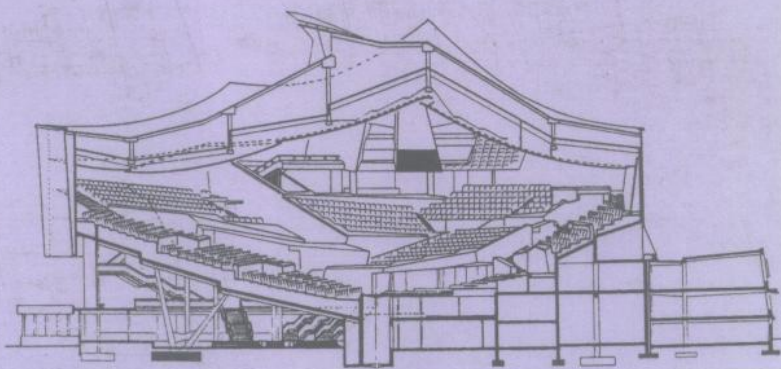


聲



秦佑国 王炳麟 编著

建筑声环境

(第二版)



J I A N Z H U S H E N G H U A N J I N G

清华大学出版社

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

TU112

Q53

(2)

444966

建筑声环境

(第二版)

秦佑国 王炳麟 编著

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

内 容 简 介

本书详细介绍建筑声学的基础知识和建筑声环境的设计原理与方法。在编写中注重以物理概念来说明,简化了繁杂的数学运算,并附工程实例,以期读者能获得建筑声环境设计的完整概念和实际方法。

本书着重介绍了室内音质评价,设计理论和实践中的经验,建筑材料与结构的声学特性与选用方法,环境噪声的评价标准,噪声控制设计规范,噪声测量方法以及一般声学实验和声学测量的仪器与方法。

本书是为大中专院校建筑学专业和环境保护专业编写的教材,也可供土建设计和科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑声环境/秦佑国,王炳麟编著. —2版. —北京:清华大学出版社,1999
ISBN 7-302-03520-2

I. 建… II. ①秦… ②王… III. 建筑声学:环境声学 N. TU112

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 18703 号

出 版 者: 清华大学出版社(北京清华大学校内,邮编:100084)

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

责任编辑: 段传极

印 刷 者: 北京大中印刷厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 787×1092 1/16 印张: 12.75 字数: 298 千字

版 次: 1999 年 8 月第 2 版 1999 年 8 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-03520-2/TU·145

印 数: 0001~3000

定 价: 13.00 元

第一版序

科学技术的飞跃发展和人对生活质量的不断追求,使建筑师的设计眼光从经营构图、组织空间扩大到创造环境。这是对建筑本质理解的深化,也是设计观念的进步和革新。这种革新要求新一代的建筑师必须对于人需要什么样的环境,以及如何在建筑物内部和外部提供这种环境,有更多的了解。

“环境”一词的含义很广。它既包括物理的、化学的、生物的物质因素,也包含社会的、文化的和心理的精神因素。这些因素交织在一起,构成了人所处的环境。

在建筑物内部,物理环境是指对人的工作效率、身心健康和生活舒适有直接影响的声、光、热等物理因素。人的生存离不开这些物理因素,但是声、光、热等物理量过高或过低又会对人造成伤害。因此,我们必须首先从人的效率、舒适、安全的角度对建筑的物理环境给出定量的评价。其次,需要研究提供良好物理环境和消除不良影响的技术途径与控制措施。这就是本书所要讨论的核心内容。

物理环境是建筑环境的重要组成部分。物理环境的规划和设计固然要运用物理方面的原理和定律,也和心理科学、工程技术乃至艺术、经济有密切的关系。本书在编写中力求全面地介绍与物理环境有关的理论、知识和经验,反映这个学科的最新发展;内容包括物理概念和定律、物理环境的定量评价方法、设计标准、计算与测量、构造与设备、经济与节能等各个方面。该书是供建筑学专业的大学生学习“建筑物理环境”课程使用的教材,也是简要讲述物理环境设计原理和设计方法的专著。全书分三册出版,即《建筑光环境》、《建筑声环境》和《建筑热环境》。每册独立成章,便于建筑师及相关专业的科研、设计人员参考。

