

刘镇波 黄英来 杨扬 著
刘一星 主审



共鸣板用木材的振动特性与 民族乐器的声学品质



科学出版社

共鸣板用木材的振动特性与 民族乐器的声学品质

刘镇波 黄英来 杨 扬 著

刘一星 主审

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

木材作为制作乐器共鸣板的一种重要材料,其振动性能在很大程度上决定了乐器的声学品质。本书作者在研究共鸣板用木材的构造特征及化学组分对其振动特性影响的基础上,用基于统计方法的纹理图像进行选材,并由乐器生产企业加工得倒琵琶、月琴、阮及二胡4种典型民族乐器的共鸣面板、乐器共鸣构件(共鸣箱)以及相应乐器产品,通过对共鸣面板、乐器共鸣构件及乐器实际产品中的共鸣箱三个阶段声学性能的检测与分析,对最终乐器产品的声学品质进行了主观评价与客观评价,得出共鸣面板用材的选材方法及共鸣面板振动性能的评价方法。

本书可供从事木材科学、乐器学、乐器制造、乐器声学品质评价等领域的工程技术人员、科研人员和高、中等专业院校师生使用与参考。

图书在版编目(CIP)数据

共鸣板用木材的振动特性与民族乐器的声学品质/刘镇波,黄英来,杨扬著. —北京:科学出版社,2016

ISBN 978-7-03-049062-9

I. ①共… II. ①刘… ②黄… ③杨… III. ①民族乐器—板材(木材)—研究—中国 IV. ①TS953.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第143039号

责任编辑:周巧龙 李丽娇/责任校对:杜子昂

责任印制:张伟/封面设计:陈敬

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京科印技术咨询服务公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年6月第一版 开本:720×1000 B5

2016年6月第一次印刷 印张:11 3/4

字数:237 000

定价:68.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

木材作为民族乐器共鸣构件的重要用材之一，对乐器的声学品质有极其重要的影响，不同材质所构成的乐器，会显示出不同的乐器性能，如音色、音质；乐器又由于其共鸣构件所用材质的不同，会导致乐器产品质量差异很大。不同乐器产品，其共鸣构件对材种、材质要求不同，如钢琴、小提琴等西洋乐器主要选用云杉属木材作为其共鸣音板用材，而琵琶、阮、月琴等民族乐器则选用泡桐木材作为其共鸣面板用材。

近几十年来，随着社会经济的快速发展，人们越来越重视精神的需求，民族乐器的发展迎来了新的契机。由于优质木质资源日益匮乏，民族乐器从业者和研究人员对乐器共鸣构件用材的选取越来越重视，但由于从事乐器研究的工作者们没有木材科学研究的基础，对木材只停留在宏观、表面的认识上（实际生产中乐器共鸣板用木材的选取还依赖于乐器制作师的实践经验，以观、掂、敲、听等主观判断）；而从事木材科学研究的工作者们很少涉及乐器领域的研究，对乐器声学结构、发音机理的了解又不够深入。所以针对我国民族乐器共鸣构件用木材的性质对乐器声学品质的影响尚不甚明了的现状，开展我国民族乐器共鸣用木材的客观选材方法、民族乐器共鸣用木质构件的系统分析与科学评价研究，对于完善民族乐器的科学理论，建立一套科学的客观选材方法，提高民族乐器的质量与水平将具有指导意义。我国民族乐器的未来发展也必将走向现代化、科学化的选材和自动化的制作。

本书作者刘镇波博士、黄英来博士及杨扬博士在导师刘一星教授的指导下，在国家自然科学基金（我国民族乐器用木材声学品质的系统分析与科学评价，30871974；乐器共鸣板用木材声学振动性能功能性改良的机理研究，31170522）、黑龙江省自然科学基金（我国民族乐器木质共鸣构件的性能评价与用材优选，QC2009C105）及中央高校基本科研业务费专项资金（木材化学属性对其声学振动性能的影响机理，2572014CB02；新型木材声学功能性复合材料的制备及基础研究，2572016EBJ1）等项目的资助下，在国际上首次追踪研究了木材构造特征与振动特性之间的内在关系、共鸣面板与共鸣构件振动特性、最终乐器产品声学品质（即木材—共鸣面板—共鸣构件—乐器声学品质）的整个过程。本书总结了作者近年来的研究成果，其主要内容可分为四个部分：第一部分介绍了共振板用木材的构造特征及化学组分对其振动特性的影响（第1~3章）；第二部分介绍了基于统计方法的纹理图像进行选材及共鸣面板的选配方案（第4、5章）；第三部

