

现代音响技术与工程基础

赵其昌 吴启学 沈 勇 编著

南京大学出版社

书 名 现代音响技术与工程基础

编 著 者 赵其昌 吴启学 沈 勇

责任编辑 丁 益

装帧设计 朱 蓝

责任校对 费 沉

出版发行 南京大学出版社

(南京汉口路 22 号南京大学校内 邮编 210093)

印 刷 丹阳兴华印刷厂

经 销 全国各地新华书店

开 本: 850×1168 1/32 印张: 11 字数: 292 千
1999 年 8 月第 1 版 1999 年 8 月第 1 次印刷

印 数 1-3000 册

定 价 14.00 元

ISBN 7-305-03344-8/O · 232

声明: (1) 版权所有, 侵权必究。

(2) 本版书若有印装质量问题, 本社发行部负责退换。

发行部订购、联系电话: 3592317、3593695

内 容 提 要

本书着重于从声学角度去描述现代音响技术和工程中的一些问题,力求说清道理,图文并茂,通俗易懂。

全书共分八章,第一章音频声学基础;第二章人耳的听觉特性,第三章传声器概论,第四章节目信号源,第五章电声设备,第六章音响设备的配接、配置和安装调试,第七章扬声器系统,第八章室内声场和厅堂音质设计,数字音频技术基础和标准放在附录中供选用。

本书可供有关大专院校作为教材或教学参考书,也可供各类电声、录音和音响培训班使用。对于广大的电声和音响爱好者也有很多帮助。

前 言

本书是以多年来在南京大学声学专业开设的“录放声技术”、“电声换能器”和“建筑声学及噪声控制”课程的讲义为基础编写成的。

目前,现代音响方面的书籍出版很多,大多是从电声设备和使用角度去介绍现代音响方面的知识。电声设备随着电子技术的发展有了长足的进步,特别是 80 年代初,国际上提出了“音频技术数字化”口号之后,数字技术在音频领域中得以应用,对从 20 世纪 30 年代起就困扰音频工作者的很多问题都迎刃而解了。电声设备达到高保真的最低要求已不再困难,数字技术的应用也使声信号的记录、传输和重放的音质有了很大改善。但是,决定音质的好坏不仅与设备有关,还与声学环境和人的听觉特性有关。在同样设备的条件下,后者显得更为重要。

声学是一门既古老又迅速发展着的学科,它的应用已渗透到几乎所有重要的自然科学和工程技术领域,电声学也不例外。声学的基本概念和基本规律对现代音响技术和工程至关重要。声学与日常生活关系密切,它的基本知识虽比较容易接受,但要严格确切地叙述和掌握声学的基本概念和基本规律,并在工程中正确应用的确不容易。对某些书籍和文章中对这一问题出现的一些误导,我们愿意通过本书能给读者一个正确的认识。当然,作为教材它也是教学改革的产物,本书是为开设理科应用性课程而编写的一本教材。

本书着重于从声学角度去描述现代音响技术中的一些问题。为了使一般读者更易接受本书,在编写过程中,我们尽量少用数学手段,更多的是用一些通俗的语言或者图示去描述基本概念。对于

音响设备的描述,则偏重于设备的工作原理和设计的指导思想的介绍,以及音质对设备的要求,而不是着重于具体设备的操作,这样可以使读者举一反三,以适应新产品不断推出,设备不断更新的市场需要。对于一些在音响界流传的“说法”,本书力求提供实验结果和理论依据以正视听,并从声学原理出发提出了我们的一些看法。本书还介绍了现代音响技术的最新发展并提出了新的研究方向。作为本科生的教材,在讲授中尚需补充有关的理论和数学。

全书共八章,第一、二章简单地介绍了音响工程中用到的一些声学基本概念和人耳的听觉特性;第三章介绍了拾声用的传声器;第四、五、六章介绍了节目信号源,电声设备和其安装、配接和调试,其中涉及到的数字音频技术基础的内容放在附录 A 中供读者选用;第七章介绍了扬声器系统;第八章介绍了室内声场和厅堂的声学设计;在附录中还给出了音响技术中常用的一些标准供参考。

本书第一~六章和附录 A 由赵其昌执笔,第七章由沈勇执笔,第八章由吴启学执笔。在本书的编写过程中,受到魏荣爵先生的鼓励 and 关注,以及声学研究所其他同志的关心和帮助,作者在此深表谢意。现代音响技术的迅速发展出现了很多新问题,作者虽然对其中一些问题作了一些探讨,毕竟水平有限,不免出现差错,敬请读者批评指正。