清华大学建筑系建筑物理教研组

1986 年

《建筑声环境》第二版前言

《建筑声环境》一书(车世光主编,编者有车世光、王炳麟、秦佑国)于1988年出版。它一直作为“建筑物理环境”课程的教材之一(另有《建筑光环境》和《建筑热环境》),用于清华大学建筑学专业。此外,国内不少相关专业和培训班也把本书作为教材或主要参考书。1990年,本书被中华人民共和国建设部评为首届全国建筑科技图书部级二等奖。

《建筑声环境》出版至今已逾十年,在这十年中,环境声学的研究和实践有了不少新的发展,特别是环境问题日益受到广泛重视,我国颁布了一系列有关环境噪声的评价标准、设计规范、测量方法等等。这些都是我国建筑师执业不可缺少的知识和设计依据。为了适应上述要求,迫切需要对原有的《建筑声环境》一书做必要的补充和修订。这正是此次出版《建筑声环境》第二版的目的。我们在修订中,根据教学实践和目前资料,对有的章节作了重写和补充,同时对原版中一些疏误之处作了必要的改正。

第二版各章的编写者是:秦佑国(一、三、五、六章)、王炳麟(二、四章)。

作 者

1999年1月

目 录

第一章 声环境设计的基本知识	1
第一节 声音的基本性质.....	1
一、声音的产生与传播.....	1
二、频率、波长与声速.....	2
三、频带.....	3
四、声波的绕射与反射.....	3
五、声波的透射与吸收.....	5
第二节 声音的计量.....	5
一、声功率、声强和声压.....	5
二、声压级、声强级、声功率级及其叠加.....	7
第三节 声音的频谱与声源的指向性.....	10
一、声音的频谱.....	10
二、声源的指向性.....	12
第四节 人的主观听觉特性.....	13
一、听觉机构.....	14
二、听觉范围与听觉特性.....	15
习题.....	21
第二章 室内声学原理	22
第一节 室内声场.....	22
一、室内声场的特征.....	22
二、几何声学 with 波动声学.....	22
第二节 室内声音的增长、稳态与衰减.....	23
一、扩散声场的假定.....	23
二、室内声音的增长、稳态和衰减.....	24
第三节 混响时间.....	25
一、赛宾的混响时间计算公式.....	25
二、依林的混响时间计算公式.....	26
三、考虑室内空气吸收的混响时间计算公式——依林-努特生公式.....	28
四、混响时间计算公式的适用范围.....	28
第四节 室内声场分布与混响半径.....	29
一、声场达到稳态时室内声场分布.....	29
二、混响半径.....	30
第五节 房间共振和共振频率.....	31

一、驻波	31
二、两个平行墙面间的共振	31
三、矩形房间的共振	33
习题	35
第三章 材料和结构的声学特性	36
第一节 吸声材料和吸声结构	37
一、吸声系数和吸声量	37
二、吸声材料和吸声结构的分类	38
三、多孔吸声材料	39
四、共振吸声结构	41
五、其他吸声结构	46
第二节 隔声和构件的隔声特性	48
一、透射系数和隔声量	49
二、单层匀质密实墙的空气声隔绝	51
三、双层墙的空气声隔绝	54
四、轻型墙的空气声隔绝	56
五、门窗隔声	58
六、撞击声的隔绝	60
第三节 反射和反射体	64
一、声波在介质分界面上的反射	64
二、定向反射和扩散反射	64
三、反射构件	67
习题	68
第四章 室内音质设计	69
第一节 音质的主观评价与客观指标	69
一、音质的主观评价标准	69
二、客观指标	71
第二节 音质设计的方法与步骤	74
一、大厅容积的确定	75
二、大厅的体型设计	75
三、大厅的混响设计	83
第三节 电声系统	87
一、电声系统的种类与用途	87
二、扩声与重放系统	87
三、扬声器的布置方式与建筑处理	94
四、监听与扩声控制室的设计	97
第四节 各类建筑的音质设计	98
一、音乐厅	98

