

噪声污染控制

肖洪亮 主编



学出版社

前 言

随着工业及交通运输业的快速发展,噪声污染已成为一种公害。因此,控制噪声的污染,为人们创造舒适的声学环境是现代社会环境保护的一个紧要课题。为了提高人们的环境意识,培养环境保护方面的人才,以适应环境保护事业发展的需要,近年来许多中等专业学校先后设立了环境工程专业。本书是在长春建筑材料工业学校环境保护专业讲授环境噪声控制的讲义基础上,经过多年教学的实践,并吸取了近年来国内外的最新成就,结合中等专业学校的教学特点,进行补充修改编写而成的。

本书由长春建筑材料工业学校肖洪亮主编并编写第一、四章;长春建筑材料工业学校武文钧编写第五、六、七章;河南省平顶山城建环保学校马春莲编写第二、三、八章。

书中插图由武汉大学陈宝联描绘;武汉工业大学出版社的诸位同志也给予了大力支持和帮助,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,时间仓促,不当之处在所难免,我们诚恳地欢迎使用本书的师生和其他读者对本书内容的不妥或错误之处提出宝贵意见。。

编 者

1998年4月

目 录

第一章 噪声的基础知识	(1)
第一节 声音的产生、传播、接收	(1)
第二节 噪声的物理量度	(3)
第三节 噪声的主观评价	(8)
第四节 噪声在传播中的一些特性	(12)
第五节 噪声的危害	(17)
第六节 噪声控制标准	(20)
习题	(21)
第二章 噪声的测量	(23)
第一节 噪声测量仪器	(23)
第二节 工业噪声测量方法	(31)
第三节 其他噪声的测量方法	(34)
第三章 噪声源	(39)
第一节 机械性噪声源	(39)
第二节 电磁噪声源	(41)
第三节 空气动力性噪声源	(44)
第四章 噪声控制的基本途径	(46)
第一节 从声源上根治噪声	(46)
第二节 在噪声传播途径上降低噪声	(47)
第三节 在噪声接受点进行防护	(49)
第四节 噪声控制的基本步骤	(50)
习题	(51)
第五章 吸声技术	(52)
第一节 吸声原理及吸声材料	(52)
第二节 吸声结构	(56)
第三节 吸声减噪的设计与计算	(62)
习题	(65)
第六章 隔声	(66)
第一节 隔声的基本概论	(66)
第二节 隔声技术的应用	(74)
习题	(84)
第七章 消声技术	(85)
第一节 消声器的种类和评价	(85)
第二节 阻性消声器	(86)

第三节 抗性消声器	(89)
第四节 阻抗复合式消声器	(97)
习题	(99)
第八章 隔振与阻尼	(100)
第一节 隔振	(100)
第二节 阻尼	(110)
参考文献	(116)

第一章 噪声的基础知识

声音对于人类是必不可少的,亲切的话语,悦耳的音乐使人心情舒畅;潺潺流水,百鸟争鸣,微风轻拂,树叶沙沙,又使人心旷神怡。然而,机器的轰鸣,喧闹的街道,人喊马嘶却让人烦躁不安。噪音是什么呢?是动听的音乐还是汽车的鸣叫?只要是对人们的工作休息、日常生活产生干扰,甚至危害身体健康的声音都可以称为噪声。随着社会的发展,人们接触到的声音越来越多,周围的环境越来越显得吵闹,已经对健康产生了严重危害。学习和掌握一些声音的产生及传播等有关知识,对提高人们对噪声危害的认识,防治噪声的危害是必须的。

第一节 声音的产生、传播、接收

在物理学中,声音的产生是由于物体的振动,并通过介质将振动传播出去,而人的耳朵或接收装置可以产生反应。故声源振动、介质传播、接收装置构成声音系统,而声源、介质、接收装置是声音形成的充分必要条件,下面分别介绍。

一、声音的产生

声音是由物体振动而产生的,这已被许多事实证明了。例如,当你敲击鼓面时,你听到了鼓声。这时如果你用手轻轻地将鼓面按住,鼓声停止的同时你也感觉到鼓面由振动而静止。又如,吉他手在弹奏乐曲时,用手指来弹拨琴弦,使琴弦产生振动而发出美妙的声音。能够振动发声的物体叫做声源。

固体、液体、气体都可以振动发声,如鼓声、水声、风声。因此,声源亦可以是固体、液体、气体。一个最简单的振动即简谐振动可以用下式来表示:

$$X = A \sin(2\pi ft + \theta) \quad (1-1)$$

式中 X ——位移, m ;

A ——振幅, m ;

t ——时间, s ;

$2\pi f$ ——相位;

θ ——初相, 当时间 $t=0$ 时的相位。

振幅是振动物体离开平衡位置的最大偏离,它与振动能量有关系。频率表示单位时间内振动的次数,它与声音的音调有关系。相位表示某一时刻物体在振动过程中所处的位置。此三个量是相互独立的。

二、声音的传播

振动的传播是依靠介质来完成的。一座滴哒响的钟,把它放到一个玻璃罩内,人们还能够听到它的声音,如果把罩内的空气抽出去,则钟虽然还在继续走,但是却听不到它的声音,这是因为作为介质的空气没有了,振动也就无法传播出来,因此我们也就听不到声音。介质可以是

