



普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
高职高专电子信息类专业规划教材

第2版

# 音像技术及应用



周遐 主编



赠送电子课件等



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高职高专电子信息类专业规划教材

# 音像技术及应用

第2版

主 编 周 遐

副主编 高亮彰 朵云健

参 编 金 瑞 段有艳

主 审 陈铁牛



机械工业出版社

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。本书结合当今音像技术的实际,跟随新技术的发展前沿,从工程应用的角度出发,强调理论联系实际,突出应用性、实践性和实用性。

本书主要内容有电声基础知识,音响设备及仪器,公共广播、厅堂音响系统,歌舞厅音像系统,同声传译与会议系统,卫星电视接收系统与有线电视系统。本书较全面地介绍了音像技术的基础知识、系统设计、设备选型、工程施工、安装调试及性能评价等内容。本书由具有多年工程设计和安装、调试经验的副教授、高级工程师主编,书中列举了大量的工程设计实例,为读者在实际工程应用中提供了参考和借鉴。

本书可作为高职高专院校、成人高校及本科院校所属职业技术学院电类专业的相关课程教材,也可作为相近专业的选修教材,还可作为相关工程技术人员参考用书。

为便于教师教学,本书配有免费电子课件等,凡选用本书作为授课用教材的学校,均可来电索取,咨询电话:010-88379375。

### 图书在版编目(CIP)数据

音像技术及应用/周遐主编. —2版. —北京:机械工业出版社, 2008.7

普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 高职高专电子信息类专业规划教材

ISBN 978-7-111-24129-4

I. 音… II. 周… III. ①音频设备-技术-高等学校:技术学校-教材②录象系统-技术-高等学校:技术学校-教材③电视接收机-技术-高等学校:技术学校-教材 IV. TN912.2 TN94

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第071201号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:于宁 责任编辑:王琪 版式设计:霍永明

责任校对:刘志文 封面设计:王伟光 责任印制:杨曦

三河市国英印务有限公司印刷

2008年7月第2版第1次印刷

184mm×260mm·16.75印张·415千字

0001—4000册

标准书号:ISBN 978-7-111-24129-4

定价:27.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换  
销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379758

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

本书自 2003 年 6 月首次出版后,作者根据 3 年多的教学实践经验和教育部“十一五”国家级规划教材的要求,在征求有关专家和广大师生意见的基础上,结合目前音像系统的发展,增加了数字音像技术方面的知识,并对原书的部分内容进行了修改,使之更具有知识的系统性、结构的完整性、新颖性、实用性和可读性。

本书是根据高职高专的培养目标和要求编写的,是电子技术类相关专业的骨干教材之一,也是一门创新性的教材,它涉及的音像技术是泛指用电声设备重放出来的音响技术和利用电子技术传送并还原声像的技术。本书在编写过程中充分汲取了现场应用的最新技术和成果,提炼和总结了作者多年的现场工作经验,充分强调了理论联系实际,突出了工程应用性、实践性和实用性。

现代音像技术近年来发展迅猛,应用广泛,已融入到人们日常的工作和生活之中,也是当今较为热门的一项实用技术。本书正是从该技术的发展和应用角度出发,较全面地介绍了音像系统的组成、设计、设备选型、工程施工、安装调试及性能评价等内容。书中首先从电声基础知识入手,将传统的模拟音像技术与现代的数字音像技术有机结合,讲述了音响设备及仪器、公共广播系统、厅堂音响系统、歌舞厅音像系统、同声传译与会议系统、卫星电视接收系统、有线电视系统、数字音像系统等内容。每一部分都配有大量的工程及设计实例,每章最后还配有习题供读者复习巩固用。

本书可作为高等职业院校、高等专科学校、成人高校及本科院校所属职业技术学院电类专业及相近专业有关课程的教材,还可作为从事现场工作的相关工程技术人员参考用书。

本书由周遐担任主编,并负责本书大部分内容的编写及统稿工作。高亮彰、朵云健担任副主编,高亮彰编写和修改了第三章的一至三节,第四章的第六节和第五章的内容,参与了本书其他部分章节的修订,并承担了图表的编辑、处理和整理工作;朵云健编写和修改了第一章的一、二节,第二章的一至三节,第六章的一、二节,并承担了校对工作。金瑞编写了本书中数字音像部分的内容,并参加了修订工作。段有艳参加了本书的修订和资料的收集、整理工作。