二、剧院	102
三、电影院	105
四、多功能大厅	106
五、教室、讲堂	107
六、体育馆	108
七、录音室、广播室、演播室	109
八、声学实验室	116
习题	121
第五章 声环境的噪声控制	122
第一节 环境噪声的危害	122
第二节 噪声评价	124
第三节 噪声允许标准和法规	127
第四节 噪声控制的原则与方法	131
一、噪声控制原则	131
二、噪声控制的工作步骤	133
第五节 城市噪声控制	134
一、城市噪声概述	134
二、城市噪声的来源	134
三、城市噪声控制	137
四、居住区规划中的噪声控制	140
第六节 吸声降噪	145
一、吸声降噪原理	145
二、吸声降噪量的计算	145
三、吸声降噪的设计步骤	146
第七节 隔声	147
一、隔声构件的综合隔声量	147
二、房间的噪声降低值	148
三、隔声间	149
四、隔声屏障	150
五、隔声罩	153
第八节 气流噪声控制——消声器	156
一、气流噪声的产生与消声器	156
二、确定消声器消声特性的步骤	156
三、阻性消声器的设计	158
第九节 掩蔽效应在噪声控制中的应用	161
习题	162
第六章 声学测量和模拟	163
第一节 声学测量概述	163

一、声源特性测量和传声途径声学特性测量	163
二、声学测量的仪器设备	163
第二节 建筑环境中的噪声测量	167
第三节 混响时间测量	168
第四节 吸声系数测量	170
一、混响室法	170
二、驻波管法	170
第五节 隔声测量	171
一、空气声隔声测量	171
二、撞击声隔声测量	172
三、现场隔声测量	173
第六节 建筑声学中其他常用声学测量简介	173
一、声场分布测量	173
二、脉冲响应测量	174
三、声场方向性扩散测量	174
四、声源声功率和指向性测量	175
第七节 模型试验	177
第八节 室内声场的计算机模拟	180
习题	183
 主要参考文献	 185
 附录一 各种材料和构造的吸声系数、吸声量	 186
附录二 常用各类隔墙的计权隔声量 R_w	189
附录三 常用各类楼板的计权标准撞击声级 $L_{npw}(\text{dB})$	191
附录四 建筑声学名词英汉对照表	192

第一章 声环境设计的基本知识

声环境设计的基本知识包括人对声音的识别、声波的物理特性及其传播过程中产生的物理现象,以及人在听觉上的一些主观特性。

人是生活在声音的海洋中,每天的生活、工作都离不开声音。这些声音中有些是人们需要的、想听的,如相互交谈或是音乐欣赏。而有些声音则是工作中、生活中不想听的,这些声音就称作为“噪声”,其中也包括有人想听却干扰别人休息的音乐声。因此,噪声与好听的声音是没有绝对界限的。

在声音的海洋中,人们是如何识别声音的呢?从我们日常生活中可以体会到声音总是有三个表征量,即音量的大小、音调的高低与音色的不同。除此之外,噪声出现的时间是连续的还是间歇的,对人的感觉也是不一样的。

声音的大小、音调的高低与音色的不同,都是与声音的物理特性密切相关的。

第一节 声音的基本性质

一、声音的产生与传播

声音来源于振动的物体,辐射声音的振动物体称之为“声源”。

声源发声后要经过一定的介质才能向外传播,而声波是依靠介质的质点振动而向外传播声能,介质的质点只是振动而不移动,所以声音是一种波动。介质质点的振动传播到人耳时引起人耳鼓膜的振动,通过听觉机构的“翻译”,并发出信号,刺激听觉神经而产生声音的感觉。

为分析声波在空气中的传播过程,现以活塞的运动为例,设在一无限长的圆管内置一直径与一圆管内径相同的活塞,并假设活塞与管壁的摩擦可以忽略,以外力作用于活塞使之产生振动。现分析活塞两侧空气质点层的运动情况(图 1-1):