分介绍了共鸣面板、乐器共鸣构件及乐器实际产品中的共鸣箱三个阶段声学振动性能的检测与分析（第 6、7 章）；第四部分介绍了乐器产品声学品质的客观评价与主观评价，以及共鸣面板用材的选材方法及共鸣面板振动性能的评价方法（第 8~10 章）。

本书由东北林业大学刘镇波、黄英来和杨扬共同撰写，其中第 0~3 章由刘镇波撰写，第 4、5 章由黄英来撰写，第 6、7、11 章由刘镇波、黄英来共同撰写，第 8~10 章由刘镇波、黄英来、杨扬共同撰写。东北林业大学刘一星教授审阅了全书，并提出了许多宝贵的意见。

鉴于著者水平有限，书中欠妥和疏漏之处在所难免，敬请同行和广大读者不吝批评指正。

著 者

2016 年 3 月

目 录

前言	
第 0 章 绪论	1
0.1 木材声学的主要研究内容	1
0.2 木材的声学振动特性及性能评价	3
0.3 乐器共鸣板用木材的声学振动特性研究进展	11
0.4 本书的主要内容	23
参考文献	23
第 1 章 共振板用木材振动性能的测定及比较	29
1.1 木材声学振动特性的测定	29
1.2 泡桐木材振动性能的分析	31
1.3 云杉属木材振动性能的分析	34
1.4 泡桐木材与云杉属木材的振动性能比较	44
1.5 本章小结	48
参考文献	49
第 2 章 木材生长轮宽度、密度对振动性能的影响	50
2.1 生长轮宽度、密度的测定	50
2.2 生长轮宽度与泡桐木材声学品质之间的关系	51
2.3 木材生长轮宽度标准差与泡桐木材声学品质之间的关系	53
2.4 木材生长轮宽度变异系数与泡桐木材声学品质之间的关系	55
2.5 木材密度与泡桐木材声学品质之间的关系	57
2.6 本章小结	61
第 3 章 木材化学组分对声学振动性能的影响	62
3.1 木材化学组分的测定	62
3.2 综纤维素含量与木材声学品质之间的关系	63
3.3 木质素含量与木材声学品质之间的关系	66
3.4 苯醇抽提物含量与木材声学品质之间的关系	69
3.5 1% NaOH 抽提物含量与木材声学品质之间的关系	72
3.6 结晶度与木材声学品质之间的关系	75
3.7 综合比较分析	78
3.8 本章小结	87

参考文献	88
第4章 基于统计方法的纹理图像共鸣面板用材选材方法研究	89
4.1 纹理及纹理识别概述	89
4.2 基于 Canny 算子的边缘检测	91
4.3 泡桐木材的纹理图像选材分析	93
4.4 本章小结	101
参考文献	102
第5章 共鸣面板用木材的选配方案	103
5.1 乐器共鸣面板用木材基础数据分析	103
5.2 乐器共鸣面板用木材振动特性综合分析	105
5.3 乐器共鸣板的拼接方案	116
5.4 本章小结	118
参考文献	119
第6章 乐器共鸣面板的声学性能检测与分析	120
6.1 乐器共鸣面板声学振动模态测试与分析	120
6.2 表面波传播速度检测与分析	139
6.3 乐器共鸣面板表面声辐射强度检测	141
6.4 本章小结	146
参考文献	147
第7章 乐器共鸣构件声学性能检测与分析	148
7.1 乐器共鸣构件的制作	148
7.2 乐器共鸣构件表面波传播速度的检测与分析	149
7.3 乐器共鸣构件声辐射强度的检测与分析	150
7.4 本章小结	152
第8章 乐器共鸣箱声学性能检测及乐器声学品质的客观评价	153
8.1 乐器调音	153
8.2 乐器共鸣箱体的面板表面波传播速度检测与分析	153
8.3 乐器共鸣箱体的声辐射强度检测与分析	155
8.4 乐器声学品质的客观评价	155
8.5 本章小结	160
第9章 乐器声学品质主观评价及分析	161
9.1 主观评价前的调音	161
9.2 各种乐器的演奏要求	162
9.3 乐器声学品质主观评价表	163
9.4 乐器声学品质的专家主观评价	164

