

中央音乐学院图书馆藏书

书号 G5.2 / tcha 4

总记 登号 143353

G5.2

乐声的奥秘

梁广程 编著

人民音乐出版社



中央音乐学院图书馆	
号	5900.1
总册数	1225

乐 声 的 奥 秘

梁 广 程 编 著

人 民 音 乐 出 版 社

一 九 八 六 年 · 北 京

封面设计：许 华

乐 声 的 奥 秘

梁 广 程 编 著

*

人 民 音 乐 出 版 社 出 版

(北京翠微路2号)

新 华 书 店 北 京 发 行 所 发 行

延 文 印 刷 厂 印 刷

787×1092 毫米 32 开 80 千文字 5.5 印张

1986 年 2 月北京第 1 版 1986 年 2 月北京第 1 次印刷

印数：0,001—6,385 册

书号：8026·4410 定价：1.15 元

前 言

音乐声学是声学的一个分支，是研究乐音的性质、乐音的产生、传播、接收等问题的一门学科。随着音乐艺术和科学技术的发展，音乐实践当中提出的许多问题，需要从音乐声学上求得解答，音乐声学越来越受到重视。从事音乐工作的同志也都感到需要了解一些音乐声学方面的知识。本书就是适应这个需要而编写的。

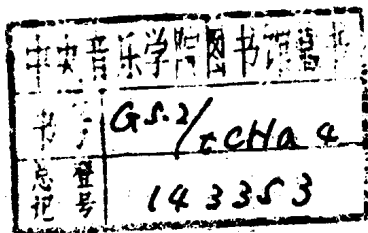
本书从音乐声学的基本原理出发，对乐音的高低、强弱、共鸣、成律、音色构成、听觉功能、立体声效应、电声转换、以及各类乐器的结构和发音原理等等，从物理学、声学的角度作简要的介绍。介绍时力求通俗易懂，尽量不涉及物理音响学方面过于专深的理论。

由于编者水平所限，书中不当之处难免，欢迎批评指正。

一九八二年八月

目 录

第一章	乐音概谈	(1)
第二章	听觉功能	(31)
第三章	弦鸣乐器	(40)
第四章	气鸣乐器	(60)
第五章	人声乐器	(101)
第六章	体鸣乐器	(116)
第七章	膜鸣乐器	(130)
第八章	声电转换	(136)
第九章	电声乐器	(147)
第十章	立体声概念	(163)



第一章 乐音概谈

一、振动 声波

大家知道，乐音有高度(音高)、强度(音量)、长度(音长)和音色(音质)四重性质。要谈乐音的这些性质，还得从振动谈起。

振动 弹性振动

一件物体在外力影响下，沿着直线或曲线并经过其平衡位置所作的往复运动，称为振动。振动体往返振动一次，称做一个全振动过程。一种物质受到外力后，它离开平衡位置而产生变形，若外力去除后，变形随即消失并能恢复原状，这种性质称为弹性，它的振动，称为弹性振动。绝大多数的乐器的振动，都是弹性振动。乐器中所用的弹性物质，由于内应力的不同，大致可以分为以张力为主(如弦)和以劲力为主(如簧、棒)两种振动方式。

频率 赫兹

振动体在每秒中内完成全振动的次数，称为振动数，单位是次/秒。振动数在声学上称为频率，常用单位是赫兹^①，简称赫

① 赫兹(H. R. Hertz, 1857—1894)为德国物理学家。为纪念他，国际通用以赫兹作为频率的计算单位。

(Hz)。1次/秒即一赫，100次/秒即100赫。频率的高低是由振动的快慢来决定的。振动越快，频率越高，反之亦然。

振幅

物体某一点在振动过程中，偏离平衡位置时的最大值，称为该点上的振幅。振幅的大小决定于使物体振动的外力。在弹性限度内，外力越大，振幅也越大，振幅与外力成正比。

自由振动 衰减振动

外力作用于弹性物体，当外力突然消除后，由于物体自身内部的弹性作用而继续进行振动，这种振动，称为自由振动，自由振动的频率，称为固有频率。

物体在振动过程中，因克服摩擦和自身弹性所产生的阻力，造成能量损失，而使振幅随时间逐渐减小直至消失，这是振动的衰减现象。绝大多数乐器的振动，都属于衰减振动，只有在能量得到补充的情况下，振动才能持续。

