

SPF 规格材静、动态弹性模量研究

王志强¹, 罗冬¹, 董涵¹, 孙丽明¹, 魏鹏²

(1. 南京林业大学 材料科学与工程学院, 江苏 南京 210037; 2. 徐州盛和木业有限公司, 江苏 徐州 221321)

摘要: 采用无损横向振动法和三点静态弯曲法, 对加拿大进口的云杉-松-冷杉 (Spruce-Pine-Fir, SPF) J等级规格材的动、静态弹性模量进行测试和评价。结果表明, SPF规格材有明显的两个峰值, 其一阶频率峰值平均为 44.78 Hz, 二阶频率峰值平均 122.61 Hz; 两种方法测得的SPF弹性模量服从正态分布, 近 1/3 的规格材弹性模量值在 10 000 ~ 11 000 MPa; 动、静态弹性模量平均值分别为 10 983 MPa和 10 523 MPa, SPF规格材动态弹性模量比静态弹性模量高 4.38%, 动、静态弹性模量值之间具有非常强的相关性 ($R^2=0.91$)。

关键词: 无损检测技术; 横向振动; 三点静态弯曲; 规格材; 弹性模量

中图分类号: S781.2

文献标识码: A

Static and Dynamic Modulus of Elasticity of Dimension Lumber

WANG Zhi-qiang¹, LUO Dong¹, DONG Han¹, SUN Li-ming¹, WEI Peng²

(1. College of Material Science and Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China;

2. Xuzhou Shenghe Wood Company Limited, Xuzhou 221321, China)

Abstract: Determinations were implemented by non-destructive evaluation (NDE) methods, like transverse vibration (TV) and three-point static bending (TSB) on static and dynamic modulus of elasticity (MOE) of dimension lumber of Spruce-Pine-Fir (SPF) of grade J imported from Canada. The results showed the MOE of SPF dimension lumber was normal distribution and one third of them had the MOE in the range from 10000MPa to 11000MPa. Mean dynamic and static MOE measured by TV and TSB was 10983MPa and 10523MPa. It had strong correlation between dynamic MOE and static MOE ($R^2=0.91$).

Key words: non-destructive evaluation (NDE); transverse vibration (TV); three-point static bending (TSB); dimension lumber; modulus of elasticity (MOE)

2000 年以来, 现代木结构建筑, 如轻型木结构建筑在国内得到了快速发展^[1], 这种轻型木结构是用规格材及木基结构板或石膏板制作的木构架墙体、楼板和屋盖系统构成的单层或多层建筑结构^[2]。目前从北美地区, 如加拿大进口的规格材, 云杉-松木-冷杉 (Spruce - Pine - Fir, SPF) 是这种轻型木结构的墙体、楼盖和屋盖的主要用规格材。国内外对规格材分等有不同方法和标准, 木结构设计规范 (GB 50005-2003) 中已经建立了国内目测规格材等级与北美地区目测规格材等级的对应关系^[2-3]。由于较好的强重比、颜色、纹理和加工性, SPF规格材在国内使用范围逐渐扩大, 从最初的建筑及结构工程方面应用, 拓宽到非结构应用, 如室内外装饰材料、家具材料等。国内SPF规格材用量和产品等级也都在增加, 市场上出现了新的、高等级的SPF规格材, 如J级 (Japan grade) 规格材。J 级规格材是专门供日本市场的产品, J级与北美优选级 (prime/selected) 的区别是不允许蓝变,

收稿日期: 2015-09-03; 修回日期: 2016-01-23

基金项目: 2013 年江苏省研究生工作站、2014 年江苏省前瞻性联合研究项目——中高层木结构建筑承重木构件及体系研发 (BY2014006-05)

作者简介: 王志强 (1978-), 男, 博士, 副教授, 从事新型工程木产品与木结构建筑研究。

且外观等级更高, 这种J级分等目前不包括在北美地区和中国规范分等等级中。国外, 尤其是北美地区在规格材分等技术方面的研究和实际生产检测方面已比较成熟^[4], 国内近几年在规格材分等技术研究方面也做了较多的研究^[5-9], 相关国家标准也出台实施^[10-11]。本文主要针对目前国内规范中未提及、而市场已出现的J级规格材为对象, 采用无损检测方法评价其动、静态弹性模量, 为SPF规格材在国内应用提供基本数据和参考。