气体,亦可以是固体、液体等。例如,工人将螺丝刀的尖端抵在运转机器的外壳上,另一端贴在耳朵上听机器的声音以判断机器运转是否正常。岸上的人大声喊叫可以把水中的鱼吓跑。

声音在介质中是以波动形式传播的,所以也可叫做声波。以空气介质为例,鼓面被敲击振动时,压缩邻近的空气,使这部分空气变密,当鼓面向另一侧振动时,这部分空气又变稀疏,邻近鼓面的空气就这样一密一疏地随着鼓面的振动而振动。由于空气介质本身具有弹性和惯性,所以邻近空气可以带动较远的空气做同样的振动,这样鼓面的振动便通过空气一密一疏地由近向远扩散出去。

声波传播时,传播介质的质点仅在它们各自的平衡位置附近振动,并没有在波的传播方向上流动或继续前进。声波的传播指的是物体振动的传播,也就是传播出去的是物质的振动而不是物质本身,声波是物质振动的一种形式。振动是产生声波的根源,而声波是振动的传播过程。

声波是机械波。机械波又可分为横波和纵波,介质质点的运动方向与波的传播方向垂直称为横波;介质质点的运动方向与波的传播方向平行称为纵波。横波传播时,介质发生切变,因而只有能够产生切向力的介质才能传播,如固体和液体。纵波传播时,介质发生容变或纵长变,因而只有能够产生压力和拉力的介质才能传播纵波,如气体、液体和固体。声波是纵波,因此可以在气体、液体、固体中传播。

声速用 c 表示,单位是米每秒。标准大气压下,温度为 0°C 的空气中,声速为 331.4m/s 。在通常温度范围内,温度增加 1°C ,声速增加 0.607m/s 。比如在 20°C 的温度下,声速 $c=331.4+0.60\times 20=343.14\text{m/s}$ 。在温度高于 30°C 或低于 -30°C 时,用下式计算:

$$c=20.05\sqrt{T} \tag{1-2}$$

式中 $T=t(^{\circ}\text{C})+273$ 。

在不同的介质中,声速亦不同。在 20°C 时,空气中的声速为 344m/s ,在水中的声速为 1450m/s ,在钢铁中的声速为 5000m/s 。

表 1-1 给出了部分常见的传声介质的密度、声速和声阻抗率。声阻抗率也叫声特性阻抗,它等于介质的密度和声速的乘积,单位:瑞利。声阻的大小决定着声波从一种介质传入另一种介质时的反射程度及材料的隔声性能。

部分介质的声速、密度和声阻抗率 表 1-1

介质名称	密 度 $\rho_0(\text{kg/m}^3)$	声 速 $c(\text{m/s})$	声特性阻抗 $\rho_0 c(\text{瑞利})$
空 气	1.205	343	410
水	1×10^3	1450	1.45×10^6
玻 璃	2.5×10^3	5200	1.38×10^7
铝	2.7×10^3	5100	1.30×10^7
钢	7.8×10^3	5000	3.90×10^7
铅	11.4×10^3	1200	1.37×10^7
木 材	0.5×10^3	2400	1.20×10^6
橡 皮	$(1\sim 2)\times 10^3$	40~150	
混凝土	2.6×10^3	4000~5000	1.3×10^7
砖	1.8×10^3	2000~4300	6.5×10^6
石 油	70	1330	9.3×10^5

波长、频率、声速是三个非常重要的物理量,它们的关系如下:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad \text{或} \quad c = \lambda f \quad (1-3)$$

式中 λ ——波长, m;
 c ——声速, m/s;
 f ——频率, Hz。

三、声音的接受与人耳的机能

在自然界里最普遍的声接受器是人耳。耳朵是人体感受声音的器官。

人耳由外耳、中耳、内耳构成,如图 1-1 所示。平常我们看到的耳朵是外耳,它起着收集声波的作用,在外耳和中耳之间有一层薄膜,叫做鼓膜,声波由耳道进来使鼓膜产生相应的振动,鼓膜振动由一组听骨通过卵形窗进入内耳,刺激分布在基底膜上的听觉神经末梢并传给大脑,于是我们就听到了声音。

人耳是非常灵敏的声音感受器,世界上还没有任何一种小的仪器能够做到像人耳那样灵敏精密。在内耳的基底膜表面上约分布有 25000 条主听觉神经末

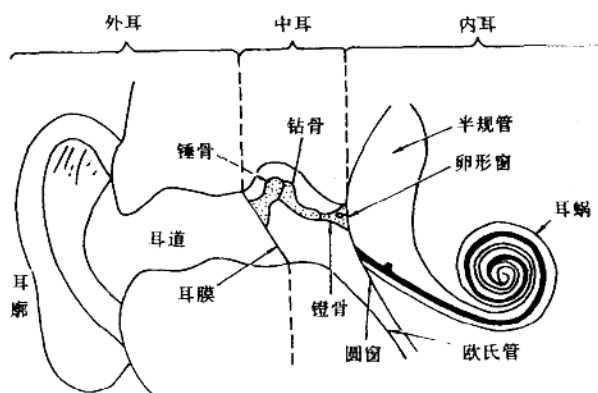


图 1-1 人耳的构造

梢,对每一频率的声音,基底膜上都有一个最大振动点。人耳的听觉范围在 20Hz~20kHz 之间,低于 20Hz 称为次声波,超过 20kHz 的称为超声波。次声波人耳听不到,但是其强度足够大时,能使人平衡失调,目眩作呕,并产生恐慌。人体还能直接吸收次声波而形成振动的感觉。人耳不但能够经受得起自然界较强的声音,其声压达到 10^3Pa ,而且可以感觉到极小的声压,最小声压弱至 10^{-5}Pa 。这样微小的压强,在 1kHz 左右,鼓膜上只产生数量级为 10^{-3}cm 的位移,比氢分子的直径的十分之一还要小。小小的耳朵竟有如此惊异的机能,这对我们人类来说真可谓得天独厚。

