

新编电气与电子信息类本科规划教材·电子信息科学与工程类专业

现代声像技术

(第2版)

严立中 主编 胡学龙 李志军 副主编



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

新编电气与电子信息类本科规划教材
电子信息科学与工程类专业

现代声像技术

(第2版)

严立中 主编
胡学龙 李志军 副主编

电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

本书主要介绍音视频技术的基本原理、关键技术及解决问题的思想方法,不罗列技术细节和标准,也不进行枯燥的数学推导,涉及的专业知识面较宽,形成了较完整的声像知识体系。主要包括:电声技术基础、常用电声系统、模拟音视频信号记录、模拟音视频广播系统、模拟信号数字化、数字视频信号源编码、数字音频信号源编码、数字音视频信号记录、数字视频广播、数字音频广播等,并配套电子课件。

本书可作为高等学校非音响电视专业的工科电气与电子类本科生教材,也可作为高职高专学生教材和电子工程师继续教育的培训教材,还可供相关领域的工程技术人员学习参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

现代声像技术 / 严立中主编. —2版. —北京:电子工业出版社, 2009.5

(新编电气与电子信息类本科规划教材)

ISBN 978-7-121-08752-3

I. 现… II. 严… III. ①音频设备—数字技术—高等学校—教材②视频信号—数字技术—高等学校—教材 IV. TN912.2 TN941.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 065946 号

策划编辑:王羽佳

责任编辑:王羽佳 特约编辑:曹剑锋

印 刷:北京丰源印刷厂

装 订:三河市万和装订厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1 092 1/16 印张:20.25 字数:518.4 千字

印 次:2009 年 5 月第 1 次印刷

印 数:4 000 册 定价:34.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

第2版前言

近年来由于现代声像技术尤其是数字技术在音像产品领域内应用的日新月异,产业界不断地推陈出新,每年都有新理论、新技术、新产品推出,已经使百年以来的传统音像产品发生了天翻地覆的变化。我们的专业课程中每年都需要有新的技术补充、纳入,也会有过时的内容需要删除、淘汰,因此这就使得专业教材需要不断、及时吐故纳新,进行修订、更新。

在未来的5到10年,我国的数字电视产业、高密度光盘产业、宽带多媒体应用和第三代移动通信产业将大规模高速发展,成为影响国民经济的重要产业群。我国制定的AVS标准代表了当前的国际先进水平,为我国构建“技术→专利→标准→芯片与软件→整机与系统制造→数字媒体运营与文化产业”的数字音视频产业链条提供了重要机遇。作为“牵一发而动全身”的基础标准,标准的产业化为众多国内企业所关注。数字音视频产业是一个非常庞大、具有发展潜力的产业。在整个信息产业中,数字音视频已经占了三分之一的天下。随着整个信息产业的发展,数字音视频产业将会成为信息产业的第一大产业支柱,声像技术将成为电子技术人员的通修课程。

本书第1版已经多次重印,为了适应这一形势,本次再版保持原有的体系不变,主要修订了发展较快的有关数字编码和记录技术等内容,具体如下:

1. 第1章:增加界面传声器。
2. 第2章:增加扩声系统计算机辅助声学设计。
3. 第6章:增加视频编码最新的压缩标准:H.264、AVS标准。
4. 第7章:增加AVS音频编码标准。
5. 第8章:修订“其他光盘机”简介;删除SVCD等被市场淘汰的产品;增加最新的蓝光DVD及HDTV记录产品介绍;修订“其他记录方法”,主要增补MP4及一些硬盘记录的产品介绍。
6. 第9章:增加最近出台的中国数字电视地面广播制式。
7. 附录:修订卫星频道内容。

本书提供配套多媒体电子课件,请登录华信教育资源网(<http://www.huaxin.edu.cn>或<http://www.hxedu.com.cn>)注册下载。

修编的不当之处,敬请读者指正。在此,感谢广大读者对本书的关心。

作者
2009年3月

前 言

本书是作者在多年相关课程教学的基础上编写而成的。它以现行专业强调重基础、宽口径为基本指导思想,针对高等学校非音响电视专业的工科电气电子类学生开设的技术课程,较全面、系统地介绍了目前流行的各种声音、图像方面的应用技术及未来的新一代数字声像技术,使学生在先修专业课程的基础上,再增加一层应用面较宽的专业技术知识,以增强就业时的竞争能力。

