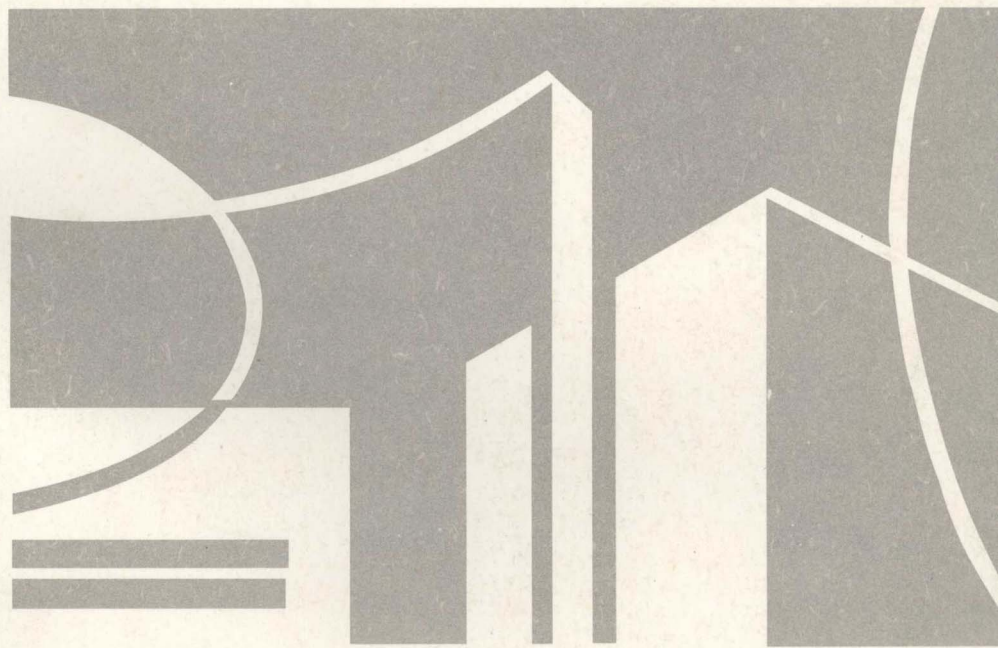


中等专业学校教材

建筑物理

湖南省建筑学校 戴瑜兴 周刃荒 编



中国建筑工业出版社



311214

号 280 字 登 录 (京)

中等专业学校教材

建筑物理

湖南省建筑学校 戴瑜兴 周刃荒 编

广州市建工设计院 区世强 主审

TU11-43

D903-1



* 2 0 3 1 1 2 1 4 9 *

中国建筑工业出版社

312118

(京)新登字 035 号

本书分三篇十一章。第一篇为建筑声学, 主要介绍声波的产生和传播、吸声材料和吸声结构、噪声控制、室内音质设计等; 第二篇为建筑热工学, 主要介绍室外热环境、材料的热特性、建筑防热、遮阳、保温、日照等; 第三篇为建筑光学, 主要介绍基本光量、人眼的视觉特性、材料的光学性质、采光口的基本形式及设计、常用电光源及灯具、室内工作照明、建筑环境照明等。

本书可作为中等专业学校“建筑设计技术”专业、“建筑装饰”专业的教学用书, 同时也是二级注册建筑师资格考试复习参考资料的辅助用书。

中等专业学校教材

建筑物理

湖南省建筑学校 戴瑜兴 周刃荒 编

广州市建工设计院 区世强 主审

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

北京市彩桥印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 10¹/₄ 字数: 249 千字

1997 年 6 月第一版 1999 年 3 月第三次印刷

印数: 14,201—22,200 册 定价: 11.00 元

ISBN 7-112-02976-7

G·262 (8091)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

本书是根据建设部制定的建设类中等专业学校“建筑设计技术”专业、“建筑装饰”专业《建筑物理》课程教学大纲及建设部中专建筑与规划指导委员会有关建筑物理的教材编写精神和意见,根据多年使用湖南省建筑学校主编的《建筑物理》(原作者为戴瑜兴、张亚青、周刃荒)的教学经验和建筑物理的新发展而编写的教材。

建筑物理是建筑环境科学的基本组成部分,是“建筑设计技术”专业和“建筑装饰”专业的一门重要的专业基础课程。本书针对中专“建筑设计技术”专业、“建筑装饰”专业的教学大纲和专业培养方案,以及应用型人才的特点,着重讲述物理环境的基本概念、基本知识、经验公式,实用的规划、设计原则;注意联系工程实际和介绍新技术、新材料以及国家有关规范和标准;减少数学公式和物理细节。

