

结构增强木塑板材的力学性能无损检测^{*}

于贵文 李丹婷 常 江 林 晶

(哈尔滨商业大学轻工学院, 哈尔滨 150028)

摘要 以回收高密度聚乙烯和杨木纤维加工而成有、无加强筋的木塑板材试件,运用3种振动无损检测方法测试其动态弹性模量,并依据美国材料试验标准 D790-03 通过三点弯曲实验获得静态弹性模量。阐述了加强筋对3种振动无损检测弹性模量的影响,分析了3种木塑板材的动态弹性模量与其静态弹性模量的相关性。结果表明,加强筋能够增强木塑板材的强度,并且振动无损检测法适合木塑板材及其结构增强板材的检测。

关键词 加强筋 木塑复合材料 无损检测 动态弹性模量 静态弹性模量

木塑复合材料是由聚合物与木材纤维(或木粉)混合通过注模机挤压而成的一种新型结构材料,其中聚合物包括聚乙烯、聚丙烯和聚氯乙烯等。由于木塑复合材料具有环保、可回收利用、防潮以及比强度高优点,因此具有广泛的应用前景,正在不断取代户内外地板等装修材料,特别是用作建筑结构板材。但是,其力学强度和抗蠕变性能低于木材,为了增加木塑复合材料的强度和抗蠕变性能,木塑工业对结构增强板材的生产极大渴望^[1]。一些企业已经生产了各种异型结构板材,如由高密度聚合物与杨木纤维混合制造的结构增强木塑复合板材,如果其性能像期待的那样,该类板材将保持较快速增长,这就迫切需要研究该类产品的力学特性^[2]。

在近几十年来,无损检测方法用于木材的排架、等级分类。木材的弹性模量是反映木材力学性能的一个重要指标,经常应用无损检测技术来测试^[3],如果结构增强木塑板材的弹性模量和强度也能通过无损检测的方法来准确获得,不但能够节省大量的原材料和资金,而且,结构增强木塑板材作为结构用材的可信度将大大提高。笔者应用纵波传播、纵向共振和弯曲振动3种无损检测方法检测了木塑板材及其结构增强板材的动态弹性模量,并根据美国材料实验协会 D790-3 标准,运用三点弯曲实验法测得相同试件的静态弹性模量。研究结构增强木塑板材的动态弹性模量是否与静态弹性模量相关,加强筋对动、静态弹性模量均值及其变异系数的影响,以及3种无损检测方法是否适用于结构增强木塑板材的力学性能检测。

1 材料与工艺

1.1 试件加工

研究中应用的回收高密度聚乙烯是从黑龙江省

哈尔滨市一家回收站获得,木纤维是哈尔滨一家木材加工厂提供。在东北林业大学教育部重点实验室用螺旋注模机上加工成加强筋个数分别为0、1、2的3种木塑板材,高密度聚乙烯和木纤维的质量分数分别为60%和40%。

根据 D790-3 标准,将3种木塑板材制作成 200 mm × 30 mm × 7 mm 的试件,其截面形状如图1所示。并根据标准要求,将所有的试件在相对湿度为(65 ± 5)%、温度为(20 ± 2) °C 的控制箱内存放 24 h。

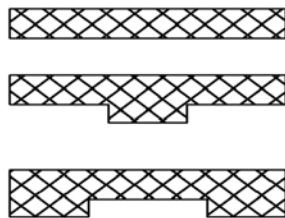


图1 3种木塑板材的截面图

1.2 无损检测方法

无损检测是一门以不破坏被检测对象的性质和使用效果为前提,对材料进行有效的检验和测试,用于评价材料的完整性或其它物理力学特性的综合性应用科学技术。振动无损检测法是运用电子传感器、快速傅里叶变换仪和电子计算机等设备,对振动信号进行分析、处理和计算,检测材料弹性模量和剪切模量等力学性能的方法。

(1) 纵波传播法

通过纵波传播测得的动态弹性模量(E_e)和其声音传播速度(v)可根据式(1)、(2)计算^[4]:

$$E_e = \rho v^2 \quad (1)$$

^{*} 黑龙江省自然科学基金项目(C201014)

$$v = l/T \tag{2}$$

式中: ρ ——试件的密度;
 l ——试件的长度;
 T ——声波传播的时间。

(2) 纵向振动法

通过纵向振动测得的动态弹性模量(E_p)可依据式(3)计算^[5]:

$$E_p = \rho \left(\frac{2lf_n}{n} \right)^2 \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \tag{3}$$

式中: f_n ——声波的频率。

(3) 弯曲共振法

弯曲共振弹性模量(E_I)是通过面外弯曲共振法完成。试件悬挂在两根吊绳之间,绳的悬挂位置在试件两端长度的0.224倍处,这个位置相当于整个振动系统的节点。振动频率通过高度敏感的麦克风传输给快速傅里叶变换分析仪,然后运用一组公式计算出 E_I 的数值^[6]。