编著者

1999 年 1 月于南京大学声学研究所

目 录

第一章 音频声学基础	1
1.1 声波的产生	1
1.1.1 波的产生	1
1.1.2 声波的形成	3
1.2 描述声波的物理量	4
1.2.1 声压	4
1.2.2 频率	5
1.2.3 声速	5
1.2.4 波长	6
1.2.5 声强	7
1.2.6 声功率	7
1.3 级、分贝及其运算	8
1.3.1 声压级	8
1.3.2 声强级	9
1.3.3 声功率级	9
1.3.4 级的叠加和平均	10
1.4 声波的传播特性	11
1.4.1 在自由空间的传播	11
1.4.2 在管中的传播	13
1.4.3 在房间内的传播	14
1.5 语言和乐音的特性	16
1.5.1 语音的产生	16
1.5.2 语音和语言的声学特性	18
1.5.3 歌声的声学特性	22
1.5.4 乐音和音乐的声学特性	23

第二章 人耳的听觉特性	30
2.1 响度与等响曲线	30
2.2 音调与倍频程	34
2.3 音色与音品	37
2.4 哈斯效应与掩蔽	40
2.5 声像与立体声感受	44
2.5.1 问题的提出	44
2.5.2 最早的人耳定位试验之一	44
2.5.3 双扬声器实验	45
2.5.4 两路立体声的正弦定律	48
2.5.5 人耳听觉定位的理论解释	49
2.6 失真的觉察	51
第三章 传声器概论	57
3.1 传声器的分类及其电声特性	57
3.1.1 传声器的分类	57
3.1.2 传声器的主要电声特性	58
3.2 常用传声器的工作原理及其特性	66
3.2.1 动圈传声器	66
3.2.2 带式传声器	68
3.2.3 电容传声器	69
3.2.4 驻极体传声器	72
3.3 特殊场合使用的传声器	74
3.3.1 强指向性传声器	74
3.3.2 界面传声器	77
3.3.3 超小型驻极体传声器	78
3.3.4 近讲传声器	79
3.3.5 无线传声器	81
3.4 传声器使用与选择	82

3.4.1	最大声压级	82
3.4.2	传声器的位置	83
3.4.3	频率特性	85
3.4.4	梳状滤波效应	86
3.4.5	瞬态特性	89
3.4.6	传声器使用时的外界干扰	89
3.4.7	传声器的极性	90
第四章 节目信号源		91
4.1	概述	91
4.2	唱片与电唱盘	94
4.2.1	唱片录放声频率的计权特性	94
4.2.2	电唱盘的主要性能	96
4.2.3	影响音质的主要因素	98
4.3	磁带录音机	99
4.3.1	磁头与磁带	99
4.3.2	信号的记录、重放和消除	102
4.3.3	磁带录音机的补偿与校准	108
4.3.4	影响磁带录音机音质的主要因素	112
4.3.5	杜比降噪系统	117
4.3.6	磁带录音机的主要性能	120
4.4	激光唱片和唱机(CD)	121
4.4.1	激光唱片	121
4.4.2	激光唱机	125
4.5	数字音频磁带录音机(DAT)	127
4.5.1	磁记录和重放遵循的规律	127
4.5.2	旋转磁头的数字录音机(R-DAT)	129
4.6	数字盒式磁带录音机(DCC)	132
4.6.1	DCC 的技术数据	133
4.6.2	PASC 编码	134

