

梅更华 编著

歌舞厅建筑声学 音频、灯光、电气 应用技术

歌舞厅建筑声学、音频、灯光、 电气应用技术

梅更华 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书共分8章,分别对歌舞厅中的建筑声学、音频、视频、灯光及电器系统等方面的运用技术做了介绍。在本书中着重讲解器材的基本工作原理、使用、调试方法,介绍一些工程规范要求 and 实际施工中的具体操作方法,列出了一些专业器材的各种键、钮的中英文对照和使用方法及用途。本书的编写意图就是使读者在了解基本工作原理的基础上,参照本书,方便快捷、准确地对一些专业器材进行调整、安装和使用,从而使歌舞厅的各类器材物尽其用。

本书读者对象为:歌舞厅的技术设计人员、管理人员、设备使用人员和其他爱好者。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,翻版必究。

图书在版编目(CIP)数据

歌舞厅建筑声学、音频、灯光、电气应用技术/梅更华编著. - 北京:电子工业出版社,2000.11

ISBN 7-5053-5683-6

I. 歌... II. 梅... III. 舞厅-电气设备 IV. TU242.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 09846 号

书 名: 歌舞厅建筑声学、音频、灯光、电气应用技术

编 著 者: 梅更华

责任编辑: 高 平

特约编辑: 朱 宇

排版制作: 电子工业出版社计算机排版室

印 刷 者: 北京东光印刷厂

装 订 者: 三河市新伟装订厂

出版发行: 电子工业出版社 URL: <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 16.25 彩插: 6 字数: 418 千字

版 次: 2000 年 11 月第 1 版 2000 年 11 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-5053-5683-6
TN·1331

印 数: 6000 册 定价: 26.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页、所附磁盘或光盘有问题者,请向购买书店调换;
若书店售缺,请与本社发行部联系调换。电话 68279077

前 言

随着人民生活水平的不断提高、科学技术的不断发展,人们的文化生活及对美的欣赏水平和要求也在不断提高。目前,各地歌舞厅如雨后春笋般地涌现出现,人们在五光十色的灯光系统中、优美动听的音乐中得到快乐、得到情感的升华。

歌舞厅是涉及建筑声学、电子、电气、音乐艺术及光学等多种学科的、综合性的新兴行业。一个声学系统、扩声系统及灯光系统等较为完美的歌舞厅,它不仅要求从建筑设计开始就要有一个十分合理的方案,而且在安装、调试过程中均有较高的要求和规范。只要其中某一环节出现问题,那么就不会使歌舞厅内有完美的扩声效果及灯光效果。

从目前一些地方的歌舞厅来看,歌舞厅音响工程的设计及施工水平参差不齐,加之由于目前大部分专业音响器材均为进口产品,因而造成设备不能正常使用、系统工作混乱的现象较为普遍。随着电子、计算机等技术的不断发展,歌舞厅内的扩声设备、灯光系统也在日新月异地变化,如:数字式调音台、效果器、数字式磁带录音机 DAT、电脑灯、激光灯等等器材,正在逐渐取代传统的模拟扩声系统及手动控制系统。这就要求一些歌舞厅的设计、使用人员在掌握了一定的电子技术的基础上,还要不断学习,能够掌握和了解建筑声学、音乐等学科的专业知识,并不断学习国外的先进技术,这样才能使歌舞厅的层次得到提高,给人们以高层次音乐艺术的享受。

本书共分 8 章,分别对歌舞厅中的建筑声学、音频、视频、灯光及电气系统等方面的运用技术作了介绍。在此书中着重介绍了器材的基本工作原理及使用、调试的方法,一些工程施工中的规范要求,并强调了一些实际施工中的操作方法。注重了一些专业器材的各种键、钮的中英文对照。使阅读者在了解器材的基本工作原理的基础上,能够参照本书,对一些专业器材进行调整、安装和使用。并且在使用过程中能够理论联系实际,举一反三、触类旁通,从中摸索出经验,从而使歌舞厅的各类器材物尽其用,这是本人编写此书最大的心愿。

由于歌舞厅音响工程是一个涉及众多技术领域的行业,加之本人的水平及经验有限,书中的缺点、错误在所难免,恳请广大读者给予批评、指正。

作者

1999.6.28

第一章 声波的特点与人类的听觉特性

一、声波的传输

自然界有着各种各样的声音。有的声音被人们所利用,比如:人类通过讲话产生的语言声音进行思想的交流、情感的表达,通过演奏一些乐器产生音乐的声音,给人以美的享受;而有的声音则是人们所讨厌的噪声,它会干扰人们正常的学习、工作和生活,甚至危及人类的健康,比如机器的轰鸣声等等。因此,如何使人们完美地听到所喜爱的声音,控制或消除人们所不喜爱听到的噪声,一直是声学研究的课题。

音乐一直是大众公认的喜闻乐见的高雅艺术。人们在影剧院、歌剧院或一些歌舞厅等场所获得优美动听的各种题材的音乐,陶冶了人们的情操,正如音乐家罗曼·罗兰所说的那样“艺术正如生活那样,它是无穷无尽的。因此……也不可能有什么能使我们认为:还有比本身就是时代的海洋的音乐更美好的东西”。一些音乐爱好者或具有一定音响知识的音响发烧友,也许认为在一些音乐演奏或播放现场所能够听到的动人的音乐,其效果的优劣主要与演奏者的演奏水平或音响器材的品质有较大的关系,而往往认为的演奏或重放现场的厅堂建筑声学结构与音乐的效果关系不大。实际上,这是一个较为普遍的误区,各种演奏或重放现场的声学方面的设计的优劣是实现各种艺术完美表现的重要条件。早在1900年,W.C. Sabine就提出了有关厅堂内“混响时间”学说,从而开创了建筑声学这一学科。经过若干年科学家们不断地研究,对如何在厅堂内产生出美好的声音音质,提出了众多的设计和研究参数,如:直达声、反射声、吸声量、隔声量、噪声控制等等。但是由于艺术欣赏有着十分强烈的主观色彩,对厅堂内声音质量的评价与欣赏者的年龄、文化、民族、心理、生理等诸多因素有关,对于通过一些厅堂内声学参数的设计往往能够迎合大多数听众的要求,但是欲想完全符合听众的欣赏习惯,不是一件容易做到的事情。因此,这又给厅堂内的声学设计抹上了一点神秘的色彩。

目前在对一些声音重放或演奏的场所进行扩声系统设计时,经常会碰到有关声学方面的问题,这就要求设计人员不仅要了解电声技术,而且还要了解有关声学知识,这样才能使厅堂最终的声音趋于完美。

1. 声波的产生及其频率、波长和声速

人们在日常生活中听到的声音各种各样,但本质都是一样的。它们都是机械振动或气流振动引起周围传播媒质(气体、液体、固体等等)发生波动的现象,通常将产生声音的发声体称之为声源。

