

# 云杉属木材晚材率变异系数对声振动特性参数的影响

沈 隽 刘一星

(东北林业大学, 哈尔滨 150040)

**摘 要:** 本文选择了 8 种主要云杉树种, 进行了弯曲振动条件下各项声振动特性参数的检测和比较, 并初步分析了这些参数和木材构造中晚材率变异系数之间的关系, 为深入评价云杉属乐器材品质, 确立乐器材选材中正确应用木材晚材率参数的方法打下了基础。

**关键词:** 云杉属木材, 晚材率变异系数, 声振动参数, 影响

## Effect of Variance Coefficient of Latewood Percentage to Sound Vibration Parameters of *Picea* Genera Wood

SHEN Jun, LIU Yi-xing

(Material Science and Engineering College, Northeast Forestry University, Harbin 150040)

**Abstract:** This paper selects eight *Picea* genera to examine and compare the Young's module, loss tangent ( $\tan \delta$ ), E/G parameters under the bending vibration situation. It analyzes the relationship between the test data and variance coefficient of latewood percentage to find the best way of evaluating the quality of *Pices* genera musical instrument wood. The results show that the proper variance coefficient of latewood percentage is suitable for materials to make musical instrument.

**Keywords:** *Picea* genera wood, variance coefficient of latewood percentage, sound vibration parameters

晚材率是表示树木一年内生长晚材带宽占生长轮宽百分比的重要指标, 通过测定可以观察树木生长及周围环境的变化。晚材率大小对木材物理力学性能起到重要作用。根据研究发现, 一般树种晚材率在 1—15 年达到最大值, 15 年后略有下降, 然后趋于平稳。

木材晚材率大小与木材弹性和声学性质关系密切, 晚材率变异系数表示试件内部晚材率大小变异程度的物理量<sup>[1]</sup>, 国内目前就晚材率对木材声学性质影响的研究开展得还很少, 实际上, 晚材率变异系数大, 说明树种内晚材率大小不均, 它对通常人们认识的晚材率均匀木材振动特性就好的观点是否产生影响, 需要进一步通过实验来验证。本实验拟以晚材率变异系数为影响因子探讨它对木材声振动特性的影响。

---

第一作者简介: 沈隽, 1964 年生, 男, 东北林业大学材料科学与工程学院, 教授。主要从事木材加工工艺, 木材物理方面的研究。电话: 0451-82190395; 电子邮件: [shenjunr@mail.hl.cn](mailto:shenjunr@mail.hl.cn)。