陈铁牛教授担任本书主审,认真负责地审阅了全部书稿和插图,并提出了一些宝贵的指导性意见。

本书内容广泛,涉及许多领域,编写有较大难度,在编写过程中查阅了大量的资料,也得到了一些单位工程技术人员的大力支持和帮助,在此向他们致以诚挚的谢意。

由于编者水平所限,书中难免存在一些错误和不妥之处,殷切希望广大读者批评指正。

编 者

# 目 录

前言	
第一章 电声基础知识	1
第一节 概述	1
一、几个基本概念	1
二、几个基本系统	1
第二节 声音的概念	2
一、声源和声波	2
二、声速及声的传播	3
三、声波的频率、波长和相位	4
第三节 播音的声学原理	5
一、声压、声压级与声功率级	5
二、人的听觉特性	7
三、声音的反射、吸收、绕射和叠加	8
四、混响与混响时间	10
五、语言与音乐的声学特性	11
六、厅堂的传输频率特性	12
第四节 音质的评价标准	12
第五节 声音的处理	14
第六节 立体声	15
一、听觉中的立体感	15
二、双声道立体声	17
三、环绕声	20
四、立体声的“后处理技术”	21
五、数字音响技术	22
习题	23
第二章 音响系统设备及仪器	25
第一节 传声器	25
一、传声器的分类	25
二、动圈式传声器	26
三、电容式传声器	26
四、传声器的主要技术特性	26
五、无线传声器	29
六、数字传声器	30
七、部分国产传声器的型号、规格和技术特性	30
第二节 声源设备	31
一、电唱机	32
二、磁带录音机	33
三、CD唱机	35
第三节 扬声器及音箱	38
一、扬声器	39
二、扬声器的组合	42
三、音箱	43
四、喊话器	45
五、国内外音箱简介	45
六、电子分频器	45
七、扬声器系统控制器	47
八、音箱的使用和保护措施	47
九、音箱的布局	50
十、耳机	52
第四节 放大器	53
一、前置放大器	54
二、功率放大器	55
三、扩音机——公共广播放大器	59
四、专业功率放大器的合理配置	60
第五节 调音台(前级增音机)	61
一、简介	61
二、调音台的主要技术指标	62
三、调音台的功能	64
四、调音台的连接和调控	64
五、数字调音台	70
第六节 声频处理设备及其他设备	71
一、转播接收机	71
二、音频信号处理设备	72
三、人工混响器	73
四、延时器	73
五、图示均衡器	73
六、效果处理器	75
七、压限器、扩展器、噪声门	78
八、激励器	80
九、声反馈抑制器	80
十、卡拉OK伴唱机	81
十一、噪声增益自动控制	82
十二、公共广播分区音量控制器	82

十三、新型数字声频处理设备	83	容易发生声反馈啸叫	144
第七节 音响系统常用仪器、工具	86	五、播音者觉得吃力	145
一、声级计	86	六、本底噪声过大	145
二、计权问题	86	习题	145
三、实时分析仪	87	<b>第四章 歌舞厅音像系统</b>	147
四、失真度测量仪	89	第一节 歌舞厅音像系统设计特点及分类	147
第八节 音响系统常用辅助器材	89	一、特点	147
一、线路的配接	89	二、分类	148
二、移频器	94	第二节 歌舞厅音像系统的性能要求	148
三、吸声材料与结构	94	一、声学指标	148
习题	96	二、歌舞厅的混响 ( $T_{60}$ ) 要求	150
<b>第三章 公共广播、厅堂音响系统</b>	98	三、各类歌舞厅对扩声系统的要求	150
第一节 音响工程的设计基础	98	四、施工技术要求	151
一、电声学的几个概念	98	第三节 歌舞厅音像系统的方式与设备选择	152
二、追求目标	98	一、卡拉 OK、歌舞厅音像系统的方式	152
三、工程设计的一般考虑	100	二、歌舞厅电声设备的选择	154
四、工程设计的一般程序	102	第四节 歌舞厅的音箱布置	157
五、音响设备安装注意事项	110	第五节 歌舞厅音像系统设计实例	160
第二节 广播音响系统的类型与组成	111	一、某多功能歌舞厅音像系统	160
一、广播音响系统的类型	111	二、某卡拉 OK 歌舞厅的音像系统	163
二、厅堂扩声系统的分类	112	三、某娱乐中心的 KTV 包房音像系统	164
三、扬声器的布置方式	113	四、某多功能厅音像系统	166
第三节 公共广播系统	114	五、歌舞厅演出音响系统	167
一、公共广播系统的分类	114	六、大型音乐演唱会音响系统	167
二、公共广播的其他基本要求	116	第六节 音响系统与其他系统的连接	167
三、公共广播系统的结构	116	一、与电话会议系统的连接	167
第四节 公共广播系统的工程设计	117	二、与电视会议系统的连接	170
一、设计步骤	117	三、与消防报警系统的连接	170
二、公共广播系统设计要点	118	四、与录音系统的连接	170
三、设计实例	123	五、与电视直播系统的连接	171
第五节 厅堂音响系统的设计	124	习题	171
一、厅堂音响系统的设计步骤	124	<b>第五章 同声传译与会议系统</b>	172
二、厅堂音响系统设计要点	124	第一节 会议系统的种类与组成	172
三、扬声器系统的选取	125	一、会议同声传译系统	172
四、扩声设备的选择及配置	127	二、会议讨论系统	173
五、厅堂音质设计要求	131	三、会议表决系统	174
六、音响控制室	132	第二节 会议系统的设计	175
七、典型厅堂的扬声器布置	133	一、设计考虑	175
第六节 厅堂音响系统的问题及对策	144	二、会议讨论系统的设计	175
一、音量不足或不均匀	144	三、同声传译系统的设计	175
二、高音或低音不足	144	四、会议表决系统	182
三、声音明显失真	144		
四、语言清晰度不良、传声增益不足、			

