

云杉材纹理角度对钢琴音板声学振动性能的影响

陶鑫¹, 韩佳彤¹, 徐伟^{1,2}, 冯岳飞³

(1. 南京林业大学家居与工业设计学院, 江苏南京 210037; 2. 南京林业大学林业资源高效加工利用协同创新中心, 江苏南京 210037;
3. 森鹤乐器股份有限公司, 浙江慈溪 315323)

摘要: 云杉材是制作钢琴音板的主要用材, 以4种云杉属木材为研究对象, 采用快速傅里叶变换分析法测试其共振频率, 并计算其声学振动性能参数, 分析木材纹理角度对云杉材声学振动性能具有的影响。结果表明: 随着纹理角的增大, 云杉材的动弹性模量、比动弹性模量增大, 损耗角正切减小。当纹理角为90°时, 云杉材的振动效率最高、声能损耗最少, 声学性能最优。通过综合加权法评定, 纹理角90°的麦吊云杉具有最优振动性能。

关键词: 云杉属木材; 纹理角度; 音板; 声学振动性能

中图分类号: S781.38; S791.18 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654 (2019) 04-0014-04

Effect of Spruce Grain Angle on Acoustic Vibration Properties of Piano Soundboard

TAO Xin¹, HAN Jia-tong¹, XU Wei^{1,2}, FENG Yue-fei³

(1. College of Furnishings and Industrial Design, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China;
2. Co-Innovation Center of Efficient Processing and Utilization of Forest Resources, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China;
3. Senhe Instruments Co., Ltd., Cixi 315323, Zhejiang, China)

Abstract: Spruce wood is one of the main materials for making piano soundboard. In order to understand effects of spruce grain angles on acoustic vibration properties of piano soundboard, four types of spruce species were selected and three grain angles of each spruce species were tested to measure the acoustic vibration properties by the Fast Fourier Transform analysis (FFT). Wood acoustic parameters tested were dynamic elastic modulus, specific elastic modulus, acoustic radiation damping coefficient and absorption coefficient as well as loss tangent.

The testing results showed that most of the acoustic parameters of the wood samples increased but the loss tangent decreased with the increase of grain angles. The wood samples with 90° of grain angle presented the highest vibration efficiency and the lowest acoustic energy loss. According to a comprehensive weighting results, soundboard made of *Picea brachytyla* wood with 90° of grain angle showed the best vibration property.

Key words: spruce wood; grain angle; soundboard; acoustic vibration property

收稿日期: 2019-02-28; 修改日期: 2019-06-10

基金项目: 国家重点研发计划资助“珍贵树种木材家具制造技术集成与示范研究”(2017YFD0601104); 慈溪市“上林英才”计划项目“钢琴用云杉木材尺寸稳定性提升与声学品质评价体系建立”(2016)。

作者简介: 陶鑫 (1994—), 男, 硕士研究生。

责任作者: 徐伟, 男, 教授。Email: xuwei@njfu.edu.cn。

任何声音都是由物体振动产生的, 当其所受刺激的频率与固有频率相接近时, 就会产生共振现象, 其对应的频率为共振频率。物体自身(形状、尺寸、材料特性)与振动方式等, 均会对其共振频率产生影响^[1-3]。

钢琴音板用材的声学振动性能,很大程度上决定着其声学品质。声学性能品质好的木材能够在外力刺激作用下,自身振动并辐射声能,发出动人心弦的声音。我国对乐器材料的研究始于20世纪60年代,中国林科院木材工业研究所最先采用声波激励振动法,研究了我国31种主要树种木材的声学性能,发现含水率高的木材不适合用作乐器用材^[4]。东北林业大学以云杉属木材为研究对象,研究了木材构造对声学振动性能的影响^[5-8],发现生长轮宽度均匀、晚材率高且变异系数小的云杉材声振性能更佳。乐器用材锯切方法的研究发现,径向材比弦向材传声速度快、弹性模量高,更适合用作音板原料^[9]。