人耳不仅是一个极其灵敏的传声器,而且还可以起分析器的作用,并且这种分析器具有相当大的选择本领,例如,在有干扰的本底噪声下,人耳可从中分辨出某些特殊频率的声音。同窗四年,不用看面孔,听声音就可以分辨出是哪一位;细心的母亲可以在一片嘈杂的声音中听出自己孩子的声音;盲人凭借呼吸声和脚步声,也可以判别出所熟悉的朋友和亲人的到来。此外,人耳还具有判别响度等机能。人耳如此灵敏精密,我们应该好好地保护它,不能让它遭受噪声和其他因素的危害。

综上所述,构成声音需要有声源、传声介质和接收器这三要素,所以,在噪声控制中,也往往从这三个方面着手考虑和解决。

第二节 噪声的物理量度

自然界中的声音纷繁复杂,多种多样,但主要是强弱和高低的度量。强弱是指声音的大小,

是震耳欲聋,还是弱如游丝;高低是声音的音调,是尖厉刺耳还是沉闷低回。本节主要介绍一下它们的客观量度。

一、声压与声压级

1. 声压

声音是在介质中以波动方式传播的,在空气中,没有声波时,空气中的压强即为大气压;当有声波时,空气就有起伏扰动,使原来大气压上叠加一个变化的压强。声压就是指介质中的压强相对于无声波时的压强改变量,通常用 P 表示,其单位为帕。

$$1 \text{ 大气压} = 10^5 \text{ Pa}$$

振幅的大小决定声压的大小,振幅越大,质点离开平衡位置越远,声压越大。声压只有大小,没有方向。声压是随时间起伏变化,每秒钟内变化的次数很大,传到入耳时,由于耳膜的惯性作用辨别不出声压的起伏,即不是声压的最大值起作用,而是一个稳定的有效声压起作用。有效声压是一段时间内瞬时声压的均方根值。

$$P = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T P^2(t) dt} \quad (1-4)$$

式中 T ——周期;

$P(t)$ ——瞬时声压, Pa;

t ——时间, s。

对于正弦波来讲, $P = P_m / \sqrt{2}$, P_m 为最大声压,声压就是有效声压的简称。声压是表示声音强弱最常用的物理量,多数接收器都是响应于声压的,对于听力正常的人来说,当 1kHz 纯音的声压为 $2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ 时,则刚刚能听到,这叫听阈声压,而声压达到 20Pa 时,会感到震耳欲聋,这叫痛阈声压。人们正常说话的声压约为 0.02~0.03Pa,只是大气压的千万分之二三左右。

2. 声压级

人耳具有许多奇特的性能,它可以感受到从听阈声压 $2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ 到痛阈声压 20Pa。相差 100 万倍的声音变化,在这样宽广的范围内,用声压的绝对值来衡量声音的强弱是很不方便的,同时在这样宽广的范围内,实现具有一定精度的量度也是很难的,为了把上述宽广的变化压缩为实用中容易处理的范围,引用一个成倍比关系的对数量——级,作为声音大小的常用单位,即以声压级代替声压。引入“级”表示声音强弱,就需要规定一个基准值作比较标准,国际上统一规定,把正常人耳刚刚能听到的声压作为基准声压 P_0 。

声压级的数学表达式为:

$$L_P = 10 \lg \frac{P^2}{P_0^2} = 20 \lg \frac{P}{P_0} \quad (1-5)$$

式中 L_P ——声压级, dB;

P ——压强, Pa

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

引入声压级概念后,听阈声压级为 0dB,而痛阈声压级 120dB。这样由原来的 100 万倍的变化范围,变成 0~120dB 的变化范围。

二、声强与声强级

1. 声强

在垂直于声波传播的方向上,单位时间内通过单位面积的声能量叫声强,通常用 I 表示,单位是瓦每平方米。正常人耳对 1000Hz 纯音的可听声强是 10^{-12}W/m^2 ,称为基准声强。

在自由声场中,某点的声强与该点的声压平方成正比:

$$I = \frac{P^2}{\rho c} \quad (1-6)$$

式中 ρ ——空气密度, kg/m^3

c ——空气中声速, m/s 。

2. 声强级

与声压相类似,声强也可用声强级来表示,即:

$$L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0} \quad (1-7)$$

式中 L_I ——声强级, dB ;

I ——声强, W/m^2 ;

I_0 ——基准声强, 10^{-12}W/m^2 。

三、声功率与声功率级

1. 声功率

声功率是描述声源性质的,它不像声压或声强那样随离开声源的距离加大而减小,它表示单位时间内声源向外辐射的总能量。通常用 W 表示,单位是瓦。在自由声场中声功率与声强的关系为:

$$W = 4\pi r^2 I \quad (1-8)$$

式中 W ——声源辐射的声功率, W ;

r ——离开声源的距离, m ;

