

◆ 环境保护知识丛书 ◆

工业噪声与振动控制



环境保护知识丛书

工业噪声与振动控制

徐世勤 王 檣 编著

冶金工业出版社

内 容 提 要

本书共分八章，主要内容有噪声与振动的基本概念、评价和标准、测量方法以及控制技术和工程设计等。

本书可供工业厂矿的基层领导、环境保护、劳保卫生以及有关专业技术人员和技工工人阅读。

环境保护知识丛书
工业噪声与振动控制
徐世勤 王 楠 编著

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

850×1168 1/32 印张 5 1/8 字数 134 千字

1987年5月第一版 1987年5月第一次印刷

印数00,001~5,600册

统一书号: 15062·4466 定价1.45元

前 言

随着工业的迅速发展和城市人口的集中，人们在生产和生活中排放的各种污染物越来越多，污染物对人类环境的影响日趋严重。环境问题成为当今世界所面临的重大问题之一。保护环境是我国的一项基本国策。1983年第二次全国环境保护会议，明确提出了我国到本世纪末的环境保护的奋斗目标：力争全国环境污染基本得到解决，自然生态基本恢复良性循环，城乡生产生活环境清洁、优美、安静，全国环境状况基本上能够同国民经济的发展和人民物质文化生活的提高相适应。为了实现这个目标，广大环保管理工作、环保技术人员和技术工人学习和掌握环境保护基础知识和基本技能是十分必要的。本丛书就是为了适应广大环境保护工作者的需要而编写的。

本丛书属于知识性科技读物。在内容上，力求做到知识性和技术性相结合，理论与实际相结合，并尽可能回答生产实践中经常遇到的种种实际问题。在写法上力求语言精练，深入浅出，概念明确，内容丰富。全套丛书包括八个方面的内容：环境工程入门、工业烟气净化技术、除尘设备的使用和维护、废水处理技术、固体废物的处理和利用、工业噪声与振动控制、环境污染物监测和环保仪器的使用与维修等。在每册书的最后，附有有关的标准和技术数据，以供读者参考、使用。

参加本丛书编写工作的有：（姓氏笔画为序）王楠、易洪佑、台炳华、陈康、陈尚芹、张殿印、徐世勤、梁泽斌、黄西谋、崔志激和董宝树等同志。全书由陈康、张殿印总编。

由于环境保护涉及许多学科和领域，而编者的知识水平和实践经验有限，书中肯定存在不少缺点或不足之处，敬请广大读者批评指正。

编者

一九八六年十月

目 录

第一章 噪声与振动的基本概念	1
第一节 噪声与工业噪声	1
第二节 噪声的量度	4
第三节 振动的基本概念	13
第四节 噪声与振动控制的一般方法	16
第二章 噪声的危害及评价和标准	19
第一节 噪声的危害	19
第二节 噪声的评价	26
第三节 噪声的标准	35
第三章 工业噪声与振动的测量	41
第一节 测量仪器	41
第二节 测量方法	58
第四章 吸声	73
第一节 吸声材料	73
第二节 吸声测量	82
第三节 吸声设计	85
第五章 隔声	89
第一节 隔声结构	89
第二节 隔声技术	94
第三节 隔声测量	99
第四节 隔声设计	101
第六章 消声器	105
第一节 消声器的性能评价	105
第二节 消声器的分类及消声机理	105
第三节 消声器的测量技术	124
第四节 消声器的设计方法	127
第七章 振动控制	130
第一节 隔振技术	130

第二节 阻尼减振	135
第三节 隔振设计	136
第八章 几种工业噪声源及其控制	139
第一节 鼓风机噪声及其控制	139
第二节 空压机噪声及其控制	144
第三节 球磨机噪声及其控制	146
第四节 电动机噪声及其控制	147
第五节 泵噪声及其控制	149
附录一 工业企业噪声卫生标准 (试行草案)	151
附录二 城市区域环境噪声标准	153
附录三 常用材料的吸声系数(管测 α_0)	155
附录四 常用厚度钢板的隔声量	157
附录五 常用厚度玻璃的隔声量	157
参考文献	158

第一章 噪声与振动的基本概念

第一节 噪声与工业噪声

人类的生存伴随着各种各样的声音，如说话声、音乐声、机器轰鸣声等等。一般地说，这些声音可分成乐声和噪声。物理学的观点是把节奏有调，听起来和谐的声音称为乐声，而把杂乱无章、听起来不和谐的声音称为噪声。心理学的观点认为噪声和乐声是很难区分的，它们的概念都是主观的、相对的，因此它把凡是使人烦躁、讨厌、不需要的声音都称为噪声。生活常识告诉我们：的确在某些情况下，噪声也能成为有用的声音，乐声也能使人厌烦。比如，有经验的工人可以凭借机械噪声的大小来判断设备是否处于正常运转；球磨机工能够根据钢球研磨矿石而产生的噪声大小来估计矿石破碎的程度。又如，当你需要休息或学习时，悠扬悦耳的歌声也会成为令人讨厌的干扰噪声。在一般情况下，噪声固然是不受人欢迎的，但是人们也不一定要求绝对安静、不需要任何一点声音。在有一定本底噪声的环境中，人们仍然可以很好地工作、学习和休息。由于人们对声音的要求是十分复杂的，因此，在当今世界上，一部分科学家在积极地从事噪声控制工作，而还有一些科学家却在研制各种可以发出能催眠的噪声装置。可见，为了造福于人类，对于噪声不仅要控制而且还可以利用。

一、噪声

物体振动，在媒质中传播，引起人耳或其他接收器的反应，这就是声。噪声是声的一种，它具有声波的一切特性。

我们把能够发声的物体称为声源，产生噪声的物体或机械设备称为噪声源。声源可以是固体的，也可以是气体或液体的。

在声源与人耳之间，物体振动的能量必须依靠媒质传递。我

们知道，空气可以传播声音。除了空气以外，其他气体、液体和固体也能传播声音，我们把能够传播声音的物质叫作传声媒质。由于传声媒质不同，噪声传播又可以分为空气噪声、固体噪声和水噪声等。如果只有声源而没有传声媒质，人耳是不会听到任何声音的。例如，1969年，美国“阿波罗”号飞船首次载人登上月球时，由于月球上没有空气，也没有其他传声媒质，因此登上月球的宇航员果然就没有听到任何声音。

声波传入人耳时，引起鼓膜振动，刺激听觉神经而产生听觉才能听到声音。因此，并不是所有的振动通过传声媒质都能被人耳接受。人耳能够感觉到的最低声压（听阈声压）是 2×10^{-5} 帕，可听到的声音（可听声）的频率范围是20赫~20000赫。频率低于20赫的声波叫次声，超过20千赫的叫超声，次声和超声都是人耳听不到的声波。一般认为，噪声不包括次声和超声，它是可听声范围内的声波。

二、工业噪声

噪声的种类很多，因其产生的条件不同而异。地球上的噪声主要来源于自然界的噪声和人为活动产生的噪声。自然界的噪声是由于火山爆发、地震、潮汐和刮风等自然现象所产生的空气声、地声、水声和风声等。人为活动所产生的噪声包括交通噪声、工业噪声、施工噪声和社会生活噪声等。工业噪声一般是指在工业生产过程中，由于机械设备运转而发出的声响。随着现代工业的发展，对于工业噪声的控制越来越重要。

工业噪声主要包括空气动力性噪声、机械噪声和电磁噪声三种。

空气动力性噪声是由于气体振动产生的，当气体受到扰动、气体与物体之间有相互作用时，就会产生空气动力性噪声。鼓风机、空压机、燃气轮机、高炉和锅炉排气放空等都可以产生空气动力性噪声。

机械噪声是由于固体振动而产生的。在撞击、摩擦、交变机械应力或磁性应力等的作用下，机械设备的金属板、轴承、齿轮

等发生碰撞、振动而产生机械噪声。球磨机、轧机、破碎机、机床以及电锯等所产生的噪声都属于此类噪声。

电磁噪声是由于电动机和发电机中交变磁场对定子和转子作用，产生周期性的交变力，引起振动时产生的。电动机、发电机和变压器都可以产生这种噪声。

三、我国工业噪声的概况

从1975年到1976年，有关单位对北京地区的钢铁、石油化

各类工业企业噪声的声级范围

表 1-1

工 业 部 门	声级范围 (分贝)	个别情况 (分贝)
钢 铁	80~130	达到140
机 械	80~120	达到130
石油化学	80~100	超过120
建工建材	80~120	
电 子	65~100	超过110
纺 织	80~105	
铁路交通	80~120	
印 刷	70~95	超过95
食品、造纸及其他轻工业	70~90	

按声级排列的机械设备噪声状况

表 1-2

声级(分贝)	机 械 设 备 或 厂 房、 车 间
130	风铲、风柳、大型鼓风机、高炉和锅炉排气放空
125	轧材、热锯(峰值)、锻锤(峰值)
120	有齿锯锯钢材、大型球磨机、加压制砖机
115	振捣台、热风炉鼓风机、振动筛、抽风机
110	罗茨鼓风机、电锯、无齿锯
105	破碎机、大螺杆压缩机、织布机
100	电焊机、大型鼓风机站、柴油发动机
95	织带机、轮转印刷机
90	空气压缩机站、泵房、轧钢车间、冷冻机房
85	车床、铣床、刨床、造纸机
80	织袜机、漆包线机、针织机
75	上胶机、蒸发器
75以下	拷贝机、放大器、电子刻板真空镀膜机

工、机械、建工建材、电子、纺织、铁路交通、印刷、食品、造纸行业等一百多个工矿企业的车间噪声和典型机器噪声进行了测试分析。将测试结果列于表1-1和表1-2。表1-1为各类工业企业噪声的声级范围，从表中可知工厂车间的噪声级大多在75分贝~105分贝之间。表1-2为按声级排列的机械设备噪声状况。

第二节 噪声的量度

既然噪声是一种声波，那么用声波的物理量也可以描述它。但是，为便于评价和控制噪声，人们还特地引入一些专用量来表示它。

一、声波的物理量

物理上用波长、声速和频率三个基本量来描述声波。

波长通常用 λ 表示，单位为米。它是声波的波峰与波峰（或波谷与波谷）之间的距离。

频率通常用 f 表示，单位为赫兹，简称赫。它是指在单位时间内信号波动的次数。声波的频率取决于声源振动的快慢，它反映的是音调的高低。

声速通常用 c 表示，单位为米/秒。它是声波在单位时间内传播的距离。声速与传声媒质的温度有关，在空气中，其变化规律大致是

$$c = 332 + 0.6t \quad (\text{米/秒}) \quad (1-1)$$

式中 t 为媒质的温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

在水中，水温为 20°C 时，声速为1480米/秒，通常水温升高 1°C ，声速约增加4.5米/秒。声速还与传声媒质的密度有关，在不同的媒质中声速是不同的。 0°C 时，声波在软木中传播的速度为500米/秒，在钢中却是5000米/秒。

波长、频率和声速之间的关系是

$$c = f \cdot \lambda \quad (1-2)$$

其中两个量与振幅是描述波动的三个物理量。一维空间的波动方程是

$$y = A \sin(\omega t - kx) \quad (1-3)$$

式中 y ——位移, 米;
 A ——振幅, 米;
 ω ——圆频率, $\omega = 2\pi f$;
 t ——时间, 秒;
 k ——波数, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ 。

声波是一种波动, 它具有波动的一切属性。声波从一种媒质传到另一种媒质的分界面时, 或是在同一种媒质中碰到管道突变截面时, 由于两种媒质的物理性质 (弹性、密度) 不同, 或是同一种媒质的传播条件不同, 会产生反射和折射现象。声波反射时, 一部分声波返回第一种媒质 (或突变截面入射一侧), 另一部分声波传入第二种媒质 (或突变截面的另一侧), 两种媒质的性质差别越大, 或管道截面突变得越厉害, 反射声就越强。此时, 传入第二种媒质的声波将改变传播方向, 这就是折射现象 (见图1-1)。声波的反射和折射遵循斯奈尔定律, 见公式 (1-4)。

$$\begin{cases} \theta_i = \theta_r \\ \frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_t} = \frac{c_1}{c_2} \end{cases} \quad (1-4)$$

式中 θ_i ——入射角;
 θ_r ——反射角;
 θ_t ——折射角;
 c_1 ——媒质 I 的声速, 米/秒;
 c_2 ——媒质 II 的声速, 米/秒。

斯奈尔定律说明声波在发生反射和折射现象时, 反射角等于入射角, 而折射角的大小与两种媒质中的声速之比有关, 媒质 II 的声速越大, 则折射声波偏离分界面法线的角度就越大。

在日常生活中, 声波的反射和折射现象很多。例如, 在室内安装的机器发出的声响要比在露天空地安装时大得多。这是因为在室内, 我们听到的不仅有从机器直接辐射出来的直达声, 而且

还有由房间墙壁或室内其他物体上反射回来的反射声的缘故。又例如，刮风时，由于地面上有障碍物，地面上的风速要比上层空间的小一些，这种大气中风速分布的不均匀，会使声速发生变化，声波出现折射。因此，在顺风时，声音在上层传播得快，向下折射；逆风时，声音在地面附近传播得快，向上折射。所以，顺风时声音传得较远，而逆风时，人听远处的声音就比较困难。

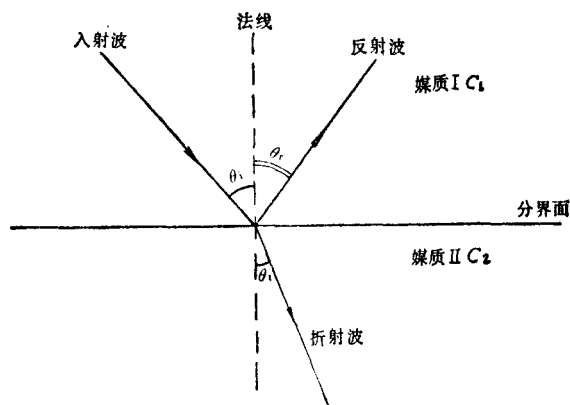


图 1-1 声波的反射和折射

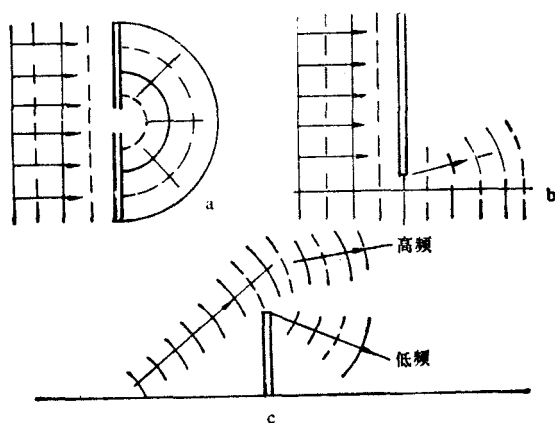


图 1-2 声波的绕射现象

a—有孔洞的障碍物；b—悬空的障碍物；c—地面上的障板

声波在传播途径中，遇到障碍物或孔洞（当波长远大于障碍物或孔洞）时，就会发生绕射现象（见图1-2）。声波的频率越低，其波长就越长，越容易绕射过去。如果墙上有孔洞或门上有缝隙，低频漏声现象就会很严重。

声波在传播时，还可能发生干涉现象。当两列频率相同的声波以同样的相位到达某一点时，则两列波相互加强，合成振幅为两波振幅之和；当相位相反时，则相互减弱或完全抵消，合成振幅为两波振幅之差。驻波是一种特殊的干涉波，它是由两列频率相同，以相反方向传播的波迭加而成。驻波的波形不随时间而变化，好像永驻不动似的，人们正是根据它的这个特点，称其为驻波。

二、噪声的物理量度

1. 声压和声压级 声波是疏密波，在空气中传播时，它使空气时而变密—压强增高；时而变稀—压强降低。这种在大气压上起伏的部分就是声压。声压是衡量声音大小的尺度，通常用 p 来表示，单位为帕（牛顿/米²）。声音越强，声压就越大；反之，声压就越小。

