

托盘用人造板弹性模量与强度的相关关系

康柳^{1,2}, 储德森^{1,2}, 赵美霞^{1,2}, 母军^{1,2}

(1.木质材料科学与应用教育部重点实验室, 北京 100083; 2.北京林业大学, 北京 100083)

摘要: **目的** 缓解托盘用人造板抽样检测时资源浪费且费时费力的现状, 推进实现常用板材的无损检测。**方法** 采用纵向共振法对 9 层胶合板、单板层积材及一种工厂用新型层积材进行共振频率的检测并计算得到动弹性模量, 分析动弹性模量与静弹性模量、静曲强度之间的相关性。**结果** 胶合板、单板层积材的动弹性模量与静弹性模量、静曲强度之间分别在 0.001 水平上具有较强的线性相关性, 新型层积材的动弹性模量、静曲强度、静弹性模量在 0.001 水平上也具有一定的线性相关性, 较胶合板及单板层积材相关性稍差。**结论** 3 种结构人造板弹性模量与静曲强度均存在一定的线性相关性, 纵向共振法在新型层积板材上的可应用性较胶合板及单板层积材略差。

关键词: 木质托盘; 静弹性模量; 动弹性模量; 静曲强度

中图分类号: TB484.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)21-0110-05

Relationship between MOE and MOR of Wood Composite Panel Used in Trays

KANG Liu^{1,2}, CHU De-miao^{1,2}, ZHAO Mei-xia^{1,2}, MU Jun^{1,2}

(1.The Key Laboratory of Wooden Materials Science and Application of the Ministry of Education, Beijing 100083, China;

2.Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

ABSTRACT: Wood composite panels used in trays would be destructive during its sampling process, which causes the waste of resources and time. The work aims to alleviate this situation and promote nondestructive testing. Longitudinal wave resonance method was used to test the resonant frequency and calculate the dynamic MOE of 9-layer plywood, LVL and a new type of LVL board. The correlation among dynamic MOE, static MOE and MOR was analyzed. The results showed that the dynamic MOE, static MOE and MOR respectively had strong linear correlation at the 0.001 level of plywood and LVL while they had certain linear correlation at the 0.001 level of new-LVL, slightly inferior to plywood and LVL. In conclusion, MOE and MOR of three wood composite panels have certain linear correlation. Applicability of longitudinal wave resonance method in new-LVL is slightly poorer than that in plywood and LVL.

KEY WORDS: wooden trays; static MOE; dynamic MOE; MOR

托盘是产品在贮存和运输中最基本的集装单元, 其中木质托盘在商品流通中使用最为普遍。木质托盘用板条强度会直接影响其支撑强度。目前中国国内板条强度测试通常采用破坏性抽样检测, 测试速度慢且损坏板条, 造成材料浪费。无损检测技

术近年来发展迅速, 将无损检测技术应用于实木及人造板是对传统检测方式的革新, 同时扩大了无损检测的应用范围。在一定程度上无损检测技术已成为实木和人造板生产工艺控制中必不可少的条件^[1]。对结构用板材而言, 如定向刨花板、胶

收稿日期: 2016-04-18

基金项目: 北京市教委共建项目-重点学科建设项目

作者简介: 康柳(1992—), 女, 河北人, 北京林业大学硕士生, 主攻木质复合材料。

通讯作者: 母军(1970—), 女, 河北人, 博士, 北京林业大学教授、博导, 主要研究方向为木质生物质材料应用。

合板及单板层积材等,其静弯曲弹性模量及静弯曲强度是最为重要的力学指标^[2]。目前木质材料力学性能研究中常用的无损检测方法有机械应力法、振动检测法、应力波检测法、超声波检测法、FFT 分析检测等^[1,3]。胡英成教授^[4]研究结果表明,振动法得到的弹性模量结果与静弹性模量结果有显著的线性相关关系。于贵文^[5]发现不同方法下得到的木塑板材的动态弹性模量与静态弹性模量之间分别具有较强的相关性。振动法分析常用 FFT 分析^[6—10]。FFT 分析检测法 Timoshenko 理论^[11],根据木质材料的共振频率、密度和尺寸,最终可得到相应的弹性模量。龚煌^[12]通过 FFT 分析仪进行解析,得到胶合板的共振频率并通过计算得到其弹性模量。

