

研究简报

利用振动法检测胶合板的抗弯弹性模量

胡英成¹, 王逢瑚¹, 刘一星¹, 中尾哲也²

(1. 东北林业大学, 哈尔滨 150040; 2. 日本岛根大学, 日本)

摘要: 通过弯曲振动试验、纵波传播试验及纵波共振试验对胶合板的抗弯弹性模量进行无损检测, 并分析了三种试验方法测定结果之间的关系。结果表明: 虽然不同方法测得的胶合板弹性模量值不同, 但其间存在一定的内在联系。

关键词: 胶合板; 无损检测; 抗弯弹性模量; 振动法

中图分类号: TS653.3, S781.21 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654(2001)02-0003-03

Study on Modulus of Elasticity in Bending of Plywood by Vibration Method

HU Ying-cheng¹, WANG Feng-hu¹, LIU Yi-xing¹, Tetsuya Nakao²

(1. Northeast Forestry University, Harbin 150040; 2. Shimane University, Japan)

Abstract: The dynamic modulus of elasticity (*MOE*) in bending of plywood was measured by tests of flexural vibration, longitudinal transmission and longitudinal resonant vibration. The results indicated that the *MOE* of plywood by different nondestructive tests were different, but there was a correlation between them.

Key words: Plywood; Nondestructive test; Modulus of elasticity (*MOE*); Vibration method

近年来,随着人造板工业的发展,人造板已广泛应用于家具、建筑、车辆、船舶、医疗器械、广播器材和通讯行业。为了正确、合理地使用人造板,需要了解其内部材质性能。

无损检测(又称非破坏检测),是在不破坏物质原有材质和形状情况下,对材料的某些特性进行检测。无损检测的最大优点是既不破坏材料的原有特性,而且能在短时间内获得结果,以便操作人员作出判断,有利于生产的连续性和生产效率的提高^[1]。

人造板的抗弯弹性模量是极其重要的力学性能指标之一,与静曲强度、内结合强度等力学性能均有较为密切的相关性^[2]。依据这种相关性,可以由抗弯弹性模量推测静曲强度等性能指标。有鉴于此,本文利用纵波传播法、纵波共振法、弯曲振动法对胶合板的动态弹性模量进行无损检测,并分析各种方法所得测量值的内在关系,以期进一步将其应用于生产实际,可以节约原材料,保证产品安全可靠,实现质量控制,提高劳动生产率,向全自动化方向发展。

1 试验材料和方法

1.1 试验材料

试验用胶合板从市场购得,为JAS一等普通胶合板,平均密度为574 kg/m³。厚度规格分为9,12,15 mm三种;胶合板表板纤维按倾斜角分为0,45,90°三种。将整张合板按表1列出的尺寸锯制试件,然后将试件放入恒温恒湿室(20℃, 65%RH)平衡处理一个月。处理完毕的试件经电子天平称重和游标卡尺测量尺寸后进行振动试验。

表1 胶合板试件的规格尺寸

Tab. 1 Dimension of plywood specimen

编号	规格尺寸(长×宽×厚)/mm	纤维倾斜角 θ /(°)
1	400×50×9	0
2	400×50×9	45
3	400×50×9	90
4	400×50×12	0
5	400×50×12	45
6	400×50×12	90
7	400×50×15	0
8	400×50×15	45
9	400×50×15	90

收稿日期: 2000-10-16

第一作者: 胡英成(1972-), 男, 东北林业大学讲师, 博士研究生。

1.2 振动试验

分别进行纵波传播试验、纵波共振试验和弯曲振动试验。试验全部在日本岛根大学农学部林产加工场 20℃、65%RH 的恒温恒湿实验室内进行。

1.2.1 纵波传播试验 如图 1 所示,采用木工用压敏型胶粘剂将传感器与试件的两端连接在一起,在试件的一端利用自动铅笔芯折断时产生的冲击力作为发射信号,试件另一端的传感器接收信号,发射信号和接收信号通过放大后传到 FFT 分析仪(快速傅立叶变换分析仪),测得触发信号和接收信号的时间差,利用音速与抗弯弹性模量之间的关系式 $E_v = \rho c^2$ (式中 ρ 为板密度, c 为纵波传播速度)计算出纵波传播动态抗弯弹性模量 E_v 。

