

煤矿噪声与控制

郭孝先 王维琮 邢庆贵 编



煤炭工业出版社

内 容 简 介

本书是煤矿噪声控制普及读物,主要介绍了噪声基本知识,分析了噪声危害与煤矿噪声现状,介绍了噪声控制的基本方法与煤矿噪声控制的基本途径,并附有工业企业噪声控制标准与规范。

本书可供具有高中以上文化程度的煤矿安全检查、环境保护、科技管理干部以及机电设备使用、维修科技人员与技工阅读,也可作煤矿噪声控制培训参考书。

责任编辑:陈 昌

煤 矿 噪 声 与 控 制

郝孝先 王维琮 邢庆贵 编

煤炭工业出版社 出版

(北京东黄门内大街甲15号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

开本 $787 \times 1092\text{mm}^{1/32}$ 印张 $57/8$

字数127千字 印数1—4,540

1989年1月第1版 1989年1月第1次印刷

ISBN 7-5020-0043-7/TD·42

书号 2956

定价 1.95元

序

随着近代工业、交通运输业的发展,噪声问题日益引起人类重视,它危害职工健康、干扰居民休息。它同空气污染、水污染、固体废弃物污染一起,构成四大公害。

据国内外调查,噪声不仅能使人耳致聋,而且有可能引起心血管疾病和神经系统等疾病,在高噪声车间,噪声使人耳聋的发病率高达50~60%,最高甚至达90%,有的高噪声车间,高血压和冠心病的发病率比低噪声车间高三倍,有的机器每分钟冲击120次,工人心跳也同步为120次。有的车间,神经衰弱患病率高达50%以上。噪声还会分散人们的注意力,所以它有时会成为意外事故的隐患。在煤矿,凿岩机、通风机、局部通风机等噪声也严重危害矿工的身心健康,并污染了环境。

近年来,我国相继颁布了《工业企业噪声卫生标准》、《城市区域环境噪声标准》、《工业企业噪声控制设计规范》,控制噪声逐渐为人们所重视,并把它列为劳动保护环境保护的重要内容之一。消除噪声,创造舒适的声学环境是生活在现代文明社会中的人的共同要求,也是现代化建设的进程中所要实现的一项重要任务。郭孝先、王维琮、邢庆贵等同志编著《煤矿噪声与控制》一书的出版,对开展我国煤矿噪声控制工作必将起到积极的推动作用。

该书简要介绍了噪声基本知识,分析了噪声的危害和标准,分析了煤矿噪声的现状,介绍了噪声控制的基本原理和

方法，特别是介绍了矿山的主要噪声源如主扇、局扇、空气压缩机、凿岩机、选煤厂的噪声控制，是一本值得欢迎的煤矿噪声控制具有实用价值的书。

方 丹 群

1987. 3

目 录

序

第一章 噪声基本知识	1
第一节 声波、声场和噪声	1
第二节 噪声的物理量	6
第三节 噪声的量度	9
第二章 噪声的评价及其危害	26
第一节 主观量度	26
第二节 噪声的评价	31
第三节 噪声的危害	38
第三章 噪声测量	43
第一节 噪声测量系统	43
第二节 测量仪器	44
第三节 工业企业噪声测量	50
第四节 风机和空气压缩机噪声测量	53
第五节 声功率测量方法简介	65
第四章 煤矿噪声现状	71
第一节 煤炭工业主要噪声源	71
第二节 煤矿地面固定设备噪声	71
第三节 煤矿井下一般机电设备噪声	73
第四节 煤矿立井掘进噪声	77
第五节 煤矿噪声源的基本特点	78
第五章 噪声控制的基本原理与方法	80
第一节 噪声控制基本原理	81
第二节 吸声降噪	89

第三节	隔声技术	104
第四节	消声器	115
第六章	煤矿噪声控制措施	127
第一节	煤矿通风机与局部通风机噪声控制	127
第二节	煤矿空气压缩机噪声控制	135
第三节	凿岩机械噪声控制	138
第四节	选煤厂噪声控制	145
第五节	个体防护	147
附录一	工业企业噪声卫生标准	149
附录二	工业企业噪声检测规范	152
附录三	声学-气动工具和气动机械辐射的空气噪声的测量——确定声功率级的工程方法国际标准ISO/	
	DIS3481—1975 (摘录)	155
附录四	世界上一些国家的工业噪声测量标准目录	167
附录五	中华人民共和国国家标准工业企业噪声控制设计规范GBJ87-85(摘录)	172
结束语		179
参考文献		180