9.5 本章小结	166
参考文献	166
第 10 章 乐器共鸣体声学振动性能综合分析及客观评价与选材	167
10.1 乐器共鸣体各阶段表面波传播速度对比	167
10.2 乐器共鸣体各阶段声辐射强度对比	170
10.3 乐器共鸣面板纹理宽度与振动性能的关系	172
10.4 共鸣面板振动性能与乐器声学品质之间相关性分析	173
10.5 素板指标与乐器声学品质之间相关性分析及客观选材方法	174
10.6 本章小结	175
第 11 章 结论	176

第0章 绪 论

0.1 木材声学的主要研究内容

声是一种机械扰动在气态、液态、固态物质中传播的现象。所谓扰动,是指在气态、液态、固态物质中的一个密度的、或者是压力的、或者是速度的某种微小变化,这个变化在弹性介质中就会传播出去,这个传递的能量就是声,从声的概念上讲,只要在弹性介质中存在扰动,就会产生声波。声学是一门研究声波的产生、传播、接收以及与物质相互作用的科学。

目前整个声学研究的频率范围跨越 10^{18}Hz , 是物理学各分支里少有的。声学既有经典的物理性质, 又有量子的性质, 随着频率的升高, 声学进入微观世界, 不断发现新的现象和新的应用; 随着频率的降低, 低频声波的吸收衰减越来越小, 穿透能力和传播距离大大增加, 成为观察大气、海洋、地壳中许多现象的强有力的工具。

在声与物质相互作用的研究过程中, 到目前为止, 虽然主要是研究物质的声速、声衰减及密度、弹性系数(或黏度)等宏观量, 但通过宏观量的测量, 可以揭示物质微观世界的本质。如分子声学从超声传播速度和衰减及其弛豫效应的测定, 可以研究气体中分子的各种运动之间的能量转移以及分子间的能量转移, 液体中的各种分子结构有关的动力学过程, 以及固体物质的相变、缺陷、晶粒尺寸乃至微观的分子结构, 半导体和超导体中的能隙及能级分布情况等。

木材和其他具有弹性的材料一样, 在冲击性或周期性外力作用下, 能够产生声波或进行声波传播。木材声学主要是研究木材在外在的声波源作用下所产生的振动特性、传声特性、空间声学性质(吸收、反射、透射)等与声波有关的木材材料特性。声学技术在木材科学研究与技术领域得到了广泛的应用, 从现有文献中看出, 其应用主要体现在以下三个方面(图 0-1)。

0.1.1 乐器共鸣板用木材的声学特性研究

声学性能好的木材具有优良的声共振性和振动频谱特性, 能够在冲击力作用下, 由本身的振动辐射声能, 发出优美音色的乐音。更为重要的是, 能够将弦振动的振幅扩大并美化其音色向空间辐射声能。这种特性是木材能够广泛用于乐器共鸣部件制作的重要依据。