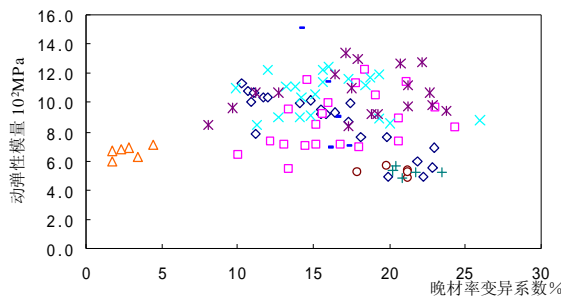


图3 横向木材晚材率变异系数与动弹性模量间的关系

◇ 油麦吊云杉    □ 川西云杉    △ 云杉    × 紫果云杉  
\* 丽江云杉    ○ 鱼鳞云杉    + 红皮云杉    - 西加云杉

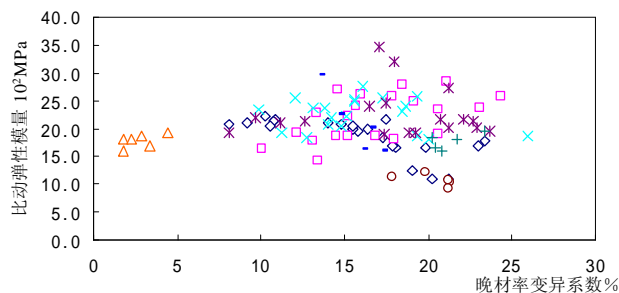


图4 横向木材晚材率变异系数与比动弹性模量间的关系

◇ 油麦吊云杉    □ 川西云杉    △ 云杉    × 紫果云杉  
\* 丽江云杉    ○ 鱼鳞云杉    + 红皮云杉    - 西加云杉

## 1 试材及试验方法

### 1.1 试件

树种选自四川省产油麦吊云杉 (*Picea complanata*、 $\phi$  66cm 和 50cm)、川西云杉 (*Picea balfouriana*、 $\phi$  62cm)、云杉 (*Picea asperata*、 $\phi$  54cm)、紫果云杉 (*Picea purpurea*、 $\phi$  54 cm 和  $\phi$  80cm)、丽江云杉 (*Picea likiangensis*、 $\phi$  54cm 和  $\phi$  62cm)、黑龙江带岭产鱼鳞云杉 (*Picea jezoensis* var. *Komarovii*、 $\phi$  35cm)、红皮云杉 (*Picea koraiensis*、 $\phi$  40cm) 及美国西加云杉 (*Picea sitchensis*、大于  $\phi$  80cm)。

试材经过长期气干放置之后, 采取随机抽样法, 从每株树的边心材各部分采取试件, 加工成基本外形尺寸为 300mm(L)×20mm(R)×10(T)mm 和 300mm(R)×20mm(L)×10(T)mm 的纵向、横向两种试件, 各试件表面均刨光, 加工平整, 然后在环境室温 20℃、空气相对湿度 65% 密闭容器中, 将平衡含水率调整至 12% 左右。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 晚材率的测定

首先在试样端面上, 按径向画一条直线, 沿直线测出整生长轮部分每一个生长轮的宽度, 准确至 0.01mm, 并测出每个生长轮的晚材宽度, 准确至 0.01。计算公式如下:

$$L_w = \Sigma L_b / b \times 100\%$$

式中  $L_w$  --- 试样的晚材率, %

$\Sigma L_b$  --- 测定范围的晚材总宽度 mm

$b$  --- 试样测定范围内的生长轮总宽度 mm

#### 1.2.2 弯曲振动的试验方法

在试样的波型节点处用弹力线将试样呈水平悬吊, 节点位置根据振动学理论计算, 对于基波 (一次波) 振动模式, 其节点位置距端头距离为试件长度的 0.224 倍。实验时用木槌敲击试件的一端或中心部, 试件另一端的下方放置振动接受器—微音器, 接收信号通过前置放大器、滤波器后, 由 FFT 分析仪处理得到共振频率; 由 A/D 转换器完成数字信号采集传入计算机, 由笔者编制的专用软件处理数据, 得到振动特性的各项参数。

## 2 结果与讨论

### 2.1 木材晚材率变异系数对动弹性模量、比动弹性模量的影响

比动弹性模量值越大, 即木材动弹性模量值越大, 密度越小, 木材的振动效率也就越高, 这样的材料用作乐器材品质就越好<sup>[2]</sup>。实验结果表明晚材率变异系数对木材的动弹性模量、比动弹

性模量影响较大，由图 1—4 可看出：纵向木材的动弹性模量和比动弹性模量逐步下降，横向木材随着晚材率变异系数增大，动弹性模量和比动弹性模量的变化呈倒抛物线形式。纵向木材晚材率变异系数在 10%—40% 范围内，变异系数越小，木材的这两项指标越大，表现好的树种依次为西加云杉、油麦吊云杉、鱼鳞云杉、紫果云杉、丽江云杉、红皮云杉、云杉和川西云杉。对应从横向木材来看，动弹性模量和比动弹性模量值近乎只有纵向的 1/10，大部分树种横向木材晚材率变异系数集中在 15%—20% 时，木材的动弹性模量和比动弹性模量值最大。云杉树种木材由于密度低，其动弹性模量小，比动弹性模量也低，晚材率变异系数在 5% 时，上两项指标达到最高。需要注意的是木材性能在纵、横两个方向表现有很大的差异，横向木材性能表现好的树种依次为：丽江云杉、西加云杉、川西云杉、紫果云杉、云杉。纵向表现好的树种木材如油麦吊云杉、鱼鳞云杉在横向表现反而最差，这反映出木材的各项异性。

