

高等职业教育规划教材

音像系统工程

● 周 遐 主编

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



高等职业教育规划教材

音像系统工程

主	编	周	邈	
副	主	编	黄崇福	金瑞
参	编	陶	毅	
主	审	陈	铁牛	



机械工业出版社

本书是高职高专应用电子技术专业主干教材之一,全书结合当前音像技术及设备应用的实际,跟随新技术的发展前沿,从工程应用的角度出发,较全面地介绍了音像系统的组成、系统设计、设备选型、安装调试及性能评价等,同时配有设计实例和习题。

全书共分六章,主要内容有:电声基础、音响设备及仪器、公共广播、厅堂音响系统、歌舞厅音响系统、同声传译与会议系统、卫星电视接收系统及有线电视系统等。

本书可作为高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校二级职业技术学院和民办高校“音像系统工程”、“音像技术”等课程的教材,也可供中专、技校、职高相关专业使用,还可作为相关工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

音像系统工程/周遐主编. —北京:机械工业出版社, 2003.7
高等职业教育规划教材
ISBN 7-111-12095-7

I. 音… II. 周… III. 智能建筑—音频设备—高等学校: 技术学校—教材 IV. TU112.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 032752 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 韩雪清 版式设计: 冉晓华 责任校对: 吴美英
王玉鑫

封面设计: 陈 沛 责任印制: 闫 焱

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2003 年 6 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm $1/16$ ·15.75 印张·384 千字

定价: 22.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是根据高职高专的培养目标和要求编写的，是应用电子技术专业的主干教材之一，也是一门创新性的教材。教材编写中充分汲取了现场应用的最新技术和成果，是作者多年现场经验的提炼和总结。教材强调了工程应用性和实践性。

音像技术近年来发展迅猛，应用广泛，已融入到人们的日常工作和生活之中。《音像系统工程》一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、性能评价及工程安装、调试等。书中首先从电声基础入手，介绍了音响设备及仪器、公共广播、厅堂音响系统、歌舞厅音响系统、同声传译与会议系统、卫星电视接收系统与有线电视系统等。每一部分都配有大量的实例及设计举例，每章后面还配有习题供读者复习巩固。

本书可作为高职高专、成人高等学校的“音像系统工程”、“音像技术”等课程的教材，也可供有关专业师生及从事现场工作的技术人员参考。

本书由周遐任主编，黄崇福、金瑞任副主编，陶敏参编。陈铁牛副教授担任本书主审，认真负责地审阅了全部书稿和插图，并提出了很多宝贵的修改意见。

在本书编写过程中查阅了大量的资料和专著，在此向有关编著者致谢。

由于编者水平有限，时间紧迫，书中难免存在错误和不妥之处，欢迎读者指正。

编 者

目 录

前言

第一章 电声基础	1
第一节 概述	1
第二节 声音的概念	1
第三节 播音的声学原理	5
第四节 音质的评价标准	12
第五节 声音的处理	13
第六节 立体声	15
习题	21
第二章 音响设备及仪器	23
第一节 传声器	23
第二节 声源设备	28
第三节 扬声器及音箱	33
第四节 放大器	46
第五节 前级增音机(调音台)	52
第六节 声频处理设备及其他设备	60
第七节 音响系统常用仪器、工具	72
第八节 音响系统常用辅材	75
习题	81
第三章 公共广播、厅堂音响系统	84
第一节 音响工程的设计基础	84
第二节 广播音响系统的类型与组成	97
第三节 公共广播系统	100
第四节 公共广播系统的工程设计	102
第五节 厅堂音响系统的设计	110
习题	130
第四章 歌舞厅音响系统	131
第一节 歌舞厅音响系统设计特点及分类	131
第二节 歌舞厅音响系统的性能要求	132
第三节 歌舞厅音响系统的方式与设备选择	135

第四节	歌舞厅的音箱布置	141
第五节	歌舞厅音响系统设计实例	144
习题		154
第五章	同声传译与会议系统	155
第一节	会议系统的种类与组成	155
第二节	会议系统的设计	158
第三节	会议系统设计实例	168
习题		171
第六章	卫星电视接收系统与有线电视系统	173
第一节	概述	173
第二节	CATV 系统的主要设备及主要电缆、光纤	174
第三节	CATV 系统的分类、组成与频道	189
第四节	卫星电视接收系统的构成及主要部件	199
第五节	卫星地面接收站站址的选择及抗微波干扰	212
第六节	卫星接收天线的选择、安装及接收站的供电、防雷	216
第七节	CATV 系统的设计 (含卫星电视接收)	219
第八节	CATV 系统的设计举例	230
第九节	CATV 系统施工质量检查及机房布置	239
习题		241
参考文献		243

