



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

〔音频技术与录音艺术系列教材〕

Audio Technology and Recording Arts Series

扩声技术概论

〔 朱伟 胡泽 王鑫 编著 〕

中国传媒大学出版社

〔音频技术与录音艺术系列教材〕

Audio Technology and Recording Arts Series

扩声技术概论

〔 朱伟 胡泽 王鑫 编著 〕

中国传媒大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

扩声技术概论/朱伟,胡泽,王鑫编著. —北京:中国传媒大学出版社,2010. 5
ISBN 978-7-81127-917-7

I. ①扩… II. ①朱… ②胡… ③王…
III. ①扩声系统—电声技术 IV. ①TN912. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 080684 号

扩声技术概论

编 著 朱 伟 胡 泽 王 鑫
责任编辑 李艳华
责任印制 范明懿
封面设计 阿 东
出 版 人 蔡 翔

出版发行 中国传媒大学出版社 (原北京广播学院出版社)

社 址 北京市朝阳区定福庄东街 1 号 邮编:100024
电 话 86—10—65450528 65450532 传真:65779405
网 址 <http://www.cucp.com.cn>
经 销 全国新华书店

印 刷 北京中科印刷有限公司
开 本 787×1092mm 1/16
印 张 16
版 次 2010 年 9 月第 1 版 2010 年 9 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-81127-917-7/TN·917 定 价 39.00 元

版权所有 翻印必究 印装错误 负责调换

前 言

本书从声学的角度系统阐述了扩声技术的基本原理,主要介绍了室内扩声和室外扩声的基本特点、技术要求、电声设计及其优化,以及扩声系统网络化的新技术,同时以演出扩声为例说明了扩声中常用电声设备的基本原理及使用方法。全书共分九章:

第一章 绪论:主要介绍扩声系统的功能、分类、设备组成及工作原理;

第二章 声音的传播:主要介绍声音传播的基本知识;

第三章 扩声系统中设备单元的工作原理及应用:主要介绍扩声系统中基本电声器件扬声器及其系统的原理和应用,以及调音台的原理和基本的调音方法;

第四章 室外扩声系统:主要介绍室外扩声的特点和电声系统的应用;

第五章 室内声学:主要介绍室内声学的基本知识;

第六章 室内扩声系统:主要介绍室内扩声的特点,以及电声系统的设计和应用;

第七章 音响系统的集成:主要介绍音响系统的设计流程,以及集成中涉及的恒压分布式系统、线缆特性和重低音等问题;

第八章 EASE 软件在扩声系统优化中的应用:主要介绍 EASE 声学仿真软件在扩声系统设计和优化中的应用等问题;

第九章 网络化扩声系统:主要介绍以太网和 CobraNet 网络技术在扩声中的应用。

本书是在中国传媒大学扩声技术原用教材的基础上重新编写而成,其中第一章至第七章由朱伟编写,第八章由王鑫编写,第九章由胡泽编写。本书可作为大专院校录音专业、音响工程专业以及相关专业的教材,也可作为从事扩声工作的技术人员和研究人员的参考用书。

目 录

第一章 绪论	1
第一节 扩声系统的功能 /2	
第二节 扩声系统的分类 /2	
第三节 扩声系统的设备组成及工作原理 /6	
第二章 声音的传播	8
第一节 声音的波长、速度和频率 /8	
第二节 正弦波的混合 /11	
第三节 延时正弦波的混合 /13	
第四节 声音的绕射 /15	
第五节 温度梯度、风速梯度和湿度对声音传播的影响 /16	
第三章 扩声系统中设备单元的工作原理及应用	18
第一节 扬声器 /18	
第二节 调音台和声处理设备 /72	
第四章 室外扩声系统	114
第一节 声学增益的概念 /115	
第二节 指向性传声器和扬声器的影响 /116	
第三节 声学增益的计算 /117	