乐器共鸣板用木材的声学特性主要是研究乐器共鸣板用木材的声振动特性、选取、改性等内容。

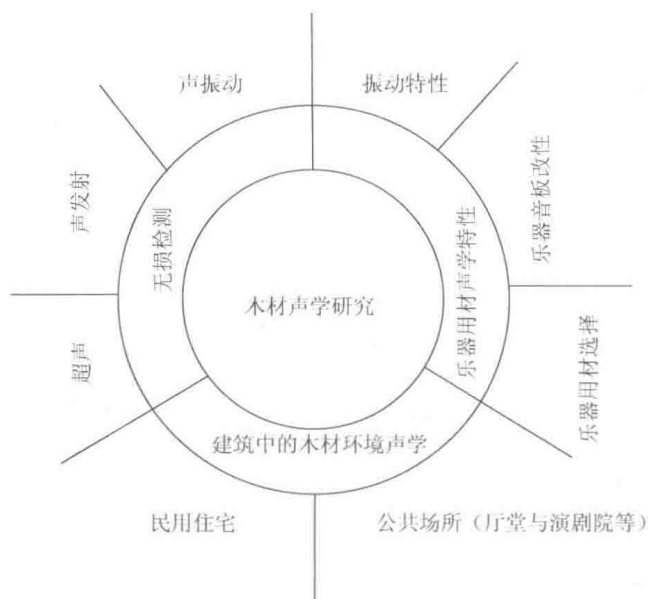


图 0-1 木材声学研究与应用范畴

乐器共鸣板用木材的声振动特性：主要研究各种树种木材的声学振动特性及其检测方法，研究木材的物理特征、宏观构造及微观构造与其振动性能的内在关系。

乐器共鸣板用木材的选取：对用于制作乐器共鸣板的木材要求极为苛刻，研究乐器共鸣板用木材的客观评价与科学选取对于提高乐器产品的质量具有重要的意义。

乐器共鸣板用木材的改性：从改善木材声学振动性能及保持其声学振动性能稳定性出发，研究乐器共鸣板用木材的改性方法及成效。

0.1.2 基于声学特性的木质材料无损检测研究

木材的声传播特性、声共振特性的物理参数，与木材的力学性质有着内在的联系，因此，可利用木材的声振动或机械波传递的测量，对其质量或力学性质进行无损检测。此外，用声共振波得到木材动态黏弹性的参数指标，对化学处理材的品质评价和流变学模型解析起到不可缺少的作用。

基于声学特性的木质材料无损检测研究领域主要研究应用声学的方法（如超声波法、声发射法、声振动法等）实现对木质材料的力学性能、内部缺陷等的检测。

超声波法：主要是通过超声波在木材中的传播时间和传播速度不同来判别木材的内腐、边腐程度。

声发射法：木材在外部条件（受力、温度）改变时，利用木材内部的迅速能

量释放,研究木材的物理力学性能。

声学振动法:利用声波在木材中传播速度和阻尼的变化来判断木材的力学性质及缺陷。

0.1.3 建筑中的木材环境声学研究

木材及木质材料制品对空气中的声波能量具有吸收、反射(扩散)和被透射的作用。在大中型民用建筑(如影院、音乐厅、礼堂等)及其他特殊建筑(如广播、电视、电影等技术用房)中,都广泛地运用木材的声学性质,将木材与其他建筑材料相配合创造出一个具有良好空间音响学效果的室内环境。

建筑中的木质材料声学特性研究领域主要研究作为建筑用木材的空间声学特性及用木质材料装饰后的室内声学效果,具体包括木材的吸声性能、隔声性能及木质空间的混响。

木材的吸声性能研究:主要研究木质材料吸声性能的检测方法、吸声基本规律、影响因素及改进措施,以及具有特定吸声性能的新型木质材料产品开发。

木材的隔声性能研究:主要研究木质材料隔声性能的检测方法、隔声基本规律、影响因素及改进措施,以及应用于室内环境中具有特定隔声性能的新型木质材料产品设计与开发。

木质空间的混响研究:主要研究在特定室内空间内,不同木质材料装饰与装饰方法、室内木质材料产品的摆布及木质材料的多少对室内空间混响的影响及内在的规律。

0.2 木材的声学振动特性及性能评价

振动是木材传声与辐射声能的基础,因此,首先需要了解木材的振动。所谓的振动是指物体(或物体的一部分)沿直线或曲线,以一定的时间周期经过其平衡位置所做的往复运动。当一定强度周期机械力或声波作用于木材时,木材会被激励而振动(受迫振动),其振幅的大小取决于作用力的大小和振动频率。在强度稳定而周期变化的外力作用下,能够在特定的频率下振幅急剧增大并得到最大振幅,这种现象称为共振。最大振幅对应的频率称为共振频率或固有频率。物体的固有频率由它的几何形状、形体尺寸、材料本身的特性(弹性模量、密度等)和振动的方式等综合决定。但是,在给定振动方式、形体几何形状和尺寸条件的情况下,则固有频率完全取决于材料本身的特性。木材受到瞬间的冲击力(如敲击)之后,也会按照其固有频率发生振动,并能够维持一定时间的振动。由于内部摩擦的能量衰减作用,这种振动的振幅不断地减小,直至振动能量全部衰减消失为止。这种振动为衰减的自由振动或阻尼自由振动。

0.2.1 木材的基本振动方式

木材同其他固体材料一样，通常有三种基本振动方式，即纵向振动、横向振动（弯曲振动）和扭转振动。

0.2.1.1 纵向振动

纵向振动是振动单元（质点）的位移方向与由此位移产生的介质内应力方向相平行的振动，如图 0-2（a）。运动中不包含介质的弯曲和扭转、波动成分，为纯纵波。叩击木材的一个端面时木材内产生的振动和木棒的一个端面受到超声脉冲作用时木材内产生的振动都是纵向振动。纵向振动可以看作在动力学情况下，类似于静力学中压缩荷载作用于短柱的现象。