第五章 电声设备 136

5.1 调音台 136

5.1.1 调音台的主要电声特性 136

5.1.2 模拟式调音台 138

5.1.3 数字式调音台 143

5.2 声信号指示器 145

5.2.1 描述声信号的物理量 145

5.2.2 峰值节目电平表 147

5.2.3 标准音量表 149

5.3 声信号处理装置 151

5.3.1 压缩器和限幅器 152

5.3.2 扩展器和噪声门 157

5.3.3 延时器 158

5.3.4 混响器 160

5.3.5 均衡器 168

5.3.6 激励器 171

5.3.7 分频器 173

5.3.8 反馈抑制器 176

5.4 功率放大器 181

5.4.1 动态互调失真 182

5.4.2 阻尼系数 183

5.4.3 输出功率 185

5.4.4 功率放大器与扬声器系统的配接 187

5.4.5 功率放大器的功率储备 187

5.4.6 大功率放大器对电网的影响 188

5.4.7 功率放大器的几个重要参数测量 189

第六章 音响设备的配接配置和安装调试 193

6.1 信号传输的增益与损耗 193

6.2 设备间的优选配接 195

6.2.1	功率配接与电压配接·····	195
6.2.2	传声器与放大器(调音台)的配接·····	197
6.2.3	音频设备间的配接·····	198
6.2.4	扬声器与功率放大器的配接·····	199
6.3	设备间的连接与接地·····	201
6.3.1	平衡与不平衡·····	201
6.3.2	平衡与不平衡连接的相互转换·····	203
6.3.3	屏蔽与接地·····	203
6.3.4	供电与管线·····	207
6.4	歌舞厅的配置、调试和测量·····	209
6.4.1	歌舞厅的基本配置·····	209
6.4.2	歌舞厅电声设备的调试和测量·····	210
6.5	大型厅堂和场所音响设计的思路·····	215
6.5.1	音乐厅和大剧院的设计·····	215
6.5.2	会议厅和报告厅的设计·····	216
6.5.3	体育场的设计·····	217
第七章	扬声器系统·····	219
7.1	概述·····	219
7.1.1	扬声器的概念·····	219
7.1.2	扬声器单元的种类·····	219
7.1.3	扬声器系统的种类·····	222
7.1.4	扬声器单元和系统的发展概况·····	223
7.2	直接辐射式扬声器·····	224
7.2.1	电动式锥形扬声器的基本原理·····	224
7.2.2	锥形低频扬声器·····	225
7.2.3	球顶形高频扬声器·····	227
7.2.4	锥形或球顶形中频扬声器·····	228
7.2.5	扬声器单元的磁路系统·····	229
7.2.6	磁流体在扬声器中的应用·····	229
7.3	号筒式扬声器·····	231

7.3.1	号筒扬声器的特点和结构	231
7.3.2	号筒扬声器的效率和指向性	232
7.3.3	号筒扬声器的失真和功率	234
7.4	扬声器系统	237
7.4.1	扬声器系统的声学结构和基本原理	237
7.4.2	扬声器系统的衰减器和分频器	246
7.4.3	扬声器系统的主要电声参数	249
7.5	高保真和监听扬声器系统	251
7.5.1	何谓高保真扬声器系统	251
7.5.2	家用高保真扬声器系统的选择与布置	252
7.5.3	监听扬声器系统	259
7.5.4	监听扬声器与高保真扬声器的不同点	260
7.6	家庭影院扬声器系统	261
7.6.1	各种家庭影院系统对音箱的要求	261
7.6.2	家庭影院扬声器的布置	263
7.6.3	家庭影院扬声器系统的调校	265
第八章	室内声场和厅堂音质设计	267
8.1	室内声场	267
8.1.1	简正模式和简正频率	267
8.1.2	波动声学 and 几何声学	270
8.1.3	稳态声压级	271
8.1.4	混响时间	273
8.1.5	脉冲声响应	275
8.2	厅堂音质设计	276
8.2.1	厅堂音质设计的基本要求	276
8.2.2	厅堂音质设计的一般步骤	279
8.2.3	房间混响设计	280
8.2.4	扩声系统的设计	283
8.2.5	音质的主观听感评价	292

附录 A 数字音频技术基础	296
1. 取样定理	296
2. 取样保持电路	300
3. 模数转换	301
4. 量化	303
5. 编码和纠错	306
6. 压缩编码	315
7. 数模转换和 1bit DAC	318
附录 B 歌舞厅扩声系统的声学特性指标与测量方法	322
1. 主要内容与适用范围	322
2. 引用标准	322
3. 术语	322
4. 歌舞厅扩声系统的声学特性指标	324
5. 测量方法	324

第一章 音频声学基础

1.1 声波的产生

1.1.1 波的产生

我们知道,振动产生声音。声音的传播必须要有介质,介质就是我们周围的空气,空气有压力,就是通常所说的大气压强。假设大气静压为 P_0 ,空气受到振动的扰动,在振动源附近的大气压会发生微小的变化 Δp ,这微小变化的压强通过空气分子间的相互作用,传递出去,就形成了声波,在空气中传播的声波我们听得到但看不见。为了形象地说明波的产生,我们用绳子中传播的波来说明。假设有一根很长的一端固定并被拉直的绳子,如图 1.1 所示。