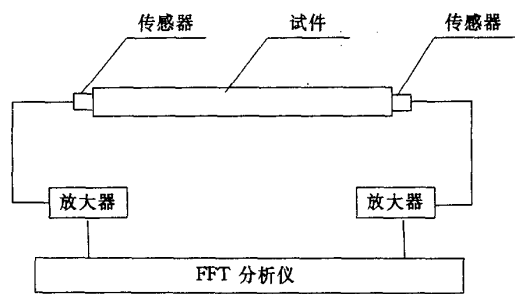


图 1 纵波传播试验示意图

Fig. 1. Longitudinal transmission test

1.2.2 纵波共振试验 如图 2 所示,手指轻轻地握持试件的中部,用小锤敲击试件的一端,用麦克风在试件另一端附近接收信号,信号经过放大后,传到 FFT 分析仪进行解析,得到共振频率,利用公式 $E_p = \rho(2Lf_n/n)^2$ (式中 ρ 为板密度, f_n 为纵波振动频率, L 为试件长)计算出纵波共振抗弯弹性模量 E_p 。

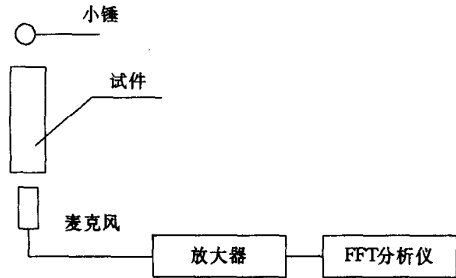


图 2 纵波共振试验示意图

Fig. 2 Longitudinal resonant vibration test

1.2.3 弯曲振动试验 如图 3 所示,在弯曲振动的节点处(0.224 L)用细绳将试件吊起,用小锤敲击试件的一端,另一端用麦克风接收信号,经放大后传到 FFT 分析仪,测得共振频率,试件的放置有使板的表面水平、垂直两种放置方法,面外(水平放置)、面内

(垂直放置)两个方向的振动试验得到面外、面内弹性模量。对于面外振动,每次测定取前 4 个(包括基频在内)共振频率,对面内振动,每次测定取前 3 个(包括基频在内)共振频率,利用考虑剪切力以及回转惯性力影响的 TGH(Timoshenko-Goens-Hearmon)法^[3],求得面外弯曲振动抗弯弹性模量 E_1 与 面内弯曲振动抗弯弹性模量 E_2 。

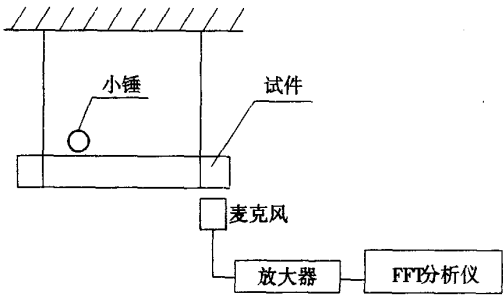


图 3 弯曲振动试验示意图

Fig. 3 Flexural vibration test

2 试验结果

2.1 弯曲振动法

用弯曲振动法对胶合板动态抗弯弹性模量进行测定。每块胶合板按面外和面内两个方向分别测量,利用剪切力以及回转惯性力影响的 TGH 法,计算面外弯曲抗弯弹性模量 E_1 和面内弯曲抗弯弹性模量 E_2 ,将测量结果平均值列入表 2。

表 2 胶合板弯曲振动抗弯弹性模量

Tab. 2 MOE of plywood measured by flexural vibration test

编号	面外 E_1			面内 E_2			试件数
	平均值 GPa	标准差 GPa	变异系数 %	平均值 GPa	标准差 GPa	变异系数 %	
1	5.754	0.403	7.0	4.597	0.265	5.8	9
2	2.159	2.159	9.8	2.087	0.187	9.0	9
3	6.850	0.632	9.2	7.898	0.775	9.8	9
4	7.792	0.674	8.6	6.509	0.513	7.9	9
5	2.026	0.198	9.8	2.145	0.214	10.0	9
6	7.196	0.724	10.1	8.054	0.742	9.2	9
7	10.168	0.998	9.8	7.248	0.426	5.9	9
8	1.929	0.183	9.5	2.192	0.111	5.1	9
9	6.916	0.531	7.7	8.080	0.625	7.7	9