人耳对1000赫纯音的听阈声压是 2×10^{-5} 帕，只有一个大气压的50亿分之一；飞机的强力发动机发出的声音高达 10^2 帕，这是人耳能短时忍受的最大声压了，可它也只有一个大气压的千分之几。从人耳刚刚能听到的微弱声音到难以忍受的强烈噪声，声压相差数百万倍，而且仅是一个大气压的几十亿分之一到几千分之几，显然，用声压作单位来衡量声音的大小是很不方便的。为了实用方便，人们考虑到对如此广阔的能量范围使用对数标度的可能性；另一方面，从声音的接收来看，人耳有一个很奇怪的特点，即当耳朵接收到声振动以后，主观上产生的响度感觉与声压的绝对值不成正比，而是近似地与声压的对数成正比。因此，声学上普遍使用对数标度来度量声压，称之为声压级，其定义是声压平方和1000赫纯音的听阈声压平方比值的对数，单位是贝尔。贝尔是一个很大的单位，用起来不方便。因此，人们又把贝尔分

成十份，取一份作常用单位，这就是分贝，记作“dB”。

$$L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \log \frac{p}{p_0} \quad (1-5)$$

式中 L_p ——声压级，分贝；

p ——声压，帕；

p_0 ——基准声压，取 $p_0 = 2 \times 10^{-5}$ 帕。

为了使读者对声压和声压级的概念有一个直观的了解，表1-3给出几种常见声源的声压和声压级。

从公式(1-5)可以看出，声音的迭加不是声压迭加，而是声压的平方迭加，即能量的迭加。假如有两个声压级分别为 L_{p1} 和 L_{p2} 的声音迭加，根据分贝加法求总声压级 L_p 如下：

$$\begin{aligned} L_{p1} &= 10 \log \frac{p_1^2}{p_0^2} & L_{p2} &= 10 \log \frac{p_2^2}{p_0^2} \\ L_p &= 10 \log \left(\frac{p_1^2}{p_0^2} + \frac{p_2^2}{p_0^2} \right) \\ &= 10 \log (10^{0.1 L_{p1}} + 10^{0.1 L_{p2}}) \\ &= 10 \log \{ 10^{0.1 L_{p1}} [1 + 10^{0.1(L_{p2} - L_{p1})}] \} \\ &= L_{p1} + 10 \log (1 + 10^{-0.1 \Delta}) \end{aligned} \quad (1-6)$$

式中 $\Delta = L_{p1} - L_{p2}$, ($L_{p1} > L_{p2}$)

如果把式(1-5)中的 $\Delta L_p = 10 \log (1 + 10^{-0.1 \Delta})$ 作为 Δ 的函数画成图表(图1-3)，即可很容易地算出总声压级。例如 $L_{p1} = 97$ 分贝， $L_{p2} = 93$ 分贝， $\Delta = L_{p1} - L_{p2} = 4$ 分贝，查图1-3，得 $\Delta L_p = 1.5$ 分贝，故 $L_p = 97 + 1.5 = 98.5$ 分贝。从图1-3中可以看出，当两个声压级相差10分贝以上时，则迭加后的总声压级就基本上等于较高的那个声压级 L_{p1} ，这时对应的 ΔL_p 值已经是微不足道的了，可以忽略不计。根据这个道理，在测量机械设备的噪声时，本底噪声对测量结果的影响是可以修正的。同理，在有很多噪声源同时存在的情况下，首先治理其中较强的噪声源，会收到显著的效果。反之，如果先从弱噪声源下手，噪声状况就会看不出有什么改善。

几种典型声源的声压和声压级

表 1-3

声压 (帕)	声压级 (分贝)	声 源 及 环 境
2×10^{-5}	0	刚刚能听到的声音
6.3×10^{-5}	10	寂静的夜晚
2×10^{-4}	20	微风轻轻吹动树叶
6.3×10^{-4}	30	轻声耳语
2×10^{-3}	40	疗养院房间
6.3×10^{-3}	50	机关办公室
2×10^{-2}	60	普通讲话
6.3×10^{-2}	70	繁华街道
2×10^{-1}	80	公共汽车内
6.3×10^{-1}	90	水泵房
2	100	轧机附近
6.3	110	矫正机旁
2×10	120	大型球磨机附近
6.3×10	130	锻锤工人操作岗位
2×10^2	140	飞机强力发动机旁

