369

剔除编号 5 实验结果差别较大的数值,由其余 6 根试件计算出来的算术平均值为 E_L = 6375 MPa。

表 2　纵向弹性模量 E_L 的应变片法测定结果

Tab. 2 Longitudinal elastic modulus E_L measurement based on strain gauge method

编号	b /mm	h /mm	ΔF /kN	$\Delta\varepsilon_{上L}$ ($\times10^{-6}$)	$\Delta\varepsilon_{下L}$ ($\times10^{-6}$)	$E_{上L}$	$E_{下L}$
1	39.36	24.33	−0.02	−54.8	75.8	9399	6794
2	38.36	24.74	−0.02	−72.2	74.0	7079	6906
3	38.8	24.6	−0.02	−72.6	73.4	7040	6963
4	39.65	24.22	−0.02	−71.0	68.0	7267	7587
5	39.3	24.17	−0.02	−81.5	80.17	6413	6520
6	38.61	24.84	−0.02	−70.4	71.4	7155	7055
7	38.66	24.27	−0.02	−75.6	74.2	6935	7065

剔除编号 1 上下表面数据差别太大的数值，由其余 6 根试件计算出来的算术平均值为 $E_{上L}$ = 6981.5 MPa，$E_{下L}$ = 7016 MPa，上下 2 个面的算术平均值为 E_L = 6999 MPa。

2.3　材料纵横向泊松比 μ_{LT} 的测定

基于四点弯曲测试模型，采用应变片法测定杨木 LVL 的纵横向泊松比 μ_{LT}。基于图 2 的测量简图，在试件上下表面接近中心的位置，分别沿纵向和横向粘贴应变片。测试采用等增量法加载，每次加载相同的载荷 ΔF，逐级加载，并记录应变仪的读数。用应变片法计算 μ_{LT}：

$$\mu_{上LT} = -\frac{\Delta\varepsilon_{上T}}{\Delta\varepsilon_{上L}} \tag{4}$$

$$\mu_{下LT} = -\frac{\Delta\varepsilon_{下T}}{\Delta\varepsilon_{下L}} \tag{5}$$

式中：$\Delta\varepsilon_{上T}$ 为上表面横向应变仪读数；$\Delta\varepsilon_{下T}$ 为下表面横向应变仪读数。测试结果见表 3。

表 3　纵横向泊松比 μ_{LT} 的应变片法测定

Tab. 3 Poisson´s ratio μ_{LT} measurement based on strain gauge method

编号	b /mm	h /mm	ΔF /kN	$\Delta\varepsilon_{上L}$ ($\times10^{-6}$)	$\Delta\varepsilon_{上T}$ ($\times10^{-6}$)	$\mu_{上LT}$	$\Delta\varepsilon_{下L}$ ($\times10^{-6}$)	$\Delta\varepsilon_{下T}$ ($\times10^{-6}$)	$\mu_{下LT}$
1	39.36	24.33	−0.02	−54.8	49	−0.8942	75.8	−40	−0.5277
2	38.36	24.74	−0.02	−72.2	40.4	−0.5596	74	−42.4	−0.5730
3	38.8	24.6	−0.02	−72.6	43.8	−0.6038	73.4	−43.8	−0.5967
4	39.65	24.22	−0.02	−71	44.2	−0.5484	68	−54.75	−0.6983
5	39.3	24.17	−0.02	−81.5	46.67	−0.5726	80.17	−33.83	−0.4220
6	38.61	24.84	−0.02	−70.4	26	−0.3693	71.4	−29.8	−0.4174
7	38.66	24.27	−0.02	−75.6	34.4	−0.4550	74.2	−35.2	−0.4744

由 7 根试件计算出来的算术平均值 $\mu_{上LT}$ = −0.5718，$\mu_{下LT}$ = −0.5299，上下 2 面的算术平均值 μ_{LT} = −0.5509。

3　结果与分析

3.1　LVL 纵向弹性模量 2 种测试方法实验结果对比

表 1 中挠度法测 E_L 的平均值为 6375 MPa，表 2 中应变片法测 E_L 的平均值为 6999 MPa。从实验结果来看，2 种测试方法数据比较接近，相对误差为 8.9%。而经过试验测定的杨木单板纵向（顺纹）弹性模量一般在 6000 ~ 8000 MPa[8]。从数据来看，厚型杨木 LVL 的纵向弹性模量接近甚至超过了杨木单板。

3.2　弹性模量 E_L 实验结果分析

1）从 2 种不同测量弹性模量的实验方法来看，应变片法的测量结果要比挠度法的测量结果数值偏大，2 种结果的相对误差为 8.9%。造成这种差异的原因在于，采用应变片法的四点弯曲法测试模型，中间段为纯弯状态，其纵向变形仅由纯弯引起。而采用挠度法虽然测试模型相同，但所测得的跨度中点的挠度实际上是有弯矩与剪力共同作用下的总挠度，而在计算式里只计入了弯曲引起的挠度。四点弯曲法测试模型对应的梁，其截面上的内力分布见图 3 和 4。