I ——离开声源 r 米处的声强, W/m^2 。

2. 声功率级

声功率也用级来表示,声功率的级为:

$$L_W = 10 \lg \frac{W}{W_0} \quad (1-9)$$

式中 L_W ——声功率级, dB ;

W_0 ——基准声功率, 10^{-12}W 。

各种环境的声压和声压级见表 1-2。

各种环境的声压和声压级

表 1-2

声 压 (Pa)	声压级 (dB)	环 境
630	150	喷气飞机喷口附近
200	140	喷气飞机附近
63	130	锻锤、铆钉工人操作位置
20	120	大型球磨机附近

各种环境的声压和声压级

续表 1-2

声 压 (Pa)	声压级 (dB)	环 境
6.3	110	8-18 型鼓风机附近
2.0	100	纺织车间
0.63	90	4-72 风机附近
0.2	80	公共汽车内
0.063	70	繁华街道上
0.02	60	普通说话
0.0063	50	微电机附近
0.002	40	安静房间
0.00063	30	轻声耳语
0.0002	20	树叶下落的沙沙声
0.000063	10	农村静夜
0.00002	0	刚刚听到

四、分贝和与差的计算

1. 分贝

分贝是一个相对单位,没有量纲,它表示一个量超过另一个量(基准量)的程度。分贝不是声学中的专用单位,其他专业也有应用。分贝本是来源于电讯工程,用两个功率的比值取对数以表示放大器的增益、信噪比等,得出的是贝尔(B),贝尔较大,便采用贝尔的十分之一做单位,叫做分贝(dB)。采用分贝做单位时,一定要知道其比较标准的基准值,如听阈声压值、基准声功率值等。

2. 分贝的和

两台或多台机器同时开动时产生的噪声值如何来计算,这就涉及到分贝和的运算,由于分贝是以对数为刻度表示“级”的单位,所以在运算中不能按一般法则进行计算。

(1) 两种或多种声源声压级相同的计算

$$L_{P_1} = 20 \lg \frac{P_1}{P_0} \quad L_{P_2} = 20 \lg \frac{P_2}{P_0}$$

$$L_{P_1} = L_{P_2}$$

$$\text{则} \quad L_{\text{和}} = 10 \lg \frac{P_1^2 + P_2^2}{P_0^2} = 10 \lg \frac{2 P_1^2}{P_0^2} = 20 \lg \frac{P_1}{P_0} + 10 \lg 2 = L_{P_1} + 10 \lg 2$$

若 $L_{P_1} = L_{P_2} = \dots = L_{P_n}$, 则可得到:

$$L_{\text{和}} = L_{P_1} + 10 \lg n \quad (1-10)$$

(2) 两个声源声压级不同的计算

$$\text{声压级定义:} \quad L_1 = 10 \lg \frac{P_1^2}{P_0^2} \quad L_2 = 10 \lg \frac{P_2^2}{P_0^2}$$

$$\text{分别取反对数:} \quad 10^{\frac{L_1}{10}} = \frac{P_1^2}{P_0^2} \quad 10^{\frac{L_2}{10}} = \frac{P_2^2}{P_0^2}$$

$$L_{\text{和}} = 10 \lg \frac{P_1^2 + P_2^2}{P_0^2} = 10 \lg \left(\frac{P_1^2}{P_0^2} + \frac{P_2^2}{P_0^2} \right) = 10 \lg (10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}})$$

$$= 10 \lg 10^{\frac{L_1}{10}} (1 + 10^{\frac{L_2 - L_1}{10}}) = L_1 + 10 \lg (1 + 10^{\frac{L_2 - L_1}{10}})$$

$$= L_1 + 10\lg(1 + 10^{\frac{-\Delta}{10}}) \quad (1-11)$$

式中 Δ ——代表 $L_1 - L_2$ 。

要保持大数减小数,以得正数,把 $10\lg(1 + 10^{\frac{-\Delta}{10}})$ 作为 Δ 的函数列表 1-3。

表 1-3

$\Delta = L_1 - L_2 (\text{dB})$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15 以上
$10\lg(1 + 10^{\frac{-\Delta}{10}}) (\text{dB})$	3	2.5	2.1	1.8	1.5	1.2	1.0	0.8	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1

式(1-11)说明,欲求两个不同噪声级合成时,合成后的总噪声级 $L_{\text{总}}$ 应是两噪声中噪声级较大的值 L_1 ,再加上一个附加值 $10\lg(1 + 10^{\frac{-\Delta}{10}})$ 。两个噪声级相差 3dB 时,附加值为 1.8dB,而相差 10dB 以上时,就只有 0.4~0.1dB,因此,在相差较大时可直接用较大的那个声压级来作为合成后的总声压级。

例:三台机床运转时各噪声级分别为 87dB、84dB、80dB,求它们的总声压级为多少分贝?

