

ZAOSHENG YU ZHENDONG
KONGZHI JISHU

噪声与振动控制技术

袁昌明 方云中 华伟进 编著



冶金工业出版社

<http://www.cnmp.com.cn>



ZAOSHENG YU ZHENDONG KONGZHI JISHU

ISBN 978-7-5024-4007-7



9 787502 440077 >

定价 23.00 元

销售分类建议：环境科学

噪声与振动控制技术

袁昌明 方云中 华伟进 编著

北 京

冶金工业出版社

2007

内 容 提 要

噪声与振动控制技术是安全与环境工程的重要内容和组成部分。本书从职业安全健康的目的出发,以声学理论为基础,主要介绍了工业生产过程中噪声的产生及传播原理、噪声的危害及其综合治理措施;重点阐述了控制噪声及振动危害所采用的吸声、隔声、消声和振动控制技术;对噪声控制的相关法规与标准、噪声与振动的测量方法等也作了简单的介绍,力求理论联系实际。

本书可作为大专院校安全工程、环境工程、工业设计及相关专业学生的选用教材,企业安全与环境管理人员、技术人员和企业职工的培训教材,亦可作为从事职业安全工程、环境工程专业的科研技术人员与设计人员、职业安全监督管理人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

噪声与振动控制技术/袁昌明等编著. —北京:冶金工业出版社, 2007. 1

ISBN 978-7-5024-4007-7

I. 噪… II. 袁… III. ①工业生产-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(2006)第 150672 号

出 版 人 曹胜利(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

责任编辑 朱华英(联系电话 010-64027929 电子信箱 zhuahuaying51@sina.com)

美术编辑 李 心 责任校对 卿文春 李文彦 责任印制 丁小晶

北京铁成印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2007 年 1 月第 1 版, 2007 年 1 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 9.5 印张; 230 千字; 143 页; 1—3000 册

23.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010) 64044283 传真:(010) 64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010) 65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

职业安全与健康是实现“可持续发展”和“和谐社会”的基本保障之一。随着社会主义市场经济的逐步完善和国民经济的高速发展,各种经济成分的共同存在,工业生产向多元化、区域化和规模化方向发展。然而,经济的发展一方面推动了社会的进步,另一方面又给人类带来了一定程度的危害。工业企业生产过程中使用的各种机器、设备在运行过程中往往会产生不同强度和不同频率的噪声与振动。噪声与振动不仅对安全生产和工作效率产生影响,而且对人体健康产生危害。强噪声和振动不仅危害人体健康,诱发多种疾病,甚至破坏建筑物,而一般强度的噪声和振动通常干扰人们的正常工作、生活与休息。有效地控制生产过程中的噪声与振动,保障生产顺利进行,保护劳动者的安全与健康是企业生产的基本条件之一,也是国家相关法律法规的要求。

为了解决生产过程中产生的噪声与振动给生产和作业人员产生的影响和危害,《噪声与振动控制技术》一书从职业安全健康的目的出发,以声学理论为基础,较详细地介绍了工业生产过程中噪声的产生及传播原理,噪声危害及其综合治理措施;重点阐述了控制噪声及振动危害所采用的吸声、隔声、消声和振动控制技术;对噪声控制的法规与标准、噪声与振动的测量方法等也作了简单的介绍,力求理论联系实际,通俗易懂。

全书由中国计量学院袁昌明教授和浙江省劳动保护科学研究所方云中、华伟进高级工程师编著。本书分为八章,第一章、第二章、第三章、第四章由中国计量学院袁昌明编写;第五章由中国计量学院陈刚编写;第六章由浙江省劳动保护科学研究所夏一峰编写;第七章由浙江省劳动保护科学研究所方云中编写;第八章由浙江省劳动保护科学研究所华伟进编写。

本书可作为大专院校安全工程、环境工程、工业设计及相关专业学生的选用教材,企业安全与环境管理人员、技术人员和企业职工的培训教材,亦可作为从事职业安全工程、环境工程专业的科研技术人员与设计人员、职业安全监督管理人员的参考书。