本书在内容上力求切合时代的发展,对于已趋于淘汰的技术,本书不再涉及,而用较多的篇幅介绍目前普遍应用的技术,并对未来的发展趋势加以阐述。在论述上强调理论与实践相结合,强调基本概念和思想方法,避免冗长而烦琐的数学推导和论证,从工程应用角度去掌握以集成电路模块为基础的技术路线。

本书主要包括:电声技术基础、常用电声系统、模拟音视频信号记录、模拟音视频广播系统、模拟信号数字化、数字视频信号源编码、数字音频信号源编码、数字音视频信号记录、数字视频广播、数字音频广播等。本书的全部内容适用的总学时数建议为48学时。在不同的办学层次下,学时可以进行调整,不一定要全面讲解。作为教学的基本要求,现阶段实用技术集中在第1、2、3、4、8章。针对高等学校,宜拓宽在数字化声像知识方面的视野,进行必要的超前知识储备,以适应未来技术的发展和市场的需要。针对高职高专层次对实用技术的要求,对下一代数字化的理论和实践可做适当删减或进行简单介绍。

本书的第1、2、10章由李志军老师编写,第6、7章由胡学龙老师编写,严立中老师编写了其余各章并负责全书的插图整理和统稿工作。本书由北京联合大学的张燕杰老师担任主审。高和蓓、邓小颖、程茜、高燕、宋鸣等研究生为部分书稿的录入付出了辛勤的劳动。本书的编写工作得到扬州大学出版基金的资助。书中还参考了大量国内外的期刊、专著和教材,在此一并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,声像技术尤其是数字声像技术发展又极为迅速,本书难免出现缺陷和疏漏,望广大读者批评指正。

作 者

2005年3月

目 录

第 1 章 电声技术基础	(1)
1.1 声波	(2)
1.1.1 声波的特性	(2)
1.1.2 声波的度量	(3)
1.1.3 声波的传播	(5)
1.1.4 室内声学	(8)
1.2 人类听觉	(10)
1.2.1 听觉的主观感觉	(10)
1.2.2 听觉效应	(13)
1.2.3 立体声的听觉机理	(14)
1.3 电声系统基本要求	(17)
1.3.1 频率域要求	(17)
1.3.2 非线性失真要求	(17)
1.3.3 动态范围	(18)
1.4 电声器件基础	(19)
1.4.1 扬声器	(19)
1.4.2 音箱	(22)
1.4.3 传声器	(28)
本章小结	(33)
思考题与习题	(34)
第 2 章 常用电声系统	(35)
2.1 扩声系统	(36)
2.1.1 室内扩声	(36)
2.1.2 室外扩声	(41)
2.1.3 专用声频设备	(43)
2.2 立体声系统	(50)
2.2.1 双通路立体声	(51)
2.2.2 多通路环绕声系统	(53)
2.3 扩声系统设计	(55)
2.3.1 体育馆扩声的特点	(55)
2.3.2 体育馆扩声的基本声学要求	(56)
2.3.3 计算机辅助声学设计	(56)
2.3.4 扩声工程实例	(57)
本章小结	(60)