第五章 室内声学	120
第一节 声音的吸收和反射 /120	
第二节 室内声场的建立和衰减 /124	
第三节 混响和混响时间 /126	
第四节 直达声声场和混响声场 /130	
第五节 临界距离 /131	
第六节 房间常数 /132	
 第六章 室内扩声系统	 138
第一节 声反馈和潜在系统增益 /138	
第二节 小房间的声场计算 /140	
第三节 中等尺寸房间的声场计算 /142	
第四节 分布式扬声器系统的声场计算 /145	
第五节 系统增益与频率响应的关系 /146	
第六节 室内音响系统增益的计算 /147	
第七节 室内音响系统增益的测量 /148	
第八节 对声音清晰度的一般要求 /149	
第九节 扩声中延时的作用 /153	
第十节 系统均衡和扬声器的功率响应 /154	
第十一节 室内音响系统设计综述 /156	
 第七章 音响系统的集成	 158
第一节 典型的信号流程图 /158	
第二节 电缆规格和线路损失 /160	
第三节 定压分布式系统 /162	
第四节 重低音音箱 /164	

第八章 EASE 软件在扩声系统优化中的应用	166
第一节 声学模拟计算机辅助设计及 EASE 软件的发展 /166	
第二节 EASE 软件建模流程及功能模块 /168	
第三节 EASE 软件厅堂模型建立 /170	
第四节 EASE 软件厅堂声学特性基础模拟研究 /177	
第五节 EASE 软件厅堂声学特性高级模拟研究 /187	
第六节 EASE 软件应用中的问题 /200	
 第九章 网络化扩声系统	202
第一节 网络音频技术 /202	
第二节 以太网技术 /208	
第三节 CobraNet 网络技术 /216	
第四节 网络化扩声系统的连接 /241	
 参考文献	246

第一章 绪论

扩声系统的基本作用就是通过建筑声学 and 电声学的手段使听众、技术和艺术工作者获得所需要的声音信息。

众所周知,自然声源所发出的声功率是有限的。随着声波的传输,声压级会逐渐下降,从而造成在噪声环境下的听音者听不清声音所包含的信息,甚至完全听不到声音。因此,在室内厅堂和室外,需要用扩声系统对声信号进行放大等处理,使听众所处的声场环境有一个令人满意的声压级。

要想达到这样的目的,就要利用室内声学 and 电声学的手段。比如在古老的教堂中,为布道坛加设音罩,以便增加声音附加的反射,提高特定区域的声压级;而在一些古遗迹中,我们常常会见到船舶中使用的声管装置被用来传输声音。至今这些传统的设施还在使用,因为它们可以满足一些基本的要求,并且基本上不用维护。尽管如此,其系统 in 多功能性和传输音质等方面的不足,使这些设施已经不能满足当代设计的要求。

电声学的发展为现代扩声系统的设计提供了强大的支持。除了传递简单的信息,再现舞台声场效果之外,电声学的发展为一些全新的应用铺就了道路。比如在一些公共场合的扩声系统中,除了向人们传递一些服务性信息之外,它还有背景音乐和应急信息等等。

扩声系统的最大贡献体现在文化娱乐领域。如今在室外活动、展览会和音乐表演中,扩声系统已经被普遍采用。这时声音信号在拾取后被直接传输和辐射出去(实时工作方式),或者先存储在声音媒体中,然后在以后需要的时候再传输出去(重放工作方式)。对于实时工作方式,因为声音的拾取和放大信号的辐射是发生在同一声场环境中,所以就会产生相互干扰(声反馈),这样的扩声工作就要着重考虑系统稳定工作的问题。

近些年来,扩声技术和电声学的发展不断创造出新的艺术表现方式,比如电子音乐等;同时也为一些古老的艺术表现形式增添了新的表现方法和创作手段。随着科技的进步,扩声技术必将有突飞猛进的发展。

第一节 扩声系统的功能

通常,人们希望扩声系统能够满足如下部分或全部要求:

- (1)改善声音的可懂度和清晰度;
- (2)提高声音的动态范围;
- (3)改善演出中不同声音部分(语言、歌唱和乐器)间的声学平衡;
- (4)确保“虚拟”声源(声象)和原始声源在视觉和听觉上有一定的一致关系,尤其是在大的或复杂的几何形状的空间中进行扩声;
- (5)有助于克服复杂声环境给声传输带来的困难;
- (6)增强演出时观众的参与意识;
- (7)调整扩声场所的声学参数;
- (8)增强对空间声学效果的感知,比如对活动声源、空间感和临场感的感知;
- (9)调整人声和乐器声的电信号特性;
- (10)进行预编程,以简化技术处理。

