

环境保护知识丛书



(第二版)

徐世勤 王 檣 编著
冶金工业出版社

全国“星火计划”丛书

环境保护知识丛书

工业噪声与振动控制

(第二版)

徐世勤 王 楠 编著

北 京

冶金工业出版社

1999

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术工人阅读。

图书在版编目(CIP)数据

工业噪声与振动控制/徐世勤,王樯编著. - 2版. - 北京:冶金工业出版社,1999.1

(环境保护知识丛书)

ISBN 7-5024-2279-X

I. 工… II. 徐… III. ①工业噪声-噪声控制②工业生产-振动控制 IV. TB53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 26868 号

出版人 卿启云(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

责任编辑 张维真 美术编辑 熊晓梅 责任校对 符燕蓉 责任印制 李玉山

北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

1999 年 1 月第 2 版,1999 年 1 月第 2 次印刷

850mm×1168mm 1/32; 5.375 印张; 142 千字; 162 页; 5601-9600 册

11.50 元

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

《全国“星火计划”丛书》编委会

顾 问：杨 浚

主 任：韩德乾

第一副主任：谢绍明

副 主 任：王恒璧 周 谊

常务副主任：罗见龙

委 员(以姓氏笔画为序)：

向华明	米景九	达 杰	(执行)
刘新明	应曰珽	(执行)	陈春福
张志强	(执行)	张崇高	金 涛
金耀明	(执行)	赵汝霖	俞福良
柴淑敏	徐 骏	高承增	蔡盛林

序

经党中央、国务院批准实施的“星火计划”，其目的是把科学技术引向农村，以振兴农村经济，促进农村经济结构的改革，意义深远。

实施“星火计划”的目标之一是，在农村知识青年中培训一批技术骨干和乡镇企业骨干，使之掌握一、二门先进的适用技术或基本的乡镇企业管理知识。为此，亟需出版《全国“星火计划”丛书》，以保证教学质量。

中国出版工作者协会科技出版工作委员会主动提出愿意组织全国各科技出版社共同协作出版《全国“星火计划”丛书》，为“星火计划”服务。据此，国家科委决定委托中国出版工作者协会科技出版工作委员会组织出版《全国“星火计划”丛书》，并要求出版物科学性、针对性强，覆盖面广，理论联系实际，文字通俗易懂。

愿《全国“星火计划”丛书》的出版能促进科技的“星火”在广大农村逐渐形成“燎原”之势。同时，我们也希望广大读者对《全国“星火计划”丛书》的不足之处乃至缺点、错误提出批评和建议，以便不断改进提高。

《全国“星火计划”丛书》编委会

1987年4月28日

第二版前言

环境问题与资源、人口问题已被国际社会公认为是影响 21 世纪可持续发展的三大关键问题。随着二十几年来我国经济的高速发展和人民生活水平的不断提高,污染物排放量迅速增加,环境污染已成为制约我国经济与社会的进一步发展及人民生活与健康水平进一步提高的重大因素。我国早将保护环境确定为一项基本国策,并制订了经济建设、城乡建设和环境建设同步规划、同步实施、同步发展,实现经济效益、社会效益和环境效益相统一的方针。近年来,我国人民的环境意识普遍提高,保护、治理、改善环境的重要性已得到全社会的共识,环保工作者更是责无旁贷。因此,广大环保管理工作、环保技术人员和技术工人,以及社会各界人士有必要进一步了解学习和掌握环境保护的基础知识和基本技能,本丛书正是为适应这一需要而编写的。

本丛书第一版出版于 80 年代,出版后受到了广泛好评。由于近几年来环保理论与技术又有了新的发展,有关法规与标准也有所修改,为此,我们对丛书作了必要的修订。本丛书属于技术普及性读物,在内容上力求做到理论与技术相结合,理论与实际相结合,并重在实际应用,尽可能回答生产实践中经常遇到的种种问题;在编写风格上,则尽可能做到语言简练,深入浅出,概念明确,内容翔实。全套丛书包括八个方面:环境工程入门、工业烟气净化、除尘装置与运行管理、工业废水处理、固体废物的处理与利用、工业噪声与振动控制、环境污染物监测,以及环境监测仪器使用与维护。