## 2.2 木材晚材率变异系数对辐射阻尼系数、声阻抗的影响

木材辐射阻尼系数越大，即是木材动弹性模量大，密度小，说明木材辐射阻尼系数值高，这样木材获得的振动能量就能最大限度地向空气中辐射声能<sup>[3]</sup>。如图 5，纵向树种木材的辐射阻尼系数随晚材率变异系数的增加而呈线性降低，但树种不同线性负相关程度也不同。纵向木材晚材率变异系数集中在 10%—40% 时，变异系数越小，木材辐射阻尼系数越大，表现好的树种依次为：西加云杉、丽江云杉、云杉、川西云杉、紫果云杉、鱼鳞云杉、油麦吊云杉和红皮云杉。横向木材辐射阻尼系数只有纵向的 1/3，如图 6，呈倒抛物线排列，大部分树种木材晚材率变异系数集中

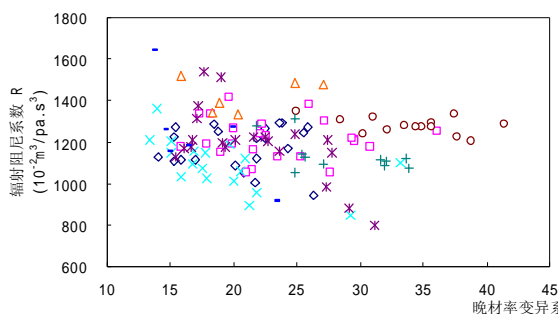


图5 纵向木材晚材率变异系数与辐射阻尼系数间的关系  
 ◆ 油麦吊云杉    □ 川西云杉    △ 云杉    × 紫果云杉  
 \* 丽江云杉    ○ 鱼鳞云杉    + 红皮云杉    - 西加云杉

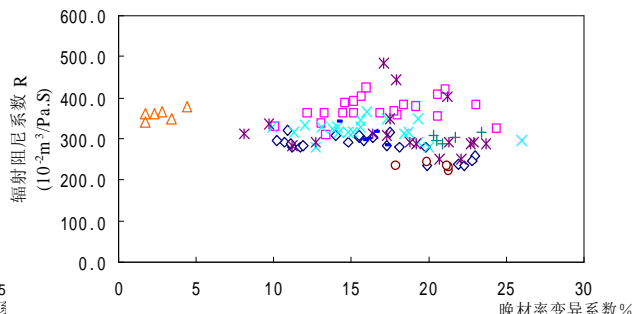


图6 横向木材晚材率变异系数与辐射阻尼系数间的关系  
 ◆ 油麦吊云杉    □ 川西云杉    △ 云杉    × 紫果云杉  
 \* 丽江云杉    ○ 鱼鳞云杉    + 红皮云杉    - 西加云杉

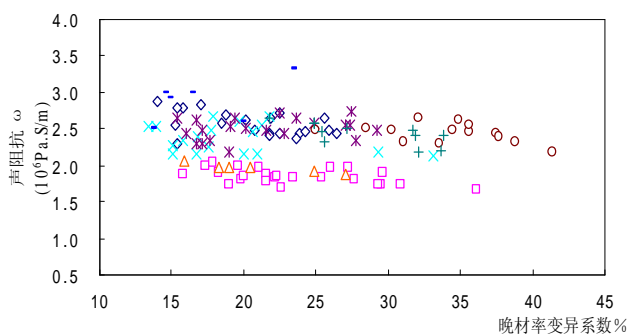


图7 纵向木材晚材率变异系数与声阻抗间的关系  
 ◆ 油麦吊云杉    □ 川西云杉    △ 云杉    × 紫果云杉  
 \* 丽江云杉    ○ 鱼鳞云杉    + 红皮云杉    - 西加云杉