其中(1)~(5)是针对基本应用的,(6)~(10)是针对大型的文化演出的扩声系统的。要想满足这些要求,设计出优良的扩声系统,不仅要满足系统的技术指标,而且要满足对声学环境的要求。

第二节 扩声系统的分类

扩声系统的种类很多,可以按照其环境、声源性质、工作原理、用途、声能分配方式和扩声系统的结构分类。

一、按工作环境分类

按工作环境分,扩声系统可以分成室外扩声系统和室内扩声系统。室外扩声的特点是反射声音少,有回声干扰,扩声区域大,声学条件复杂,干扰噪声强,扩声质量受气候条件的影响较大。室内扩声的特点是对音质要求高,有混响干扰,扩声质量受房间的声学缺陷的影响较大。

二、按声源性质分类

按声源性质分,扩声系统可以分成语言扩声系统、音乐扩声系统、信息发布系统、语言同声传译系统、转播系统(如图 1-1 所示)和已录声音的重放系统(如图 1-2 所示)等。其中,后两种系统的扬声器和传声器并不处于同一声场环境中。



图 1-1 电视转播车上的监听系统



图 1-2 演出场所的返送监听系统



图 1-3 北京长安街天安门前的公共扩声系统

三、按工作原理分类

按工作原理分,扩声系统可以分成单声道系统、双声道立体声系统、多声道环绕声系统等。

四、按用途分类

按用途分,扩声系统可以分为室外扩声系统、室内扩声系统和特殊扩声系统。室外扩声系统包括体育场、公园、广场(如图 1-3 所示)、车站(如图 1-4 所示)、飞机场等,室内扩声系统包括礼堂、歌舞厅、酒吧、音乐厅、电影院、展览馆(如图 1-5 所示)、候机(车)厅、会议室、多功能教室、电视演播室等。此外还有其他一些特殊扩声系统,比如紧急报警系统等。