波 声波

物体的某一部分振动，会以一定速度在媒介质（如固体、气体、液体）内传播开来，这种传播过程，称为波动，简称波。物体振动在媒介质（如空气）中传播到听觉器官，能为听觉器官感受的，就是声波。

位移 相位

振动体在振动过程中，或者媒介质在振动（波动）传播的过程中新发生的位置的移动称为位移。用来表示振动（波动）在某一时刻的状态的一个力量叫做相位。这个量通常用角度来标示，称为相位角，简称相。

振动体处于平衡位置(即未振动前的位置)时,相位角一般置于 0° ,如果是简谐振动,当位移达到最大值时,位相角为 90° 或 270° 。相位相同之点,称做同相点。相位相反之点,称做反相点。

振动曲线 波动曲线

用图形的方法来描述振动或波动状态的图象,称为振动曲线或波动曲线。在现代技术条件下,这种曲线一般是通过仪器来获得。但最简易的获取方法,是在音叉的顶端装上一根针,使针尖接触到涂有黑烟的玻璃片,当音叉振动时均匀地移动玻璃片,就可以获得这种曲线。振动曲线如果随时间按三角函数正弦的规律来变化的,称为简谐振动。简谐振动产生的波称为正弦波,简谐振动和正弦波是一切振动、波动中最基本的类型。轻轻敲击音叉时所产生的振动,就属于这种类型。

简谐振动和简谐波通常是用如下的曲线来描述。

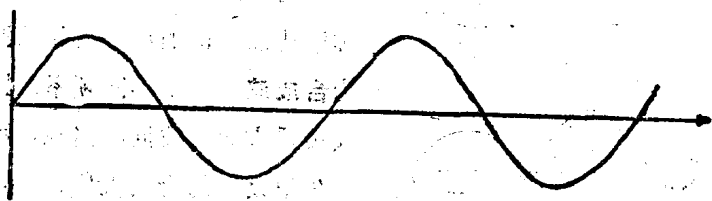


图 1-1

波峰 波谷 波腹 波节 波长

正弦波凸起的最高点,称做波峰。凹下的最低点,称做波谷。波峰和波谷都是波腹。相应于平衡位置的各点,称做波节。如果我们将上图看作是一个正弦波,从中截取一段,那么,这段曲线就代表正弦波波动的一个周期(即一个全振动过程)。

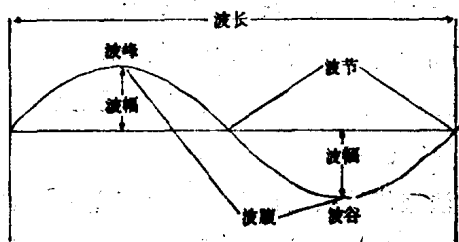


图 1-2 波峰、波谷、波幅、波度、波长示意

图中横轴自左至右代表波的传播方向，波峰或波谷至横轴距离表示振幅。横轴上从平衡位置出发每经过一次波峰，一次波谷再回到平衡位置时的距离，代表波长。可以理解，在波的传播速度一定的情况下，波长与频率刚好是成正比的，因此，当频率不改变时，波长也是固定的。

波的合成

两个或多个波合在一起时，称做迭加，迭加后形成新的波称为合成波。多个不同频率、振幅及传播方向的波同时出现，可以产生很复杂的合成现象。

这里例举两种最简单的合成波现象，见图 1-3。迭加前的波用实线表示，合成波用点线表示。

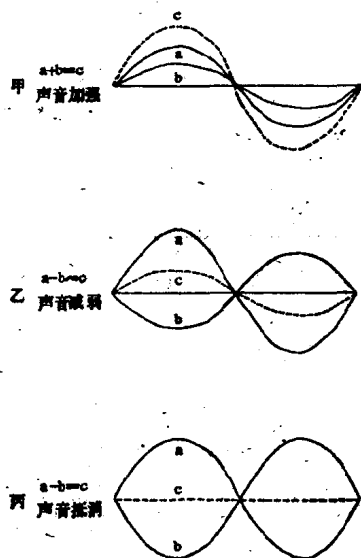


图 1-3 波的迭加

图中甲：a 波加 b 波 等于 c 波（声音加强）；乙：a 波减 b 波

等于c波(声音减弱); 丙: a波减b波等于c波, 两波振幅相同, 位相相反, 声音抵消。

波的重迭在音色的形成及声音共鸣中, 起关键作用。

拍音

如果两个波的频率不同但相近, 合成后的振幅就会发生周期性改变的现象, 称为拍。声波合成新产生的拍的音响(周期性的时强时弱)称为拍音。图4是A、B两波及合成后的波型。图中合成波振幅每秒钟内时强时弱变化的次数称为拍频, 它等于两波频率之差。图中A波为5赫, B波为4赫, 合成后 $5 - 4 = 1$, 拍频为次/秒。(为了简化, 图中将横轴下半部的波形省略)拍频是两个波互相干涉的现象。拍音现象常用来给乐器调音, 当乐器的音同标准音相同时, 则拍音消失。此外, 一些乐器(如口琴、手风琴等)则利用拍音现象, 使发声产生波动, 而达到美化音色的目的。

