

普通高等教育智能建筑规划教材

建筑影音应用系统

张振昭 谷刚 曾珞亚 编著



普通高等教育智能建筑规划教材

建筑影音应用系统

张振昭 谷 刚 曾珞亚 编著
周锡韬 主审



机械工业出版社

本书是全国智能建筑系列教材之一。内容主要包括建筑音响和视频系统两大部分共十一章。第一章 建筑音响的基本概念, 第二章 建筑音响设备应用技术, 第三章 扩声系统, 第四章 公共广播系统, 第五章 会议的音响系统, 第六章 音频矩阵与网络音响技术, 第七章 建筑影视基础, 第八章 投影设备, 第九章 大型显示装置, 第十章 视频会议系统, 第十一章 现代建筑中的有线电视网络。

本书可作为高等学校建筑电气类专业建筑智能化技术相关课程的教材, 也可供从事建筑智能化和音响视频技术的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑影音应用系统/张振昭等编著. —北京: 机械工业出版社, 2004.7
普通高等教育智能建筑规划教材
ISBN 7-111-14458-9

I. 建… II. 张… III. ①智能建筑-音频设备-高等学校-教材②智能建筑-视频系统-高等学校-教材 IV. TU243

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 042999 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: 贡克勤 版式设计: 张世琴 责任校对: 张晓蓉
封面设计: 张 静 责任印制: 施 红
北京铭成印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行
2004 年 7 月第 1 版·第 1 次印刷
787mm×1092mm $\frac{1}{16}$ ·16 印张·395 千字
定价: 23.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646
封面无防伪标均为盗版

智能建筑规划教材编委会

主 任 吴启迪

副主任 徐德淦 温伯银 陈瑞藻

委 员 程大章 张公忠 王元凯

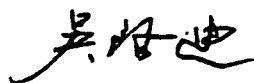
龙惟定 王 忱 张振昭

序

20 世纪, 电子技术、计算机网络技术、自动控制技术和系统工程技术获得了空前的高速发展, 并渗透到各个领域, 深刻地影响着人类的生产方式和生活方式, 给人类带来了前所未有的方便和利益。建筑领域也未能例外, 智能化建筑便是在这一背景下走进人们的生活。智能化建筑充分应用各种电子技术、计算机网络技术、自动控制技术、系统工程技术, 并加以研发和整合成智能装备, 为人们提供安全、便捷、舒适的工作条件和生活环境, 并日益成为主导现代建筑的主流。近年来, 人们不难发现, 凡是按现代化、信息化运作的机构与行业, 如政府、金融、商业、医疗、文教、体育、交通枢纽、法院、工厂等, 他们所建造的新建筑物, 都已具有不同程度的智能化。

智能化建筑市场的拓展为建筑电气工程的发展提供了宽广的天地。特别是建筑电气工程中的弱电系统, 更是借助电子技术、计算机网络技术、自动控制技术和系统工程技术在智能建筑中的综合利用, 使其获得了日新月异的发展。智能化建筑也为其设备制造、工程设计、工程施工、物业管理等行业创造了巨大的市场, 促进了社会对智能建筑技术专业人才需求的急速增加。令人高兴的是众多院校顺应时代发展的要求, 调整教学计划、更新课程内容、致力于培养建筑电气与智能建筑应用方向的人才, 以适应国民经济高速发展需要。这正是这套建筑电气与智能建筑系列教材的出版背景。

我欣喜地发现, 参加这套建筑电气与智能建筑系列教材编撰工作的有近 20 个姐妹学校, 不论是主编者或是主审者, 均是这个领域有突出成就的专家。因此, 我深信这套系列教材将会反映各姐妹学校在为国民经济服务方面的最新研究成果。系列教材的出版还说明一个问题, 时代需要协作精神, 时代需要集体智慧。我借此机会感谢所有作者, 是你们的辛劳为读者提供了一套好的教材。



写于同济园

2002 年 9 月 28 日

前 言

本书是根据 2001 年 12 月在上海召开的全国建筑电气、智能建筑系列教材编写会议的决定而编写的，并于 2004 年 1 月在广州由机械工业出版社主持召开了审稿会。

本书是电类专业或以建筑电气为方向的其他专业大学本科教材。本书的内容是智能建筑系列教材的一本，因而在编写过程中，力求从建筑智能化的需求出发，精选内容，注意到与有关课程的关联，并突出联系工程实际，尽量介绍最新技术和设备，因而使本书除具备有系统性外，还有较强的实用性。