1 材料与方法

1.1 材料

规格材, 加拿大进口 SPF, 已刨光、干燥, 含水率 11%~13%, J 等级, 横截面名义尺寸 2"×4", 实际尺寸为宽度 89 mm、厚度 38 mm、长度 2.0 m, 数量 100 根, 购自南京北美木屋有限公司。

1.2 方法

采用两种无损检测方法, 横向振动法和三点静态弯曲方法, 分别测试和评价 100 根 SPF 规格材的动、静态弹性模量 (MOE)。

横向振动法测试参考横向振动法测试木质材料动态弯曲弹性模量方法 (GB/T 29895-2013) 进行^[10], 测试系统如图 1。测试过程中, 先两次测量每根SPF规格材试件长度、宽度和厚度, 记录其平均值。测量每根SPF试件的质量, 用于计算试件密度。然后, 将试件水平摆放, 在试件全长 22.4%和 77.6%的两个位置采用橡皮筋自由悬挂试件。在试件一端采用脉冲锤在垂直于试件长度方向上敲击、激振, 固定在试件另一端表面的加速度传感器拾取试件横向振动响应, 加速度传感器和脉冲锤产生的电荷信号通过电荷放大器放大后进入SCXI-1200 型数据采集模块, 采集到的数字信号由计算机进行频域分析, 计算得到试件的固有频率值。每个试件横向振动法测试 3 次, 得到平均的固有频率值。

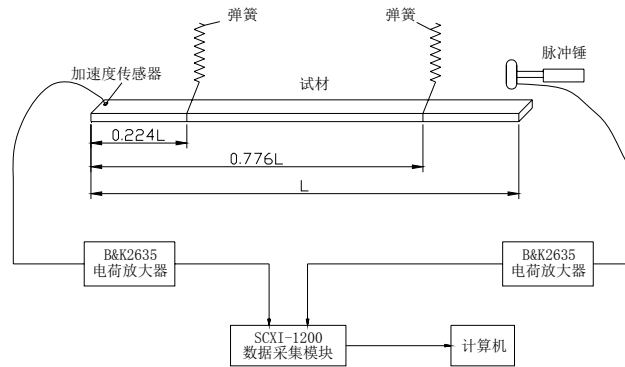


图 1 横向振动法测量 SPF 弹性模量测试系统

Figure 1 System for MOE testing by transverse vibration of SPF

试件的动态 MOE 由下式计算得到。

$$E_{iv} = 0.95 \frac{\rho f_1^2 l^4}{d^2} \quad (1)$$

式中, ρ 为试件密度 (kg/m^3), l 为试件总长度 (m), d 为试件高度 (m), f_1 为试件的第一阶自然频率^[5]。

参考结构用锯材静态测试标准 ASTM D 198-09 (Standard Test Methods of Static Tests of Lumber in Structural Sizes) ^[12] 对 SPF 规格材试件进行三点静态弯曲方法测试规格材 MOE。测试时, 试件跨度设置为 1 955 mm, 在试件跨度中点两次放置不同重量的金属块作为荷载, 两次荷载差值为 65.64 N, 采用百分表记录加载时试件跨中产生的挠度。每个试件重复测试 3 次, 根据下式计算 SPF 规格材试件静态 MOE。

$$E_{tsb} = \frac{l^3}{4 \times b \times h^3} \times \frac{\Delta f}{\Delta s} \quad (2)$$

式中, f 为试件跨度 (mm), b 为试件宽度 (mm), h 为试件厚度 (mm), Δf 为两次加载变化值 (N), Δs 为两次加载跨中挠度变化值 (mm)。