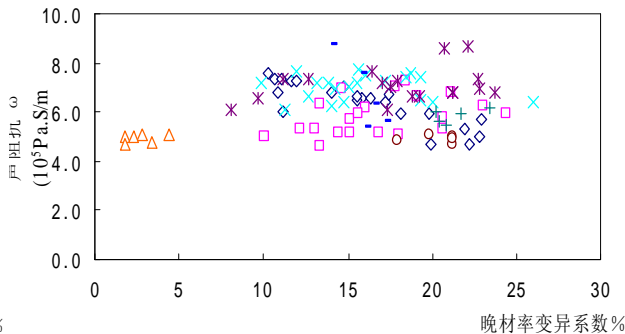


图8 横向木材晚材率变异系数与声阻抗间的关系  
 ◆ 油麦吊云杉    □ 川西云杉    △ 云杉    × 紫果云杉  
 \* 丽江云杉    ○ 鱼鳞云杉    + 红皮云杉    - 西加云杉

在 15%—20% 时，辐射阻尼系数最大。除丽江云杉、川西云杉、紫果云杉表现好一些外，其它树种这一指标变化不大。云杉树种木材也是由于内部结构及密度低的原因，晚材率变异系数在 5% 时，辐射阻尼系数最大。

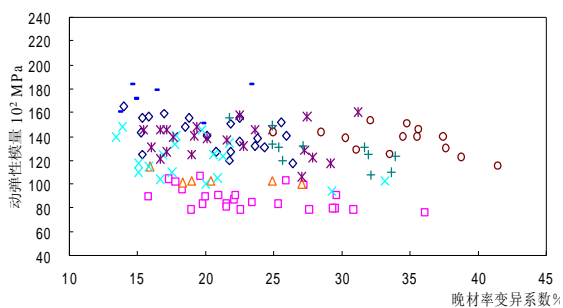


图1 纵向木材晚材率变异系数与动弹性模量间的关系

◇ 油麦吊云杉    □ 川西云杉    △ 云杉    × 紫果云杉  
 × 丽江云杉    ○ 鱼鳞云杉    + 红皮云杉    - 西加云杉

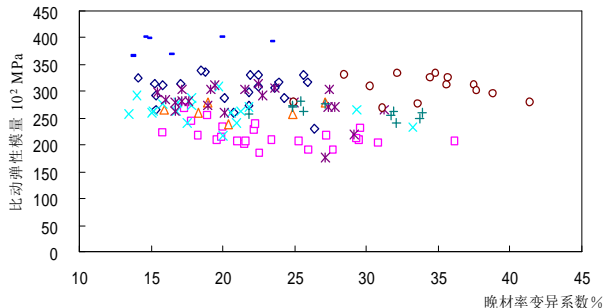


图2 纵向木材晚材率变异系数与比动弹性模量间的关系

◇ 油麦吊云杉    □ 川西云杉    △ 云杉    × 紫果云杉  
 × 丽江云杉    ○ 鱼鳞云杉    + 红皮云杉    - 西加云杉

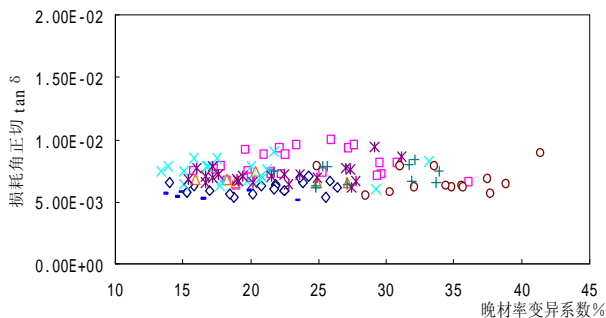


图9 纵向木材晚材率变异系数与损耗角正切间的关系

◇ 油麦吊云杉    □ 川西云杉    △ 云杉    × 紫果云杉  
 × 丽江云杉    ○ 鱼鳞云杉    + 红皮云杉    - 西加云杉

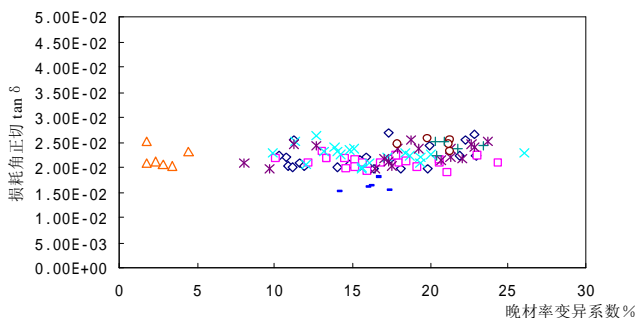


图10 横向木材晚材率变异系数与损耗角正切间的关系

◇ 油麦吊云杉    □ 川西云杉    △ 云杉    × 紫果云杉  
 × 丽江云杉    ○ 鱼鳞云杉    + 红皮云杉    - 西加云杉