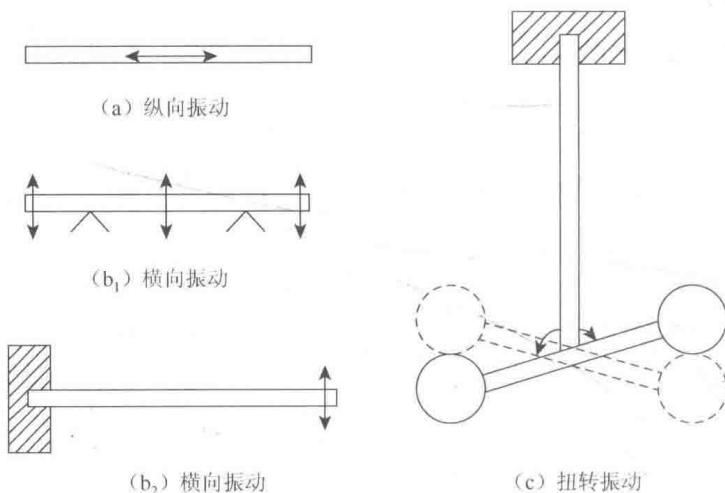


图 0-2 木材振动的基本类型

设木棒长度为 L ，密度为 ρ ，弹性模量为 E ，则长度方向的声速 v 和共振频率 f 按式 (0-1) 和式 (0-2) 求得

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (0-1)$$

$$f = \frac{iv}{2L} = \frac{i}{2L} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (0-2)$$

式中， i 为共振频率系数，其值由共振频率阶次决定。

木材的纵向振动，除了在基本共振频率 f_r （以下简称基频， $i=1$ ）发生共振之外，在 f_r 的整倍数频率处亦发生共振，称高次谐振动或倍频谐振动。前 5 阶共振频率的系数 i 值及节点分布如表 0-1 所示。

表 0-1 木材杆纵向振动的前 5 阶共振频率及节点分布

共振阶数 (n)	共振频率系数 (i)	节点位置与杆长之比 (x/L)
1	1	0.500
2	2	0.250, 0.750
3	3	0.167, 0.500, 0.833
4	4	0.125, 0.375, 0.625, 0.875
5	5	0.100, 0.300, 0.500, 0.700, 0.900

0.2.1.2 横向振动

横向振动是指振动元素位移方向和引起的应力方向互相垂直的运动。横向振动包括弯曲运动。通常在木结构和乐器上使用的木材,在工作时主要是横向弯曲振动,如钢琴的音板(振动时以弯曲振动为主,但属于复杂的板振动)、木横梁静态弯曲相对应的动态弯曲振动等,可以认为是横向振动。

木棒横向振动的共振频率通常比它的纵向共振频率低得多。横向共振频率不仅取决于木材试样的几何形状、尺寸和声速,且与木材的固定(或支撑)方式,即振动运动受到抑制的方式有关。矩形试件的共振频率 f_r 可用式(0-3)表示:

$$f_r = \frac{\beta^2 h \nu}{4\sqrt{3}\pi^2} L^2 = \frac{\beta^2 h}{4\sqrt{3}\pi^2} L^2 \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (0-3)$$

式中, L 为试件长度(m); h 为试件厚度(m); ν 为试件的传声速度(长度方向)($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$); β 为与试件边界条件有关的常数。

在木材试样处于两端自由的边界条件下,且在对应于基频振动节点处支撑(支点距两端点的距离均为试件长度的 0.224 倍位置)的情况下,如图 0-2 (b_1),用式(0-3)计算基频时, β 应为 4.73。其 2 次、3 次直至 n 次谐频的 β 值,分别以 β_2 、 β_3 、 $\dots$ 、 β_n 代表; $\beta_2=7.853$, $\beta_3=10.996$, 当 $n>3$ 时, $\beta_n=(n+1/2)\pi$ 。应当注意的是,如果要测定基频以上的谐频,支点的距离也要做相应改变,移至各次谐振动节点所对应的位置,前 4 阶谐振动节点具体位置如表 0-2 所示。