本书由广东工业大学自动化学院张振昭教授统筹策划，并编写第一～第六章，谷刚副教授编写第九～十一章，曾珞亚讲师编写第七、第八章，最后由张振昭教授统一定稿。本书由广州大学周锡韬副教授主审。

本书编著者十分感谢全国电工及自动化专业教学指导委员会、全国智能建筑系列教材编委会的指导和帮助，感谢广东工业大学的大力支持。冯燕、冯广老师，廖翔云、王群研究生和廖永辉同志等为本书的出版做了大量工作，在此一并致谢！

由于本书是新设课程的新编教材，加上编者水平有限，错漏在所难免，恳请读者批评指正。

编著者

目 录

序

前 言

第一章 建筑音响的基本概念 1

第一节 建筑音响系统 1

第二节 建筑音响系统的基本 技术 1

第三节 声音的客观规律 2

第四节 人对声音的主观效应 6

复习与思考 12

第二章 建筑音响设备应用技术 13

第一节 扬声器及扬声器系统 13

第二节 传声器 25

第三节 调音台 29

第四节 功率放大器 44

第五节 音频信号处理设备 50

第六节 声源设备 62

复习与思考 63

第三章 扩声系统 64

第一节 扩声系统的基本组成 64

第二节 扩声系统的主要技术指标 64

第三节 扩声系统的设计 66

第四节 扩声系统工程实例 79

复习与思考 89

第四章 公共广播系统 90

第一节 公共广播系统的特点及 其组成 90

第二节 多功能公共广播系统 92

第三节 智能公共广播系统 93

复习与思考 99

第五章 会议室的音响系统 100

第一节 会议室音响系统的特点 及设计 100

第二节 会议讨论系统 101

第三节 同声传译系统 102

第四节 大型会议系统的应用 104

复习与思考 107

第六章 音频矩阵与网络音响

技术 108

第一节 音频矩阵 108

第二节 网络音响的特点 114

第三节 网络音响系统解决方案例 115

第四节 网络音响的应用 116

复习与思考 123

第七章 建筑影视基础 124

第一节 光度学 124

第二节 眩光 126

第三节 色度学 128

第四节 彩色图像的分解与重现 134

复习与思考 135

第八章 投影设备 136

第一节 大屏幕投影机用途及技术 指标 136

第二节 大屏幕投影机种类、原理及 应用 146

第三节 投影屏幕 161

复习与思考 165

第九章 大型显示装置 166

第一节 大型显示装置用途及技术 特性 166

第二节 大型显示装置的种类、原理 及应用 168

第三节 电视机组合装置——电 视墙 176

第四节 大型显示装置的应用 177

复习与思考 179

第十章 视频会议系统	181
第一节 概述	181
第二节 视频会议系统的设备与 软件	182
第三节 视频会议系统的通信网络 技术	188
第四节 视频会议系统的组成	194
第五节 视频会议系统的应用	203
复习与思考	208
第十一章 现代建筑中的有线电视	
网络	209
第一节 概述	209
第二节 有线电视系统的设备与 部件	211
第三节 有线电视的双向传输网络	219

复习与思考	231
附录	232
附录 A 中华人民共和国文化行业标准 WH/T 18—2003 演出场所扩声系统 的声学特性指标 (摘要)	232
附录 B 中华人民共和国行业标准 WH 01— 1993 歌舞厅扩声系统的声学特性 指标与测量方法 (摘要)	237
附录 C 中华人民共和国广播电视部标准 GYJ 25—1986 厅堂扩声系统声学 特性指标 (摘要)	239
附录 D 中华人民共和国文化行业标准 WH/T19—2003 扩声系统的图符 代号及制图规则 (摘要)	241
参考文献	248

第一章 建筑音响的基本概念

第一节 建筑音响系统

音响系统是指互连成系统的音响设备和它的声学环境。所谓音响设备是指对正常人耳可闻声音的变换、处理、放大和传输的硬件和软件。最常见的音响单元设备有扬声器、功率放大器、声音处理器、调音台等。音响系统的质量,最终是以音响效果来衡量的,而音响效果又与听音者所处的声学环境有着密切的关系。所谓声学环境就是对声音的听觉有影响的环境因素,它包括所处房间的体型、容积、反射、吸收和噪声等情况。实践证明,同样的音响设备,在它们互连成系统以后,在不同的听音环境有不同的音响效果。例如把一套音响设备,并把它调到同样的工作状态,放置在面积和容积不同或内部装修和摆设不同的房间中,其音响效果是很不相同的。这是因为听音环境实际上成了整个音响系统的一个部件,是扬声器的等效负载(声负载)。扬声器放出的声音,受到周围环境的反射、吸收、扩散和谐振等的影响,也即扬声器的负载有了变化,从而使声音发生了不同程度的改变。可见音响设备和其声学环境构成了完整的音响系统。