第一章 噪声基本知识

第一节 声波、声场和噪声

一、声波的产生及其传播

当一种弹性媒质受到干扰时，就会引起振动，并且这一振动将在这种媒质中向各个方向传播，这种传播过程称为声波。声波可以传播于不同的物体形态之中。例如：在空气中传播的空气声；在固体（如金属等）中传播的固体声；同样，声波也能在液体中传播。人们的耳朵并非能够感觉到所有的声波。例如：我们经常看到某些树叶在飘动而辐射声能，但听不到声音，这主要是人的听觉器官只能感觉到一部分声波。通常，把可以引起听觉的声波，称为可听声。

声波是靠媒质密度的变化进行传播的，对于空气声，是靠空气的弹性和空气分子的惯性作用而传播的。当空气受到扰动后，先是干扰处的空气密度发生变化，时而增加（稠密），时而减小（稀疏）。这种稠密和稀疏的空气层因弹性作用，向其邻近分子层由近到远，层层传递，便形成空气中的声波。

引起媒质发生振动的物体称为声源。有声波存在的空间称为声场。均匀的各向同性的无边界影响的媒质中的声场称为自由场。在客观实际中，绝对不可能存在没有边界影响的媒质。因此，只要边界影响小到可以忽略不计，就可以认为是自由场。自由声场中，声源附近，声压和质点速度不同相

的场称为近场；离声源远处，瞬时声压和质点速度同相的声场称为远场。

在声场中，有障碍物存在时，声波就会从障碍物上反弹回来，这种现象称为声波的反射。如果声波波长比障碍物大得多时，从障碍物反射回来的声波很少，大部分声波绕过障碍物，在障碍物后面稍远一点的地方，就好象没有障碍物一样地传播，这种现象称为声波的衍射。如图1-1所示。只要有障碍物存在，障碍后面总有一个区域没有声波存在，这个小区域称为声影区。声波波长与障碍物在垂直于声波传播方

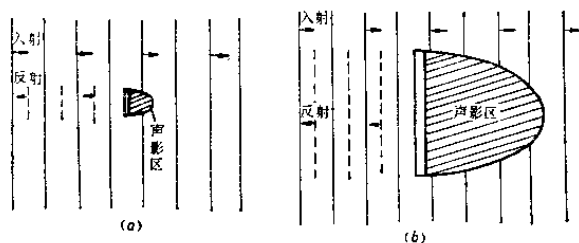


图 1-1 声波的衍射

a—声波波长大于障碍物；b—声波波长小于障碍物

向的面积比值越小，声影区就越大。当声场中的障碍物是一个比声波波长大得多的刚性墙壁时，入射在壁面上的绝大部分声波象光波入射到平面镜上一样，被反射回来。并且入射角 θ_i 等于反射角 θ_r 。如图1-2所示。

另外，声波在传播过程中，还有通过孔洞和通过媒质的透射现象。

二、声波的频率、波长和声速

速

物体在1 s内振动的次数称为这种物体的振动频率，记为 f ，单位为赫兹（Hz），简称赫。频率为1 Hz的声波就是指声源在1 s内振动1次。也就是说，声波的频率就是声源的振动频率。频率的倒数称为周期，即声源的振动周期就是声源每振动一次所需要的时间，记为 T ，单位为s。声波在一个周期内所传播的距离称为声波的波长，记为 λ ，单位为m。

声波的频率越高，人耳感觉到的声音就愈尖，或者说音调愈高；声波的频率越低，人耳感觉着声音就愈低沉，或者说音调愈低。

一般说来，可听声的频率范围是20~20000 Hz，低于20 Hz的声音叫做次声，高于20000 Hz的声音叫做超声。次声和超声是人耳所不能感觉的。但有些动物却能听到，例如：老鼠能听到次声，而蝙蝠则能感受到超声。

