

劳动保护丛书



实用噪声

陈秀娟 编著

(第二版)

与振动控制

化学工业出版社

7B
C 60
(1)

388576

劳动保护丛书

实用噪声与振动控制

(第二版)

陈秀娟 编著



化学工业出版社

·北京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

0499/1808

实用噪声与振动控制/陈秀娟编著. —2版. —北京: 化学工业出版社, 1996

(劳动保护丛书)

ISBN 7-5025-1620-4

I. 实… II. 陈… III. ①噪声控制-基本知识-劳动保护; 环境保护②振动控制-基本知识-劳动保护; 环境保护
N. TB53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 20065 号

出版发行: 化学工业出版社 (北京市朝阳区惠新里 3 号)

社长: 傅培宗

社长: 傅培宗 蔡剑秋

经 销: 新华书店北京发行所

印 刷: 北京通县京华印刷厂

装 订: 北京通县京华印刷厂

版 次: 1996 年 5 月第 2 版

印 次: 1996 年 5 月第 1 次印刷

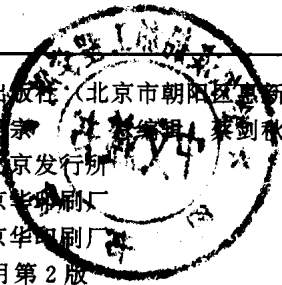
开 本: 787×1092 1/32

印 张: 9½

字 数: 211 千字

印 数: 1—3000

定 价: 14.50 元



第 二 版 说 明

《劳动保护丛书》出版十年来，受到了广大读者的热烈欢迎。为适应当前改革开放的需要，我们对原套丛书做了修订和扩充，进行再版。再版的这套丛书包括：色彩·标志·信号、压力容器安全技术、工业锅炉安全技术、起重搬运安全技术、建筑安全技术、化工安全技术、机械安全技术、安全人机工程学、实用噪声与振动控制、劳动保护管理与监察、可靠性与安全生产等。

本《丛书》可作为各类劳动保护专业的培训教材，也可供安全工程专业师生和劳动保护监察人员阅读。

前 言

随着现代工业交通运输事业的迅速发展，噪声与振动已成为危害职工安全健康、污染环境的公害之一，广大群众迫切要求解决，呼声很高，也是当前劳动保护和环境保护面临的一项重要课题。为了保护职工身体健康，为人们创造一个舒适、安静的生活工作环境，本人根据自己多年来从事噪声控制教学、科研与设计的成果和经验，吸收了国内先进经验，并参考国内外有关资料，深入浅出的对噪声与振动的基本原理、控制方法进行了概括性的介绍，以进一步普及噪声与振动控制的知识，推动这一工作发展。

本书在编写过程中，得到北京市劳动保护科学研究所孙家麒研究员、战嘉恺副研究员的大力支持和审阅，该所孙济民、刘茜工程师给予了有益的协助，在此表示感谢。由于本人水平有限，难免有不当之处，欢迎读者予以批评指正。

作者

1995. 10

内 容 提 要

本书是劳动保护与环境保护的通俗读物，主要介绍噪声与振动控制的基本原理和知识。全书共分八章，主要介绍声音的基本性质、度量单位和噪声评价；噪声与振动的危害和控制的标准；噪声与振动控制的基本原理和方法；吸声、隔声、消声、隔振与减振阻尼等控制技术原理、设计方法和应用实例；振动测量仪器和测量方法。全书尽力做到理论联系实际、深入浅出、实用性较强。

本书可供安全工程、劳动保护、环境保护以及工业卫生工作人员作为自学读物，或做培训教材，也可供以上专业在校学生学习参考。

目 录

第一章 声音的基本性质	(1)
第一节 声音的产生和传播特性	(1)
一、声音的产生——振动和波动	(1)
二、声波传播的特性	(5)
第二节 声音的物理量度	(12)
一、声音强度	(13)
二、声音的频率——倍频程	(19)
三、分贝的运算	(24)
第三节 噪声的评价方法	(28)
一、等响曲线、响度级、响度	(28)
二、计权声级	(34)
三、语言干扰级 <i>PSIL</i>	(37)
四、噪声评价曲线 (NR 曲线)	(38)
五、感觉噪声级 <i>PNL</i> 和噪度 <i>PN</i>	(40)
六、各种统计声级	(42)
第二章 噪声危害、振动危害和控制的标准	(47)
第一节 噪声危害和控制的标准	(47)
一、噪声危害	(47)
二、噪声控制的标准	(51)
第二节 振动危害和控制标准	(62)
一、振动危害	(62)
二、振动的评价和控制的标准	(68)
第三章 噪声与振动控制	(79)
第一节 噪声控制	(79)