2.2 纵波共振法

如 1.2.2 所述进行胶合板动态抗弯弹性模量的测量。从 FFT 分析仪上读取共振频率,利用公式 $E_p = \rho(2Lf_n/n)^2$ 求得动态抗弯弹性模量。测量平均值列入表 3。

2.3 纵波传播法

如 1.2.1 所述进行胶合板动态抗弯弹性模量测

量。从 FFT 分析仪上读取时间差,利用公式 $E_v = \rho c^2$ 求得动态抗弯弹性模量。测量平均值列入表 3。

表 3 胶合板纵波传播、纵波共振抗弯弹性模量
Tab. 3 MOE of plywood measured by longitudinal transmission and longitudinal resonant vibration test

编号	纵波传播 E_v			纵波共振 E_p			试件数
	平均值 GPa	标准差 GPa	变异系数 %	平均值 GPa	标准差 GPa	变异系数 %	
1	7.382	0.331	4.5	4.518	0.302	6.7	9
2	4.037	0.282	7.0	2.035	0.112	5.5	9
3	9.928	1.143	11.5	7.816	0.425	5.4	9
4	9.488	0.836	8.8	6.607	0.207	3.1	9
5	3.496	0.145	4.2	2.038	0.136	6.7	9
6	10.499	0.335	3.2	8.493	0.327	3.9	9
7	10.218	0.851	8.3	7.385	0.485	6.6	9
8	3.320	0.144	4.3	2.043	0.187	9.2	9
9	10.907	0.574	5.3	8.029	0.391	4.9	9

3 讨论

3.1 胶合板弯曲振动抗弯弹性模量与纵波共振抗弯弹性模量的关系

不同厚度、不同纤维倾斜角的胶合板的面外弯曲振动抗弯弹性模量与纵波共振抗弯弹性模量之比 E_1/E_p 如图 4(a) 所示。由图可见, E_1/E_p 与胶合板表板的纤维方向有关。当 $\theta=0^\circ$ 时, $E_1/E_p > 1$; 当 $\theta=45^\circ$ 时, $E_1/E_p \approx 1$; 当 $\theta=90^\circ$ 时, $E_1/E_p < 1$ 。对 E_1 与 E_p 进行回归分析, 得到线性回归方程: $E_p = 0.8461E_1 + 0.6657$, $R = 0.8938 > R_{0.05} = 0.6664$ 。可以认为回归效果显著, E_1 与 E_p 具有密切相关性。

不同厚度、不同纤维倾斜角的胶合板的面内振动抗弯弹性模量与纵波共振抗弯弹性模量之比 E_2/E_p 如图 4(b) 所示。由图可见, 随着厚度、纤维倾斜角的变化, E_2/E_p 略有变化, 但变化不大, 当 $\theta=0^\circ$ 时, $E_2/E_p = 0.981 \sim 1.017$, 最大值与最小值的差异相对值

为 3.6%; 当 $\theta=45^\circ$ 时, $E_2/E_p = 1.026 \sim 1.073$, 差异相对值为 4.5%; 当 $\theta=90^\circ$ 时, $E_2/E_p = 0.948 \sim 1.010$, 差异相对值为 6.3%。对 E_2 与 E_p 进行回归分析, 得到线性回归方程: $E_p = 1.0389E_2 - 0.1941$, $R = 0.9985 > R_{0.05} = 0.6664$ 。可以认为回归效果显著, E_2 与 E_p 具有密切相关性。

3.2 弯曲振动抗弯弹性模量与纵波传播抗弯弹性模量的关系

不同厚度、不同纤维倾斜角的胶合板的面外弯曲振动抗弯弹性模量与纵波传播抗弯弹性模量之比 E_1/E_v 如图 5(a) 所示。由图可见, 胶合板表板的纤维方向对 E_1/E_v 的影响很大。当 $\theta=0^\circ$ 时, $E_1/E_v = 0.779 \sim 0.995$, 最大值与最小值的差异相对值为 24.4%; 当 $\theta=45^\circ$ 时, $E_1/E_v = 0.535 \sim 0.581$, 差异相对值为 8.2%; 当 $\theta=90^\circ$ 时, $E_1/E_v = 0.634 \sim 0.690$, 差异相对值为 8.5%。对 E_1 与 E_v 进行回归分析, 得到的线性回归方程: $E_v = 1.0138E_1 + 1.9757$, $R = 0.9282 > R_{0.05} = 0.6664$, 可以认为回归效果显著, E_1 与 E_v 具有密切相关性。

