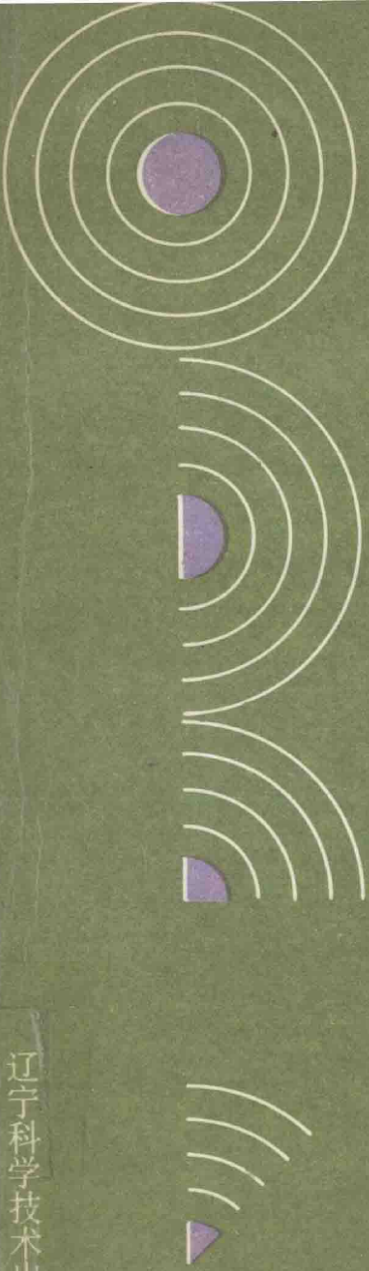


实用 噪声及振动控制技术

主编 李道成 周迺荣 尧祖信



辽宁科学技术出版社

实用噪声及振动控制技术

主 编 李道成 周迺荣 尧祖信
编写人员 赵日哲 尧祖信 周希久 李东阳 李荣多

辽宁科学技术出版社

实用噪声及振动控制技术

Shiyong Zaosheng ji Zhendong Kongzhijishu

主编 李道成 周通荣 尧祖信

辽宁科学技术出版社出版发行

(沈阳市和平区北一马路 108 号 邮政编码 110001)

东煤地质局沈阳印刷厂印刷

开本: 850×1168 1/32 印张: 15 1/2 字数: 397 千字

1993 年 10 月第 1 版

1993 年 10 月第 1 次印刷

责任编辑: 韩延本

版式设计: 李 夏

封面设计: 曹太文

责任校对: 张 力

插 图: 曹文英

印数: 1-6, 000

ISBN7-5381-1761-1/x·11 定价: 13.80 元

(辽) 新登字 4 号

内 容 提 要

本书是一部系统介绍噪声和振动控制技术,以及环境噪声质量评价的综合性工具书。全书共分两篇九章,第一篇介绍噪声和振动的基本性质,噪声测量方法,工业噪声控制方法(吸声、隔声、消声器等),矿山设备噪声的控制和隔振技术等;第二篇介绍环境噪声污染概况,环境噪声预测、评价和合理规划,以及环境噪声控制方法等。

本书注重理论联系实际,汇集了大量国内外有关资料,包括基础知识、基本理论、设计、计算及测试方法、数据、图表及控制措施等,还总结了通风机动叶与中后导叶最佳匹配角度下性能与噪声变化规律的最新技术成果,资料新颖,内容丰富,具有实用价值。

本书是从事劳动保护、环境工程、安全技术、城市规划、厂矿企业设计制造等岗位工作的科技人员和有关管理人员以及大专院校有关专业师生的良好参考读物。

前 言

随着我国现代科学技术的发展，噪声污染日趋严重，给人们带来的危害已引起各界的重视，对噪声污染的控制与管理已提到议事日程。为适应当前对噪声控制技术的需要，我们组织编写了《实用噪声及振动控制技术》一书。