木材的声阻抗即为木材的密度与木材声速的乘积，声阻抗对声音在介质的边界上反射传播所发生的阻力具有决定意义，它与振动时间响应特性有关。木材声阻抗值越低，声能转换效率就越高。纵向木材与横向木材相比，由于木材构造的影响，横向声阻抗要高于纵向声阻抗近一倍，如图 7、图 8，纵向年轮宽度变异系数在 10%—38% 范围内，随晚材率变异系数的增加而呈线性降低，树种不同线性负相关程度也不同。纵向木材晚材率变异系数集中在 10%—40% 时，变异系数越小，木材声阻抗越大，根据值大小的分布，树种依次为：西加云杉、油麦吊云杉、紫果云杉、丽江云杉、鱼鳞云杉、和红皮云杉等。横向晚材率变异系数在 15%—25% 时，声阻抗为  $5.0 \times 10^6 \text{ Pa} \cdot \text{S/m} - 8.0 \times 10^6 \text{ Pa} \cdot \text{S/m}$ 。声阻抗较高的树种为：西加云杉、丽江云杉、油麦吊云杉、紫果云杉，其次为红皮云杉、川西云杉、鱼鳞云杉、云杉。

无论纵向还是横向，晚材率大小均匀，晚材率适度的木材，尽管声阻抗较大，但其辐射阻尼系数高，有利于声能向外辐射，木材振动性能好。

### 2.3 木材晚材率变异系数对损耗角正切、每周期振动能量损耗的影响

损耗角正切表征的是：每振动周期内热损耗能量与介质存储能量之比，这一参数能直接衡量振动效率。损耗角正切  $\tan \delta$  较小时，木材声能量的转换效率高，木材具有良好的声学品质<sup>[4-6]</sup>。由图 9、图 10 可见，纵向损耗角正切要明显小于横向，纵、横两向木材晚材率变异系数对损耗角正切影响不大，说明晚材率变异系数不是影响损耗角正切的主要因子。

从每周期振动能量损耗来看，如图 11、12，纵向木材随晚材率变异系数的增大，振动能量损耗由不断增大到逐渐减小，大部分树种木材的每周期振动能量损耗最大值集中在年轮宽度变异系数为 15%—35% 之间，树种不同分布差异性较大。如西加云杉、油麦吊云杉—15%、丽江云杉、紫果云杉—18%、云杉—20%、川西云杉、红皮云杉—28%、鱼鳞云杉—40%。横向木材随晚材