本书在成书和出版过程中，得到了中国计量学院、浙江省劳动保护科学研究所和冶金工业出版社等单位的大力支持；中国计量学院研究生吴海鸿、孙伟东同学参与了大量的文字录入工作；武汉大学研究生袁博为本书绘制了大量图表；本书部分章节还参阅了参考文献中所列的许多著作和文献。在此一并表示感谢。

由于作者学识水平有限，书中存在的不足之处，敬请专家和广大读者批评指正。

编著者
2006年12月

目 录

第一章 概述	1
第一节 声学基础	1
一、声音的产生与传播	1
二、声学基本术语	2
第二节 噪声的基本概念	4
一、噪声的概念	4
二、噪声的分类	5
三、工业噪声及控制	5
第三节 声音的计量	6
一、声压与声压级	6
二、声强与声强级	7
三、声功率与声功率级	9
四、噪声的迭加——分贝的运算	10
五、频谱图与倍频程	14
第四节 声波的传播特性	16
一、声源的指向性	17
二、声波的衰减	17
三、声波的反射、折射和透射	19
四、声波的衍射	20
五、声波的干涉和驻波	21
六、声音的掩蔽	21
第五节 噪声的主观评价	21
一、等响曲线与响度级	22
二、A、B、C 计权声级	23
三、等效连续 A 声级	25
四、频带声压级与 A 声级的换算	26
五、噪声评价数	27
第二章 噪声的危害及其控制标准	30
第一节 噪声的危害	30
一、噪声危害人体健康	30
二、噪声干扰人们的生活、休息和睡眠	31

三、噪声影响安全生产和降低劳动生产率	31
四、高强噪声能损害物质结构和建筑物	32
第二节 噪声控制标准与立法	32
一、噪声控制标准	32
二、噪声卫生标准	32
三、环境噪声标准	34
四、机械产品噪声标准	35
五、机动车辆噪声标准	35
六、噪声立法	36
第三章 噪声与振动的测量	37
第一节 噪声与振动的测量	37
一、测量仪器的构成与原理	37
二、噪声的测量	41
第二节 声学实验与声功率级测量	46
一、声学实验	46
二、声功率级的测量	46
第四章 噪声控制的基本途径与程序	49
第一节 噪声控制的基本途径	49
一、声源控制	49
二、传播途径控制	50
三、接受者的防护	53
第二节 噪声控制的程序与内容	53
第五章 吸声技术	55
第一节 吸声原理与吸声减噪量的计算	55
一、吸声原理	55
二、吸声材料与吸声系数	56
三、室内吸声减噪量的计算	58
第二节 多孔吸声材料及其应用	58
一、多孔吸声材料	58
二、吸声机理	59
三、吸声特征及影响因素	59
四、多孔吸声材料的应用	60
第三节 共振吸声结构	61
一、薄板共振吸声结构	62
二、穿孔板共振吸声结构	63
三、微穿孔板吸声结构	66

第四节 吸声降噪设计	67
一、室内吸声降噪的设计	67
二、吸声处理注意要点	72
三、吸声降噪设计程序	73
第六章 隔声技术	74
第一节 隔声原理与隔声结构	74
一、隔声原理	74
二、单层隔声结构	75
三、双层隔声结构	79
四、多层复合隔声结构	82
五、门、窗及孔隙的隔声	83
第二节 隔声效果的评价方法	87
一、隔声量	87
二、降噪量	87
三、插入损失	88
第三节 隔声间设计	88
一、隔声量	88
二、隔声间设计要点	89
第四节 隔声罩设计	89
一、隔声罩的材料选择和处理	90
二、隔声处理与隔声量	90
三、隔声罩壁声学结构	91
四、通风散热	91
五、孔洞、缝隙处理	92
六、减振	92
七、隔声罩的设计步骤	93
八、隔声罩设计实例	93
第五节 隔声屏及管道隔声	95
一、隔声屏	95
二、管道隔声	98
第七章 消声技术	101
第一节 阻性消声器	101
一、阻性消声器的消声原理	101
二、阻性消声器的分类	101
三、阻性消声器消声量计算	102
四、阻性消声器消声量的上、下限截止频率	103
五、阻性消声器设计	104