一、噪声控制系统	(79)
二、噪声控制工作的程序	(86)
第二节 振动控制	(88)
一、振动源的种类	(88)
二、振动控制的基本方法	(89)
第四章 吸声	(93)
第一节 吸声原理和室内吸声减噪量的计算	(93)
一、吸声原理	(93)
二、房间吸声减噪量的计算	(96)
三、吸声减噪设计中的几个问题	(104)
四、计算实例	(106)
第二节 吸声材料	(107)
一、多孔吸声材料	(107)
二、共振吸声结构	(119)
第五章 隔声技术	(137)
第一节 隔声定义和隔声效果的评价方法	(137)
一、隔声定义	(137)
二、隔声效果的评价方法	(137)
第二节 隔声构件的隔声性能	(141)
一、单层密实均质构件的隔声性能	(141)
二、双层密实结构的隔声性能	(148)
三、软质隔声结构的隔声	(152)
第三节 隔声间的设计与应用	(154)
一、具有门窗的隔墙的隔声	(155)
二、门窗隔声的具体处理办法	(157)
三、孔隙对墙体的隔声影响	(161)
四、隔声间的隔声量确定	(162)
第四节 隔声罩、隔声屏	(163)
一、隔声罩	(163)
二、隔声屏	(170)

三、管道噪声的隔绝	(176)
第五节 个人防护用品	(177)
一、防声耳塞	(178)
二、耳罩	(180)
三、防声帽盔	(181)
第六章 消声器	(182)
第一节 概述	(182)
一、消声器的分类	(182)
二、消声器设计的基本要求	(183)
三、消声器设计的工作步骤	(183)
第二节 阻性消声器	(184)
一、阻性消声器消声量的计算	(184)
二、几种类型的阻性消声器	(186)
三、阻性消声器设计要点	(188)
四、阻性消声器应用实例	(189)
第三节 抗性消声器	(192)
一、扩张室消声器	(192)
二、共振消声器设计与应用	(199)
三、干涉消声器	(204)
四、抗性消声器设计实例	(205)
第四节 阻抗复合式消声器和其他消声器	(206)
一、阻抗复合式消声器	(206)
二、微穿孔板消声器	(209)
第五节 高压排气放空消声器	(211)
一、节流减压消声器	(212)
二、小孔喷注消声器	(218)
三、多孔扩散消声器	(219)
四、节流降压和小孔喷注复合消声器	(220)
第七章 隔振与减振阻尼	(223)
第一节 隔振	(223)

一、隔振原理与设计	(223)
二、固体声的隔绝	(235)
三、其他管线部件的隔离和固定	(236)
四、常用隔振器和隔振垫层	(238)
第二节 阻尼减振	(247)
一、减振合金	(247)
二、减振阻尼涂料	(249)
第八章 噪声与振动测量	(256)
第一节 噪声测量	(256)
一、噪声测量仪器	(256)
二、噪声测量方法	(265)
第二节 振动测量	(275)
一、振动测量仪器	(275)
二、振动测量的一般方法	(284)
参考文献	(287)

