

音响工程 设计与实例

彭妙颜 王 恒 周锡韬 钟恭良 编著



243

743

743

音响工程设计与实例

彭妙颜 王 恒 编著
周锡韬 钟恭良

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书首先简单介绍了电声学的基本知识,接着介绍了各种电声设备的性能指标及其应用,以及音响系统的结构、设计、安装与调试,重点论述了歌舞厅、影剧院、多功能厅堂和公共广播系统等专业音响系统的组合、设计和调试,并给出了 20 个工程设计实例。本书适合从事音响设备与系统设计、安装、调试、操作管理的人员及广大音响爱好者阅读,也可作为大专院校相关专业的参考教材。

音响工程设计与实例

◆ 编 著 彭妙颜 王 恒 周锡韬 钟恭良

责任编辑 唐素荣

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号

邮编 100061 电子函件 315@pptph.com.cn

网址 <http://www.pptph.com.cn>

北京朝阳隆昌印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本:787×1092 1/16

印张:33.5

字数:843 千字

2000 年 8 月第 1 版

印数:1-4 000 册

2000 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-08451-3/TN·1585

定价:42.00 元

前 言

本书涉及的音响是泛指用电声设备重放出来的音响(包括现场扩声)。

声音分为原发声和重放声。出自歌手声带的声音、由乐器直接发出来的声音,都是原发声。由扬声器(或音箱)播放出来的演说、歌声和音乐,都是重放声。重放声是需要节目源的,重放节目源可以是各种事先录制好的软件,如影碟、唱片、磁带等,也可以是电台、电视台正在播送的节目,以及现场音响——演唱、演奏、演说等等。以现场音响为节目源进行实时重放,就是现场扩声。随着技术的进步,社会的发展,生活的富裕,在人们的工作和生活中几乎处处有重放声响起。可以说,电声音响已成为我们身边不可或缺的事物。

音响工程是指以音响为主体的工程。音响工程的含义本来十分广泛,从影剧院的土木建筑到卡拉 OK 厅电声设备的生产、研制,都可以包含在音响工程的概念之中。不过本书所讨论的仅仅是在既有的建筑物(或场馆)内如何根据需要选配和装置电声设备,以及如何对建筑物声学缺陷进行适当的补偿。

目前,主要的电声重放场所包括迪斯科舞厅、卡拉 OK 厅(及 KTV 包房)、歌舞厅、影剧院、大会堂、多功能会堂、体育场馆、公共广播系统和家庭听音室等。除了家庭听音室外,其他场所习惯叫做专业场所。所谓音响工程,原则上是针对专业场所的。不同场所对电声重放的要求有共同之处,亦有不同之处。共同之处是都要求有足够的音量、优美的音质及合理的投资。不同之处是,资金的投放量不同,对音量音质的追求程度不同,系统的构成、所用设备的特色、品位和风格不同。

本书首先简述了电声学的基本知识,接着介绍了各种电声设备的性能指标、档次的识别、应用的方法,给出了常见的音响系统的结构及其追求的目标,分析了音响系统中哪些是必要的环节,哪些是最重要的环节,哪些是最花钱的环节,以及为了达到预期的目标需要采用哪些手段,可能会碰到什么难题,有什么合适的对策等等。本书的作者,有的从事电声专业技术教学和研究工作,有的长期从事工程实践,大家根据自己多年的教学和实践经验编写了这本书。在编写的过程中,作者力求将理论与实践密切结合,使内容深入浅出,通俗易懂,并给出了大量的工程实例,充分反映出 90 年代国内外专业音响方面的新技术、新设备和新的设计思想。

作者祈望以此书为桥梁,能同广大从事音响工程工作的同行进行交流,也希望能对新入门的工程技术人员有所帮助。不当之处,请不吝赐教。

编 者

第1章 电声基础

一、声音的概念

1. 声源和声波

声音是由物体的机械振动而形成的。用鼓槌敲击鼓皮,于是鼓皮发生振动而发声;用弓拉琴,于是琴弦发生振动而发声;吹笛,笛腔内的空气柱发生振动而发声;把音频电流送入扬声器,扬声器的纸盆发生振动而发声。

发生声音的振动源叫作“声源”。上面提到的,振动着的鼓皮、琴弦、扬声器都是声源。此外,歌手的声带以及轰鸣着的喷气发动机也是声源。由声源发出的声音,必须通过媒质才能传送到我们的耳朵。空气是最常见的媒质。其他媒质如水、金属、木材等都能传播声音,其传播能力甚至比空气还要好。例如把耳朵贴近铁轨可以听到远处火车运行的声音,这些声音就是通过铁轨传来的。没有媒质的帮助人们就无法听到声音。例如在外层空间,由于没有空气及其他合适的媒质,宇航员无法直接对话,只能通过无线电波来传送声音。

那么,声音在媒质中是怎样传播的呢?

原来,当声源振动时,它将带动邻近媒质的质点发生振动,而这些质点又会牵动它们自己周围的质点,于是声源的振动就被扩散开来并传播出去。

由声源引起的媒质的振动形成“声波”。声波的形成和传播的过程同水波很相似。当我们用一根棍子在平静的水面上点动时,就会看见水波源源不断地从被扰动的地方扩散开来并传播出去。由于我们看不见空气的振动,所以也看不见空气中的声波。但如果把发声的扬声器浸在水里,我们就会看见水面的声波(波纹会比棍子掀起的水波细密许多)。

2. 声速

大家知道,声音的传播需要时间。一个众所周知的例子是雷声。闪电过后一段时间我们才听到雷声,这说明雷声从打雷的地方传来需要时间,而且这个时间比电光传来所需的时间要长得多。声音传播的时间取决于声源的距离和声速。“声速”即声音传播的速度,也就是声波传播的速度。在本书中,声速用 c 表示,其单位为米/秒(m/s)。实验证明,声速主要是由媒质(以及影响媒质的因素)决定的,与声音的其他参数(例如频率、强度等)无关。经实验测定,在标准大气压下和温度为 20°C 时,空气中的声速为 344m/s 。工程计算可取 340m/s 。如果声波是在水中传播,则其声速约为 1485m/s 。而木材和钢材中的声速则分别为 3320m/s 和 5000m/s 。

