

新版

21世纪

高职高专系列教材

音响技术及应用

◎黄永定 主编

◎李文革 副主编

◎何丽梅 主审

◀ 提供电子教案增值服务



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



21 世纪高职高专系列教材

音响技术及应用

主 编 黄永定

副主编 李文革

参 编 马 良 牛险峰 吕 丽

刘 莹 王 玲 赵忠凯

主 审 何丽梅



机械工业出版社

本书内容包括：电声学基础，节目源设备的种类、结构、工作原理，Hi-Fi 功放、家庭影院 AV 系统的配接与使用，调音台调音技术以及压缩器、延迟器、反馈抑制器、频率均衡器、混响器等专业音频信号处理器及公共广播设备的使用方法、典型电路分析、测试、故障诊断、检测技术。

本书为高职高专应用电子技术、电子声像技术、电化教学和广播电视技术等相关专业课程的教学用书，也适合在企事业单位、宾馆、娱乐场所、体育场馆中从事音响设备相关工作的工程技术人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

音响技术及应用/黄永定主编. —北京：机械工业出版社，2007.9

(21 世纪高职高专系列教材)

ISBN 978-7-111-21814-2

I. 音… II. 黄… III. 音频设备—高等学校：技术学校—教材 IV. TN912.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 099951 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：刘亚军 版式设计：霍永明

责任校对：申春香 责任印制：洪汉军

北京铭成印刷有限公司印刷

2007 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 20.5 印张 · 504 千字

0001—5000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-21814-2

定价：29.00 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)88379739

封面无防伪标均为盗版

21 世纪高职高专电子技术专业系列教材 编委会成员名单

主 任 曹建林

副 主 任 张中洲 张福强 祖 炬 董维佳

俞 宁 蒋蒙安 吕何新 伍湘彬

任德齐 华永平 吴元凯

委 员 (按姓氏笔画排序)

马 彪 邓 红 王树忠 王新新 尹立贤

白直灿 包中婷 冯满顺 华天京 吉雪峰

刘美玲 刘 涛 孙吉云 孙津平 朱晓红

李菊芳 邢树忠 陈子聪 杨元挺 张立群

张锡平 苟爱梅 姚建永 曹 毅 崔金辉

黄永定 章大钧 彭文敏 曾日波 谭克清

秘 书 长 胡毓坚

副秘书长 戴红霞

出版说明

根据《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》中提出的高等职业院校必须把培养学生动手能力、实践能力和可持续发展能力放在突出的地位,促进学生技能的培养,以及教材内容要紧密结合生产实际,并注意及时跟踪先进技术的发展等指导精神,机械工业出版社组织全国近60所高等职业院校的骨干教师对在2001年出版的“面向21世纪高职高专系列教材”进行了全面的修订和增补,并更名为“21世纪高职高专系列教材”。

本系列教材是由高职高专计算机专业、电子技术专业和机电专业教材编委会分别会同各高职高专院校的一线骨干教师,针对相关专业的课程设置,融合教学中的实践经验,同时吸收高等职业教育改革的成果而编写完成的,具有“定位准确、注重能力、内容创新、结构合理和叙述通俗”的编写特色。在几年的教学实践中,本系列教材获得了较高的评价,并有多品种被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。在修订和增补过程中,除了保持原有特色外,针对课程的不同性质采取了不同的优化措施。其中,核心基础课的教材在保持扎实的理论基础的同时,增加实训和习题;实践性较强的课程强调理论与实训紧密结合;涉及实用技术的课程则在教材中引入了最新的知识、技术、工艺和方法。同时,根据实际教学的需要对部分课程进行了整合。

归纳起来,本系列教材具有以下特点:

- (1) 围绕培养学生的职业技能这条主线来设计教材的结构、内容和形式。
- (2) 合理安排基础知识和实践知识的比例。基础知识以“必需、够用”为度,强调专业技术应用能力的训练,适当增加实训环节。
- (3) 符合高职学生的知识基础和学习特点。对基本理论和方法的论述要容易理解、清晰简洁,多用图表来表达信息;增加相关技术在生产中的应用实例,引导学生主动学习。
- (4) 教材内容紧随技术和经济的发展而更新,及时将新知识、新技术、新工艺和新案例等引入教材。同时注重吸收最新的教学理念,并积极支持新专业的教材建设。
- (5) 注重立体化教材建设。通过主教材、电子教案、配套素材光盘、实训指导和习题及解答等教学资源的有机结合,提高教学服务水平,为高素质技能型人才的培养创造良好的条件。

由于我国高等职业教育改革和发展的速度很快,加之我们的水平和经验有限,因此在教材的编写和出版过程中难免出现问题和错误。我们恳请使用这套教材的师生及时向我们反馈质量信息,以利于我们今后不断改进教材的出版质量,为广大师生提供更多、更适用的教材。

机械工业出版社

前 言

本教材根据当前高等职业学校应用电子技术专业的特点,按照全面实施素质教育,加强学生能力培养为主线的教学模式和教材体系而编写的。在编写过程中,本书作者力图体现以下特点:

1. 突出内容的实用性。以应用电子技术专业所需的实际工作技能为出发点来编排教材内容。将学生必须掌握的各个知识点和能力点有机地组合起来,摒弃了一些过时的、实用意义不大的内容。在精选教材内容的过程中,参照了国家电子产品维修中级工等级鉴定与考核的内容要求与标准,使学生的专业学习与社会考证相结合,以提高就业竞争力。