本书分两篇，第一篇着重阐述噪声、振动的基本性质及其控制方法；第二篇着重阐述环境噪声质量评价。在编写过程中，广泛查阅了许多国内外有关资料，走访了一些厂、矿和设计单位以及大专院校，注意综合及总结了国内实践经验。本书内容以实践为主，理论与实际紧密结合，资料新颖，内容丰富，简明易懂，是一本比较系统而且有实用价值的工具书。

本书在编写过程中，得到了煤炭工业部生产司、重庆煤炭设计研究院的环境保护所、电算中心和技术处、沈阳煤炭科学研究所以及煤炭部李信祥高级工程师的大力支持和帮助。

本书承蒙李淑琴高级工程师、吴卫彬教授、张沛商副教授审阅，提出许多宝贵意见；聂能光及张维屏教授、卫明副院长、东方高级工程师提供了重要文献，徐宝林、张玉梅高级工程师及王维新教授提供了有关译文资料，以上对提高本书质量及丰富内容起到了很大作用。钟坚敏、曹文英、姚田田、徐凤兰等同志对编写工作做了有益的帮助。谨向上述单位和同志表示衷心感谢。

由于水平有限，书中难免有不当和错误之处，恳请读者指正。

编 者

1993年8月

目 录

前言

第一篇 设备噪声、振动及其控制	(1)
-----------------------	-----

第一章 噪声概述	(1)
----------------	-----

第一节 声波与噪声	(1)
-----------------	-----

第二节 噪声评价参数	(7)
------------------	-----

第三节 噪声频谱	(16)
----------------	------

第二章 噪声测量	(19)
----------------	------

第一节 噪声测量仪器	(19)
------------------	------

第二节 噪声测量方法	(30)
------------------	------

第三节 测量参数计算及数据处理	(46)
-----------------------	------

第三章 工业噪声控制的基本方法	(75)
-----------------------	------

第一节 降低声源噪声	(75)
------------------	------

第二节 隔声	(77)
--------------	------

第三节 吸声	(112)
--------------	-------

第四节 消声器	(148)
---------------	-------

第五节 噪声接受点的个人防护	(176)
----------------------	-------

第四章 矿山设备的噪声及其控制	(179)
-----------------------	-------

第一节 矿井主通风机噪声控制	(179)
----------------------	-------

第二节 空气压缩机噪声控制	(215)
---------------------	-------

第三节	局扇噪声控制	(229)
第四节	其他机械噪声控制	(241)
第五章	振动及其控制	(248)
第一节	振动概述	(248)
第二节	振动控制	(269)
第三节	隔振与抗振设计	(276)
第二篇	环境噪声质量评价	(297)
第六章	环境噪声综述	(297)
第一节	环境噪声污染概况	(297)
第二节	工业噪声	(304)
第三节	交通噪声	(332)
第七章	环境噪声质量评价工作程序	(357)
第一节	城市环境噪声标准	(358)
第二节	环境噪声调查与评价大纲	(363)
第三节	环境噪声监测	(365)
第四节	环境噪声质量评价方法	(380)
第五节	环境影响评价报告书编制纲要	(395)
第八章	环境噪声预测	(401)
2 第一节	环境噪声传播衰减	(401)
第二节	计算模式	(420)
第三节	等值噪声曲线计算	(437)
第四节	网格法预测环境噪声计算	(447)
第五节	交通噪声预测	(454)
第九章	环境噪声控制	(464)

第一节	合理规划.....	(464)
第二节	防噪布置技术.....	(470)
第三节	噪声管理.....	(487)

第一篇 设备噪声、振动 及其控制

第一章 噪声概述

第一节 声波与噪声

一、声 波

声波在大气中传播时,振动和波动是密切联系的运动形式。振动是波动的产生根源,而波动是振动的传播过程,声音在本质上是由振动产生的。

在日常生活中,物体振动产生声音的例子是很多的。例如人们的谈话声、各种机器的运转声等,虽然它们的具体形式多种多样,但声音都是来自于物体的振动,讲话声来自喉管内声带的振动,机器声来自机器部件运转时的振动。由此可见,声音总是由振动着的物体发出的,因此,我们把振动发声的物体叫做声源。