141	第三节 会议系统设计实例	183	28	三、数字 CATV 系统	209
141	一、同声传译及会议表决系统	183	28	四、电视频道的基本概念	211
141	二、会议讨论、表决及同声传译综合系统	183	28	五、电视图像质量评价标准	216
141	三、系统介绍	186	28	第四节 卫星电视接收系统的构成及主要部件	218
141	第四节 露天集会音响系统	187	28	一、卫星电视接收系统的组成与频道	218
141	一、主要技术要求	187	28	二、卫星数字电视系统	221
141	二、室外扩音的声场控制	187	28	三、卫星电视接收系统的主要部件	222
141	三、扩声设备	188	28	第五节 卫星地面接收站站址的选择及抗微波干扰	231
141	习题	189	28	一、站址的选择	231
141	第六章 卫星电视接收系统与有线电视系统	190	28	二、微波干扰、干扰估算及实地测量	231
141	第一节 概述	190	28	三、克服地面微波对 C 波段卫星电视接收干扰的几种方法	232
141	一、卫星电视接收系统常用名词	190	28	第六节 卫星接收天线的选择、安装及接收站的供电、防雷	234
141	二、卫星电视的基本原理	190	28	一、接收天线的选择	234
141	三、有线电视系统的主要特点	191	28	二、卫星电视接收天线的安装	235
141	四、卫星接收系统的五种基本方式	191	28	三、卫星电视接收站的供电和防雷	236
141	五、数字卫星及有线电视	192	28	第七节 CATV 系统的设计(含卫星电视接收)	238
141	第二节 CATV 系统的主要设备及主要电缆、光纤	193	28	一、国家有关标准的要求	238
141	一、接收天线	193	28	二、设计前的准备	240
141	二、放大器	193	28	三、接收天线的选择	240
141	三、混合器与分波器	196	28	四、前端设备的组成及设计	241
141	四、分配器	197	28	五、传输分配系统的设计	244
141	五、分支器	198	28	第八节 CATV 系统的设计举例	249
141	六、用户插座	200	28	一、前端设计举例	250
141	七、串接单元	200	28	二、分配系统设计	252
141	八、频率变换器、电视调制器、避雷器	200	28	第九节 CATV 系统施工质量检查及机房布置	258
141	九、同轴电缆	202	28	一、安全措施和施工质量检查要点	258
141	十、光纤传输	205	28	二、机房的布置	259
141	第三节 CATV 系统的分类、组成与频道	207	28	习题	260
141	一、CATV 系统的分类	207	28	参考文献	262
141	二、CATV 系统的组成	208	28		

# 第一章 电声基础知识

## 第一节 概 述

本书所述的音像系统是指广播音响系统、有线电视系统及卫星电视系统，本书涉及的音响是泛指用电声设备重放出来的声音，而非原发声系统。

### 一、几个基本概念

- 1) 电声：电与声的相互转换叫电声，其器件叫电声器件，它是利用电磁效应、静电效应、压电效应等原理来完成电声转换的。如传声器能将声音信号转换成电信号，而扬声器能将电信号转换成声音信号。
- 2) 原发声：由发声体直接发出的声音，如歌手声带、乐器等振动体直接发出且不经任何处理的声音。
- 3) 重放声：经过一定技术处理由扬声器（音箱）重放出来的语言、歌声、音乐等声音。随着技术及社会的发展、生活的富裕，在人们的工作、生活中几乎处处有重放声响起，可以说在现代社会电声音响已成为人们身边不可缺少的事物。
- 4) 节目源：经过一定技术事先录制好的声像软件，如磁带、碟片、唱片等，也可能是广播电台、电视台播放的节目信号，还可以是现场音响的演说、演唱、演奏等。重放声都是需要节目源的。
- 5) 现场扩声：以现场音响为节目源，利用电声设备进行的实时重放叫做现场扩声。

### 二、几个基本系统

- 1) 广播音响系统：广播音响系统包括一般广播系统、特殊广播系统和紧急广播系统。
  - 1) 所谓一般广播系统即为收听音乐和新闻的广播系统。该系统一般设置广播室，除了能转播电台的节目外，还可自办节目，也可进行公共广播，并向公共场所播放背景音乐。
  - 2) 特殊广播系统用于宴会厅（或多功能厅）、餐厅、歌舞厅、会议厅等需要同声传译的场所。该系统要求比较高，性能比较完善。
  - 3) 紧急广播系统为当发生紧急事件（如地震、火灾等），尤其在夜间需要紧急疏散时，通过广播进行通知的系统。一般高层住宅（商住楼）将扬声器安装于各层的走廊上，宾馆则将扬声器直接安装于客房、走道和人员聚集的公共活动场所。
- 2) 有线电视系统（含卫星电视）：有线电视系统（Cable Television, CATV）是以接收电视广播为目的的音像系统。该系统以有线传输方式将电视信号（音视频信号）分别送



到电视系统的各个终端用户，解决了接收电视信号由于反射而产生重影的弊端，改善了由于高层建筑阻挡而形成的电波阴影区的接收效果（对天线传输而言），而且不占用有限的无线电空间，并保证了信号的传输容量和质量。

但是，在智能建筑中，人们并不满足于仅仅接收电视台电视广播这种单一的功能，而要求它能传送其他信号，例如卫星电视节目，用录像机、VCD机、DVD机和调制器制作的自办节目等。这就要求系统更加完善，更加复杂，如数字有线电视系统就可在原有功能的基础上增加电视点播、电视购物、电视诊疗、电视图书、电视信息等许多内容，极大完善了电视系统的功能。

因为有线电视系统以有线闭路形式传送电视信号，不向外界辐射电磁波，所以也被称为闭路电视系统。实际上由于有线电视系统不断的发展和扩大（有开路又有闭路），因而也被称为有线电视（Cable Television, CATV）系统。

## 第二节 声音的概念

研究声音的目的是为了研究音响技术，研究音响技术是为了满足人们的听觉享受。声学所要讨论的是听觉器官所感觉的现象，它涉及的范围非常广泛，本节只研究声音怎样发生、传播以及声音本身具有的特性等问题。至于生理学和心理学等方面的问题，不在本书讨论和学习范围之内。