表 0-2 两端自由的杆作横向振动时的节点分布位置

共振阶数 (n)	常数 (β)	节点位置与杆长之比 (x/L)
1	4.730	0.224, 0.776
2	7.853	0.132, 0.500, 0.868
3	10.996	0.094, 0.356, 0.644, 0.906
4	$(n+1/2)\pi$	0.073, 0.277, 0.500, 0.723, 0.927

在木材试样一端固定而另一端自由的边界条件下（悬臂梁式），如图 0-2（b₂），在计算基频时： $\beta=1.875$ ；计算谐频时： $\beta_2=4.694$ ， $\beta_3=7.855$ ，当 $n>3$ 时， $\beta_n=(n-1/2)\pi$ 。

0.2.1.3 扭转振动

扭转振动是振动元素的位移方向围绕试件长轴进行回转，如此往复周期性扭转的振动，如图 0-2（c）。在做扭转振动时，木材试件内抵抗这种扭转力矩的应力参数为刚性模量 G ，或称作剪切弹性模量。如果木棒的惯性矩与外加质量的惯性矩相比可以忽略不计，则试件基本共振频率 f_r 取决于该外加质量的惯性矩 I 、试件的尺寸和刚性模量 G ， f_r 的计算如式（0-4）所示：

$$f_r = r^2 \sqrt{\frac{G}{8\pi \cdot I \cdot L}} \quad (0-4)$$

式中， r 为试件圆截面的半径； L 为试件的长度。

0.2.2 木材声学振动性能的主要指标

乐器对其共鸣板用木材的声学振动性能有极高的要求，木材声学振动性能可从振动的声辐射性能以及振动能量的分配、消耗等方面体现，主要指标包括比动弹性模量、声辐射品质常数（也称声辐射阻尼系数）、木材的（内摩擦）对数衰减率（或损耗角正切）、声阻抗等。

0.2.2.1 声辐射品质常数与比动弹性模量

在木材受瞬时冲击力产生横向振动，或者在受迫振动过程中突然中止外部激振力的情况下，观察木材的振动随时间的变化，可以看出，木材的振动能量逐渐减小，振幅逐渐降低，直至能量全部消失，恢复到静止状态。产生这种现象的原因是试件所获得的能量在振动过程中被消耗而衰减。木材的振功能量衰减由两个部分组成：一部分相当于向空气中辐射能量时为克服空气阻力所消耗的能量，这部分能量以声波的形式辐射到空气中，由此产生的衰减为声辐射衰减；另一部分是由于在木材内及周围的接触固定界面上的能量吸收，即由内部分子间的摩擦和界面上的摩擦，将动能转变为热能而被消耗，这种能量衰减称为内摩擦衰减或损耗衰减。从上述分析来看，木材振动所消耗的能量是用于声能辐射的能量分量和消耗于内摩擦的能量分量的组合。消耗于内摩擦等热损耗因素的能量越小，用于声辐射的能量越大，则声振动的能量转换效率就越高。

木材及其制品的声幅射能力，即向周围空气辐射声功率的大小，与传声速度 v 成正比，与密度 ρ 成反比，用声辐射阻尼系数 R 来表示，如式（0-5 所示）：

$$R = \frac{\nu}{\rho} = \sqrt{\frac{E'}{\rho^3}} \quad (0-5)$$

声辐射阻尼系数又称声辐射品质常数,这是因为人们常常用它来评价材料声辐射品质的好坏。木材用作乐器的共鸣板(音板)时,应尽量选用声辐射常数较高的树种。木材的声辐射常数,随树种不同有很大的变化。通常密度高的树种,其弹性模量也高,但声辐射常数往往比较低。因此又引入了比动弹性模量指标。

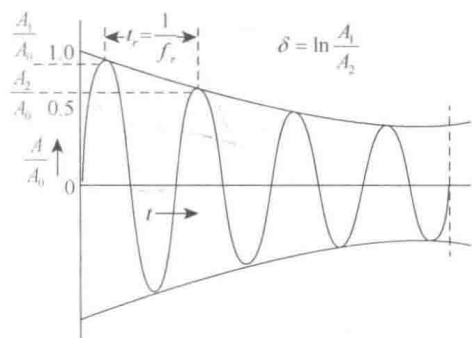
比动弹性模量是表征木材声振动性能的重要指标,是材料的动态弹性模量(E')与相对密度(ρ)之比,即 E'/ρ 。它可以代表材料除空腔之外的动态弹性模量,能够以此判别振动加速度的大小。对于木材而言, E'/ρ 代表顺纹方向细胞壁的平均动态弹性模量。因此,在进行乐器共鸣板用木材的选材时,应该尽量选用声辐射品质常数、比动弹性模量高的木材。