建筑音响系统是指与建筑物相关的专业音响系统,它是建筑智能化系统中的一个子系统,它包括扩声系统、公共广播系统、会议讨论发言系统以及同声传译系统等。从学术上说,它融合了电声学和室内声学并涉及到音乐声学、控制技术和网络技术等学科的综合技术。建筑音响系统和其他音响系统一样,它处理的对象是声音,而声音最终是给人听的,因此,在建筑音响系统中除了我们着重讨论声音的特性、各单元设备的功能和技术指标、声学环境各个影响声学特性的因素、单元设备的互连、网络音响和系统的设计等技术内容外,还涉及与之关系密切的音乐声学、语言声学以及人对声音的主观因素等内容。

第二节 建筑音响系统的基本技术

在建筑音响系统中,大大小小的音响系统很多,各有差异,但它们都依赖于一些基本的技术,我们只要掌握这些基本技术,就能根据实际情况而设计出符合实际需要的音响系统来。这些基本技术可归纳为以下三个方面。这里只作简要介绍,在以后各章中还将详细加以阐述。

一、音响设备应用技术

整个系统的音响设备是由音响单元设备组成的。它的种类也很多,一类是基于电和声之间能量变换原理的,如常用的扬声器、传声器、耳机以及其他一些音源设备等,对它们的主要要求是最小的失真和最高的效率;第二类是基于放大原理的,常用的有前置放大器、功率放大器等,对它们的主要要求是最小的失真和足够的输出;第三类是基于声音信号的变换原理和应用软件技术的声频信号处理设备,常用的有各种音响处理器,其在音响系统中的目的

是为了改善声音的质量或达到某种特定的声音效果。

由于数字化音响设备具有信号高保真、低噪声、高集成度、可多路远程传输和集中控制等优点,因而数字音响设备发展很快。大量的大规模的集成芯片和软件技术应用在音响设备中,几乎所有音响处理器都是数字式的。数字式音源、数字式调音台、数字式功率放大器、数字式媒体矩阵等新产品不断出现,数字声频信号的网上远程多路传输和集中控制的应用日新月异,这一切都说明了数字化是音响设备发展的必然。然而,在实现音响设备的全数字化进程中,扬声器和功率放大器等单元设备成了最薄弱环节,特别是数字扬声器。从目前情况看,如果没有技术上和成本的突破,恐怕在相当长的时间内,模拟功率放大器和扬声器还是难以取代的。

为了实现音响系统的预定功能和效果,除了深刻理解各单元设备的功能、特性和应用外,还必须掌握它们互连的诸如电平、阻抗、功率等的匹配以及各级噪声的要求等。

二、音响系统的声学环境技术

如前所述,在音响系统中可以把它声学环境看成是音响系统中的一个等效部件,要根据这个理论深入地对音响系统进行定量分析计算是相当复杂的,也没有先例,远超出了本书的范围。

这里所说的声学环境技术是指音响系统要得到预定的音响效果而需对听音环境,如体型、容积、反射、吸收和扩散等所作的处理技术。实际上这是一门“室内声学”的专门技术。编者在此从音响和音响学的观点出发,把其最基本的内容融合到音响系统中以期建立一个音响设备与声学环境的整体观念。

三、音频媒体矩阵及网络技术

通过音频媒体矩阵可以方便地对音响系统实行集中控制,也可以通过音频媒体矩阵和音频专用网络的综合应用,对多个音响系统实现远程集中控制并达到资源共享的目的。在实际工作中可用在多个会议室的集中控制,大型扩声和公共广播系统的多路信号传输与监测等。

通常,音频媒体矩阵应用软件和图形处理技术内置有多种音频处理功能模块,可以根据需要通过软连接而组成音频处理系统,这就给音响系统的设计和调整带来很大的方便。

第三节 声音的客观规律

音响系统研究的对象是声音,因此须对声音的性质和特点有一个较全面的了解。这里只是扼要的说明与音响系统关系密切的内容。

一、声反射与吸收

从声源发出直接到达人耳的声音称直达声。

声波在传播过程中,当它遇到障碍物如墙、天花板等时会产生声波的反射、吸收、传透和绕射等现象。

在波速突变的分界面上,入射波的一部分被分界面所反射而形成反射波,反射回来而达到人耳的声音为反射声。

根据几何声学原理,声音可以看成类似于光线一样的声线,并且遵守如下反射法则:

- 1) 声音在同一介质内按直线方向传播。

2) 两个声音(声线)在传播方向上相交后,各自仍按原来方向传播。

3) 当反射面尺寸比声音波长大得多时,声线的反射按入射角等于反射角的方向传播。

显然,根据几何声学原理,凹面的反射使声能集中,容易引起声音聚集和产生回声,它通常会使听音区声音不均匀和降低清晰度,因而是我们在音响系统中要避免的。凸面的反射使声能扩散,这在大多数情况下可使声音分布更均匀,并提高声能的利用率。

应该指出,作为研究声场方法之一的几何声学,严格说只适合于高频声波。但它作为一种近似方法,简单而直观,在工程上有实用价值。

声波在传播过程中,遇到各类材料时,除发生一部分声能被反射外,还发生一部分声能向材料内部传播并被吸收的现象。任何材料都有吸收声能的能力,只是这种能力的大小不同而已。入射的声能被吸收得越多,说明材料的吸声能力越强。一般来说,坚硬、光滑、结构紧密和重的材料吸声能力差,反射性能强,如大理石、混凝土、水磨石、瓷砖和水泥粉刷墙等;粗糙松软,具有互相贯穿内外微孔的多孔材料吸声能力好,反射性能差,如玻璃棉、矿棉、泡沫塑料、木丝地板和半穿孔吸声装饰纤维板和微孔砖等。

工程上通常采用吸声系数 α 来综合表征材料的吸声性能。 α 定义为声波遇到材料表面时,被吸收部分的声能和入射声能之比的百分数,即

$$\alpha = \frac{\text{吸收声能}}{\text{入射声能}} \times 100\% \quad (1-1)$$

材料的吸声系数 α 在0~1之间。 α 的大小与材料本身的特性、厚度、容重(单位容积的重量)、材料安装时背后有无空气层以及声音的频率和声波的人射方向等因素有关。其中 α 与声音频率的关系如图1-1所示。

在音响系统中利用材料对声波的吸收性能、实现消除或减弱有害反射声,营造合适声场的目的。

二、传透和绕射

当声波遇到墙、门窗等障碍物时,声波将会推动障碍物发生相应(人眼可见或不可见)的振动,这种振动又引起另一侧空气分子的相应振动,于是声音就传过去了。这就是声音的传透现象。传透本领的大小与材料性能及障碍物的结构有关,它在音响系统中与“隔声”能力有密切关系,传透本领越好,其隔声能力就越差。

当声波遇到障碍物或孔洞时,而这障碍物或孔洞的大小比声波波长大多时,可以认为声波仍沿直线传播,由于障碍物的反射作用,在障碍物后面形成一个“声影区”;当障碍物或孔洞的大小比声波波长小得多时,则声波不是沿着直线传播,而是绕过这障碍物或孔洞,达到按直线传播时要成为“阴影”的地方,这就是声音的绕射现象。由此可见,对于同样大小的障碍物或孔洞,波长越长,即频率越低的声波其绕射现象越显著,这就是说低频或越低频声波其传播的指向性不强,几乎没有方向性,而高频的声波传播方向性强。

声音在室内反射、吸收、传透和绕射现象如图1-2所示。

三、声音的干涉现象及其对音响系统音质的影响

声波的干涉是指两个或两个以上的声波按照线性叠加原理叠加在一起时产生加强区和消声区的现象。当一个声波的峰(谷)与另一声波的峰(谷)在某点相遇时,形成相长干涉,产生波加强,使某点声音变得很强,而当一个波的峰与另一个波的谷在某点相遇时,则形成相消干涉,使某点的声音变得很弱。