本书由广州市建工设计院区世强主审,戴瑜兴编写第一~六章、八章、九章、十一章等,周刃荒编写第七、十章。全书由戴瑜兴主编。

对于本书的错漏和不妥之处,殷切希望给予批评指正。

(京)新登字 035 号

出版说明

为适应全国建设类中等专业学校教学改革和满足建筑技术进步的要求，由建设部中等专业学校建筑与城镇规划专业指导委员会组织编写，推荐出版了建筑设计技术专业系列教材，由中国建筑工业出版社出版。

这套教材采用了国家颁发的现行标准、规范和规定，内容符合建设部制定的中等专业学校建筑设计技术专业教育标准、专业培养方案和课程教学大纲的要求，符合全国注册建筑师管理委员会制定的“二级注册建筑师教育标准”的要求，并且理论联系实际，取材适当，反映了目前建筑科学技术的先进水平。

这套教材适用于中等专业学校建筑设计技术专业教学，也是二级注册建筑师资格考试复习参考资料的辅助用书，同时也适用于建筑装饰等专业相应课程的教学使用。为使这套教材日臻完善，望各校师生和广大读者在教学过程中提出宝贵意见，并告我司职业技术教育处或建设部中等专业学校建筑与城镇规划专业指导委员会，以便进一步修订。

建设部人事教育劳动司

目 录

第一篇 建筑声学

第一章 建筑声学基本知识	1
第一节 声音的产生与传播	1
第二节 声音的计量	4
第三节 声波的特性	8
第四节 声波在室内的传播	10
习题	15
第二章 吸声材料和隔声材料	16
第一节 吸声材料	16
第二节 隔声材料	22
习题	29
第三章 噪声控制	30
第一节 噪声的评价和环境噪声标准	30
第二节 噪声控制的原则及方法	32
第三节 建筑隔声与隔振	36
习题	37
第四章 室内音质设计	38
第一节 室内音质评价标准	38
第二节 房间的混响设计	39
第三节 房间的容积和体型设计	41
习题	46

第二篇 建筑热工学

第五章 建筑热工学基本知识	47
第一节 传热的基本方式	47
第二节 围护结构的传热过程	52
第三节 湿空气的物理性质	56
第四节 室内外热气候	58
习题	61
第六章 建筑保温	63
第一节 建筑保温的基本要求	63
第二节 建筑保温设计要点	67
第三节 表面冷凝与内部冷凝	70
习题	72

第七章 建筑防热	73
第一节 围护结构的隔热	73
第二节 自然通风	77
第三节 建筑遮阳	80
习题	82
第八章 建筑日照	83
第一节 日照的基本原理	83
第二节 棒影日照图的原理及应用	85
习题	88

第三篇 建筑光学

第九章 建筑光学基本知识	89
第一节 人眼的视觉特性	89
第二节 基本光量	91
第三节 材料的光学性质	94
习题	97
第十章 天然采光	98
第一节 天然采光的基本要求	98
第二节 采光口的基本形式	100
第三节 采光设计要点	103
习题	108
第十一章 建筑照明	109
第一节 电光源	109
第二节 灯具	114
第三节 室内工作照明	120
第四节 室内外环境照明	127
习题	134
实验指导	134
附录	137
附录 I 常用建筑材料等的吸声系数	137
附录 II 常用建筑材料的隔声指标	138
附录 III 建筑材料的热工指标	140
附录 IV 标准大气压时不同温度下的饱和水蒸气分压力 P_s 值 (Pa)	142
附录 V 棒影日照图	144
附录 VI 灯具利用系数表	146
附录 VII 灯具的概算图表	150
主要参考文献	156

第一篇 建筑声学

人们所处的各种空间，总伴随着声音方面的问题。譬如，在工厂，有的高噪声危及着工人的听觉，影响了生产效率和质量；在剧场，噪声掩盖着美妙动听的音乐，会使听众心烦意乱；在住宅，噪声干扰了人们的休息和睡眠。凡此种种，说明在工业与民用建筑及城市规划中，存在着一些需要解决的声学问题，其中有的是属于室内音质设计问题，有的是属于噪声的控制问题。

建筑声学与建筑工程学、物理学、电声学等有着密切的关系，又综合地体现于建筑实践中。因此，在进行建筑设计和室内装饰设计时，必须考虑建筑声学的有关问题，以使设计更加完善、合理。

第一章 建筑声学基本知识

第一节 声音的产生与传播

一、声音的产生

任何物体发生振动时，将迫使周围的介质随之振动，而介质中产生的疏密相间的弹性波作用到听觉器官上，使人感觉到声音。例如，当敲击音叉时，音叉因受打击发生振动，随之也使得它邻近的空气振动起来，当音叉向某个方向振动时，便压缩其邻近的空气，使这部分空气变密；当声叉向相反方向振动时，这部分空气就变疏。由于空气分子的弹性、碰撞和挤压，更远一部分的空气又被压缩。随着音叉的往复运动，空气介质便一疏一密地发生振动，这种振动的传播称为声波。如图 1-1 所示。