参加本丛书编写与再版修订工作的有(以姓氏笔画为序):王檣、台炳华、张殿印、陈康、陈尚芹、易洪佑、徐世勤、黄西谋、崔志澂、梁泽斌、董保澍。丛书由张殿印、陈康总编。

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.....	(6)
第三节 振动的基本概念	(15)
第四节 噪声与振动控制的一般方法	(18)
第二章 噪声的危害及评价和标准	(22)
第一节 噪声的危害	(22)
第二节 噪声的评价	(29)
第三节 噪声的标准	(39)
第三章 工业噪声与振动的测量	(45)
第一节 测量仪器	(45)
第二节 测量方法	(62)
第四章 吸声	(77)
第一节 吸声材料和吸声结构	(77)
第二节 吸声测量	(87)
第三节 吸声设计	(90)
第五章 隔声	(94)
第一节 隔声结构	(94)
第二节 隔声技术	(99)
第三节 隔声测量.....	(105)
第四节 隔声设计.....	(106)
第六章 消声器.....	(110)
第一节 消声器的性能评价.....	(110)
第二节 消声器的分类及消声机理	(110)

第三节	消声器的测量技术	(130)
第四节	消声器的设计	(133)
第七章	振动控制	(136)
第一节	隔振技术	(136)
第二节	阻尼减振	(141)
第三节	隔振设计	(142)
第八章	几种工业噪声源及其控制	(145)
第一节	鼓风机噪声及其控制	(145)
第二节	空压机噪声及其控制	(149)
第三节	球磨机噪声及其控制	(152)
第四节	电动机噪声及其控制	(153)
第五节	泵噪声及其控制	(154)
附录		(156)
附录一	工业企业噪声卫生标准(试行草案)	(156)
附录二	城市区域环境噪声标准	(157)
附录三	常用材料的吸声系数(管测 α_0)	(159)
附录四	常用厚度钢板的隔声量	(161)
附录五	常用厚度玻璃的隔声量	(162)

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。一般来说,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,而另一些科学家却在研制各种可以发出能催眠噪声的装置。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做传声媒质。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,产生听觉使人听到声音。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 $2 \times 10^{-5} \text{Pa}$,可听到的声音(可听声)的频率范围是 $20 \sim 20000 \text{Hz}$ 。频率低于 20Hz 的声波叫次声,超过 20kHz 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,而是可听声范围内的声波。

二、噪声的来源

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。自然界的噪声是火山爆发、地震、潮汐、下雨和刮风等自然现象所产生的空气声、雷声、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。

(一)工业噪声

工业噪声一般是指在工业生产过程中,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。

(二)交通噪声

交通噪声是各类运输器具发出的噪声,主要有航空噪声、火车噪声、汽车噪声和船舶噪声。航空噪声所带来的环境问题非常尖锐,因为航空噪声声级高,危害严重。随着我国航空事业的发展,机场飞机起降增多,而且一些机场离市区很近,飞机起降经过城市上空,造成的噪声污染将更为严重。例如,西北某机场飞机起飞和降落,其噪声声级均超过国际民航组织(IACO)标准 $6 \sim 10\text{dB(A)}$ 。

火车在城区通过时其噪声也很严重,铁路附近居民受到相当大的干扰,有人对铁路附近青少年的心电图进行分析,发现自幼生活在铁路两侧的人,心脑功能同对照组相比有显著差异。

汽车噪声的污染普遍存在,据统计分析,汽车鸣笛声通常提高噪声级 $3 \sim 6\text{dB}$,所以一些大中城市规定汽车在市区不得鸣喇叭。但更多的城乡无此规定。