六、不同阻性消声器的特征及使用范围·····	105
第二节 抗性消声器·····	106
一、扩张室消声器·····	106
二、共振式消声器·····	111
第三节 阻抗复合式消声器·····	114
一、阻抗复合式消声器种类·····	114
二、消声原理·····	115
三、阻抗复合式消声器的设计要点·····	115
第四节 消声器的设计·····	116
一、阻性消声器设计·····	116
二、抗性消声器设计·····	119
第八章 振动控制技术·····	124
第一节 隔振技术·····	124
一、隔振原理·····	124
二、振动传递率 T ·····	125
三、干扰频率 f 与固有频率 f_0 ·····	126
四、噪声降低量与传递率 T 的关系 ·····	128
五、隔振装置的设计·····	128
六、隔振沟与其他措施·····	131
第二节 阻尼减振·····	132
一、阻尼减振机理·····	132
二、阻尼材料·····	132
三、阻尼层·····	133
附 录·····	134
附录1 中华人民共和国环境噪声污染防治法·····	134
附录2 噪声与振动卫生限值·····	141
参考文献·····	143

第一章 概 述

第一节 声学基础

一、声音的产生与传播

1. 声音的产生

声音是由于物体振动而产生的。例如，人们讲话的声音来源于喉管内声带的振动，弦乐声来源于弦的振动，机器声来源于机械的振动等。一般情况下，机器在运转时会发出声音，这时若用手去摸机器的壳体，便会感到壳体在振动。若此时切断电源，壳体在停止振动的同时，声音就会消失，这说明物体的振动产生了声音。如果我们仔细观察各种发声体，就会发现凡是发声体都发生振动，这说明了物体的振动确实是发声之源。

通常，振动发声的物体被称为声源。声源可以为固体，也可以是液体和气体。如机械振动发出的声音为固体振动的结果；瀑布声、刮风时江河湖海中的水后浪推前浪，形成浪涛声等就是液体振动的结果；火车的汽笛声、各类通风机、鼓风机、压缩机在排气放空时产生的声音，以及喷气式飞机产生的声音是气体振动的结果。

并非所有物体振动发出的声音都能为人耳所听见，只有其振动频率在 $20\sim 20000\text{Hz}$ 的范围内，才能为人耳所听到，这个范围内的声音称为可听声。通常所说的声音都是指可听声。高于 20000Hz 的声音称为超声，低于 20Hz 的声音称为次声。蝙蝠、狗等动物可以听到超声，老鼠等动物可以听到次声。 $20\sim 20000\text{Hz}$ 这一频率范围的振动称为声振动。声振动属于机械振动，具有机械振动的共同特性，而每一个声振动都有自己的固有频率，都可以发生阻尼振动与受迫振动（包括共振）。每一个声振动都可以看做是一个或若干个简单振动的合成。

2. 声音的传播

声振动声源发出的声音，不是在所有的地方都能听得见的。如果把发声（振动）的物体放在真空中，声音就传不出去，我们就听不到声音。这说明，物体振动所产生的能量，只有通过介质传到接受器，显示出来的才是声音。所以，声音的产生是由振动的发生及振动的传播这两个环节组成的。没有振动就没有声音，同样，没有介质来传播振动，也就没有声音。如在太空中若没有特殊的接受装置就听不到对方的说话声，就是缺乏传播介质的缘故。

作为传播声音的介质必须是具有惯性和弹性的介质，因为只有介质本身有惯性和弹性，才能不断地传递声源的振动。空气正是这样一种具有惯性和弹性介质，人耳平时听到的声音大部分也是通过空气传播的。

声音在介质中是怎样传播的呢？下面以空气传播声音为例，说明声源发出的声音是怎样通过介质传播的。

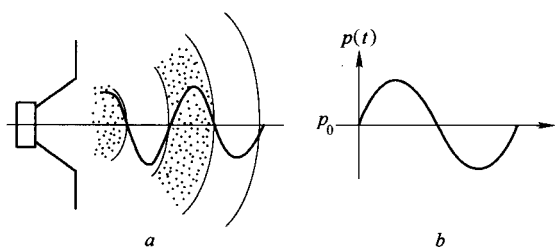


图 1-1 声音的传播

a—声音传播示意图；b—声音传播波形

图 1-1 为扬声器振动时发出声波的示意图。当扬声器纸盆受激发力而产生振动时，可以看到，纸盆在做前后往复快速运动，表面的空气质点也随之产生振动。当纸盆从平衡位置推向前时，其前面空气将受到压缩，空气质点被挤压后变得密集；当纸盆退回来时，四周的空气便膨胀，原来空气质点密集的地方变得稀疏；纸盆表面邻近空气质点的疏密变化又使其