图 1-4 地铁站内用于信息发布的扩声系统

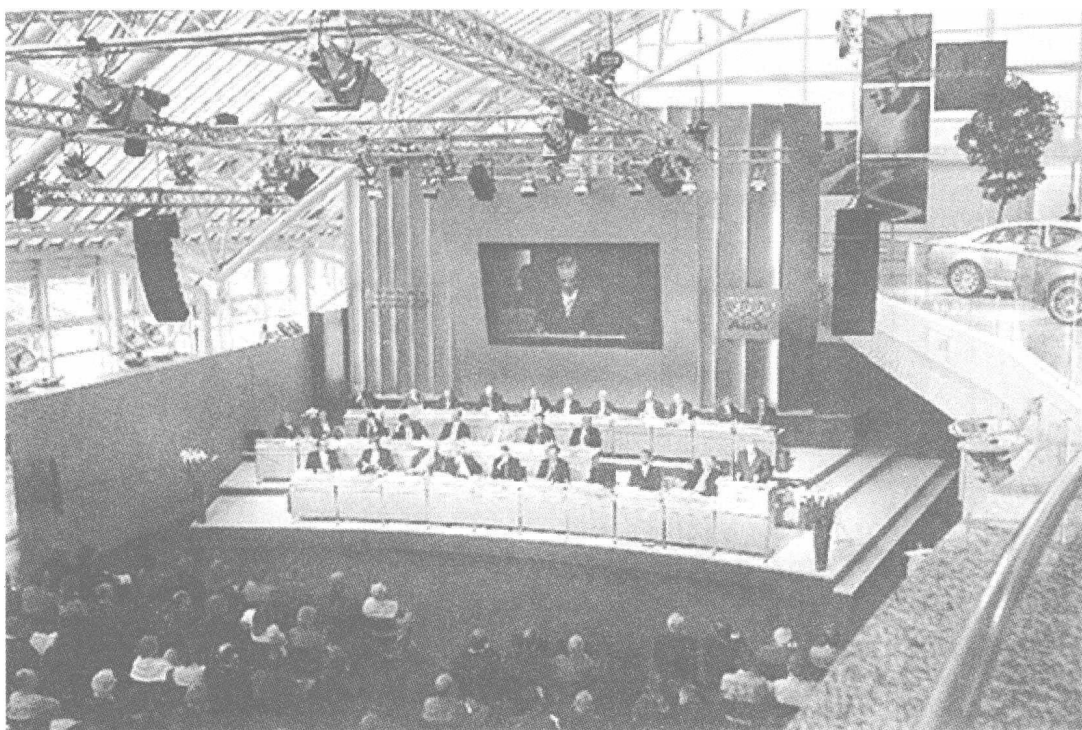


图 1-5 产品展示发布会的扩声系统

五、按声能分配方式分类

按声能方式分,扩声系统可以分为集中式系统、分区式系统、分散式系统(如图 1-6 所示)和混合式系统。

六、按扩声设备结构分类

按扩声系统设备结构分,扩声系统可以分为固定式(如图 1-7 所示)和流动(便携)式。

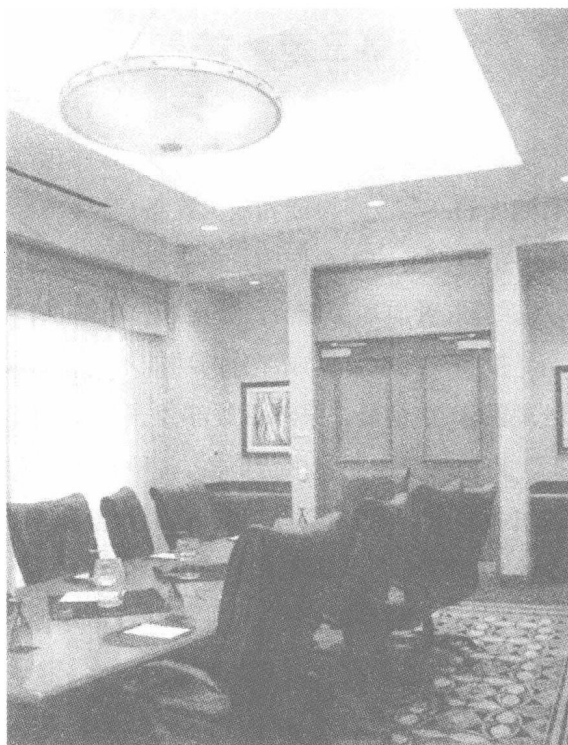


图 1-6 会议室内吸顶扬声器构建的分散式扩声系统



图 1-7 2008 年北京奥运会主会场“鸟巢”观众席上方吊装的固定扩声系统

第三节 扩声系统的设备组成及工作原理

扩声设备是指在接收声信号的同时向听众传送信息,并保证声音具有良好可懂度和自然度的一套电声换能和放大设备。

扩声设备的主要作用是将各种声源信号按照具体的扩声要求进行放大、电平调节、动态处理、音质加工、混合、分配和监听等工作。

按照系统中各组成部分的功能不同,可以将其分成四个部分:声源部分、信号控制和处理部分、声信号记录和重放部分、电源部分。

声源部分主要包括传声器、各种模拟和数字式放音设备(专业卡式录音机、开盘式录音机、CD 放音机、MD 等)、电子乐器(各种 MIDI 乐器、MIDI 音源和电声乐器等),其作用是为扩声系统提供各种所需的电声信号。

信号控制和处理部分主要包括扩声用调音台、声处理设备(压缩器、限制器、延时器、噪声门和均衡器等),以及各种效果设备(混响器、移调器和综合多用途效果处理器等)。其作用是对声源信号进行电平调节,动态处理,音质加工、监听和信号监测,以及信号混合,并且按照需要将各种混合信号分配到不同的输出上。

声信号记录和重放部分主要包括各种模拟和数字式记录设备(磁带录音机、硬盘录音机和光学式记录设备)、功率放大器和扬声器、扬声器阵列、监听耳机等。其作用是将混合后的信号记录到声记录设备上(回放工作方式)和/或直接通过音箱进行扩声工作(实时工作方式)。