0.2.2.2 内摩擦损耗对数衰减率与动力学损耗角正切

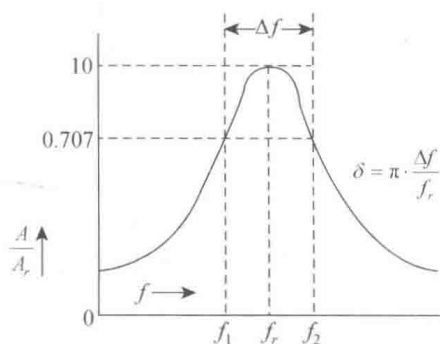
受外部冲击力或周期力作用而振动的木材,当外力作用停止之后,其振动处于阻尼振动状态,振幅随时间的增大按负指数规律衰减,如图 0-3 (a) 所示。木材的这种因摩擦损耗所引起的能量损耗用对数衰减率 δ 来表示,其大小为两个连续振动周期振幅值之比的自然对数,又称对数缩减量,计算如式 (0-6) 所示:

$$\delta = \ln \frac{A_1}{A_2} = \alpha T_0 \quad (0-6)$$

式中, A_1 , A_2 为两个连续振动周期的振幅 [图 0-3 (a)]; α 为内部阻尼系数(衰减系数); T_0 为自由振动的周期。



(a) 自由振动中振幅 A 、频率 f 与对数衰减率 δ 的关系



(b) 受迫振动中振幅 A 、频率 f 与对数衰减率 δ 的关系

图 0-3 内摩擦引起的阻尼振动现象

对于受迫振动状态下的对数衰减率 δ , 按式 (0-7) 计算:

$$\delta = \pi \cdot \frac{\Delta f}{f_r} \quad (0-7)$$

式中, Δf 为频率响应曲线上振幅降至最大振幅的 0.707 倍时对应的两个频率之差 [图 0-3 (b)]; f_r 为最大振幅对应的频率。

动力学损耗角正切 $\tan\delta$ 为动力学中弹性模量的虚部与实部之比, 它表征每振动周期内热损耗能量与介质存储能量之比, 更能直接地说明振动效率问题。对于内摩擦损耗的定量表征, 在国内有关资料中通常采用对数缩减量 δ , 而在国外资料中现多采用动力学损耗角正切 $\tan\delta$ 。动力学损耗角正切与对数缩减量之间的关系可表示为: $\tan\delta = \delta/\pi$ 。

一般来说, 对数衰减率与动力学损耗角正切较低的木材, 较适于制作乐器的共鸣板。因为 δ 与 $\tan\delta$ 低说明振动衰减速度慢, 有利于维持一定的余音, 使乐器的声音饱满而余韵; 另外 δ 与 $\tan\delta$ 较低, 则振动能量损失小, 振动效率高, 使乐音宏亮饱满。

0.2.2.3 木材的声阻抗

声阻抗也叫特性阻抗, 它对于声音的传播, 特别是两种介质的边界上反射所发生的阻力是有决定意义的。两种介质的声阻抗差别越大, 向声阻抗小的介质一方反射就越强烈。从振动特性的角度来看, 它主要与振动的时间响应特性有关。木材的声阻抗 ω 为木材密度 ρ 与木材声速 v 的乘积, 由式 (0-8) 表示:

$$\omega = \rho v = \sqrt{\rho E'} \quad (0-8)$$

木材与其他固体材料相比, 具有较小的声阻抗和非常高的声辐射阻尼, 它是一种在声辐射方面具有优良特性的材料。

可表征木材声学振动性能的指标较多, 除了上述的声辐射品质常数、比动弹性模量、内摩擦损耗对数衰减率或动力学损耗角正切及声阻抗外, 还有相对密度、弹性模量、 $\tan\delta$ 与 E' 之比 $\tan\delta/E'$ 、动态弹性模量 E' 与动态刚性模量 G 之比 E'/G 、 $E' \cdot \rho$ 等, $\tan\delta/E'$ 表示振动周期内能量损耗的大小, 且与加速度有关; E'/G 可表达频谱特性曲线的“包络线”特性; $E' \cdot \rho$ 是一个与音响效果相关的物理量, 它与余音的长短、发音的敏锐程度等听觉心理量有关。

