



new

录音
技术与艺术系列丛书

录音技术

朱 伟 编著

中国广播电视出版社

录音技术

与

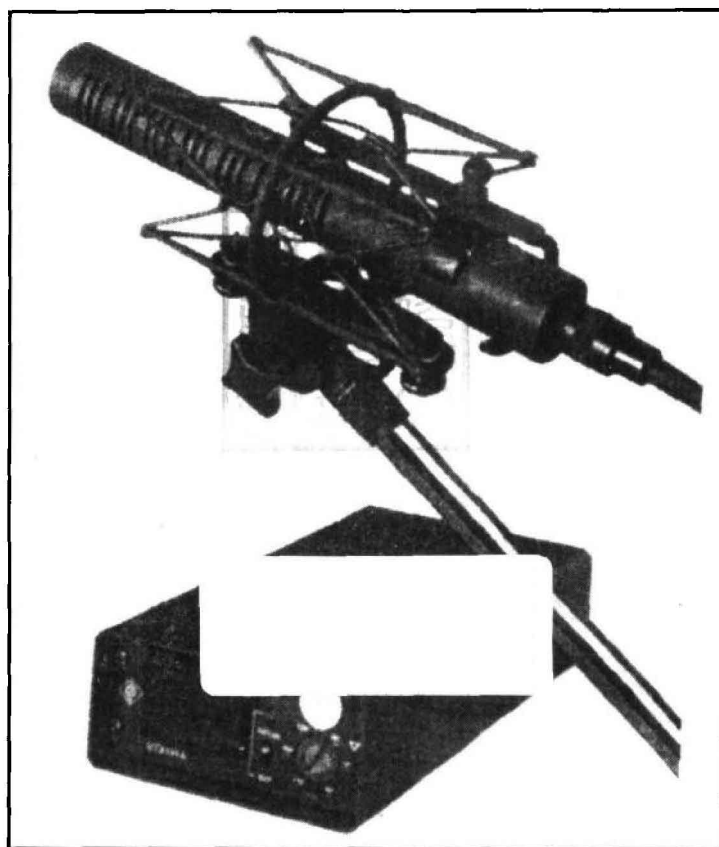
艺术系列丛书

75.02.11
2777

录 音

技 术

朱 伟 编著



中国广播电视出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

录音技术/朱伟 编著. —北京: 中国广播电视出版社,
2003.1

(录音技术与艺术系列丛书)

ISBN 7-5043-3983-0

I. 录… II. 朱… III. 录音—技术

IV. TN912.12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 086575 号

录 音 技 术

编 著:	朱 伟
责任编辑:	闫维峰
封面设计:	郭运娟
责任校对:	张 哲
监 印:	戴存善
出版发行:	中国广播电视出版社
电 话:	86093580 86093583
社 址:	北京复外大街 2 号(邮政编码 100866)
经 销:	全国各地新华书店
印 刷:	廊坊人民印刷厂
装 订:	涿州市西何各庄新华装订厂
开 本:	787×1092 毫米 1/16
字 数:	330(千)字
印 张:	16
版 次:	2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月第 1 次印刷
印 数:	5000 册
书 号:	ISBN 7-5043-3983-0/TN·270
定 价:	31.00 元

(版权所有 翻印必究·印装有误 负责调换)

录音技术与艺术系列丛书

主 编 朱 伟

副主编 胡 泽

2011/6

内 容 简 介

《录音技术》一书是“录音技术与艺术系列丛书”中的一部。该书从声波的基本特性出发，系统地探讨了录音中所涉及的各种器件和设备的原理和使用方法，同时较全面地介绍了常用的立体声拾音方式及各种乐器的录制方法。本书共由七章构成。