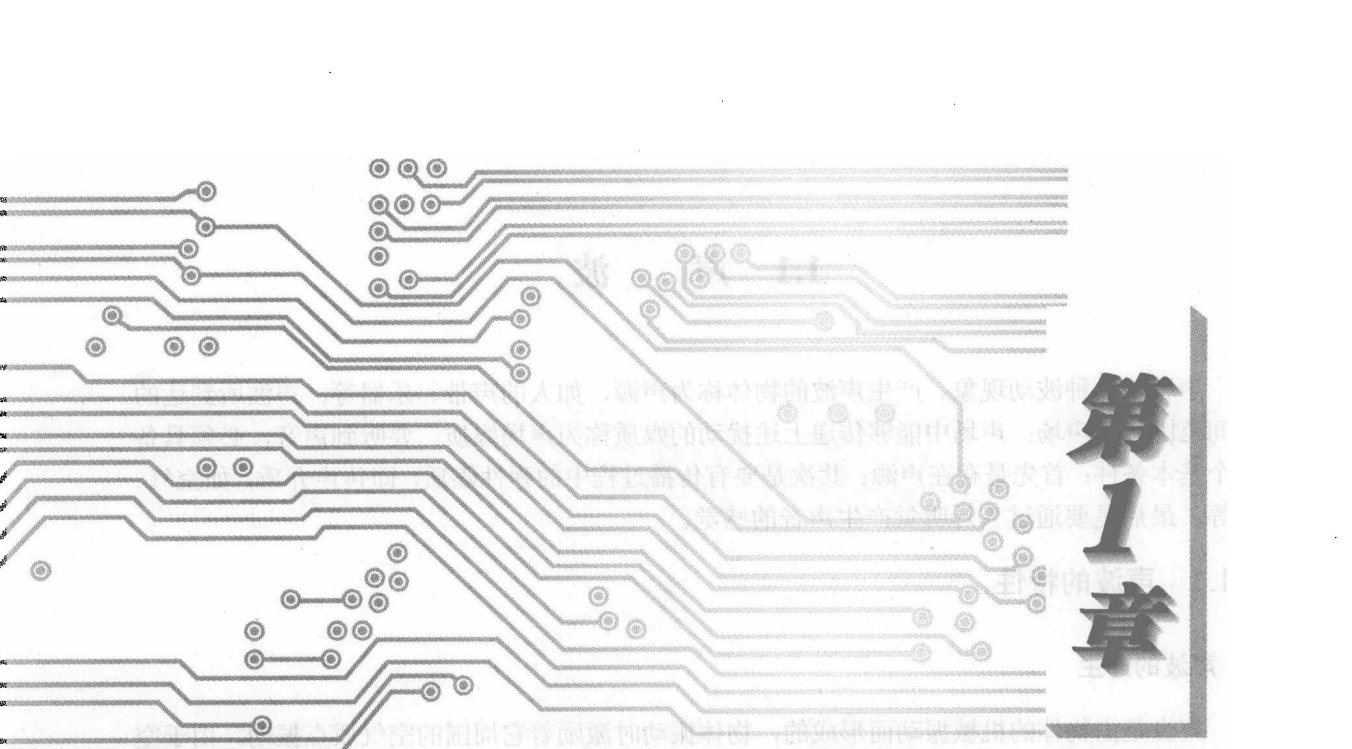
思考题与习题	(61)
第3章 模拟音视频信号记录	(62)
3.1 概述	(63)
3.2 磁性录音	(63)
3.2.1 铁磁原理与磁滞回线	(63)
3.2.2 磁头、磁带与机械芯	(64)
3.2.3 抹音原理与录音偏磁原理	(67)
3.2.4 录放音损耗与频率补偿原理	(69)
3.2.5 磁带录音座和磁带录音机	(72)
3.3 磁性录像	(73)
3.3.1 视频信号记录原理	(74)
3.3.2 磁带录像机的走带机构	(76)
3.3.3 伺服系统	(79)
3.3.4 图像信号系统	(80)
3.3.5 时基误差及其校正	(85)
本章小结	(88)
思考题与习题	(88)
第4章 模拟音视频广播系统	(90)
4.1 概述	(91)
4.2 无线电广播	(91)
4.2.1 AM/FM 广播与接收原理	(91)
4.2.2 FM 立体声广播	(93)
4.2.3 电视地面广播	(96)
4.3 卫星广播电视	(98)
4.3.1 卫星广播电视特点	(99)
4.3.2 卫星运动轨道与接收方位	(99)
4.3.3 卫星广播电视使用的频率	(101)
4.3.4 卫星电视信号传输方式	(102)
4.3.5 卫星广播电视系统组成	(105)
4.3.6 卫星电视接收系统	(107)
4.4 有线电视系统	(110)
4.4.1 CATV 发展史	(110)
4.4.2 CATV 系统组成	(111)
4.4.3 邻频道前端系统	(112)
4.4.4 传输干线	(114)
4.4.5 分配网	(115)
4.4.6 双向传输有线系统	(117)
4.4.7 电视图像质量主观评价	(120)
4.5 高清晰度电视	(121)