附近其他空气质点变得时而密集时而稀疏。这样，空气便由近及远地依次振动起来，形成了一疏一密的“空气层”。这一层层疏密相间的“空气层”就形成了传播的声波。

当空气质点变密时，空气压强增高，空气质点变稀时，空气压强降低。因此，空气密部与疏部传播的过程，实际上就是压力传播的过程，当这种变动的压力传入人耳，便使耳内鼓膜发生振动，刺激了内耳的听觉神经，于是人耳就产生了声音的感觉，即“听到了声音”。

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，空气质点只是在其平衡位置附近做纵向振动，所以声音的传播过程，实质是物体振动的传播过程，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，这种运动形式称作波动。因此，声音又称为声波。声波是一种交变的压力波，属于机械波。

声波具有波动的共同特性，可以用波动方程来描述，在传播过程中能够发生衰减、反射、衍射与干涉等现象。

在空气中传播的声波称作空气声；在水中传播的声波称作水声；在固体中传播的声波称作固体声（或结构声）。声波在不同介质中传播时，其控制方法也不相同。

在气体与液体介质中，声波一般以纵波的形式传播；在固体介质中，声波既可以纵波的形式传播，也可以横波的形式传播。

二、声学基本术语

1. 声源

声音是由于发生体的振动而产生的，如果发生体不产生振动，那么就不会产生声音。因此，通常把振动的物体称作声源。

2. 声音与声波

声音的传播是物体振动的传播，我们通常把这种振动的传播形式称为波动。振动是产生波动的根源，而波动是振动的传播过程。由于声音在本质上就是一种波动。因此，声音也就是声波。

3. 纵波与横波

纵波与横波是自然界中存在的两种简单的波。所谓纵波是指传播介质中质点的振动方

向与传播方向相互平行，在气体和液体中传播的声波一般为纵波；所谓横波是指介质中质点的振动方向与传播方向相互垂直，如机械振动波等。

4. 声场

所谓声场是指传播介质中声音存在的区域。声场可以分为自由声场、扩散声场、半自由声场。

自由声场是指在均匀且各向同性的介质中，边界影响可以忽略不计的声场，称作自由声场。换言之，自由声场就是声波在任何方向传播都没有反射。例如，在室外开阔的旷野，周围没有任何能引起声反射的障碍物，空间受声点只有来自声源的直达声，而没有反射声。又如，在声学研究中专门建造的消音室可以近似为自由声场。

扩散声场与自由声场相反。声波在扩散声场中接近全反射状态。例如，在声学研究中，专门建造的混响室。混响室内的墙壁壁面多用瓷砖，地面多系水磨石上蜡，其受声点除来自声源的直达声外，还来自室内各表面的反射声。

半自由声场是指既不是完全的自由声场，也不是纯粹的扩散（混响）声场，而是介于二者之间的声场，称为半自由声场（或称为半扩散声场）。在工程实际中，常见的是半自由声场。

5. 声线与波前

自声源发出的声波在介质中传播方向上的声射线，称作声线或波线。将某一时刻声波到达空间各点连成的一个面，称为波前（或称波阵面）。一般按波前的形状将声波划分为平面波和球面波，即波前是球面的称为球面波，波前是平面的称为平面波。在各向同性的介质中，声线恒与波前垂直，如图 1-2 所示。

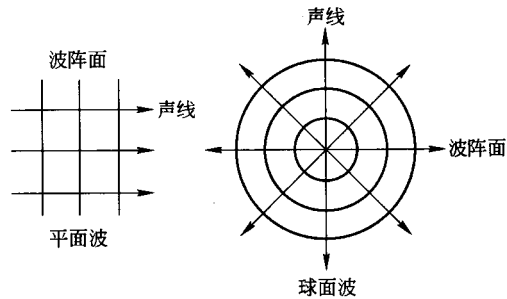


图 1-2 声线、波前（波阵面）示意图

6. 声波的波长、频率和声速

(1) 波长。声波在传播过程中，其两个相邻密集区或两个相邻稀疏区的距离称为声波的波长，用 λ 表示，单位是 m。

(2) 频率。物体质点在 1s 内振动的次数称为声波的频率，用 f 表示，单位为 Hz。通常情况下，由于声波振动的频率在传播过程中不变，故声波的频率就是声源的振动频率。