第一章：声波的传播特性及人耳的听觉。它主要介绍声波的传播和传输特性。

第二章：传声器的设计和应用。该章主要介绍传声器的工作原理，特性和主要技术要求。

第三章：立体声拾音技术。它主要阐述了立体声录音中常用的拾音技术及其原理，以及不同拾音技术在立体声录音中的应用。

第四章：声音的记录及记录设备。该章重点介绍录音中常用记录设备的工作原理及应用。

第五章：调音台。它主要介绍调音台的基本原理，性能和应用。

第六章：音频信号处理设备及应用。重点介绍录音中常用的声处理设备和效果设备的基本工作原理，以及它们在录音中的使用情况。

第七章：录音节目制作。重点介绍了基本的拾音技术，以及对单件乐器和乐器组声音的录制方法，并且介绍了各种形式节目的录音特点。

本书的第一、二章由王珏编写；第三章由俞镭编写；第四至七章由朱伟编写。

考虑到整个丛书及各部书的系统性和完整性，本书在某些章节作了一定的删节，有关内容的详细介绍可以参考本丛书的其他分册。该书可作为大专院校录音专业、音响工程专业，以及相关专业的教材，同时也可供从事扩声工作的技术人员和研究人员参考。

作者简介

朱 伟 1985年毕业于北京广播学院无线电工程系电视发送专业,1985~1988年在北京广播学院广播技术研究所攻读通讯与信息系统专业广播声学方向硕士研究生,1988年至今在北京广播学院录音艺术学院录音教研室任教。此间承担了《录音技术》,《数字声频原理》,《声频测量》等课程的本科和硕士研究生教学任务,另外还完成了十余项学院和部级科研项目;主持编写及编译了《数字声频与播控技术》,《数字声频工作站》,《录音节目制作设备及原理》等书,参与了《录音艺术大全》音像教材,以及多部著作的录制和编写工作。

目前作者在学院主要从事本科生的教学和研究生的指导,以及相关学科的科研工作,现为该学院副教授。

总 序

当前,广播电视事业是我国发展最为迅猛的事业之一。广播电视事业的繁荣首先要有高质量的节目源作保证,然而要想达到这一点,就需要节目创作人员和工程技术人员的通力合作。就目前的广播电视发展现状及发展趋势而言,节目制作中的高科技含量越来越多。节目创作人员不断地用新发展的技术手段和新的观念来丰富节目的表现形式。

由于声音信息是多媒体信息的主要组成部分,所以在多媒体信息业蓬勃发展的今天,人们越来越关注声音信息的制作和传播技术。目前在作为主要传媒机构的广播、电影和电视以及音像领域,人们对声音在节目中的作用有了更新的认识,比如逐渐普及的高清晰度数字电视就采用多通道的数字环绕声技术,以增加艺术表现力。我国的广大广播电视工作者在该领域已经做了大量的工作,积累了很多宝贵的经验,但是总体水平上与目前的世界先进水平相比还有一定的差距,这是一个不容回避的事实。随着我国加入WTO,以及改革开放的进一步深入,特别是新技术、新工艺不断发展,我国在相关领域引进并开发了大量新的制作设备,它给了我们与世界平等竞争的契机,同时也给广大的广播电视工作者提出了新的研究课题,其中之一就是如何用一流的设备制作出一流的节目。北京广播学院录音艺术学院作为声音节目创作与制作技术的研究部门和教学单位,理所当然地要承担这一义不容辞的任务,为此,我们承担了广播电影电视总局的科研立项——《录音技术与艺术系列丛书》的编撰工作。

北京广播学院录音艺术学院有长期从事声音节目创作和技术研究的教授、专家学者(包括兼职教授)多人,他们曾为我国的广播电视事业培养了大量的研究生、本科生和大专生,目前这些毕业生已经成为各自工作岗位上的中坚力量,他们的声音节目作品和科研课题多次在世界、亚广联和全国性学术机构的评比中获奖。为了完成总局的这一科研立项,录音艺术学院集中声音创作和研究领域中高水平的教学和研究人員参加该丛书的编撰工作,力求较为系统和全面地介绍录音创作和制作的原理与技术。

该套丛书的编写宗旨是力求编写出一套具有理论完整、简明扼要、内容充实、技术先进等鲜明特点的录音方面的丛书。为了突出先进性、科学性、实用性和系统性,丛书在对一些必要的理论作深入浅出的论述的基础上,对当前录音领域广泛应用的数字声频工作站、电子音乐制作技术等新技术也进行了较详尽的介绍。虽然丛书中阐述的内容有些已经在其他专业书籍中有过论述,但作者都力求从更新的角度来阐述,以开阔读者的思路。