2. 突出知识的新颖性。教材中突出了新知识、新技术、新技能、新产品的应用;加强了数字调谐器、立体声录音座的电子逻辑控制、激光唱机的数字信号处理、数字式扬声器的结构与原理、AV系统的杜比AC-3和DTS环绕声处理器等知识的介绍。

3. 突出典型电路的分析。音响设备种类繁多,电路繁杂,缺少相应的产品标准。在教材编写中,精选最具典型的音响产品,作为典型整机电路进行分析,同时将各部分的局部电路的分析与整机电路紧密联系起来,将局部电路的分析围绕着整机电路而展开,避免课程内容的分散、繁杂,提高了学生对音响课程的学习兴趣和学习效果。

4. 突出结构编排与文字表述的逻辑性。教材内容的组织与编排,既符合知识逻辑的顺序,又着眼于专业岗位群的规范要求,更符合学生的思维发展规律。文字表述通俗易懂,语言精炼,深入浅出,使学生容易理解、接受和掌握。

5. 突出知识点和能力点的递进性。本教材所选取的内容和教学进程安排等方面,本着由浅入深、循序渐进的原则,将教学内容、技能和能力点分为学会、懂得、熟练几个层次。这既符合不同地区、不同岗位群、不同生源的高职学生的选择和使用,又符合学生的心理特征,实现教学目标因地制宜的要求。

本书与以往音响类教材的最大不同之处在于,它不仅论述了家用音响设备的原理、使用和维修基础,而且增编了调音台、压缩器、延迟器、反馈抑制器、频率均衡器、混响器等专业音响设备方面的内容。其中的专业节目源设备的功能和拾录音方法、调音台的应用技术、常用音频信号处理器的使用方法、专业音响工程的设计和调音技术、功率放大器与音箱的选配方法等知识都可为学生毕业后从事音响设备的营销以及娱乐场所调音、电脑音乐(MIDI)制作等技术工作打下坚实的基础。

为了配合教学,本书提供了电子教案,需要者可在机械工业出版社的网站 www.cmpbook.com 上下载。

本书由黄永定主编并统稿,山东电子职业技术学院李文革任副主编并编写第2章和第5章,吉林信息工程学校牛险峰编写第1章和第4章,延边工业学校吕丽编写第3章,吉林机电工程学校马良编写第6章,吉林机械工业学校刘莹编写第7章,白城师范学院王玲编写第8章,吉林信息工程学校赵忠凯编写第9章。吉林信息工程学校何丽梅担任主审。