云杉是制作钢琴音板的主要用材,当取材位置不同时,其横切面会呈现出不同的年轮纹理角度(如图1所示)。为此,笔者选择了4种云杉属木材,采用快速傅里叶变换分析法,测定不同纹理角度径切板的共振频率及半幅频率,并以此计算动弹性模量、比动弹性模量、损耗角正切和声辐射阻尼常数等声学振动性能参数,探究径切板不同纹理角度对云杉材声学振动性能的影响,以期为钢琴音板用云杉材的选择及锯解工艺制定提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

云杉属木材4种:远东红皮云杉(*Picea glehnii*),麦吊云杉(*P. brachytyla*),欧洲云杉(*P. abies*)和美国西加云杉(*P. sitchensis*)。气干密度分别为0.399、0.447、0.408、0.392 g/cm³。

选取径切板试材,横切面上纹理角度分别为45°、67.5°、90°(图1),加工成截面尺寸为300 mm(L)×30 mm(R)×10 mm(T)、表面平整的条形试件,并通过调温调湿,稳定含水率在7%左右。

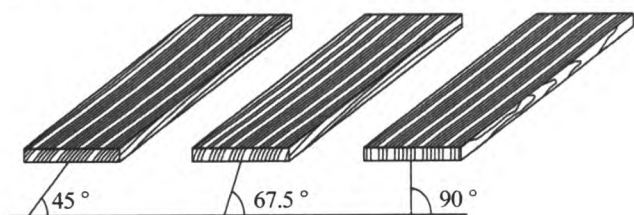


图1 不同纹理角度云杉材径切板
Fig.1 Quartersawn spruce boards with different grain angles

1.2 试验装置

CF-9200 便携式 FFT 频谱分析仪,试验采样点数为2048,工作频率范围为100 mHz~100 kHz,脉冲力锤灵敏度为2.28 mV/N,麦克风灵敏度为39.3 mV/Pa。

1.3 试验方法

采用横向振动的快速傅里叶变换(FFT)分析法,测定共振频率,试验原理如图2所示。

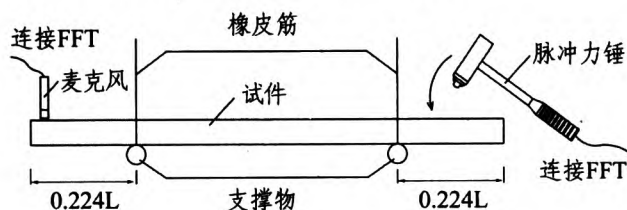


图2 横向振动共振频率测定原理

Fig.2 Instrumentation diagram of measuring resonance frequency of soundboard

在试件对应的振动频率节点处(节点位置到试件端部的距离为试件总长度的0.224倍),用橡皮筋将其水平悬挂,并用柔软的支撑物将其支撑起。脉冲力锤和麦克风与FFT频谱分析仪相连,用脉冲力锤敲击试件的一端,用宽频带、高灵敏度的麦克风置于试件另一端的上方来接收信号,并由FFT频谱分析仪进行数据处理,得到共振频率 f_r 以及半幅频率 f_1 和 f_2 。

每种角度3个试件为一组,每个试件敲击5次,得出5组共振频率与半幅频率。

声学振动性能相关参数的计算,依据测得的共振频率及半幅频率计算。

$$E = 0.9464 \frac{l^3 m f_r^2}{b h^3} \quad (1)$$

$$E_{SP} = E / \rho \quad (2)$$

$$R = \sqrt{E / \rho^3} \quad (3)$$

$$\delta = \pi \frac{f_2 - f_1}{f_r} \quad (4)$$

式中: E —动弹性模量, N/m²; l —试件长度, m; m —试件质量, kg; f_r —共振频率, Hz; b —试件宽度, m; h —试件厚度, m; E_{SP} —比动弹性模量, N·m/kg; ρ —试件密度, kg/m³; R —试件声辐射阻尼系数; δ —试件对数衰减率; f_1 、 f_2 —试件半幅频率, Hz。