解:先将其按大小顺序排列,然后依次计算:

$$\begin{array}{rcl}
 & 87 & 84 & 80 \\
 & \downarrow & & \\
 & (3) & 1.8 & \\
 & \downarrow & & \\
 & 87 + 1.8 = 88.8 & & \\
 & \downarrow & & \\
 & (8.8) & 0.5 & \\
 & \downarrow & & \\
 & 88.8 + 0.5 = 89.3 & &
 \end{array}$$

最后总的分贝和为 89.3dB。

3. 分贝的差

利用表 1-4 来进行计算。

表 1-4

$\Delta = L_1 - L_2 (\text{dB})$	3	4	5	6	7	8	9	10
$10\lg(1 + 10^{\frac{-\Delta}{10}}) (\text{dB})$	3	2.3	1.8	1.3	1.0	0.8	0.6	0.4

例:在某车间,风机开动时,噪声为 94dB,关闭风机测噪声为 85dB,求该风机的噪声为多少。

解:风机开动与关闭时的噪声差值为:

$$94 - 85 = 9 (\text{dB})$$

查表 1-4 可知: $\Delta L = 0.6 (\text{dB})$,所以,风机的噪声为:

$$94 - 0.6 = 93.4 (\text{dB})$$

五、频程与频谱

声音的高低是由声源振动的频率决定的,频率高的声音听起来尖厉、刺耳,频率低的声音听起来低沉、凝重。在噪声控制这门课程当中,一般把 500Hz 以下的噪声称为低频,500Hz~2kHz 称为中频,2kHz 以上称为高频。噪声的频率不同,其传播的特性和控制方法也有所不同。

在自然界中能发出单一频率声音的物体是极少数的,日常接触到的各种各样声音,大都是由许多不同频率、不同强度的纯音复合而成的,噪声的声强和频率一般情况下是没有规律的,

杂乱无章的,听起来使人心烦意乱,而乐声是有节奏、有规律,娓娓动听。

工业噪声通常都包含许多频率成分,在采取控制措施时,为了具有针对性,分析了解构成噪声的频率成分是有必要的。可闻声频范围为 20Hz~20kHz,有 1000 倍的变化。为了方便起见,人们把宽广的声频范围划分若干小的频段,就是频带或频程。一般采用的是倍频程和三分之一倍频程,每一个频程都用它的几何中频率代替:

$$f_{\pm} : f_{\mp} = 2^n \quad (1-12)$$

当 $n=1$ 时称为倍频率;

当 $n=1/3$ 时称为三分之一倍频率。

$$f_{\mp} = \sqrt{f_{\pm} \cdot f_{\mp}} \quad (1-13)$$

式中 $f_{\pm}$ ——上限频率,Hz;

$f_{\mp}$ ——下限频率,Hz;

$f_{\mp}$ ——中心频率,Hz。

以倍频程为例, $f_{\mp}=125\text{Hz}$, $f_{\pm}=180\text{Hz}$, $f_{\mp}=90\text{Hz}$ 。

倍频程中心频率及其频率范围见表 1-5。

倍频程各中心频率及其频率范围

表 1-5

$f_{\mp}$ (Hz)	31.5	63	125	250	500
频率范围 (Hz)	22.5~45	45~90	90~180	180~355	355~710
$f_{\mp}$ (kHz)	1	2	4	8	16
频率范围 (Hz)	710~1400	1400~2800	2800~5600	5600~11200	11200~22400

另外,通常所用的三分之一倍频程的中心频率为: 25Hz、31.5Hz、40Hz、50Hz、63Hz、80Hz、100Hz、125Hz、160Hz、200Hz、250Hz、315Hz、400Hz、500Hz、630Hz、800Hz、1kHz、1.25kHz、1.6kHz、2kHz、2.5kHz、3.15kHz、4kHz、5kHz、6.3kHz、8kHz、10kHz、12.5kHz、16kHz、20kHz。

以频率(频程)为横坐标,以声音的强弱(声压级)为纵坐标,绘出声音强弱的频率分布图,叫做频谱图。有了频谱图,可以清楚地看出噪声的各个频率成分和相应的强度,这一工作就是所谓的频谱分析,如图 1-2。

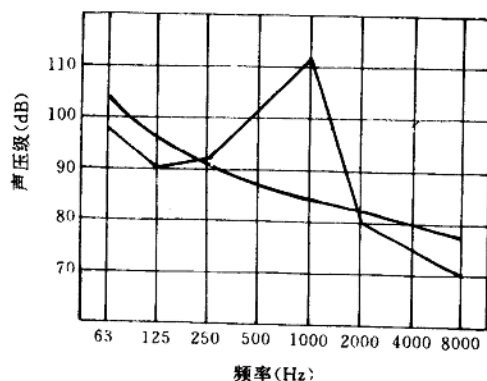


图 1-2 噪声频谱分析

第三节 噪声的主观评价

噪声不仅是物质公害,而且是一个感觉公害。噪声危害的大小不仅与声音的强度、频率成分及作用时间有关,还与人的听觉特性及接受噪声者的情绪有关,因而,仅对声音做出客观的计量,并不能判断某一噪声的危害大小,在一定程度上对噪声的主观评价比对噪声的客观评价更重要。

所谓对噪声的主观评价包括两个方面：一方面是根据噪声的客观强度、频率分布、作用时间长短因素，从人接受该噪声后的主观感觉出发，对噪声状况进行计量与分析；另一方面是研究与判断噪声对人和环境在哪些方面造成危害，以及危害程度如何。