因编者水平有限,书中难免有不妥与疏漏之处,欢迎读者批评指正。

编 者

目 录

出版说明

前言

第1章 电声学基础..... 1

1.1 声音的基本性质 1

1.1.1 声音的产生与传播 1

1.1.2 频率、波长与声速 2

1.1.3 声波的反射与绕射 3

1.2 声音大小的量度 6

1.2.1 声压、声强和声功率 6

1.2.2 声压级、声强级和声功率级 7

1.3 人耳听觉特性 7

1.3.1 声音三要素 7

1.3.2 掩蔽效应 10

1.3.3 哈斯效应 11

1.3.4 德·波埃效应 12

1.3.5 人耳对声音变化的分辨力 12

1.4 立体声原理 14

1.4.1 室内声场与混响 14

1.4.2 立体声的特点 14

1.4.3 高保真度 16

1.4.4 声源方位的判断——双耳效应 16

1.5 思考与练习题 18

第2章 音响系统 19

2.1 音响系统概述 19

2.1.1 音响的概念 19

2.1.2 音响系统的主要技术指标 19

2.1.3 音响系统的作用 21

2.2 音响系统的分类 21

2.2.1 家用音响系统 22

2.2.2 专业音响系统 24

2.3 思考与练习题 28

第3章 音响系统的节目源设备 29

3.1 调谐器 29

3.1.1 调谐器的结构与性能指标 29

3.1.2 无线电广播的发送与接收 31

3.1.3 调幅接收电路分析 34

3.1.4 调频广播与调频接收机 40

3.1.5 调频接收电路分析 43

3.1.6 数字调谐系统 54

3.1.7 调谐器故障及检修 58

3.2 磁带录音机 62

3.2.1 磁带录音机原理 62

3.2.2 录音机的主要性能指标 65

3.2.3 盒式磁带 68

3.2.4 录音座 69

3.2.5 录音座的录放音电路 70

3.2.6 降噪电路 75

3.2.7 录音座的选用与维护 78

3.3 CD 激光唱机 82

3.3.1 数字音响技术基础 82

3.3.2 CD 唱片 85

3.3.3 CD 唱机 86

3.3.4 激光拾音器 88

3.3.5 聚焦伺服和循迹伺服 90

3.3.6 CD 唱机的技术性能 93

3.4 激光唱机的使用与维修 94

3.4.1 激光唱机的使用方法 94

3.4.2 激光唱机的维修 96

3.5 思考与练习题 97

第4章 音频放大器 99

4.1 前置放大器 99

4.1.1 前置放大器概述 99

4.1.2 输入放大电路 103

4.1.3 音调控制电路 104

4.1.4 音量控制电路 107

4.1.5 响度控制电路 110

4.1.6 立体声平衡控制电路 112

4.1.7 立体声扩展电路 115

4.1.8 其他电路	116	5.2.2 扬声器的主要技术指标	174
4.2 前置放大器的故障及检修	121	5.2.3 扬声器的选用原则	176
4.2.1 功能转换电路的故障及检修 ...	121	5.3 分频器	176
4.2.2 音调控制电路的故障及检修 ...	121	5.3.1 分频器的作用	176
4.2.3 音量控制电路的故障及检修 ...	122	5.3.2 分频器的种类	177
4.2.4 电平指示电路的故障及检修 ...	123	5.3.3 常见分频网络的电路形式	179
4.3 功率放大器概述	124	5.3.4 电子分频器的使用	180
4.4 OTL 功率放大器	129	5.4 音箱	182
4.4.1 OTL 功率放大器的特点与 基本工作原理	129	5.4.1 音箱的作用	182
4.4.2 典型 OTL 功放电路分析	130	5.4.2 音箱的分类	183
4.4.3 复合管 OTL 功率放大器	132	5.4.3 超低音音箱	186
4.4.4 集成电路 OTL 功率放大器	133	5.4.4 音箱的选择与检修	190
4.5 OCL 功率放大器	136	5.5 思考与练习题	194
4.5.1 OCL 功率放大器的特点与 基本工作原理	136	第 6 章 家庭影院 AV 系统	195
4.5.2 分立元件 OCL 功放电路	137	6.1 家庭影院 AV 系统的 组成与特点	195
4.5.3 集成电路 OCL 功率放大器	138	6.1.1 AV 系统的组成	195
4.6 BTL 功率放大器	139	6.1.2 AV 功率放大器的特点	197
4.6.1 BTL 功率放大器的基本 结构与特点	140	6.1.3 AV 功率放大器实例	198
4.6.2 BTL 功率放大器的基本 工作原理	140	6.1.4 AV 功率放大器的电源电路	198
4.6.3 集成电路 BTL 功率放大器	141	6.2 环绕声解码器	201
4.7 功率放大器的故障分析与检修 ...	142	6.2.1 杜比环绕声和杜比专业 逻辑环绕声	202
4.8 电子管功率放大器	144	6.2.2 THX 家庭影院系统	204
4.8.1 电子管的基础知识	144	6.2.3 杜比 AC-3	206
4.8.2 电子三极管电压放大电路	146	6.2.4 DTS 系统	208
4.8.3 电子管功率放大器的基本原理 ...	148	6.2.5 DSP 环绕声处理器	208
4.8.4 实用电子管功率放大器	150	6.2.6 环绕立体声信号处理电路实例 ...	211
4.9 思考与练习题	153	6.3 家庭影院 AV 系统的配置	214
第 5 章 声电转换与电声转换	155	6.3.1 AV 系统的配置方案	214
5.1 传声器	155	6.3.2 AV 系统器材的选配	215
5.1.1 传声器的分类及其结构	155	6.4 AV 放大器常见故障与检修	222
5.1.2 传声器的技术指标	163	6.5 思考与练习题	225
5.1.3 传声器的使用	165	第 7 章 调音台	226
5.1.4 传声器的故障及维修	167	7.1 调音台的分类与作用	226
5.2 扬声器	168	7.1.1 调音台的分类	226
5.2.1 扬声器的分类	168	7.1.2 调音台的基本功能	227
		7.2 调音台的组成与性能指标	228
		7.2.1 调音台的组成	228

7.2.2 调音台的主要性能指标	233	8.4 压缩器、限制器、噪声门	276
7.3 调音台系统的接法与使用	234	8.4.1 压缩器和限制器的作用与特性	276
7.3.1 调音台系统的基本接法	234	8.4.2 压限器与扩声系统的连接	281
7.3.2 调音台与周边设备的连接	235	8.4.3 噪声门	283
7.3.3 调音台的操作要点	237	8.5 思考与练习题	285
7.3.4 调音台上的音色和效果的调控	237	第9章 歌舞厅音响系统	286
7.4 调音台操作实例	238	9.1 厅堂扩声系统的类型与要求	286
7.4.1 面板各旋钮和插孔的作用	240	9.1.1 厅堂扩声概述	286
7.4.2 MX-200 型调音台分析	242	9.1.2 厅堂扩声对音质的一般要求	287
7.4.3 MX-200 调音台的调控	245	9.1.3 音质评价用语与客观技术 指标的关系	291
7.4.4 数字信号效果处理器的应用	247	9.2 歌舞厅音响系统的设计	293
7.4.5 图示均衡器的调整	248	9.2.1 大厅和小室的声学设计特点	293
7.5 调音台的调音技巧	249	9.2.2 卡拉 OK 歌舞厅的音响 系统设计要求	295
7.5.1 各类乐器乐音的拾音、 调音技巧	249	9.2.3 声压级与扬声器电功率的计算	297
7.5.2 语音演唱调音技巧	254	9.2.4 音响设备的选择	298
7.6 思考与练习题	256	9.2.5 吸声材料	301
第8章 专业音频信号处理设备	258	9.3 歌舞厅的音箱布置	303
8.1 频率均衡器	258	9.3.1 立体声音箱的布置	303
8.1.1 频率均衡器的作用和类型	258	9.3.2 卡拉 OK 歌厅音箱的布置	306
8.1.2 均衡器的主要技术指标	260	9.3.3 迪斯科舞厅的音箱布置	307
8.1.3 均衡器的操作使用	261	9.4 多功能歌舞厅设计举例	307
8.2 反馈抑制器	263	9.5 音响系统的配接与稳定性	309
8.2.1 反馈抑制器的基本原理	264	9.5.1 常用配接插头和接线	310
8.2.2 Sabine FBX 系列反馈 抑制器简介	264	9.5.2 系统的配接考虑	312
8.2.3 Sabine FBX-901 型反馈抑制 器的使用	266	9.5.3 音响调整	313
8.3 延迟器与混响器	269	9.5.4 扩声系统的声反馈抑制	314
8.3.1 延迟器	269	9.6 思考与练习题	316
8.3.2 混响器	272	参考文献	317