港口码头都有船只的鸣笛噪声,对此尚没有相应的限制措施,其噪声污染是客观存在的。

(三)建筑施工噪声

建筑施工噪声虽然是一种临时性的污染,施工完毕污染也就解除,但其声音强度很高,又属于露天作业,因此,污染十分严重。有检测结果表明,建筑基地打桩声能传到数公里以外。

(四)社会噪声

社会噪声包括生活噪声及其他噪声,如鞭炮鸣放声、广播电视

录音机声、钢琴管乐器练习声、儿童嬉闹声、自来水管路噪声、楼板的敲击声、门窗关闭撞击声、走步声等等。放音乐、看电视、玩乐器影响邻近居民的事例不胜枚举。

三、噪声污染的特点

噪声污染同水、气、渣等物质的污染相比,具有其显著的特点:

(1)具有能量性。噪声污染是能量的污染,它不具有物质的累积性。声源关闭,污染便消除。噪声的能量转化系数很低,约为 10^{-6} ,即百万分之一。换言之,1kW 的动力机械,大约只有 1mW 变为噪声能量辐射。可以作一个形象的比喻,1500 个人坐在一起谈话,谈了一个半小时,积累起来的能量只能把一杯水烧开。因此,“变废为宝”,在噪声治理中是不现实的。

(2)具有波动性。声能是以波动的形式传播的,因此噪声,特别是低频声具有很强的绕射能力。噪声可以说是“无孔不入”。

(3)具有局限性。一般的噪声源只能影响它周围的一定区域。它不会像大风中的颗粒物质,能飘散到很远的地方,其扩散和危害具有局限性。

(4)具有难避性。突发的噪声是难以逃避的,“迅雷不及掩耳”就是这个意思。人耳这个器官,不会像眼睛那样迅速合闭来防止光污染,也不会像鼻子遇有异味屏气以待。即使在睡眠中,人耳也会受到噪声的污染。由于噪声以 340m/s 的速度传播,因而即使闻声而跑,也避之不及。

(5)具有危害潜伏性。有人认为,噪声污染死不了人,因而不重视噪声的防治。多数暴露在 90dB 左右噪声条件下的职工,也认为能够忍受,实际上这种“忍受”是以听力偏移为代价的。生活环境的噪声污染,主要带来的是语言干扰、睡眠干扰和烦恼效应,由此会引起神经衰弱及其他非特异性疾病。因此,噪声的危害不可低估。

四、我国工业噪声的概况

有关单位曾对北京地区的钢铁、石油化工、机械、建工建材、电

子、纺织、印刷、食品、造纸行业等 100 多个工矿企业的车间噪声和典型机器噪声进行过测试分析,现将测试结果列于表 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 ~ 105dB 之间。表 1-2 为按声级排列的机械设备噪声状况。

表 1-1 各类工业企业噪声的声级范围

工 业 部 门	声级范围/dB	个别情况的声级/dB
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	

表 1-2 按声级排列的机械设备噪声状况

声级/dB	机 械 设 备 或 厂 房 、 车 间
130	风铲、风钎、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、放大机、电子刻板真空镀膜机

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 m。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 Hz。它是指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 m/s。它是声波在单位时间内的传播距离。声速与传声媒质的温度有关,在空气中,其变化规律大致是

$$c = 332 + 0.6t \quad (1-1)$$

式中 t ——媒质的温度,单位为 $^{\circ}\text{C}$ 。

在水中,水温为 20°C 时,声速为 1480m/s ,通常水温升高 1°C ,声速约增加 4.5m/s 。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 500m/s ,在钢中却是 5000m/s 。

波长、频率和声速之间的关系为

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

其中前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,单位为 m;

A ——振幅,单位为 m;

ω ——圆频率, $\omega = 2\pi f$;

t ——时间,单位为 s;

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,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,会导致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。

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

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;

c_2 ——媒质 II 的声速。

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。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。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。