振动的物体称为声源，传播声波的物质称为传声介质。这两者是产生声音的必要条件。没有物体的振动，自然没有声音；虽有物体的振动，若没有传声介质（如在真空中），同样也没有声音。依据传声介质性质的不同，声音可分为空气声和固体声。

二、波阵面、波长和波速

有声波存在的空间称为声场，在某时刻声波到达空间的各点的包迹面称为波阵面（或波前）。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近似地把它看作平面波。为方便起见，可用声射线表示声音的传播方向，简称声线。显然球面波的声线是以声源为中心的径向射线（见图 1-2）。在均匀介质中，球面波在任意方向上有着相同的强度，故它是无方向性的（见图 1-2a），又称无指向性声源。而多数声源在某一方向上辐射最强，具有明显的方向性（见

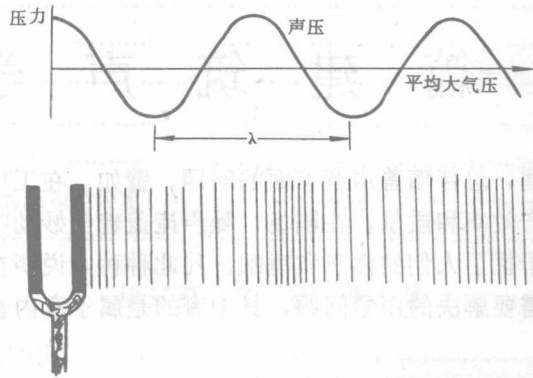


图 1-1 声音的产生

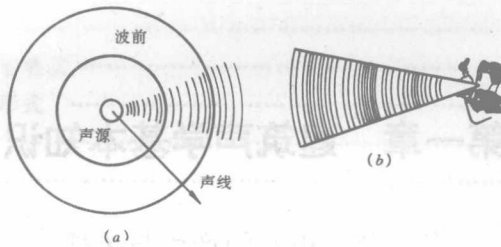


图 1-2 声波的传播

图 1-2b)。

物体或空气质点每振动一次，即完成一次往复运动或疏密相间的运动所需的时间称为周期，用 T 表示，单位是秒 (s)。而物体或空气质点每秒振动的次数称为频率，用 f 表示，单位是赫兹 (Hz)。故 T 与 f 有如下关系：

$$T = \frac{1}{f} \quad \text{或} \quad f = \frac{1}{T} \quad (1-1)$$

物体或空气质点每完成一次往复运动或疏密相间运动所经过的距离称为波长，用 λ 表示，单位是米 (m)。

声波在传声介质中的传播速度称为声速，用 C 表示，单位是 (m/s)。声速的大小与声源的特性无关，只与传声介质的性质（如弹性、密度及温度）有关。声音在固体中传播速度最快，液体中次之，在气体中速度最慢。当温度为 0°C 时，声波在不同介质中的传播速度为：

钢	5050m/s	混凝土	3100m/s
软木	500m/s	橡皮	50m/s
玻璃	5200m/s	淡水	1481m/s
松木	3320m/s	玄武岩	3140m/s

声速、波长和频率有如下关系：

$$C = f\lambda \quad \text{或} \quad C = \frac{\lambda}{T} \quad (1-2)$$

在一定的介质中声速是确定的，因此频率 f 越高，波长 λ 就越短，通常室温下空气中的声速约为 340m/s，100~400Hz 的声音，波长范围大致在 3.4~8.5m 之间。

物体振动产生的声波，人耳并不都能感觉到，只有当声波的频率范围大致在 20~20000Hz 之间才能产生声音的感觉，这个范围的声音称为可闻声。低于 20Hz 的声音称为次声，高于 20000Hz 的声音称为超声。次声和超声都不属可闻声。