第1章 电声学基础

本章要点

- 声音的产生与传播
- 声音大小的量度
- 声音三要素
- 立体声的特点
- 人耳的听觉特性

1.1 声音的基本性质

1.1.1 声音的产生与传播

声音产生于物体的振动。例如，讲话声音产生于喉管内声带的振动，喇叭(扬声器)的发声产生于纸盆的振动，机械噪声产生于机械部件的振动，等等。能够发出声音的物体称为声源。

声源发声后，还要经过一定的媒质才能向外传播。例如喇叭发声，当外加信号使喇叭纸盆来回振动时，随之也使它邻近的空气振动起来。当纸盆向某个方向振动时，便压缩其邻近空气，使这部分空气变密；当纸盆向相反方向振动时，这部分空气变稀疏。邻近空气这样一疏一密地随着纸盆的振动而振动，并使较远的空气做同样的振动，空气这种一疏一密地振动传播的波叫做声波，如图 1-1 所示。

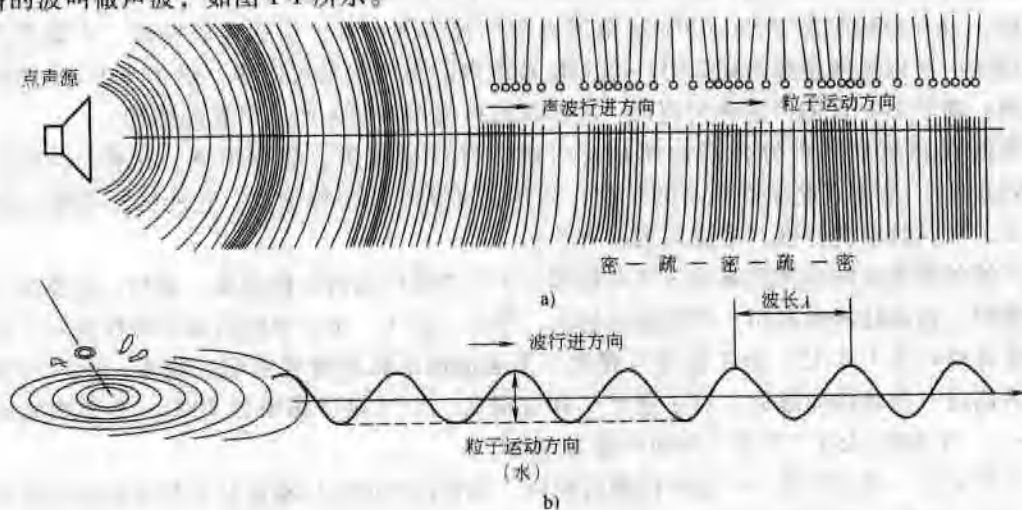


图 1-1 声波的传播

a) 声波(纵波) b) 水面波(横波)

声波以一定的速度向四面八方传播,当声波传到入耳中时,会引起人耳鼓膜发生相应的振动,这种振动通过听觉神经,使人产生声音的感觉。由此可见,听到声音,要有三个基本条件。

1) 存在发声体或声源。

2) 要有传播声波的弹性媒质,如空气、液体及固体等。真空中没有弹性媒质,所以真空不能传送声波。

3) 要通过人耳才能产生声音的感觉。

声波的传播也可以用水面波作形象的比喻。把一石块投入平静的水中,水面上便可看到一圈圈的水面波,它由波峰到波谷这样高低起伏交替变化着向外传播。因为水面在波动,所以水面波带有能量。如果在水面上浮一很小的木块,就可以看到这一小木块随着水面的波动做上下运动,待水面平静下来,木块则仍停留在它的原来位置。由此可见,水的质点本身并不沿着波动前进,而是水波动的能量从一部分水面到邻近的另一部分水面相继传递。这与声波在空气中传播时空气层并不跟随声音一块传播出去,而只是在平衡位置附近的振动是相似的。所以说声波的传播,实际上是声波的能量随声波在传播。有声波存在的空间叫做声场。

但是,声波与水波也有不同,水面波的振动方向与波的传播方向相垂直,因此水波是一种横波。声波的传播方向与疏密相间的振动方向是一致的,所以声波在空气中的表现形式是纵波。

可见,振动和波动是相互密切联系的运动形式,振动是波动的产生根源,而波动是振动的传播过程。声音的本质是一种波动,因此声音也叫声波。为了清楚起见,通常把发声的物理过程称为声波,而把与听觉有关的过程称为声音。

1.1.2 频率、波长与声速

声源完成一次振动所经历的时间称为周期,记作 T ,单位为秒(s)。1s内振动的次数称为频率,记作 f ,单位为赫兹(Hz),它是周期的倒数,即 $f=1/T$ 。

声源的振动能产生声波,但不是所有振动产生的声波都能被人听到,这是由人耳特性所决定的。只有当频率在20Hz~20kHz范围内的声波传到入耳,引起耳膜振动,才能产生声音的感觉。所以通常将频率在20Hz~20kHz范围内的声波叫做可听声;低于20Hz的声波叫做次声;高于20kHz的声波称为超声。次声和超声都不能使人产生声音的感觉。

声波在媒质中每秒钟传播的距离,叫做声波传播速度,简称声速,记作 c ,单位为米/秒(m/s)。声速不是质点振动的速度,而是振动状态的传播速度,它的大小与振动的特性无关,而与媒质的弹性、密度和温度有关。