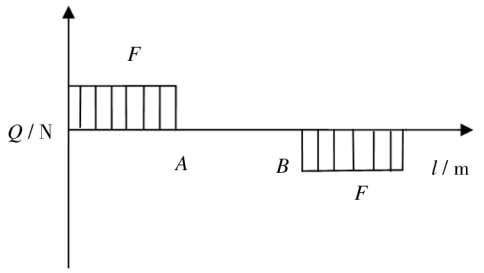

图 3　试件的剪力图

Fig. 3 Shearing force diagram of check bar

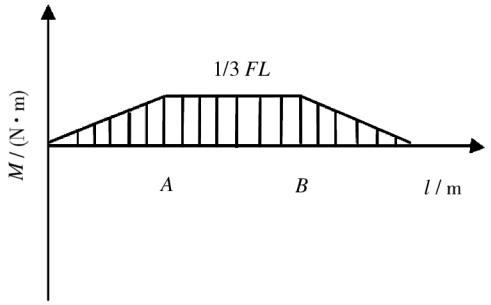

图 4 试件的弯矩图

Fig. 4 Flexural moment diagram of check bar

2）从应变片法的测试数据来看，上表面 $E_{上L}$ 和下表面 $E_{下L}$ 分别为 6981.5，7016 MPa。从实验结果来看，采用四点弯曲法的实验模型，其实验结果符合纯弯形式下的理论基础。从而说明了采用四点弯曲法测定厚型杨木 LVL 弹性模量的正确性和结果的可靠性。上下表面的弹性模量相对误差为 0.5%，误差非常小，说明材料相对于中性层来说稳定性好。

4 结论

以材料力学实验方法为基础，对一种基于高频热压技术的厚型杨木单板层积材的纵向弹性模量和纵横向泊松比进行了实验测定。在对纵向弹性模量进行实验测定时，通过挠度法和应变片法 2 种不同的实验方法进行对比，验证了测量模型的正确性和材料性能实验测定结果的可靠性。对基于高频热压技术的厚型杨木 LVL 纵向弹性模量的测试结果表明，其纵向弹性模量接近甚至超过杨木单板，为该材料引入重型产品包装箱领域甚至结构用材料，从而替代原木，提供了一定的参考。

参考文献：

[1] 张书彬，杨明伦. 我国木包装材料的现状与发展[J]. 中国包装工业，2002(10)：32-33.
ZHANG Shu-bin，YANG Ming-lun. Current Status and Development of Wood-based Packaging Materials in Our Country[J]. China Packaging Industry，2002(10)：32-33.

[2] 张方文，于文吉. 木质包装材料的发展现状和前景展望[J]. 包装工程，2007，28(2)：27-30.
ZHANG Fang-wen，YU Wen-ji. Current Status and Development of Wood-based Packaging Materials[J]. Packaging Engineering，2007，28(2)：27-30.

[3] 张心安，朱一辛. 单板层积材的研究与发展现状[J]. 中国林业产业，2005(4)：26-28.
ZHANG Xin-an，ZHU Yi-xin. Progress and Prospect on Laminated Veneer Lumber[J]. China Forest Industry，2005(4)：26-28.

[4] 张一帆. 单板层积材的应用和发展前景[J]. 林产工业，2001，28(3)：9-12.
ZHANG Yi-fan. Application and Develop Prospect of Laminated Veneer Lumber[J]. China Forest Products Industry，2001，28(3)：9-12.

[5] 丁毅，高雁，曾珊琪. 木质包装箱结构优化设计[J]. 包装工程，2005，26(5)：131-135.
DING Yi，GAO Yan，ZENG Shan-qi. Optimum Structural Design of Wooden Packing Box[J]. Packaging Engineering，2005，26(5)：131-135.

[6] 卢晓宁，王志强，杜以诚，等. 速生杨木单板面内剪切模量预测模型[J]. 南京林业大学学报(自然科学版)，2006，30(1)：93-94.
LU Xiao-ning，WANG Zhi-qiang，DU Yi-cheng，et al. The Prediction of In-plane Shearing Modulus of Poplar Veneer[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)，2006，30(1)：93-94.

[7] 吕斌，付跃进，吴盛富，等. 几种人工林树种单板层积材的生产试验及力学性能研究[J]. 林产工业，2004 3(3)：13-17.
LYU Bin，FU Yue-jin，WU Sheng-fu，et al. Trial Production and Mechanical Property of LVL Made from Plantation Wood[J]. China Forest Products Industry，2004，3(3)：13-17.

[8] 卢晓宁，陈宇聪，陈颖. 速生杨木单板顺纹弹性模量预测模型[J]. 南京林业大学学报(自然科学版)，2002，26(3)：9-13.
LU Xiao-ning，CHEN Yu-cong，CHEN Ying. The Prediction of Elastic Modulus Along the Grain of Poplar Veneer[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)，2002，26(3)：9-13.