为了能评价噪声在不同方向的影响，结合考虑影响噪声危害的各种因素，人们提出了许多评价噪声的方法和原理，这里介绍最常用的几种。

一、响度级

为了方便，人们模仿声压级引出响度级的概念，响度级是表示声音响度的量，它把声压级和频率用一个单位统一起来，既考虑声音的物理效应，又考虑声音对人耳听觉的生理效应，它是人们对噪声的主观评价量之一。

响度级的单位是“方”，以 1kHz 的纯音为基准声音，以其他频率的纯音与 1kHz 纯音相比较，调整前者的声压级，使试听者判断两个纯音一样响，则该纯音的响度级（方值）在数值上等于那个等响的 1kHz 纯音的声压级（分贝值）。如某声音听起来与声压级 80dB、频率 1kHz 的基准声音一样响，则该声音的响度级就是 80 方。

二、等响曲线

以 1kHz 纯音为基准音，通过对比试验，可以得到整个可听范围内的声音的响度级。如果把响度级相同的点都连接起来，便得到一组曲线簇，就是等响曲线，如图 1-3。

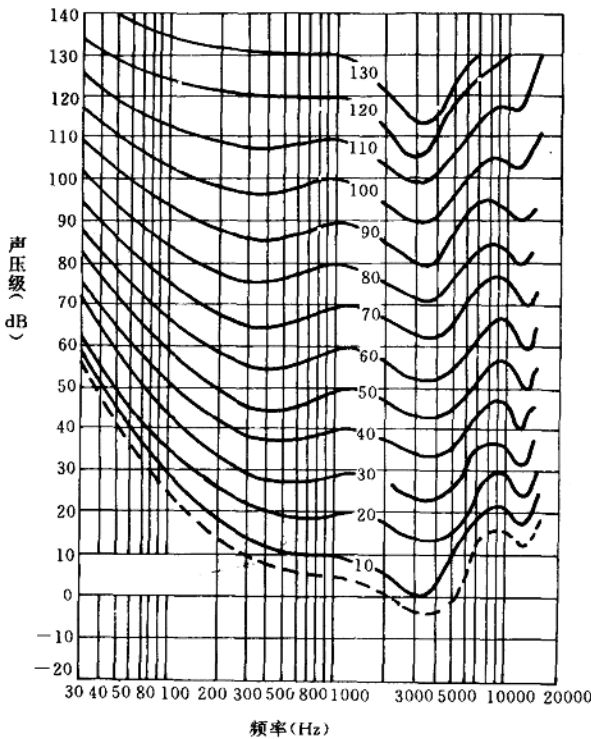


图 1-3 等响曲线

这组等响曲线的测试条件是自由声场,声源在测听者的正前方,声压级在测听者不在时进行测量,测听为双耳,受试人均是听力正常的 18 到 25 岁的青年人。在图中的每一个曲线上表示的声音,即使它们的声压级和频率不同,但听起来响度是一样的。最下面的一条曲线是听阈曲线,最上面的曲线是痛阈曲线。

从等响曲线图上可以看出:

(1)在声压级较低时,人耳对频率为 3~4kHz 的高频声特别敏感,而对低频声不敏感,对 8kHz 以上的特高频声也不敏感。比如,响度级同样是 60 方,对 1kHz 的声音来说声压级是 60dB,对 3~4kHz 的声音来说声压级是 52dB,对 100Hz 的声音来说声压级是 67dB,对 8kHz 以上的特高频声来说声压级是 66dB,就是说,它们的声压级虽然不同,但都是在响度级为 60 方的一条等响曲线上。

(2)在声压级较低时,频率越低,声压级与响度级的差别越大。如声压级都是 40dB 时,1kHz 的声音是 40 方,80Hz 的声音是 20 方,到了 50Hz 时响度级还不到零方(低于听阈线),即人耳听不见。

(3)在高声压级时,曲线较为平直。这说明声音强度达到一定程度后,声压级相同的各频率声音几乎一样响的,而与频率的关系不大。

三、A、B、C 计权声级

噪声测量仪器声级计,按其工作原理,声级计的“输入”信号是噪声客观的物理量声压,而“输出”信号,不仅是对数关系的声压级,而且最好是符合人耳特性的主观量响度级,声压级没有反应出频率的影响,即只有平直的频率响应。为使声级计的“输出”符合人耳特性,应通过一套滤波网络造成对某些频率成分的衰减,使声压级的水平线修正为相应的等响曲线。由于每一条等响曲线的频率响应(修正量)各不相同,在声级计上至少需设十三套听觉修正电路,这是很困难的。国际电工委员会标准规定,在一般情况下,声级计上只设三套修正电路,即 A、B、C 三种计权网络,参考等响曲线,设置计权网络,从而对人耳敏感的频域加以强调,对人耳不敏感的频域加以衰减,就可以直接读出反映人耳对噪声感觉的数值,使主客观量趋于统一。常用的是 A 计权和 C 计权。

A 计权网络是效仿倍频程等响曲线中的 40 方曲线设计的,它较好地模拟了人耳对低频段(500Hz 以下)不敏感,而对 1~5kHz 敏感的特点。用 A 计权测量的声级来代表噪声的大小,叫做 A 声级,记作 dBA,由于 A 声级是单一的数值,容易直接测量,并且噪声的所有频率成分的综合反映,与人主观反应接近,故目前在噪声测量中得到最广泛的应用,并用来作为评价噪声的标准。但是 A 声级代替不了用倍频程声压级表示的其他噪声标准,因为 A 声级不能全面地反映噪声源的频谱特点,相同的 A 声级其频谱特性可能差别很大。