声源发出的声音,必须通过介质才能传播出去。介质有固体、液体、气体三种。声波是介质密度变化的波,即疏密波。

声波在空气中传播时,引起空气质点振动的方向与声波传播的方向是一致的,所以空气中的声波是纵波,如图 1-1-1 所示。

由图可以看出，声波引起空气质点作疏密的周期变化，这一疏一密的振动与声波的传播方向相同。

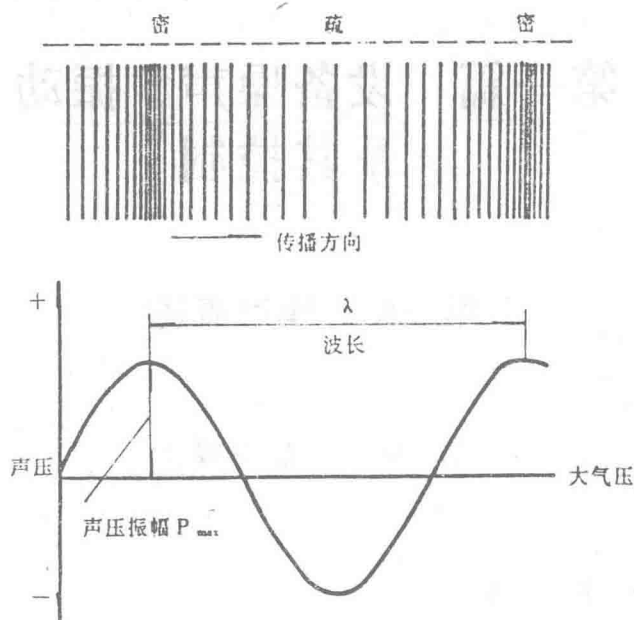


图 1-1-1 声波传播示意图

根据声波性质的不同，可分为平面波、球面波、柱面波和其他波。平面波是垂直于振动方向的平面形声波，球面波是波振面呈同心球面的声波，柱面波是波振面呈同轴圆柱面的声波。

声速是表示声波在弹性介质中传播的速度。在不同的介质中声速是不同的，在各种介质中声速的阻抗特性如表 1-1-1 所列。

表 1-1-1 各种介质中声速的阻抗特性

介质种类	温度 (°C)	声速 C(m/s)	密度 $\rho(\text{kg/m}^3)$	阻抗特性 $\rho c(\text{kg/m}^2 \cdot \text{s})$
空气(1个大气压)	20	344	1.20	413
水	20	1480	1000	14.8×10^5
天然橡胶	20	1550	950	14.7×10^5
玻璃		5600	2700	15×10^6
软钢		5900	7800	46×10^6

声速的计算公式如下：

$$c = \lambda f, \quad \text{m/s} \quad (1-1-1)$$

式中 λ —— 波长, m;

f —— 频率, Hz。

空气中的声速 c 按下式计算：

$$c = 331.5 \sqrt{\frac{273+t}{273}} \approx 331.5 + 0.61t \quad \text{m/s} \quad (1-1-2)$$