第一章 电 声 基 础

第一节 概 述

本书所述的音像系统是指广播音响系统、有线电视系统或卫星电视系统。

(1) 广播音响系统 包括一般广播、特殊广播和紧急广播系统。

1) 所谓一般广播音响即为收听音乐和新闻的广播系统,这种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) 特殊广播音响用于宴会厅(或多功能厅)、餐厅、歌舞厅、会议厅,这种系统要求比较高,性能比较完善。

3) 紧急广播系统为发生紧急事件(如地震、火灾等)时,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)将播音器安装于各层的走廊上,宾馆则将播音器直接安装于客房、走道和人员聚集的公共活动场所。

对于智能建筑,一般广播和紧急广播可合为一体统称公众广播音响系统,它的对象为公共场所,在走廊、电梯门厅、电梯轿厢、入口大厅、商场、餐厅、酒吧、宴会厅、天台花园等处装设组合式声柱或分散式扬声器箱。平时播放背景音乐(自动回带循环播放),当发生紧急事件时,强切为事故广播,用它来指挥疏散,故公众广播音响系统的设计应与消防报警系统相互配合,实行分区控制。区域的划分与消防的分区相同。

客房音响的设置,是为了给客人提供音乐欣赏,建立舒适的休息氛围,为了适应不同爱好,一般在床头柜控制板上装设能选听2~3种广播节目的选择开关,客房音响在紧急事件发生时也将被强行切换为紧急广播。

(2) 有线电视系统 以接收电视广播为目的,它以有线传输方式将电视信号分别送到电视系统的各个用户。这样就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处的接收效果(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、DVD和调制器自办节目等。这就要求系统更加完善,更加复杂。

因为有线电视系统不向外界辐射电磁波,以有线闭路形式传送音视频信号(电视信号),所以也被人们称为闭路电视(CATV)系统。实际上有线电视系统由于不断的发展和扩大(有开路又有闭路),因而也被称之为电缆电视系统(Cable Television,缩写为CATV)。

第二节 声音的概念

声学所要讨论的是听觉器官所感觉的现象,它涉及的范围非常之广,本节我们只研究声

音怎样发生、怎样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,不在我们讨论学习范围之内。

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。例如用鼓槌敲击鼓皮,于是鼓皮发生振动而发声;用弓拉琴,于是琴弦发生振动而发声;吹笛,笛腔内的空气柱发生振动而发声;人说话、唱歌,是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。

1. 声源

发生声音的振动源就叫做“声源”,上面提到的,振动着的鼓皮、琴弦、歌手的声带以及轰鸣着的喷气发动机等都是声源。由声源发出的声音必须通过媒体才能传播到我们的耳朵,让我们听到。空气是最常见的媒体,其他媒体如水、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,这些声音就是通过钢轨传来的。没有媒体的帮助人们就无法听到声音,例如在外层空间,由于是真空没有空气及其他媒体,宇航员是无法直接对话的。只能通过无线电波来传送声音。

2. 声波

那么,声音在媒体中是怎样传播的呢?

原来,当声源振动时,它将带动邻近媒体的质点发生振动,而这些质点又会牵动它们自己周围的质点,于是声源的振动就被扩散开来并传播出去。

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。当我们用一根棍子在平静的水面上点动时,就会看见水波源源不断地从被扰动的地方扩散开来并传播出去。由于我们看不见空气的振动,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,我们就会看见水面的声波(波纹会比棍子掀起的水波细密得多)。

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,我们都有这样的感受,闪电过后一段时间我们才听到雷声,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多,声音传播的时间取决于声源的距离和声音的传播速度——即“声速”。在本书中,声速用 c 表示,其单位为米/秒 (m/s)。实验证明,声速主要是由媒体(以及影响媒体的因素)决定的,与声音的其他参数(例如频率、振幅等)无关,即在不同的媒体中,声音的传播速度是不同的,同一媒体因为温度、压力等的不同声音的传播速度也是不同的。如在标准大气压下和温度为 20°C 时,声音在空气中的传播速度约为 344m/s 。工程计算可取 340m/s ,表 1-1 列出在标准大气压下, 0°C 时各种媒体中的声速,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°C ,声速约增加 0.6m/s 。