B 计权网络是效仿 70 方等响曲线,低频有衰减。C 计权网络是效仿 100 方等响曲线,在整个可听频率范围内,有近乎平直的特点,它让所有频率的声音近乎一样程度地通过,基本上不衰减,因此,C 计权网络代表总声压级。

声级计的读数均为分贝值。但在选用各计权网络后其读数所代表的意义就不相同了。显然选用 C 挡计权网络测量时,声压级并未经任何修正(衰减),读数仍为声压级的分贝值。而 A 挡和 B 挡的计权网络,对声压级已有修正,故它们的读数不应是声压级,但也不是响度级,因为它们只是模仿 40 方和 70 方两条特定的等响曲线的频率响应,而不是所有等响曲线的频率

响应。所以一般把 A 挡和 B 挡计权网络的读数称声级的分贝值。

利用 A、B、C 三挡声级读数可约略了解噪声频谱特性。由图 1-4 中各计权网络的衰减曲线可以看出：

当 $L_A = L_B = L_C$ 时，表明噪声的高频成分较突出；

当 $L_C = L_B > L_A$ 时，表明噪声的中频成分较多；

当 $L_C > L_B > L_A$ 时，表明噪声是低频特性。

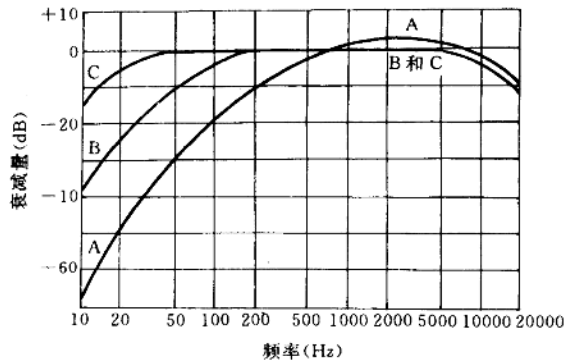


图 1-4 A、B、C 计权网络的衰减曲线

四、连续等效 A 声级

评价噪声对人体的影响，不但要考虑噪声的大小，而且要考虑作用时间。比如说，一个人在 90dB 的噪声环境里工作 8h，另一个人在 90dB 的噪声环境下工作 2h，他们所受到的噪声的影响程度肯定不一样。如果一个人在 90dB 的噪声环境下一天工作 8h，另一个人一天之内先在 90dB 的噪声环境下工作 2h，然后在 95dB 下工作 3h，又在 100dB 下工作 1h，就不易比较二者所受噪声影响的大小。为此，引入等效连续 A 声级的概念。

定义：在声场中一定点位置上，用某一段时间内能量平均方法，将间歇暴露的几个不同的 A 声级噪声，以一个 A 声级表示该段时间内的噪声大小，这个声级即为等效连续声级。

$$L_{eq} = 10 \lg \frac{1}{T} \int_0^T 10^{0.1 L_A(t)} dt \quad (1-14)$$

式中 T ——表示某段噪声暴露时间的总量，min；

L_A ——变化声级某时刻 t 的瞬时值，dB。

由式(1-14)可知，对某段时间内稳定不变的噪声源，其等效 A 声级就是 A 声级。

以每天工作 8h 为基准，低于 80dB 的不予考虑，则每天的等效连续声级可按式计算：

$$L_{eq} = 80 + 10 \lg \frac{\sum_{n=1}^N 10^{\frac{n-1}{2}} T_n}{480} \quad (1-15)$$

式中 T_n ——表示第 n 段声级 L_n 一个工作日的总暴露时间，min。

将声级从小到大分成段排列，每段相差 5dB，以其算术中心声级表示，如表 1-6。

各段中心声级和暴露时间

表 1-6

段落 n	1	2	3	4	5	6	7
中心声级 L_n (dBA)	80	85	90	95	100	105	110
暴露时间 T_n (min)	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7

例：某工人在一天 8h 工作时间内，4h 接触 100dB 的噪声，2h 接触 90dB 噪声，2h 接触 80dB 噪声，问一天的等效连续 A 声级是多少？

解：由表 1-6 可查出，对应于 100dB、90dB、80dB 的 n 值分别为 5、3、1， T_n 值分别为： $T_1 = 2h$ ， $T_3 = 2h$ ， $T_5 = 4h$

$$L_{eq} = 80 + 10 \lg \frac{10^{\frac{5-1}{2}} \times 240 + 10^{\frac{3-1}{2}} \times 120 + 10^{\frac{1-1}{2}} \times 120}{480}$$

$$= 80 + 10 \lg 53 = 97(\text{dB})$$

若每天工作 8h, 一周工作 5d, 则一周的等效 A 声级可用下式表示:

$$L_{eq} = 80 + 10 \lg \frac{\sum 10^{\frac{n-1}{2}} T_n}{480 \times 5} \quad (1-16)$$