三、声音的传播特性

声音在传播过程中，除传入人耳引起声音大小、音调高低的感觉外，遇到障碍物如墙、孔洞等还将产生反射，衍射，透射和吸收等现象。这些现象在建筑声学设计中有着重要的作用。

1. 反射和衍射

当声波在传播过程中遇到尺度比波长 (17mm~17m) 大得多的障碍物时，声波的一部分将被反射，形成反射波。这种反射与光反射非常相似，仍遵守反射法则：

- ①声音在同一介质内按直线方向前进；
- ②两条声线相交后，各自仍按原来方向前进；
- ③当反射面尺度比波长大得多时，声线的反射按入射角等于反射角的方向前进。

如声源发出的是球面波，经反射后仍是球面波，见图 1-3。

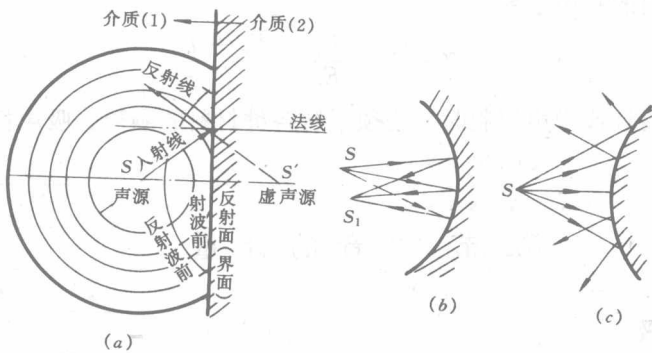


图 1-3 声波的反射

(a) 平面反射；(b) 凹形球面反射；(c) 凸面反射

如果用声线表示前进方向，反射线可以看作是从虚声源发出的。所以，利用声源和虚声源的对称关系，以几何声学的作图法就能很容易地确定反射波的方向。

声波碰到尺度大的障碍物将产生反射作用，在障碍物后形成一个“声影区”，但声影区的声强不为零。如果障碍物或孔洞的几何尺度比声波波长小时，声波将绕过它们，而不出现声影，这种现象称为声波的衍射，见图 1-4。由于低频声的波长长，故衍射现象特别明显。

2. 透射和吸收

声波遇到障碍物时，声波疏密相间的压力将推动障碍物发生相应的振动，其振动又引起另一侧的传声介质随之振动，声音透过障碍物的现象称为声波的透射。

障碍物的振动要消耗声能。由于摩擦、碰撞，其中一部分声能转化为其他形式的能量

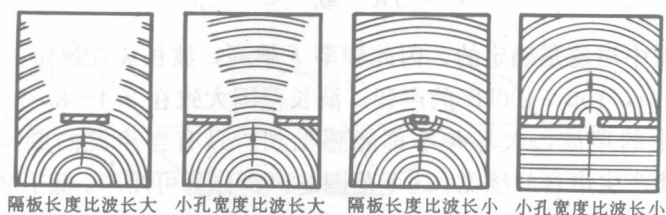


图 1-4 声波的衍射现象

(如热能)，声能因而衰减，这种现象称为声波的吸收。

根据能量守恒定律，总声能 E_0 是反射声能 E_r 、透射声能 E_t 和吸收声能 E_a 之和。即：

$$E_0 = E_r + E_t + E_a \quad (1-3)$$

透射声能 E_t 与入射声能 E_0 之比称为透射系数，记作 τ ；反射声能 E_r 与入射声能 E_0 之比称为反射系数，记作 γ ，即：

$$\tau = \frac{E_t}{E_0} \quad (1-4)$$

$$\gamma = \frac{E_r}{E_0} \quad (1-5)$$

通常把 τ 值小的材料称为隔声材料，把 γ 值小的材料称为吸声材料。实际上障碍物吸收的声能仅仅是 E_a ，但从入射波和反射波所在的空间考虑，常把除反射以外的部分都认为被吸收了，由此得出材料的吸声系数 α ：

$$\alpha = 1 - \gamma = 1 - \frac{E_r}{E_0} = \frac{E_a + E_t}{E_0} \quad (1-6)$$

在进行室内音质设计或噪声控制时，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

一、声压和声压级

1. 声压

声波是由于空气分子的振动形成疏密波而传播的。当空气中没有声波时，空气中的压强即为大气压强。当声波传播时，某处的空气时疏时密地变化，使压强在原来大气压附近上下变化，相当于在原来大气压强上迭加了一个变化的压强，这个迭加上去的压强称为声压，用 P 表示，单位是帕 (Pa)。声压只有大小，没有方向。

人耳刚能感觉到声音存在的下限声压 (P_0) 称为听阈，对于各频率是不相同的。人耳对 1000Hz 的声感觉最为灵敏，其 $P_0 = 2 \times 10^{-5} \text{Pa}$ ，并以此作为基准声压 (听阈声压)；使人产生疼痛感的上限声压称为痛阈， $P = 20 \text{Pa}$ 。

2. 声压级

人耳的听觉范围从微风吹动树叶之类的最轻声，到震耳欲聋的大炮声，声压的变化范围从 2×10^{-5} 到 20Pa，相差达一百万倍。所以，用声压来表征声音的强弱显然极不方便，加之人耳听觉分辨能力的灵敏度与声压不成正比关系。即在声压低时，空气压力的稍许变动