### 一、声源和声波

声音是由物体的振动并在介质中传播而形成的。例如，敲鼓是鼓皮产生振动而发声；拉琴是琴弦产生振动而发声；吹笛是笛腔内的空气柱产生振动而发声；说话、唱歌是由于人的声带振动和口腔的共鸣而发声；把音频电流送入扬声器，扬声器的纸盒发生振动而发声。声音的产生必须有三个条件，一是振动的物体，二是传播振动的介质，三是有听觉感。

**1. 声源** 发出声音的振动源就叫做“声源”。上面提到的，振动着的鼓皮、琴弦、歌手的声带等都是声源。由声源发出的声音必须通过介质才能传播到人们的耳朵，让人们听到。空气是最常见的介质，其他介质如水、金属、木材、塑料等也都能传播声音，其传播能力甚至比空气还要好。例如，把耳朵贴近铁轨，可以听到在空气中听不到的远处火车运行的声音，这些声音就是通过铁轨传来的。没有介质的帮助人们就无法听到声音，例如，在外层空间，由于真空中没有空气或其他介质，宇航员是无法直接对话的，只能通过无线电波来传送声音。

声源有两种基本形式：机械声源（利用机械振动产生的声音）和空气振动声源（由空气柱辐射产生的声音）。

根据声音发生和应用的不同，声源大体可分为三类：环境音响（自然现象本身发出的声音）、动作音响（一切通过人为动作产生的声音）和非现实音响（现实生活中不存在的声音）。

**2. 声波** 声音在介质中是怎样传播的呢？当声源振动时，它将带动邻近介质的质点发生振动，而这些质点又会牵动它们自己周围的质点发生振动，于是声源的振动就被扩散并传播出去。

由声源引起的媒体的振动形成声波。声波的形成与传播的过程同水波很相似，当用一根棍子在水面上点动时，就会看见水波源源不断地从被扰动的地方扩散并传播出去。由于看不见空气的振动，所以也看不见空气中的声波，但如果把发声的扬声器浸在水里，就会看见水面的声波，其波纹会比棍子掀起的水波细密得多。声波是一种纵波，介质振动方向与传播方向是一致的。

## 二、声速及声的传播

**1. 声速** 声音的传播是需要时间的。一个众所周知的例子是雷声，人们都有这样的感受，闪电过后一段时间才能够听到雷声，这说明雷声从打雷的地方传来需要时间，而且这个时间比光传来所需的时间要长得得多。声音传播的时间取决于声源的距离和声音的传播速度——声速。在本书中，声速用  $c$  表示，其单位为米/秒（m/s）。实验证明，声速主要是由介质（以及影响介质的因素）决定的，与声音的其他参数（如频率、振幅等）无关，即在不同的介质中，声音的传播速度是不同的。同一介质因为温度、压力等的不同，声音在其中的传播速度也是不同的，如在标准大气压下和温度为  $20^{\circ}\text{C}$  时，声音在空气中的传播速度约为  $344\text{m/s}$ （在工程计算中可取  $340\text{m/s}$ ）。表 1-1 列出了在标准大气压下， $0^{\circ}\text{C}$  时各种介质中的声速；表 1-2 列出在标准大气压下，不同温度下干燥空气中的声速。由这两个表可看出，水中的声速很大，大约是空气中声速的 4.5 倍，金属中的声速比水中的更大。

一般来讲，声速随温度的增加而增加，在空气中，温度每升高  $1^{\circ}\text{C}$ ，声速约增加  $0.6\text{m/s}$ 。

表 1-1  $0^{\circ}\text{C}$  时各种介质中的声速

介质	声速/(m/s)	介质	声速/(m/s)
空气	332	铝	5100
水	1450	铁、钢	5000
煤油	1330	金	1743
橡胶	30 ~ 50	铜	3800
酒精	1275	铅	1300
玻璃	5000 ~ 6000	松木	3320

表 1-2 不同温度下干燥空气中的声速

温度/ $^{\circ}\text{C}$	声速/(m/s)	温度/ $^{\circ}\text{C}$	声速/(m/s)
-30	313	10	338
-20	319	20	344
-10	325	30	349
0	332	100	386

**2. 直射声** 人耳接收到的从声源直接传来的声音称为直射声，它具有声源本身的特性。

**3. 反射声** 声波在传播过程中遇到障碍物，一部分将被反射，称为反射声。特别当障碍物的尺寸远大于声波波长时，声波将发生明显的反射，人们经常听到的回声就是声波反射所造成的。

**4. 声波的绕射（衍射）** 当障碍物的尺寸与声波波长在同一数量级时，声波将绕过障碍

物而无反射，这种现象称为声波的绕射，也称衍射。

**5. 声波的吸收** 声波在传播过程中，遇到墙面、天花板或其他各种物体的表面时形成声波反射，并在这些表面产生摩擦消耗能量，声能因而将衰减，这种现象称为这些障碍物对声波的吸收。在建筑物内，常利用某些特殊材料来吸收声能以减弱反射声，达到控制混响时间和消除回声的目的。

### 三、声波的频率、波长和相位

**1. 频率** 频率就是每秒钟内往复振动的次数（单位时间内的振动次数），振动一来一往为一次，也叫一周。声波的频率也就是声音的频率，频率用  $f$  表示，其单位为赫兹（Hz）。由单一频率的振动所产生的声音称纯音，由若干频率的复合振动所产生的声音称复音。各种声音都包含着特定的频率成分，每种声音所具有的频谱称为声谱。声音之间所以有区别，主要在于声谱不同。