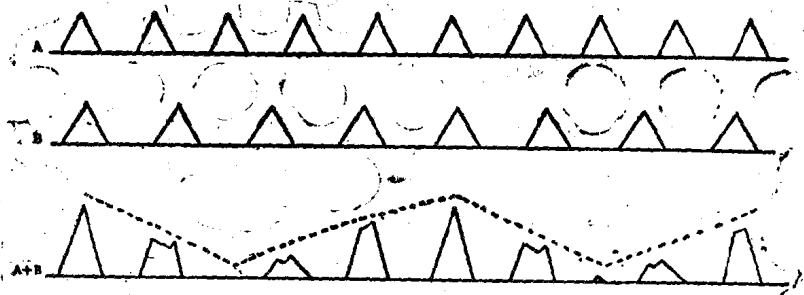


图 1—4 图中虚线表示拍音出现的情况

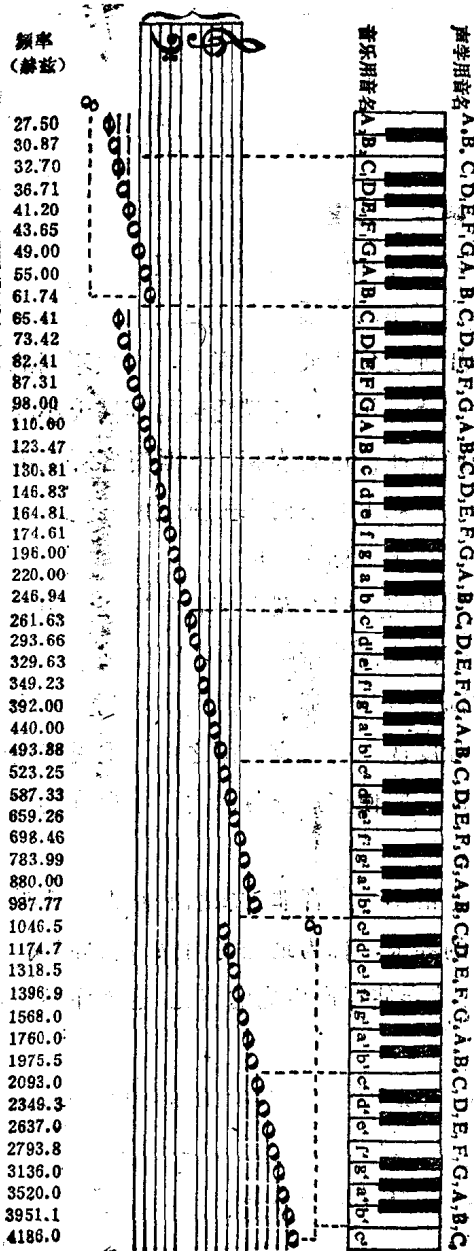
二、声音 音高

声频 次声 超声

物体振动所产生的声波，在空气中(15°C)以每秒钟 340 米的速度向外传播。声波到达人耳，激发耳蜗内基底膜的振动，基底膜上神经纤维向大脑发出信号，于是人就听到声音(详见第二章)。人的听觉器官感受的声音的高低，是由发声体(振动体)的频率决定的，频率越高(即振动越快)，感受到的声音就越高，频率越低(即振动越慢)，听起来声音就越低。然而人耳基底膜的神经纤维系列，同客观的振动波系列并不平衡，人耳所能感觉到的振动波，仅仅是极其宽广的频率连续域中的一小部分，即频率在 8 Hz^①—20000 Hz 之间。因此，在这个范围内的频率称为声频，也就是我们通常所说的声音。再低的频率，人耳听不出来，这些听不出来的低频称做次声，或称次声波。高于声频的频率，人耳也听不出来，这些高频称做超声，亦称超声波。