那么,人类是怎样听到声音的呢?如图1-1所示。

当声源体产生振动时,引起与之垂直方向相邻近的空气的振动,从而使这一部分空气的密度变密,当声源体向相反方向振动时,这一部分空气就相应地变为稀疏。这样空气就随着声源体所振动幅度的不同,而产生密或稀的振动,空气的这种振动被称为声波。当声波传到人的耳朵中,人们通过听觉神经就可以听到各种各样的声音。

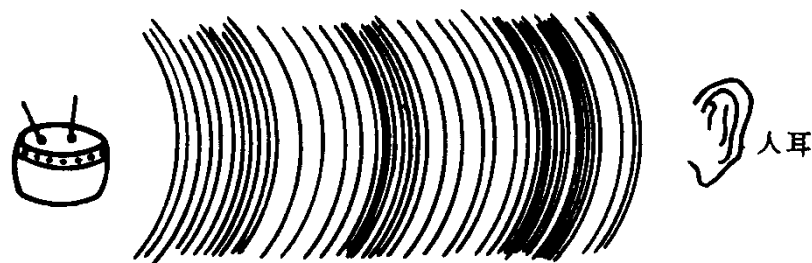


图 1-1 声波产生的过程示意图

一般将传播声波的空间称之为声场,声源体在声场中每秒钟振动的次数称之为频率,用符号“ f ”表示,其单位是赫兹(Hz)。当声源体每秒钟振动一次时,即为 1Hz。声源体每秒钟振动的次数越多,即频率越高,人耳所感觉到的声音的音调则越高。反之,当声源体每秒钟振动的次数越低,则人耳所感觉到的声音的音调则越低。人们在欣赏迪斯科音乐时,经常会体会到有一种震撼人心的感觉,这就说明在迪斯科音乐声中包含有大量的频率较低的声波。

由于人的耳朵的听觉神经对于声源体振动频率的敏感程度有一定的局限性,因此并不是所有频率的声音人耳都能听见。一般声源体振动的频率为 20Hz~20kHz 范围内时,人的耳朵才能对声音产生感觉,故通常将频率为 20Hz~20kHz 的声波叫做可闻声。对于低于 20Hz 或高于 20kHz 的声波一般属于其它学科领域的研究范围,如:将低于人耳所能听见的声波(次声),用于研究地震、天体或核爆炸领域,而将高于人耳所能听见的声波(超声波),则用于探伤、焊接或仿生学等领域。

在建筑声学中,人们为了便于区别,一般将可闻声分为四个频段,即低频段(30~150Hz),中低频段(150~500Hz),中高频段(500~5000Hz)和高频段(5000~20000Hz)。

声波每秒钟传播的距离被称之为声音的传播速度,也即声速,一般用符号“ c ”表示,单位为 m/s。

声音在不同的介质中及状态下传播的速度也有所不同,它与声音的强弱和频率无关。声音在固体中传播的速度最快,其次分别是液体和气体。当环境温度升高时,声速也会增加。例如:在标准大气压下,环境为 0℃ 的空气中,声音传播的速度为 331.6m/s,但当空气温度每增加 10℃,声速将增加 0.607m/s,其表达式为

$$c_0(t) = 331.6 + 0.6t$$

式中 c_0 为声速, t 为摄氏温度。

声源体产生振动引起空气的振动,每完成一次往复振动所经过的距离被称为波长,用符号“ λ ”表示,单位为 m。声波的波长主要与声音的声速和频率有关,频率越高,波长越短;反之,频率越低,则波长越长,其关系式为

$$\lambda = \frac{c_0}{f}$$

式中 f 为声波的频率,单位为 Hz。

2. 声波的声压、声压级和响度、响度级

当某一环境的空气中没有声波存在时,其各处的大气压是一样的,而当声波产生后,声波使空气产生周期性的疏密变化,空气密集处压强较大,空气稀疏处则压强较小,这种由声波而引起空气的压强的变化被称之为声压 P ,单位是 Pa。

当某一环境中的声压越大,说明空气的压缩量越大,从而对人的耳膜产生的压力也越大,

人们听到的声音则越响。因此,声压大小反映了声波的强弱,即决定了声音的大小。由于声波是无规则疏密变化的,所以声压没有方向性,只有大小的变化,一般只用一段时间内的有效声压来表示声压的大小。当声波呈周期性变化时,通常用在该周期内声压的均方根值表示,称为有效声压。一般常用的声压的值均指有效声压。

人们在正常讲话时的声压约为 0.5Pa ;声压低于 $2 \times 10^{-5}\text{Pa}$ 时,声音就达到人耳的最低极限,人耳则几乎听不到声音了,这一数值被称之为可听觉值;当声压达到 200Pa 时,为人耳听觉的最高极限,人们的耳朵会感到疼痛,这一数值被称之为痛阈值。

在声学工程中,经常用到一个单位——分贝(dB),用它来表示声音的强弱。人耳能够听到的声音声压的范围很广,从最低声压的可听觉值到最高声压的痛阈值之间相差 106 倍,如果用声压的大小来衡量声音的强弱十分不方便,所以用声压的相对大小来表示声压的强弱,称之为声压级(L_p),其单位是 dB。

声压级的定义如下:

$$L_p = 20 \lg \frac{P}{P_0}$$

式中,基准声压 P_0 为 $2 \times 10^{-5}\text{Pa}$,即为人耳的可听觉值,国际上统一将这一数值规定为 0dB,用它来衡量声压的大小。

从上式可以看出,声压级每变化几分贝,声压则呈成倍地变化。例如:人们的呼吸声的声压级为 10dB,则声压为 $0.0002P_0$;人们轻声说话时的声压级为 30dB,则声压为 $0.002P_0$;当人们相距 1 米对话时,其声压级为 70dB,则声压为 $0.2P_0$;当人们聆听低音鼓时,其声压级为 130dB,则声压为 $200P_0$ 。

由于声压级的分贝数值是以对数值表示的,需要注意的是,当某一厅堂中出现多个声源时,在计算总的声压级时就不能将几个声压级作简单的加法,而应用对数方法计算。

所谓响度是人们用来描述声音大小的主观感觉的一个量,它与声压级有所不同。通常响度越大,声音则越响,而声压级越大,其响度不一定会成比例地增大。因此不可用声压级来衡量声音的大小。

人的耳朵是一个非常精密和复杂的器官,它对各种声音的感觉是十分敏感的。图 1-2 为国际标准组织推荐的 (ISOR226) 人耳的等响度曲线,它是将人们在测听室中每一次接收自由声场的纯音信号后,再用仪器测量该点声压,用这种方法得到自由声场的响度曲线,图中的每一条曲线上各点所代表的声音在人的耳朵听起来其响度都是一样的,故称之为等响度曲线。

为了便于区别,图中以 1000Hz 垂直线与等响曲线相交点的声压级为各等响曲线的级别,称响度级,单位是方 (phon) 其意义为任何一条曲线上的响度级等于 1000Hz 时同样响的声音的声压级。