当活塞受力离开静止位置向右方作一小位移时,紧靠活塞右方的空气质点则被压缩而变得密集,具有一定的位能,同时运动的质点具有一定的动能。接着它就向右膨胀,挤压邻近的质点层,使之亦变得密集,由于质点的弹性碰撞,动能也随之传递过去。这样,邻近质点的运动又依次传向较远的质点,密集状态即逐层向右传播,以致离开声源的质点也相继运动。与此同时,紧挨活塞左侧的质点层由于活塞向右移动而变得稀疏。同样,这一稀疏层也逐层向左传播,见图 1-1a,b。下一时刻,当活塞作反方向运动时,它的左侧出现密集层,右侧出现稀疏层,见图 1-1c,d。这样,随着活塞不断地来回运动,它的两侧就相继形成疏密相间的质点层并逐渐向远处传播,此即为声波。

必须指出,空气质点只是在其平衡位置(即未被扰动前的位置)附近往返振动,并没有随声波一直向外移动。

波的传播过程中,空气质点的振动方向与波传播的方向相平行,称为纵波。若介质质

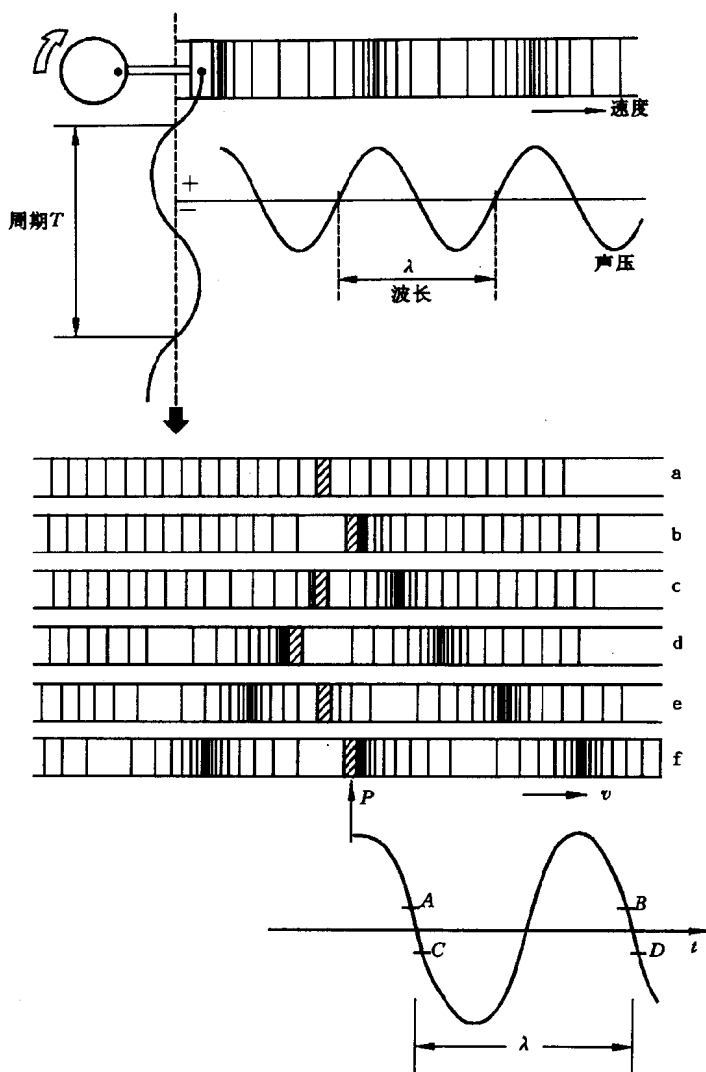


图 1-1 声波的产生

点的振动方向与波传播的方向相垂直,则称为横波,如水的表面波。

二、频率、波长与声速

声源完成一次振动所经历的时间称为“周期”,记作 T ,单位是秒(s)。1 秒钟内振动的次数称为频率,记作 f ,单位是赫(Hz),或周/秒,它是周期的倒数,即:

$$f = 1/T \quad \text{Hz} \quad (1-1)$$

声波在传播途径上,两相邻同相位质点之间的距离称为“波长”,记作 λ ,单位是米(m)。

声波在弹性介质中传播速度称为“声速”,记作 c ,单位是 m/s。声速不是质点振动的

速度,而是振动状态传播的速度;它的大小与振动的特性无关,而与介质的弹性、密度以及温度有关。

当温度为 0℃ 时,声波在不同介质中的速度为:

松木	3 320 m/s	软木	500 m/s
钢	5 000 m/s	水	1450 m/s

在空气中,声速与温度的关系如下:

$$c = 331.4 \sqrt{1 + \frac{\theta}{273}} \quad \text{m/s} \quad (1-2)$$

式中: θ ——空气温度,℃。

声速、波长和频率有如下关系:

$$c = \lambda f$$

或

$$c = \frac{\lambda}{T} \quad (1-3)$$

在一定的介质中声速是确定的,因此频率越高,波长就越短。通常室温下空气中的声速为 340m/s ($\theta=15^\circ\text{C}$), (100~4 000)Hz 的声音波长范围大约在 3.4m 至 8.5cm 之间。

人耳能听到的声波的频率范围约在 (20~20 000)Hz 之间。低于 20Hz 的声波称为次声,高于 20 000Hz 的称为超声。次声与超声不能使人产生声音的感觉。

三、频带

在通常的声学测量中,不是逐个测量声音的频率,这样做工作量太大,有时也没有必要如此精细,而是将声音的频率范围划分成若干个区段,称为“频带”。每个频带有一个下界频率 f_1 和上界频率 f_2 ,而 $\Delta f = f_2 - f_1$ (Hz) 称为“频带宽度”,简称“带宽”; f_1 和 f_2 的几何平均称为频带中心频率 f_c , $f_c = \sqrt{f_1 \cdot f_2}$ 。

四、声波的绕射与反射

1. 波阵面与声线

声波从声源出发,在同一个介质中按一定方向传播,在某一时刻,波动所达到的各点包络面称为“波阵面”。波阵面为平面的称为“平面波”,波阵面为球面的称为“球面波”。由一点声源辐射的声波就是球面波,但在离声源足够远的局部范围内可以近似地把它看作平面波。

人们常用“声线”表示声波传播的途径。在各向同性的介质中,声线是直线且与波阵面相垂直。

2. 声波的绕射

当声波在传播过程中遇到一块有小孔的障板时,如孔的尺度(直径 d)与波长 λ 相比为很小(即 $d \ll \lambda$),见图 1-2(a),小孔处的质点可近似地看作一个集中的新声源,产生新的球面波。它与原来的波形无关。当孔的尺度比波长大得多时(即 $d \gg \lambda$),见图 1-2(b),则新的波形较复杂。

从图 1-3(a)、(b)的两个例子可以看出,当声波在传播途径中遇到障板时,不再是直

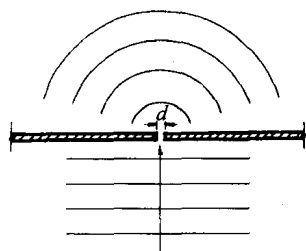


图 1-2(a) 小孔对波的影响

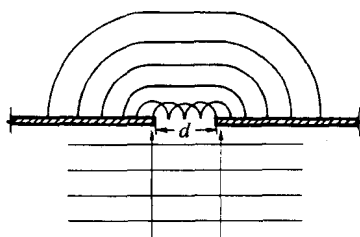


图 1-2(b) 大孔对前进波的影响

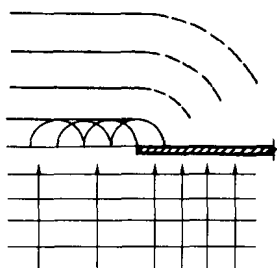


图 1-3(a) 声波的绕射

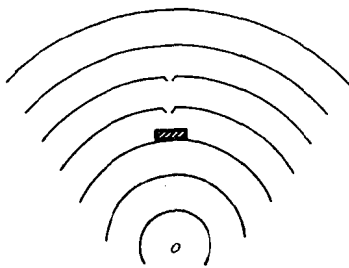


图 1-3(b) 小障板对声传播的影响

线传播,而是能绕到障板的背后改变原来的传播方向,在它的背后继续传播,这种现象称为绕射。

例如,有一声源在一堵大墙的一侧发声,在另一侧的听者看不见声源却能听见声音,这就是声波绕射的结果。声源的频率越低,绕射的现象越明显。

3. 声波的反射

当声波在传播过程中遇到一块尺寸比波长大得多的障板时,声波将被反射。如声源发出的是球面波,经反射后仍是球面波,见图 1-4。图中用虚线表示反射波,就像是声源 o 的映像——虚声源 o' 发出似的, o 和 o' 点是对称于反射平面的对称点。同一时刻反射波与入射波的波阵面半径相等。如用声线表示前进的方向,反射声线可以看作是虚声源发出的。所以利用声源与虚声源的对称关系,以几何声学作图法就能很容易地确定反射波的方向。