声波传播速度的实质是媒质分子向相邻分子作动量传递的快慢程度。显然,媒质分子结构越紧密,内损耗特性越小,声速值就越大。例如,空气、水、钢铁的媒质特性决定了它们的声速比值约为1:4:12。由于温度与媒质分子运动的活跃程度有密切的联系,所以当媒质温度升高时,声速相应增大。对于通常的环境温度,空气温度每增加10℃,声速相应地增加6m/s。在室温(15℃)下空气中的声速为340m/s。

声源完成一周的振动,声波所传播的距离,或者说声波在传播途径上相位相同的两相邻质点之间的距离叫做声波的波长,记作 λ ,单位为米(m)。因此,声速、频率和波长三者有如下的关系:

$$c = f\lambda$$

或

$$c = \frac{\lambda}{T}$$

由于一定媒质的声速为常数，故频率与波长呈反比关系。例如，室温空气中频率 $f = 100\text{Hz}$ 的波长为 3.4m ， $f = 1\text{kHz}$ 的波长为 0.34m 。

1.1.3 声波的反射与绕射

声波从声源出发，在同一介质中按一定方向传播，在某一时刻波动所达到的各点的包络面称为波阵面。波阵面为平面的波称为平面波，波阵面为球面的波称为球面波。由一点声源辐射的声波为球面波，但在离声源足够远的局部范围内，可以近似地把它看做平面波。

人们常用“声线”来表示声波传播的方向，声线的方向与波阵面垂直。用声线的观点来研究声波的传播称为几何声学。与之对应，用波动的观点来研究声学问题的称为物理声学。

(1) 声波的反射

当声波在传播过程中遇到一块尺寸比波长长得多的墙面或障碍物时，声波将被反射。如声波发出的是球面波，经反射后仍是球面波。如图 1-2a 所示，用虚线表示反射波，它像从声源 O 的映像——虚声源 O' 发出似的， O 和 O' 点是对称于反射平面的对称点。同一时刻反射波与入射波的波阵面半径相等。如用声线表示前进的方向，反射声线可以被看做是从虚声源发出的。所以，利用声源与虚声源的对称关系，以几何声学作图法很容易确定反射波的方向。如同几何光学反射定律一样，声波反射的反射角等于入射角。

当反射面为曲面时(如图 1-2b、c 所示)，仍可利用声波反射定律求声波在曲面上的反射声线。例如，欲求曲面上某点的反射线，则以通过该点的曲面的切面作为镜面，使其入射角等于反射角，即可确定反射声线。由图 1-2c 可见，凸曲面对入射声波有明显的散射作用，它有助于声场的扩散均匀；而图 1-2b 利用凹曲面反射的特点使声音汇聚于某一区域或出现声焦点，从而造成声场分布的不均匀，这在室内音质设计中应注意防止。

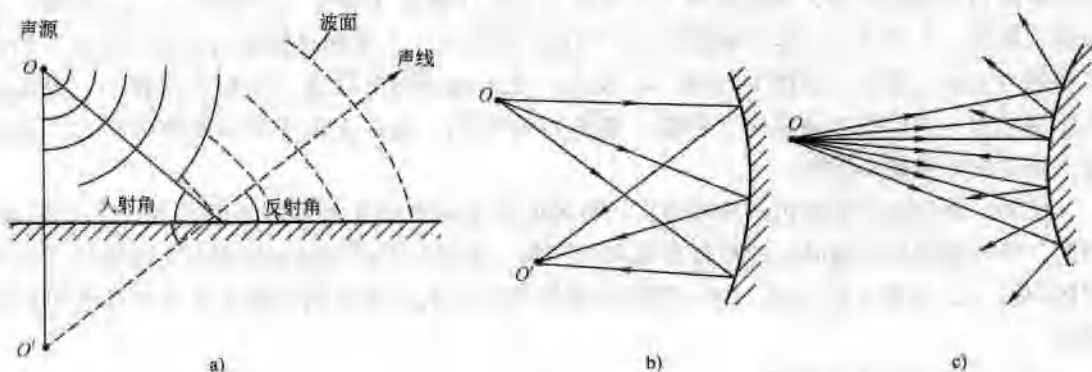


图 1-2 声波的反射

(2) 声波的绕射(衍射)

几何声学原理建立在与几何光学相似的基础上，即声音是沿直线传播的，但这种假设只限于反射面或障碍物以及孔洞的尺寸比声波波长长得多时才有效。当障碍物或孔洞的尺寸比

声波波长小时, 声波将产生绕射(又称衍射)或弯曲, 即声波将绕过障碍物或通过孔洞改变前进方向, 如图 1-3a 所示。若孔洞尺寸(直径 d)比声波波长 λ 小得多($d \ll \lambda$), 声波通过孔洞时不像光线那样直线传播, 而是能够绕到障板的背面, 改变原来的传播方向, 这时小孔处的质点可被近似地看作一个新声源, 产生新的球面波, 而与原来的波形无关。平时我们在墙的一侧能听到另一侧的声音, 也是声波绕射的结果。声源的频率越低, 绕射的现象越明显; 相反, 频率越高, 越不易产生绕射, 因而传播也具有较强的方向性, 如图 1-3b 所示。