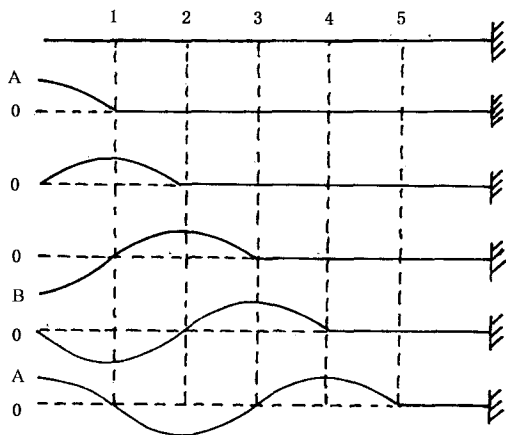


图 1.1 波的形成

我们在绳的另一端(0点)上下抖动,绳中就会产生波并沿着绳子传播,绳子可以看作由一连串相互联系的质点组成,它是一种弹性介质,质点间的相互作用就是通常说的张力,在张力作用下绳子的平衡态是一条直线。当绳子的端点从0点运动到A点时,绳子中各质点的相互作用使得绳子各点依次向上移动,形成0—1的态势。当绳子端点从A点回到0点时,因为绳子各质点的惯性和张力的作用,带动了1—2的运动,形成0—2的态势。随着端点0的上下抖动,带动绳子的各质点跟着上下运动,将0点的上下振动依次沿着绳子传递出去。如果手不停地上下抖动,就有一连串的“峰”和“谷”在绳子上移动,这种振动的传播现象叫作波。我们注意到,每个质点只是在它各自的平衡位置附近上下运动,并不随波传播。所以,波的传播实质上是绳子在端点的扰动的传递。各点振动的次序依次滞后,即是说各质点的周相依次滞后。以0—5态势为例,2点的相位比0点滞后 π ,3点滞后 $\frac{3}{2}\pi$,4点滞后 2π ,5点滞后 $2\frac{1}{4}\pi$ 。相邻的同相位的两点之间的距离我们称为波长,记作 λ 。各点相位依次滞后,说明振动的传递需要时间,在一定的时间内振动传递了一定的路程,说明振动传递存在速度,我们称振动在介质中传播的速度为波速。它实际上是相位传播的速度,所以又称为相速。

我们常用各点的位移来描述绳中传播的波,假如在0点作简谐振动,则它在 y 方向的位移为:

$$y = A \cos(\omega t + \varphi) \quad (1.1)$$

式中: A 为振幅, m ;

ω 为振动的圆频率, $\omega = 2\pi f$, f 为振动频率, Hz (赫);

t 为时间, s ;

φ 为初始相位, rad 。

对于绳中任意一点 x 的位移,考虑到它的相位滞后,滞后的

时间为 $\frac{x}{v}$, v 为波传播的速度, $v = \lambda f$, 则

$$y = A \cos\left[\omega\left(t - \frac{x}{v}\right) + \varphi\right] \quad (1.2)$$

我们定义一个量为波矢 k , $k = \frac{\omega}{v} = \frac{2\pi}{\lambda}$, 则(1.2)式为

$$y = A \cos(\omega t - kx + \varphi) \quad (1.3)$$

1.1.2 声波的形成

对于在空气中传播的声波, 完全可以借助于上述的方法来处理, 我们考虑在一根很长管子的一端装有一个周期运动的平面活塞, 如图 1.2 所示。管中在活塞附近的空气因活塞向前运动而受到