式中 T_n ——表示第 n 段声级 L_n 一周工作日的总暴露时间, min。

第四节 噪声在传播中的一些特性

在噪声控制研究中, 我们经常遇到一些声学上的概念, 如声场、声线、平面波、球面波、波阵面等。从声学概念上说, 传播声波的空间谓之声场, 声波的传播方向叫做声线(或波线)。某一时刻声波波动所到达的各点所连成的曲面叫波阵面。按照波阵面的形状, 声波可分为球面波和平面波, 即波阵面是球面的为球面波; 波阵面为平面的为平面波, 如图 1-5 所示。在各向同性的介质中, 声线恒垂直于波阵面。

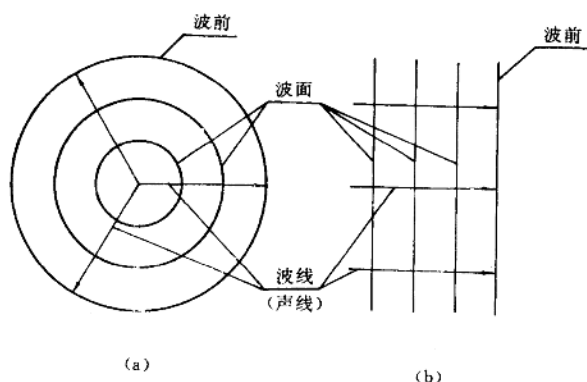


图 1-5 波前、波面、声线示意图
(a) 球面波; (b) 平面波

一、声场

1. 自由声场

声波在介质中传播的过程中, 在各个方向上都没有反射, 介质中任何一点接受的声音, 都只是来自于声源的直达声, 例如室外开阔的旷野。这种可以忽略边界影响, 由各向同性均匀介质形成的声场叫做自由声场。在自然界中严格来说没有这种声场, 它是一种理想场。但是可以近似地将空旷的野外看成是自由声场。在声学研究中为了克服反射声和防止外来的环境噪声的干扰, 专门创造一种自由声场的环境, 即消声室, 它可以用来检验各种机器产品的噪声指标, 测量声源的指向性、声功率和一些电声设备的校准及做听力实验。

2. 扩散声场

扩散声场与自由声场完全相反。声波在扩散声场里接近全反射的状态。在教室中, 人听到

的声音除来自声源的直达声外,还有来自室内各表面的反射声。如果室内各表面非常光滑,声波传到壁面上会完全反射回来,那么在室内若做到各处的声压几乎相等,声能密度也处处均匀相等,这样的声场就叫做扩散声场(混响声场)。在声学研究中,可以专门创建具有扩散声场性能的房间,即混响室。它可用来做各种材料的吸声系数测量,测试声源的声功率和做不同混响时间下语言清晰度试验等。

3. 半自由声场

在实际工程中,遇到最多的情况,既不是完全的自由声场,也不是完全的混响声场,而是介于二者之间,这就是半自由声场。在工厂的车间厂房里,壁面和吊顶是用普通砖石土木结构建造的,有些吸声能力,但不是完全吸收,这就属于这种半自由声场情况。当然,半自由声场情况中也不尽相同,有的靠近自由场一些;有的吸声较差,则更接近扩散场。

二、噪声在传播中的衰减

距离声源近,声音就大;距离声源远,声音就小,这是不争的事实。为什么呢?因为,噪声在传播中不断地被衰减。噪声的衰减主要有两个方面的原因:其一是声波的扩散,当声波从声源发出向四面八方辐射时,波前的面积随着传播距离的增加而不断扩大,声能分散,这样通过单位面积上的声能相应减少,而声强将随着传播距离的增加而衰减;其二是声波的吸收,由于介质的粘滞性、热传导和分子弛豫过程等原因,声波在传播过程中使声能不断地被转化为其他形式的能量,从而声强逐渐减弱。此外,如界面的反射,介质不均匀而产生散射等,也会使沿一定方向传播的声波衰减。下面主要对自由声场中声波扩散和吸收这两个因素进行讨论。

(一)声波的扩散

声源可分为点声源、线声源、面声源,如图 1-6。声源类型不同,所发出的声波波阵面形状不同,扩散衰减的规律亦不同,下面分别讨论。

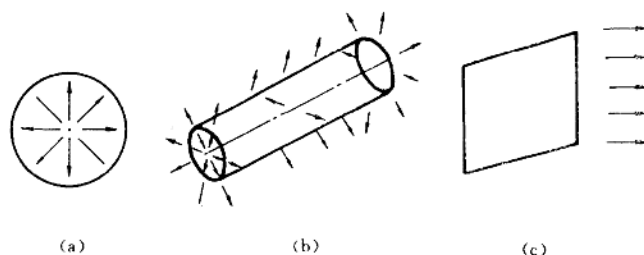


图 1-6 声源类型

(a)点声源;(b)线声源;(c)面声源

1. 点声源

如果声源尺寸相对于声波的波长或传播距离而言比较小时,则该声源就可视为点声源。点声源辐射的声波是以声源为中心按球面波的方式向四面八方扩散,如图 1-6(a)所示。由于声源的功率是一个恒量,所以距声源越远,声能分布的面越大,则通过单位面积的声能就越小。由于波前面积(最前方的波阵面)与距离 r 的平方成正比,因此,声强按距离 r 平方的反比规律衰减,通常把这称为“平方反比定律”。这是点声源在自由场中声压级衰减的特性之一。

若在距声源 r_1 处的声压级为 L_1 时,则在距声源 r_2 处的声压级 L_2 可用下式计算: