

电声技术与 音响系统

Diansheng Jishu Yu Yinxiang Xitong



主编◎杜鹤 吴乐华



国防工业出版社

National Defense Industry Press

内容简介

电声技术与音响系统

主 编 杜 鹄 吴乐华
参 编 朱桂斌 李秋华
顾 军 皮常谦 徐 舜

本书介绍电声设备的基本原理、主要性能指标、使用方法和维护方法。全书共分10章。第1章为电声基础知识，包括声波的产生与传播、声波的度量、听觉的主观感受、人耳听觉特性以及室内声学基础。第2章介绍电声系统的基本概念、电声系统的分类、组成以及声音质量评价方法。第3章介绍电声系统的组成、工作原理、主要性能指标及选用。第4章介绍电声系统的组成、工作原理、主要性能指标及选用。第5章介绍电声系统的组成、工作原理、主要性能指标及选用。第6章介绍电声系统的组成、工作原理、主要性能指标及选用。第7章介绍电声系统的组成、工作原理、主要性能指标及选用。第8章介绍电声系统的组成、工作原理、主要性能指标及选用。第9章介绍电声系统的组成、工作原理、主要性能指标及选用。第10章介绍电声系统的组成、工作原理、主要性能指标及选用。

全书共分10章。第1章为电声基础知识，包括声波的产生与传播、声波的度量、听觉的主观感受、人耳听觉特性以及室内声学基础。第2章介绍电声系统的基本概念、电声系统的分类、组成以及声音质量评价方法。第3章介绍电声系统的组成、工作原理、主要性能指标及选用。第4章介绍电声系统的组成、工作原理、主要性能指标及选用。第5章介绍电声系统的组成、工作原理、主要性能指标及选用。第6章介绍电声系统的组成、工作原理、主要性能指标及选用。第7章介绍电声系统的组成、工作原理、主要性能指标及选用。第8章介绍电声系统的组成、工作原理、主要性能指标及选用。第9章介绍电声系统的组成、工作原理、主要性能指标及选用。第10章介绍电声系统的组成、工作原理、主要性能指标及选用。

国防工业出版社

地址：北京·发行部：(010)88240252
发行部：(010)88240252
发行部：(010)88240252

在本书的编写过程中，参考和引用了他人的研究成果和书论，这些材料在本书的参考文献

内 容 简 介

本书比较系统地介绍了音响系统的构成及相关设备,主要内容包括电声基础、电声器件、常用电声设备及数字音频技术,音响系统组成、使用、维护与调试,简要介绍了灯光基础知识。

本书注重电声器件、设备的基本原理、性能及使用、维护方法的介绍,兼顾相关前沿技术。内容比较丰富,叙述深入浅出,并配有大量图表,列举了一些实例。适合作为从事声像传输、音响工程等领域工作人员以及调音员的培训教材或参考资料,也可供音响爱好者或从事信息、计算机类以及相关专业的专业人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电声技术与音响系统/杜鹃,吴乐华主编. —北京:国防工业出版社,2015.5

ISBN 978-7-118-10093-8

I. ①电... II. ①杜...②吴... III. ①电声技术—基本知识②音频设备—基本知识 IV. ①TN912.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 099974 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

涿中印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 14 字数 242 千字

2015年5月第1版第1次印刷 印数1—2000册 定价38.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

随着科技的发展、社会的进步、生活的富足,电声与音响系统的应用日益广泛,在人们的日常生活中几乎时时处处都伴有重放声。为了让音响爱好者能够较快入门,让音响从业者能够有所提高,本书作者根据多年从事声像教学的实践经验,在电声与音响系统相关培训教材的基础上重新整理编写了此书。