1.4 综合加权评定

参考文献[10],采用加权评分法,对云杉属木材的振动性能进行综合评定。

考虑各项参数指标对木材振动特性的影响程度,以密度 ρ 、比动弹性模量 E_{SP} 、损耗角正切 $\tan\delta$ 和声辐射阻尼系数 R 等指标作为权重因子^[11],权重系数分别为0.10、0.35、0.27和0.28。其中损耗角正切 $\tan\delta$ 以负向贡献方式代入计算。综合评分值最低60、最高100;分值越大,表明板材的振动性能越好。

2 结果与讨论

2.1 动弹性模量 E 与比动弹性模量 E_{SP}

动弹性模量 E 是反映木材动力性能的一项指标;比动弹性模量 E_{SP} 是评价声学振动性能优劣的重要参数^[12]。材性相近的云杉材中, E_{SP} 数值越小,即 E 值越小者,振动效率越低,振动性能越差。

从图3可以看出,4种云杉属木材的 E 与 E_{SP} ,随着纹理角的增大而增大,均在 90° 时呈现最大值,在 45° 时呈现最小值。这主要是随着木材纹理角度的增大,其频谱响应的范围增宽^[10]。

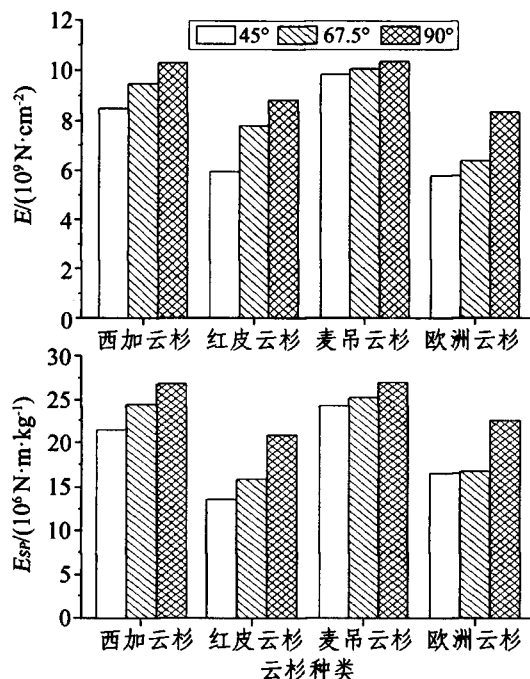


图3 木材纹理角与动弹性模量、比动弹性模量的关系
Fig.3 Relationship among wood grain angles, dynamic elastic modulus and specific dynamic elastic modulus

2.2 损耗角正切 $\tan\delta$ 与声辐射阻尼系数 R

损耗角正切 $\tan\delta$ 由对数衰减率计算而来,二者

正相关。对数衰减率表征的是材料受到外力冲击产生振动后声波能量损耗的大小;而声辐射阻尼系数 R 衡量的是振动产生的能量向四周辐射的物理量。为了达到钢琴乐音音量大和持久性强的效果,钢琴音板用材应获得较高的振动效率,尽量减少声能损耗,并最大限度地将其向空气中辐射出去。因此,根据振动学理论,对数衰减率数值小,即 $\tan\delta$ 值小、且 R 系数大的木材,适合制作钢琴音板。

由图4可知,除了红皮云杉外,其他3种云杉属木材的 $\tan\delta$,均随着纹理角的增大而减小,验证了随着木材 E_{SP} 值逐渐增大, $\tan\delta$ 值逐渐减小^[13]。同样在纹理角 90° 时,麦吊云杉的 $\tan\delta$ 值最小,欧洲云杉的 $\tan\delta$ 值最大,主要是因为密度 ρ 与 $\tan\delta$ 具有相关性,随着 ρ 值增大, $\tan\delta$ 值降低。