频率与声音音调的关系是：频率低，相应的音调就低（声音低沉）；频率高，相应的音调就高（声音尖锐）。两个不同频率的声音作比较时，起决定意义的是两个频率的比值，而不是它们的差值。用来比较两个声频大小的物理量叫倍频程，倍频程定义为两个声音的频率之比以 2 为底的对数，其公式为

$$n = \log_2(f_1/f_2) \quad (1-1)$$

**2. 波长** 波长是声源每振动一周声波所传播的距离，也就是声波两个波峰之间的距离（即一个周期的长度），波长用希腊字母  $\lambda$  表示，其单位为米（m）。波长、频率、声速之间的关系为

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1-2)$$

由式 (1-2) 可看出，频率越高，则波长越短，即波长同频率成反比。这是一个很重要的概念，以后讨论到声音的反射、绕射等问题时将会用到。

由式 (1-2) 还可看出，同一声波在不同介质中传播时，由于其声速的不同，其频率也将发生变化。

**3. 相位** 声波的相位也可简称为相。一般来说，相位是用来描述简谐振动（正弦振动或余弦振动）在某一个瞬间的状态的物理量，由于声波来源于振动，所以也有相位问题。

相位用相位角来表示。图 1-1a 中标出了某一个正弦波上的四个状态点：A、B、C、D。其中 A 点处于由负向正过渡的状态，也是正弦波的起始点，称为  $0^\circ$  相位；B 点处于向正半峰发展的中间过渡点，称为  $45^\circ$  相位；C 点处于正波峰点，称为  $90^\circ$  相位；D 点处于负波峰点，称为  $-90^\circ$  相位（也称  $270^\circ$  相位），也就是说一个周期为  $360^\circ$ 。在一个周期之内，任何一点的相位都是不同的，各对应一个确定的相位角值；而在另一个周期中，各相位将会重复出现。所以，在声波传播的路径上，每隔一个波长的距离，其相位相同；而每经历半个波长，则其相位相反（相位角的符号相反）。同声源的声波在其起始点的相位相同。图 1-1b 为各种声波的频率。

相位的概念对理解声波的叠加、干涉以及扬声器的连接方法都有重要意义。

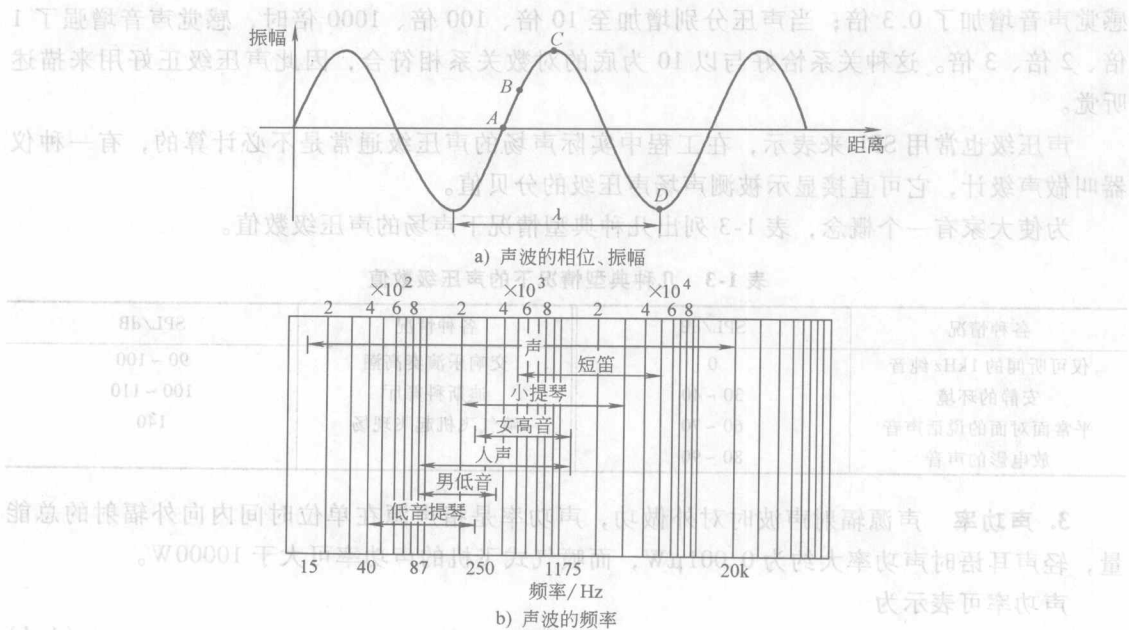


图 1-1 声波的相位、振幅与频率

### 第三节 播音的声学原理

#### 一、声压、声压级与声功率级

1. 声压 在介质中传播的声音（声波），所到之处会引起介质局部压强发生微小的变化，尽管这种变化非常微小，但仍可用仪器测量出来。这种由于声波扰动引起的逾量压强（总压强与原始压强之差）称为声压，单位为帕（Pa），即牛/米<sup>2</sup>（N/m<sup>2</sup>）。

声压是声音强弱的一种量度。在 1kHz 时人耳的感知声压范围为  $2 \times 10^{-5} \sim 20\text{Pa}$ ，其下限为  $2 \times 10^{-5}\text{Pa}$ （仅可听闻），这个声压值叫做闻阈；上限为 20Pa（震耳欲聋的声音），这个声压值叫做痛阈。