音乐上所用的频率范围(音域)，又仅占声频中的一部分，由 8 Hz—10000 Hz 之间。一架大型音乐会钢琴的频率范围，是 27.50 Hz—4186 Hz 之间。见图 1-5。

① 一般认为，声频的最低频率为 18 Hz，但是澳大利亚西德尼的管风琴和美国圣-路易斯的管风琴都有发出 8 Hz 的低音管，所以人耳所能听出的最低频率应为 8 Hz。



三、声音强度

强度 响度 力度

一个有声音存在的空间称为声场。

声波在空气中的传播，实际上是振动体能量的转移。声场中空气的正常压强受到声波的干扰后，产生不同的声压（声强）。我们主观上用耳朵听声音，耳膜受到的不同大小的声压，转化为能量不同的神经脉冲传达到大脑，于是对客观上不同的声强度产生不同的感觉。主观上对不同声强感觉的程度，称为响度或音量，声音的响度在音乐上称为力度。

主观感受的响度是客观上声音强度在我们听觉上的反应。这些基本量都与振动体的振幅有关：振幅越大，声音越强，振幅越小，声音越弱。但是人耳主观感受和客观上的物理量存在着差异，在声音强度变化的一定范围之内，主观感受的响度会起相应的变化。然而，即使在这个范围内，主观响度与客观强度的变化也不是成正比的。

当振幅非常小，声音非常弱的时候人耳就听不到了。听到和听不到之间的界限，称为最低可闻阈，简称闻阈。振幅非常大、声音非常强时，就会使耳产生痛的感觉，这个痛感界限称为痛感阈。

分贝

声音响度的计算单位是贝尔^①，简称贝(b)，为了实际计算的方便，又

^① 贝尔(A·G·Bel, 1847—1922)美国人，电话发明者。为纪念他，国际上把声音响度的计算单位称为贝尔。

把贝分为十份， $1/10$ 贝为1分贝(db)。

对于一个具有正常听力的人来说，响度在15分贝以下时他将感到寂静，30分贝以下感到安静，在50分贝时感到嘈杂，80分贝时就听不清对方的讲话，120分贝就达到痛感阈，160分贝时耳朵将穿孔，180分贝时甚至会出现“强音致死”。

四、乐音 噪音

乐音 纯音 复合音

人耳所能感觉到的声音，可以分为乐音与噪音两类。

有规律的周期性的振动，所发出的声音有固定的频率，听起来悦耳的称为乐音。

乐音根据它的不同波型，又可分为纯音与复合音两种。

轻轻敲击音叉时所发出的音，或小提琴及长笛所奏出的自然泛音都几乎是纯音。纯音的波型是正弦波。

纯音的音色特点是纯净、明亮，但不丰满，个性不强，而且音量较小，容易被其它乐音所掩盖，所以在乐队中使用较少，一般作为特殊音色来运用。

绝大多数乐器所发出的声音都是复合音。复合音是物体复合振动造成的，其波型是合成波，它是由许多个不同的正弦波迭加而成。

噪音

噪音又称杂音，也是一种合成波，是由许多个不规则的声波重迭而成。例如风雨声、街道杂声、机器声等，都属于噪音。图

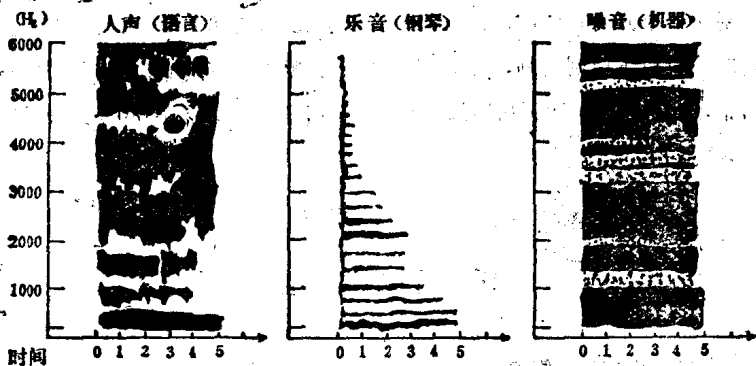


图 1—6 人声、乐音、噪音声谱对比

1—6 是人的语言声、乐音、噪音的声谱对比。

提起噪音，就会使人产生厌恶的感觉。这是由于近代噪音公害给人们留下的印象。但是笼统地把噪音看成都是有害的东西，却是不公平的。乐器的演奏，也包含有噪音的成份。例如弓与弦的磨擦与碰撞、人声的换气、打击乐器中的钹、鼓的发声等，都属于噪音的性质。这类噪音，已经成为乐音的组成部分。