人耳就可区别；在声压高时，空气压力的变化却必须很大时才能区别。因此，采用按对数方式分等级的办法作声音大小的常用单位，这就是声压级。

声压级的定义为：声音的声压与基准声压之比的常用对数乘以 20，单位为分贝 (dB)。即：

$$L_p = 20 \lg \frac{P}{P_0} \quad (1-7)$$

式中 L_p ——声压级，dB；

P ——声音的声压，Pa；

P_0 ——基准声压， $P_0 = 2 \times 10^{-5} \text{Pa}$ 。

由此，人耳听阈声压和痛阈声压用声压级表示，则对应 0dB 和 120dB。利用“级”的概念大大地压缩了量程的数量级，提高了计算的简明程度。各类声学测量仪器都用分贝刻度，可以从仪器中直接方便地读出声压级的大小。

从 (1-7) 式可知，声压级每变化 1dB，约相当声压变化 12%，声压级变化 6dB，约相当于变化 1 倍，声压级每变化 20dB 或 40dB，就相当于声压变化 10 倍或 100 倍。因此，在建筑声学设计中，如果使声音增加或降低 20dB 或 40dB，那就是个相当大的变化了。

表 1-1 列出了一般环境和几种常见声源的声压级。

常见声源声压级

表 1-1

声 压 (Pa)	声压级 (dB)	各种声源举例
>623	>150	火箭、导弹、飞船
200	140	喷气式飞机 (距离 5m)
63	130	大炮、打铆钉、低音鼓 (峰值)
20	120	可听上限 (痛阈)
63	110	汽车喇叭 (距离 1m)、摇摆音乐
2	100	普通发电站、通风机房、球磨机、风铲
0.63	90	载重汽车 (时速 40km)、六角机床
0.2	80	一般工厂车间
0.063	70	对话 (距离 1m)、打字机打字声
0.02	60	大百货商店环境噪声
6.3×10^{-3}	50	有收音机的住宅环境噪声
2×10^{-3}	40	影剧院演出时的观众噪声
6.3×10^{-4}	30	安静的郊区、轻声耳语
2×10^{-4}	20	消声室内、手表摆动声
6.3×10^{-5}	10	自己的呼吸声
2×10^{-5}	0	可听下限 (闻阈)

这里还需指出一点，以“dB”为单位的几个声压级迭加时，不能简单地进行算术相加，而要按对数法则进行。

当两个数值不等的声压级分别为 L_{P1} 、 L_{P2} (设 $L_{P1} > L_{P2}$)，其总声压级为：

$$L_P = L_{P1} + 10\lg\left(1 + 10^{-\frac{L_{P1}-L_{P2}}{10}}\right) \quad (1-8)$$

声压级的迭加计算也可用表 1-2 进行, 由表中查出两个声压级差 ($L_{P1}-L_{P2}$) 所对应的附加值, 将它加在较高的那个声压级上即所求的总声压级。如果两个声压级差超过 10dB, 附加值小于 0.4, 则可略去不计。

声压级的差值与增值的关系

表 1-2

$L_{P1}-L_{P2}$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	3.0	3.0	2.9	2.9	2.8	2.8	2.7	2.7	2.6	2.6
1	2.5	2.5	2.5	2.4	2.4	2.3	2.3	2.3	2.2	2.2
2	2.1	2.1	2.1	2.0	2.0	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8
3	1.8	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5
4	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.2	1.2
5	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0
6	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8
7	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
8	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5
9	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4
10	0.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11	0.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12	0.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13	0.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14	0.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15	0.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—

由表 1-2 可知, 两个数值相等的声压级迭加, 只比原来增加了 3dB, 而不是增大一倍。

【例 1-1】 某加工车间有三台设备, 它们的声压级分别为 $L_{P1}=93\text{dB}$, $L_{P2}=94\text{dB}$, $L_{P3}=95\text{dB}$, 求该车间的总声压级是多少?

【解】 利用表 1-2 逐个迭加:

$$\begin{array}{l} 95 \\ 94 \end{array} \left[\begin{array}{l} 2.5 \\ 97.5 \end{array} \right] \left[\begin{array}{l} 1.3 \\ 98.8\text{dB} \approx 99\text{dB} \end{array} \right]$$

二、声功率和声功率级

声源不同, 它向外辐射声能的大小不同, 用声源在单位时间所辐射的声能, 即声功率 W 来表征声源的固有特性。声功率的单位为瓦 (W)。声源的声功率可以是全部可听频率范围内所辐射的声功率, 也可以指有限频率范围内所辐射的声功率 (频带声功率)。