本书既介绍音响设备的基本原理、主要作用,也介绍其操作使用方法。就其广度和深度而言,主要针对初学者,并力求兼顾具有一定基础的不同读者或培训对象的需求。

全书共分10章。第1章为电声基础知识,包括声波的产生与传播、声波的度量、听觉的主观感受、人耳听觉特性以及室内声学基础;第2章为音响系统概论,介绍音响技术的基本概念,音响系统的分类、组成以及声音质量评价方法,音响设备的电声性能指标;第3章介绍传声器,包括传声器的种类、工作原理和性能指标,传声器的选用、使用特点,语言声的拾音方法;第4章介绍调音台,包括调音台的分类、主要功能、主要技术指标以及工作原理,调音台的结构、操作使用与选用;第5章介绍音频放大器,包括前置放大器的组成及主要电路,功率放大器的组成、种类、主要指标及操作使用方法;第6章介绍扬声器系统,包括扬声器的种类、工作原理、主要指标及选用原则,分频器的作用、种类,扬声器系统的组成、种类及选择使用,耳机的分类、主要性能参数及选用;第7章介绍数字音频技术,包括音频信号的数字化,音频信息的相关压缩标准,声音文件格式及接口,数字音频处理设备及数字调音台,数字音频工作站;第8章介绍信号处理器,包括均衡器的作用、类型、主要技术指标、操作使用及调节方法,延时器、混响器和多效果处理器的作用、操作使用以及在音响系统中的连接方式,压限器、激励器和反馈抑制器的作用、工作原理及其在音响系统中的连接方式等;第9章为音响系统的连接与调试,介绍音响系统的连接线、接插件、线路连接方式以及接地方式,音响设备之间的配接,音箱声场的布局,音响系统的常规操作,调音的一般方法以及语声的调音方法;第10章介绍灯光基础知识,主要包括光的基本概念、常用电光源和灯具、调光及控制设备等。每一章均配有习题与思考题。

本书由杜鹃、吴乐华担任主编,负责纲目拟定、组织编写和统稿工作。

本书编写采取了全体编委集体讨论、分工合作的方式,编写任务具体分工为:第1章和第7章由朱桂斌编写,第2章与第9章由吴乐华编写,第3章由李秋华编写,第4章由杜鹃编写,第5章由顾军编写,第6章由李秋华与徐舜编写,第8章由顾军、吴乐华编写,第10章由皮常谦编写。

在本书的编写过程中,参考和引用了他人的研究成果和书籍,这些资料已在本书的参考文

献中列出,特在此对文献的作者们表示由衷的谢意。

在本书的编写过程中,尽管我们力求文字准确,说理清楚,但由于水平有限,时间仓促,书中难免存在一些谬误和不足,恳请读者批评指正。

编者
2014年11月

目 录

第1章 电声基础	1
1.1 声波的产生与传播	1
1.1.1 声波的产生与传播过程	1
1.1.2 声波的传播特性	2
1.2 声波的度量	4
1.2.1 频率、声速和波长	4
1.2.2 声级	5
1.3 听觉的主观感受	7
1.3.1 响度	7
1.3.2 音调	8
1.3.3 音色	9
1.4 人耳的听觉特性	9
1.4.1 掩蔽效应	9
1.4.2 双耳效应	10
1.4.3 哈斯效应	10
1.5 室内声学基础	11
1.5.1 室内听到的声音	11
1.5.2 声扩散与临界距离	13
1.5.3 混响时间	13
1.6 立体声基础	14
1.6.1 立体声原理	14
1.6.2 立体声系统	15
1.6.3 环绕立体声	15
习题与思考题	16
第2章 音响系统概论	17
2.1 音响系统及分类	17
2.1.1 音响技术	17
2.1.2 音响与音响系统	17

2.1.3	音响系统的分类	18
2.2	音响系统的组成	19
2.2.1	音响系统组成框图	20
2.2.2	各组成部分的作用	20
2.3	音响系统的电声性能指标	22
2.3.1	音响设备的基本性能指标	22
2.3.2	室内扩声系统的主要电声指标	23
2.3.3	音响系统中的电平	25
2.4	音响系统声音质量的评价	26
2.4.1	声音的客观评价方法	26
2.4.2	音质的主观评价方法	27
	习题与思考题	30
第3章	传声器	31
3.1	传声器的种类及工作原理	31
3.1.1	传声器的种类	31
3.1.2	动圈式传声器	32
3.1.3	铝带式传声器	33
3.1.4	电容式传声器	35
3.1.5	其他传声器	36
3.2	传声器的性能指标	38
3.3	传声器的选用	40
3.3.1	按系统的总要求及应用场合选用	40
3.3.2	按传声器与后级设备的配合选用	40
3.3.3	从厅堂的声学特性考虑	40
3.3.4	无线传声器的选用	41
3.3.5	专业传声器的选用	42
3.4	传声器的使用	42
3.4.1	传声器的使用要求	42
3.4.2	传声器的连接	43
3.4.3	传声器的安放	44
3.4.4	传声器使用中的若干问题	44
3.5	语言声的拾音	46
3.5.1	语言声的特点	46
3.5.2	单人讲话的拾音	46