4.5.1	高清晰度电视技术发展概况	(121)
4.5.2	数字高清晰度电视节目源标准	(122)
4.6	用户分配网络设计工程实例	(123)
4.6.1	放大器的选择	(124)
4.6.2	传输电缆	(124)
4.6.3	楼内分配网络设计	(125)
4.6.4	放大器信号分配	(128)
	本章小结	(129)
	思考题与习题	(130)
第 5 章	模拟信号数字化	(131)
5.1	概述	(132)
5.2	A/D 转换	(133)
5.2.1	工作原理	(133)
5.2.2	降低量化失真的办法	(135)
5.3	D/A 转换	(137)
5.3.1	D/A 转换器的组成	(137)
5.3.2	附加取样	(138)
	本章小结	(139)
	思考题与习题	(140)
第 6 章	数字视频信号源编码	(141)
6.1	概述	(142)
6.1.1	数据压缩的基本概念	(142)
6.1.2	图像编码压缩的必要性	(143)
6.1.3	图像编码压缩的可能性	(143)
6.1.4	图像编码压缩的技术指标	(144)
6.1.5	数据压缩方法的分类	(146)
6.2	预测编码	(147)
6.2.1	预测编码基本原理	(148)
6.2.2	线性自适应预测编码	(148)
6.2.3	自适应预测编码	(150)
6.3	变换编码	(150)
6.3.1	变换编码的基本原理	(150)
6.3.2	变换编码的系统结构	(151)
6.3.3	变换编码的实现	(151)
6.3.4	离散余弦变换	(153)
6.4	统计编码	(155)
6.4.1	Huffman 编码	(156)
6.4.2	算术编码	(158)
6.4.3	游程长度编码	(159)

6.5	视频压缩编码标准	(159)
6.5.1	JPEG 标准	(160)
6.5.2	MPEG-1 标准	(163)
6.5.3	MPEG-2 标准	(167)
6.5.4	MPEG-4 标准	(170)
6.5.5	H.264 标准	(172)
6.5.6	AVS 标准	(183)
	本章小结	(187)
	思考题与习题	(188)
第 7 章	数字音频信号源编码	(190)
7.1	概述	(191)
7.2	数字音频数据压缩理论	(192)
7.2.1	数字音频数据压缩的基本依据	(192)
7.2.2	听觉掩蔽效应	(193)
7.2.3	编码方法	(196)
7.2.4	联合立体声编码	(197)
7.3	音频编码国际标准	(198)
7.3.1	MPEG-1 音频标准	(198)
7.3.2	MPEG-2 音频标准	(204)
7.3.3	MPEG-4 音频标准简介	(207)
7.3.4	杜比 AC-3	(208)
7.3.5	AVS 音频标准	(210)
	本章小结	(212)
	思考题与习题	(213)
第 8 章	数字音视频信号记录	(215)
8.1	概述	(216)
8.2	信道编码	(216)
8.2.1	纠错技术	(216)
8.2.2	记录调制码	(217)
8.3	光盘机	(219)
8.3.1	光盘	(219)
8.3.2	CD 光盘机	(221)
8.3.3	VCD 光盘机	(226)
8.3.4	DVD 光盘机	(228)
8.3.5	其他光盘机简介	(232)
8.4	其他记录方式	(235)
8.4.1	数字磁带录音机	(236)
8.4.2	数字磁带录像机	(238)
8.4.3	硬盘录像机	(240)

8.4.4	硬盘录音机与数字音频工作站	(241)
8.4.5	固体录放技术	(243)
	本章小结	(248)
	思考题与习题	(248)
第 9 章	数字视频广播	(250)
9.1	概述	(251)
9.2	信道编码技术	(251)
9.2.1	纠错码	(252)
9.2.2	交织	(255)
9.3	信道调制技术	(257)
9.3.1	基带信号成形	(257)
9.3.2	四相键控 (QPSK)	(258)
9.3.3	多电平正交幅度调制 (MQAM)	(258)
9.3.4	多电平残留边带调制 (MVSF)	(259)
9.3.5	正交频分复用调制 (OFDM)	(259)
9.3.6	频谱利用率比较	(260)
9.3.7	格形编码调制 (TCM)	(260)
9.4	数字电视广播制式	(261)
9.4.1	美国 ATSC 标准	(261)
9.4.2	欧洲 DVB 标准	(265)
9.4.3	日本 ISDB 标准	(269)
9.4.4	三种制式比较	(271)
9.4.5	我国数字电视标准	(273)
9.5	演播室系统数字化	(276)
9.5.1	我国音视频广播数字化发展概况	(277)
9.5.2	数字演播室制作设备	(278)
9.5.3	数字广播播控系统	(283)
9.6	卫星地面站工程实例	(285)
9.6.1	卫星接收天线	(285)
9.6.2	卫星接收机输入电平计算	(286)
9.6.3	选址与调整	(287)
	本章小结	(287)
	思考题与习题	(288)
第 10 章	数字音频广播	(289)
10.1	概述	(290)
10.2	Eureka-147 DAB	(290)
10.2.1	Eureka-147 DAB 发展概况	(290)
10.2.2	MUSICAM 信源编码	(291)
10.2.3	COFDM 信道编码与调制技术	(292)