(3) 声波的折射

声波在传播途中遇到不同介质的分界面时, 除了发生反射外, 还会发生折射。声波折射时其传播方向将改变, 如图 1-4 所示。

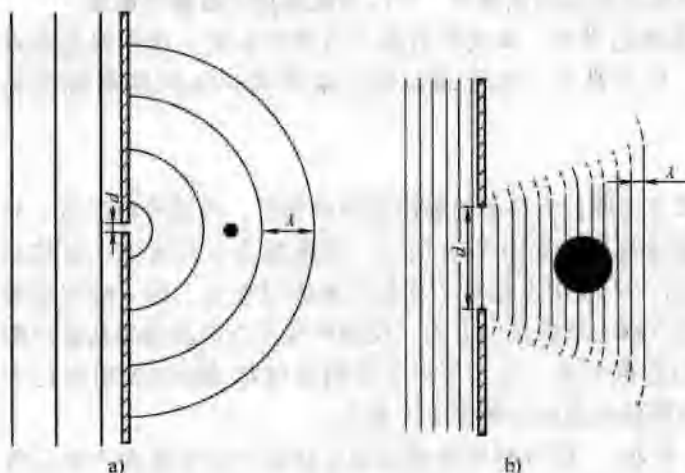


图 1-3 声波的绕射

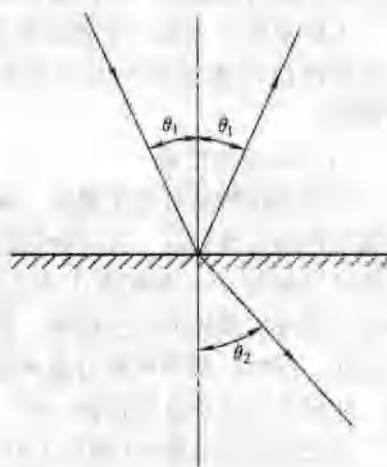


图 1-4 声波的折射

声波从声速大的媒质折射入声速小的媒质中时, 声波的传播方向折向分界面的法线; 反之, 声波从速度小的媒质折射入声速大的媒质中时, 声波的传播方向折离法线。因此, 声波的折射是由声速决定的, 即使在同一媒质中如果存在着速度梯度(声速变化)时同样会产生折射。例如, 大气中白天地面温度较高, 因而声速较大, 声速随离地面的高度而降低, 因而声传播方向向上弯曲, 如图 1-5a 所示; 反之, 晚上地面温度较低, 因而声速较小, 声速随高度而增加, 声传播方向就向下弯曲, 如图 1-5b 所示。这种现象可用来解释为什么声音在晚上要比白天传播得远些。

此外, 风速也会影响声的传播方向, 有风时的实际声速是平均声速与风速的矢量相加。因此, 当声波顺风传播时声的传播方向向下弯曲, 逆风时声的传播方向则向上弯曲并产生声阴影区(静区), 如图 1-5c 所示。这一现象可解释为什么从声源逆风传播的声音常常是难以听到的。

(4) 声波的透射与吸收

当声波入射到墙壁等物体时, 如图 1-6 所示, 声能一部分被反射, 一部分透过物体, 还有一部分由于物体的振动或声音在物体内部传播时介质的摩擦或热传导而被损耗, 这通常称为材料的吸收。

根据能量守恒定律, 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

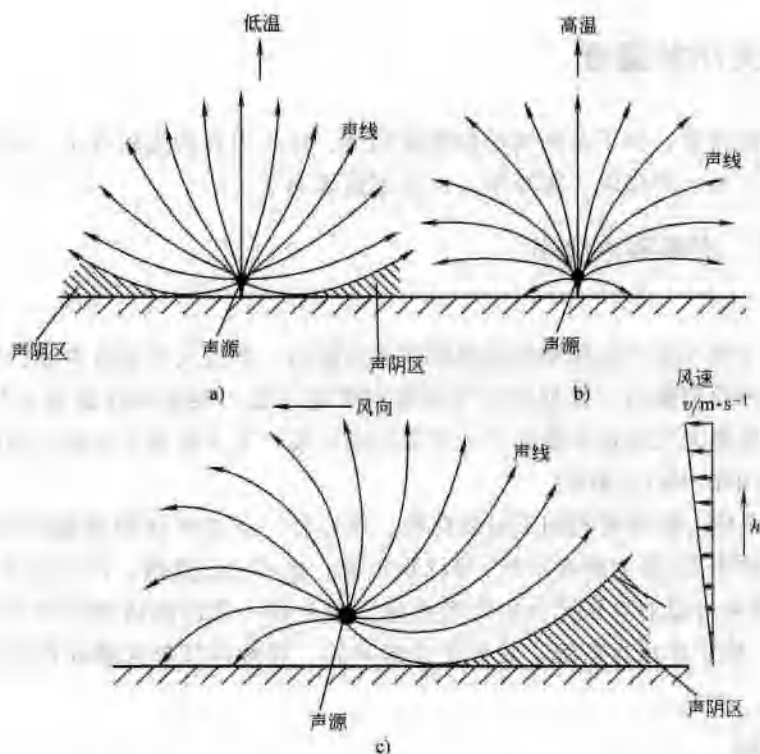


图 1-5 温度和风速对声传播的影响

体吸收的声能为 E_a ，透过物体的声能为 E_t ，则有

$$E_o = E_r + E_a + E_t$$

透射声能与入射声能之比称为透射系数 τ ，即 $\tau = E_t/E_o$ ；反射声能与入射声能之比称为反射系数 r ，即 $r = E_r/E_o$ 。通常将 τ 值小的材料称为隔声材料，将 r 值小的材料称为吸声材料。实际上，物体吸收的只是 E_a ，但从入射波与反射波所在的空间来考虑，常用下式来定义材料的吸声系数 α ：