声波在媒质中传播的速度称为声速，记为 c ，单位为m/s。其大小取决于传播媒质的弹性和密度。对于同一种媒质，声速又与该媒质的温度有关，随温度的升高而增加。对于大气中传播的声波，其传播速度 c 与温度 t 的关系为：

$$c = 20.05\sqrt{T} \text{ m/s} \quad (1-1)$$

式中 T ——绝对温度，K；

$$T = 273.2 + t$$

t ——摄氏温度，℃。

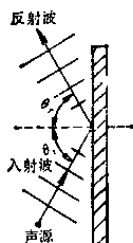


图 1-2 声波的反射

所以

$$c = 20.05 \sqrt{273.2 + t}$$

$$= 331.4 \sqrt{1 + \frac{t}{273.2}}$$

$$c \approx 331.4 + 0.6t \text{ m/s} \quad (1-2)$$

在室温20℃的正常条件下，空气中的声速为343.4m/s，在做一般计算时，如果没有特别说明温度条件，则常取声速为340m/s。

声波在不同的媒质中的传播速度是不相同的，例如：在氮气中0℃时声速为334m/s，在氢气中0℃时声速为1284m/s，在二氧化碳中0℃时声速为259m/s。

根据声波的频率、波长和声速的定义，频率、波长和声速之间有以下关系：

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

可见，频率 f 与波长 λ 成反比，即频率越高，波长越短。

媒质的密度 ρ 和声速 c 的乘积为媒质的特性阻抗，写为 ρc ，单位是瑞利，它等于 $\text{kg/s} \cdot \text{m}^2$ 。声波在媒质中的反射、透射等传播特性均与媒质的特性阻抗有关，因此说这是一个很有用的声学常数，对于不同的媒质， ρc 具有不同的数值，它是媒质的常数，是媒质对振动面运动反作用的定量叙述。一些常见媒质的特性阻抗列于表1-1。

例1 在20℃标准大气压的空气中， $\rho = 1.21 \text{ kg/m}^3$ ，试计算频率为100Hz和1000Hz的声波波长、波长为68.68cm的声波频率，以及该媒质的特性阻抗。

解：温度为20℃时空气中的声速：

$$c = 331.4 + 0.6t = 331.4 + 0.6 \times 20 = 343.4 \text{ (m/s)}$$

表 1-1 一些常见媒质的特性阻抗

媒 质	特性阻抗 (瑞利) ($\text{kg/s}\cdot\text{m}^2$)
空气	428.5
氢	114.1
氦	453
氮	421
纯铁	41.5×10^6
钢	46.5×10^6
铝	17.3×10^6

$$\text{波长: } \lambda_{100} = \frac{c}{f_{100}} = \frac{343.4}{100} = 3.434 \text{ (m)}$$

$$\lambda_{1000} = \frac{c}{f_{1000}} = \frac{343.4}{1000} = 0.3434 \text{ (m)}$$

波长为68.68cm的声波频率为:

$$f = \frac{343.4}{0.6868} = 500 \text{ (Hz)}$$

特性阻抗为:

$$\rho c = 1.21 \times 343.4 = 415.5 \text{ (kg/s}\cdot\text{m}^2\text{)}$$

三、噪声

声波经空气媒质传至人耳,使人产生感觉。当声源以某一固定频率振动时,耳朵听见的是具有单一音调的声音,这种以单一频率振动而产生的声音称为纯音。实际上声源的振动是很复杂的,它是由各种不同频率的许多振动形式所组成。我们把其中最低简谐振动频率的声音称为基音。比基音高的各频率的声音称为泛音。频率为基音频率整数倍的泛音称为谐音。由基音和各次谐音组成的复合声音听起来很悦耳和谐,这种声音称为乐音。如果物体的复杂振动由许许多多

频率组成，而各频率之间不成简单的整数比，那么由这种振动辐射的声音听起来就很不悦耳，也不和谐，还会使人烦恼，被视为噪声，它是由频率和强度均不规则的各种杂乱无章的声音组成。从物理意义上来说，噪声是紊乱断续或统计上随机的声振动。

噪声无处不在，且常有多个噪声源组成。在某一环境中，所有这些组合成的总噪声称为环境噪声。

交通运输噪声、建筑施工噪声以及工业生产的噪声是主要的城市环境噪声；电风扇、电冰箱、电唱机等各种家用电器设备噪声构成了家庭环境噪声；空气压缩机房、井下轴流式主风扇及局扇、气动凿岩机以及胶带输送机等井下设备噪声构成了井下环境噪声。