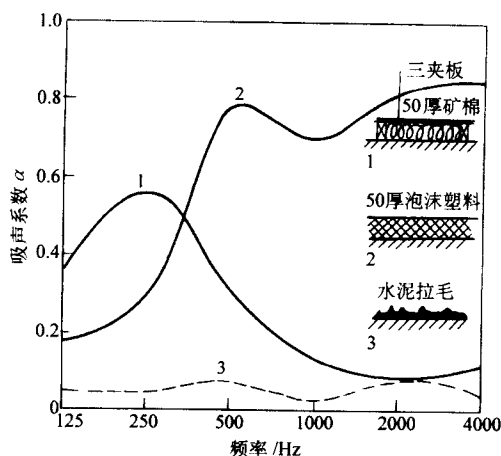


图 1-1 材料吸声特性与频率的关系

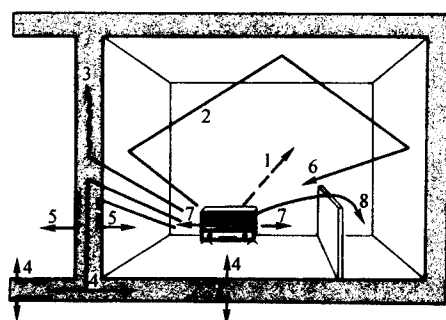


图 1-2 声波在室内的反射、吸收、传透和绕射现象

- 1—空气吸收 2—墙面反射 3—墙面吸收 4—侧向传透
5—声的传透 6—声波多次反射造成的混响
7—往返反射引起共振 8—声的绕射

在声波的传播过程中，当反射波沿入射波的路径反射，与入射波叠加而出现某点原地振动（腹点）或某点原地不动（节点）的传播波形称为驻波。驻波是声波干涉的特例。

声波的干涉现象对音响系统的音质会产生严重影响，它不但会使声音变得很不均匀，而且还会产生与严重的非线性失真相似的效果。这种在声音信号传输过程中，由于某些原因使声源中的某一频率得到过分地加强或减弱，如同在白布上染上了颜色的现象也称声染色。例如扬声器在安装的角度上，要避免对着墙面垂直入射，以避免驻波的产生等。

四、声场类型及其衰减特性

声场是声波能量分布的空间。在声场中分布着可闻声波（20Hz~20kHz）的能量，它等于直达声能和反射声能的叠加。

我们通常所说某声源的声像即某声源的虚声源。根据几何声学原理，A声源在B点的声场，可以是A声源到B点的直达声和A声源的声像A'点在B点直达声的叠加，如图1-3所示。

当反射面是平面，在离反射平面一定距离处有一个声源A，当声音从A传播到B时，一方面直达声沿着路径AB进行，而另一方面会从墙面反射。为了求出反射声线的路程，作出A的镜像A'，A'即为原始声源A的声像，A'B即表示原始声源的反射声线。因此，用声像的直达声就可以代替反射面的效应。

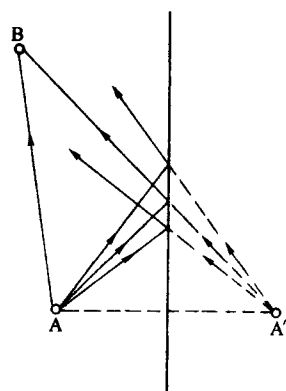


图 1-3 声像的作图法

按照声波能量在空间分布情况的不同，声场可分为自由声场、半自由声场和扩散型声场。声场类型示意图如图1-4所示。

1. 自由声场——基本无反射的声场

只有声波在室外传播时才能近似地得到自由声场。在自由声场中，离声源一定距离后可把声源看成点声源，能量是按球面分布，因而距离每增加一倍，声能衰减6dB。室外广播音

响的声压级应以自由声场的衰减规律来确定其声压级的大小。自由声场如图 1-4a 所示。

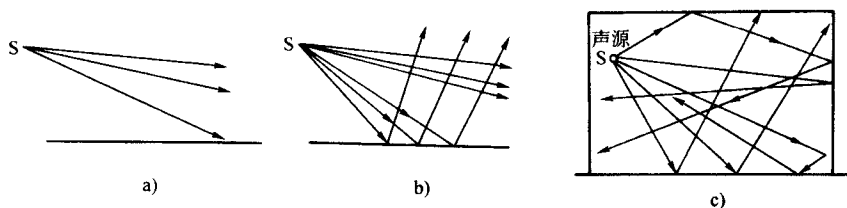


图 1-4 声场类型示意图

a) 自由型声场 b) 半自由型声场 c) 扩散型声场

2. 半自由声场——有一定反射的声场

属于半自由声场的有：有一定吸声量的室内声场，有护栏和墙或扬声器倾向地面的室外声场等。

在此情况下，由于有虚声源存在，因而声源应看成线声源（实声源和虚声源的连线），设线声源其长度为 a （单位为 m），与线声源的距离小于 a/π 时，与线声源的距离每增加一倍，声能衰减 3dB。当距离大于等于 a/π 时，与线声源的距离每增加一倍，声能衰减 6dB。一般来说，室内有一定吸声的室内音响的声压级应以此衰减规律来确定其声压级的大小。半自由声场如图 1-4b 所示。

3. 扩散声场

扩散声场是指在室内任何位置上，声波沿着各个方向传播的几率都相同，室内声压几乎处处相等，声能密度也处处相同的声场。扩散型声场是一种理想的声场，它既能节约声波能量也能获得好的音响效果。在实际工程中要形成扩散型声场是在室内设置了很多不规则的反射面，使入射声能在给定的立体面内扩散。如果反射能量或散射能量的方向分布完全与入射声的方向无关，就以完全扩散状态发生反射，如图 1-4c 所示。