此套丛书由《音乐声学》、《拾音技术》、《录音技术》、《扩声技术》、《数字声频工作站》、《影视声音艺术与技术》、《声音质量主观评价》等七部书组成，基本上涵盖了录音和扩声工作中所涉及的基本内容。各部书既相互贯通，又有各自的独立性，这样可以方便读者灵活选用。

该套丛书主要以大专院校的录音工程专业、音响导演专业的本科生和录音技术的高职生为主要读者对象，同时也可供相关专业的本科生、从事声音节目制作的技术人员、电子音乐的制作人员以及声学研究人员和音响爱好者参考。

尽管丛书的编撰者在编写上投入了极大的热情和精力，但是由于时间仓促和水平有限，以及受选题的限制，仍然不能将录音工作中所涉及的所有内容涵盖进来，对一些新技术的涉猎也还不够，所以丛书中难免有遗漏和不当之处。衷心地希望广大的读者批评指正，以便在修订和出版新的内容时加以充实和改正。

该套丛书之所以能在如此短的时间里与广大读者见面，除了有录音艺术学院领导的支持和各位编者的积极努力之外，还得到了有关人员的大力协助，张绍高教授为丛书提供了大量的文字资料，中国广播电视出版社的领导和编辑为丛书的出版做了不少工作。在此，丛书编委会谨向为丛书面世做出贡献的各方人士表示衷心的感谢。

《录音技术与艺术系列丛书》编委会

2002年10月

目 录

第一章 声波的传播特性及人耳的听觉特性	1
第一节 声波的传播特性	1
第二节 人耳的听觉特性	3
第二章 传声器的设计和应用	11
第一节 传声器拾音概述	11
第二节 传声器的设计原理	11
第三节 传声器的特性	15
第四节 传声器的主要技术指标	23
第五节 特殊类型传声器	27
第三章 立体声拾音技术	41
第一节 立体声拾音的有效拾音角	41
第二节 声级差定位的拾音技术	42
第三节 时间差定位的拾音技术	50
第四节 时间差和声级差定位的拾音技术	52
第五节 拾音应用	63
第四章 声音的记录及记录设备	69
第一节 磁记录基础	69
第二节 偏磁与杜比-HX 系统	75
第三节 双声道和多声道模拟磁带录音机	78
第四节 磁带录音机的传动机构与伺服	80
第五节 时间码在磁带录音机中的应用	84
第六节 PCM 磁带录音机	88
第七节 可录光盘	121



第五章 调音台	137
第一节 调音台的概况	137
第二节 调音台的结构与功能	142
第三节 数控模拟调音台	162
第六章 音频信号处理设备及应用	165
第一节 引言	165
第二节 压缩器	166
第三节 噪声门	176
第四节 均衡器	182
第五节 听觉激励器	192
第六节 延时器与混响器	197
第七节 其他常用的效果器	212
第八节 多用途数字效果器	215
第七章 录音节目制作	217
第一节 拾音技术基础	217
第二节 单件乐器和乐器组声音的录制	220
第三节 各种形式节目的录音	239

第一章 声波的传播特性及人耳的听觉特性

第一节 声波的传播特性

声波是由物体振动产生的,当振动在一定的频率和强度范围内时,人耳就可听到。振动发声的物体称为声源,有声波传播的空间称为声场。当声源在空气中发声时,媒质质点在平衡位置附近做往复振动,媒质中振动着的质点的位移会作用到相邻质点,使后者也产生振动,于是,振动形成波动,在空间传播开来,在声源周围形成疏密交替的空气压力波,即声波。声波在 15°C 时,大约以 340m/s 的速度由声源向外传播。气体中的声波属于纵波,即波的前进方向与媒质质点的振动方向在一条直线上。