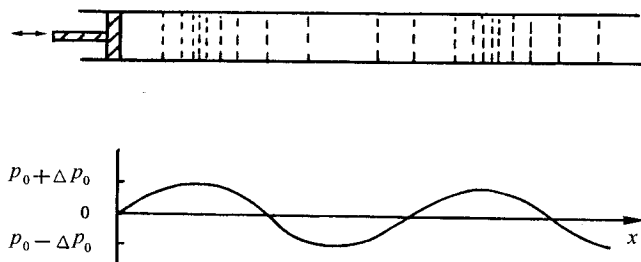


图 1.2 声波的形成

挤压, 空气分子的密度增加, 这部分的压强增大为 $(P_0 + \Delta p)$; 活塞向后运动, 又使这部分空气受到拉伸, 空气分子的密度变稀, 压强减小为 $(P_0 - \Delta p)$ 。这等同于绳子一端的上下抖动, 空气也是一种弹性介质, 空气质点本身有质量, 质点之间有相互作用, 正因为空气质点的惯性和相互间的作用使得空气在管端的周期性扰动(空气质点疏密的变化)沿着管子向前传播, 产生了声波。与绳子中的波不同的是, 绳子各质点的运动方向与波的传播的方向是垂直的, 这种波称为横波。在空气中质点的运动方向与波的传播的方向是平行的, 这种波称为纵波。

1.2 描述声波的物理量

1.2.1 声压

声波传播的信息实际上就是振动源处对空气的扰动,我们常用声压来描述振动源对空气的扰动,声压就是大气压受到扰动后产生的变化,即为大气压强的余压,它相当于在大气压强上的叠加一个扰动引起的压强变化,如图 1.3 所示。在声学中常用声压这个物理量来描述声波,等同于(1.3)式将位移换成声压,则空气中一

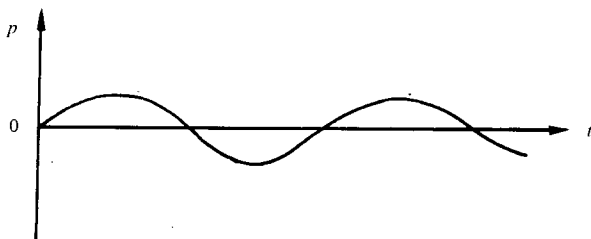


图 1.3 声压的变化

维波的表达式为:

$$p = p_0 \cos(\omega t - kx + \varphi) \quad (1.4)$$

式中: p 为 x 处的声压, $\text{Pa}(\text{N}/\text{m}^2)$;

p_0 为声压幅值, Pa 。

在量度波动信号的大小时与交流电一样,常用它的有效值(信号的方均根值 RMS)来表示。声压的单位与大气压强相同,为 Pa ,即牛顿每平方米(N/m^2),在常温下 1 个大气压强为 $1.0325 \times 10^5 \text{Pa}$ 。

人耳对声压是非常敏感的,人耳能分辨的最低声压在 1000Hz 时为 $2 \times 10^{-5} \text{Pa}$,这时空气质点的振动幅度相当于氢原子的振动的数量级。两人面对面交谈时的平均声压大约为 $2 \times 10^{-2} \text{Pa}$;纺织

厂织布车间的噪声的声压可超过 2Pa ；当声压达到 20Pa 时，我们的耳朵就可能会有痛觉。

1.2.2 频率

声源每秒振动的次数称为频率，单位为 Hz ，量纲为 T^{-1} 。在自然界产生单频声的声源很少，大多数声源的振动是一个复杂的过程，产生的大多是复合音。对于这样的声音，我们可以通过傅立叶分析将它分解成一系列不同的幅值和不同的频率成分，也就是说任何一个复合音，我们可以用一组单频声的组合来表示，这就是频谱分析，所以频率也是描述声波的一个重要物理量。

人耳听得见的声波的频率范围约为 $20\text{Hz} \sim 20000\text{Hz}$ ，称为可听声范围或音频范围。低于这范围的声波称为次声，虽然我们人耳不容易听到，但是可以用仪器接收到，它在研究热带风暴、地震、核爆等方面起重要作用。高于 20000Hz 的声音我们人耳听不到，我们称之为超声。超声有很多应用，例如超声探伤、切割、诊断（B超）、遥控和水声中的应用等。当频率再提高，声波的波长与物质结构中的线度相当时，可以用声波来研究物质结构，这样频率的声波称为特超声。

在现代音响技术中，主要研究可听声范围内声波的传播、拾取、记录、扩声以及重放等。对于低于和高于这范围的声波，人耳虽听不到，但可以感觉到，对音质或许有一定影响，尚待进一步研究。

1.2.3 声速

声波在介质中传播的速度称为声速。声速与声波传播的介质有关，不同介质中声速不一样，固体、液体和气体这三者相比，在固体中 fastest，液体中次之，空气中最慢。声波在空气中的传播是靠空气分子的运动传递扰动的，在 1719 年牛顿认为声传播过程是等温过程，当时在理论上估计的声速总比实验值小。直到大约百年之