3. 声波的频率、波长和相位

“频率”即是每秒钟内往复振动的次数(一来一往为一次,学名一周)。声波的频率也就是声音的频率。频率用 f 表示,其单位为赫兹(Hz)。每秒振动一周为 1Hz。辅助单位为千赫(kHz)和兆赫(MHz):

$$1\text{kHz} = 1,000\text{Hz},$$

$$1\text{MHz} = 1,000\text{kHz} = 1,000,000\text{Hz}$$

“波长”是声源每振动一周声波所传播的距离。如果声波是在水面传播,我们会看到许多波峰(水面涌起的地方),相邻的两个波峰之间的距离就是波长(即一个周波的长度)。波长用 λ 表示,其单位为米(m)。

波长、频率、声速之间有确定的关系:

$$\lambda = c/f \quad (1-1)$$

由上述关系可见,频率越高则波长越短,即波长同频率成反比。这是一个很重要的概念,以后讨论到声音的反射、绕射等问题时将会用到这个概念。

式(1-1)所表达的关系是很容易理解的。由于声速 c 是声波每秒所传播的距离,而 f 是声波每秒钟内的周波数,所以每个周波的长度(即“波长”)就等于它们的商。从另一个角度来说,由于声速主要取决于媒质而与频率无关,所以频率越高则在一定距离内涌动的波峰就越多,因此相邻波峰之间的距离就越短。这就是波长同频率成反比例关系的物理意义。前面曾经提到,如果把发声的扬声器浸在水里,则它所激起的波纹会比手动棍子激起的波纹细密得多,这就是因为声音的频率比手动棍子的频率高得多的缘故。

“相位”也可简称为“相”。一般地说,相位是用来描述简谐振动(正弦振动或余弦振动)在某一个瞬间的状态的。由于声波来源于振动,所以也有相位问题。相位用相位角来表示。作为相位的例子,在图 1-1 中标示了某一个波上的四个状态点: A、B、C、D。其中 A 点处于由负向正过渡的状态,也是正弦波的起始点,称为 0° 相; B 点处于向正半波峰发展的中间过程,称为 45° 相; C 点处于正巅峰,称为 90° 相; D 点处于负巅峰,称为 -90° 相。由图可见,在一个周波之内,任何一点的“相”都不相同,各对应于一个确定的相位角值;而在另一个周波,各种相位将会重复出现。所以在声波传播的路径上,每隔一个波长的距离,其相位相同;而每经历半个波长则其相位相反(相位角的符号相反)。至于声波在其起始点的相位则同声源的相位相同。

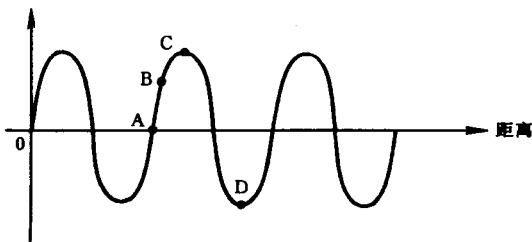


图 1-1 波的相位

相位的概念,对理解声波的叠加、干涉以及扬声器的连接方法都有重要意义。

二、声谱、音调和音色

1. 声音的频带及其频谱

我们已经知道声音是由机械振动形成的,但不是任何机械振动都能形成可以听闻的声音。

经典理论认为,只有频率在 20Hz 至 20kHz 之间的机械振动才能发出人类可以听闻的声音。低于 20Hz 的“声音”叫做次声,高于 20kHz 的“声音”叫做超声。一般地说,次声和超声我们是听不见的。因此我们把 20Hz ~ 20000Hz 的频率叫做“声频”,同时把 20Hz ~ 20000Hz 的整个频率区域叫做“声频带”。

由频率单一的振动所形成的声音叫做“纯音”,由不只一个频率复合的振动所形成的声音叫做“复音”。自然界中的绝大多数声音,包括人们说话的声音、昆虫的叫声、美妙的音乐以及机器的轰鸣都是复音。

从另一个角度来说,各种声音都包含着特定的频率成分,而且各种成分的强度也不尽相同。针对这种情况,我们说每一种声音都具有自己的频谱。声音的频谱简称“声谱”。研究发现,一个声音之所以不同于另一个声音,主要是因为它们的声谱不同。图 1-2(a)是 1kHz 纯音的声谱,它只有一条谱线,谱线在横坐标上的位置代表它的频率,谱线的高度代表它的强度。该声谱表明,这个声音仅仅包含 1kHz 的振动而没有其他成分,通常这样的纯音是由声学仪器发生出来的。图 1-2(b)是短笛某一音阶的声谱,它有许多条谱线,表明它是由多个频率不同的振动所形成,可见属于复音。复音中的每一条谱线称为一个分量。在复音声谱中,频率最低的分量称为基音分量,其余的称为泛音分量。一般地说,所有泛音分量频率都是基音频率的整倍数。图 1-2(c)是钢琴同一音阶的声谱,它也有许多条谱线,是一个复音,但其结构同短笛声谱显然不同。以上声谱都是离散的,即每条谱线之间有一定的间隔。另外有的声谱是连续的,其谱线密密麻麻地连成一片。噪声及语言中的辅音都具有连续的声谱。例如图 1-2(d)是普通话语言的声谱,由于它是连续的,我们只划出它的包络(各条谱线顶点的联结线)。由普通话的声谱可见,说话的声音大概包含从 100Hz 到 5kHz 之间的振动,而主要的分量在 300Hz 至 3kHz 之间。顺便指出,蝉声大约包含 500Hz 到 20kHz 之间的振动,而交响乐则包含 20Hz 到 20kHz 之间的振动,即交响乐的声谱散布于整个声频带。

2. 音调和音色

不同的声音不仅有强弱之分,而且还有品味的差别。决定声音品味的主要因素是音调和音色。

例如,女声的音调比男声高;短笛的音调比长笛高;小提琴的音调比大提琴高。在钢琴的键盘上,每个键的音调都不相同,右边键的音调总比左边键的音调高。事实证明,一个声音的音调是由它的基音频率(基频)决定的。基频越高则音调也越高。中央 C(简谱 C 调 1)的基频是 261.6Hz,而 A 调(标准音)的基频则是 440Hz。基频每升高一倍,音调就升高八度。频率每倍增一次所形成的间隔,称为一个“倍频程”。如上所述,每间隔一个倍频