3.5.3	交谈与座谈的拾音	46
	习题与思考题	48
第4章	调音台	49
4.1	调音台的功能与种类	49
4.1.1	对调音台的基本要求	49
4.1.2	调音台的种类	49
4.1.3	调音台的主要功能	50
4.2	调音台的主要技术指标	51
4.3	调音台的组成与工作原理	53
4.3.1	调音台的组成	53
4.3.2	调音台的基本原理	55
4.4	调音台的结构及操作	59
4.4.1	调音台的特点	59
4.4.2	调音台的结构与功能	59
4.4.3	调音台的操作与使用	74
4.5	调音台的选用	84
	习题与思考题	85
第5章	音频放大器	86
5.1	前置放大器	86
5.1.1	前置放大器的组成	86
5.1.2	前置放大器的主要电路	87
5.2	功率放大器	89
5.2.1	对功率放大器的基本要求	89
5.2.2	功率放大器的主要指标	90
5.2.3	功率放大器的组成	90
5.2.4	功率放大器的种类	91
5.2.5	功率放大器的操作使用	93
	习题与思考题	97
第6章	扬声器系统	98
6.1	扬声器的种类及工作原理	98
6.1.1	扬声器的种类	98
6.1.2	电动式扬声器	99
6.1.3	电容式扬声器	102
6.1.4	电磁式扬声器	102

6.1.5	压电式扬声器	103
6.2	扬声器的主要技术指标	103
6.3	扬声器的选用原则	106
6.4	分频器	107
6.4.1	分频器的作用	107
6.4.2	分频器的种类	107
6.5	扬声器系统	109
6.5.1	扬声器系统的组成	109
6.5.2	音箱的种类	109
6.5.3	音箱的选择使用	110
6.6	耳机	113
6.6.1	耳机的分类	113
6.6.2	耳机的主要性能参数	113
6.6.3	耳机的选用	114
	习题与思考题	114
第7章 数字音频技术		115
7.1	音频信号的数字化	115
7.2	音频信息压缩编码方法	116
7.2.1	音频信息压缩编码方法分类	117
7.2.2	波形编码	117
7.2.3	参数编码	117
7.2.4	混合编码	117
7.2.5	感知编码	118
7.3	音频压缩编码标准	118
7.3.1	G.7XX 系列音频压缩编码标准	118
7.3.2	MPEG-X 系列音频压缩编码标准	120
7.4	数字音频文件格式与接口	123
7.4.1	数据音频文件格式	123
7.4.2	数字音频接口标准简介	124
7.4.3	数字音频接口卡	125
7.5	数字信号处理设备及数字调音台	128
7.5.1	数字信号处理设备	128
7.5.2	数字调音台	129
7.6	数字音频工作站	142

7.6.1	数字音频工作站的硬件构成	142
7.6.2	数字音频工作站的主要功能	144
7.6.3	数字音频工作站软件	145
	习题与思考题	147
第8章	信号处理器	148
8.1	均衡器	148
8.1.1	均衡器的分类与作用	148
8.1.2	均衡器的主要技术指标	149
8.1.3	均衡器的操作使用	150
8.2	效果处理器	154
8.2.1	延时器	154
8.2.2	混响器	156
8.2.3	多效果处理器	159
8.2.4	效果处理器在音响系统中的连接方法	160
8.3	压限器	161
8.3.1	压限器的作用	161
8.3.2	压限器的工作原理	161
8.3.3	压限器的主要技术指标	162
8.3.4	压限器在扩声系统中的连接	163
8.4	激励器	163
8.4.1	激励器的作用	163
8.4.2	激励器的工作原理	164
8.4.3	激励器在扩声系统中的连接	165
8.5	反馈抑制器	166
8.5.1	声反馈及其产生的原因	166
8.5.2	反馈抑制器的工作原理	166
8.5.3	反馈抑制器在扩声系统中的连接	167
	习题与思考题	168
第9章	音响系统的连接与调试	169
9.1	音响系统的连接	169
9.1.1	音响系统中的连接线	169
9.1.2	音响系统中常用的接插件	170
9.1.3	音响设备间的线路连接	172
9.1.4	相邻设备间的电平配接	174