人们在日常欣赏音乐时都有这样一个感觉,即当音量开得较大时感觉到低频较为丰富,而

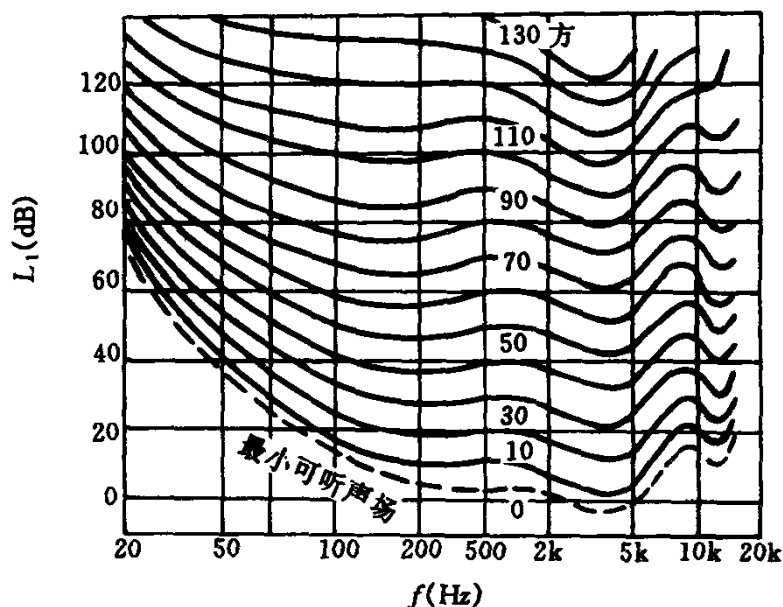


图 1-2 人耳的等响度曲线

当音量开得较小时,会较明显地感觉到低音失去较多。因此,在有的音响器材中加上了低音补偿电路,以提高较低音量时的重放低音。从图中就可以看出,人们的耳朵对于不同频率的声音的灵敏度是不一样的。在较低的声压时,对于同样大的声压级的变化,人们的耳朵对低频及高频的敏感度都要降低,尤其对低频显得更为明显。当在较高的声压时,曲线较为平坦,声压级相同的各个频率之间的声音的响度基本相同,与频率的关系不大。因此,在较低音量重放时,人耳就会感觉到低音不足。

再从图 1-2 中可以看出,80dB 以上的等响度曲线相对来说较为平坦,说明高、低频的响度基本上是差不多的,重放声中的各个频段的频率给欣赏者的主观听感有一个较为平衡的感觉。低于 60dB 的等响度曲线起伏较大,则说明高、低频的变化较大,即某些频率的声音响度较高,而某些频率的声音则响度较低,从而使重放声中频率响应没有一个较为平坦、完整的平衡,使欣赏者主观感觉高音发刺、低音无力。这就需要通过一些技术手段(调音台)来提升声压级的分贝值,使重放声中的高、低音趋于一个相对的平衡。

了解等响度曲线这一概念,对于今后歌舞厅中调音台的使用有着十分重要的意义。

在一些与声学有关的工程中,一般采用声级计进行声压级的测量,它是将高、中、低频不同响度的声音,分别通过不同的频率计权,从而得到与人们的对响度的感觉有一定关联的参考值。

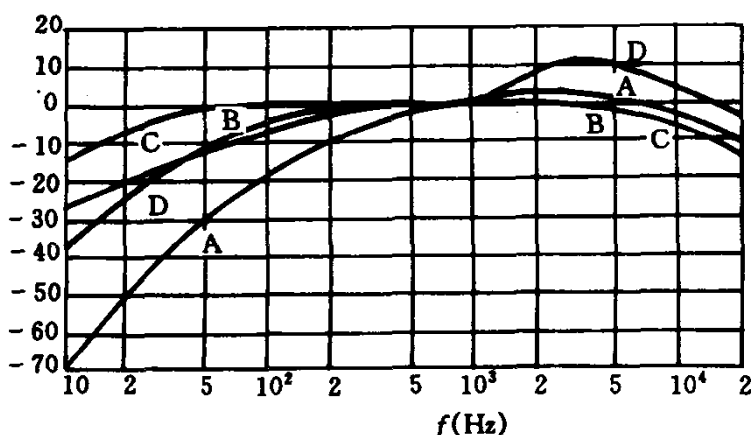


图 1-3 A、B、C 三种计权曲线示意图

根据等响度曲线的特点,声级计设计了 A、B、C 三种计权方法。对于声音较轻的声音,A 计权模拟人耳对 40 方声音的响应,它较符合人耳对低频灵敏度较低,对高频灵敏度较高的特点。因此,在对歌舞厅的声压级的测量一般用 A 计权。图 1-3 即为 A、B、C 三种计权曲线。

B 计权是对于中等响度的声音而设定的,以 70 方等响度曲线为基础,它对声音接收检测时,低频段略有衰减。C 计权主要针对较高的声音而设定的,以 100 方为基础,它可以接收所有频率的声音而不对某一频段的频率作衰减。

一般 A 声级与 B 声级相接近时,声音呈中、高频特性;A 声级小于 C 声级则声音的低频特性较好。因此,通过这一方法即可对声音的频率成份作大体上的分析。

3. 声波的反射、绕射、干涉和混响

声波在传播过程中,碰到不同的介质时,会产生反射、折射及绕射,图 1-4 为声波在听音室内的各种反射现象。对于声波的各种反射、折射及绕射的研究,在建筑声学设计中有着十分重要的作用。

声音在传播过程中,碰到物体后,其传播速度将发生改变。其中一部分声波经过物体反射后形成反射波,按照几何声学原理,声波的反射一般有以下的一些规律:

- 声在传播过程中如果在同一个传播介质内,其运动的方向是按直线前进。
- 当 2 个声源的声线相交后,各自仍按原来的方向前进。
- 当反射物体的反射面比声波的波长大得多时,声波的运动方向按入射角等于反射角