为缓解托盘用人造板抽样检测时资源浪费且费时费力的现状,推进实现常用板材的无损检测,文中采用纵向共振法对 9 层胶合板、单板层积材及一种工厂用新型层积材进行共振频率的检测并得到动弹性模量,通过分析动弹性模量与静弹性模量、静曲强度之间的相关性为托盘常用人造板的无损检测提供一定的理论依据。

1 实验

1.1 材料

实验用板材均采自苏州科维包装公司托盘用 9 层杨木人造板。试样分为 3 组进行测试,3 组试件分别为胶合板(LVB)、单板层积材(LVL)及一种工厂用新型结构层积板材(New-LVL),新型层积材结构见图 1。首先对试件进行纵向振动测试,每组 15 个试件,试件加工为 720 mm×90 mm×1 mm,其次对试件进行静弹性模量和静曲强度测试,根据 GB/T 17657—2013《人造板及饰面人造板理化性能试验方法》,将同批试件加工为 360 mm×50 mm×13 mm,每组 15 个。

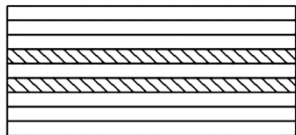


图 1 新型层积板材
Fig.1 New-LVL

1.2 力学性能检测

动弹性模量测试选用纵向共振法。通过纵向共振

检测木材的共振频率,计算得到其动态弹性模量^[14]: $E=4F_m^2 \cdot L^2 \cdot \rho$ 。式中: F_m 为纵向共振测得的共振频率(Hz); L 为板材长度(m); ρ 为板材密度(kg/m^3)。

纵向共振试验原理见图 2,用轻质的纸板在试件的两端将其支撑起,自由支撑点距离试件两端分别为试件长度的 0.224。将高灵敏度的微音器置于试件一端的侧面,再用小锤敲击试件的另一端以获得振动信号,微音器将采集到的信号传到 FFT 分析仪进行解析,得到共振频率^[13]。每个试件敲击次数为 3 次。

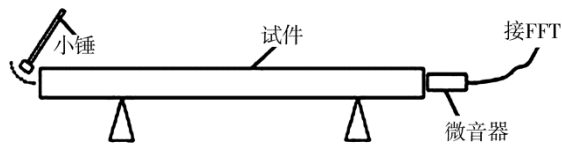


图 2 纵向共振试验原理
Fig.2 Schematic diagram of longitudinal wave resonance test

弹性模量(MOE)及静曲强度(MOR)的测定按照 GB/T 17657—2013 进行,采用三点测试法,试验中试件跨度为 300 mm,以 10 mm/min 的速度均匀加载至试件破坏。试验所用设备为济南耐而试验机有限公司生产的微机控制人造板万能试验机(MMW-50)。

2 结果与分析

2.1 基本力学性能

3 种结构板材的静曲强度及静弹性模量测试结果见表 1。由表 1 可知新型层积板材的静曲强度与静弹性模量均低于单板层积材,但是在较大程度上均优于普通胶合板。相对于胶合板及单板层积材的弹性模量,新型层积材的弹性模量的标准差较大,在一定程度上说明其强度整体上良好,但是其结构均匀性较差,在纵向振动测试时纵向在传播过程中可能会产生一定的误差,使得测试结果也存在较大的波动。

表 1 不同人造板静曲强度及静弹性模量测试结果
Tab.1 MOR and statistic MOE of different wood composite panels

人造板 类型	平均密度 /($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	平均含 水率/%	静曲强度	弹性模量
			/MPa 均值±标准差	/MPa 均值±标准差
LVB	584	10.3	41.44±7.88	4745.87±718.68
LVL	594	8.1	62.14±9.5	7236.92±719.52
New-LVL	540	15.7	56.43±5.12	5439.2±956.78

胶合板、单板层积材及新型层积板在 GB/T 17657—2013 下得到的弹性模量与静曲强度的相关性见图 3。 $r_{LVB}=0.81$, $r_{LVL}=0.71$, $r_{New-LVL}=0.70$, 根据值域等级判断, 相关系数在 0.8~1.0 时为极强相关, 0.6~0.8 为强相关, 0.4~0.6 为中等程度相关, 因此, 3 种结构板材的静弹性模量与静曲强度均具有较强的正相关性。