式中 t —— 摄氏温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

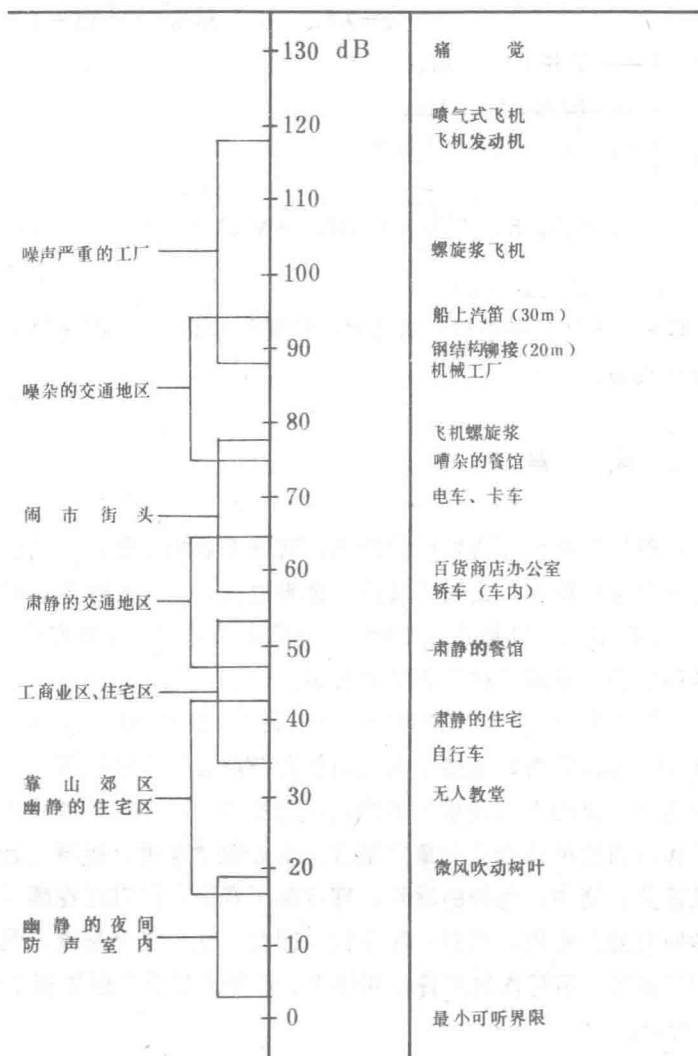
可见, 声速是随温度而改变的, 温度每升高 1°C , 声速每秒约增加 0.61m 。

二、噪 声

噪声是工业和社会发展的产物。随着工业的发展, 厂矿企业机器设备越来越多, 交通工具速度越来越快, 产生的噪声也越来越强。噪声不仅对环境造成干扰, 而且危害人类的安全和健康, 诱发各种疾病。噪声已被列为世界公害之一。

在热闹的道路上, 车声隆隆, 喇叭尖叫; 在矿山和工厂里, 机器轰鸣, 物体撞击, 这些令人厌烦的混杂声音, 就是噪声。从物理学来讲, 协调声为音乐, 不协调声为噪声。噪声就是各种不同频率和声强的声音杂乱无章的组合; 从心理学来讲, 噪声与音乐很难区分, 例如, 悠扬的歌声, 理应属于音乐, 但对正在睡觉或思考问题的人来说, 则是一种干扰。因此, 从广义上来说, 凡是人们不需要、不喜欢的声音都叫噪声。各种声源的噪声如表 1-1-2 所列。

表 1-1-2 各种声源地区的噪声概略值



三、噪声的危害

噪声对人的危害是多方面的。它不仅影响人的正常生活、影响劳动效率，而且直接影响人身安全。

1. 噪声可以使人耳聋

当人们听到较强的噪声时，就会感到刺耳难受，往往在离开噪声环境后，耳内还会感觉嗡嗡作响。这种情况持续时间不长，只要在安静的环境中休息一段时间，听觉就会渐渐恢复原状，听觉器官并未受到损害；如果长年累月地在强噪声环境中工作，长期持续地受强噪声的刺激，内耳听觉器官就会遭受损害而致聋。这种听力损失的现象叫做噪声性耳聋，它是一种职业病。

一般地说，在 10dB 以内的听力损失为正常情况，在 30dB 以内为轻度噪声性耳聋，在 60dB 以内为中度噪声性耳聋，超过 60dB 的为重度噪声性耳聋。

噪声性耳聋的发病率与噪声的强度和频率有关。噪声强度越大，频率越高，噪声性耳聋的发病率就越高。噪声性耳聋也与噪声作用的时间长短有关。同样强度的噪声，每天作用 8 小时就比每天作用半小时发病率要高得多。通常认为在 90dB (A) 以上的噪声环境下，长期工作，就有可能发生噪声性耳聋（还与个人的体质有关）。因此，在高噪声环境中作业时，必须采取适当的个人防护和噪声控制措施。