噪声的类型很多，就机械设备而言，主要有以下两种：

(1) 机械噪声。它是由于机械设备构件的撞击、摩擦、交变机械应力等作用而产生的噪声。例如：织布机、机床、混凝土搅拌机、齿轮传动箱、机械式冲床等等产生的噪声就是机械式噪声。

(2) 空气动力性噪声。它是由气体的流动而产生的噪声。例如：锅炉排气、鼓风机、空气压缩机、内燃机、喷气式飞机以及煤矿使用的气动凿岩机等设备所产生的噪声，都是空气动力性噪声。

第二节 噪声的物理量

一、声压

当声波在媒质中传播时，将会引起媒质内压力的变化。设声波在传播过程中媒质内的压力为 P_1 ，没有声波存在时媒质内的静压力为 P_0 ，由于声波的存在，而引起的媒质内的压

强的增量称为声压，记为 P ，那么：

$$P = P_1 - P_0 \quad (1-4)$$

声压的单位就是压强的单位，在SI单位制中，声压的单位是 N/m^2 ，或称为 Pa ，其辅助单位为 μbar ，换算关系为：

$$1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2 = 10\mu\text{bar}$$

与大气压相比，声压是相当小的，在 1000Hz 时，可听声压范围大约在 $2 \times 10^{-6} \sim 20\text{Pa}$ 之间。

在声波的传播过程中，媒质内各点的压力是随时间而变化的，某一瞬间的声压叫做瞬时声压。在一定时间间隔中，将瞬时声压对时间求均方根值，即可得有效声压。一般情况下，我们使用电子仪器所测得的声压值均是有效声压值。因此，我们平常所指的声压值也往往是指有效声压。表示为 P_A ，它与声压幅值 P_A 之间的关系为：

$$P_A = \sqrt{2} P_r \quad (1-5)$$

在日常生活中，我们所遇到的各种声音的声压值为：

正常人耳能听到的最弱声音：	$2 \times 10^{-5}\text{Pa}$
普通谈话声（1m远处）：	$2 \times 10^{-2}\text{Pa}$
公共汽车内：	$2 \times 10^{-1}\text{Pa}$
织布车间内：	2Pa
柴油发动机声：	20Pa
喷气飞机起飞声：	200Pa
气动凿岩机声：	20Pa
井下局部通风机声：	20Pa

二、声强

声波的强弱可以用好几种不同的方法来描述。当然最方便的是测量它的声压值，这要比测量媒质的振动位移、振动速度更方便实用。但是，有时我们却需要直接知道机器振动

辐射声波的情况，这就要用声能量来描述。所谓声能量就是声波所辐射的能量。而所谓声强就是表述声波的强弱的物理量，是在单位时间内，通过和声波射线垂直的单位面积内的声能量，用 I 表示。通常采用的单位是 W/m^2 。声强的大小衡量声音的强弱。也就是说：声强愈大，我们听到的声音也愈响；声强愈小，我们感觉到的声音也愈轻。声强的大小与测量地点距声源的距离有关，一般说来，距声源愈远，声强就愈小。这种现象在日常生活中是很常见的。例如：煤矿空气压缩机产生的声音，我们距空压机房愈远，就越感觉声音小。

由上可知：声强是在声场中，单位时间内通过与声波射线垂直的单位面积上的声能量。在声场的不同位置，其声强一般情况下是不会相等的。

三、声功率

所谓声功率是声源在单位时间内辐射的总能量，用 W 表示。通常采用瓦作单位来测量声功率。声强和声源辐射的声功率有关，声功率愈大，在声源周围的声强也愈大。对于在自由声场中传播的平面波和球面波，其声强和声功率的关系为：

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

式中 I ——声强， W/m^2 ；

W ——声功率， W ；

P_e ——有效声压， Pa ；

ρc ——媒质的特性阻抗， $kg/s \cdot m^2$ ；

S ——面积， m^2 。

如果声源辐射球面波，也就是说，声源球面对称地向各

个方向发射声波，那么在离声源 r 处的球面上，各点的声强是相同的。因而声源的声功率与声强间存在的关系为：

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} \text{ W/m}^2 \quad (1-7)$$