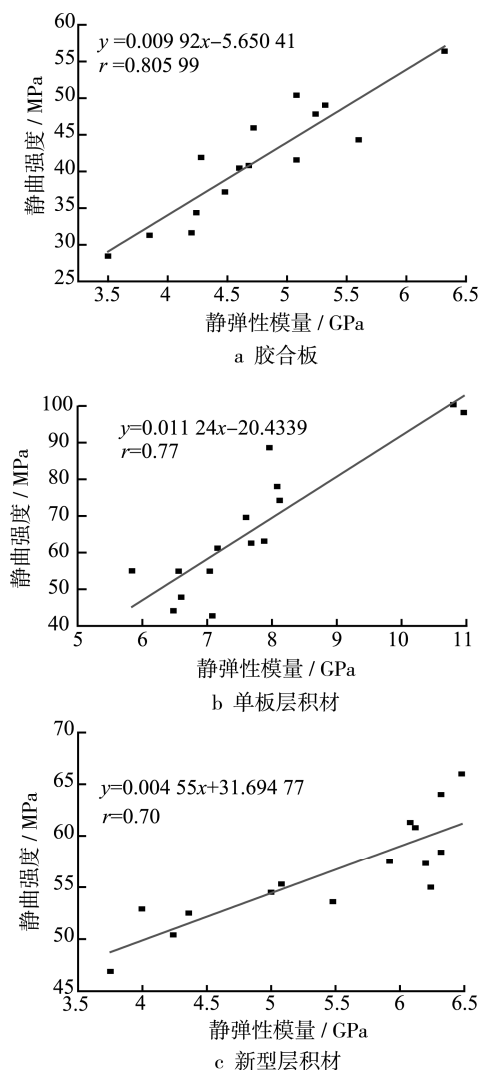


图 3 3 种板材静弹性模量与静曲强度的相关性

Fig.3 Correlation between statistic MOE and MOR of 3 panels

2.2 纵向共振测试结果分析

3 组试件在纵向共振实验法下测得的共振频率见图 4。由图 4 可知, 单板层积材的共振频率主要在 1800~2000 Hz 之间波动, 普通胶合板的共振频率在 1400~1600 Hz 之间波动, 说明单板层积材与普通胶合板的结构在一定程度上比较均匀。New-LVL 共振频率波动较大, 会对其动弹性模量产生一定的影响, 但是在多数情况下其共振频率仍

大于普通胶合板共振频率。

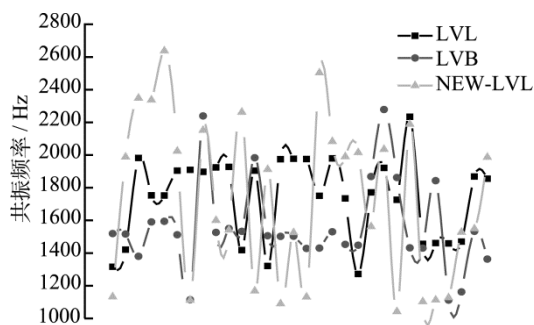


图 4 3 种板材的共振频率

Fig.4 Resonance frequency of 3 panels

通过图 4 所示频率范围选择各试件相应共振频率, 通过公式 $E=4F_m^2 L^2 \rho$ 计算得到试件相应的动弹性模量。

2.3 动弹性模量与静弹性模量、静曲强度的相关性分析

3 种托盘用人造板纵向共振法及三点测试法得到的动弹性模量与静弹性模量测试结果见表 2。通过表 2 可以看出, 动弹性模量低于静弹性模量, 动弹性模量与静弹性模量比分别为 0.56, 0.59, 0.54。

表 2 不同实验方法弹性模量测试结果

Tab.2 MOE of panels determined by different test methods

人造板 类型	实验 方法	弹性模量/MPa 均值±标准差	动/静弹 性模量
LVB	纵向共振法	2657.47±203.52	0.56
	三点测试法	4745.87±718.68	
LVL	纵向共振法	4265.7±428.83	0.59
	三点测试法	7236.92±719.52	
New-LVL	纵向共振法	2954.8±993.46	0.54
	三点测试法	5439.2±956.78	