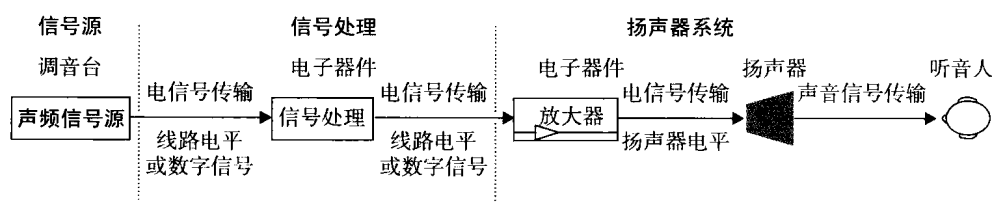


图 1—8 声音信号从信号源到听众的传输流程图

电源部分是保证系统正常运行的关键,一般由单独的相电提供。

思考题:

- 1. 扩声系统如何进行分类? 举例说明每种类型的扩声系统在现实中的应用。
- 2. 扩声系统中的电声部分如何组成? 各部分的作用如何?

第二章 声音的传播

第一节 声音的波长、速度和频率

一、声音的波长

目前还没有声学仪器可以对波长这一参量进行直接的读数显示,也没有哪个信号处理设备是按照这一参量调校的。在某些应用中,我们可以忽略波长因素,比如在无反射的自由声场空间里使用单只扬声器。而在其他应用中,波长就不再可有可无了,而是起着决定性作用的参量。在进行声波叠加时,波长是要考虑的关键参量。给定频率信号间的混合受声波波长制约,不同波长信号的混合可能产生最大限度的叠加,也可能产生最大限度的抵消。由于我们涉及的工作许多都是和声波混合相关联的,所以要对波长有更深层次的理解。

波长的长短与其在媒质中的传输速度成正比。对于给定频率的声信号,其对应的电声信号的波长与其并不一致(大约比声信号的波长长 500000 倍以上)。如果媒质发生了改变,其传输速度和波长均会随之变化。最常见的声音传输媒质是空气,声音在空气中的传播速度是最慢的。尽管对于声音传输来说,水是非常好的媒质,其在传播速度和高频响应上均有不错的表现,但是将其作为传播媒质搭建扩声系统存在电击和溺水的危险(花样游泳除外)。

二、声音的速度

在空气中,声音的传播速度大约为 344m/s(1130ft/s)。该速度值会随温度的变化有微小的相对改变,表 2-1 所示为声音在空气中传输的计算公式。

表 2-1 空气中的声音速度

描述	英制	公制
0°空气中的声音速度+环境空气温度影响产生的速度增量=在环境温度下声音的传播速度	$1052\text{ft/s} + (1.1 \times t^{\circ}\text{F}) = c \text{ ft/s}$, t 是华氏温度	$331.4\text{m/s} + (0.607 \times t^{\circ}\text{C}) = c \text{ m/s}$, t 是摄氏温度

当环境温度为 22℃ 时, $c = (331.4 + 0.607 \times 22) \text{m/s}$
 $= 344.75 \text{m/s}$

三、声音的频率

在通常的室内环境中,我们可以将温度对声音速度带来的变化忽略不计。可闻声覆盖的频率范围大约从 20Hz 至 20kHz,对于给定频率的声波,波长是指空气中传播的声音波形中连续的波形中重复点之间的距离。计算公式如下:

波长 = 速度 / 频率

或者将速度简写为 c , 频率简写为 f , 波长为简写 λ :

$\lambda = c / f$

周期(T)定义为:波形变化一周所需要的时间。

$T = 1 / f$

对于 $f = 1 \text{kHz}$ 时, $T = 1 / 1000$ 或 0.001s , 并且 $\lambda = 344 / 1000$ 或 $0.344 \text{m} (1.13 \text{ft})$ 。

最低可闻声波长的数量级为 10m(30ft),而最高声音波长短至 20mm(0.8in),两者相差的范围相当大。由此,我们可以得出结论:人们对声音的感知有很大的容限。