$$\alpha = 1 - r = 1 - E_r/E_o = (E_a + E_t)/E_o$$

$\alpha = 0$ 时，入射声能全部被反射； $\alpha = 1$ 时，入射声能全部被吸收。因此， α 值在 0~1 之间。如果说某材料的吸

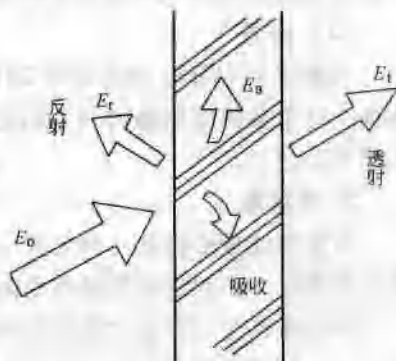


图 1-6 声波的透射与吸收

声系数 $\alpha = 0.3$ ，就是说，入射声能 E_o 的 30% 被吸收了。 α 值越大，吸声性能越好。吸声系数的大小除了与材料本身性质有关外，还与声波的频率、入射方向等有关。一般地说，坚实光滑的地面和墙面的吸声系数很小，而多孔性（通气）的材料则是常用的高效吸声材料。通常，多孔性材料吸声能力与材料厚度有关。厚度增加，低频吸声增大；但材料厚度对高频影响较小。从理论上说，材料厚度相当于 $1/4$ 波长时，在该频率下具有最大的吸声效果。但对低频来说，这时材料厚度往往要在 10cm 以上，故不经济。如果用较薄的多孔材料，使它离开后背硬墙面一定距离，则这时的吸声性能几乎与全部空腔内填满同类吸声材料的效果一样。

1.2 声音大小的量度

人们听到的声音,除了与声源的频率有关外,还与声音的强弱有关。声音的强弱可用声压、声压级、声强、声强级、声功率、声功率级等表示。

1.2.1 声压、声强和声功率

1. 声压

声波是由于空气分子的振动形成疏密波而传播的。若空气中没有声波,空气中的压强即为大气压。当声波传播时,某处的空气时疏时密地变化,使压强在原来大气压附近上下变化,相当于在原来大气压强上叠加了一个变化的压强,这个叠加上去的压强就叫做声压,记作 p_0 , 声压采用帕(Pa)为单位。

由于声波是随时间疏密相间不断变化的,所以任一点的声压都是随时间而不断变化的,亦即每一瞬时的声压(称为瞬时声压)可以是正值,也可以是负值,声压变化的平均值(平均声压)为零。通常所说的声压是指它的有效值,它是指一段时间内瞬时声压的均方根值(称为有效声压),故它总是为正值。对于正弦形声波,有效声压等于瞬间声压的最大值 $p_{\max}$ 除以 $\sqrt{2}$, 即 $p = p_{\max} / \sqrt{2}$ 。

(1) 可听阈

对于正常人耳,当频率为 1kHz、声压约为 2×10^{-4} Pa 时,即可听到声音。这个刚刚能引起人耳听觉的声压叫做声音的可听阈。

(2) 痛阈

当频率为 1kHz、声压约为 20Pa 时,产生震耳欲聋的声音,超过这一数值将使耳朵感到疼痛,这个数值叫做痛阈。人们正常说话时的声压约为 0.01 ~ 0.03Pa,是大气压的千分之二至千分之三。

2. 声功率

声波是能量传播的一种形式,当然具有一定的能量。因此人们也常用能量的大小来表示声音的强弱。声源在单位时间内向外辐射的声能量叫做声功率 W , 单位为瓦(W)。

声功率不应与声源的其他功率相混淆。例如,电声系统中所用的放大器的电功率通常为几十瓦,但扬声器的效率一般只有千分之几,它辐射的声功率只有百分之几瓦。电功率是声源的输入功率,而声功率则是声源的输出功率。

声功率与声压的区别在于,一个与能量有关,一个与压力有关。声功率与声压一样,其范围很宽。如轻声耳语的声功率只有 10^{-9} W,一般人讲话的声功率也不过约 20μ W,而喷气式飞机的声功率则大于 10kW,相差甚大。

3. 声强

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,声波通过垂直于声波传播方向单位面积的声能量,用 I 表示,单位为瓦/米²(W/m²)。若声能通过的面积为 S ,则声强为

$$I = W/S$$

1.2.2 声压级、声强级和声功率级

对于 1kHz 的声音,人耳刚能听见的下限声压为 $2 \times 10^{-5} \text{Pa}$ (相应的声强为 10^{-12}W/m^2),使耳膜感到疼痛的上限声压为 $2 \times 10 \text{Pa}$ (相应的声强为 1W/m^2),可见人耳允许的声压相差为 100 万倍(声强相差为 10000 亿倍)。所以,用声压来表示声音的强弱,数值相差太大,很不方便。同时,人的听觉与声压或声强不是呈正比关系的,而是近似地与它们的对数值成正比。因此,人们采用一种按对数方式分级的办法作为表示声音大小的常用单位,这就是声压级、声强级、声功率级。

1. 声压级

所谓某点的声压级是指该点的声压 p 与基准声压 p_0 的比值取常用对数再乘以 20,单位为分贝(dB),即

$$L_p = 20 \lg(p/p_0)$$

式中,基准声压 $p_0 = 2 \times 10^{-5} \text{Pa}$ 。

于是从人耳听阈 $2 \times 10^{-5} \text{Pa}$ 到痛阈 $2 \times 10 \text{Pa}$ 这样声压相差百万倍的变化范围,用声压级表示时,就变成 $0 \sim 120 \text{dB}$ 的变化范围。从上式还可看出,声压变化 10 倍,相当于声压级变化 20dB;声压变化 100 倍,相当于声压级变化 40dB,等等。声压与声压级的关系如图 1-7 所示。