9.1.5	相邻设备间的输入、输出阻抗配接	176
9.1.6	频率范围与声源频响的一致	177
9.1.7	音响设备连接的工艺要求	177
9.1.8	接地	177
9.2	音箱声场的布局	180
9.2.1	室内扩声系统中的扬声器布置方式	180
9.2.2	音箱声场布局要点	181
9.2.3	音箱的安装方式	182
9.2.4	双声道立体声扩声系统中的音箱布局	182
9.2.5	多声道环绕声系统的音箱放置	185
9.3	音响系统的调试	188
9.3.1	常规操作	188
9.3.2	调音的一般方法	190
9.3.3	语声的调音	193
	习题与思考题	194
第10章	灯光基础	196
10.1	光的基本概念	196
10.1.1	光与光源	196
10.1.2	色温	196
10.1.3	光源的显色性	197
10.1.4	光的基本单位	197
10.2	常用电光源和灯具	198
10.2.1	电光源的命名及分类	198
10.2.2	电视照明对灯具的要求	200
10.2.3	电视照明的灯具	201
10.3	调光及控制设备	205
10.3.1	灯光调节方法	205
10.3.2	调光器	206
10.3.3	数字调光控制台	206
	习题与思考题	213
	参考文献	214

第1章 电声基础

电声基础主要包括声波的产生与传播、声波的度量、听觉的主观感受、人耳的听觉特性以及室内声学基础等。

1.1 声波的产生与传播

1.1.1 声波的产生与传播过程

人们在日常生活中经常听到各种各样的声音,像锣鼓声、谈话声、乐曲声、机器声等。尽管这些声音的具体形式多种多样,但它们具有一个共同的特点,就是都产生于物体的振动。例如,敲打锣鼓时,用手轻轻触及发声的锣鼓面,会感到它们在迅速振动,如果用手掌按住锣鼓面不让它振动,声音就立即消失了。又如,讲话声来自喉管内声带的振动;扬声器发声来源于纸盆或音膜的振动;机器声来源于机械部件的振动等。可见,声音的产生源于发声体的振动,如果发声体不振动,是不会产生声音的。通常把正在发出声音的振动物体(发声体)称为声源。

声源振动时,声源周围的空气(或其他相邻媒介)质点会受到扰动,随之产生疏密交替变化,形成疏密波,即声波。声波存在的空间称为声场。显然,声场中有声场媒介,正是由于声场媒介的存在,声源振动时才会引起周围媒介产生扰动,而扰动也才能通过声场媒介进行传递。

声源产生的声波,经过声场媒介(空间、物体或水)向四面八方传播,人耳接收到声波的振动后,通过听觉神经传达给大脑,这就是声音传播的整个过程,如图1-1所示。

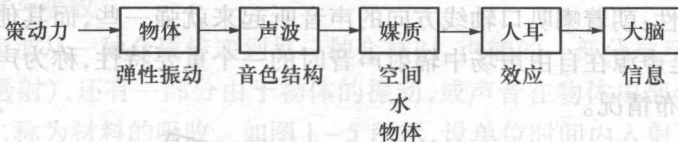


图1-1 声音的传播过程

振动物体产生的声音,必须通过空气或其他媒介传播,才能使人们听到。声音是客观物体振动,通过媒介传播,作用于人耳产生的主观感觉。声音的振动、传播、听觉感受是一个十分复杂的过程,如果没有空气或其他媒介,人们就听不到声音,如:月球上没有空气,所以月球是“无声的世界”;同样,如果没有人耳,人们就感受不到声音。因此,要听到声音,必须具备三个基本条件:

- (1) 存在声源;
- (2) 要有传播声波的弹性媒介,即传声介质,例如:空气;
- (3) 要通过人耳听觉产生声音的感觉。

声波是一种机械波。所有振动物体都能发出机械波,但不是所有的机械波都能被人们听见,只有频率在20~20000Hz范围内的机械波才能被人们听到,所以该频率范围内的机械波才称为声波。20Hz~20kHz是人耳的听音范围,称为可闻声频率范围;在这个频率范围以外的机