0.2.3 乐器共鸣板用木材的声学振动性能评价

共鸣板是乐器的最重要部件之一, 主要起到共振与能量传递的作用, 并将琴弦传递过来的振动放大并美化传播到空气中, 使欣赏者听到美妙的乐音。声学品质好的木材具有优良的声共振性和振动频谱特性, 这种特性是木材能够广泛用于乐器共鸣板的重要依据。例如, 我国民族乐器琵琶、扬琴、月琴、阮, 西洋乐器钢琴、提琴、木琴等, 均采用木材制作音板(共鸣板)或发音元件(如木琴), 就是利用了木材的振动特性和良好的声学性能品质。在电声乐器系统中, 也常常利用木材的良好音质特性, 制成各种类型特殊的音箱, 以调整扬声器的声学性质,

创造出优美动听的音响效果。因此,可以说木材的声学振动性能很大程度上决定了乐器产品的声学性能。

不同的乐器,其共鸣音板材料对木材树种有具体的要求,钢琴、小提琴等西洋乐器的共鸣音板一般选择云杉木材,而琵琶、阮、月琴等民族乐器的共鸣面板一般选择泡桐或杉木木材。但木材是一种变异性很大的材料,同树种不同株上的木材,甚至是同株木材上的不同部分,其材性都有差异,这使得可用于制作共鸣板的木材不仅对树种有要求,而且对选材部位也有严格的要求。

为了获得质量上乘的乐器产品,对乐器共鸣板制作材料——木材有极其苛刻的要求,不但要求选用的木材具有很高的振动效率、优良的振动音色,而且还要求具有稳定的发音效果。如何根据乐器对音板的要求合理选材,尤其是如何运用木材声学性质的指标参数对木材声学性能品质进行合理的评价,并以此为依据指导乐器共鸣板的合理选材,是十分重要的。

乐器制作行业对乐器音板的声学性能品质有许多具体的要求,综合起来主要有三个方面:第一方面是对振动效率的要求,音板应该能把从弦振动传播过来的能量,大部分转变为声能辐射到空气中去,而损耗于音板材料内摩擦等因素的能量应尽量小,使发出的声音具有最大的音量和足够的持久性;第二方面是对音色的要求,从音板辐射出的乐音应具有优美悦耳的音色,音板在乐音频率范围内频响特性应分布均匀与连续,以及具有较小的惯性阻力、较敏锐的时间响应特性等;第三方面是对发音效果稳定性的要求,要求由音板制作的乐器能够适应环境空气温度和湿度的变化,保证稳定而良好的发音效果。因此,对乐器共鸣板用木材的声学性能品质评价也应该从这三个方面入手。

0.2.3.1 对振动效率品质的评价

乐器共鸣板用木材要求具有较高的振动效率。振动效率高的音板,能把从弦振动所获得的能量,大部分转变为声能辐射到空气中去,而损耗于音板材料内摩擦等因素的能量小,使发出的声音具有较大的音量和足够的持久性。

从现有的文献资料来看,用于评价木材的振动效率品质的物理量主要有:声辐射品质常数 R 、比动弹性模量 E'/ρ 、损耗角正切 $\tan\delta$ 、声阻抗 ω 以及 $\tan\delta/E'$ 等。在 R 、 E'/ρ 为较大数值,而且 $\tan\delta$ 、 $\tan\delta/E'$ 、 ω 为较小数值的情况下,木材的振动效率高,有利于声能量的高效率转换或响应速度的提高。

从声辐射阻尼系数 R 的表达式 [式 (0-5)] 来看,应选用动态弹性模量 E' 较大且密度 ρ 较小的木材。比动弹性模量 E'/ρ 代表顺纹方向细胞壁的平均动态弹性模量,而且能够以此判别振动加速度的大小;而 R 表示将入射的能量转换为声能的程度,并且能以此判别声压的大小。两者都有使振动效率增加的作用。对于内摩擦损耗的定量表征,动力学损耗角正切 $\tan\delta$ 表征每周期内热损耗能量与介质存