声功率不应与声源的其它功率相混淆。例如, 扩声系统中所用的扩声器的电功率通常是数十瓦, 但扬声器的效率一般只有千分之几, 它辐射的声功率只有百分之几瓦。电功率是指声源的输入功率, 而声功率是声源的输出功率。

声源声功率取值范围很大, 从大型火箭发动机的 $W=10^8\text{W}$ 到蟋蟀的 $W=10^{-9}\text{W}$, 一般人讲话的声功率也非常小, 大约 40 万人齐声讲话所发的功率毫无损失地变为电能, 才能点燃一个 40W 的电灯。所以, 用瓦做单位太大, 而常用微瓦 (μW) 做单位。为了表达方便, 也用“级”来表示声功率级。常见声源功率和声功率级见表 1-3。

声功率 (W)	声功率级 (dB)	声源	声功率 (W)	声功率级 (dB)	声源
100000000	200	大型火箭发动机	0.01	100	道路车辆
10000	160	飞机涡轮喷气发动机	0.001	90	大声喊叫
1000	150		0.0001	80	
100	140	小型飞机巡航时	0.00001	70	交谈
10	130		0.000001	60	
1	120		0.0000001	50	
		履带式拖拉机, 110kW	0.00000001	40	低声交谈
0.1	110	扩音器	0.000000001	30	耳语
		75kW 电动机, 2600r/min	0.000000001	20	

三、响度和响度级

通常还用声音的响或轻来表示其大小和差别。量度一个声音比另一个声音响多少的量称为响度。响度是人们对声音大小反应的主观量，而声压是反应声音大小的客观量。一般来说，声压越大，声音越响。但声压与声强不是成正比例关系，声压加大一倍，声音不一定加倍的响。

同时还应注意到，人耳对不同频率的声音的灵敏度是不一样的。因此，不能单纯地用声压级大小来衡量声音的轻或响。例如，有两个频率分别是 1000Hz 和 100Hz 的声音，声压级都是 40dB，但人们听起来响度却完全不同，1000Hz 的声音就比 100Hz 的声音响得多。如果要使 100Hz 的声音同 1000Hz 的声音同样响，就得把 100Hz 的声音的声压级提高到 51dB。用这种对比试验的方法得出了如图 1-5 所示的一组曲线，图中每条曲线上各点代表的声音对人耳听起来都是一样响的，所以称为等响曲线。

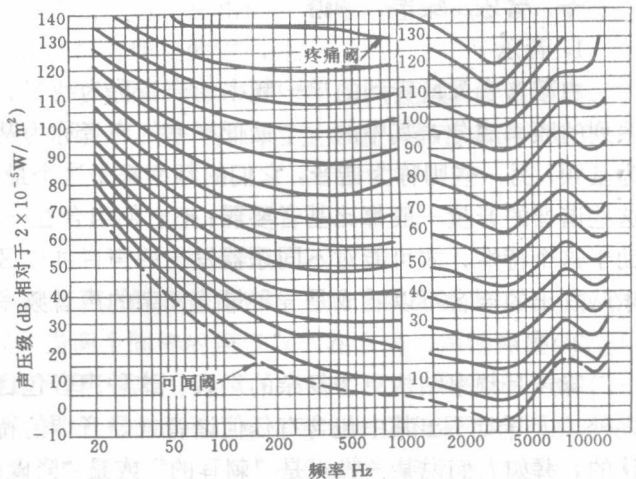


图 1-5 纯音等响曲线

为了便于说明和区别各条等响曲线，同样采用分级的办法，取图中参考音 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，单位是方 (phon)。也就是说，任何一条曲线上的响度级就等于 1000Hz 时同样响的声音的声压级。例如，20phon 的等响曲线上，一个声压级为 20dB 的 1000Hz 的声音，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 20phon。

从等响曲线上还可以看出：

- (1) 在低声压级时，同样大的声压级的变化在低频引起响度变化比高频大；中高频声

较低频声显得更响些。

(2) 在高声压级时, 曲线较平坦, 反映了声压级相同的各频率声音显得差不多一样响, 而与频率关系不大。

在常用的响度级范围内 (40~120phon), 响度级和响度之间接近线性关系。在此范围内, 响度级约改变 10phon, 近似地等于响度改变了一倍。

四、声级计和声级

对于复合声, 不能直接使用纯音等响曲线, 其响度级需要通过计算求得。目前在工程中常采用声级计进行某些简单的声压级测量。在声级计中参考等响曲线设计了 A、B、C 三档的计权电子网络, C 网络是模拟人耳对 100phon 纯音的响应, 在整个可听频率范围内它让所有频率的声音近乎一样通过, 因此它可代表总声级。B 网络是模拟人耳对 70phon 纯音的响应, 它使接收声音通过时, 低频段有一定的衰减。A 网络是模拟人耳对 40phon 纯音的响应, 它使接收的声音通过时, 低频段有较大的衰减, 所以, A 网络符合人耳对低频声的灵敏度与高频声差的听觉特性。