物体每振动一次所需的时间，称为周期，用 T 表示，单位为 s。频率与周期之间的关系为：

$$f = 1/T \tag{1-1}$$

在可听声声频范围内，声波的频率越高，声音显得越尖锐，反之显得低沉。通常将频率低于 350Hz 的声音称为低频声；350~1000Hz 的声音称为中频声；1000Hz 以上的声音称为高频声。

在实际生活中，声音都不是单一频率的纯声，而是包括许多不同频率成分的复音。一般由某最低频率和其整数倍的声波组合而成。最低频率的波称为基频波；基频波整数倍的波称为谐波，如为基频波的 2 倍、3 倍，分别称为 2 次谐波、3 次谐波。而由强气流之类产生的噪声等声波，通常还包含自低频到高频的连续波。

(3) 声速。声波在介质中传播的速度称为声速，用 c 表示，单位为 m/s 。波长、频率和声速是描述声波的三个物理量，其关系式为：

$$\lambda = \frac{c}{f} \tag{1-2}$$

由式 (1-2) 可知，若声速一定，波长和频率成反比。也就是说，在声速一定的情况下，振动频率越低，则波长愈长；频率越高，则波长愈短。例如，在室温条件下 (20°C)，空气中声速约为 340m/s ，当空气中振动频率 $f=1000\text{Hz}$ 时，其波长 $\lambda=340/1000=0.34\text{m}$ 。同样，当空气中振动频率 $f=10000\text{Hz}$ 时，其波长 $\lambda=340/10000=0.034\text{m}$ 。了解这一点，对噪声的控制是很重要的，因为控制长波（低频）和控制短波（高频）的技术措施是不相同的。

由于传播介质的活跃程度与温度有关，随着传播介质的温度升高，则声速也随之增大。下面以空气为例，说明温度升高，声速增大。

当温度 $t \leq 30^{\circ}\text{C}$ 时， $c = c_0 + 0.607t$ (1-3)

空气中温度每升高 1°C ，声速约增加 0.607m/s 。

当温度 $t > 30^{\circ}\text{C}$ 时， $c = 20.05 \sqrt{T} = 20.06 \sqrt{273 + t}$ (1-4)

式中 c ——声音在空气中的传播速度， m/s ；

c_0 ——室温条件下 (20°C) 空气中声速， m/s ， $c_0 = 340 \text{ m/s}$ ；

t ——摄氏温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

T ——绝对温度， K 。

在相同温度下，声速的大小主要与介质的性质有关。在不同介质中，声音的传播速度是不相同的。表 1-1 中列出了一些常温 (20°C) 下传播介质的密度、声速与特性阻抗。特性阻抗为声音传播速度与介质密度的乘积，表示声音传播的特性量，单位为瑞利 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

表 1-1 各种传播介质在常温下的声速、密度与特性阻抗

项 目	空气	氧气	水	钢	混凝土	软 木	橡 皮	砖
声速 $c/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	340	317	1450	5000	3100	500	70	3600
密度 $\rho/\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	1.2	1.43	1000	7800	2600	250	950	1800
特性阻抗 $\rho c/\text{kg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$	408	453	1.45×10^6	39.0×10^6	8.06×10^6	12.5×10^4	6.65×10^4	6.48×10^6

声速常常可以用来测算距离，声音传播速度大约 340m/s ，每小时传播距离约为 1200km 。当飞机超过声速飞行，称为超音速飞行，并用马赫数 Ma (Mach number) 表示。马赫是物体的速度 v 与所处相同介质中的声速 c 之比值。因此， Ma 是一个无量纲的数，例如 $1.5Ma$ 为 1.5 倍的声速。