图4中还显示,声辐射阻尼系数 R 与木材纹理角的相关性不明显;除西加云杉外,其余三种云杉均在纹理角为 90° 时的 R 系数最大;在纹理角相同时,麦吊云杉的 R 系数均高于其他3种木材,而红皮云杉的最小。

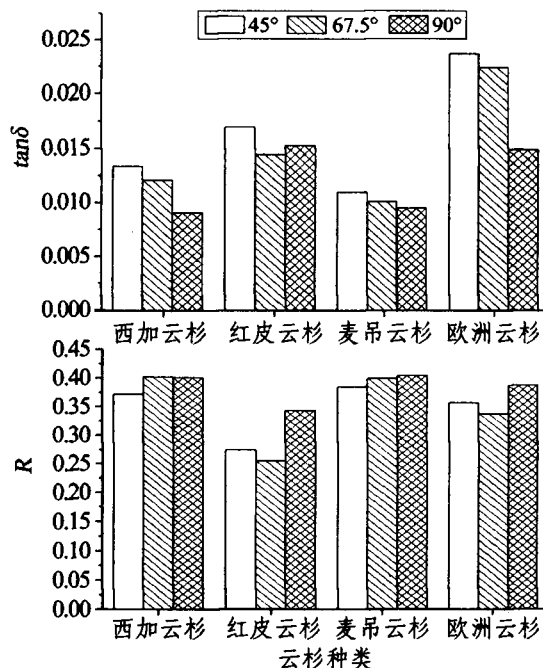


图4 木材纹理角与损耗角正切、声辐射阻尼系数的关系
Fig.4 Effect of wood grain angles on loss tangent and acoustic radiation damping coefficient

综上,考虑4种云杉属木材纹理角与其 $\tan\delta$ 、 R 值的关系,可得出:纹理角 90° 的云杉材制作的钢琴音板,更能维持声音的持久性。

2.3 综合加权评分法分析

4种云杉属木材在无漆膜涂饰状态下,不同纹理角时振动性能综合评分见图5。

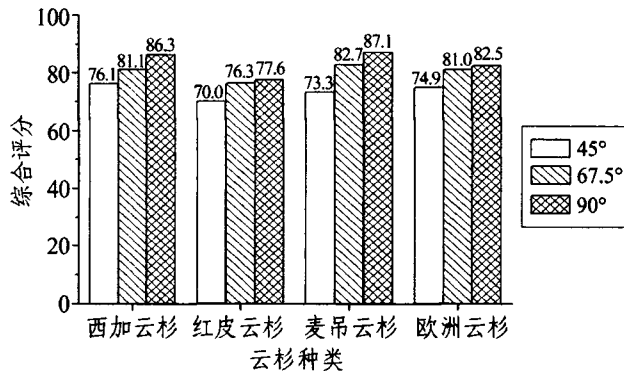


图5 4种云杉属木材振动性能的综合评分值

Fig.5 Synthetical values of 4 types of spruce species

4种云杉属木材均在纹理角90°时的综合得分最高,在45°时的得分最低,可见随着纹理角度的增大,其振动效率不断增大,振动性能逐渐变好。

麦吊云杉在纹理角45°时的各项综合评分值稍低,但是在纹理角67.5°和90°时综合评分值最高;其次是西加云杉,且其综合评分值与麦吊云杉接近。

权衡4个声学振动参数的综合影响,其综合得分优劣排序是:麦吊云杉>西加云杉>欧洲云杉>红皮云杉,其中纹理角为90°的麦吊云杉木材振动性能最优。

3 结论

1) 纹理角度对云杉属木材的声学振动性能存在一定影响。钢琴音板宜选径向锯切板,且纹理角度宜大于60°,横切面纹理通直,其频率响应范围更大,声振性能更佳。

2) 本试验条件下,权衡四种声学振动参数的综合影响,4种云杉材振动性能排序为:麦吊云杉>西加云杉>欧洲云杉>红皮云杉。

参考文献:

- [1] 徐伟,韩佳彤,冯岳飞,等.漆膜厚度对云杉属木材吸声性能的影响[J].林业工程学报,2016,1(4):156-160.
XU W, HAN J T, FENG Y F, et al. Effect of coating thickness on the sound absorption characteristics of spruce wood[J]. Journal of Forestry Engineering, 2016, 1(4): 156-160.
- [2] 杨琳,付奇缘,刘洪海,等.尾巨桉自由干缩率及纤维饱和点的测定[J].东北林业大学学报,2018,46(4):39-42.
YANG L, FU Q Y, LIU H H, et al. Free shrinkage rate and fiber saturated

- point determination of *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* wood[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2018, 46(4): 39-42.
- [3] 汪菲,吴智慧,黄琼涛.家具与木制品表面数字化木纹图案UV树脂3D打印装饰技术[J].家具,2017,38(1):5-10.
WANG F, WU Z H, HUANG Q T. UV 3D inkjet print decoration technology applied in the surface of furniture and wood products[J]. Furniture, 2017, 38(1): 5-10.
- [4] 李源哲,李先泽,汪溪泉,等.几种木材声学性质的测定[J].林业科学,1962(1):59-66.
LI Y Z, LI X Z, WANG X Q, et al. Determination of acoustic properties of several woods[J]. Scientia Silvae Sinicae, 1962(1): 59-66.
- [5] 沈隽,刘一星.木材声振动特性的研究与进展[J].世界林业研究,2001,14(1):30-36.
SHEN J, LIU Y X. Advances in study and research on acoustic vibration property of wood[J]. World Forestry Research, 2001, 14(1): 30-36.
- [6] 沈隽,刘一星,田站礼,等.云杉属木材密度与声振动特性参数之间关系的研究[J].华中农业大学学报,2001,20(2):181-184.
SHEN J, LIU Y X, TIAN Z L, et al. Relationship between *Picea genera* wood density and sound characteristic parameters[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2001, 20(2): 181-184.
- [7] 刘一星,沈隽,田站礼,等.云杉木材声振动性能生长轮宽度、晚材率之间关系的研究[J].林业科学,2001,37(6):86-91.
LIU Y X, SHEN J, TIAN Z L, et al. Study on relationship between sound vibration parameters and growth ring width and latewood percentage of *Picea genera* wood[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2001, 37(6): 86-91.
- [8] 沈隽,刘一星,刘明,等.云杉属木材晚材率变异系数与声振动特性参数[J].福建林学院学报,2005,25(3):225-228.
SHEN J, LIU Y X, LIU M, et al. Variance coefficient of latewood percentage to sound vibration parameters of *Picea genera* wood[J]. Journal of Fujian College of Forestry, 2005, 25(3): 225-228.
- [9] 张辅刚.音板用材的锯切方法及技术条件[J].中国木材,1991(2):28-29.
ZHANG F G. Sawing method and technical conditions of soundboard materials[J]. China Wood, 1991(2): 28-29.
- [10] 沈隽.云杉属木材构造特征与振动特性参数关系的研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2001.
SHEN J. Study on relationship between *Picea* species structures and vibration properties[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2001.
- [11] 刘镇波,刘一星.乐器共鸣板用木材声学振动性能改良研究现状及趋势[J].世界林业研究,2012,25(1):44-48.
LIU Z B, LIU Y X. Research status and prospect of acoustic vibration properties modification of wood used for soundboard[J]. World Forestry Research, 2012, 25(1): 44-48.
- [12] 张超华,徐伟,吴智慧,等.云杉木材年轮方向对钢琴音板声学性能的影响[J].南京林业大学学报(自然科学版),2010,34(3):165-167.
ZHANG C H, XU W, WU Z H, et al. Effects of annual rings direction on acoustical property of spruce wood used for the soundboard of piano[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition), 2010, 34(3): 165-167.
- [13] 刘明.钢琴音板用材振动性能检测与分选研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2007.
LIU M. Vibration performance testing and sorting study of piano soundboard[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2007.

(责任编辑 向琴)