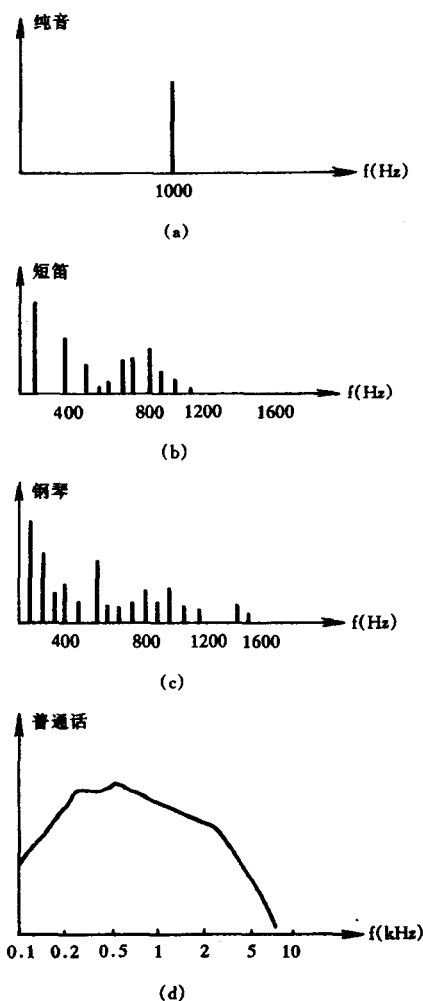


图 1-2 声谱

程,音调就升高八度。需要注意的是,由 220Hz 到 440Hz 是一个倍频程;由 440Hz 到 880Hz(而不是 $440\text{Hz} + 220\text{Hz} = 660\text{Hz}$)是另一个倍频程。可见音调的变化同基频的对数(以 2 为底的对数)成比例。所以,在声谱图中,频率坐标是按对数规则标度的。

在声频带内,频段的划分也常用倍频程(oct)。整个声频带从 20Hz 到 20kHz 可划分为 10 个倍频程。理论上,其分频点为 20Hz、40Hz、80Hz、160Hz、320Hz、640Hz、1.28kHz、2.56kHz、5.12kHz、10.24kHz、20.48kHz。但工程上习惯把小数位取得整齐一些,于是把高端的几个分频点取为 1.25kHz、2.5kHz、5.0kHz、10.0kHz、20.0kHz。

从整个声频带来看,大致上可把最低和最高的三个倍频程分别称为低音区和高音区,而把中间的四个倍频程称为中音区。中音区几乎包括了可闻声的全部基音,是音响的最重要部分,尤其是对语言清晰度有着非常重要的意义。低音区包含着除耳朵以外的人的躯体也易于感受到的分量,是深沉稳重而具有震撼力的部分。高音区包含着几乎所有音响的泛音,代表声音的细节,对音色(详见下文)有重要影响。不过低、中、高音的划分有时较为随意,没有严格的界定。

另外,有时嫌倍频程太大,在工程测量上常以 $1/3$ 倍频程($2^{1/3}$ 倍)为间隔来划分频段,这时整个声频带可以划分成 31 段,分频点为(小数位已加修整):20Hz、25Hz、31.5Hz、40Hz、50Hz、63Hz、80Hz、100Hz、125Hz、160Hz、200Hz、250Hz、315Hz、400Hz、500Hz、630Hz、800Hz、1kHz、1.25kHz、1.60kHz、2.0kHz、2.5kHz、3.15kHz、4.0kHz、5.0kHz、6.3kHz、8.0kHz、10kHz、12.5kHz、16kHz、20kHz。

音调相同的声音,其品味仍未必相同。例如用钢琴弹奏的中央 C 和用黑管吹奏的中央 C,其基频都是 261.6Hz,但听起来其品味显然不同。这是因为它们的声谱是不同的,主要是泛音结构不同的缘故。这种差异称为“音色”差异。即不同的泛音结构会形成不同的音色,就像不同的光谱结构会形成不同的颜色一样。

三、声压、声级和响度

1. 声压、声强

在媒质中传播的声波,所到之处会引起媒质局部压强发生微小的变化,尽管这种变化非常微小,但仍可用仪器测量出来。这种由声扰动引起的逾量压强叫做“声压”。声压的符号为 p ,标准单位为帕(Pa),即牛顿/米²(N/m²),声压的另一个单位为微巴(μbar):

$$1\text{Pa} = 10\mu\text{bar}$$

声压可作为声音强弱的一种量度。仅可听闻的 1kHz 的声音,其声压约为 $2 \times 10^{-5}\text{Pa}$,这个声压值叫做“闻阈”值,又称声压阈常数。另一方面,震耳欲痛的声音,其声压约为 $2 \times 10\text{Pa}$,这个声压值叫做“痛阈”值。

声音强弱的另一个量度叫做“声强”。声强是指声波的平均能流密度,其符号为 I ,单位为 W/m^2 ,即是指通过单位截面的平均声波功率。闻阈声强为 $10^{-12}\text{W}/\text{m}^2$,痛阈声强为 $10^0\text{W}/\text{m}^2$ 。如果声源均匀地向四周辐射声波,则由于声能在球面上分散,声强将与距离的平方成反比,即距离加倍时声强减至原来的四分之一。声强随离声源距离的增加按平方反比的规律减小,叫做平方反比定律。该定律对我们粗略地估计扬声器周围远近的声音强弱有一定的指导意义。

2. 声级

实验表明,人们对声音强弱的感觉并不直接同声压或声强成比例。例如,当声强增加至2倍时,我们只觉得声音加强了3分(0.3倍);当声强分别增至10倍、100倍、1000倍时,我们的感觉是声音增强了1倍、2倍、3倍。这种关系恰好同数学中的对数(以10为底的对数)关系相符。根据对数原理,2的对数等于0.3、10的对数等于1、100的对数等于2、1000的对数等于3……因此,正好用来描述我们的听觉。