用声级计的 A、B、C 不同网络测得的声级, 分别记作 dB (A)、dB (B) 和 dB (C)。在音频范围内进行测量时, 多使用 A 网络。

第三节 声波的特性

一、音乐、噪声、频谱

1. 音乐

由敲击音叉所听到的单一频率的声音称为纯音。而由一个乐器发出的声音, 包含有一系列的频率成分, 其中的一个最低频率的声音称为基音, 人们据以辨别其音调, 其频率称为基频; 另一些则称为谐音, 它们的频率都是这个最低频率的整数倍, 这些频率称为谐频, 这些谐音的音量一般都比基音要弱; 把它们组合在一起时, 则决定了声音的音色或音质。借助于这个特性, 才可能对不同乐器发出的声音加以区别, 并且根据其特性进行分类。管弦乐队发出的声音可以看成是一种最为复杂的声音频率的混合。

2. 噪声

噪声是频率结构更为复杂的声音。这种声音包含的有些频率甚至处在人们的可听范围之外, 人耳听不出其中包含有任何谐音或是音调的特征, 但这种声音的主要频率是可以辨认的, 譬如人们说某一噪声是“刺耳的”或是“隆隆的”, 也就是感受到噪声中的某些频率成分有较多的能量。另外还需说明一点, 噪声不仅取决于声音的物理性质——强度、频率、连续性和时间, 还与周围环境气氛、人的主观意识和心理状态有密切关系, 是因地、因时、因人而异的。例如, 交响乐优美动听, 但对正在潜心学习的人则认为吵闹不堪。

3. 频谱

音乐声中只含有基频和谐频, 而谐频是基频的整数倍, 所以音乐的频谱是断续的线状谱。图 1-6 为单簧管的频谱图。

噪声大多是连续谱。图 1-7 表示几种噪声的频谱, 可以看出圆盘锯噪声在高频部分的能量较多, 由此可以预计到这类噪声的刺耳特性; 另一方面, 交通噪声的轰鸣特性也可以由交通噪声的频谱看出。

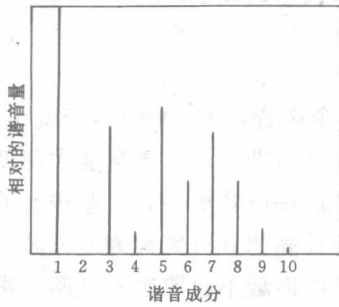


图 1-6 单簧管的谐波组成

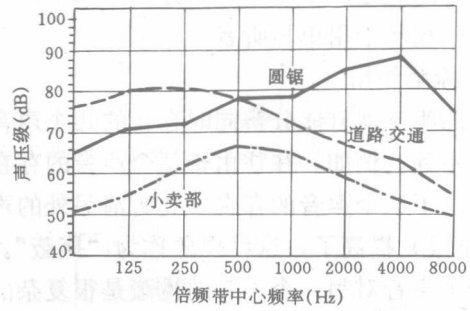


图 1-7 几种噪声的频谱

了解声源的频谱特性是很重要的。例如在噪声控制中，就要知道噪声的哪些频率成分比较突出，从而首先设法降低或消除这些突出的频率成分，才能有效地降低噪声；在音质设计中，则可以尽量减少声源频谱成分的畸变，从而保证获得良好的音质。

二、声源的方向性

声源在没有或近乎没有反射作用存在时（声源在自由空间）所形成的声场称为自由声场。声源在自由声场中辐射声音时，其声音强度分布情况的一个重要特性就是它的方向性。当声源的尺度比波长小得多时，可视为无方向性的点声源，在距声源中心等远处的声压级相同。当声源尺度比波长相差不多或更大时，它就不是点声源，可视为由许多点声源所组成，迭加的结果各方向的辐射就不一样，因而具有方向性。声源尺度比波长大得越多，方向性就越强。实际上，人的头和扬声器与低频声的波长相比是小的，这种情况下可视为点声源，但对高频声，就不能视为点声源，且具有明显的方向性。