在扩散声场中，离声源一定距离后，声能不随距离的增加而衰减。在 4m 以内，大约离声源距离每增加一倍，衰减 3dB，在离声源 4m 以后就不随距离衰减了。

五、声压和声压级

客观上量度声压大小的量是声压和声压级。

1. 声压

声压就是声音在空气中传播时，它对空气中的大气压产生的一种附加的压力。声压通常用 p 表示，单位是 μbar ， $1\text{bar} = 10^5 \text{Pa}$ ，一个大气压约等于 $10^6 \mu\text{bar}$ 。

声压只有大小，没有方向，是一个标量。

2. 声压级

由于人耳对声音大小的听觉范围从 $0.0002 \sim 200 \mu\text{bar}$ ，相差竟达一百万倍，若用声压来表示声音的强弱，极不方便，故采用一种按对数方式分等级的办法作为声音大小的常用单位，这就是声压级，声压级的单位是分贝（dB）。

声压级定义为：

$$\text{SPL} = \lg (p/p_0) \quad (1-2)$$

式中 SPL —— 声压级（dB）；

p —— 声压（ μbar ）；

p_0 —— 参考基准声压，为 $0.0002 \mu\text{bar}$ 。

可见，当 $p = p_0$ 时， $SPL = 0dB$ ，即 $0.0002\mu bar$ 的声压相当于 $0dB$ 声压级。

采用以分贝为单位的声压级来描述声音的强弱也正好符合人耳对声音的灵敏度规律，即声压级变化 $1dB$ 正好是听觉正常人所能察觉的最小“声级”。因此它是音响技术中应用最基本而最常用的量。表 1-1 列出了电压、电流和声压级的 dB 与倍数的换算关系（注意：对功率而言， dB 数应减半）。

表 1-1 dB 与倍数的对应关系

dB	倍数	备注
0	1	
3 (-3)	1.4 (1/1.4)	近似值
6 (-6)	2 (1/2)	近似值
10 (-10)	3.2 (1/3.2)	近似值
20 (-20)	10 (1/10)	
40 (-40)	100 (1/100)	每增大 10 倍相当于增加
60 (-60)	1000 (1/1000)	20dB

一个语言或音乐信号在电路上的音量级常以在 600Ω 电阻上供给 $1mW$ 的 $1000Hz$ 正弦波产生的电压有效值作基准，这个电压值等于 $0.775V$ ，有时写作 dBm ，即 $0dBm = 0.775V$ 。由上述定义可知 dBm 实际上是功率电平，也称毫瓦分贝。

在音频及音频设备中常用 dBu 表示音频电压的基准，即 $0dBu = 0.775V$ 。

第四节 人对声音的主观效应

前面所述声音的规律是客观存在的，其大小可以通过仪器来测量。但是人是通过耳朵对声音感觉的，显然，这种感觉带有主观性，它与人耳的结构、人的心理状态、人的素养等有关，即音响学是一门与可闻电声学（音响设备）、室内声学（声环境技术）、生理声学和心理声学有关的科学。这里所叙述的是声音的客观规律在人主观上的反应，即声波和听觉的综合效应。这对音响工作者，不论是以技术为主的音响工程师还是以使用为主的调音师都是十分必要的。

一、响度、响度级和等响曲线

声音的响度就是人主观上感觉到声音的大小，其单位是 $stone$ （宋），它是一个主观量，而声压则是客观量。声压越大，响度也越大，但不是正比关系。表 1-2 给出正常人耳对声压级的反应情况。

表 1-2 人耳对声压级的反应

声压级变化/dB	响度感觉
1	几乎觉察不出
3	刚可觉察
5	明显改变
10	加倍地响（或减轻一半）

实践还证明,人耳对不同频率声音的灵敏度是不一样的。例如有两个频率分别是1000Hz和100Hz的声音,当它们的声压级都是40dB时,听起来1000Hz的声音要比100Hz的声音响很多。若要使它们的响度一样,则需把100Hz的声音由40dB提高到51dB。用同样对比实验的方法,在声压-频率直角坐标中,对应不同响度,把对应于不同频率和声压级的点连接起来,得出如图1-5所示的一组曲线。图中每一条曲线代表的声音对人耳听起来都是一样响的,故称为等响曲线。为了便于说明和区别各条等响曲线,同样采用分级的办法,取图中参考频率等于1000Hz的垂直线与等响曲线相交点的声压级为各等响曲线的级别,称为响度级,单位为phon(方,下面均用“方”),也即任何一根曲线上的响度级等于1000Hz时同样响的声音的声压级。例如在20方的等响曲线上,一个声压级为20dB的10000Hz声音,与一个声压级为37dB的100Hz的声音是一样响的,它们的响度级都是20方。