为了使对声音强弱的测量符合主观听觉,我们引入一个叫做“声级”的概念。声级的符号是SL,它由相对于闻阈声强的对数来表示:

$$SL = \lg I/I_0(\text{B}) \quad (1-2)$$

式中 I 为实际声强, I_0 为闻阈声强 (10^{-12}W/m^2)。由该式计算出来的声级,其单位为“贝尔”(B)。由于贝尔这个单位太大,我们常用它的辅助单位“分贝”(dB)。1贝尔等于10分贝。于是,声级的计算公式通常写成

$$SL = 10 \lg I/I_0(\text{dB}) \quad (1-3)$$

根据以上的讨论,闻阈的声级是:

$$SL_0 = 10 \lg I_0/I_0 = 0(\text{dB})$$

请注意,0dB声级不是没有声音,而是有仅可听闻的声音。

同理,可计算出痛阈的声级:

$$SL_M = 10 \lg 10^9/10^{-12} = 120(\text{dB})$$

由闻阈到痛阈,是人类听觉的动态范围。根据上面的计算,这个范围为120dB。120dB是一个很大的范围,在这个范围内,最小声强与最大声强相差达1,000,000,000,000(即 10^{12})倍,这说明人类机体的适应能力是十分了不起的,到目前为止,几乎所有电声设备都还无法与之相比。

声级也可以用声压来计算。用声压来表达的声级叫做“声压级”(SPL)。由于声强同声压的平方成比例,所以声压级的计算式为

$$SPL = 10 \lg (p/p_0)^2 = 20 \lg p/p_0 \quad (1-4)$$

式中 p 为实际声压, p_0 为闻阈声压。对于同一个声音,在常规条件下用声压计算出来的声压级同用声强计算出来的声压级是一样的,即在常规条件下声级同声压级是一回事,只是计算方法不同。不过,声强不容易直接测量而声压则较容易直接测量,所以用声压来计算声压级更为实际。因此,声压级(SPL)一词更为常用。但是,实际声场中的声压级通常是不必计算的,有一种仪器叫做声级计,可直接显示被测声场声压级的分贝值。

为了使读者有一个概念,下面列出几种典型情况下的声压级数值:

仅可听闻的1kHz纯音	0dB
安静的环境	30dB ~ 40dB
平常面对面说话的声音	60dB ~ 70dB
放电影的声音	80dB ~ 90dB
交响乐演奏高潮	90dB ~ 100dB
迪斯科舞厅	100dB ~ 110dB
喷气机起飞现场	140dB

此外,声强(或声功率)增大一倍时,声级将增加 3dB;声压(或在线性范围内激励扬声器的信号电压)增大一倍时,声级将增加 6dB;与点声源的距离增大一倍时,声级减少 6dB(这是用 dB 表达的平方反比定律)。人耳对声音强弱的辨别能力约为 0.5dB;3dB 之内可以认为声音没有太大的变化。

顺便指出,为了适应人类的主观听觉(以及其他感觉),不仅声级用 dB 做单位,许多电声设备的指标都以 dB 为单位。例如设备的放大量(增益)和衰减量、话筒和扬声器的灵敏度以及设备的输入、输出电平等都常常以 dB 为单位。其中,有的用 dB 来表示一种相对的变化。例如功率放大(或衰减)了 10 倍、100 倍、1000 倍……分别称增益(或衰减)为 10dB、20dB、30dB……考虑到式(1-4)中的系数为 20,同样倍数的电压变化则分别称为 20dB、40dB、60dB……另外,有的用 dB 来表示一种绝对的值。例如功率电平以 1mW($0.775\text{V}/600\Omega$)为 0dB、伏特电平以 1V 为 0dB、电压电平以 0.775V(不论阻抗是多少)为 0dB。比 1mW 大 10 倍、100 倍、1000 倍……的功率电平分别称为 10dB、20dB、30dB……比 1V 大 10 倍、100 倍、1000 倍……的伏特电平则分别称为 20dB、40dB、60dB……有时,为了详细区分以上几种电平,分别把它们写成 dBm(毫瓦功率电平)、dBV(伏特电平)和 dBu(电压电平)。

3. 响度

响度是对声音的一种主观感觉,其单位为“方”。声压级为 0dB 的 1kHz 纯音所引起的响度感觉称为 0 方(注意,0 方不是不响,而是仅可听闻的声响)。

一般来说,在人类听觉的动态范围内,响度同声压级大体成比例,即声压级越大响度也越大。但这只对同一频率的声音来说是正确的。实验表明,声压级不是决定响度的唯一因素,另一个重要因素是频率。举一个极端的例子,频率极低的纯次声和频率极高的纯超声,无论其声压级有多大,我们都会觉得它“不响”。实际上,人们对 2kHz 至 4kHz 范围内的声音最敏感,而对低频声和高频声的感觉相对迟钝。图 1-3 表示响度同声级、频率之间的关系。图中的曲线叫做“等响度曲线”。该图的横坐标代表频率,纵坐标代表声级,而每一条曲线则代表一种响度。其中最低的一条曲线是响度为 0 方的曲线。由该曲线可见,在 1kHz

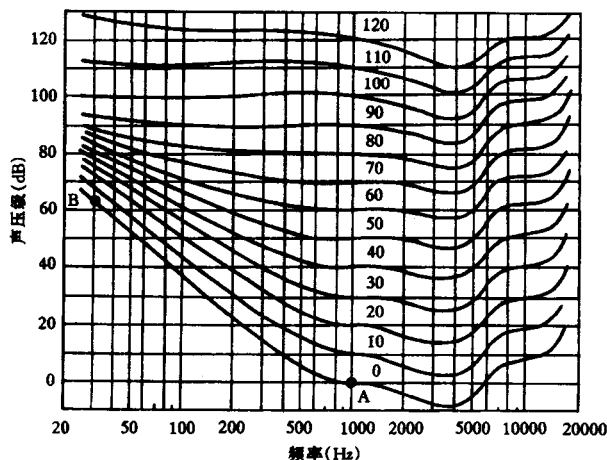


图 1-3 等响曲线

处 0 方对应于 0dB 声级 (图中 A 点), 而在 30Hz 处 0 方却对应于约 60dB 声级 (图中 B 点)。也就是说, 对于 30Hz 纯音, 其声级需有 60dB 才能引起 0 方的响度感觉。由此可见, 人类主观听觉的“频率响应”(简称“频响”)是不平直的, 尤其是响度较低时。其中又以对低频声音的响应最为迟钝。不过, 在图 1-3 中我们看到, 响度为 120 方的那一条曲线 (最高的那一条) 基本是平直的, 这说明当响度很大时, 频率的影响就不那么严重。