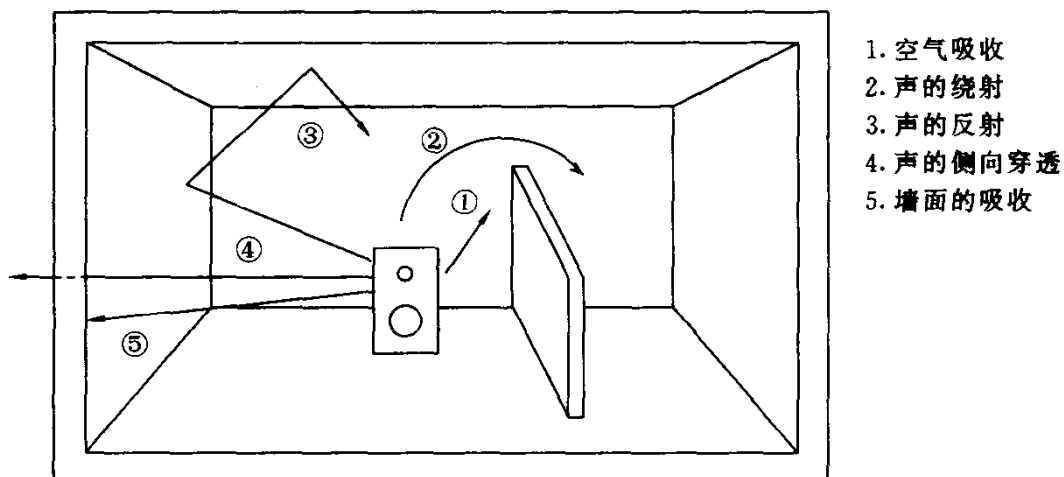


图 1-4 声波在听音室内的各种反射现象

的方向前进。

如图 1-5 所示为声波在平面、凹形球面及凸形球面的反射现象。图(a)为平面反射,其反射线与入射线在同一平面内,入射角 α 等于反射角 β ;图(b)为声波在凹形球面的反射,它较容易使声波集中,产生声波的聚集和回声;图(c)为声波在凸形球面的反射,其表面的凸形球面较容易使声波产生扩散。

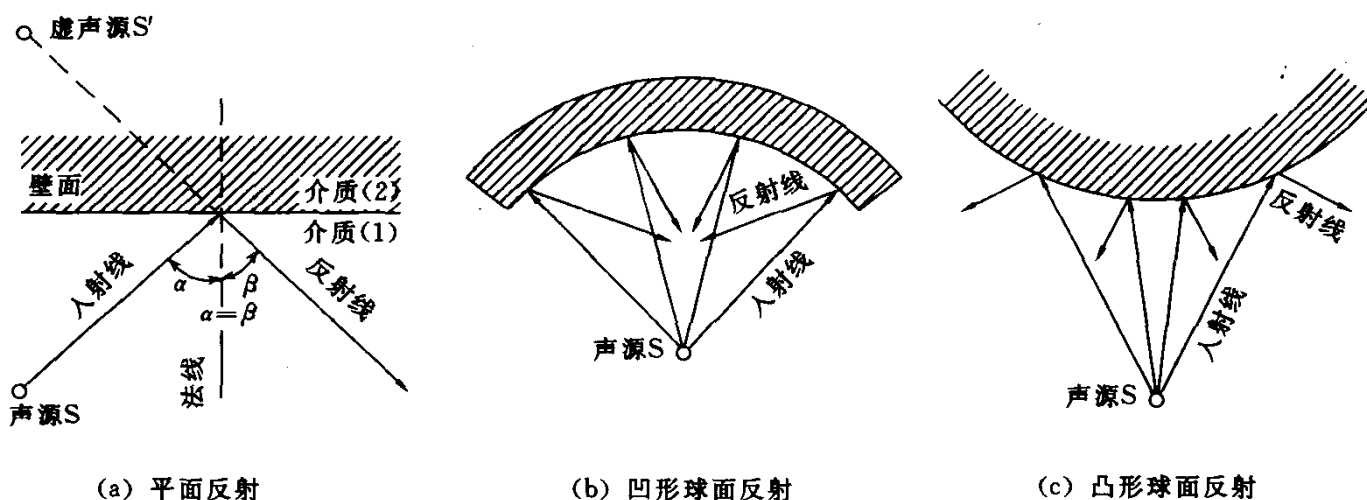


图 1-5 声波碰到不同形状的物体产生的反射

当声波在传播过程中,遇到障碍物或有孔洞的物体,声波会沿着障碍物或孔洞的边缘传播,这种现象被称之为绕射。如果障碍物或孔洞的几何尺寸比声波的波长大得多,则声波会仍然沿直线传播。如果障碍物或孔洞的几何尺寸比声波的波长小得多,则声波会绕过障碍物或孔洞,在其边缘产生一个无声波的“空白区”。图 1-6 为声波在遇到障碍物或有孔洞的物体时所产生绕射的示意图。

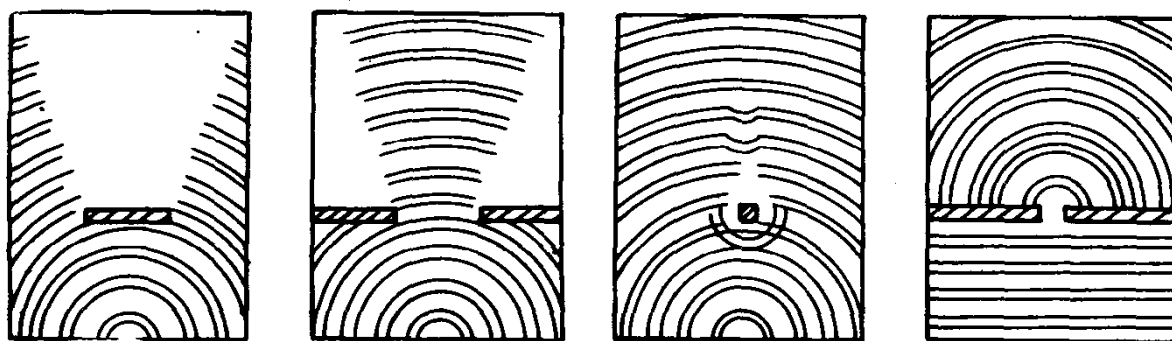


图 1-6 声波在遇到障碍物或有孔洞的物体时所产生绕射的示意图

当有 2 个声源的声波所发出的频率、相位相同,且相互叠加时,在某些重叠区声音会增强,而在某些重叠区则声音会相互抵消而减弱,这种现象被称为声波的干涉,如图 1-7 所示。

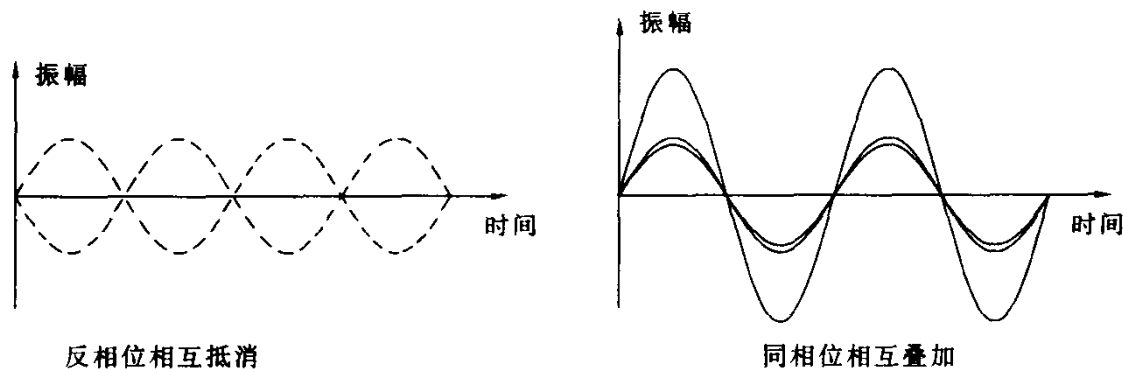


图 1-7 声音的干涉现象

目前一般歌舞厅大都存在声干涉现象,从而使重放声或强或弱,较难调整。出现声音的干涉现象一般出现在较规则(即厅堂的四周的几何尺寸基本相同),特别是面积较小的厅堂。消除声干涉的方法是将较规则的厅堂的几何尺寸打乱;如:将听众的座位设置得错落有致,设置一些包厢、吧台,将厅堂的顶部加一些凸凹不平的装饰物等等,通过这些方法就可以消除声干涉的现象出现。