2. 声压级 为了便于实际应用，声压常以声压级来表示。

$$L_p = 20 \lg \frac{p}{p_0} \quad (1-3)$$

式中  $L_p$ ——声压级（dB）；

$p$ ——声压（Pa）；

$p_0$ ——参考基础声压（即闻阈）， $p_0 = 2 \times 10^{-5}\text{Pa}$ 。

声音是由机械振动产生的，但不是任何机械振动都能形成可闻的声音。实验和经典理论认为只有频率在 20Hz ~ 20kHz 之间的机械振动才能发出人类可以听闻的声音，因此这个频段称为声频。人耳的 1kHz 感知声压级范围是 0（可闻阈）~ 120dB（痛阈）。

实验表明，人耳对声音的强弱感觉并不直接同声压成正比。例如，当声压增加 2 倍时，

感觉声音增加了 0.3 倍；当声压分别增加至 10 倍、100 倍、1000 倍时，感觉声音增强了 1 倍、2 倍、3 倍。这种关系恰好与以 10 为底的对数关系相符合，因此声压级正好用来描述听觉。

声压级也常用 SPL 来表示，在工程中实际声场的声压级通常是不必计算的，有一种仪器叫做声级计，它可直接显示被测声场声压级的分贝值。

为使大家有一个概念，表 1-3 列出几种典型情况下声场的声压级数值。

表 1-3 几种典型情况下的声压级数值

各种情况	SPL/dB	各种情况	SPL/dB
仅可听闻的 1kHz 纯音	0	交响乐演奏高潮	90 ~ 100
安静的环境	30 ~ 40	迪斯科舞厅	100 ~ 110
平常面对面的说话声音	60 ~ 70	喷气飞机起飞现场	140
放电影的声音	80 ~ 90		

**3. 声功率** 声源辐射声波时对外做功，声功率是指声源在单位时间内向外辐射的总能量，轻声耳语时声功率大约为 0.001 μW，而喷气式飞机的声功率可大于 10000 W。

声功率可表示为

$$W = U^2 R_a \quad (1-4)$$

式中  $W$ ——声功率 (W)；

$U$ ——流体的体积速度 ( $m^3/s$ )；

$R_a$ ——声源的辐射声阻 ( $Pa \cdot s/m^3$ )。

声功率也常以声功率级  $L_w$  表示，它是待测声功率与基准声功率之比，取常用对数乘以 10，单位为 dB。

$$L_w = 10 \lg \frac{W}{W_0} \quad (1-5)$$

式中  $W$ ——声功率 (W)；

$W_0$ ——参考基准声功率 (W)， $W_0 = 10^{-12} W$ ；

$L_w$ ——声功率级 (dB)。

声压级  $L_p$  与声功率级  $L_w$  有如下关系：

用于球面扩散的声源

$$L_p = L_w - 20 \lg r - 10.9 \quad (1-6)$$

用于半球面扩散的声源 (如声源靠近地面时)

$$L_p = L_w - 20 \lg r - 7.9 \quad (1-7)$$

式中  $r$ ——计算点到声源的距离 (m)。

人耳对声音强弱的辨别能力约为 0.5 dB，一般在 3 dB 之内的变化可以认为声音强弱没有太大的变化。

顺便指出，为了适应人类的主观听觉以及其他感觉，不仅声压级用 dB 作单位，许多电声设备的指标都以 dB 为单位。例如，设备的放大量 (增益) 和衰减量，传声器和扬声器的灵敏度以及设备的输入、输出电平等都常常以 dB 为单位。其中，有的用 dB 来表示一种相

对的变化。例如,功率放大(或衰减)了10倍、100倍、1000倍……,分别称增益(或衰减)为10dB、20dB、30dB……。另外,有的用dB来表示一种绝对的量值,如功率电平以1mW(0.775V/600Ω)为0dB,伏特电平以1V为0dB,电压电平以0.775V(不论阻抗是多少)为0dB。比1mW大10倍、100倍、1000倍……的功率电平分别称为10dB、20dB、30dB……,比1V大10倍、100倍、1000倍……的伏特电平则分别称为20dB、40dB、60dB……。有时,为了详细区分以上几种电平,分别把它们写成dBm(毫瓦功率电平)和dBV(伏特电平)。

## 二、人的听觉特性

声音的三要素为音调、响度、音色,正是这三者不同的配合使人耳感到了千差万别的声音。

**1. 音调(声频)** 音调表示声音的高低,是人耳对声音频率的生理感受的表征。声音的频率越高则音调越高,音调并不是简单地与声音的频率成正比。它还与声压的大小和声波的波形有关。

正常人耳对声音频率的感知范围是20Hz~20kHz,称为“音频”。频率低于20Hz的“声音”叫做次声,频率高于20kHz的“声音”叫做超声。一般地说,次声和超声是人类听不见的,因此把20Hz~20kHz的整个频率区域称为“声频带”或“音频带”。

自然界中的绝大多数声音,包括人们的说话声,昆虫、动物的叫声,美妙的音乐以及机器的轰鸣都是复音。

从另一个角度来说,各种声音都包含着特定的频率成分,而且各种成分的强度也不尽相同,针对这种情况,可以说每一种声音都具有自己的频谱,也叫声谱。声音间之所以有区别于另一个声音,主要是因它们的声谱不同。交响乐的声谱散布于整个声频带(20Hz~20kHz)。

在音频范围内,一般人耳对1kHz的纯音最为敏感,故以1kHz划界,分为低频段和高频段。

**2. 响度(声强)** 响度表示声源所发声音的强弱,也就是常说的音量大小,它是人耳对声音声压的生理感受的表征。一般来说,声压越大,则响度越大,但响度并不完全与声压成正比,它还与人的生理特性、声音的频率和波形有关。响度的单位为宋(sone)。国际上规定,频率为1kHz、声压级为40dB时的响度为1宋。1毫宋相当于人耳刚能听到的声音响度。