(4) 静压实验法

根据D790-3标准测得的静态弹性模量(E_B)可根据式(4)计算:

$$E_B = \frac{L^3 m}{4bh^3} \tag{4}$$

式中: L ——试件支撑跨度;
 m ——加载破坏曲线直线部分的斜率;
 b ——试件的宽度;
 h ——试件的厚度。

2 结果和讨论

2.1 数据分析

表1列出3种木塑板材的动态弹性模量和静态弹性模量的平均值。从表1可以看到,加强筋对木塑板材的强度具有一定的加强作用。纵波传播测得的动态弹性模量 E_v 是该种材料动态弹性模量中数值最大的,纵向振动测得的弹性模量 E_p 在数值上最接近于相同试件的静态弹性模量 E_B , E_I 处于 E_v 和 E_p 之间,并且,静压实验测得的弹性模量 E_B 数值最小。其原因如下:(1)加强筋对纵波传播获得的动态弹性模量影响较小,对纵向共振和弯曲共振获得的动态弹性模量影响较大,而对静态弹性模量的影响最大。(2)动态弹性模量反映材料的整体性能,静态弹性模量反映材料的局部性能,因此,动态弹性模量的均值大于其静态弹性模量的均值。(3)标准差的变化范围是0.008~0.12 GPa,变异系数均小于2%,因此,所测得的各种数据具有较高的精确

性^[7]。

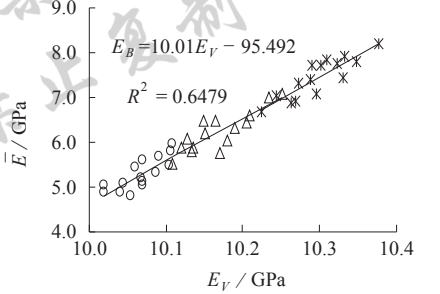
表1 不同种类试件的动、静态弹性模量对比

项目	加强筋数量/个	E_v	E_p	E_I	E_B
平均值/ GPa	0	10.067	7.458	7.976	5.285
	1	10.168	7.715	8.243	6.238
	2	10.298	8.023	8.559	7.450
标准差/ GPa	0	0.008	0.020	0.023	0.095
	1	0.011	0.023	0.026	0.012
	2	0.011	0.021	0.026	0.120
变异系数/ %	0	0.11	0.27	0.29	1.80
	1	0.11	0.30	0.31	1.93
	2	0.11	0.27	0.30	1.61

2.2 相关性分析

(1) E_v 和 E_B 之间的相关性

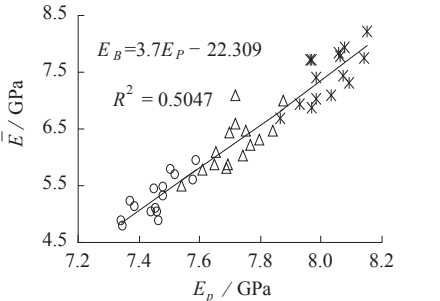
图2是 E_v 和 E_B 之间的回归曲线,其线性回归公式为: $E_v = 0.1E_B + 9.54$, $R_v = 0.805 > R_{13, 0.05}$ (13个试件误差为0.05的相关系数) = 0.514,因此, E_v 和 E_B 之间有很强的相关性,原因是声波的传播时间能反映材料的整体性能。



×—2个加强筋; △—1个加强筋; ○—无加强筋
图2 E_v 和 E_B 之间的回归曲线

(2) E_p 和 E_B 之间的相关性

图3是 E_p 和 E_B 之间的回归曲线,其线性回归公式为: $E_p = 0.27E_B + 6.03$, $R_p = 0.710 > R_{13, 0.05} = 0.514$,因此, E_p 和 E_B 之间具有较强的相关性,其原因是敲击的形式和频率基本反映了材料的整体性能。

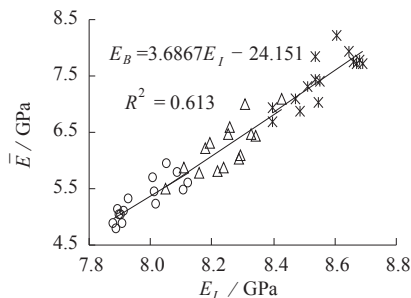


×—2个加强筋; △—1个加强筋; ○—无加强筋
图3 E_p 和 E_B 之间的回归曲线

(3) E_I 和 E_B 之间的相关性

图4是 E_I 和 E_B 之间的回归曲线,其线性回归公

式为: $E_I = 0.271E_B + 6.551$, $R_I = 0.783 > R_{13,0.05} = 0.514$, 因此, E_I 和 E_B 之间具有较强的相关性, 其原因也是敲击的形式和频率能反映材料的整体性能。