以上情况表明, 当以较低的音量发声时, 听音者会觉得低音和高音不足。因此, 这时有必要对低音和高音进行补偿。电声设备中的“响度控制”就是根据这一原理实行响度的自动补偿控制。此外, 在对声场进行测量时, 为了使测量结果同听觉相符, 也常常有必要考虑到频率对响度的影响。为此, 须对一个声音中不同的声频分量进行计权处理。常用的有三种计权规则, 分别称为 A 计权、B 计权、C 计权。A 计权是针对等响曲线中的低响度曲线进行处理, 主要是考虑到低频分量和高频分量对响度的贡献较小, 所以把它们所形成的声压级适当打一些折扣。例如, 假设 100Hz 分量的实际声级为 50dB, 经 A 计权处理后则把它当成 20dB 来计算。B 计权是针对中等响度的等响曲线进行处理, 这时也要对低、高频分量打一些折扣, 不过其折扣比 A 计权要小一些。C 计权是针对高响度的等响曲线进行处理, 这时仅对高频分量打一些轻微的折扣, 同平直规则相差无几。图 1-4 是对一个在声频带内均匀的声音进行计权处理的示意图。

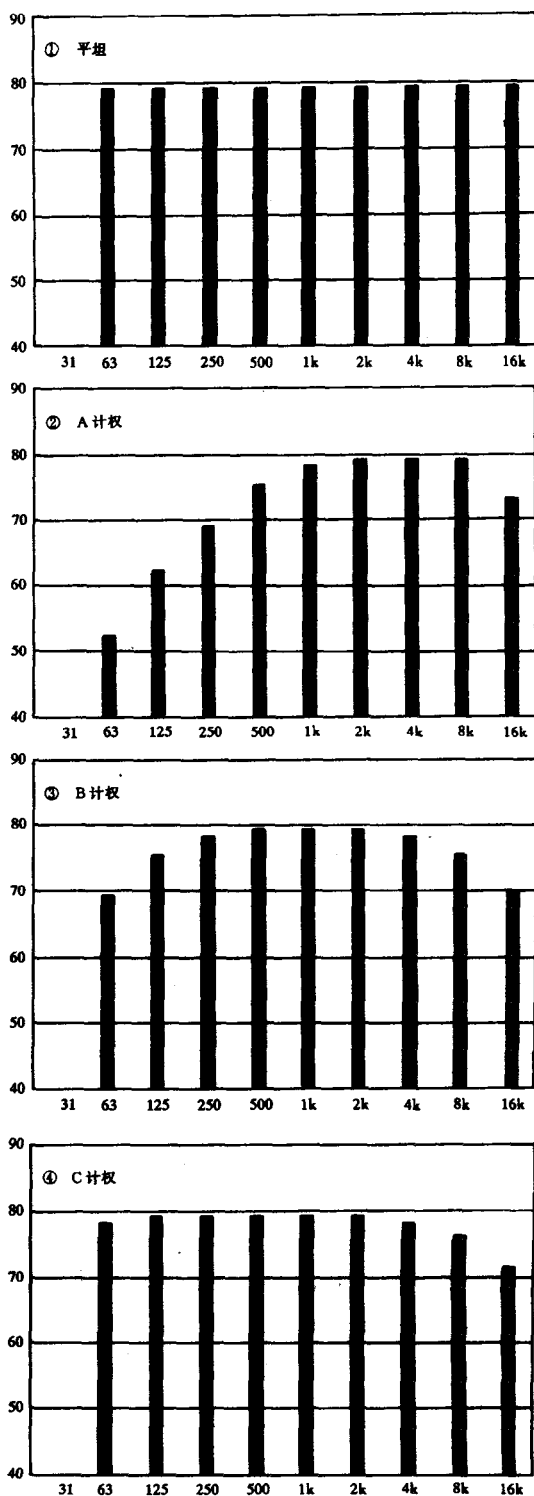


图 1-4 计权示意图

四、声音的反射、吸收、绕射和叠加

1. 声音的反射和吸收

声音在传播过程中遇到障碍物时,会发生反射、吸收、绕射等现象。这同光线投射到障碍物时的情形相似。

当障碍物的尺寸足够大,大到可以同声音的波长相比时,声音将会被反射。为了便于描述声音的入射和反射,通常我们用一条射线来代表声波,如图1-5所示。图1-6所示为声波被反射的情形。当障碍物表面凹凸不平时,如果凹凸的尺度小于声波的波长,则其反射特性同光滑面相似;如果凹凸的尺度能和波长相比,则反射线会散向四面八方,形成漫反射(或叫散射),如图1-7所示。



图1-5 声波射线

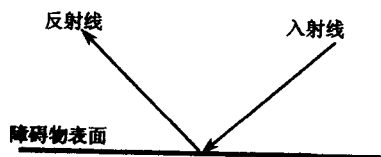


图1-6 声波的反射

不过,即使障碍物的尺寸足够大,能够把入射声波全部反射回去的障碍物也是很少的,或者说几乎没有。绝大多数障碍物会吸收一部分声波,吸收的程度同构成障碍物的材料有关。一般地说,障碍物越坚硬、越稳固,则反射特性越好;而障碍物越松软而带有弹性,则吸收越严重。材料对声音的吸收能力用“吸声系数”来表示。声波入射到