当声波在室内经过墙壁等物体多次反射后,声波的能量将逐渐减弱直至消失,这是一个较短的时间过程。如果将正在发声的声源突然停止,室内的声压并不是立即为零,而是由通过物体反射后产生的各个方向的声波进行碰撞,相互抵消并逐渐减弱,这一过程称之为混响。

由于各种厅堂的几何尺寸不同,厅堂内声波运动所经过的路程不同;并且由于各种墙壁所使用的材料对声波的吸收效果不同,每当声波碰到一次墙壁就会产生一次反射,各个声波反射的能量随着墙壁材料的不同而不同,当这些反射声相继到达听众的耳朵时就会感觉到声音变得混浊而含糊不清。

早在 1900 年,物理学家赛宾(W. C. Sabine)就提出了混响理论,并得出著名的混响时间 T_{60} 公式(赛宾公式)

$$T_{60} = \frac{0.161V}{A}$$

式中, T_{60} 为闭室混响时间,是指室内的某一频率的声音达到稳定后,使声源停止发声,其平均声级从发声起的原始值衰减 60dB 所需要的时间,单位为秒。 V 为闭室的容积; 0.161 为与空气温度相关的一个常量,常温下为 0.161(s/m); A 为室内总的吸声量, $A = \alpha S$, α 为室内墙壁、顶棚及地面材料的平均吸声系数,即当声波入反射界面时,被吸收的声能与入射声能之比。 S 为室内表面的总面积。

1929 年声学家伊林(C. F. Eyring)提出了对赛宾公式的修正公式,即伊林公式:

$$T = \frac{KV}{-\sin(1+\bar{\alpha}) + 4mV} S$$

式中, T 、 V 、 S 、 $\bar{\alpha}$ 与赛宾公式相同, $4mV$ 为空气中的吸收系数, $K \approx \frac{55.26}{c_0}$, c_0 为声速(取 34000cm/s), $K \approx 0.161$ (m/s)。

从上面二个公式可以看出其意义是基本相同的,即混响时间的长短与声源无关,它表示了室内声音反射特性的一个量,它与室内的容积及墙壁、顶棚及地面的吸声量有关。

那么是不是混响时间越短就越好呢? 在实际厅堂的听音结果表明并非如此。如果当听音

房的容积较大,且墙壁在吸声效果较差,对声波的反射较强,那么其混响时间是较长的。人们一般都有这样的体会,在浴室内讲话时,尽管声音很响,但却听不清楚。这是因为人们讲话时的前一句话的声音发出后,当讲第二句话时,前一句话的余音仍然能够听到(声波的多次反射),从而使前后二句话的声音相叠加,就干扰了第二句话的清晰度,这就是通常讲的浴室效应。

如果在一个吸声效果非常好、对声波的反射较小的室内演唱或演奏,人们就会感觉到歌声或音乐声单调、干涩,无丰满、圆润感,这就是因为室内的混响时间太短的缘故。因此,为了获得较好的重放效果,如何将音源的直达声和反射声有机地相结合,使厅堂内的声音更加完美、动听,一直是歌舞厅设计中的一个较为重要、也是不容易解决好的问题。通常可以运用几何学原理及各种吸声材料的特性,来控制厅堂内声波的反射,使厅堂内的每一位听众都能够得到足够响的声音及较好的重放音质。

4. 人类的听觉特性

人类的听觉系统是一个十分复杂而又主观的器官。通过研究表明,人类的耳朵可以听见声频范围 $20\text{Hz}\sim 20\text{kHz}$ 内的声音,但由于各个人的年龄及听音习惯等因素的差别,对 $20\text{Hz}\sim 20\text{kHz}$ 内的声音每一个人的敏感度是不同的。例如,一般人对高频的声音的感知度最高为 12kHz 左右,而专业调音师则可达 16kHz 左右。但是尽管每个人对不同频率声音的反映不同,人类的听觉系统还是具有一些相同的共性。也就是声学中经常用到的人耳的各种效应,人们正是利用了这些人耳效应制造或营造了某些声音的播放器材或演奏的现场。

(1) 人耳的掩蔽效应

人耳的掩蔽效应是一个十分复杂的生理和心理现象,又称鸡尾酒效应。即在举办鸡尾酒会时,在人声嘈杂的人群中,如果二人之间进行交谈时,尽管周围的各种噪声很响,但二人耳朵中听到的主要的声音是对方的讲话声,而周围的各种噪声则被掩蔽掉了,这种人耳的掩蔽效应是由于人们的心理因素而产生的。

当在室内出现二个声源时,其中一个声源的声压级较小而另一个声源的声压级较大,人们的耳朵会听见声压级较大的声源的声音,而忽视另一个声压级较小的声源的声音。这就是由于人们的生理因素而产生,由声压级较大的声源的声音将声压给较小的声源的声音掩蔽掉了。

通过大量的实践发现,人耳的掩蔽效应与诸多因素有关,如二个声源之间的声压差,二个声源之间的频谱不同,二个声源之间声波反射的相对方向不同,二个声源之间不同的混响时间等等。总之,掩蔽效应的程度主要取决于二个声源之间的某些相关参数。

人耳的掩蔽效应在音响器材的制造及歌舞厅的设计中得到了较为广泛的应用。例如目前较为流行的家庭影院系统中的 AC-3 技术,就是利用人耳的掩蔽效应,通过多声道之间的重放将噪声掩蔽,从而使重放声更加清晰、逼真。在歌舞厅的设计中也可利用人耳的掩蔽效应来掩蔽一些不可避免的噪声。

(2) 人耳的哈斯效应

哈斯在实验中发现,人的耳朵对延时后的声音的分辨能力是有一定的局限性的,即当二个内容相同的声音在同一时间以同样的强度到达人的耳朵时,人们不一定能够分辨出这二个声源的声音的先后到达顺序,这就是人耳的哈斯效应,又称延时效应。图 1-8 为几种常见的人耳的哈斯效应的示意图。