10.2.4 DAB 的覆盖方式	(292)
10.2.5 DAB 所使用的频段	(293)
10.2.6 数字多媒体广播 (DMB)	(294)
10.2.7 DAB 发射机和接收机	(295)
10.3 其他数字音频广播	(296)
10.3.1 IBOC DAB	(296)
10.3.2 世广卫星多媒体广播系统	(296)
10.3.3 数字调幅广播 (DRM)	(297)
本章小结	(299)
思考题与习题	(300)
附录 A 有线电视下行传输系统主要技术参数表	(301)
附录 B 我国上空可收视的部分卫星节目及参数表	(302)
参考文献	(308)



第1章

电声技术基础

内容提要:

本章是有关电声技术的基础知识,是本书中有关声学部分内容的知识基础。本章从工程应用的需要出发,介绍了声波的物理知识、人类听觉的各种感觉及常用电声器件(扬声器、音箱及传声器)的工作原理。这些基础知识无论对于理解后续内容,还是从事电声工程的设计都是很重要的。

知识要点:

- 声波的特性、度量及传播,室内声学
- 人类听觉的强度感觉、频率感觉、立体声原理
- 电声系统基本要求、扬声器、音箱和传声器的工作原理及性能指标

教学建议:

本章的教学建议安排6学时。本章授课以扬声器、音箱和传声器的工作原理、性能指标,以及电声系统和室内声学的基本要求为重点。掌握这些内容对于工程实践应用有重大意义。同时了解声波的传播特性及人类听觉的各种感觉效应,有助于室内声学的设计及电声器件的选用。

1.1 声 波

声音是一种波动现象。产生声波的物体称为声源,如人的声带、乐器等;声波所到达的空间范围称为声场;声场中能够传递上述扰动的媒质称为声场媒质。要听到声音,必须具备三个基本条件:首先是存在声源;其次是要有传播过程中的弹性媒质,即传声介质,如空气、水等;最后是要通过人耳听觉产生声音的感觉。

1.1.1 声波的特性

1. 声波的产生

声音是由物体的机械振动而形成的,物体振动时激励着它周围的空气质点振动,由于空气具有惯性和弹性,在空气质点的相互作用下,振动物体四周的空气交替地产生压缩与膨胀,并且逐渐向外传播形成声波。声源产生的声波,只有通过媒质中质点间的相互作用,才能由近及远地使声波在媒质中向外传播,但质点并不是随波前进的,而是在各自的位置附近振动。例如,用弓拉琴,琴弦发生振动而发声;把音频电流送入扬声器,扬声器的纸盆发生振动而发声。

如果质点的振动方向和波的传播方向相互垂直,则称这种波为横波;如果质点的振动方向和波的传播方向相互平行,则称这种波为纵波。在空气中传播的声波是纵波。

2. 声波的传播速度

声波在媒质中每秒传播的路程称为声波的传播速度,简称为声速,用 c 表示,单位为 m/s 。实验证明,声速主要是由媒质决定的,与声音的其他参数(如频率、强度等)无关。声波可以在气体中传播,也可以在液体或固体中传播。声波在媒质中的传播速度与媒质的密度、弹性及温度有关。

空气的温度越高,声速越大。温度每增加 1°C ,声速增加 0.607 m/s ,当媒质为空气时,声速 c 与温度 t 的关系为:

$$c = 20.05\sqrt{273+t} \quad (1.1)$$

式中, t 是摄氏温度,经计算可得 0°C 时空气的声速为 331.3 m/s ,在室温 20°C 时,空气的声速为 343.2 m/s ,一般取值 340 m/s 。