此外，当人们突然受到极其强烈的噪声刺激（高达 140~150dB）后，可使人的听觉器官发生急性外伤，引起鼓膜破裂流血，双耳安全失听，这叫做“耳外伤”，一次刺激就有可能使人耳聋。

2. 噪声诱发多种疾病

噪声以人的神经系统的危害，是由于噪声作用于中枢神经系统，使人的基本生理过程——大脑皮层的兴奋与抑制的平衡失调，导致条件反射异常，使脑血管张力遭到损害，神经细胞边缘出现

染色质的溶解，严重的可以引起渗出性血灶，脑电图电位改变。这些生理变化导致人们产生头疼、昏晕、耳鸣、多梦、失眠、心慌和全身疲乏无力等临床症状。这在医学上统称神经衰弱症或神经官能症。

噪声作用于中枢神经系统，还会影响人们的其他器官。如引起肠胃机能阻滞、消化液分泌异常、胃酸度降低、消化不良、食欲不振、恶心呕吐，导致胃病或胃溃疡发病率的增高等。

3. 噪声影响正常生活

噪声影响人们的正常生活，有人做过试验，在 40~45dB (A) 的噪声刺激下，睡眠的人脑电波就出现了觉醒反应，这说明在 45dB (A) 的噪声下就开始对正常人的睡眠产生影响，而对神经衰弱的人噪声再低也会产生干扰。

噪声还干扰人们的正常活动，如谈话、听广播、打电话、开会和学习等。在噪声很高的环境里，强烈噪声能掩蔽安全警报信号，分散人们的注意力，导致伤亡事故的发生。

随着煤矿工人和煤矿附近居民文化生活水平的提高和法制观念的加强，因煤矿噪声而引起的诉讼案件日益增加，如鸡西矿务局、七台河矿务局某些矿因主通风机噪声过高而被迫迁移，因局部通风机噪声过高而被起诉。据双鸭山矿务局统计，因局部通风机噪声过高而引起的伤亡事故已有十余起。可见噪声对煤矿的危害是十分严重的。

4. 噪声影响工作效率

在嘈杂的环境里，人们的心情烦躁，工作时容易疲劳，反应也迟钝，因此，劳动效率明显降低。本来一天可以完成 10 件产品，在噪声环境下，7 件也难完成。对精密加工或脑力劳动的人，噪声影响更是明显。

在噪声刺激下，人们精力不集中，不仅影响工作速度，还会降低工作质量。有人对电话交换员进行过调查，发现噪声从 50dB 降到 30dB 时，差错率减少 42%。

第二节 噪声评价参数

一、常用声学量

常用声学量及其定义如表 1-2-1 和表 1-2-2 所列。

表 1-2-1 常用声学量及其单位 (GB3102.7-82)

量的名称	符 号	单位名称	单位符号	备 注
声压	p	帕〔斯卡〕	Pa	
声压级	L_p	分贝	dB	
声强〔度〕	I	瓦〔特〕每平方米	W/m^2	
声强级	L_I	分贝	dB	
声源功率	W	瓦〔特〕	W	
声功率级	L_W	分贝	dB	
响度	N	宋	(Son)	
响度级	L_N	方	(phon)	
声能通量	ϕ	瓦〔特〕	W	
声能密度	D	焦〔耳〕每立方米	J/m^3	
传播系数	γ	每米	m^{-1}	
衰减系数	α	奈培每米	Np/m	传播系数的实数部分
相位系数	β			传播系数的虚数部分
损耗系数	δ			此量无量纲
反射系数	r			$\delta + r + \epsilon = 1$
透射系数	σ			$\alpha = \delta + \epsilon$
吸声系数	α			
音程(倍频程)		八度	(oct)	两个声音的音调间距