材料表面时,被吸收的那部分声能与入射声能之比的百分数叫吸声系数。室内常见饰面材料和厅室陈设的吸声系数见表1-1。表中的数据表明,吸声系数不仅取决于材料,还同声音的频率有关,尤其是对于那些比较疏松的材料。我们不打算在此讨论其中的机理,但不妨认为,这主要是由于材料的微细结构与不同的声波波长相比,有不同的相对尺度的缘故。空气也会吸声,不过其吸声系数较小,工程上常予以忽略。

必须指出,由于一个声音通常包含着许多频率不同的分量,而频率(或波长)同障碍物的反射和吸收特性相关,所以对于同一个障碍物,同一个声音中的高、中、低频分量的反射、吸收状况也不一样。一般地说,声音中的高频分量比较容易被吸收,也比较容易被散射,所以声音中的高频分量很容易在传播的过程中衰减,形成高音不足从而导致清晰度下降的现象。

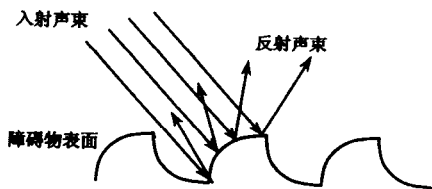


图1-7 漫反射

表1-1

吸声系数表

名称	吸声系数	频率 (Hz)					
		125	250	500	1000	2000	4000
砖墙抹灰		0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
大理石		0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
板条抹灰		0.02	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05

续表

吸声系数 名称 频率 (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
粗糙混凝土墙	0.36	0.44	0.31	0.29	0.39	0.25
混凝土抹光涂漆	0.10	0.05	0.06	0.07	0.09	0.08
混凝土小拉毛涂漆	0.04	0.03	0.03	0.10	0.05	0.07
混凝土铺厚地毯	0.02	0.06	0.14	0.37	0.60	0.65
厚玻璃	0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
玻璃窗	0.35	0.25	0.18	0.12	0.02	0.04
木地板	0.15	0.11	0.10	0.07	0.06	0.07
化纤地毯 5mm 厚	0.12	0.18	0.30	0.41	0.52	0.48
羊毛地毯 10mm 厚	0.18	0.24	0.35	0.48	0.66	0.54
墙面贴粘绒壁纸	0.02	0.02	0.05	0.06	0.06	0.09
人造革面靠背椅	0.09	0.12	0.15	0.17	0.22	0.20
人造革沙发	0.10	0.15	0.24	0.32	0.28	0.29
木板椅	0.07	0.03	0.08	0.09	0.08	0.11
胶合板椅(无人)	0.05	0.05	0.03	0.03	0.02	0.02
胶合板椅(有人)	0.16	0.20	0.31	0.38	0.46	0.40
观众厅楼座挑台口	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.65
超细玻璃棉,玻璃丝布面 50mm 厚	0.18	0.30	0.58	0.87	0.82	0.79
矿渣棉,玻璃丝布面 50mm 厚	0.15	0.46	0.55	0.61	0.80	0.85
矿渣棉,离墙 50mm	0.21	0.70	0.79	0.98	0.77	0.89
玻璃棉板,50mm	0.07	0.20	0.58	0.84	0.96	0.95
聚氨酯吸声泡沫塑料,50mm	0.16	0.28	0.78	0.69	0.81	0.84
石膏板 12.5mm 厚,龙骨 500×450mm	0.29	0.10	0.05	0.04	0.07	0.09
五合板,龙骨 500×450,离墙 50mm	0.11	0.26	0.15	0.04	0.05	0.10
五合板穿孔 $\Phi 5$,离墙 20cm	0.357	0.192	0.138	0.072	0.063	0.146
石膏板穿孔 $\Phi 8$,离墙 30cm	0.27	0.51	0.28	0.34	0.28	0.32
灯芯绒帘幕(未打摺),空腔 100mm	0.02	0.18	0.53	0.48	0.59	0.74
灯芯绒帘幕,100%打摺,空腔 100mm	0.05	0.25	0.80	0.84	0.84	0.62
天鹅绒帘幕,100%打摺,空腔 100mm	0.50	0.63	0.67	0.70	0.64	0.37
丝罗缎帘幕,50%打摺,空腔 100mm	0.23	0.24	0.28	0.39	0.37	0.15

2. 声音的绕射

并不是所有的障碍物都会反射声音,当障碍物的尺寸比声音的波长要小时,声音将会绕过障碍物继续向前传播,这种现象叫“绕射”。大家知道,如果在水池中插入一根木桩,木桩是挡不住水波的,如图 1-8 所示;但如果在水池中设置一块足够大的挡板(如图 1-9 所示),情况就大不相同,这时我们看到挡板把水波挡住了。这是因为在水波传播的方向上,同波长相比,

木桩的尺度很小,而挡板的尺度很大。我们可以在声场中做同样的实验。显然,一根木棍是挡不住声音的,足够大的墙壁才能挡住声音。由于声音是一种波,所以声音也会绕射。又由于一个声音通常包含很多频率不同(即是波长不同)的分量,因此,对于某一个障碍物,声音中的低频分量可能会绕射过去,而高频分量却可能被反射回来。这意味着声音的音色在某些障碍物的前面和后面会发生变化。因此,在配置音箱时要注意,小尺寸的障碍物对低音可能是无碍的,但对高音的妨碍则不能忽视。