声音在固体中传播的速度最快,其次是液体,再次是气体。例如,声音在水中的传播速度一般是 1485 m/s ,而在木材和钢材中的声速分别为 3320 m/s 和 5000 m/s 。所以将耳朵贴近铁轨,能听到较远处开动着的火车的声音。

3. 声波的频率、波长、周期及相位

声波在空气媒质中传播,会使空气中的气压形成一次疏密的变化。当声源完成一次振动,空气中的气压形成一次疏密变化所经历的时间称为一个周期,记做 T ,单位为秒 (s)。周期

的倒数, 即 $f = 1/T$ 称为声源的频率, 它表示 1 s 内声源振动的次数或空气中气压疏密变化的次数, 单位为赫兹 (Hz), 辅助单位为千赫 (kHz) 和兆赫 (MHz)。

对于周期性声波, 其谐波频率是基频的整数倍。用傅里叶分析方法, 可以把任意周期性声波分解成一系列谐波。当声波作简谐振动时, 其物理量随时间按正弦波形或余弦波形规律变化。简谐声波可描述如下:

$$A(t) = A_m \sin(\omega t + \theta) \quad (1.2)$$

式中, A_m 是幅值, ω 是角频率, θ 是初始相位, 时间 t 是自变量。

声波振动一个周期, 所传播的路程称为声波的波长, 记做 λ , 单位为米 (m)。如果声波是在水面传播的, 会看到许多波峰, 相邻的两个波峰之间的距离就是波长。

波长、频率、声速之间有确定的关系:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1.3)$$

可见, 在一定的传声介质中, 频率越高则波长越短, 即波长与频率成反比。例如, 在常温的空气中, 当频率为 125 Hz 时, 波长约为 2.72 m; 当频率为 500 Hz 时, 波长约为 0.68 m; 当频率为 4000 Hz 时, 波长只有 0.085 m 左右。

不是所有的声波都能被人耳听见, 只有频率在 20~20 000 Hz 范围内的声音才能被人听到, 该频率范围内的声音称为可闻声。对于可闻声频率的上限及下限, 不同的人感觉有相当大的差异, 而且与声音的声压级也有关系。有资料表明依据对人耳的研究, 听觉下限可低到 8 Hz, 年轻人听觉上限可达 20 kHz, 中老年人只能听到 12~16 kHz 以下的声音。频率超过 20 kHz 的声音称为超声波, 频率低于 20 Hz 的声音称为次声波。可闻声频率范围以外的声波不能引起听觉, 所以通常电声设备以 20~20 000 Hz 为工作频率范围。虽然高于 20 kHz 频率的声音人耳听不到, 但由于人的声学心理特性, 仍可以感觉到它的存在。鉴于这个原因, 国外某些音响产品的工作频率上限为 50 kHz, 甚至调音台的最高工作频率设计到 100 kHz, 这种做法对于音乐节目的音质和音色均有一定的补充作用。低于 20 Hz 的次声人也可感觉到。

相位简称为相。声波的相位用来描述简谐振动 (正弦振动或余弦振动) 在某一个瞬间的状态。相位用相位角表示。理解相位的物理概念, 对于理解声波的叠加、干涉, 以及电声设备 (如扬声器等) 的正确连接都有重要意义。

1.1.2 声波的度量

1. 声压、声强、声功率

声波在空气中传播时, 引起介质质点振动, 使空气产生疏密变化, 这种由于声波振动而对介质 (空气) 产生的压力称为声压, 以 P 表示, 单位为帕 (Pa) 或牛顿/米² (N/m²), 声压的另一个单位是微巴 (μbar)

$$1 \text{ Pa} = 10 \mu\text{bar}$$

声压可作为声音强弱的一种度量。仅可听闻的 1 kHz 的声音, 其声压约为 $2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$, 这个声压值叫做闻阈值, 又称声压阈常数。另一方面, 震耳欲聋的声音, 使人耳产生痛的感觉, 再也不能分辨其大小, 其声压约为 20 Pa, 这个声压值叫做痛阈值。