*—2个加强筋; Δ —1个加强筋; $\circ$ —无加强筋

图4 E_I 和 E_B 之间的回归曲线

3 结论

(1) 对于所有的振动无损检测实验, 动态弹性模量均高于相应的静态弹性模量, 且 $E_V > E_I > E_P > E_B$; 加强筋对 E_V 影响较小, 对 E_P 和 E_I 影响较大, 对 E_B 影响最大; 加强筋能够增加木塑板材的强度。

(2) 3种振动无损检测法的动态弹性模量与相应的静态弹性模量之间具有较强的相关性; 而且, 3条回归曲线近似为一条直线, 说明增强效果与加强筋的数量呈线性关系。当然, 这一结论还应通过大

量实验进一步证实。

(3) 振动无损检测的弹性模量与静态弹性模量的相关性较强, 因此, 振动无损检测能够很好地评价木塑板材及其结构增强板材的力学特性。

参考文献

- [1] Bakraji E H, Salman N. Properties of wood-plastic composites: Effect of inorganic additives[J]. Radiation Physics and Chemistry, 2003, 66(1): 49-53.
- [2] Nzokou P, Freed J, Kamdem D P. Relationship between non destructive and static modulus of elasticity of commercial wood plastic composites[C]. Holzals Roh-unk Werkstoff, 2006, 64: 90-93.
- [3] Yang Xiaoyang, Amano T, Ishimaru Y, et al. Application of modal analysis by transfer function to nondestructive testing of wood II[J]. Wood Science, 2003, 49(1): 140-144.
- [4] Hu Yingcheng, Nakao T, Nakai T, et al. Dynamic properties of three types of wood-based composites[J]. Journal of Wood Science, 2005, 51(2): 7-12.
- [5] 胡英成. 木塑复合材料的动态特性研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2004.
- [6] Cheng Fangchao, Hu Yingcheng. Dynamic properties and nondestructive testing of finger joint poplarlumber[C]. International Symposium on Test and Measurement, China, 2009: 1899.
- [7] 冷劲松, 杜善义, 王殿富, 等. 复合材料结构敲击法无损检测的灵敏度研究[J]. 复合学报, 1995, 12(4): 99-105.

NONDESTRUCTIVE TESTING ON MECHANICAL PROPERTIES OF STRENGTHENED WOOD-PLASTICS PLATES

Yu Guiwen, Li Danting, Chang Jiang, Li Jing

(College of Light Industry, Harbin University of Commerce, Harbin 150028, China)

ABSTRACT Three vibration nondestructive testing (NDT) methods were used on the plates with stiffener and without, which were made of recycled high-density polyethylene and poplar fibers. The values of dynamic Young's modulus of all specimens were measured by three different NDT methods on a FFT system, and the static modulus of elasticity (MOE) were measured by three-point bending test according to the ASTM standard D 790-03. The variability of the dynamic Young's modulus of the specimens with stiffener and without obtained by three NDT methods were analyzed, and the correlativity was also estimated between the dynamic Young's modulus and the static MOE of the same specimens. These results suggest that the intensity of the plates could be enhanced by stiffeners, and the three NDT methods could be appropriate to estimate the dynamic Young's modulus of the plates with stiffener and without.

KEYWORDS stiffener, wood-plastic composite, nondestructive testing, dynamic Young's modulus, static modulus of elasticity

国内首套环保型宽幅 PETG 片材生产线 研制成功并推向市场

国内首套环保型宽幅 (5.5 m) 聚对苯二甲酸乙二醇酯-1,4-环己烷二甲醇酯 (PETG) 片材生产线在青岛汉邦塑料机械有限公司研制成功并推向市场, 结束了我国生产宽幅 PETG 片材长期依赖进口设备的历史。

该生产线采用多项先进技术, 双机共挤、性能稳定可靠、容易操作控制。该设备生产出的双色宽幅 PETG 片材能够耐多种化学品以及常用的清洁剂, 韧性和高抗冲击强度非常

突出, 还具有封装性能好、尺寸稳定、拉伸强度高、耐磨损、使用寿命长、光泽好、易于加工印刷、无污染以及透光透明度高等优点。

(中聚网)

福建鸿伟年产 6 万 t PU、PE 树脂等项目年内开建

福建鸿伟树脂有限公司年产 6 万 t PU、PE 树脂及 PU、PVC 处理助剂建设项目目前正处于开工准备阶段。

该项目位于福建福鼎工业园区, 总投资 9882 万元, 建设内容为新建 6 万 t PU、PE 树脂及 PU、PVC 处理助剂、色料 2.6 万 t, 项目计划年内开建。

(建材网)