凡是音乐中出现的，具有一定音响意图而且有艺术效果的噪音，应视为乐音性噪音。

五、泛音 泛音列

前面已经谈过，绝大多数乐器所发的音都是复合音。实验证明，绝大多数弹性物质的振动都是复合振动。以弦的振动为例，一根空弦在振动的时候，除了全弦振动(产生基础音)之外，该弦

还等分为 2、3、4、5……段，各自同时分段振动，因而产生以许多个不同音高组成的音列，称为泛音列。泛音列内的第一个音称为基础音，其上方的音均称做泛音。这个音列在声学上又称为谐波序列（详见图 1—7）。不过，普通人的耳朵仅能从中听出基础音或最响的那个泛音的音高，只有经过训练的人，才能多分辨出若干个泛音。

通过仪器，可以将一个复合乐音分解为下列各音（其频率数按物理学标准 $c = 256$ 赫），见图 1—7。

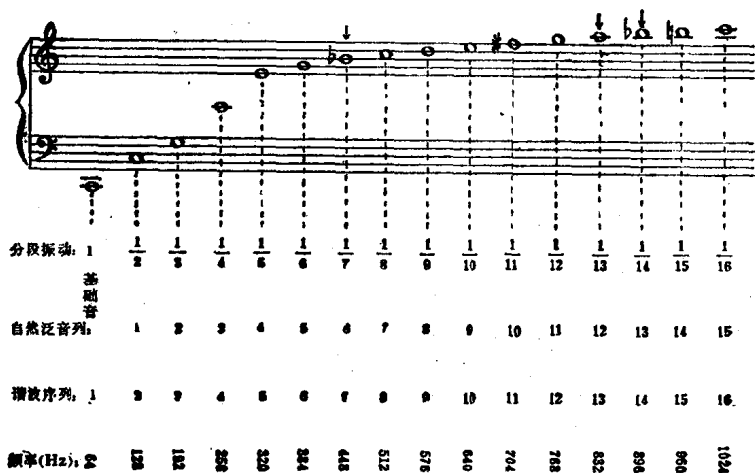


图 1—7 建立在c音上的复合乐音

* 箭头所示的音，低于或高于十二平均律记谱

六、音 色

一个大型交响乐队在演奏，上百件乐器的发声，明暗交错，

起伏跌宕，变化万千，尤如一幅色彩绚丽无比的图画。许多人凭听觉就能够分辨出各种乐器的声音。这是因为各种乐器的发声，都有各自独特的声音个性。这个声音个性就称为**音色**（或称**音质**、**音品**）。

音色差别，是物体振动不同分量关系在听觉上的反映，有它的内在规律性，是可以解剖和分析的。我们已经知道一个复合音，是由它的基础音和它的许多个不同高度的泛音迭加而成。通过仪器（谐波分析仪）对一个乐音进行剖析就会发现，一个合成波是由

许多个不同频率、不同振幅的正弦波迭置而成，见图 1—8。

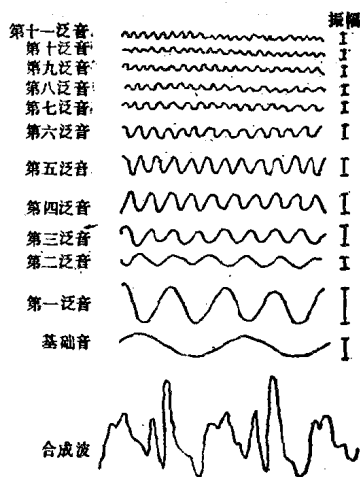


图 1—8 乐音分析

如果对两个不同音色的乐音进行剖析、对比，就会发现，原来产生不同音色的根本原因，在于不同乐器所发出的声音，其基础音上方泛音的数目、各泛音的振幅不同，也即是物体振动分量的不同关系。这样进行的音色分析可以表示为如下音的瞬间横断面。图 1—9 是钢琴与单簧管所发出的基频同为 100 赫的两个乐音

谐波分析，其中横坐标代表音频，纵坐标代表振幅（用响度来表示），粗黑线代表复合音的各个分量。

那么，是哪些因素造成了物体振动的不同分量关系呢？归纳起来，是振动方式、发音方法和共鸣体的结构与材料三个方面。