2. 声强级

由于声强和声功率与声压的平方成正比,所以声强级和声功率级在取对数时应乘以 10。

所谓某点的声强级,是指该点的声强 I 与基准声强 I_0 的比值取常用对数再乘以 10,也用分贝(dB)表示,即声强级

$$L_I = 10 \lg(I/I_0)$$

式中,基准声强 $I_0 = 10^{-12} \text{W/m}^2$ 。

3. 声功率级

声功率级是指所讨论的声功率 W 与基准声功率 W_0 的比值取常用对数乘以 10,也用分贝(dB)表示,即声功率级

$$L_W = 10 \lg(W/W_0)$$

式中,基准声功率 $W_0 = 10^{-12} \text{W}$ 。

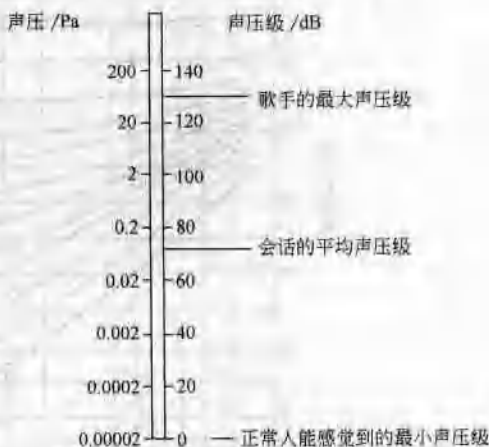


图 1-7 声压与声压级的关系

1.3 人耳听觉特性

1.3.1 声音三要素

听觉是人们对声音的主观反应。人们对声音通常用所谓声音三要素来描述。这三要素就是声音的响度、音调和音色。由于这声音三要素是人们的主观感觉,所以它不但与声音的振幅、频率、频谱等客观物理量有关,还与人的听觉特性及心理因素有关。

1. 响度

通常,人们用响不响来描述声音的强弱。响度大小固然与声强(或音量)有关,但它和声强的概念是不同的。声强是一个客观物理量。它表示声波在单位时间内通过单位面积的声能量,而响度却是人耳对声音强度的主观感觉。人耳对声音响度的感觉不仅与声强大小有关,还与声音的频率有关。声强级相同而频率不同的声音,听起来响度不同。亦即人耳对不同频率的声音有不同的灵敏度。图 1-8 所示的等响度曲线就反映了人耳主观感觉到的响度与实际声强以及频率三者之间的关系。

对于响度的心理感受,一般用单位宋(sone)来度量,并定义 1kHz、40dB 纯音的响度为 1sone。响度的相对量称为响度级,它表示的是某响度与基准响度比值的对数值,单位为方(phon),即当人耳感到某声音与 1kHz 单一频率的纯音同样响时,该声音声压级的分贝数即为其响度级。声压级与响度级无论在客观和主观上其概念是完全不同的,除 1kHz 纯音外,声压级的值一般不等于响度级的值,使用中要注意。

同一条等响度曲线(即响度级相同)上不同频率的声强虽不相同,但引起的主观响度感觉是相同的。例如,由图 1-8 所示的等响度曲线可知,30dB、1kHz 的纯音与 40dB、300Hz 的纯音听起来一样响,它们的响度级都是 30phon。

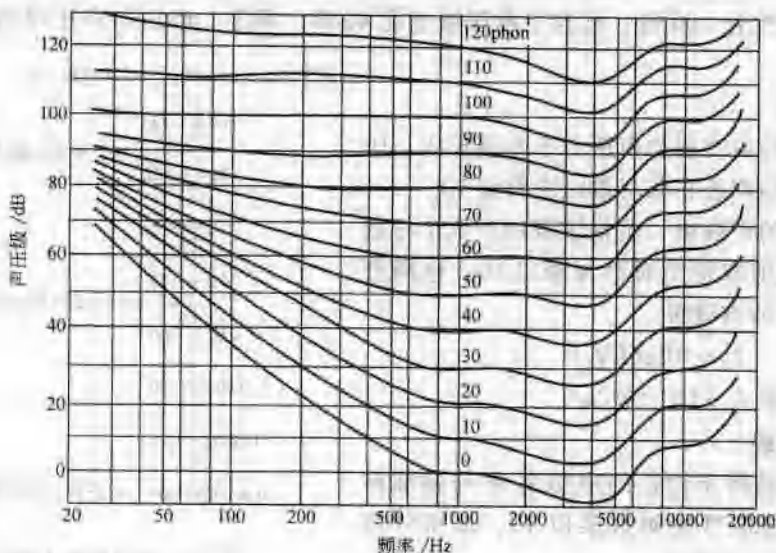


图 1-8 等响度曲线

由图 1-8 所示的等响度曲线可以看出:

(1) 响度级与声强级(或声压级)有关。声压级提高,响度级也相应增大;但响度还与频率有关,频率不同时,响度级也不同。

(2) 图中上方的曲线较平直,下方的曲线变化较大。这说明在声强级很高(即音量大)时,强度相同的声音差不多一样响,与频率的关系不大;但在声强级很低(即音量小)时,低频区的变化率(斜率)大于高频区变化率,亦即这时声压级有一点变化时,低频的响度就有很大的变化。

(3) 等响度曲线在 1~5kHz 的中高音区下凹,其中在 3~4kHz 频率范围内下凹最多,说明人耳对这段中高音特别敏感,尤其对 3~4kHz 范围内的声音最灵敏,这是由于人耳的