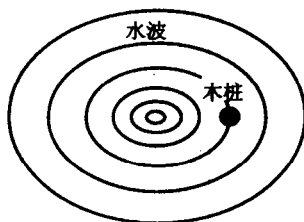


图 1-8 绕射



图 1-9 阻挡

3. 声音的叠加和干涉

两个或多个声音在同一个区域内传播时,声音会发生叠加现象。声音的叠加并不是简单的加强。如果多个声音各不相同,人的听觉系统有从中选择某一个声音的能力,而其他叠加上去的声音则会成为干扰声;而如果它们是相同的,例如它们一个是原发声另一个是反射声,则叠加起来可能使声音加强也可能使声音减弱。当两个声波相遇时,如果它们的相位相同,就会互相加强;而如果它们的相位相反,则会互相抵消,从而使声音减弱;如果它们既不是完全同相也不是完全反相,则叠加之后可能有某种程度的加强,或某种程度的减弱,视其是接近同相或接近反相而定。至于声波到达声场某一点的相位如何确定,则主要取决于声音所经过的路程(声程)、时间延迟(时延)等因素。根据这种情况,两个声音叠加时,通常它们不会在声场处处相位都相同,或处处相位都相反。假定厅堂中有两个同样的声源 S_1 、 S_2 ,在不同的位置上同时发出相同的声音,如图 1-10 所示,则在对称线 AB 上的所有点,两个声音的声程都一样,它们将会同相叠加,起到互相增强的作用;而在另一点 C ,两个声音的声程(声波射线的长度)显然不同,如果它们正好相差半个波长,则它们将会反相叠加,互相抵消,这时 C 点的声音减弱了,比单独一个声源发声时的声音还要小。根据数学原理,像 C 点这样的反相叠加点,肯定不止一点,而会有无限多个点。这些点将会连接成为双曲线。图 1-11(a)为分别由 A 、 B 两个

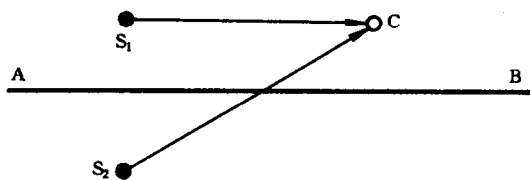
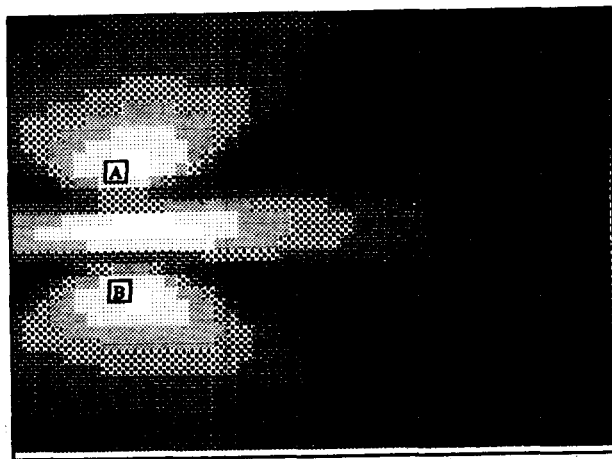


图 1-10 声程对叠加的影响

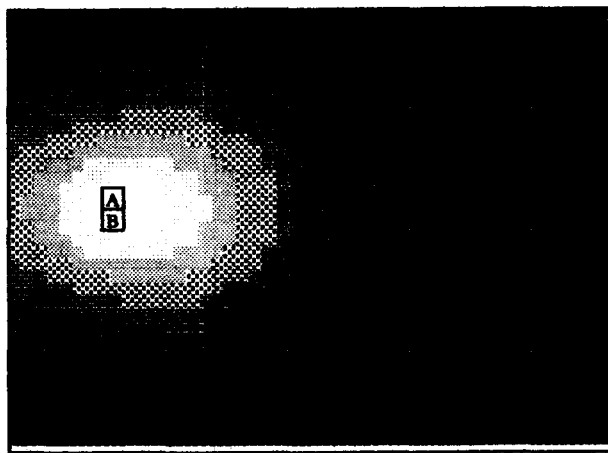
音箱发出的 125Hz 的纯音叠加时声场的分布状况(图中白色部分为高声级区域,黑色部分为低声级区域)。由图可见,有的地方声音加强了,有的地方声音减弱了。两个声音叠加,使得声场中某些区域声音增强而某些区域声音减弱的现象,称为声音的干涉现象。作为对比,图 1-11(b)给出了把两个音箱叠放在一起

收音的情形,这时两个声源近似重叠,声场处处都接近于同相叠加,几乎不发生干涉。由此可见,当用两个音箱分散配置放出同一个声音时,声场中会出现一些由于干涉形成的“死区”。不过这是对纯音而言。当两个声源发出复音时,则由于复音中各分量的波长不同,因而在声场的同

一个点,复音中的某些分量可能增强而某些分量可能减弱,从而就总体上来看,干涉现象将不明显。但对于频带较窄的复音,例如话音,则干涉现象仍不可忽视,在那些重要分量被衰减的死区,语言的清晰度将会下降。在设计不当的音响工程中,常常见到这种现象。



(a)



(b)

图 1-11 声音的干涉

4. 厅堂混响

声音在室内传播时,会在天花板、地面和四壁发生多次反射。因此,身处室内的听音者除听到直达声外,还会听到多次反射声。图 1-12 表示直达声和厅堂四壁部分反射声到达听音点的情形。显然,反射声所经过的路程比直达声长,经多次反射的路程更长。所以反射声比直达声来得迟,而且各次反射声延迟到达的时间也各不相同。厅堂越大,则反射声的延时间隔越长。如果厅堂足够大,使得第一个反射声的延时间隔大于 $50\text{ms} \sim 60\text{ms}$,人们就会听到回声。不过能够形成回声的厅堂是很少的。当各次反射声的延时间隔小于 $50\text{ms} \sim 60\text{ms}$ 时,人们会觉得它们同直达声连成一片,这些反射声除了起到增强直达声的作用之外,还会形成袅袅余音(或称“残响”)。这种现象叫做“混响”。适当的混响有加强和美化声音的效果,尤其是早期反

射声对原发声场有很好的增强作用;但过分的混响则会使声音含混不清。

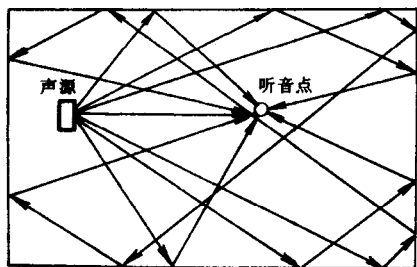


图 1-12 混响

由于反射声经过的路程较长,在传输过程中能量逐渐分散,接触障碍物时又被吸收了部分能量,所以其声级肯定比直达声低;经过多次反射的声级更低。因此,假如在厅堂中发出一个短促的声音,则随着时间的推移,其反射声会越来越小,逐渐归于消失。反射声的这个衰减过程显然同厅堂的结构有关。由直达声到达时起,到反射声衰减 60dB 止,中间的时间间隔叫做厅堂的“混响时间”(T₆₀)。混响时间是评价厅堂声学特性的一项重要指标,也是影响音响工程质量的重要因素。厅堂