响度级的单位为方(phon)。声压级为0dB的1kHz纯音所引起的响度感觉称为0方(注意,0方不是不响,而是仅可听闻的声响)。响度级为40方时,响度为1宋,响度级每增加10方,响度增加1倍。

响度和表示声音客观强弱的物理量——声强有关。这个关系很复杂,对同一音调来说,声强越大,响度越大,声强与离开声源的距离的二次方成反比。

表1-4列出了部分响度与声压级的关系。

表1-4 部分响度与声压级的关系

响度/宋	1	2	4	8	16	32	64	128	256
响度级/方	40	50	60	70	80	90	100	110	120
声压级/dB	40	50	60	70	80	90	100	110	120

**3. 音色 (音品)** 音色表示声源所发声音的特色,是人耳用于区别相同响度和音调的两种声音的独特生理感受。例如,人耳可以分辨出管弦乐中的各种乐器声,它并不基于音调或响度的不同,而主要根据音色的差别来判断。不同的发音结构会形成不同的音色,就像不同的光谱结构会形成不同的颜色一样。

在复音中除了频率为 $f$ 的基音振幅最大外,还有 $2f$ 、 $3f$ 、 $4f$ 等频率的振幅很小的成分,称为泛音。决定声音品味的主要因素是音调和音色。一个声音的音调是由它的基音频率(基频)决定的,基频越高,则音调也越高。如中央C(简谱C调1)的基频是261.6Hz,而A调(标准音)的基频则是440Hz,基频每升高一倍,音调就升高8度。泛音的频率和振幅决定这个声音的音色。

**4. 时间差和回声** 一般人耳可以区别大于50ms时间差而先后到达的两个声音。直射声和回声的时间差常达近百毫秒乃至数秒,因此人耳是能够分辨的。

当时间差小于50ms时,人耳一般难以区分,人们觉得直射声和反射声连成一片,仅能感觉到音色和响度的差异。

**5. 方位感** 人们通过双耳定位,可以判断声音的方向和声源的方位,即具有方位感。人耳对水平方向的分辨能力较强,可以分辨出水平方向 $50^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 范围内的声源方位的变动;对竖直方向分辨能力较弱,一般要大于 $60^{\circ}$ 才能加以区分。因此,在布置扬声器时,为了保持视听方向的一致性,应使扬声器在水平方向上尽量靠近声源,而在竖向的位置高低往往影响甚小。

**6. 噪声** 人们愿意接受的声音称为信号,信号以外的各种杂乱声音统称为噪声。噪声对信号的妨碍程度称为掩蔽效应,它不仅取决于噪声的总声压级大小,还取决于噪声的频谱分布。信号和噪声的频率越接近,噪声的掩蔽作用也就越大,掩蔽作用太大,就会让人听不到信号,只能听到噪声,这是设计时要注意的问题。

### 三、声音的反射、吸收、绕射和叠加

**1. 反射和吸收** 声音在传播过程中遇到障碍物时,会发生反射、吸收、绕射等现象,这同光线投射到障碍物时的情形相似。

当障碍物的尺寸大于声波波长时,声音将被反射。当障碍物表面凹凸不平时,如果凹凸的尺度小于声波波长,则反射特性同光滑面相似;如果凹凸的尺度和声波波长相当,则反射会散向四面八方,形成散射。

不过能够把入射声波全部反射回去的障碍物几乎没有,绝大多数障碍物会吸收一部分声波,吸收的程度与构成障碍物的材料有关。一般障碍物越坚硬、越稳固,则反射特性越好,反之吸收越严重。材料对声音的吸收能力用吸声系数来表示。

声波入射到材料表面时,被吸收的那部分声能与入射声能之比的百分数叫吸声系数。空气也会吸声,不过其吸声系数很小,工程中常常予以忽略,表1-5为常用材料的吸声系数,可供工程设计时参考。

必须说明,由于一个声音通常包含着许多频率不同的分量,而频率(或波长)同障碍物的反射和吸收特性相关,所以对于同一障碍物同一个声音中的高、中、低频分量的反射、吸收状况也不一样。一般声音中的高频分量比较容易被吸收,也比较容易被散射,所以声音中的高频分量很容易在传播中衰减,形成高音不足而导致清晰度下降的现象。