机械波不能引起听觉,频率超过 20kHz 的机械波称做超声波,频率低于 20Hz 的机械波称为次声波。

1.1.2 声波的传播特性

1. 声波传播的方向性

由于相邻媒介受声源振动产生的疏密交替变化方向与声波的传播方向一致,因此声波是一种纵波。在某一个时刻,同相位的振动传播到达点的集合称为波前,也称波阵面。根据波阵面的不同可以将声波分为平面波和球面波,即:波阵面是平面的波称为平面波,波阵面是球面的波称为球面波。电声技术与音响系统中研究的主要是平面波。

声波的传播方向可以用声射线来表示,声射线简称声线。球面波的声线是以声源为中心的半径,所以球面波是无方向性的,如图 1-2 所示。点声源在空气中产生的声波就是以球面波的形式传播的。

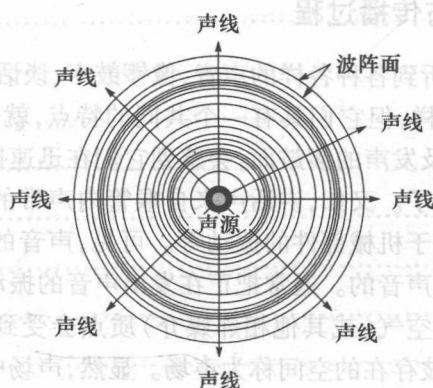


图 1-2 球面波的传播

大多数声源具有方向性,即声波向某一方向辐射得最强。例如,通过喇叭(扬声器)发声就具有明显的方向性:朝着喇叭口轴线方向的声音听起来就强一些,而其他方向就弱一些,如图 1-3 所示。这是声源在自由声场中辐射声音时的一个重要特性,称为声源的指向性,它体现了声音的强度分布情况。

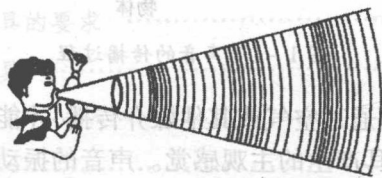


图 1-3 声波的方向性

声源的指向性与声源的相对尺寸、所辐射的频率等因素有关。在进行厅堂建声设计、扬声器布置时,都应该考虑声源的指向性。

2. 声波传播的特性

在声波的传播过程中,声场空间是比较复杂的,声波传播过程中会遇到障碍物、反射体及不同的声场媒介,还可能遇到其他声波。声波在均匀介质中传播时,传播方向不会改变;而在非均匀介质中传播时,传播方向会发生改变。当声波从一种介质传播到另一种介质时,两种介质的界面处会发生反射、透射或折射;当声波在传播过程中遇到障碍物时,会发生绕过障碍的现

象,如图 1-4 所示。

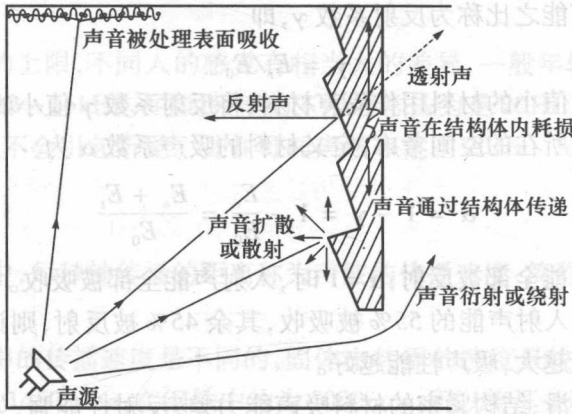


图 1-4 声波的反射、吸收、绕射现象

1) 声波的反射

站在北京天坛的“三音石”上拍一下手,可以听到连续的三响回声。这是由于声波在空气中传播时,遇到墙壁引起声波反射的缘故。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 340m/s,砖或混凝土中声速约为 4000m/s),此时入射波的一部分被反射,形成反射波,这种现象称为声波的反射,它遵守波的反射定律。

2) 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,声波的折射符合折射定律。

一般来说,只要是传声介质的密度、压强、温度或声阻不同,就应看作是两种介质,声波在其中传播的速度就会发生变化,就会产生折射。而这两种介质并不一定要具有明显的分界面。

3) 声波的透射与吸收

一般来说,当声波从一种介质传递到另一种介质时,声能的一部分被反射,一部分透过物体继续传播(称为透射),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,称为材料的吸收。如图 1-5 所示,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 ,则根据能量守恒定律有:

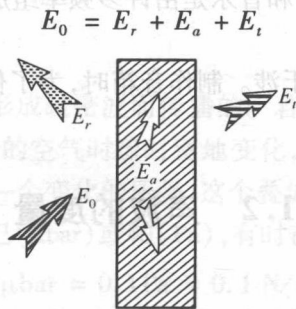


图 1-5 声能的反射、透射与吸收

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

$$\gamma = E_r/E_0$$

通常将透射系数 τ 值小的材料用作隔声材料, 将反射系数 γ 值小的材料用作吸声材料。

从入射波与反射波所在的空间考虑, 定义材料的吸声系数 α 为

$$\alpha = 1 - \gamma = 1 - \frac{E_r}{E_0} = \frac{E_a + E_t}{E_0}$$

当 $\alpha=0$ 时, 入射声能全部被反射; $\alpha=1$ 时, 入射声能全部被吸收。因此, 材料的吸声系数值在 $0 \sim 1$ 之间。例如, 入射声能的 55% 被吸收, 其余 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。

一般说来, 坚硬、光滑、结构紧密的材料吸声能力差, 反射性能强, 如大理石、混凝土、水泥粉刷墙面等; 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, 如玻璃棉、半穿孔吸声装饰纤维板、微孔砖等。吸声系数的大小除与材料本身性质有关外, 还与声波的频率、入射方向、材料的厚度、安装时背后空气层厚度有关。

工程上, 通常取 125Hz、250Hz、500Hz、1000Hz、2000Hz、4000Hz 六个频率的吸声系数表示材料的吸声性能。若未加说明, 则专指 500Hz 时的吸声系数。吸声系数表示吸声材料的吸声性能, 体现了单位面积的吸声量, 由吸声材料本身性质决定。

厅堂中某一吸声材料或结构的吸声能力, 不仅取决于吸声系数, 同时还与面积大小有关。通过合理地布放吸声材料, 可以改善室内听音条件。

4) 声波的衍射

声波在传播过程中遇到障碍物时, 传播方向要发生改变, 即发生绕过障碍物的衍射现象, 也称绕射现象。例如, 打开房间的窗户时, 邻居家的谈话声会从窗户传过来, 这就是发生了声波衍射的结果。

5) 声波的干涉

若两个频率相同、振幅相等、相位差为零或恒定的波在同一介质中传播, 则在空间某些地方振幅最大, 在某些地方振幅最小, 这种现象称为波干涉现象, 这两个波叫相干波。

当振动频率、振幅和传播速度相同而传播方向相反的两列波叠加时, 就产生驻波。驻波是一种特殊的干涉现象。干涉现象在房间内经常遇到, 由于声源的直射与墙面上的反射, 在空间的某点就会产生干涉。如果纯音发生干涉, 必然有的地方音强, 有的地方音弱, 甚至有的地方形成死点, 听不到声音。然而, 语言和音乐是由许多频率组成的复合音, 即使发生干涉现象, 也不易被人耳听见。

若音箱连接时反相, 也易形成干涉。制作音箱时, 为了保证音质, 必须采取一定的措施防止驻波的产生。

1.2 声波的度量

1.2.1 频率、声速和波长

1. 频率

振动体每秒钟振动的次数称为频率, 单位是赫兹 (Hz), 简称赫, 用符号 f 表示。振动体每

振动一次,即完成一次往复运动所需要的时间称为周期,单位是秒(s),用符号 T 表示。显然, $T=1/f$ 。

对于可闻声频率的上限,不同人的感觉有相当大的差异,一般年轻人可以听到约 20kHz,中老年人则只能听到 12~16kHz。可闻频率的下限通常认为是 20Hz。人对低于 20Hz 的次声波可以感觉到振动,但不会引起听觉。处在可闻声频率范围 20Hz~20kHz 的声波频率称为声频或音频。

2. 声速

声波在传声介质中,每秒钟传播的距离称为声波的传播速度,简称声速,用符号 c 表示,单位是米/秒(m/s)。

声波在不同介质中的传播速度是不同的,固体中传播的速度最快,其次是液体,再次是气体。如:在水中一般是 1450 m/s;在钢铁中约为 5000m/s,所以将耳朵贴近铁轨,能听到较远处开着的火车发出的声音;在标准大气压下,0℃的空气中,声音的传播速度是 331.4m/s。声速取决于传声介质的性质,而与声源频率及强度无关。