如图中(a)所示,当二个声源与人耳的距离相同,且声音的内容也相同,那么人的耳朵是不能辨别出二个声源的准确位置,只能感觉到前方声场的空间感较强。

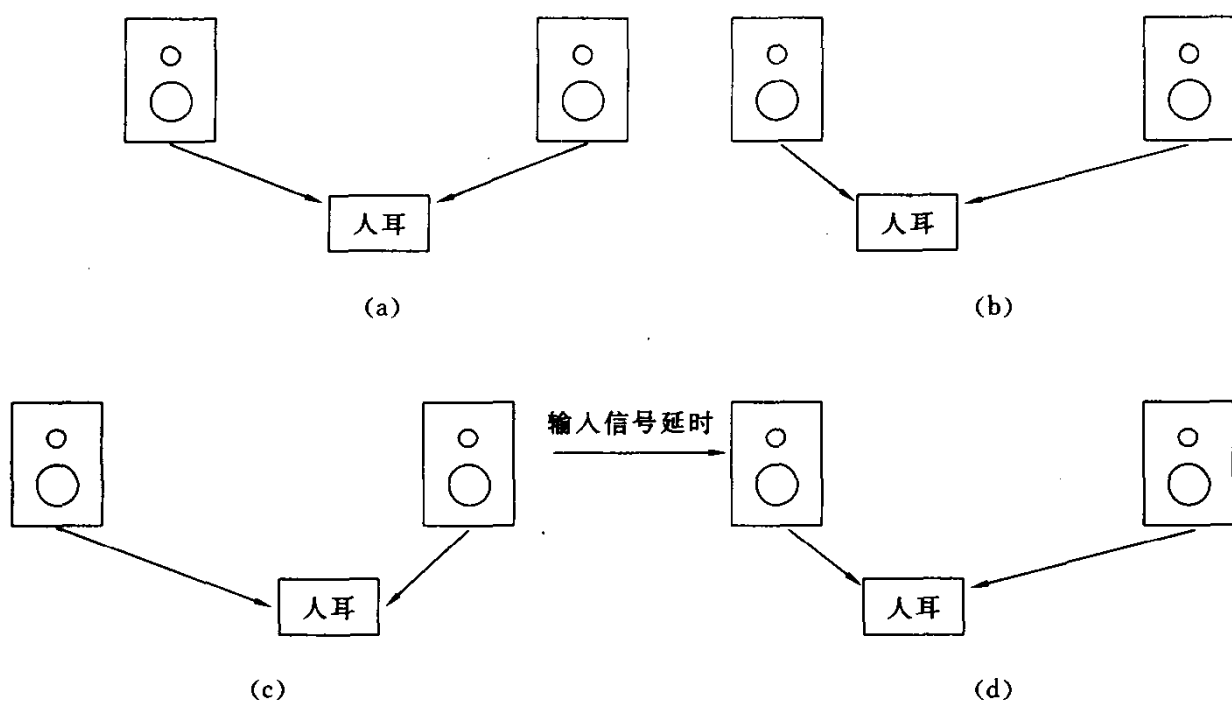


图 1-8 几种常见的人耳的哈斯效应的示意图

如图中(b)所示,当二个声源中的一个声源延时 $5\sim 35\text{ms}$,人的耳朵只能感觉到没有延时的声源声音的存在和方向,而感觉不到另一个声源的存在,就好像二个声源的声音合二为一。

如图中(c)所示,当二个声源中的一个声源延时时间大于 50ms ,人的耳朵就能够感觉到二个声源的存在,方向由各声源所确定,经过延时的那个声源的声音为清晰的回声。

如图中(d)所示,当二个声源中的一个声源延时 $30\sim 50\text{ms}$,人的耳朵则也能够感觉到二个声源在存在,但方向仍由前面一个声源的方向所决定。

人耳的哈斯效应在厅堂扩声系统中得到了广泛的应用。例如,一般的剧院均为长方形,靠近舞台的观众所听到的大部分是直达声,声压较大;而位于后排的观众由于距离舞台较远,就得依靠放置于后排的扬声器系统所发出的声音来欣赏。根据哈斯效应的原理,后排的观众只能通过后排的扬声器来感觉到演员的歌声主要来自后方,掩盖了前方舞台上的直达声。因此,一般通过对后排扬声器音频系统的信号进行恰当的延时,使后排的观众听到的主要声音还是前方舞台的直达声,而后排扬声器作为对后方声场不足的补充,这样就可以使后排的观众能够欣赏到声像合一的舞台表演了。

(3) 德·波埃效应

德·波埃的试验证明,当听音者站在距离二个声源相等对称线上时,二个声源之间的声压差和时间差均为零,声源在对称线上,使听音者感觉好像只有一个声源。当某一个声源的声压差加大时,声源会向声音较强的方向转移,当声压差大于 15dB 时,听音者会感觉到声音是由较响的声源单独发出。当二个声源之间的声压差为零,而时间差变化时,也有声像的移动。当时间差大于 3ms 时,给听音者的感觉声像则由前导的声源决定。

(4) 多普勒效应

当声源与听音者之间作相对运动时,人耳会对某一个已确定的频率声音产生音调的变化。多普勒发现:当声源与听音者作较近距离的移动时,人的耳朵感觉所听到的声音频率比实际声源所发出声音的实际频率要高;当声源与听音者作较远的距离移动时,人的耳朵感觉所听到的声音频率比实际声源所发出声音的实际频率要低。

(5) 李开效应

李开的试验证明,当二个声源反相时,重放的声像可以产生超出二个声像以外的效果,甚至会在听音者的背后,如图 1-9 所示。

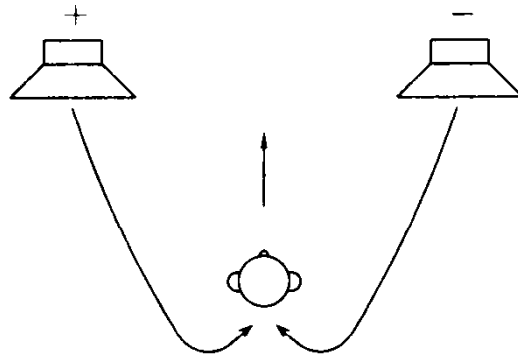


图 1-9 李开试验示意图

李开试验还证明,适当控制二个声源(立体声)的强度、相位,就可以得到一个有较大的广度和深度的移动重放声场。

第二章 建筑材料和建筑结构的声学特性

由赛宾公式可以得知,当听音环境的容积确定后,决定混响时间的因素就在于吸声系数,而吸声系数的大小则是由所采用的吸声材料所决定。

较细心的观众进入一些较为正规的歌剧院、电影院等场所时,一般都会发现歌剧院或电影院的顶棚及四周的墙壁都安装有多孔结构的纤维板、石膏板或木质板,有些较高档的歌剧院还用玻璃棉外包纺皮革,将墙壁及门窗表面包起来。这一系列做法的目的是将舞台上直达声的声波到达墙壁后,通过吸声材料将其吸收掉,以减少声波的反射。