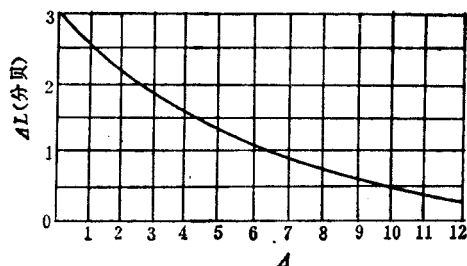


图 1-3 分贝加法计算图表

2. 声功率和声强 声功率是描述声源性质的物理量，由于它不象声压那样随着离开声源的距离加大而减小，因此，国际标准化组织（简称ISO）向人们推荐测试噪声源的声功率。声功率反映的是单位时间内声源向外辐射的总能量，即

$$W = \frac{E}{\Delta t} \quad (1-7)$$

式中 W ——能量，瓦。

声强是单位面积上的声功率，即

$$I = \frac{W}{\Delta S} = \frac{E}{\Delta t \Delta S} \quad (1-8)$$

式中 I —— 声强，瓦/米²。

声强与声压幅值的平方成正比，因而它和声压一样也随着离开声源的距离加大而减小。此外，声强还与传声媒质的性质有关，例如在空气和水中有两列具有相同频率、相同速度幅值的声波，这时，水中的声强要比空气中的声强约大3600倍。

3. 声功率级和声强级 以 10^{-12} 瓦为基准，定义声功率级为

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

式中 L_W —— 声功率级，分贝。

表1-4给出几种典型声源的声功率和声功率级。

几种典型声源的声功率和声功率级

表 1-4

声功率 (瓦)	声功率级 (分贝)	声 源 及 环 境
10^{-9}	30	轻声耳语
10^{-6}	70	普通讲话
10^{-4}	80	高声喊叫
10^{-3}	90	G4-73-11, №9D通风机旁
10^{-2}	100	LGA30-3500-1 罗茨风机旁
10^{-1}	110	离心风机 (风量3500米 ³ /分) 旁
10	130	球磨机附近
10^2	140	螺旋桨飞机附近
10^4	160	喷气式飞机附近

声强级是以1000赫纯音的听阈声强值 10^{-12} 瓦/米²为基准定义的，即

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

听阈声强是与听阈声压相对应的声强。声强级和声压级之间满足下列关系

$$L_I = L_p + 10 \log \frac{400}{\rho c} \quad (1-11)$$

式中 L_p ——声强级，分贝；

ρ ——传声媒质的密度，公斤/米³；

c ——传声媒质的声速，米/秒。

如果在测量时，条件恰好是 $\rho c = 400$ （例如在空气中，0℃时， $\rho = 1.2$ ， $c = 332$ ），则声强级和声压级在数值上就会相等。对于一般情况，两者相差一个修正项 $10 \log \frac{400}{\rho c}$ ，但这个修正项通常是比较小的。

4. 噪声的频谱分析 声源作简谐振动所产生的声波，其声压和时间的关系呈正弦曲线，它只具有单一频率成分，因此我们称之为纯音。复音是由很多不同频率的纯音组成的声波，在听觉上可以引起一个以上的音调，频谱是在频率域上描述声音强度变化规律的曲线，一般以频率（或频带）为横坐标，以声压级（或声功率级）为纵坐标。

在可听声的频率范围内，声能连续分布，在频谱图上呈现一条连续的曲线，称为连续谱（见图1-4）；而声能间断分布，在频

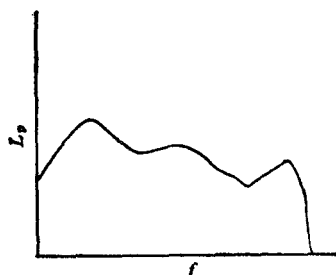


图 1-4 连续谱

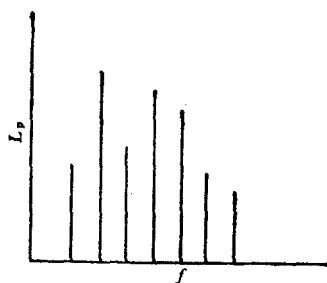


图 1-5 离散谱