不同厚度、不同纤维倾斜角的胶合板面内弯曲振动抗弯弹性模量与纵波传播抗弯弹性模量之比 E_2/E_v 如图 5(b) 所示。由图可见, E_2/E_v 与胶合板表板的纤维方向有关。当 $\theta=0^\circ$ 时, $E_2/E_v = 0.623 \sim 0.709$, 最大值与最小值的差异相对值为 12.9%; 当 $\theta=45^\circ$ 时, $E_2/E_v = 0.517 \sim 0.660$, 差异相对值为 24.3%; 当 $\theta=90^\circ$ 时, $E_2/E_v = 0.741 \sim 0.796$, 差异相对值为 7.2%。对 E_2 与 E_v 进行回归分析, 得到线性回归方程: $E_v = 1.1866E_2 + 1.2614$, $R = 0.9880 > R_{0.05} = 0.6664$ 。可以认为回归效果显著, E_2 与 E_v 具有密切相关性。

以上讨论了利用三种振动法测得的动态抗弯弹性模量之间的关系。对于均质材料而言, 上述几种

方法测得的动态抗弯弹性模量是应该相同的, 而胶合板属于非均质材料, 表板和芯板存在差异, 因而造成胶合板断面内的不均匀性。正是这种不均匀性, 再加上各种测定方法的振动原理不尽相同, 造成各种方法所测得的动态抗弯弹性模量有一定差异, 有的甚至差异较大, 但它们之间仍存在较密切的相关性。

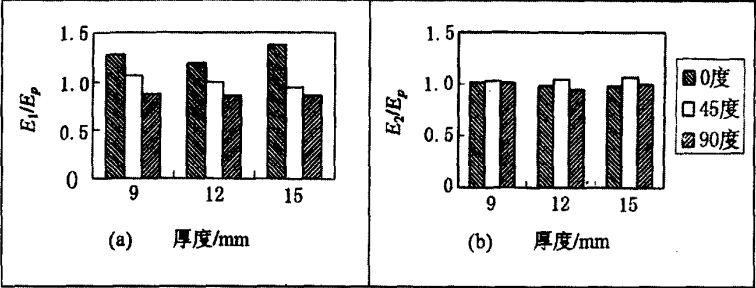


图 4 胶合板弯曲振动抗弯弹性模量与纵波共振抗弯弹性模量的关系
Fig. 4 Relation between MOE of plywood measured by flexural vibration and longitudinal resonant vibration test

(下转第 8 页)

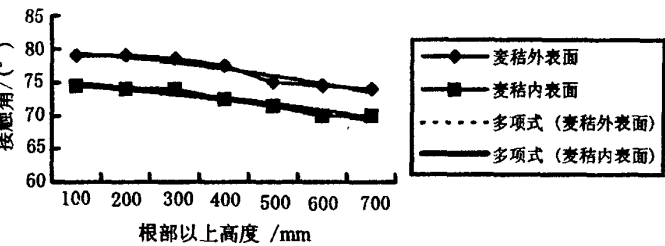


图 2 麦秸纵向表面接触角分布
Fig. 2 Distribution of portrait surface contact angle for wheat straw

合性能的提高。

3 结论

- 1) MDI 对麦秸的润湿性较好;UF 对麦秸的润湿性较差。
- 2)麦秸表面的自由能比木材要低得多。
- 3)从麦秸的根部向上,麦秸表面的润湿性能逐渐变好,但变化不大;麦秸中心层的润湿性能要比其内、外表面好。

参考文献:

[1] 张大同,等. 小麦草各部位纤维形态和化学组成的分析[J]. 中国造纸,1990,8(4):16~21.
[2] 李坚. 木质材料的界面特性与无胶胶合技术[M]. 哈尔滨:东北林业大学出版社,1989,18~25.
[3] 李兰亭. 胶粘剂与涂料[M]. 北京:中国林业出版社,1992,23~30.
[4] Liu, et al. Characterization of the Interface between Cellulose Fibers and a Thermoplastic Matrix[J]. Composite Interfaces, 1994, 2(6): 419~432.