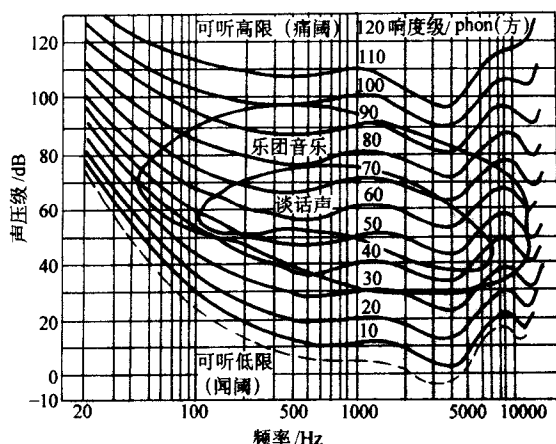


图1-5 等响曲线

等响度曲线真实地反映了人们感受到的声音响度与声压级和频率的对应关系。

从等响度曲线图中可以看出:

1) 在可闻声频范围内,人耳对500Hz以下及5kHz以上声音的灵敏度很低,低频更甚。因此要使声音在全音频带内得到同样的响度,500Hz以下频段和5kHz以上频段均需增加功率以提高其声压级,特别是低频段增加的功率要更多一些。而且,在声压级越低时,这种情况越突出。这就是为什么在声音较小时,低音需要补偿得更多一些的原因。

2) 在可闻声频范围内,人耳对1~5kHz的中频段灵敏度最高,这恰好是语言的高频段,也是音乐的基本频段,它对语言的可懂度和对音乐的欣赏都很重要。对主要对象是语言的音响系统,其需要的声功率是最小的。可见,在较大的音响系统中,当把音频分成几个频段分别用高音、中音和低音扬声器放音,要求响度一致时,它们的声功率分配是不完全相同的。高、低音声功率大,中音声功率小。但从后面将要叙述到的扬声器内容中了解到,高音的电声转换效率最高,低音最低。若以中音为基准,低音需要的电和声功率最大,高音需要的声功率较大而电功率最小。例如,某三分频音响系统,其低音需要电功率360W,中音为260W,高音为120W。

3) 从等响曲线可见,在不同声压级时人的听觉频响是不相同的,因此在用仪器测量声音的响度时,必须模仿上述人听觉频响,即实际的响度级计应是由测量声音声压级的“声压

级计”插入模仿人的听觉频响的计权网络组成。不过，为了简化测量设备，一般只选取三种计权特性来代表人的听觉频响。国际电工委员会（IEC）就规定 ABC 三种计权曲线，其中 A 计权模仿声压在 0 ~ 30dB 间人的听觉频响；B 计权模仿声压在 30 ~ 60dB 间人的听觉频响；C 计权模仿声压在 60 ~ 130dB 间人的听觉频响。因此在测量时应根据声压级的大小选择计权曲线，并在测量结果中注明是哪种计权如 A 计权分贝值 dB (A)、B 计权分贝值 dB (B) 或 C 计权分贝值 dB (C) 等。

二、人耳的方位感

人耳可以根据直达声到达两耳的时间差判定声源的方向，然而不同方向来的反射和多个声源的声场其对人耳的方位感又有什么影响呢？为此，以下将对反射声及人耳的感觉作进一步的讨论。

早期反射声是较直达声延迟时间在 50ms 以内的反射声。实验证明，即使它比直达声强大许多倍，决定人们感觉声源方向的仍然是直达声。人耳不但分不出是两个声音，而且此反射声好像是原来直达声的延续，听觉上相当于加强了直达声。这部分反射声称有效反射声。在音响系统的声场中总是希望能产生较丰富的有效反射声。

同理，如果有第二个点声源，它发生与第一个声源相同的声音（相当于反射声），若它辐射的声音到达某听音点的时间较第一个声源到达该点的直达声延迟 50ms 以内，则也有相当早期反射声一样的效果，即听音者仍然感觉到声音是由第一个声源方向来的。这种人耳“先入为主”的特性称为“哈斯效应”。哈斯效应在音响系统的设计中是很有用处的。例如一个声音增强系统在某点布置了扬声器 S_1 ，当该扬声器在听音点产生的声压级不够时，通常在靠近听音点再加装一只辅助扬声器 S_2 ，以增强听音点的声压级，但必须使第二只扬声器 S_2 到达 P 点的声音较第一只扬声器 S_1 到达该点的声音有一个不大于 50ms 的延迟。根据哈斯效应，这样做的结果，声压增强了，而声像位置不变。