表 1-2-2 常用声学量的级及其基准值(GB3238-82)

名 称	定 义	基 准 值
声压级	$L_p = 20 \lg(p/p_0)$	空气中 $p_0 = 20 \mu Pa$ 水 中 $p_0 = 1 \mu Pa$
声功率级	$L_W = 10 \lg(W/W_0)$	$W_0 = 1 pW$
声强级	$L_I = 10 \lg(I/I_0)$	$I_0 = 1 pW/m^2$
声能密度级	$L_D = 10 \lg(D/D_0)$	$D_0 = 1 pJ/m^3$
自由场(电压)灵敏度(级)	$M = 20 \lg(M/M_0)$	空气中 $M_0 = 1 v/Pa$ 水 中 $M_0 = 1 v/Pa$

二、声压和声压级

当空气中没有声波时,空气中的压强即为大气压;当有声波传播时,空气就产生时疏时密现象,使压强在原来大气压附近上下变化,相当于在原来大气压上迭加一个变化的压强,这个迭加上去的压强就叫做声压,用符号 p 表示,单位是 Pa。

迭加上去的声压大,表示空气分子被压缩大,因而声波对人耳鼓膜的压力也大,我们听到的声音就响亮。只有声源的振幅大时,空气被压缩才大。因此,声压与声源的振幅有关,而与它的频率、波长是无关的。

声压是比较容易测量的物理量,因此人们常常用声压来衡量声音的强弱。正常人在声音频率为 1000Hz 的情况下,声压为 $20 \mu Pa$ 时,刚刚能听到,这个声压叫听阈声压;声压为 20Pa 时,产生震耳欲聋的声音,这个声压叫痛阈声压。人们正常说话时的声压约为 20~30mPa,是大气压的千万分之二、三左右。可见声压一工程压力相比,是很小的。

由上而知,人耳的听觉范围,从刚刚听到的声音到震耳的巨响,声压的变化范围为 $20 \mu Pa$ 到 20Pa,相差达 100 万倍。可见用

声压表示声音的强弱，数字冗长，极不方便。因此，考虑到人耳对声音强弱变化的感觉特性，采取按对数方式分等级的办法作为计量声压的单位，叫做声压级。引入“级”的概念，与表示风或地震的大小用“级”的道理是一样的（如常说几级风或几级地震，吨不说风速每秒多少米或地震能量多大）。

国际上统一规定，把人耳刚刚能听到的声音的声压级定为 0dB，其声压级的表达式如下：

$$L_p = 10 \lg \left(\frac{p}{p_0} \right)^2 = 20 \lg \frac{p}{p_0}, \quad \text{db (1-2-1)}$$

式中 p —— 声压, Pa;

p_0 —— 基准声压 ($p_0 = 2 \times 10^{-5} \text{Pa}$)。

声压和声压级的关系如图 1-2-1 示，有效声压与基准声压比值为 10 时，声压级为 20dB；比值为 100 时，声压级为 40dB，即比值增加 10 倍，声压级仅增加 20dB。

引入声压级的概念后，由原来声压相差百万倍变为从 0~120dB，这样既方便，又易懂。

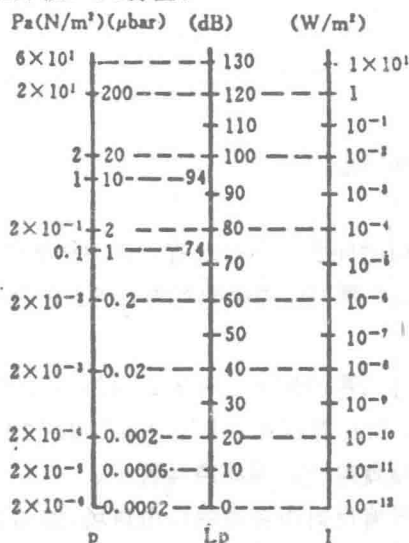


图 1-2-1 声压和声压级的关系