2. 直射声

人耳接收到的从声源直接传来的声音称直射声，它具有声源本身的特性。

表 1-1 0°C 时各种媒体介质中的声速

媒 体	声速/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	媒 体	声速/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
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/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	温度/ $^{\circ}\text{C}$	声速/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
-30	313	10	338
-20	319	20	344
-10	325	30	349
0	332	100	386

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，我们经常听到的回声就是声波反射所造成的。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。

声波在传播过程中，遇到墙面、天花板或其他各种物体的表同时形成声波反射，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）每秒振动一周为 1Hz

$$1\text{kHz} = 1000\text{Hz}$$

$$1\text{MHz} = 1000\text{kHz} = 1000000\text{Hz}$$

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 λ 表示，其单位为米（m），波长、频率、声速之间的关系为

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

由上述公式可看出,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这个概念。

从式(1-1)中我们还可看出,同一声波在不同媒体中传播,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。一般说来,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。如图1-1a中标出了某一个正弦波上的四个状态点:A、B、C、D。

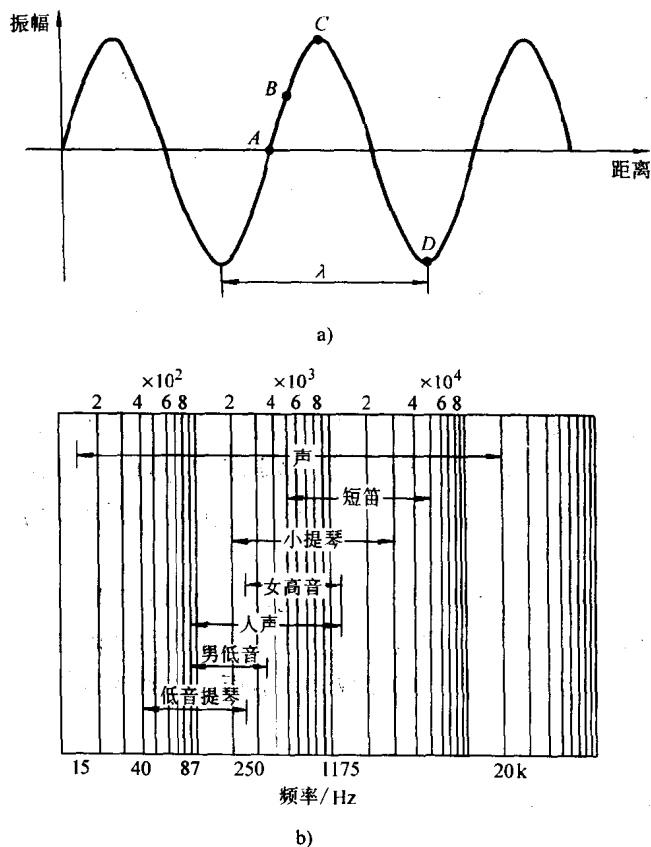


图1-1 声波的相位、振幅与频率

a) 声波的相位、振幅 b) 声波的频率

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° 相位;B点处于向正半峰发展的中间过渡点,称为 45° 相位;C点处于正波峰点,称为 90° 相位;D点处于负波峰点,称为 -90° 相位(也称 270° 相位);也就是说一个周期为 360° 。在一个周波之内,任何一点的相位都是不同的,各对应于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）。至于声波在其起始点的相位则同声源的相位相同。图 1-1b 为声波的频率。

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。

第三节 播音的声学原理

一、声压、声压级与声功率级

1. 声压

在媒体中传播的声音（声波），所到之处会引起媒体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²（N/m²）。

声压是作为声音强弱的一种量度。人耳的感知声压范围在 1kHz 时为 $2 \times 10^{-5} \sim 20\text{Pa}$ ，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（震耳欲痛的声音），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。

$$L_P = 20 \lg \frac{P}{P_0} \quad (1-2)$$

式中 L_P ——声压级（dB）；

P ——声压（Pa）；

P_0 ——参考基础电压，即闻阈 $P_0 = 2 \times 10^{-5}\text{Pa}$ 。

因此人耳的 1kHz 感知声压级范围即为 0dB（可闻阈）至 120dB 声压级（痛阈）。

注：实验表明，人们对声音的强弱感觉并不直接同声压成比例，例如当声压增加至 2 倍时，我们只觉得声音加强了 0.3 倍，当声压分别增至 10 倍、100 倍、1000 倍时，我们的感觉是声音增强了 1 倍、2 倍、3 倍。这种关系恰好与对数（10 为底的对数）关系相符，因此声压级正好用来描述我们的听觉。