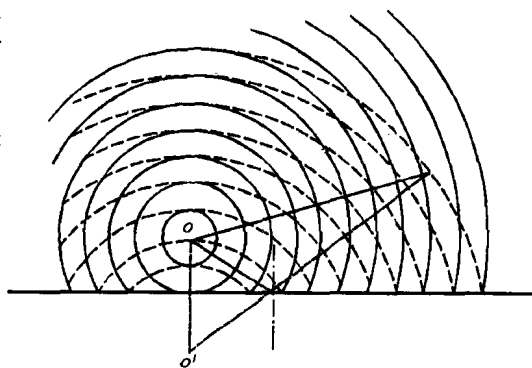


图 1-4 声波的反射

根据声源与虚声源的对称关系,可以说明反射定律,它的基本内容是:

- (1) 入射线、反射线和反射面的法线在同一平面内。
- (2) 入射线和反射线分别在法线的两侧。
- (3) 反射角等于入射角。

五、声波的透射与吸收

当声波入射到建筑构件(如墙、天花)时,声能的一部分被反射,一部分透过构件,还有一部分由于构件的振动或声音在其内部传播时介质的摩擦或热传导而被损耗,通常称之为材料的吸收。

根据能量守恒定律,若单位时间内入射到构件上的总声能为 E_0 ,反射的声能为 E_r ,构件吸收的声能为 E_a ,透过构件的声能为 E_t ,则互相间有如下的关系:

$$E_0 = E_r + E_a + E_t \quad (1-4)$$

透射声能与入射声能之比称为“透射系数”,记作 τ ;反射声能与入射声能之比称为“反射系数”,记作 r ,即:

$$\tau = \frac{E_t}{E_0} \quad (1-5)$$

$$r = \frac{E_r}{E_0} \quad (1-6)$$

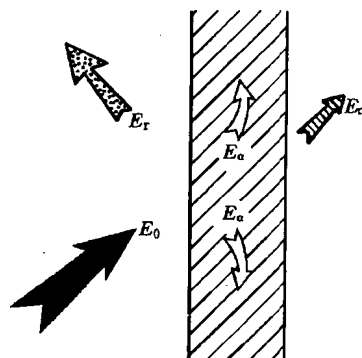


图 1-5 声能的反射、透射与吸收

人们常把 τ 值小的材料称为“隔声材料”,把 r 值小的称为“吸声材料”。实际上构件的吸收只是 E_a ,但从入射波与反射波所在的空间考虑问题,常用下式来定义材料的吸声系数 α :

$$\alpha = 1 - r = 1 - \frac{E_r}{E_0} = \frac{E_a + E_t}{E_0} \quad (1-7)$$

在进行室内音质设计与噪声控制时,必须了解各种材料的隔声、吸声特性,从而合理地选用材料。

第二节 声音的计量

声波是能量传播的一种形式,仅从声速、频率和波长等物理量来描述是不够的。

一、声功率、声强和声压

1. 声功率 W

声源辐射声波时对外作功。声功率是指声源在单位时间内向外辐射的声能,记为 W ,单位为瓦(W)或微瓦($\mu W, 10^{-6}W$)。声源声功率有时是指在某个有限频率范围所辐射的声功率(通常称为频带声功率),此时需注明所指的频率范围。

声功率不应与声源的其他功率相混淆。例如扩声系统中所用的放大器的电功率通常是几百瓦以至上千瓦,但扬声器的效率很低,它辐射的声功率可能只有零点几瓦。电功率是声源的输入功率,而声功率是声源的输出功率。