频率高，声波波长短，声源正面的声压比背面和侧面大得多，方向性强；而低频声，声源前后的声压变化不大。因此，厅堂形状的设计，扬声器的位置布置，都要考虑声源的方向性。

三、人耳听闻特性

1. 时差效应

人耳具有这样一种特性：虽然声音消失了，但声音作用在人耳上的效果并不会立即消除，感觉会持续一个短暂的时间。所以，当两个同样的声音（如在室内，声源发出的直达声和由壁面反射回来的反射声）先后到达人耳，若时间相差在 50ms 以内，则人耳分辨不出是不同的声音，听起来似乎后面的声音是前一个声音的继续，感觉到的仅是音色和响度的变化，这种现象称为时差效应。一般认为，在直达声到达后约 50ms 之内到达的反射声，可以加强直达声，而在 50ms 之后到达的反射声，不会加强直达声，如果有的延时较长的反射声的强度比较突出，还会形成“回声”。回声的出现不仅与时差有关，还和声音的强度有关。

2. 双耳听闻效应（方位感）

通常人们利用双耳听闻，双耳的作用相当于直径 15~21cm 的圆桌面上的两端安有两个接受器。根据两只耳听到声音的强度差、到达的时间差和相位差，可以判断声源的方向和远近，确定其位置。双耳对于左右水平方向上的分辨能力要比上下竖直方向强得多。通常可辨出水平方向 $5^\circ \sim 15^\circ$ 的变化，但在竖直方向有时要大到 66° 才能分辨出来，这就是听觉的方位感特性。

在室内音质设计中，应考虑方位感的问题，避免使听众明显地感到扬声器发出的声音

与讲演者的直达声来自不同的方向。如果用单耳听音则将失去方位感。用话筒在播音室内拾音，就相当于用单耳听音。

3. 掩蔽作用

人的听觉器官能分辨同时存在的几个声音，但若某个声音增大，别的声音就难以听清，甚至听不到。例如，往往由于某个声音的存在，而使人耳对别的声音感觉能力降低，也就是说，由于某个声音的存在，要听清另外的声音必须把这些声音提高，这些声音的可闻阈（可闻下限）提高了，这种现象称为“掩蔽”。可闻阈所提高的分贝数称为“掩蔽量”。

一个声音对另一个声音的掩蔽是很复杂的现象，这种掩蔽不仅取决于这两个声音的相对强度和频率结构，也与听者的心理状态有关。如果这两个声音的主要频率成分近乎相同，则将出现最大的掩蔽作用，一般说来，低频率声音对高频率声音的掩蔽较大，而高频率声音对低频率声音的掩蔽较小，但是听者对某个声音的注意力也会影响其他声音的掩蔽作用。

四、背景噪声和干扰噪声

背景噪声是指出现在听者周围的噪声，例如一般的室内噪声，或是自室外传入的交通噪声等；但在房屋建筑内部，背景噪声通常是指房间在使用时所不可避免产生的一般噪声。而干扰噪声则意味着是外界噪声或是由房间围护结构传递的来自建筑物其他部分的噪声。

一般的室内噪声可以掩蔽一部分交通噪声，从而减少人们对它的注意力；传入室内的交通噪声也会给人们在电话交谈中的听闻增加困难。对于干扰噪声，现在已经根据房屋建筑的不同使用要求提出有关的评价标准，例如为了病员免受噪声干扰，医院病房的围护结构应使传入病房的噪声级不超过 35dB (A)；而在营业餐厅里，干扰的噪声级达到 50dB (A) 也不致被人们察觉。在实践中，还可根据噪声的频谱情况，具体分析其对语言听闻的干扰程度，以便采取适当的降噪措施。

第四节 声波在室内的传播

在建筑声学中，很多情况涉及到声波在一个封闭空间内（如影剧院的观众厅、播音室等）传播的问题。这时，声波传播将受到封闭空间的各个界面（墙面、顶棚、地面等）的约束，形成一个比自由空间（如露天）要复杂得多的“声场”。这种声场具有一些特有的声学现象，如在距声源同样远处要比露天响一些；又如在室内，当声源停止发声后，声音不会象在自由声场中那样立即消失，而要继续一段时间。这些现象对听音有很大的影响。

一、声波在室内的反射

点声源在空间发出的是球面波，声波的传播路径可用声线表示。当声线碰到室内任一界面时将被反射，并遵循反射定律。这种忽略了传播过程中声音的波动性（即可能产生衍射、干涉等），仅考虑声音的频率与功率的几何声学，虽不能解释所有的声学现象，但至少在高频范围内，尤其当房间尺度较大时，比较近似地反映了客观实际，可以清楚地让人们知道室内各界面反射声音的情况，具有简便、直观的特点，在工程中广为采用。

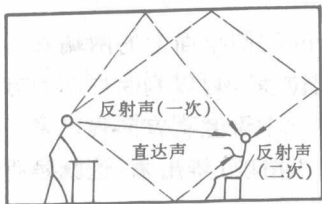


图 1-8 室内声音传播示意图

利用几何声学的方法可以得到一个很直观的声音在室内传播的图形（见图 1-8）。从图中可以看到，对于一个听