2 结果与分析

2.1 SPF 规格材动、静态弹性模量

按照图 1 的测试原理对 100 根 SPF 进行横向振动法测试, 得到 SPF 试件的一阶和二阶固有频率, 其典型的 SPF 试件固有频率图谱如图 2 所示。图 2 中横坐标表示频率 (Hz), 纵坐标表示振幅 (EU)。在本实验条件下, SPF 规格材有明显的两个峰值, 100 根规格材中一阶频率峰值最小值 38 Hz, 最大值 49.5 Hz, 平均值 44.78 Hz; 二阶频率峰值最小值 97.44 Hz, 最大值 136.25 Hz, 平均值 122.61 Hz。此外, SPF 规格材的固有频率变异系数较小, 一阶频率和二阶频率的变异系数分别为 5.97% 和 5.68%。

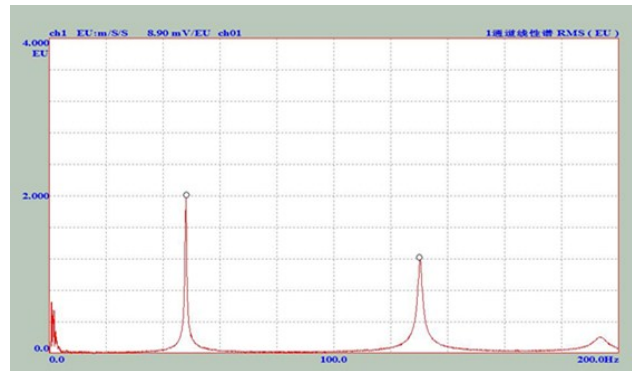


图 2 典型的 SPF 试件测量频谱

Figure 2 Typical spectrum for SPF

将每根 SPF 试件测得的一阶频率值代入公式 (1) 中, 计算 SPF 规格材的动态 MOE 值。同时, 根据公式 (2) 计算 SPF 规格材的静态 MOE 值。得到 100 根 SPF 规格材的动态 MOE 值范围为 7 291 ~ 15 116 MPa, 而静态 MOE 值范围为 7 142 ~ 14 792 MPa, 两种方法测试的 MOE 正态分布如图 3。

从图 3 中可以看出, MOE 值在 10 000 ~ 11 000 MPa 区间的 SPF 规格材数量最多, 约占整个数量的 1/3。

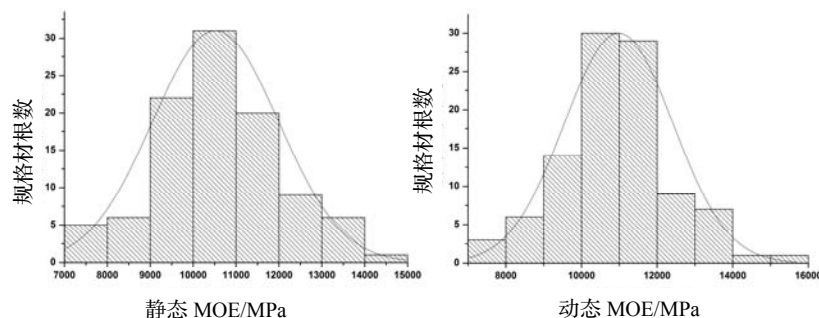


图 3 SPF 规格材弹性模量正态分布

Figure 3 Normal distribution of MOE of SPF dimension lumber

2.2 动、静态弹性模量相关性分析

两种无损检测方法测试的 100 根 SPF 规格材 MOE 值的统计分析情况如表 1。在 100 根规格材中, 89 根规格材的动态 MOE 值大于静态 MOE 值, 而且动态 MOE 值的最大值、最小值、平均值都大于静态 MOE 值, 利用横向振动方法测试的动态 MOE 平均值比相应的三点静态弯曲测试的静态 MOE 值高 4.38%, 这与其他研究结果类似^[6]。

13]。

表 1 SPF 规格材 MOE 值测试结果
Table 1 MOE values of SPF dimension lumber

MOE	试样个数/个	平均值/MPa	最小值/MPa	最大值/MPa	标准方差	变异系数/%
横向振动法 (E _{tv})	100	10 983	7 291	15 116	1 431	13.02
三点静态弯曲法 (E _{tsb})	100	10 523	7 142	14 792	1 465	13.92