尽管大多数专著中都给出了人耳可闻声的频率范围:20Hz—20kHz,但很少有扬声器能够以一定的功率电平很明显地重放出 20Hz 或 20kHz 这样极低或极高频率的频谱成分。实际上,我们在讨论问题时,更愿意采用非正规的频率范围限定:31Hz—18kHz。这一频率范围所对应的波长范围,约为航海集装箱的长度到人的手指宽度,最长的波长约比最短的波长长 600 倍。图 2—1 所示为短波长所对应的人的肢体长度。表 2—2 所示为室温下,频率、周期和波长关系的参考表。

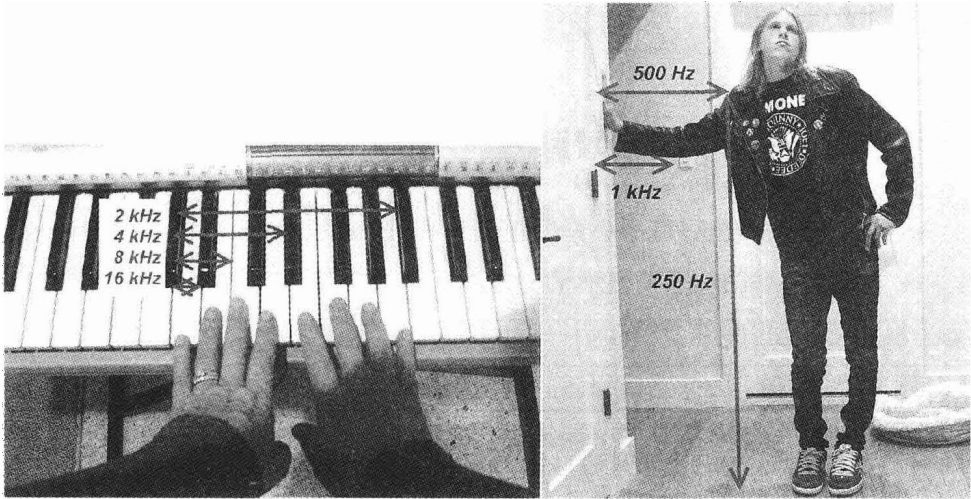


图 2—1 短波长对应的人体基准

表 2—2 频率、周期和波长参考表(室温下)

频率 (Hz)	周期 (ms)	波长(室温下)		类比的尺寸
		(m)	(ft)	
20	50.00	17.24	56.56	
25	40.00	13.79	45.07	标准海运集装箱的长度
32	31.75	10.94	35.77	
40	25.00	8.62	28.17	卡车的长度
50	20.00	6.90	22.54	标准海运集装箱长度的 1/2
63	15.87	5.47	17.89	SUV 车的长度
80	12.50	4.31	14.09	轿车的总长度
100	10.00	3.45	11.27	小型家用轿车的长度
125	8.00	2.76	9.01	卡车的宽度
160	6.25	2.15	7.04	沙克·奥尼尔的身高
200	5.00	1.72	5.63	成人平均身高
250	4.00	1.38	4.51	成人肩部至地面的高度
315	3.17	1.09	3.58	
400	2.50	0.86	2.82	
500	2.00	0.69	2.25	成人臂膀的长度
630	1.59	0.55	1.79	
800	1.25	0.43	1.41	
1000	1.00	0.34	1.13	成人肘部到腕部的长度
1250	0.80	0.28	0.90	成人男子的脚长
1600	0.63	0.22	0.70	成人女子的脚长
2000	0.50	0.17	0.56	成人八个手指的宽度
2500	0.40	0.14	0.45	
3150	0.32	0.11	0.36	CD/DVD 的直径
4000	0.25	0.086	0.28	成人四个手指的宽度
5000	0.20	0.069	0.23	
6300	0.16	0.055	0.18	
8000	0.13	0.043	0.14	成人两个手指的宽度
10000	0.10	0.034	0.11	
12500	0.08	0.028	0.09	
16000	0.06	0.022	0.07	成人单个手指的宽度
20000	0.05	0.017	0.06	

频率是为大多数人所了解的参数,因为它与音乐中的“音调”有着非常密切的关系。在涉及音乐术语时,大多数声频工程师首先想到的也是这个词。然而我们必须跳出频