实际上,歌剧院、电影院等场所除了对内部吸声材料要求较高外,其内部几何形状和结构设计也是十分讲究的。如果歌剧院、电影院在墙壁上安装了吸声材料,但不注意其几何形状和结构的设计,同样会使舞台上的直达声产生声波的聚集、回声等缺陷,使声音的质量变差。

因此,对听音场所进行吸音材料的设计和安装是建筑声学设计中重要的工作之一,如何正确使用吸声材料,消除不需要的噪声、控制最佳的混响时间...,在设计剧院或歌舞厅的建筑方案时,必须了解建筑材料及建筑结构的声学特性,合理设计、使用和安装,这样才能保证厅堂内的每一个观众都能听到完美的声音。

一、建筑材料的声学特性

1. 建筑材料的吸声系数、吸声量和隔声量

声波在传播过程中,当碰到物体时,其一部分都会被反射,而另一部分则会被物体吸收。各种物体对声波的反射量不同,也决定了其吸声量的不同。对声波的反射量越大,说明物体对声波的吸收性能较差;反之,则说明物体对声波的吸收性能较好。一般表面较光滑、硬度较高、结构较紧密的物体,其吸声性能不佳,对声波的反射较大,如:大理石、玻璃、镜子、光滑的混凝土墙面等。而表面较粗糙、结构较松软的物体,其吸声性能较好,对声波的反射较小,如:刨花板、泡沫、海棉等。

自从声学领域提出混响时间这一概念后,建筑声学材料有了较大的发展。从过去传统的以木质结构为主的吸声材料,发展成今天的采用多种材料如:塑料、水泥、纤维、玻璃棉等材料制作的多孔装饰板,而且有的吸声材料可以制作成专门对于某一频率的声波具有较强的吸声效果。这样,在厅堂的声学设计和施工过程中就可以根据厅堂的实际情况,通过对不同吸声性能的吸声材料的调整,使厅堂的声音效果达到预期设定的最佳目标。

吸声系数是表示建筑材料吸收声波能力大小的量,用 α 表示。它表示在声波碰到物体时,被吸收的部分声能和入射声能的百分比,即

$$\alpha = \frac{\text{吸收的声能}}{\text{入射的声能}} \times 100\%$$

当 $\alpha=1$ 时表示入射的声能被完全吸收。但在实际应用过程中,除打开的门及窗户 α 能够等于1,其它吸声材料均不能完全吸收,因此,常用的吸声材料的吸声系数均在0~1之间。

建筑材料的吸声系数一般需要在实验室中经过较为复杂的计算和分析后确定,因此在厅堂的声学设计时,建筑材料的吸声系数一般都可以从资料中查出。

吸声材料对不同频率的声波,其吸收的效果也不同。为了较全面反映吸声材料的吸声性能,便于工程上的计算,通常以 125Hz、250Hz、500Hz、1000Hz、2000Hz 和 4000Hz 6 频率点的吸声系数来表示吸声材料的吸声性能。

吸声量是用于表示某个具体吸声构件的实际吸声效果的量,可以用下面的公式表示。吸声量用 A 表示, S 为空间的内表面积,单位是 m^2

$$A = S\alpha$$

例如在一个 100m^2 的墙壁上粘贴吸声系数为 0.58 的玻璃棉板,则该墙壁的吸声量为 $100 \times 0.58 = 58\text{m}^2$ 。如果在一个厅堂内有几种吸声材料,将计算出的每一种吸声材料的吸声量相加,即可得出厅堂内的总吸声量。

声波在空气中传播时,当碰到物体,一部分声能被反射,一部分声能被物体吸收而耗散,还有一部分声能穿透物体后,在空气中继续传播。物体的这种声能的穿透能力被称之为透射系数,用公式表示如下:

$$\tau = \frac{W_{\tau}}{W_{\text{in}}} = \frac{I_{\tau}}{I_{\text{in}}}$$

式中: τ 为物体的透射系数, W_{in} 为入射到物体的声功率, I_{in} 为入射到物体的声强, W_{τ} 为穿透物体的声功率, I_{τ} 为穿透物体的声强。

在厅堂设计中,一般以透射系数的倒数并取对数形式来表示物体的隔声效果,即隔声量 TL ,可用下式表示

$$TL = 10 \lg \frac{1}{\tau}$$

在厅堂的设计及施工中,隔声量对声音重放的质量也有一定的影响。隔声量越大说明厅堂的隔声效果越好,外界的各种噪声对厅堂内正在演唱或演奏的声音干扰就越小。为了便于反映物体的隔声性能,通常用 125Hz、250Hz、500Hz、1000Hz、2000Hz、4000Hz 几个频点来表示。

2. 常用建筑材料的声学特性

目前,我国生产和使用的吸声材料的种类较多,根据各种吸声材料的结构和吸声特性,可分为多孔吸声材料、薄板振动吸声材料、共振吸声材料、穿孔板组合吸声材料及帘幕吸声材料等等,下面分别予以介绍。

(1) 多孔吸声材料

多孔吸声材料主要是以麻、棉、棕丝、玻璃棉、聚氨基甲酸酯合成物(海棉)等材料制成,它是目前较常使用的吸声材料之一。

多孔吸声材料的内部构造如图 2-1 中的(a)所示,在其内部具有内外连通的气泡,当声波沿着气泡进入材料内部后,引起气泡空气的振动,当空气振动时与气泡发生摩擦,使一部分声能转化为热能,从而吸收了声能。