在声环境设计中,声源辐射的声功率大都认为不因环境条件的不同而改变,把它看作是属于声源本身的一种特性。表 1-1 中列出了几种声源的声功率。一般人讲话的声功率是

很小的,稍微提高嗓音时约 $50\mu\text{W}$;即 100 万人同时讲话,也只是相当于一个 50W 电灯泡的功率。歌唱演员的声功率一般约为 $300\mu\text{W}$,但水平高的艺术家则达 $(5\,000\sim 10\,000)\mu\text{W}$ 。由于声功率的限制,在面积较大的厅堂内,往往需要用扩声系统来放大声音。如何合理地充分利用有限的声功率,这是室内声学的主要内容,将在第四章中着重讨论。

表 1-1 几种不同声源的声功率

声 源 种 类	声 功 率
喷气飞机	$10\,000\text{W}$
气 锤	1W
汽 车	0.1W
钢 琴	$2\,000\mu\text{W}$
女 高 音	$(1\,000\sim 7\,200)\mu\text{W}$
对 话	$20\mu\text{W}$

2. 声强 I

声强是衡量声波在传播过程中声音强弱的物理量。声场中某一点的声强,是指在单位时间内,该点处垂直于声波传播方向的单位面积上所通过的声能,记为 I ,单位是 W/m^2 。

$$I = \frac{dW}{dS} \quad \text{W}/\text{m}^2 \quad (1-8)$$

式中: dS ——声能所通过的面积, m^2 ;

dW ——单位时间内通过 dS 的声能, W 。

在无反射声波的自由场中,点声源发出的球面波,均匀地向四周辐射声能。因此,距声源中心为 r 的球面上的声强为:

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} \quad \text{W}/\text{m}^2 \quad (1-9)$$

因此,对于球面波,声强与点声源的声功率成正比,而与到声源的距离平方成反比,见图 1-6(a)。

对于平面波,声线互相平行,同一束声能通过与声源距离不同的表面时,声能没有聚集或离散,即与距离无关,所以声强不变(见图 1-6(b))。例如指向性极强的大型扬声器就是利用这一原理进行设计的,其声音可传播十几公里远。

以上现象均指声音在无损耗、无衰减的介质中传播的。实际上,声波在一般介质中传播时,声能总是有损耗的。声音的频率越高,损耗也越大。

在实际工作中,指定方向的声强难以测量,通常是测出声压,通过计算求出

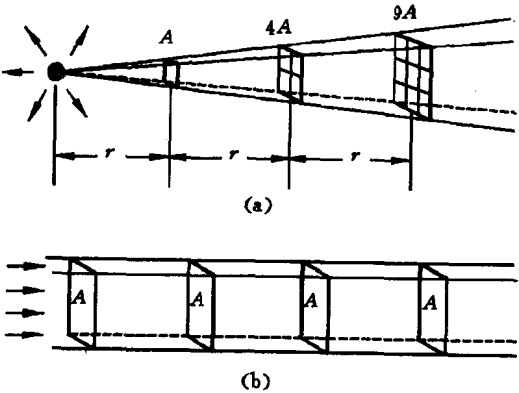


图 1-6 声能通过的面积与距离的关系
(a) 球面波; (b) 平面波

声强和声功率。

3. 声压 p

所谓声压,是指介质中有声波传播时,介质中的压强相对于无声波时介质静压强的改变量,所以声压的单位就是压强的单位,即牛/米²(N/m²),或帕(Pa)。任一点的声压都是随时间而不断变化的,每一瞬间的声压称瞬时声压,某段时间内瞬时声压的均方根值称为有效声压。对于简谐波,有效声压等于瞬时声压的最大值除以 $\sqrt{2}$,即:

$$p = \frac{p_{\max}}{\sqrt{2}} \quad \text{N/m}^2$$

如未说明,通常所指的声压即为有效声压。

声压与声强有着密切的关系。在自由声场中,某处的声强与该处声压的平方成正比,而与介质密度与声速的乘积成反比,即:

$$I = \frac{p^2}{\rho_0 c} \quad \text{W/m}^2 \quad (1-10)$$

式中: p ——有效声压, N/m²;