第二节 噪声的基本概念

一、噪声的概念

收音机里播放出悦耳的音乐，但对于正在睡眠或需要集中注意力的人来说是一种讨厌的噪声；在剧院里看戏邻近的观众的谈话声尽管很低，但也会是一种骚扰的噪声。当

然，工厂里各种机器发出的噪声，一般都会使人烦躁，过强的机器噪声对人体还会产生危害。

什么声音是噪声呢？对噪声的定义在不同场合、不同时间和对不同的人来说，是不同的。从物理学观点来看，凡是振幅和频率杂乱、断续或统计上无规律的声振动和听起来不和谐的声音，都称为噪声。心理学则认为噪声的概念是主观的、相对的，把凡是使人讨厌、烦躁、不需要的声音均称为噪声。

噪声是声波的一种，具有声波的一切特性。但从噪声给予人们的感受与影响来讲，即从“噪声控制”这一学科来说，所谓噪声就是人们不需要的声音的总称。所以，凡是妨碍交谈和会议、妨碍学习、睡眠等有益于人的欲求、愿望和目的的声音统称为噪声。

二、噪声的分类

噪声的分类方法大致有三种。

(1) 按照噪声的发生原因，可将噪声分为三大类：空气动力性噪声、机械性噪声和电磁噪声。

空气动力性噪声是由于气体振动而产生的。当气体中产生了涡流或发生了压力突变等情况，就会引起气体的扰动，由于气体的扰动而产生的噪声，就称作空气动力性噪声。

机械性噪声是由于固体振动而产生的。在撞击、摩擦、交互的机械应力作用下，金属板、轴承、齿轮或其他固体零部件发生振动，就产生机械性噪声。

电磁噪声是由于电磁场的脉动、交变磁场力的相互作用而产生的噪声。

(2) 噪声是复音，按其频率成分，噪声又可分为：有调噪声和无调噪声。有调噪声就是指含有非常明显的基频和伴随着基频的谐波，大部分是由旋转机械产生的。无调噪声是指没有明显的基频和谐波的噪声，如排气放空所产生的噪声等。

(3) 按照噪声的来源可将噪声分为生活噪声、交通噪声、工业噪声。生活噪声是指人们在日常生活活动过程中，如生活设施、街道、日常活动场所等所产生的噪声；交通噪声是指飞机、火车、汽车、轮船等交通运输工具在飞行和行驶过程中所产生的噪声；工业噪声是指人们在生产活动过程中，由于机器振动、摩擦、撞击、气流扰动、电磁扰动而产生的噪声。生活噪声、交通噪声、工业噪声是构成环境噪声的三个主要来源。

三、工业噪声及控制

工业噪声主要为空气动力噪声、机械噪声和电磁噪声。空气动力噪声主要由风机、鼓风机、空气压缩机、喷射器、喷气式飞机、汽笛等产生的噪声；机械噪声主要由轧钢机、球磨机、锻床、冲床、织布机、机壳、轴承、齿轮等发生振动而产生的噪声；电磁噪声主要由发电机、电动机、变压器等产生的噪声。

工业噪声控制，是指在经济合理的条件下，使操作人员在其作业岗位能获得允许的噪声环境。所谓允许的噪声环境，是指国家或地区根据噪声对人体危害的各类效应与本国家或地区具体的经济、技术条件，制定的噪声标准。能达到噪声标准所要求的环境，就是允许的噪声环境。

第三节 声音的计量

一、声压与声压级

1. 声压

目前,在声学测量中,直接测量声音的强弱较为困难,故常用声压来衡量声音的强弱。声波在大气中传播时,引起空气质点的振动,从而使空气密度发生变化。这种变化又引起大气压(静压强)的起伏变化,在声波所达到的各点上,气压时而比无声时的压强高,时而比无声时的压强低。我们把某一瞬时介质中的压强相对于无声波时压强的改变量称为声压。用符号 p 表示,单位为 Pa。

声音在传播过程中,声压是随时间迅速起伏变化的,人耳感受到的实际效果只是迅速变化的声压(瞬时声压),某段时间内瞬时声压的能量平均值称为有效声压。因为瞬时声压有正负之分,所以有效声压取瞬时声压对时间 T 的均方根值,即:

$$p = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt} \quad (1-5)$$

式中 p —— T 时间内的有效声压, Pa;