率变异系数的增大，振动能量损耗不断增大，年轮宽度变异系数在 10%—25% 之间，每周期振动能量损耗大的树种木材为：油麦吊云杉、鱼鳞云杉、川西云杉和云杉。

### 3 结论

(1) 纵向木材随着增大，木材的动弹性模量、比动弹性模量、辐射阻尼系数开始逐步下降，树种不同下降趋势具有一定的差异。纵向木材晚材率变异系数集中在 10%—40% 范围内时，晚材率变异系数越低，木材动弹性模量、比动弹性模量、辐射阻尼系数最大。晚材率变异系数对损耗

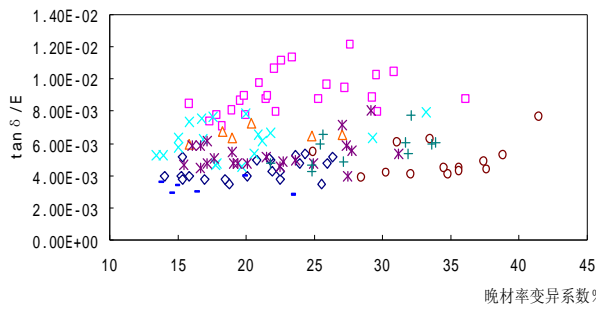


图11 纵向木材晚材率变异系数与 $\tan \delta / E$ 间的关系

◇ 油麦吊云杉    □ 川西云杉    △ 云杉    × 紫果云杉  
\* 丽江云杉    ○ 鱼鳞云杉    + 红皮云杉    - 西加云杉

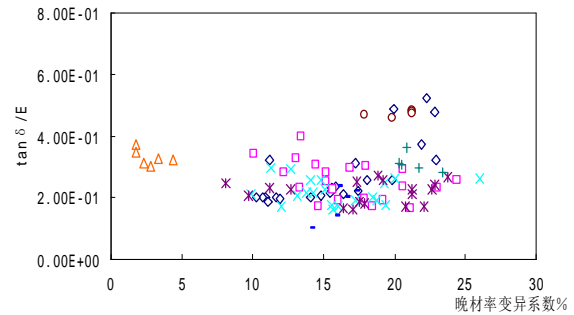


图12 横向木材晚材率变异系数与 $\tan \delta / E$ 间的关系

◇ 油麦吊云杉    □ 川西云杉    △ 云杉    × 紫果云杉  
\* 丽江云杉    ○ 鱼鳞云杉    + 红皮云杉    - 西加云杉

角正切影响不大，从每周期振动能量损耗来看，纵向木材随晚材率变异系数的增大，振动能量损耗由不断增大到逐渐减小，大部分树种木材的每周期振动能量损耗最大值也集中在年轮宽度变异系数 15%—35% 范围内。

(2) 横向木材动弹性模量、比动弹性模量、辐射阻尼系数与年轮宽度变异系数间的关系与纵向木材基本一致，横向木材年轮宽度变异系数集中在 15%—20% 时，木材的动弹性模量、比动弹性模量、辐射阻尼系数最大，但是这些指标大小较纵向要低。晚材率变异系数对损耗角正切影响不大，声阻抗值基本恒定保持在  $5.0 \times 10^6 \text{Pa} \cdot \text{S/m} - 8.0 \times 10^6 \text{Pa} \cdot \text{S/m}$ 。横向木材随晚材率变异系数的增大，每周期振动能量损耗不断增大。

总之，要想使木材有较好的声学性质，很重要的一个方面就是无论纵向、横向木材晚材率应具有均匀性，晚材率变异系数小、木材的振动性能优良。

### 参考文献

- 1 渡边治人著.木材应用基础
- 2 李 坚著. 木材科学.东北林业大学出版社 19952.
- 3 成俊卿著.木材学,中国林业出版社,1985
- 4 中尾哲也, 木材学会志, 1996,42(1). 10-15
- 5 Пищик и и, Д е р е в о о р а б. П р о м-Г ь, 1998, (1) -24-26
- 6 外崎真理雄, 木材学会志, 1983.No.9, -547-552