从图 2-1 中(b)多孔吸声材料的吸声特性中可以看出,多孔吸声材料吸声系数随着频率的上升而增大,因此,多孔吸声材料主要用于对高频声波的吸收。

在实际使用中,多孔吸声材料的厚度及材料与墙壁之间空隙的大小对其吸声效果都有一定的影响。在通常情况下,吸声材料的厚度越大,其吸声性能就越好。在一定的厚度范围内,吸

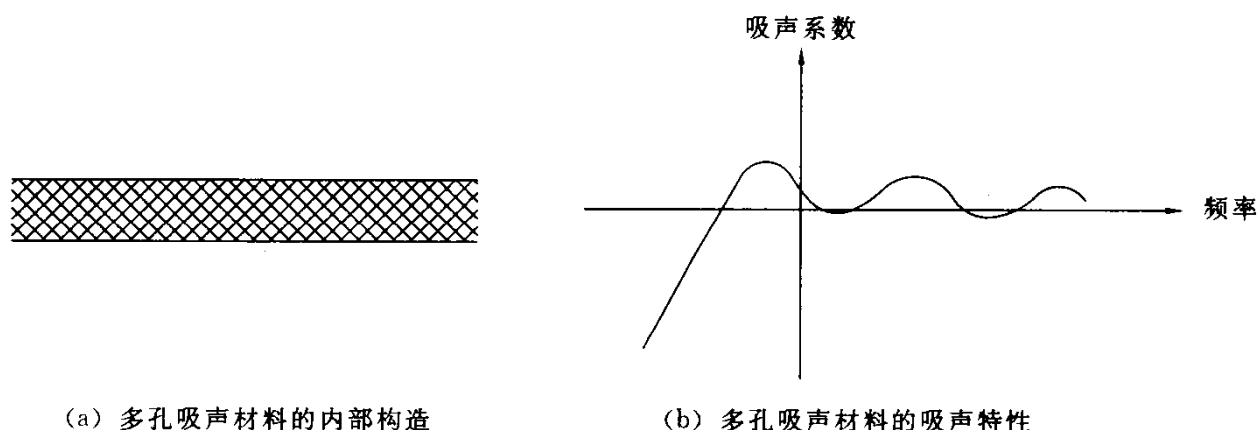


图 2-1 多孔吸声材料的内部构造及吸声特性

声材料的厚度增加一倍,其吸声系数的频率特性曲线就向低频移动一个倍频程,也就是说提高了对低频声波吸收的效果。但是,并不是单纯地增加材料的厚度就可以对低频声波就有很好的吸收效果,因为材料过厚对声波的阻碍作用也增加了,因此当吸声材料的厚度增加到一定程度后,吸声效果的提高就不再明显了。表 2-1 为常见的多孔吸声材料的在实际使用时的厚度。

表 2-1 常见的多孔吸声材料的在实际使用时的厚度

材料名称	木屑板	玻璃棉	纤维板	泡沫板	毛毡
实际使用时的厚度	2~5cm	5~15cm	1.5~2cm	2.5~5cm	0.5~0.8cm

为了使多孔吸声材料在较好地吸收高频声波的同时获得较好的低频吸收特性,一般在设计施工时在多孔吸声材料与墙壁之间留有一定的空间,这样相当于增加了吸声材料的厚度,其吸声性能一般随着空间的增厚而提高。但是由于空气的共振作用,当吸声材料与墙壁之间的空间的总厚度对应于 $1/4$ 波长的频率,对于在此频率点以上的声波的吸收性能为最佳。当吸声材料与墙壁之间的空间总厚度等于 $1/2$ 波长时,对声波的吸收性能最差。

目前,在厅堂的声学设计中,使用较多的多孔吸声材料主要有矿棉吸声板、纤维吸声板、珍珠岩吸声砖、玻璃棉吸声板等等。

矿棉吸声板是采用一些工业矿渣经过熔化后制成,在制作时采用发泡处理,使其内部充满了气孔。它具有吸声效果较好、阻燃、性能稳定、价格低廉等特点。目前国内一些厂家生产的矿棉吸声板表面刻有各种图案,无需在矿棉吸声板表面加饰点缀物,直接进行安装,既可起吸声作用,又美化了厅堂内的环境。

纤维吸声板一般用甘蔗渣、碎麻丝、碎木料、稻草等植物纤维材料经切碎、打浆等工序后压制而成,一般厚度在 13~30mm 之间。它具有防潮性好、绝缘性能强、重量轻等特点。一般纤维吸声板的表面均刻有各种图案,供使用者挑选。

珍珠岩吸声板是以膨胀珍珠岩为主要原料,用水泥作粘合剂,将膨胀珍珠岩与工业矿渣经振动混合而压制成型。它具有重量轻、吸声效果较好、耐高温、防火等特点。一般市场中有珍珠岩吸声制成的板和砖出售。

玻璃棉吸声板的制作材料主要是砂沙、石灰石等矿物质,经过高温熔化后拉制成纤维状后再压制成型。它具有耐腐蚀、隔热性好、阻燃性好的特点。但是吸水性较强,当玻璃棉板吸水受潮后,对声波的吸声性能将下降,故目前在有的歌舞厅中使用还不是很多。

需要注意的是,在一些歌舞厅中,为了厅堂内墙壁外表的美观,往往在多孔吸声材料的表面胶合一层装饰材料如软面人造革、装饰板、粉刷涂料或油漆等。这些材料均有可能将多孔吸

声材料的气泡遮挡住,从而降低了多孔吸声材料的吸声性能。因此,在实际使用中建议不直接在多孔吸声材料上粉刷涂料或油漆,而是采用喷涂的方法,这样既使多孔吸声材料的外观漂亮,又不会遮挡住多孔吸声材料上的气泡,从而不影响吸声效果。如果需要在多孔吸声材料上敷设一层保护层,最好采用布质材料或孔眼较大的材料,这样使保护层对多孔吸声材料的吸声性能影响最小。

表 2-2 为空气在不同频点的吸声系数。

表 2-2 空气在不同频点的吸声系数(环境温度 20 ℃)

频率 (Hz)	室内相对湿度(%)			
	30	40	50	60
1000	0.004	0.004	0.0035	0.003
2000	0.012	0.010	0.010	0.009
4000	0.038	0.029	0.024	0.022
6300	0.084	0.062	0.050	0.043
8000	0.120	0.096	0.088	0.080

表 2-3 为常见多孔吸声材料的吸声系数,供声学工程设计或施工时参考。

表 2-3 常见多孔吸声材料的吸声系数

材料名称	厚度 mm	吸声系数					
		125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
超细玻璃纤维棉	50	0.18	0.30	0.58	0.88	0.82	0.78
矿渣棉	50	0.20	0.70	0.78	0.98	0.77	0.89
玻璃棉板	50	0.05	0.18	0.46	0.66	0.80	1.00
矿棉吸声板	18	0.10	0.18	0.50	0.71	0.78	0.81
纯矿渣吸声砖	110	0.30	0.50	0.52	0.62	0.65	—
纯膨胀珍珠岩	110	0.44	0.50	0.60	0.69	0.78	—
水泥珍珠岩板	80	0.34	0.47	0.40	0.37	0.48	0.55
尿醛泡沫塑料	50	0.11	0.30	0.52	0.86	0.91	0.96
聚氨酯泡沫塑料	50	0.16	0.28	0.78	0.69	0.81	0.84
泡沫玻璃	40	0.11	0.27	0.35	0.36	0.43	0.44
微孔吸声砖	55	0.20	0.46	0.60	0.52	0.65	0.62
加气混凝土	50	0.07	0.13	0.10	0.17	0.31	0.24
加水渣泡沫水泥	75	—	0.30	0.26	0.29	0.33	0.38
麻纤维	50	0.085	0.238	0.654	0.981	0.816	0.855
麻纤维板	30	0.06	0.09	0.12	0.17	0.22	—
棉絮(纱布面)	50	0.06	0.15	0.37	0.73	0.93	—
甘蔗纤维板	10	0.09	0.11	0.21	0.19	0.24	0.38
海草板	52	0.19	0.27	0.35	0.42	0.45	—
木丝板	50	0.09	0.12	0.32	0.89	0.83	0.81
植物纤维板	25	0.13	0.16	0.20	0.30	0.45	—