细胞组成的纤维组织带;基本组织,所占比例较大,结构疏松,均由薄壁细胞组成;维管束组织,分布在纤维组织带和基本组织中。由于麦秸的厚度较薄(0.10~0.40 mm),所以在测试麦秸的横向润湿性能时,仅在其内、外表面和中心层的位置测试了 MDI 和 UF 树脂胶粘剂对其表面的接触角(见表 1)。结果表明:麦秸中心层的润湿性能要比其内、外表面好得多。因此,在制造麦秸刨花板时,原料粉碎细一些,有利于其胶

(上接第 5 页)

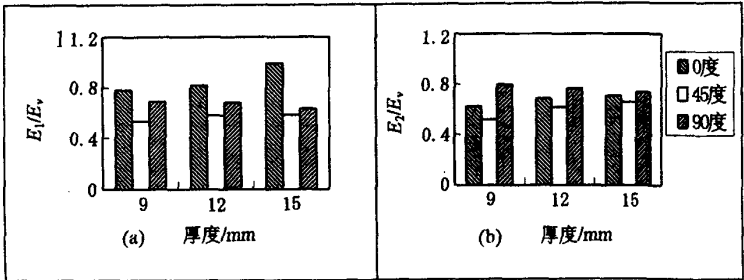


图 5 胶合板弯曲振动抗弯弹性模量与纵波传播抗弯弹性模量的关系
Fig. 5 Relation between MOE of plywood measured by flexural vibration and longitudinal transmission test

4 结论

利用弯曲振动法、纵波共振法、纵波传播法测得的胶合板动态抗弯弹性模量之间有一定差异,有的甚至差异较大,但它们之间存在较密切的相关性。

- 1) 胶合板的面外弯曲振动抗弯弹性模量与纵波共振抗弯弹性模量间有如下关系:当 $\theta=0^\circ$ 时, $E_1/E_p > 1$; 当 $\theta=45^\circ$ 时, $E_1/E_p \approx 1$; 当 $\theta=90^\circ$ 时, $E_1/E_p < 1$ 。
- 2) 胶合板的面内弯曲振动抗弯弹性模量与纵波共振抗弯弹性模量之间有如如下关系:当 $\theta=0^\circ$ 时, $E_2/E_p = 0.981 \sim 1.017$, 当 $\theta=45^\circ$ 时, $E_2/E_p = 1.026$

~ 1.073 , 当 $\theta=90^\circ$ 时, $E_2/E_p = 0.948 \sim 1.010$ 。

- 3) 胶合板的面外弯曲振动抗弯弹性模量与纵波传播抗弯弹性模量间有如下关系:当 $\theta=0^\circ$ 时, $E_1/E_v = 0.779 \sim 0.995$, 当 $\theta=45^\circ$ 时, $E_1/E_v = 0.535 \sim 0.581$, 当 $\theta=90^\circ$ 时, $E_1/E_v = 0.634 \sim 0.690$ 。

- 4) 胶合板面内弯曲振动抗弯弹性模量与纵波传播抗弯弹性模量间有如下关系:当 $\theta=0^\circ$ 时, $E_2/E_v = 0.623 \sim 0.709$; 当 $\theta=45^\circ$ 时, $E_2/E_v = 0.517 \sim 0.660$; 当 $\theta=90^\circ$ 时, $E_2/E_v = 0.741 \sim 0.796$ 。

参考文献:

[1] 日本非破坏检查协会编. 非破坏检查的实际[R]. 日本:东京, 1957.
[2] Ross J R, Pellerin F R. Nondestructive Testing for Assessing Wood Member in Structure[J]. FPL-GTR-70, 1994.
[3] Hearmon R F S. The Influence of Shear and Rotatory Inertia on the Free Flexural Vibration of Wooden Beams[J]. Brit. J. Appl Phys., 1958, 9(10):381~388.