越大、形状越规整、饰面材料的吸声系数越低,则其混响时间便越长;反之,混响时间便会短。厅堂的混响时间可以计算;也可用仪器测定。由于不同频率的声音其反射和吸收特性不同,所以混响时间同频率有关,通常要测取 125Hz、250Hz、500Hz、1000Hz、2000Hz 和 4000Hz 六个频率点的值。要求不严格时,可以只测取 500Hz、1000Hz 两点,或取其平均值。更简单一点,只取 500Hz 的值作为代表。没有仪器的时候,可以站在厅堂中央单击掌,聆听余音时间进行估计。必须注意,空场混响同满场(占满听众的场地)混响是不同的,前者要比后者大得多,因为听众是良好的吸声体。

混响时间太长、太短都不好。混响时间太短,则声音显得干涩(俗称“干”);混响时间太长,则声音显得含糊(俗称“湿”)。干和湿是相对的,不同的声音、不同的节目对干湿的要求各不相同。对于古典音乐,一般认为其最佳混响时间在 1.5s ~ 1.7s 之间,流行音乐在 2.0s ~ 2.1s 之间。用于演说为主的厅堂,为了改善语言的清晰度,混响时间则应更短一些。厅堂的混响时间主要取决于厅堂的建筑及装饰结构。当嫌混响时间太长时,可用吊装吸声体、帘幕,铺设地毯,改变坐席材料等办法来改善。当嫌混响时间太短时,可用加大电声功率和配置“混响器”等电子手段来补偿。但是,“改善”和“补偿”都是有限度的。一般地说,要改善太长的混响时间难度较大,不仅需要较大的投资,而且建筑结构很难作根本性的改变,小修小补又难于奏效。这对于音响工程来说,往往成为一个致命的因素。

5. 厅堂的传输频率特性

当声源在厅堂中发声时,实际上整个厅堂都会随着发生振动。但是由于厅堂四壁、天花板、地板以及室内陈设对不同频率分量的反射和吸收各不相同,所以对不同的频率会有不同的响应。其中有一些分量特别容易激发振动,从而会在这些频率上发生共振;而在另一些频率上吸收可能特别严重。通常,厅堂的共振和吸收频率不止一个,如果共振或吸收频率分布不均匀,就会使某些声频分量明显加强,某些声频分量明显减弱,产生“声染色现象”(即频率失真)。厅堂的共振或吸收频率取决于厅堂的大小、形状、尺寸比例、装饰材料等因素,小容积的、矩形的房间特别容易发生低频共振染色,而形状不规则、装饰材料吸音系数大的则不容易染色。

染色现象可以用“传输频率特性”来评价。在理想情况下,厅堂对不同频率的响应都应相同,这时,其传输频率特性被称为是“平直”的。就是说,传输频率特性平直即意味着声音不会被染色,或者说不会引起频率失真。为了改善厅堂的传输频率特性,可以改变厅堂的尺寸比例、不规则地配置吸声体,或者用电子均衡器来进行补偿。

五、声音的处理

留声机发明之前,原发声一纵即逝,人们无法听到过去的声音。而留声机则可以把过去的声音记录下来,而且可以反复重放。此后,对声音——准确地说是“声音信号”——的处理技术日新月异,发展得很快。所谓处理,包括:声/电变换、记录、修饰、编码、解码、传输、放大、重放……到目前为止,这些处理技术都同电子技术密切相关,因而相应的处理设备被称为电声设备。

本书所讨论的音响工程,主要就是根据一定的要求对声音或已经处理过的声音信号进行再处理并重放出来的工程。在这种电声音响工程中,最常见而且是最重要的电声处理包括:

1. 声电变换

为了要处理声音,通常须先把声音信号转变成相应的电信号,或者说须先把声能变换成相应的电能,以便充分利用现成的电子技术。用来实现声电变换的设备是传声器(又称话筒)。

2. 电声变换

为了把经过电子技术处理的声音信号重放出来,必须把“电”变换为“声”。扬声器和耳机就是常用的电声换能器,其作用正好同传声器的作用相反。通常,扬声器必须根据一定的原理安置在特定的箱体之内才能充分发挥它的作用。这种扬声器同箱体的组合就是扬声器系统(如果用低音、中音和高音扬声器组合,则还应采用分频器)。这种扬声器系统俗称音箱。但在正规场合(如标准中)则仅把组成扬声器系统的箱体称为音箱,注意不可混淆。扬声器俗称喇叭,在不要求严格表述的场合,扬声器、喇叭、音箱常会混为一谈,但在正规的场合,应严格分清。

3. 声音的记录和重放

一如本节开头所述,留声机可以把声音记录下来,而且可以反复重放。时至今日,已有许多更先进的记录声音的办法,最常见的是磁带录音和唱片(密纹唱片——LP、激光唱片——CD)录音。磁带和唱片中所记录的“声音”实际上是经过编码的声音信号(编码的概念将于下文“立体声”一节中叙述)。录音磁带和唱片被称为音响工程中的软件,它们是最主要的信号源载体。记录在磁带和唱片上的声音信号并非是常规形式的电信号,更不是作为机械振动波的声音本身,而分别是磁迹和机械刻痕。重放时必须先经录音机或唱机处理才能变成电信号,这个处理过程叫做“播放或放唱”。把由录音机或唱机输出的电声信号适当放大送入耳机或音箱,即可重放出先前记录下来的声音。

随着技术的进步和欣赏习惯的变化,声音往往还需要伴随着同步的图像。融音、像信号于一体的载体是录像磁带和激光视盘,后者包括LD、VCD、CVD、SVCD、DVD等盘片(或称碟片)。相应的播放设备是磁带录/放像机和各种“碟机”(播放LD、VCD、CVD、SVCD、DVD等碟片的设备)。

4. 声音的修饰

声音是可以修饰的,好像人可以化装一样。经过修饰的声音可能同原发声不完全一样,但