声功率指声源在单位时间内辐射的总能量。用符号 W 表示, 单位是瓦 (W)。电声系统中所用的放大器的电功率通常为几十瓦, 但一般纸盆扬声器的效率只有百分之几到千分之几, 它辐射的声功率很小。声功率与声压的区别在于, 一个是能量关系, 另一个是压力关系。声功率与声压一样, 其范围很宽。例如, 轻声耳语的声功率只有 $0.001 \mu\text{W}$, 一般人讲话的声功率也不过几十微瓦 (约 $20 \mu\text{W}$), 而喷气式飞机的声功率则大于 $10\,000 \text{ W}$, 相差数十亿倍。

声强也是衡量声波在传播过程中声音强弱的物理量。声场中某点的声强, 是指在单位时间内 (每秒) 声波通过垂直于声波传播方向单位面积的声能量, 用符号 I 表示, 单位为瓦/米² (W/m^2), 若声能通过的面积为 S , 则声强为:

$$I = \frac{W}{S} \quad (1.4)$$

如果声源均匀地向四周辐射声波, 则由于声能在球面上分散, 声强将与距离的平方成反比, 即距离加倍时声强减至原来的 $1/4$ 。声强随与声源距离的增加按平方规律成反比的减小, 称为平方反比定律。该定律对粗略地估计扬声器周围远近的声音强弱有一定指导意义。

2. 声压级、声强级和声功率级

实验表明, 人们对声音强弱的感觉并不直接与声压或声强的大小成比例。例如, 当声强增加至 2 倍时, 我们只觉得声音加强了 0.3 倍; 当声强分别增至 10 倍、100 倍、1000 倍时, 我们的感觉是声音增强了 1 倍、2 倍、3 倍。这种关系恰好同数学中的对数关系相符。因此, 常采用按对数方式分级的办法表示声音的大小, 这就是声压级、声强级和声功率级。

声压级定义为声压 P 与基准声压 P_r 的比值取对数乘以 20, 声压级 L_p 的数学表达式如下:

$$L_p = 20 \lg \frac{P}{P_r} \quad (1.5)$$

式中, $P_r = 2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$, 为 1 kHz 的声音闻阈声压值。

下面列出几种典型情况下的声压级数值。

- 仅可听闻的纯音: 0 dB。
- 窃窃私语: 20~35 dB。
- 面对面说话的声音: 60~70 dB。
- 一般乐队: 40~60 dB。
- 交响乐演奏高潮: 90~100 dB。
- 喷气式飞机起飞现场: 140 dB。
- 空调运行时: 小于等于 40 dB。

声强级的计算公式为:

$$L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0} \quad (1.6)$$

式中, I_0 为闻阈声强值, 通常取 $1 \times 10^{-12} \text{ W}/\text{m}^2$ 。在空气中, 标准状态下, $L_I = L_p - 0.1 \text{ dB}$, 声强级和声压级之间的差别可以忽略。

声功率级 L_W 是指测量的声功率 W 与基准声功率 W_r 的比值取对数乘以 10:

$$L_W = 10 \lg \frac{W}{W_r} \quad (1.7)$$

式中, 基准声功率 W_r 通常取 $1 \times 10^{-12} \text{ W}$, 是 1 kHz 的闻阈声功率值。

1.1.3 声波的传播

声波在空中传播时, 常会遇到障碍物、反射体及不同的媒质, 甚至还会与其他声波相遇、相叠加。声波具有波动性和粒子性两种表现形式, 有时明显表现为波动性, 有时又具有强烈的粒子性, 有时又二者兼而有之。了解声波在不同环境下的传播规律, 对于学习声学知识非常重要。

1. 声波的反射与吸收

当声波在传播过程中遇到墙等不同介质时, 在两个介质的交界面处, 波速将发生突变 (在空气中声速为 340 m/s, 砖或混凝土中声速约为 4000 m/s), 此时入射波的一部分被反射, 形成反射波, 这种现象称为波的反射。这与光线投射到障碍物时的情形相似, 它遵守波的反射定律:

- ① 入射线与反射线在法线的两侧;
- ② 入射线、反射线和反射面的法线在同一平面内;
- ③ 入射角等于反射角。

为了便于描述声音的入射和反射, 通常用一条射线代表声波, 如图 1.1 所示。

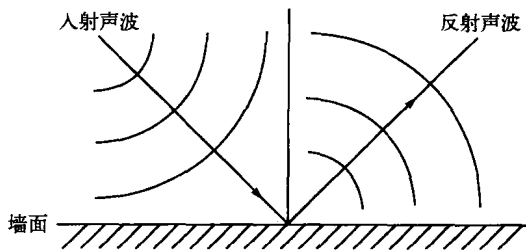


图 1.1 声波的反射现象

当障碍物表面凹凸不平时, 如果表面高低起伏不大, 则其反射特性与光滑表面相似; 如果表面高低起伏较大, 其尺度能与波长相比, 则反射线会散向四面八方, 形成漫反射 (或称为散射)。不过, 即使障碍物的尺寸足够大, 能够把入射声波全部反射回去的障碍物也是很少的, 或者说几乎没有。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。

设单位时间内入射到物体上的总声能为 E_0 , 反射的声能为 E_r , 物体吸收的声能为 E_a , 透过物体的声能为 E_t , 则:

$$E_0 = E_r + E_a + E_t \quad (1.8)$$

透射声能与入射声能之比称为透射系数 τ , 即 $\tau = E_t / E_0$; 反射声能与入射声能之比称为反射系数 γ , 即 $\gamma = E_r / E_0$ 。

通常将 τ 值小的材料用做隔声材料, 将 γ 值小的材料用做吸声材料。从入射波与反射波

所在的空间考虑, 定义材料的吸声系数为 α :

$$\alpha = 1 - \gamma = 1 - \frac{E_r}{E_0} = \frac{E_r + E_a}{E_0} \quad (1.9)$$

当 $\alpha = 0$ 时, 入射声能全部被反射; 当 $\alpha = 1$ 时, 入射声能全部被吸收。因此, 材料的吸声系数值在0~1之间。例如, 入射声能的55%被吸收, 其余的45%被反射, 则该材料的吸声系数 $\alpha = 0.55$ 。吸声系数 α 的值越大, 吸声性能越好。室内常见饰面材料的吸声系数如表1.1所示。

表 1.1 常见饰面材料的吸声系数

材料 \ 频率/Hz	125	250	500	1000	2000	4000
石棉	0.26	0.35	0.50	0.46	0.52	0.55
玻璃纤维	0.15	0.38	0.81	0.83	0.79	0.74
玻璃窗	0.35	0.25	0.18	0.12	0.02	0.04
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
石棉板	0.02	0.03	0.05	0.06	0.11	0.28
硬聚氯乙烯泡沫塑料板	0.04	0.04	0.17	0.56	0.28	0.58
微孔聚酯泡沫塑料	0.10	0.14	0.26	0.50	0.82	0.77
粗孔聚酯泡沫塑料	0.06	0.10	0.20	0.59	0.68	0.85
混凝土(水泥)	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
瓷砖	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
木地板	0.15	0.11	0.10	0.07	0.06	0.07
毛地毯(厚10 mm)	0.10	0.10	0.20	0.25	0.30	0.35
人造革沙发	0.10	0.15	0.24	0.32	0.28	0.29
五合板穿孔 $\phi 5$, 离墙20 cm	0.36	0.20	0.14	0.07	0.06	0.15
丝绒幕布(0.25~0.3 kg/m ²)	0.10	0.25	0.55	0.65	0.70	0.70

表中的数据表明: 坚硬、光滑、结构紧密的材料吸声能力差, 反射性能好, 如大理石、混凝土等; 粗糙、松软、具有互相贯穿的内外微孔的多孔材料吸声能力好, 反射性能差, 如石棉、玻璃纤维、丝绒幕布等。

吸声系数的大小不仅取决于材料本身的吸声系数, 还与声音的频率有关。这里要指出的是, 由于一个声音通常包含着许多频率不同的分量, 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的过程中衰减, 造成高音不足, 从而导致清晰度下降的现象。在工程设计中需要提醒的是: 凹曲面反射的特点会使声音会聚于某一区域, 出现声焦点, 从而造成声场分布不均匀, 这在室内音质设计中应注意防止。凸曲面对入射声波有明显的散射作用, 它有助于声场的均匀扩散。实际应用中, 常把厅堂内的墙面或天花板处理为不同的形状, 如设计成平面与凸起的结合, 除此之外还可以在墙上铺设不同吸声系数的材料。

空气也会吸声, 不过其吸声系数较小, 工程上常予以忽略。