在空气中,声速与温度的关系如下:

$$c = 331.4 \sqrt{1 + \frac{\theta}{273}}$$

式中: θ 为空气温度(℃)。

空气的温度越高,声速越大;温度每增加 1℃,声速约增加 0.607m/s。例如:常温(15℃)时空气中的声速 $c = 331.4 + 15 \times 0.607 \approx 340.505$ (m/s)。因此在一般计算中,取声速 $c = 340$ m/s。

3. 波长

物体或空气分子每完成一次往复运动或疏密相间的运动所经过的距离称为波长,单位是米(m),用符号 λ 表示。

根据频率、波长和声速的定义,三者之间有如下关系:

$$\lambda = c/f$$

可见,在一定的传声介质中,波长是由声波的频率决定的:频率高,波长短;频率低,波长长。例如,在常温的空气中,当声波频率为 125Hz 时,波长约为 2.72m;当声波频率为 500Hz 时,波长约为 0.68m;当声波频率为 2000Hz 时,波长只有 0.17m 左右。

1.2.2 声级

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。当有声波传播时,某处的空气时疏时密地变化,使压强在大气压附近上下变化,相当于在原来的大气压强上叠加了一个变化的压强,这个叠加上去的、由声波引起的压强变化称为声压,用符号 p 表示,单位为微巴(μbar)或帕(Pa),有时也用牛顿/米²(N/m²):

$$1\mu\text{bar} = 0.1\text{Pa} = 0.1\text{N/m}^2$$

对于正常人耳,当频率为 1000Hz、声压约为 2×10^{-5} 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低限(闻阈或听阈)。当频率为 1000Hz、声压约为 20Pa 时,会让人感到震耳欲聋,超过这个数值将使耳朵感到疼痛,故称这个数值为声音的可听高限(痛阈)。

一个标准大气压(1 atm) = 1.03×10^5 Pa, 而人们正常说话时的声压约为 $0.2 \sim 0.3 \mu\text{bar}$ (即 $0.02 \sim 0.03\text{Pa}$), 是大气压的千万分之二至千万分之三。

2. 声功率

声波是能量传播的一种形式, 因此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, 用符号 W 表示, 单位为瓦(W)。注意, 不要把声功率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。

声功率与声压的区别在于, 一个是能量关系, 一个是压力关系。声功率与声压一样, 其范围很宽。表 1-1 给出了几种不同声源的声功率, 由此可见, 一般人讲话的声功率是很小的, 约为 $20 \mu\text{W}$, 稍微提高嗓音时约为 $50 \mu\text{W}$, 而轻声耳语时大约只有 $0.001 \mu\text{W}$; 歌唱演员的声功率一般约为 $300 \mu\text{W}$, 水平高的艺术家可达到 $5000 \sim 10000 \mu\text{W}$; 喷气式飞机的声功率则可能会超过 10000W 。

表 1-1 几种不同声源的声功率

声源种类	声功率	声源种类	声功率
喷气飞机	10000W	钢琴	2000 μW
气锤	1W	女高音	1000 ~ 7200 μW
汽车	0.1W	对话	20 μW

由于一般人讲话的声功率并不大, 因此在面积较大的厅堂内讲话或演出时, 往往需要借助扩声系统来放大声音。

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

$$I = W/S$$

在无反射声波的自由声场中, 点声源发出的球面波, 均匀向四周辐射声能, 因此, 距离声场中心为 r 的球面上的声强为

$$I = \frac{W}{4\pi r^2}$$

可见, 对于球面波, 声强与点声源的声功率 W 成正比, 而与距离(半径) r 的平方成反比, 即若距离加倍, 声强 I 就减为原来的 $1/4$ 。在自由声场中, 声强随着离开声源的距离的增加, 按平方成反比减小的规律, 称为平方反比定律。

对于平面波, 由于声线互相平行, 同一束声能通过声源不同距离的平面时, 声能没有聚焦或发散, 即与距离无关, 所以声强不变。指向性极强的大型扬声器就是利用这一原理进行设计的, 其声音可传播几十千米远。

以上考虑的都是声音在无损耗、无衰减的媒质中传播的情况。实际上, 声波在媒质中传播时, 声能总是有损耗的。声音的频率越高, 损耗也就越大。

在实际工作中, 指定方向的声强难以测量, 因此通常是测出声压, 然后由公式计算出声强和声功率。