$p(t)$ ——某一时间 t 的瞬时声压, Pa;

T ——时间, s。

对于正弦波,有效声压等于瞬时声压的最大值除以 $\sqrt{2}$ 。通常所说的声压,若未加说明,即指有效声压。

若以 p_1 、 p_2 分别表示两声波在某一点所引起的有效声压,那么,该点叠加后的有效声压 p 可由波动方程导出:

$$p = \sqrt{p_1^2 + p_2^2} \quad (1-6)$$

与 n 个相同声源,且距离相等的某点的有效声压:

$$p = \sqrt{n} \times p_i \quad (1-7)$$

式中 p_i ——单个声源的有效声压, Pa。

2. 声压级

正常人耳刚刚可听到的最小声压值称作听阈(或听阈声压)。对于 1kHz 的基音,听阈声压值为 2×10^{-5} Pa;使人耳产生疼痛感觉的声压值称作痛阈(或痛阈声压),其值为 20Pa。从听阈声压到痛阈声压,数值相差 100 万倍。可见用声压的大小来表示声音的强弱是很不方便的。由于人耳听觉的灵敏度是呈对数关系变化的,因此,我们将声压的变化用一个对比关系的对数量级来表示声音的大小,这就是声压级。

一个声音的声压级,是测得这一声音的有效声压 p 与参考有效声压 p_0 的比值的自然对数乘以 20 所得的数值。其数学表达式为:

$$L_p = 20 \lg \frac{p}{p_0} \quad (1-8)$$

式中 L_p ——声压级, dB;

p_0 ——基准声压,取 2×10^{-5} Pa。

将 $p_0=2\times10^{-5}\text{Pa}$ 代入式 (1-8)，则有：

$$L_p = 20\lg p + 94$$

由于把声压值相差 100 万倍的变化范围，用声压级表示，就变成了 0~120dB 的变化范围，从式 (1-8) 可知，声压级增加 6dB，声压值增加 1 倍；声压级每变化 20dB 或 40dB，就相当于声压值变化 10 倍或 100 倍。由此可见，在噪声控制中，如果使噪声降低 20dB 或 40dB，其声压值的变化是相当大的。

例 1-1 设原来的声压和声压级分别为： p_1 和 L_{p1} ，声压级增大 40dB 后的声压级分别为 p_2 和 L_{p2} ，则：

$$L_{p2} - L_{p1} = 20\lg \frac{p_2}{p_1}$$

因此， $\frac{p_2}{p_1} = 10^{(L_{p2}-L_{p1})/20} = 10^{40/20} = 100$

由此说明声压级增大 40dB，声压是原来的 100 倍。

一些噪声源或噪声环境的声压和声压级见表 1-2。

表 1-2 一些噪声源或噪声环境的声压和声压级

噪声源或噪声环境	声压/Pa	声压级/dB
导弹发射场	2000	160
锅炉排气放空，离喷口 1m	200	140
汽车喇叭，距离 1m	20	120
织布机车间，织机间走道	3.17	104
大型卡车，车厢内	0.63	90
大声讲话，距离 1m	0.2	80
轻声耳语，距离 0.3m	0.00063	30

二、声强与声强级

1. 声强

声音听起来有的响亮，有的轻微，人们通常把这种现象称为响度的不同。但响度是主观感觉到的声音大小，对于一定频率声音的响度，主要由声音强弱来决定。衡量声音强弱的物理量是声强。声强是在垂直于声波传播方向上，单位时间内通过单位面积的平均声能。声强通常用 I 表示，单位为 W/m^2 。

声强实质是声场中某点声波能量的量度，为一个矢量，方向就是声能传播的方向。声场中某点声强的大小与声源的声功率、该点距声源的距离、波阵面的形状及介质均匀性等要素有关。

通常，距声源越远的点声强越小，这是由于声音传播时发生了声波的衰减、反射、折射等现象的缘故。若不考虑介质对声能的吸收，点声源在自由声场中向四周均匀辐射声能时，距声源 r 处的声强为：

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} \tag{1-9a}$$

式中 I ——距点声源 r 处的声强， W/m^2 ；