声压级也常用 SPL 来表示。在实际声场中的声压级通常是不必计算的，有一种仪器叫做声级计，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的声压级数值。

表 1-3 几种典型情况的声压级数值

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，轻声耳语时声功率为 $0.001\mu\text{W}$ ，而

喷气飞机的声功率可大于 10000W。声功率也常以声功率级 L_w 表示

$$L_w = 10 \lg \frac{W}{W_0} \quad (1-3)$$

式中 W ——声功率 (W);

W_0 ——参考基准声功率, $W_0 = 10^{-12} W$;

L_w ——声功率级。

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

$$L_p = L_w - 20 \lg r - 10.9 \quad (1-4)$$

用于半球面扩散的声源 (如声源靠近地面时)

$$L_p = L_w - 20 \lg r - 7.9 \quad (1-5)$$

上两式中, r 为计算点到声源的距离 (m)。

人耳对声音强弱的辨别能力约为 0.5dB, 一般在 3dB 之内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 做单位, 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, 话筒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, 有的用分贝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 来表示一种绝对的值。例如功率电平以 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

1. 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, 音调并不简单地正比于声音的频率, 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, 因此我们把 20Hz~20kHz 的整个频率区域称做“声频带”或“音频带”。

由频率单一的振动所形成的声音叫做纯音, 由不只一个频率复合的振动所形成的声音叫做复音。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, 我们说每一种声音都具有自己的频谱也叫声谱。一个声音之所以不同于另一个声音, 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

它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,一般说声压越大则响度越大,但响度并不正比于声压,它还与人的生理特性有关。

响度的单位为“方”,声压级为 0dB 的 1kHz 纯音所引起的响度感觉称做 0 方(注意,0 方不是不响,而是仅可听闻的声响)。

3. 音色

它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。

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,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。

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。

当时间差小于 50ms 时,人耳一般难以区分,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。对竖向分辨能力较弱,一般要大于 60° 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。

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,如果凹凸的尺度能和声波波长相当,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,吸收的程度同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“吸收系数”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1-4为常用材料的吸声系数。

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。

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,但对高音的妨碍则不能忽视。

表1-4 吸声系数

材 料	吸声系数 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

(续)

材 料	吸声系数	频率/Hz	125	250	500	1000	2000	4000
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

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某种程度的减弱。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), 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 (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限多个。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)

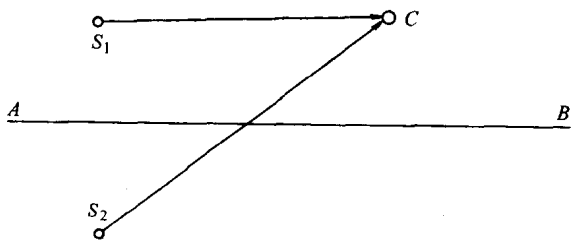


图 1-2 声程对叠加的影响

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，如语音则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

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，称为“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。

但是，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。

2. 混响时间

混响现象常以混响时间来表征。从声源停止发声时刻算起，在室内可以断续听到反射声音的时间称为混响时间。一般将声源停止发声后平均声压级自发声的原始值衰减 60dB 所需的时间规定为混响时间 T_{60} ，也可以说由直达声到达时起，到反射声衰减 60dB 止，中间的时间间隔叫混响时间。

混响时间是评价厅堂声学特性的一项重要指标，也是影响音响工程质量的重要因素。一般厅堂越大，形状越规整，饰面材料的吸声系数越低，则其混响时间便越长，反之，混响时间便会短。厅堂的混响时间可以计算，但一般用仪器测定。由于不同频率的声音其反射和吸收特性不同，所以混响时间同频率有关，通常要测取 125Hz、250Hz、500Hz、1000Hz、2000Hz 和 4000Hz 六个频率点的值。要求不太严格时，也可只测取 500Hz、1000Hz 两点或取其平均值。更简单的一般工程，只取 500Hz 的值作为代表。没有仪器的时候，可站在厅堂中央单击掌，聆听余音时间，用秒表进行估计。