当反射声较直达声延迟超过 50ms 时，人耳可清晰地分辨出在原来声音到达以后再来的一个反射声，这称为回声。声波滞后 50ms，相当于声波所经过的路程为 17m。因而当反射声较直达声延迟超过 50ms 或反射声较直达声多走了 17m 以上的路程时，就可能产生回声。回声在音响系统中，通常是不希望的，它严重干扰了音质，故应予以避免。

三、混响及混响感

混响是声源停止发声后，声音由于多次反射或散射而延续的现象。对人耳的主观感觉是余音在响。混响在音响系统中是声学环境的重要现象，它对音质影响很大。常用混响时间 T_{60} 去作定量分析。 T_{60} 是指声音已达稳态后停止声源，平均声能密度自原始值衰变到其百万分之一（即 60dB）所需的时间，单位是 s。测量一个房间的混响时间，通常用开始一段声压级衰变 50 ~ 35dB 的情况，外推到 60dB 衰变所需的时间。

对语言来说，要求声环境有较短的混响时间，因为它能使人们感觉到声信号的每一元素，也就更容易理解所讲的内容。对音乐来说则要求其声学环境有较长的混响时间，足够强的混响影响音乐声的融合，能增加声音的响度和丰满度，并能增加音乐界限的连续性。

混响时间与频率有关，通常给出的或测得的是中频 500Hz 或 1000Hz 时的混响时间，在一般情况下，房间的混响时间会由中频开始随着频率降低而增加。

混响时间可用“塞宾公式”进行分析计算

$$T_{60} \approx \frac{0.614V}{S\bar{\alpha}} \quad (1-3)$$

式中 V ——房间容积（剧院不计舞台容积，音乐厅包括舞台）（ m^3 ）；

S ——室内各部分总表面积（ m^2 ）；

$\bar{\alpha}$ ——平均吸声系数：

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum S_i \alpha_i + N_1 \alpha_1 + N_2 \alpha_2}{S} \quad (1-4)$$

$S_i \alpha_i$ 为室内各部分的表面积和它们相对应的吸声系的乘积。包括顶棚、墙、门窗、舞台口、通风口等。 N_1 、 N_2 为占座及空座数量（包括观众及乐队）； α_1 、 α_2 为每单位占座及空座的吸声量。

可见，房间的混响时间与房间的容积成正比，而与房间的总吸声量成反比。

从小会议室到大剧院，其混响时间大约在 0.5 ~ 2s 之间，大型体育馆、大教堂和大型会展大厅，其混响时间常超过 2s，甚至更长。

混响感的好坏与混响时间、混响时间的频率特性和声场有关。混响感好的声场应该是扩散声场。然而表征混响时间的曲线衰变是非线性的，而且在不同部分的衰变率是不同的，究竟哪一段衰变曲线对于听音房间的主观感觉是良好的等等，人们还未完全掌握，还需总结大量的经验并作深入的研究。

四、音调和音色

1. 音调

人耳对声音频率高低的感受称为音调。在音乐上音调称为音高，是人耳对声调主观衡量的尺度。

2. 倍频程与泛音

在音频范围内，纯音的频率由低到高的变化，反映在听觉上的变化，即由低音向高音逐渐变化，这就是音乐上的音调的变化。

音调主要决定于声源的频率，但并不成正比。频率每增加一倍，即所谓增加一个倍频程，音调就提高一个八度。所有人和乐器发出的声音都是复合音，其频率成分含有基波与各次谐波，在音乐上则为基音和泛音，泛音也称倍音。复合音中的基音决定了复合音的音调。

3. 音色

人耳对声音的色彩的一种感觉称为音色。众所周知，不同的人 and 不同的乐器都会发出各具特色的声音，这种特色既不是音调的不同，也不是强度的差异，而是给人一种特有的综合感觉，在音乐上则称为音色。

音色主要决定于声音的频谱结构。复合音中泛音的数量和强度决定了复合音的音色。

音色无法定量表示。乐器的音色主要取决于乐器本身的结构，同时还与演奏的方式、听音方位、演奏技巧有关。初学者和专业人员演奏同一件乐器时，前者的演奏不如后者悦耳，原因主要在于后者善于控制泛音。

一般地说，泛音多，且低次泛音的强度较大，音乐就优美动听，音色就丰富。

五、音质主观评价

1. 基本概念

对任何一个音响系统都存在着对其声音质量的评价问题，声音质量主要取决于建筑声学