式中 r ——测量点距声源的距离，m。

从这个公式可以看出：当声源以恒定的声功率辐射声波时，声场中各点的声强也是不相同的，它与距离的平方成反比。

对于声源在地面上向半空间自由辐射的声场，其各点的声强与声功率之间的关系为：

$$I = \frac{W}{2\pi r^2} \text{ W/m}^2 \quad (1-8)$$

声功率是衡量声源声能量辐射大小的一个基本物理量。声压测量一般受声场因素的影响较大，同时，在测试过程中也受到测量仪器的放置位置与方向的影响。但是，声功率则不受其它各因素的影响，可以广泛用于鉴定和比较各种声源。但是，在声学测量技术中，到目前为止，可以直接测量声强和声功率的仪器都比较复杂和昂贵，而未能得到普及，通常只有在平面和球面波的情况下，根据式 (1-6) 利用测量到的声压值计算声强和声功率。

另外值得说明的是，机械设备辐射的声功率只是机械设备总功率中以声波形式辐射出去的一小部分功率。

第三节 噪声的度量

一、声压级

从上节分析我们已经知道，正常人耳所能听到的声压为 $2 \times 10^{-5} \sim 20 \text{ Pa}$ ，最大值与最小值相差一百万倍。因此，如

果用这样的线性标度来表示声压的大小的话,那么,所得到的数字差别将会很大,使用起来很不方便。再者,根据所作的大量生理物理试验表明,人耳对声音大小的感觉也不是线性的,它不是正比于声压绝对值的大小,而是同声压的对数近似成正比。因此,我们采用声压级来标度声压。所谓声压级就是用对数标度来表示声压。具体的声压级定义为:声音的声压 P 与某一参考声压 P_0 的比值取以10为底的常用对数再乘以20。其单位为dB(分贝)。即:

$$L_P = 20 \lg \frac{P}{P_0} \quad (1-9)$$

式中 L_P ——声压级, dB;

P ——声压值, Pa;

P_0 ——参考声压值, Pa, 国际上规定其值为 $2 \times 10^{-5} \text{Pa}$ 。

$2 \times 10^{-5} \text{Pa}$ 的声压是人耳刚能听到的最弱声音的声压值。

对于听阈声压的声压级由式(1-9)可知: $L_{P_{\text{听}}} = 20 \lg \frac{2 \times 10^{-5}}{2 \times 10^{-5}} =$

0dB。当声压值为20Pa时,使人耳感到疼痛,将20Pa的声压称为痛阈听压。由(1-9)式可知:痛阈声压的声压级为

$L_{P_{\text{痛}}} = 20 \lg \frac{20}{2 \times 10^{-5}} = 120 \text{dB}$ 。可见:虽然听阈声压与痛阈声

压有100万倍的差别,但其声压级却只有0~120dB的变化。

表1-2是几种声源的声压级。

必须注意:声压级的分贝数是取对数后的数值,其加法和减法不能象自然数或一般物理量那样直接相加或相减,具体的加法、减法在后面将作详细说明。

当声压级相加时,应先取各声音的能量密度相加,得到

表 1-2 各种声源的声压级(dB)

刚好听到	0
郊区静夜, 安静住宅	20
一般建筑物, 轻声耳语	40
一般办公室, 一米远讲话	60
公共汽车内, 一米远大叫	80
纺织车间, 井下扇扇一米处	100
球磨机房, 锅炉车间井下凿岩机旁	120
喷气式飞机起飞	140
导弹发射, 核爆炸	160

总声压级。由于声能量密度正比于该点声压的平方, 因此可得合成总声压级 L_{PA} 为:

$$L_{PA} = 10 \lg \frac{P_1^2 + P_2^2 + \dots + P_n^2}{P_0^2} \text{ dB} \quad (1-10)$$

式中 $P_1, P_2, \dots, P_n$ ——分别是各个声音的声压值, Pa。

二、声强级

与声压一样, 用对数标度来表示的声强称为声强级。某一声音的声强级的具体定义为: 该声音的声强 I 与某一参考声强 I_0 的比值取以10为底的常用对数再乘以10, 单位为dB (分贝)。

$$L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0} \quad (1-11)$$

式中 L_I ——声强级, dB,

I ——声强, W/m^2 ,

I_0 ——参考声强, W/m^2 。

国际标准规定参考声强 $I_0 = 10^{-12} \text{W/m}^2$ 。也是相当于人耳能感觉到的最弱声音的声强。

对于自由传播的平面波和球面波的情况, 声压级和声强