ρ_0 ——空气密度, kg/m³;

c ——空气中的声速, m/s。

$\rho_0 c$ ——空气的介质特性阻抗,在 20℃ 时,其值为 415 (N·s)/m³。

因此,在自由声场中,测得声压和已知距声源的距离,就不难算出声强以及声源声功率。

4. 声能密度 E

声强为 I 的平面波,在单位面积上每秒传播的距离为 c ,则在这一空间中声能密度为:

$$D = \frac{I}{c} \quad \text{J}$$

式中: D ——声能密度, (W·s)/m³ 或 J/m³;

c ——声速, m/s。

声能密度只描述单位体积内声能的强度,与声波的传播方向无关,应用于反射声来自各个方向的室内声场时,十分方便。

二、声压级、声强级、声功率级及其叠加

如前所述,在有足够的声强与声压的条件下,能引起正常人耳听觉的频率范围约为 20Hz~20 000Hz。对频率 1 000Hz 的声音,人耳刚能听见的下限声强为 10⁻¹²W/m²,相应的声压为 2×10⁻⁵N/m²;使人感到疼痛的上限声强为 1W/m²,相应的声压为 20N/m²。可以看出,人耳的容许声强范围为 1 万亿倍,声压相差也达 100 万倍。同时,声强与声压的变化范围与人耳感觉的变化也不是成正比的,而是近似地与它们的对数值成正比,这时人们引入了“级”的概念。

1. 级的概念与声压级

所谓级是做相对比较的无量纲量。如声压以 10 倍为一级划分,从闻阈到痛阈可划分

为 $10^0, 10^1, 10^2, 10^3, 10^4, 10^5, 10^6$ 等七级。声压比值写成 10^n 形式时,级值就是 n 的数值。但又嫌过少,所以以 20 倍之,这时声压级的变化为 $0 \sim 120$ 。即:

$$L_p = 20 \lg \frac{p}{p_0} \quad \text{dB} \quad (1-11)$$

式中: L_p ——声压级, dB;

p ——某点的声压, N/m^2 ;

p_0 ——参考声压,以 $2 \times 10^{-5} \text{N/m}^2$ 为参考值。

从上式可以看出:声压变化 10 倍,相当于声压级变化 20dB;声压变化 100 倍,相当于声压级变化 40dB;声压变化 1 000 倍,则相当于声压级变化 60dB。

2. 声强级

声强级则是以 10^{-12}W/m^2 为参考值,任一声强与其比值的对数乘以 10 记为声强级 L_I ,即:

$$L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0} \quad \text{dB} \quad (1-12)$$

式中: L_I ——声强级,单位 dB;

I ——某点的声强, W/m^2 ;

I_0 ——参考声强, 10^{-12}W/m^2 。

在自由声场中,当空气的介质特性阻抗 $\rho_0 c$ 等于 $400 (\text{N} \cdot \text{s})/\text{m}^3$ 时,声强级与声压级在数值上相等。因在常温下,空气的 $\rho_0 c$ 近似为 400,通常可认为二者的数值相等。

表 1-2 中列举了声强值、声压值和它们所对应的声强级、声压级以及与其相应的声学环境。

表 1-2 声强、声压与对应的声强级(或声压级)以及相应的环境

声强/ W/m^2	声压/ N/m^2	声强级或声压级/dB	相应的环境
10^2	200	140	离喷气机口 3m 处
1	20	120	疼痛阈
10^{-1}	$2 \times \sqrt{10}$	110	风动铆钉机旁
10^{-2}	2	100	织布机旁
10^{-4}	2×10^{-1}	80	
10^{-6}	2×10^{-2}	60	相距 1m 处交谈
10^{-8}	2×10^{-3}	40	安静的室内
10^{-10}	2×10^{-4}	20	
10^{-12}	2×10^{-5}	0	人耳最低可闻阈

3. 声功率级

声功率以“级”表示便是声功率级,单位也是分贝(dB)。即:

$$L_w = 10 \lg \frac{W}{W_0} \quad \text{dB} \quad (1-13)$$

式中: L_w ——声功率级,单位 dB;