表 1-5 常用材料吸声系数

材料	频率/Hz					
	125	250	500	1000	2000	4000
砖墙抹灰	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
大理石	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
板条抹灰	0.02	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05
粗糙混凝土墙	0.36	0.44	0.31	0.24	0.39	0.25
混凝土抹光涂漆	0.10	0.05	0.06	0.07	0.09	0.08
混凝土小拉毛涂漆	0.04	0.03	0.03	0.10	0.05	0.07
混凝土铺厚地毯	0.02	0.06	0.14	0.37	0.60	0.65
厚玻璃	0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
玻璃窗	0.35	0.25	0.18	0.12	0.02	0.04
木地板	0.15	0.11	0.10	0.07	0.06	0.07
化纤地毯	0.12	0.18	0.30	0.41	0.52	0.48
羊毛地毯	0.18	0.24	0.35	0.48	0.66	0.54
墙面贴粘壁纸	0.02	0.02	0.05	0.06	0.06	0.09
人造革面靠背椅	0.09	0.12	0.15	0.17	0.22	0.20
人造革沙发	0.10	0.15	0.24	0.32	0.28	0.29
木板椅	0.07	0.03	0.08	0.09	0.08	0.11
胶合板椅(无人)	0.05	0.05	0.03	0.03	0.02	0.02
胶合板椅(有人)	0.16	0.20	0.31	0.38	0.46	0.40
观众厅楼座挑台口	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.65
超细玻璃棉,玻璃丝布面	0.18	0.30	0.58	0.87	0.82	0.79
矿渣棉	0.15	0.46	0.55	0.61	0.80	0.85
矿渣棉离墙 50mm	0.21	0.70	0.79	0.98	0.77	0.89
聚氨酯吸声泡沫塑料	0.16	0.28	0.78	0.69	0.81	0.84
石膏板	0.29	0.10	0.05	0.04	0.07	0.09
五合板	0.11	0.26	0.15	0.04	0.05	0.10
五合板穿 $\phi 5$ 孔,离墙 20cm	0.36	0.19	0.14	0.07	0.06	0.15
石膏板穿 $\phi 8$ 孔,离墙 30cm	0.27	0.51	0.28	0.34	0.28	0.32
灯芯绒帘幕	0.05	0.25	0.80	0.84	0.84	0.62
天鹅绒帘幕	0.50	0.63	0.67	0.70	0.64	0.37
丝罗缎帘幕	0.23	0.24	0.28	0.39	0.37	0.15

2. 绕射 并不是所有的障碍物都会反射声波,当障碍物的尺寸比声波波长要小时,声音将会绕过障碍物继续向前传播,这种现象叫“绕射”。

由于一个声音通常包含许多频率不同(波长不同)的分量,因此对某一障碍物而言,



声音中的低频分量（波长较大）可能绕射过去，而高频分量却可能被反射回去。这意味着声音的音色在某些障碍物的前面和后面会发生变化。因此，在配置音箱时要注意，小尺寸的障碍物对低音可能无碍，但对高音的影响则不能忽视。

**3. 叠加和干涉** 两个和多个声音在同一区域内传播时，声音会发生叠加现象。声音的叠加并不是简单的加强。如果多个声音各不相同，人的听觉系统有从中选择某一个声音的能力，而其他叠加上的声音则成为干扰声；而如果多个声音是相同的，例如它们一个是原发声另一个是反射声，则叠加起来时能使声音加强也可能使声音减弱。当两个声波相遇时，如果它们的相位相同，就会互相加强；而如果它们的相位相反，则会互相抵消，从而减弱；如果它们既不完全同相也不完全反相（大多数是这种情况），则叠加之后可能有某种程度的加强或减弱。至于声波到达声场某一点的相位如何确定，则主要取决于声音所经过的路程（声程）和时间延迟（时延）等因素。根据这种情况，两个声音叠加时，通常它们不会在声场中处处相位相同，也不会处处相位相反。假设有两个同样的声源  $S_1$ 、 $S_2$ ，在不同的位置上同时发出相同的声音，如图 1-2 所示，则在对称线  $AB$  上的所有点，两个声音的声程都一样，它们将会同相叠加，起到互相增强的作用；而在另一点  $C$ ，两个声音的声程

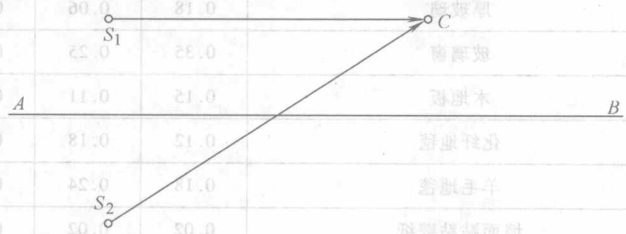


图 1-2 声程不同对叠加的作用

（声波射线的长度）显然不等，如果它们正好相差半个波长，则它们将会反相叠加，互相抵消，这时  $C$  点的声音减弱了，比单独一个声源发声时的声音还要小，而像  $C$  点这样的反相叠加点会有无数多个。由此可见，有的地方声音加强了，有的地方声音减弱了。

两个声音叠加，使得声场中某些区域声音加强，而某些区域声音减弱的现象，称为声音的干涉现象。由于干涉现象，在声场中会出现“死区”，不过这是对纯音而言，当两个声源（如音箱）发出复音时，则由于复音中各分量的波长不同，因而在声场的同一个点，复音中的某些分量可能增强而某些分量可能减弱，从总体上来看，干涉现象将不明显。但对于频带较窄的复音，如语言，干涉现象仍不可忽视，在那些重要分量被衰减的死区，语言的清晰度将会下降，在设计不当的音响工程中常常见到这种现象。

#### 四、混响与混响时间

**1. 混响** 声音在室内传播时会在地面、墙壁、天花板上多次反射，显然反射声经过的路程要比直射声长，多次反射经过的路程更长。人耳在接收到声源发出的直射声之后，还将陆续接收到从四面八方反射来的声音，在 50ms 内到达的反射声即所谓的早期反射声是人耳不能区分的，它增加了直射声的响度，可视为直射声的一部分，同样它也增加了音节的清晰度，因而是有益的，称为有效反射声。而大于 50ms 以后络绎不绝陆续到达的反射声使得声音在室内的传播产生延续，即所谓的“交混回响”现象，简称“混响”。混响将对后到的直射声产生掩蔽，从而降低了声音的清晰度，这部分反射声称为无效反射声。混响的多少自然与建筑结构有密切的关系，这是建筑声学研究的问题。适当的混响有加强和美化声音的效果，因而音响系统还有专门的混响效果器。