必须注意，空场混响同满场（有听众的时候）混响是不同的，前者要比后者大得多，因为听众是良好的吸声体。

混响时间太长、太短都不好。混响时间太短，则声音显得干涩（俗称“干”）；混响时间太长，则声音显得含糊不清（俗称“湿”）。干和湿是相对的，不同的声音，不同的节目对干湿的要求各不相同。如对于古典音乐，一般认为其最佳混响时间在 1.5~1.7s 之间，流行音乐在 2.0~2.1s 之间等。表 1-5 给出了频率在 500Hz 下混响时间的推荐值，可供工程参考。

表 1-5 混响时间 T_{60} 推荐值

建筑物的用途	混响时间 T_{60}/s	建筑物的用途	混响时间 T_{60}/s
电影院	1.0~1.2	多功能厅堂	~1.5
立体声宽银幕电影院	0.8~1.2	多功能体育场	<2
演讲、话剧、戏剧、小型歌舞	1.0~1.4	语言录音（播音）	0.4~0.5
音乐会、歌剧	1.5~1.8	音乐录音（播音）	1.2~1.5

混响时间主要取决于厅堂的建筑及装修结构，当混响时间过长，可用吊装吸声体、帘

幕、铺设地毯、改变坐席材料等办法来改善。混响时间过短，可用加大电声功率和配置“混响器”等电子手段来补偿。但是“改善”和“补偿”都是有限的。一般地说，要改善太长的混响时间难度较大，不仅要较大的投资，而且建筑结构很难作根本性的改变，小修小补又难于奏效。这对于音响工程来说往往成为一个致命的因素。

五、语言与音乐的声学特性

1. 语言的清晰度

语言听闻条件的最重要指标是语言的清晰度。清晰度可以用听众对预先规定的单音节语音的正确听闻率来表示。

$$\text{音节清晰度} = \frac{\text{听众正确听到的音节数}}{\text{测定用的全部音节数}} \times 100\%$$

音节清晰度大于 85% 为良好，小于 60% 就表示听众费力难猜。

2. 频率范围

语言的频率范围与人的性别和使用的语种等有关，一般在 100~7kHz 之间，男性语言的平均基频一般为 150Hz，男低音歌唱家的基频可低至 66Hz；女性的语言平均基频约为 230Hz，女高音歌唱家可高达 1kHz，且带有许多泛音（谐波），谐波频率可超出 6kHz。语言能量的频率分布集中在 1kHz 以下，以 200~700Hz 最强，不同语种的标准平均频谱略有不同。

音乐的频率范围比语言宽得多，一般在 40Hz~15kHz 之间，音乐的谐波（泛音）成分和结构也比语言复杂得多，音色丰富得多。

3. 声压级范围

人正常讲话时，其平均声功率的为 20μW，在讲话者前方 1m 处的平均声压级约为 66dB，如果大声叫喊则可达 85dB，距离每增加一倍，声压级减少 6dB。

4. 讲话的方向性

讲话者讲话时，其正面声音最强，背面最弱，即有一定的方向性，声音频率越高，方向性越强。

5. 音量的动态特性

一般讲话时，音量的动态变化范围约为 30dB，音乐的更大一些，节奏变化也更快一些，通常约为 45dB，交响乐的音量变化范围可达 50~70dB，迪斯科最高声压超出 105dB。

六、厅堂的传输频率特性

当声源在厅堂中发声时，整个厅堂都会随着发生振动。但是由于厅堂四壁、天花板、地板以及室内陈设对不同频率分量的反射和吸收各不相同，所以对不同的频率会有不同的响应。其中有一些分量特别容易激发振动，从而会在这些频率上发生共振；而在另一些频率上吸收可能特别严重，如果共振或吸收频率分布不均匀，就会使某些声频分量明显加强，某些声频分量明显减弱，产生“声染色现象”（频率失真）。小容积，短形的房间特别容易发生低频共振染色，而形状不规则装饰材料吸音系数大的房间则不容易声染色。

声染色现象可以用“传输频率特性”来评价。在理想情况下，厅堂对不同频率的响应都应该相同，这时，其传输频率特性被称为是“平直”的。就是说，传输频率特性平直即意味