普通胶合板、单板层积材及新型层积板在纵向振动实验法测试、计算得到的动弹性模量, 与 GB/T 17657—2013 下得到的静曲强度之间的相关性见图 5。由图 5 可以看出, 普通胶合板、单板层积材及新型层积材的动弹性模量与静曲强度均在 0.001 水平上正相关, 且 P 值均小于 0.05, 在统计意义上具有相关性。 r 为动弹性模量与静曲强度的相关系数, $r_{LVB}=0.71$, $r_{LVL}=0.73$, 其相关性均大于 0.6, 因此普通胶合板与单板层积材的动弹性模量与静曲强度均具有较强的相关性。由图 5c 可以看出, 新型层积板的动弹性模量与静曲强度线性拟合结果中

$r=0.54$, 说明动静弹性模量线性拟合结果与胶合板及单板层积材相比较差。

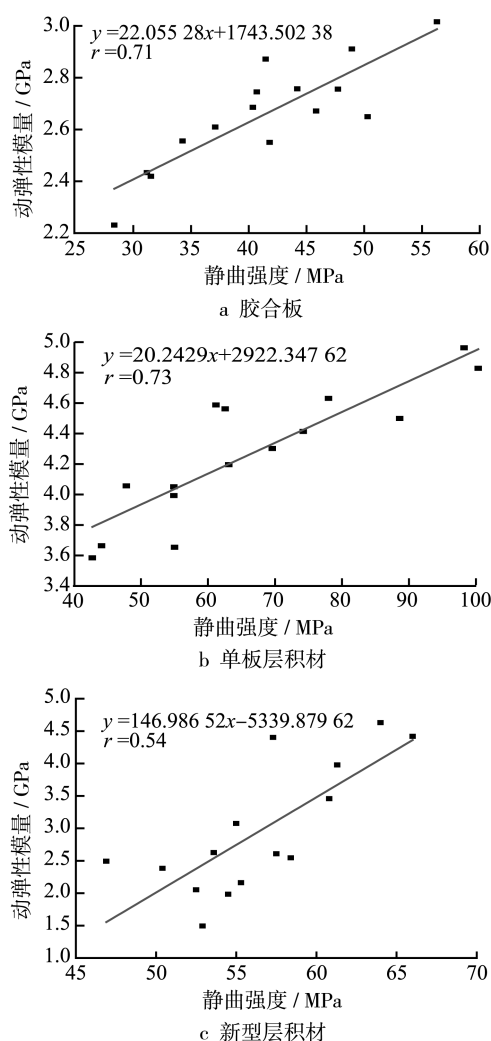


图 5 3 种板材动弹性模量与静曲强度相关性

Fig.5 Correlation between dynamic MOE and MOR of 3 panels

普通胶合板、单板层积材及新型层积材在纵向振动实验法测试、计算得到的动弹性模量与 GB/T 17657—2013 下得到的静弹性模量之间的相关性见图 6。由图 6a, b 可以看出, 普通胶合板与单板层积材的动弹性模量与静弹性模量在 $P<0.05$, 0.001 水平上正相关, r 为动弹性模量与静弹性模量的相关系数, $r_{LVB}=0.71$, $r_{LVL}=0.73$, 其相关性均大于 0.6, 根据值域等级判断, 普通胶合板、单板层积材的动弹性模量与静弹性模量具有较强的相关性。夏滴洋^[15]对比胶合木(松木)梁、锯材之间振动法和静力法测得弹性模量值, 并分析了它们之间的相关性, 也得出了线性回归方程, 相关系数分别为 0.81 与 0.66。薛冰^[16]对樟子松单板层积材进行了振动弹性模量检测。周志茹^[17-18]对 LVL 进行应力

波检测后, 其结果均显示与垂直加载静态弹性模量同样具有密切的相关性, 与文中测试结果相近。于贵文在对木塑板材的动弹性模量与静弹性模量线性拟合后得出相关系数为 0.716, 与文中胶合板、单板层积材的线性拟合相关度相近。新型层积板动弹性模量与静弹性模量的线性拟合结果见图 6c, 在 $P<0.05$ 时, 其动静弹性模量在 0.001 水平上相关系数 $r_{\text{New-LVL}}=0.52$, 为中度相关, 与另外 2 种结构相比相关性较差。

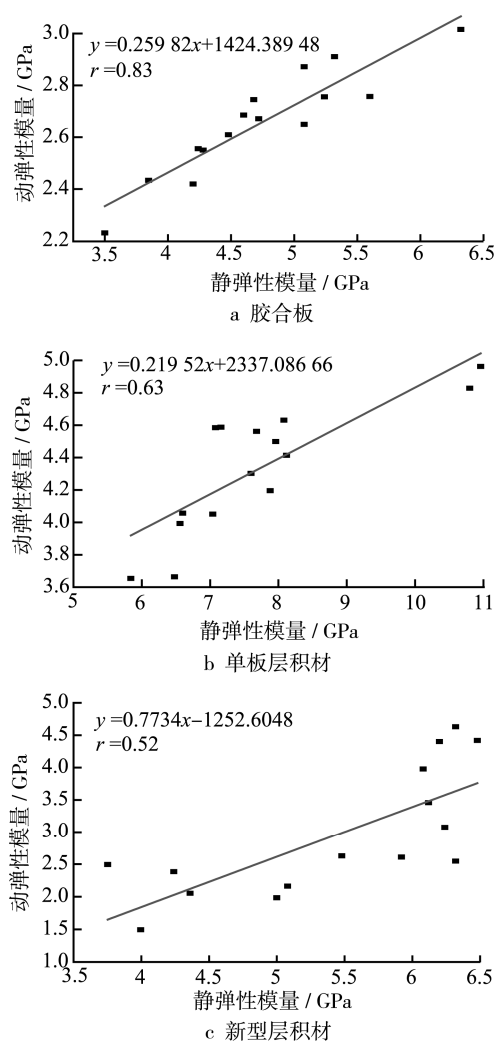


图 6 3 种板材静弹性模量与动弹性模量相关性

Fig.6 Correlation between statistic MOE and dynamic MOE of 3 panels

3 结语

文中所用 9 层胶合板、单板层积材和新型层积板的静曲强度测试结果显示, 单板层积材静曲强度>新型层积板静曲强度>胶合板静曲强度。

胶合板共振频率在 1400 ~ 1600 Hz 之间波动,

单板层积材共振频率主要在 1800 ~ 2000 Hz 之间波动, 新型层积板共振频率波动幅度较大, 但是绝大多数高于人造板共振频率, 共振频率结果整体显示为单板层积材静曲强度 > 新型层积板静曲强度 > 胶合板静曲强度, 纵向共振试验法测得的共振频率与静曲强度间接存在一定的相关性。

胶合板、单板层积材的动弹性模量与静弹性模量、静曲强度之间分别在 0.001 水平上具有较强的线性相关性。新型层积板材其动弹性模量与静曲强度、静弹性模量之间在 0.001 水平上线性拟合结果为中度相关, 在一定程度上低于胶合板与单板层积材, 说明纵向共振法在此新型层积板材上的可应用性略差。

与传统静态弯曲测试方法相比, 动态测试用于托盘用板材的性能检测具有设备简单、成本低、测试方便等优点, 板材共振频率、动弹性模量、静弹性模量及静曲强度之间的相关性为 3 种人造板的无损检测提供一定的参考依据。

参考文献:

- [1] 胡英成, 顾继友, 王逢瑚. 木材及人造板物理力学性能无损检测技术的研究与发展展望[J]. 世界林业研究, 2002, 15(4): 39—46.
HU Ying-cheng, GU Ji-you, WANG Feng-hu. Physical and Mechanical Properties of Wood and Man-made Board Development and Outlook of Nondestructive Testing Technology Research[J]. World Forestry Research, 2002, 15(4): 39—46.
- [2] 张宏健, 陈琦, 文天国, 等. 机械应力式人造板质量在线无损检测技术的研发和应用[J]. 林产工业, 2007, 34(6): 33—35.
ZHANG Hong-jian, CHEN Qi, WEN Tian-guo, et al. Development and Application of the Mechanical Stress Type On-line Non-destructive Testing System for wood-based Panel[J]. China Forest Products Industry, 2007, 34(6): 33—35.
- [3] 王国俊. 浅析木质材料力学性能无损检测技术[J]. 经营管理者, 2012(15): 374.
WANG Guo-jun. Shallow of Woodiness Material Mechanical Properties of Nondestructive Testing Technology[J]. Operators and Managers, 2012(15): 374.
- [4] 胡英成. 木质复合材料的动态特性研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2004.
HU Ying-cheng. A Study on Dynamic Properties of Wood-based Composites[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2004.
- [5] 于贵文. 木塑板材的无损检测及可靠性分析[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2013.
YU Gui-wen. Non-destructive Testing and Reliability Analysis of Wood-plastic Planks[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2013.
- [6] HU Y C, WANG F H, GU J Y, et al. Nondestructive Test and Prediction of Modulus of Elasticity of Veneer-overlaid Particleboard Composite[J]. Wood Science and Technology 2005, 39(6): 439—447.
- [7] 齐永峰, 徐华东, 王立海. 四种方法测木质材料动弹性模量的对比研究[J]. 森林工程, 2011, 27(1): 19—22.
QI Yong-feng, XU Hua-dong, WANG Li-hai. Four Methods Measuring the Woodiness Material of the Comparison of the Dynamic Modulus of Elasticity[J]. Forest Engineering, 2011, 27(1): 19—22.
- [8] 胡英成, 王逢瑚, 刘一星. 利用振动法检测胶合板剪切弹性模量的研究[J]. 木材工业, 2001, 15(4): 12—14.
HU Ying-cheng, WANG Feng-hu, LIU Yi-xing. Using the Method of Vibration Test Plywood Shear Modulus of Elasticity[J]. Wood Industry, 2001, 15(4): 12—14.
- [9] 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, 18(6): 8—10.
WANG Zheng, WANG Zhi-qiang, LUO Hong-shun. Dynamic Measure of Elasticity Modulus Anddamp Ratio of Plywood[J]. Wood Processing Machinery, 2007, 18(6): 8—10.
- [10] 刘怀喜, 张恒, 马润香. 复合材料无损检测方法[J]. 无损检测, 2003, 25(12): 631—634.
LIU Huai-xi, ZHANG Heng, MA Run-xiang. Nondestructive Testing Techniques for Composite Materials[J]. Non-destructive Testing, 2003, 25(12): 631—634.
- [11] TIMOSHENKO S P. On the Correction for Shear of the Differential Equation for Transverse Vibrations of Prismatic Bars[J]. Phil. Mag. Ser 1921, 41(6): 744—746.
- [12] 龚煌. 混凝土模板用胶合板的无损检测与可靠性研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2013.
GONG Huang. The Nondestructive Test and Reliability of Plywood for Concrete Form[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2013.
- [13] 成俊卿. 木材学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1985.
CHENG Jun-qing. Wood Science[M]. Beijing: China Forestry Publishing, 1985.
- [14] 王莉娟. 无损检测方法评估人工林杨树木材性质的研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2005.
WANG Li-juan. Study on Evaluating Wood Properties of Poplar Plantation Using Nondestructive Testing Methods[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2005.
- [15] 夏滴洋. 基于振动法的胶合木弹性模量测试方法的研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2015.
XIA Di-yang. Research on Vibration-based Non-destructive Detection Methods of the Elastic Modulus of Glued Laminated Beams[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2015.
- [16] 薛冰. 单板层积材力学性能与无损检测可靠性研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2013.
XUE Bing. Reliability Research of Laminated Veneer Lumber Mechanical Properties and Nondestructive Testing[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2013.
- [17] 周志茹, 赵茂程, 王正. 意杨木材弹性模量 3 种方法检测的比较[J]. 福建林学院学报, 2014(4): 368—373.
ZHOU Zhi-ru, ZHAO Mao-cheng, WANG Zheng. Comparative Study of Modulus of Elasticity of Populous Euramericana Lumber with Nondestructive Methods[J]. Journal of Fujian College of Forestry, 2014(4): 368—373.
- [18] 周志茹, 赵茂程, 王正, 等. 基于应力波的意杨原木、单板及 LVL 弹性模量相关性研究[J]. 西北林学院学报, 2014, 29(3): 188—193.
ZHOU Zhi-ru, ZHAO Mao-cheng, WANG Zheng, et al. Correlations of Modulus of Elasticity Among Poplar Log, Veneer and LVL on the Stress Wave Method[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2014, 29(3): 188—193.