第一章 声音的基本性质

第一节 声音的产生和传播特性

治理噪声首先要弄清声音的基本性质，即声音的“脾气”，才能对症下药加以解决。

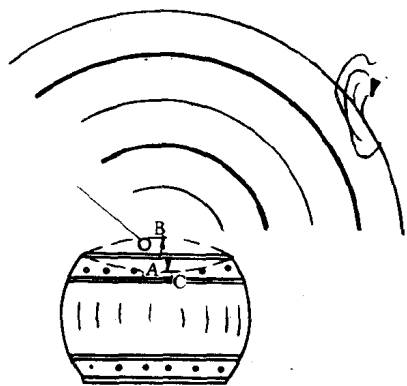
一、声音的产生——振动和波动

(一) 物体振动是产生声音的根源

如果我们仔细观察日常生活所接触到的各种发声物体，就会发现声音来源于物体的振动。为了说明这个问题；我们作个简单试验：当你用鼓锤去敲鼓，就会听到鼓声，这时你用手去摸鼓面，就会感到鼓面迅速地振动着。如果用手掌压住鼓面使它停止振动，鼓声就会立即消失。这个实验告诉我们，鼓面振动产生了声音。工厂中铁锤敲打钢板，引起钢板振动发声，织布机飞梭不断撞击打板的振动发声等，都是由振动的物体发出来的，我们把能够发声的物体叫做声源。当然声源不一定非固体振动不可，液体、气体振动同样会发声，化工厂中输液管道阀门的噪声就是液体振动发声，高压容器排气放空时的排气吼声，就是高速气流与周围静止空气相互作用引起的空气振动的结果。既然声是由物体振动引起的，下面简单剖析一下振动。

要了解发声物体振动时的情况，以鼓面振动为例来说明，如图 1-1，在没有敲击鼓面时，鼓面上的一点 A 处于静止平衡位置上，经过鼓锤用力敲击之后，就会发现鼓面 A 点，忽儿在鼓面原来平衡位置的上边，忽儿在鼓面的下边不停地振动起来，因

为鼓面振动的很快，范围很小，所以人不容易看出来，如果用一小纸团团扔在鼓面上面，小纸团在鼓面上就会跳动起来。鼓面振动离开平衡位置最大的距离如图 1-1 中 AB 或 AC 叫振幅。



鼓面上下来回一次算一次全振动，一次全振动所需要的时间叫周期，用 T 表示，单位是秒。一秒钟内全振动的次数叫频率用 f 表示，单位是赫（兹）或记 Hz。显然周期 T 和频率 f 是互为倒数关系，如公式 (1-1)。

图 1-1 鼓面振动发声

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

人耳可以听到的声音频率范围在 20Hz 到 2×10^4 Hz 之间，高于 2×10^4 Hz 的叫超声，低于 20Hz 的叫次声，超声和次声人耳听不到，但是人体能感受到低于 20Hz 以下的振动。某些动物，如老鼠可以听到 16Hz 以下的次声，狗和蝙蝠可以听到 2×10^4 Hz 以上的超声，本书讲的主要是人耳可能听到的声音。

(二) 物体振动在空气中的传播——波动

物体振动发声，总要通过中间介质才能把声音能量传播出去，而中间介质必须是弹性介质。空气兼有质量和弹性的自然特性，在大气温度和压力下，空气的重量大约是 1.2kg/m^3 。在一个封闭管子内，推进一个活塞，当空气受压时，就象弹簧一样产生抵抗力，所以可以传递波动。在任何情况下，声音是不能行经真空的。人耳平时听到的声音大部分是通过空气传播的。

空气能传播声音，液体、固体同样也能传声，比如潜水员潜入水中可以清楚地听到轮船上的机器声，把耳朵贴在钢轨上就可以听到远处驶来的列车嘈杂声。

那么声音又是怎样通过空气把振动的能量传播出去的呢？

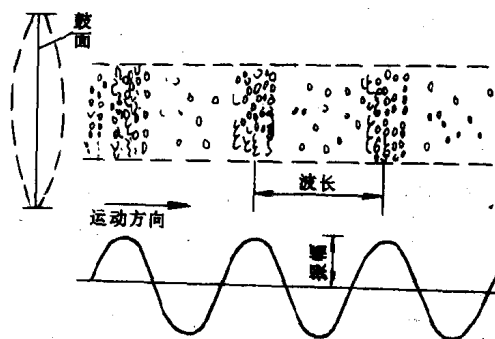


图 1-2 振动与声波

以鼓面振动为例，如图 1-2。用力敲一下鼓面，鼓面则一来一回的运动，就会扰动鼓面邻近空气质点随之来回运动，这时鼓面一侧的空气质点被挤压而密集起来，另一侧则变得稀疏，当鼓面向反方向运动时，原来质点密集的地方变为稀疏，原来稀疏的地方则密集起来，由于空气是个弹性介质，振动的鼓面使空气质点时而密集，时而稀疏，带动邻近的空气质点，由近及远地依次振动起来，这样就形成了一疏一密的“空气层”，这一层层的疏密相间的“空气层”，就形成了传播的声波。当这种声波传到入耳，引起鼓膜的振动，刺激了内耳的听觉神经，人就产生了声音的感觉。

声音在空气中传播时，空气质点本身并不随声波一起传播出去，空气质点只在它的平衡位置附近前后作纵向振动。这有

如把一石块投入宁静的水中,水面立即出现一圈圈的圆形波纹,初看好像水随波浪运动着,但从浮在水面上的树叶来看,树叶仅仅在它原来的位置上,上下不停的浮动,并不随波移走,所以声音的传播实质是物体振动的传播,即传播出去的是物质运动的能量,而不是物质本身,这说明声音是物质的一种运动形式,这种运动的形式叫波动。

振动和波动是互相密切关联的运动形式,振动是波动的产生根源,波动是振动的传播过程,声音在本质上是一种波动。因此,声音也叫声波。

声波在空气中传播,引起空气质点振动的方向和波传播的方向一致,所以空气中的声波是纵波,又称之疏密波。

物体振动发声时,在同一个时刻波到达各点可以连成一个面称为波前或波阵面,根据这个面的形状把声波分为平面波,球面波等各种类型。

(三) 声波的波长、频率和声速

在声波中,如图 1-2 两个相邻密集或两个相邻稀疏间的距离称之为波长,换句话说,振动经过一个周期,声波传播的距离叫波长,用希腊字母 λ 表示,单位是 m。一秒钟内振动的次数是频率,显然频率和波长的乘积就是声速,声速用 c 表示,单位是 m/s。波长、频率和声速之间成公式 (1-2) 关系

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

声速是表示声波在弹性介质中传播的速度对于空气中的声速可由式 (1-3) 求出

$$c = c_0 + 0.6t_0 \quad (1-3)$$

式中 c ——声速, m/s;

c_0 ——零度时的声速等于 331m/s;

t_0 ——温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

声音速度是随温度的变化而改变,温度每升高 1°C ,声速约增加 0.6m/s 。

在不同的介质中声速是不同的。在空气中,室温条件下,声速约为 340m/s ;在水中的声速近似为 1450m/s ;在钢铁中约为 5000m/s ;在玻璃中约为 $5000\sim 6000\text{m/s}$;在橡胶中约为 $40\sim 150\text{m/s}$ 。

在同一介质中,同一温度下的声速一般变化不大,按照(1-2)式,如果声速已定,波长和频率必然成反比关系。图1-3所示是在 20°C 的空气中的声速约为 340m/s ,频率为 20Hz 时,波长等于 17m ,频率为 1000Hz 时,波长为 0.34m ,说明振动频率低则波长长,频率愈高则波长短,这对进行噪声控制是很重要的,因为控制长波(低频声)和控制短波(高频声)的技术措施是完全不同的。

二、声波传播的特性

(一) 声音的辐射与衰减

声波在一个没有边界的空间中传播,如果它的波长比声源尺寸大得多时,(多在低频时发生)声波就以球面波动的形式均匀地向四面八方辐射,把这种声源叫点声源。显然点声源辐射球面波,它没有方向性,如图1-4(a)。当声源辐射的声波,其波长比声源尺寸小很多的时候,这时声源发出去的声波就以略微发散的“声束”向正前方传播。当声波的波长与声源尺寸相比,其比值愈小则辐

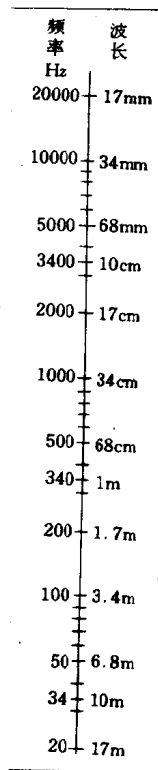


图1-3 波长与频率的关系

射的声束的发散角愈小，方向性愈强。当二者相比非常小时，声音以几乎不发散的声束成平面的形状由声源向外传播，如图 1-4 (b)。平时听到的高音喇叭声，在它的正前方听到的音量很高，在它的背面或侧面声音就显得弱而且音调发闷，就是高频声波长短、方向性强的道理。

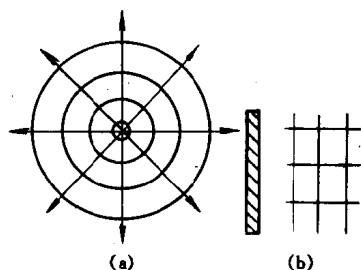


图 1-4 声波的辐射

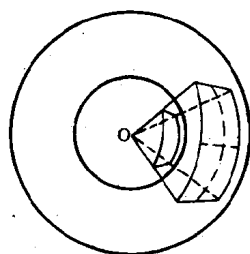


图 1-5 声波的衰减

声波自声源向四周辐射，其波前面积随着传播的距离增加而不断扩大，声音的能量被分散开来，相应的通过单位面积的声能就小。因为声源每秒钟发出的声能量是一定的，所以声音的强度一般随距离的增加而衰减。对于点声源来说声音随距离的平方反比规律衰减，当距声源距离增加 2、3、4 倍时，声音的能量将相应减少为 $1/4$ 、 $1/9$ 、 $1/16$ ……如图 1-5。

声音在大气中传播，由于空气的粘滞性，热传导等影响，声音能量不断地被空气吸收而转化为其他形式，比如空气分子间的摩擦可使部分声能量转化为热能而消耗掉，从而达到声衰减。由于空气吸收引起的声衰减与声音的频率、空气的温度、湿度有关，高频声振动快，空气疏密相间变化频繁，所以高频声比低频声衰减的快。

(二) 声波的反射、折射和绕射

声波在空气中传播，遇到障碍物，就会象皮球碰到墙面一样立刻被反射回来，我们在山谷中大声喊叫听到的回声，在浴室里说话，听到的由四墙反射回来含混不清的混响声都是声的反射现象。

声波由一种介质进到另一种介质时，在两种介质的分界面上，在传播的方向上就要发生变化，比如空气中的声音遇到墙面，一部分声能量被反射回到空气中而形成反射波，其余部分传入到墙内而形成折射波。山谷中的回声就是被山谷反射回来的反射声。由于声音往返的距离较长，经一段时间才可清晰地听到它的回声，这就是声音遇到固体的反射现象。声音遇到液体、气体同样会产生反射，就是遇到大量水蒸汽和乌云也能反射。夏天隆隆雷声就是声波在地面与乌云之间，乌云与乌云之间反射的结果。

为什么声音从一种介质传到另一种介质在分界面处会产生声反射现象呢？这是由于两种介质的声阻抗不同所致。声阻抗（有时称特性阻抗）用 $\rho_0 c$ 表示， ρ_0 表示介质密度， c 表示该介质中的声速，不同的介质具有不同的声阻抗。对于“无限”介质中的空气，它的特性阻抗 $\rho_0 c$ 在 1 巴大气压、20℃ 下约等于 400 瑞利^①。表 1-1 中列出几种常见材料的密度和声速。

理论和实践证明，当两种介质的特性阻抗 $\rho_1 c_1$ 和 $\rho_2 c_2$ 相接近时，声波几乎全部由第一种介质进入第二种介质。当第二种介质 $\rho_2 c_2$ 远远大于或小于第一种 $\rho_1 c_1$ 时，声波都会被反射回去。由表 1-1 看出，液体和固体的特性阻抗都比空气的特性阻抗大，

① 数量 $\rho_0 c$ 称为传播声波媒质的特性阻抗。用瑞利表示，1 瑞利 = $1 \text{ kg} / (\text{m}^2 \cdot \text{s})$ (米·千克·秒制)。