在传播过程中不受反射而向前行进的声波,称为行波。在某一时刻,空间行波相位相同各点的轨迹曲面称为波阵面,也称为波前。波阵面为平面的声波称为平面声波。

尺寸比波长小的声源所发出的声波是以球面扩展的,波阵面为球面,这种声波称为球面声波。这种声源称为点声源。现实中的声源,即使具有一定尺寸,但在距离与声源尺寸相比充分远时,也可将它看做点声源,在这样的距离处得到球面声波。当距离远到一定程度时,波阵面即与平面声波的波阵面相接近,可看做平面声波。

声能从声源沿波阵面的法线方向传播的路径称为声线,在各向同性的媒质中,声线是代表声波的传播方向。例如球面声波的声线就是球面的半径线。

声波的瞬时状态可用声压、媒质质点振速和媒质密度中的任何一个来描述。

(1) 声压:有声波存在时,在静态大气压强上叠加的变化分量称为声压。

(2) 质点振速:有声波存在时,媒质质点的振动速度。单位为 m/s 。

(3) 媒质密度:单位体积内的媒质质量称为媒质密度。有声波存在时,媒质密度要产生稠密稀疏的变化。单位为 kg/m^3 。

一、声波的反射

声波在前进过程中如果遇到尺寸甚大于声波波长的坚硬界面,会产生反射。声波从界面反射的角度与声波入射到界面的角度相等,即反射角等于入射角。反射的声波如同从界面后面与声源相对应位置处发射出来的一样,即如同在该位置处有一声源,称为虚声源,也称为镜像声源,它与界面的距离等于声源与界面的距离,如图 1-1 所示。

当声源在一个凹界面前,声波会产生聚焦,如图 1-2 所示。对于播音室来说,为了



声音良好扩散，应避免凹界面。

当声源在一个凸界面前，声波会产生扩散，如图 1-3 所示。播音室中经常采用凸面结构，以增加声波的扩散，使声场中声能密度均匀。

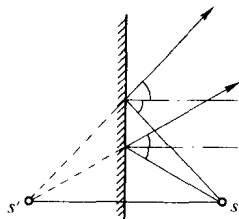


图 1-1 声波的反射

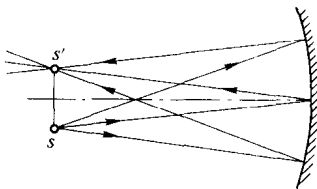


图 1-2 声波在凹界面前的聚焦

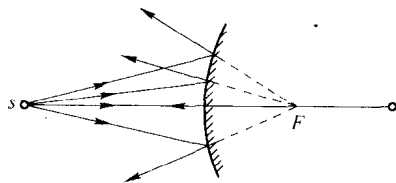


图 1-3 声波在凸界面前的扩散

二、声波的干涉

由几个声源产生的声波，同时在同一媒质中传播时，如果这几个声波在某点相遇，在相遇处媒质质点的振动将是各个声波所引起的分振动形成的合振动，质点在某一时刻的位移是各个声波在这一点所引起的分位移的矢量和，这就是声波的叠加原理。也就是说，每个声波都独立地保持自己的原有特性（如频率、波长、振动方向等）。因而，几种乐器同时演奏或几个人同时说话时，我们也能分辨出各种乐器和各个人的声音。

两个声波传到媒质中的一点时，如果两声波在该点产生的振动是同相的，则这点的振动会加强；如果两声波在该点产生的振动是反相的，则该点的振动就会互相减弱或抵消。

当两个频率相同、振动方向相同、相位相同或相位差恒定的声源所发出的声波叠加时，会使某些点的振动加强，某些点的振动减弱，甚至被抵消而不振动，这种现象称为声波的干涉现象。产生干涉的声波称为相干声波，相应的声源称为相干声源。

当一个声源处于两个具有很小吸声性能的平行界面之间时，垂直入射的声波与反射声波会产生干涉现象，干涉的结果在空间形成振幅分布恒定不变的振动，这种情况称为驻波。

两个频率相近，强度相差不多的声波相遇时，由于两者间的相位差时刻在变化而使叠加后的声波振幅做周期性变化，合成的声波会在时间上有强弱变化，这种现象称为拍。振幅变化的频率等于原来两个频率之差，称为拍频。

三、声波的衍射和绕射

由于媒质中的障碍物或其他不连续性而引起声波波阵面畸变的现象称为衍射（或绕射）。

如图 1-4 所示，当声波在传播过程中遇到有小孔的大障碍物时，如果小孔宽度大于声波波长，声波将从小孔穿过向前传播；如果小孔宽度小于声波波长，则在障碍物另一侧的声波有如一个以小孔为中心的新的声源发射的声波。当声波的波长远大于障碍物尺

寸时，声波可绕过障碍物向前前进；当声波的波长小于障碍物尺寸时，声波会被反射一部分，并在障碍物后面会形成一无声区。

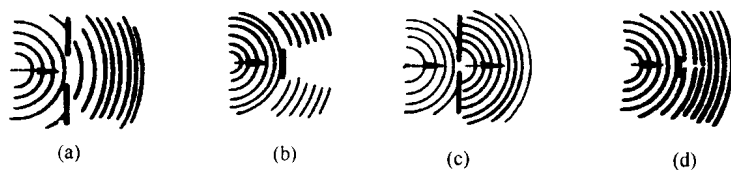


图 1-4 声波的衍射和绕射

- (a) 小孔宽度大于声波波长 (b) 声波波长小于障碍物尺寸
(c) 小孔宽度小于声波波长 (d) 声波波长大于障碍物尺寸

四、声强

声波的强度可以用声压幅度来表示。如果声源是一个点声源，在距声源不太远的范围内，声波的波前为球面，声压幅度将与距离平方成反比。如果声源很大，或离开声源很远，则声波波前为平面，声压幅度就不随距离远近而变化，而是保持一个恒定大小。在实际中，由于空气对声波的吸收，声波的能量会逐步损失，直至使声压幅度降为零。

声波的强度用声强 (I) 来表示，单位为 W/m^2 (瓦/米²)。与声波传播方向垂直的单位面积上单位时间内通过的声能称为声强，即通过与声波传播方向垂直的单位面积上的声功率。

第二节 人耳的听觉特性

一、人耳的听觉器官

图 1-5 为人耳的剖面图。它分为外耳、中耳和内耳三个部分。

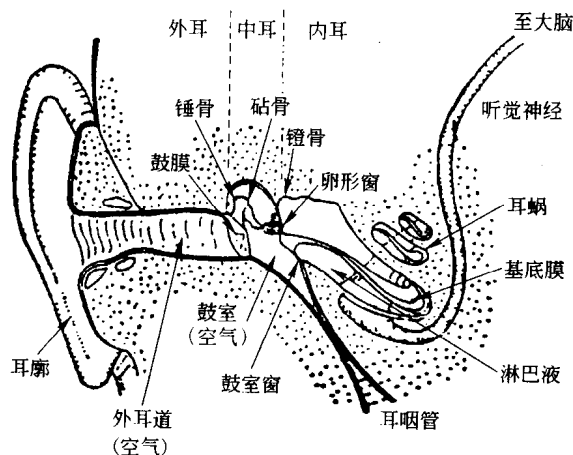


图 1-5 人耳的剖面图



1. 外耳

由耳廓（耳壳）和外耳道组成。耳廓起收集和向外耳道反射声音的作用，外耳道将声音传送给中耳。外耳道的自然谐振频率约为 3400Hz，由于外耳道的共鸣，以及人头对声音产生的反射和衍射，使得人耳对 2~4kHz 的声音感觉约可提高 15~20dB。

2. 中耳

由鼓膜和三块听小骨组成。鼓膜是一个漏斗状薄膜，声波激励鼓膜振动，并将振动传给三块听小骨。听小骨具有一些非线性，使人们对一个频率的声音能产生出它的谐音的感觉。

中耳的腔室里充满空气，并且通过一根平衡管与喉头相连，使作用于鼓膜两边的压力能够平衡。这个平衡管称为耳咽管。

3. 内耳

由三个半规管和耳蜗组成。耳蜗呈螺旋形，状似蜗牛，是一骨质腔体，内部充满淋巴液。耳蜗沿其长度被基底膜分为两部分，分别称为前庭阶和鼓阶。在基底膜上分布有大量毛细胞，每根毛细胞上都连有末梢神经。