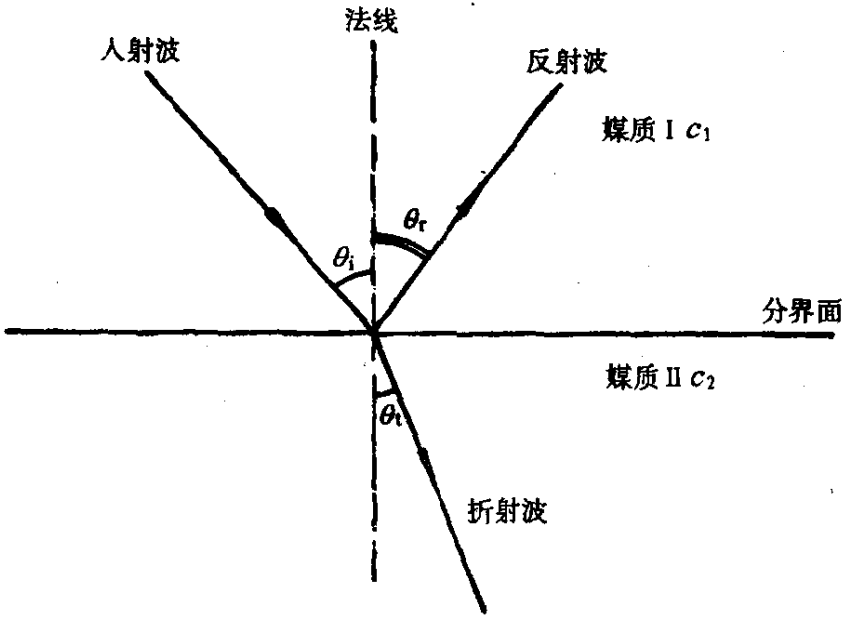


图 1-1 声波的反射和折射

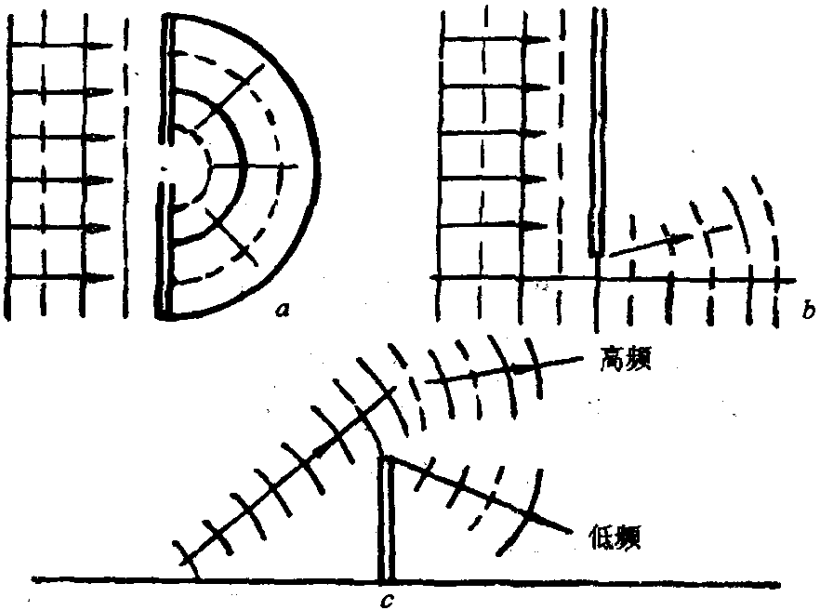


图 1-2 声波的绕射现象

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叠加而成。驻波的波形不随时间而变化,好像永驻不动似的,人们正是根据这个特点,称其为驻波。

二、噪声的物理量度

(一)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。这种在大气压力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 Pa。声音越强,声压就越大;反之,声压就越小。

人耳对 1000Hz 纯音的听阈声压是 $2 \times 10^{-5} \text{Pa}$, 只有一个大气压力的 50 亿分之一;飞机的强力发动机发出的声音高达 10^2Pa , 这是人耳能短时忍受的最大声压了,而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。为了使用方便,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,称为声压级,其定义是声压平方和 1000Hz 纯音的听阈声压平方比值的对数,单位是贝尔。但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 10 份,