对两种无损检测方法测得的动、静态MOE值进行回归分析，结果表明二者具有非常强的相关性，其决定系数 (R^2) 为 0.91，在 0.01 水平上显著相关，其线性拟合回归方程式为，如图 5。

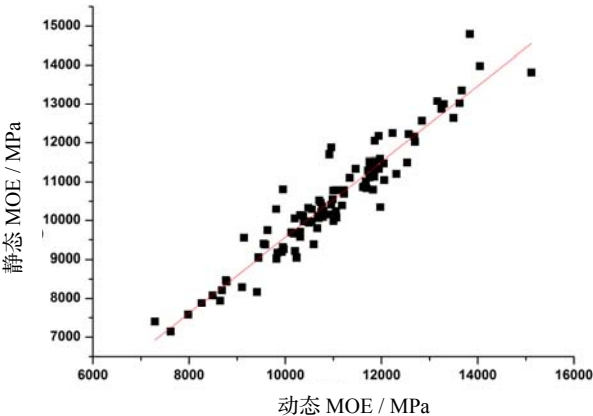


图 5 静态弹性模量与动态弹性模量拟合
Figure 5 Fitting of static and dynamic MOEs

3 结论

通过对 100 根 J 等级 SPF 规格材进行横向振动法和三点加载弯曲方法测试分析其动、静态弹性模量，得到如下结果：

- (1) 长度为 2 m 的 2"×4"SPF 规格材的平均一阶、二阶频率峰值为 44.78 Hz 和 122.61 Hz。
- (2) J 等级 SPF 规格材的弹性模量服从正态分布，近 1/3 数量的规格材弹性模量值在 10 000 ~ 11 000 MPa。
- (3) 横向振动法和三点静态弯曲方法分别测得的J等级SPF规格材动、静态弹性模量平均值为 10 983 MPa 和 10 523 MPa，SPF规格材动态弹性模量比静态弹性模量高 4.38%，动、静态弹性模量值之间具有非常强的相关性 ($R^2=0.91$)。

参考文献：

[1] 周海宾. 中国木结构产业的现状及发展（一）[J]. 木材工业, 2012, 26（1）： 7-10.

[2] 中华人民共和国建设部. GB 50005-2003, 木结构设计规范[S]. 北京：中国建筑工业出版社, 2003.

[3] 何敏娟, Frank LAM, 杨军, 等. 木结构设计[M]. 北京：中国建筑工业出版社, 2008.

[4] 郭继龙, 南生春, 杨全文. 木质材料无损检测和评价方法[J]. 木材加工机械, 2012（06）： 51-55.

[5] 王正, 顾玲玲, 高子震, 等. SPF 规格材弹性模量的动态测试及其概率分布[J]. 林业科学, 2015, 51（2）： 105-111.

[6] 殷亚方, 吕建雄, 倪春, 等. 横向振动方法评估大尺寸规格材静态抗弯弹性性质[J]. 北京林业大学学报, 2005, 27（5）： 107-110.

[7] 聂玉静, 孙正军, 郭伟峰. 两种无损检测方法评估足尺杉木规格材动态弹性模量[J]. 木材加工机械, 2011（03）： 21-23.

[8] 娄万里, 任海青, 江京辉, 等. 落叶松规格材目测分等的研究[J]. 木材工业, 2010（02）： 1-4.

[9] 林兰英, 傅峰. 三种无损检测方法预测四种桉树木材弹性模量的对比研究[J]. 木材加工机械, 2007（03）： 24-29.

[10] GB/T 29895-2013, 横向振动法测试木质材料动态弯曲弹性模量方法[S].

[11] GB/T 29897-2013, 轻型木结构用规格材目测分级规则[S].

[12] D198-09, Standard test methods of static tests of lumber in structural sizes[S].

[13] Biechele T, Chui Y H, Gong M. Comparison of NDE techniques for assessing mechanical properties of unjointed and finger-jointed lumber[J]. Holzforschung, 2011, 65（3）.