人耳听声的详细过程如下：声音通过耳廓和外耳道到达鼓膜，使鼓膜产生相应的振动。鼓膜的振动经类似杠杆系统的三个听小骨放大后，传到耳蜗的卵形窗，并传递给耳蜗内的淋巴液。耳蜗通过大约 4000 根神经末梢与大脑相连。

耳蜗是一个选频器官。高频声音激励靠近卵形窗的神经末梢；中频声音激励中部的神经末梢；末端的神经末梢则被低频声音激励。当耳蜗的某个范围被相应频率的声波激励时，这个部位的毛细胞就会使相连的神经末梢发出电脉冲，并将电脉冲传给大脑。每单位时间的脉冲数取决于声音的强度。声音越强，毛细胞受到的激励越厉害，单位时间内传给大脑的电脉冲数就越多。因此，耳蜗是个很好的声音分析仪，它能从一个复合的声音中分辨出各个频率成分。

用人耳辨别声音的音调，只需听到振动的几个周期就能分辨得一清二楚。在听觉范围内人耳能认定和区分大约 1500 种不同的音调。

二、人耳对声音的感受

人耳对声音的感受，只能在一定范围的频率及声压级下进行，在这个范围外的声音人耳是感觉不到的。人耳能感受的声音频率范围因人而异，也随听音人的年龄而不同。人耳的可听频率范围为 20Hz~20kHz，这个范围以外的声音，无论声压级多高，人耳都听不到。高于 20kHz 的声音称为超声；低于 20Hz 的声音称为次声。年轻人可以听到高频上限的声音，超过 20 岁后，可听到的频率上限会逐渐下降。

声音是一种物理现象，人耳听到声音后对声音的感受却是一种心理现象，首先应弄清楚人耳的主观感受与声音的物理量之间的关系。通常将人耳对声音的三种主观感受，即响度、音调和音色称为声音三要素。可以认为，响度主要与声音的振动幅度有关；音调主要与声音的振动频率有关；音色主要与声音的振动频谱有关。

1. 响度

人耳对声音强弱的感觉称为响度。人耳对声音响度的感觉与声压级和频率有关,将人耳在听到不同频率纯音(正弦波)时,对所有具有相同音量感的声压用一条曲线表示后所得到的曲线族,称为等响曲线,如图 1-6 所示。图中每条曲线上所代表的与声压级、频率相对应的声音,人耳听来都是同样响的,也可理解为对于不同频率的声音,人耳听到同样响度时所需的声压级不同。例如,以 1kHz、60dB_{SPL} 的声音为基准,人耳听到与它等响的 100Hz 声音所需声压级为 68dB_{SPL},对 20Hz 声音需 100dB_{SPL},对 4kHz 声音则需 51dB_{SPL}。将 1kHz 声音以 dB 表示的声压级定义为响度级,单位为 phon (方)。

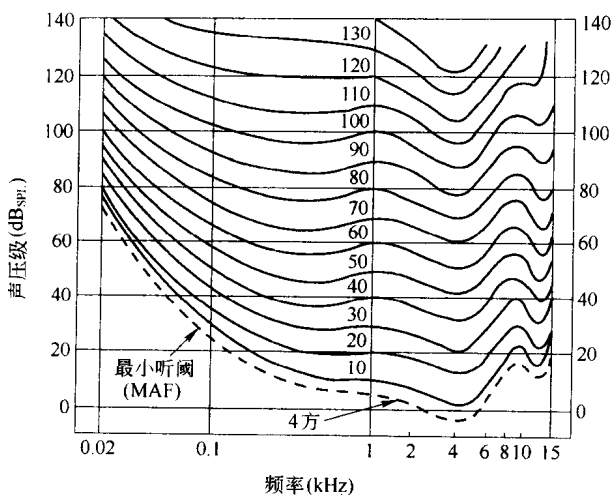


图 1-6 鲁宾逊-达特逊的等响曲线

0phon 以下的声音,人耳是听不见的,所以 0phon 曲线可称为听阈;120phon 以上的声音会使人耳感到疼痛,所以 120phon 曲线可称为痛阈。

分析等响曲线可得出以下结论:

(1) 人耳对不同频率声音的灵敏度不同,对中频段最为敏感,对高、低频段的敏感度下降。

(2) 从听阈曲线可看出,4kHz 左右是曲线的最低点,即人耳听到 4kHz 左右声音所需的声压级最小,因而对 4kHz 左右的声音最为敏感,这是由于外耳道共鸣所引起的。

(3) 声音声压级越高,人耳听觉频响越趋平直;声压级越低,人耳听觉频响越不好,高频低频都会有所损失。

(4) 对 100Hz 以下的低频声,人耳的灵敏度会急剧下降,对 20Hz 声音的听阈为 70dB_{SPL},因此为了进行有适当低音的调音,监听扬声器的声压级至少应为 70dB_{SPL}。通常监听扬声器的声压级取为 70-90dB_{SPL}。当监听音量减小时,高频、低频声会有所损失,因而改变监听扬声器的声压级会使不同频段的音量平衡发生变化。

(5) 曲线族之间的间隔在 1kHz 附近几乎是均等的,说明人耳对 1kHz 附近的频率,声压变化的 dB_{SPL}值与听觉上的音量感的变化是比较一致的。因此,选定 1kHz 声音作为各种声音的声压级基准。

根据上述分析可知,当改变重放音量时,各个频率的声音的响度级也将改变,所以人们会感到声音的音色有变化。即使是一个高级的放音装置,在低声级放音时,也会感到放音频带变窄,声音单薄;相反,即使是一个低级的放音装置,在提高放音音量时,



也会感到放音频带展宽,声音较丰满。为了减小等响曲线的影响,可以在前置放大器部分安装响度控制器,使在低声级放音时,能根据等响曲线自动地将低声频段和高声频段声音的声级进行反校正,将它们相应提高。

2. 音调

人耳对声音高低的感受称为音调。音调主要与声音的基音频率有关,基音频率高则音调高,基音频率低则音调低,但不成正比,而是一种对数关系。十二平均律等程音阶是将一个倍频程(频率相差一倍的两个声音的音程)的频带按照频率的对数关系划分成十二个等份而构成的,相隔一个倍频程的两个音称为八度音。

音调的单位是 mel (美)。将 1kHz、40dB 的纯音的音调定为 1000 美,比 1000 美高一倍的音调定为 2000 美,比 1000 美低一半的音调定为 500 美。频率与音调之间的关系如图 1-7 所示。2000 美的音调比 1000 美高一倍,但频率数却增大近四倍(约 4kHz)。

其他影响音调的因素还有声音的声压级和声音的持续时间。

听觉有心理因素和生理因素,它们与物理量不一致的现象很多。例如,即使是物理上相同频率的声音,如果改变音量,音调的高低感觉也会有微小的变化。这种音量变化对音调感觉的影响,纯音比由许多纯音合成后的复音更为显著。特别是当低频声减小音量时,会感到音调升高;增大音量时,会感到音调变低。高频声正相反,减小音量时,会感到音调降低;增大音量时,会感到音调变高。因此,在小音量情况下,必须将低频声的音调调低一些,而将高频声的音调调高一些才能得到应有的音调。

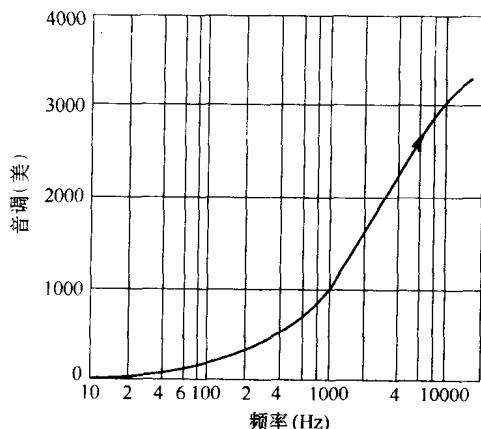


图 1-7 频率与音调的关系

3. 音色

音色是听觉上区别具有同样响度和音调的两个声音的主观感觉,也称为音品。音色主要由声音的频谱结构决定,即由声音的基频和谐波的数目以及它们之间的相互关系来决定。

由于各种发声体的材料和形状结构不同,发声机理也不尽相同,即使它们发出相同音调、相同响度的声音,在基频相同的情况下,谐波的成分和幅度也会有所区别,人耳听到的主观感受便是音色不同。每个人讲话都有自己的音色,每种乐器也都有自己的音色。声音的频谱结构可用频谱图表示。频谱图以频率的对数坐标作为横坐标,以声压级作为纵坐标,将基频和谐波按幅度大小以相应高度的纵线表示在相应频率坐标上。图 1-8 所示为长笛、小提琴的频谱图。长笛的谐音少,音色圆润;小提琴的谐音多,音色粗糙。

另外,音色还与发声体振动的起振、稳定和衰减的时间过程有关。时间过程可简称

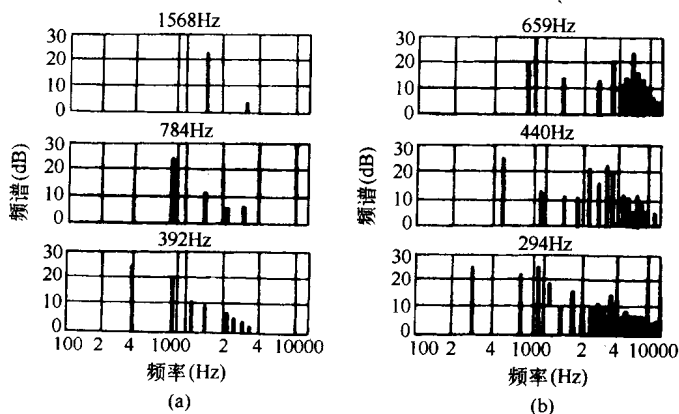


图 1-8 频谱图举例

(a) 长笛的频谱图 (b) 小提琴的频谱图

为时程，或称为时间轴上的包络形状，在电子音乐中称为音型。时间过程和频谱结构共同决定了每种乐器所特有的音色。

起振阶段（也称为建立阶段）指在激发弦或空气柱使振动开始的瞬间，即开始振动而振幅还不小，并且还不稳定的那段时间。例如铜管乐器激发的时间一般为 40ms 左右，强激发时最长为 80ms，但在弱激发时最长可达 180ms。

稳态阶段是乐音过了起振阶段以后，振幅增至最大并保持恒定不变的阶段。例如弦乐器中的提琴、二胡，管乐器的长笛、小号等有稳态阶段，而板鼓、梆子等打击乐器则基本上没有稳态阶段。

衰减阶段是振幅开始减小直到完全停止振动的阶段。有的乐器衰减阶段很短，有的却很长。例如扬琴、竖琴的衰减时间就很长，可达 1~2s 以上。一般乐器的衰减时间，高音较短，低音较长。

图 1-9 为风琴和钢琴的时间过程图。风琴的时间过程是：起振较缓慢，在短时间保持一定的稳态声级，然后较缓地衰减。钢琴的时间过程是：起振较快，然后逐步衰减。

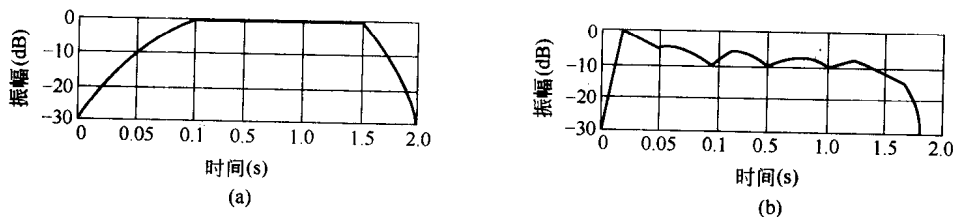


图 1-9 时间过程举例

(a) 风琴的时间过程 (b) 钢琴的时间过程