

劳动保护技术教材

国家劳动总局主编



噪声控制技术

上海科学技术出版社

53.539
620

2647/17

劳动保护技术教材

噪声控制技术

国家劳动总局 主编
方丹群 王文奇 编
孙家其 陈 潜



上海科学技术出版社

4013612

内 容 简 介

本书用大量的图、表、例题和实例深入浅出地叙述噪声控制技术。

全书共分九章，内容包括：噪声的基础知识、噪声的危害、噪声评价和标准、噪声测量、噪声控制的一般方法和步骤、吸声减噪、隔声、消声器、振动控制以及噪声的综合治理等。

本书内容通俗易懂，资料丰富，概念清楚，举例典型，可供机械、冶金、石油、化工、建筑、采矿、轻工、纺织、铁道、交通等各方面从事噪声控制工作的科技人员、管理干部和工人参考，亦可以作为大学或中等专业学校的教材。

劳动保护技术教材

噪 声 控 制 技 术

国家劳动总局 主编

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所发行 常熟兴隆印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 9.75 字数 245,000

1983 年 1 月第 1 版 1983 年 2 月第 2 次印刷

印数 50661—55,860

ISBN 7-5323-0423-7/TB·5

统一书号: 15119·2245 定价: 2.95 元

前 言

劳动保护是我们社会主义国家和社会主义企业的神圣职责,也是全国一切经济部门和生产企业的头等大事。建国三十多年来,党和政府一直是关怀与重视劳动保护工作的,把它看成是消除生产中不安全和不卫生因素、防止伤亡事故和职业病的发生、保障劳动者安全顺利地完成任务的一项重大措施。

十年内乱,给劳动保护工作带来很大的破坏。自党的十一届三中全会确定工作重点放到经济建设上以后,党的安全生产方针得到了进一步贯彻,劳动保护工作取得了新的成就。

建设四个现代化的社会主义强国,需要有一支宏大的有社会主义觉悟、有科学文化知识、有专业技术和经验的职工队伍。劳动保护是国家经济建设中的一个重要组成部分。为适应经济建设发展的需要,必须发展劳动保护事业。发展劳动保护事业,首先应当壮大劳动保护专业队伍。没有一支专业队伍,所谓加强劳动保护,只能是一句空话。

我局主编出版的一套劳动保护技术教材,计有《劳动保护概论》、《工业通风与防尘》、《工业防毒技术》、《射频辐射防护技术》、《噪声控制技术》、《电气安全技术》、《起重安全技术》、《焊接安全技术》、《锅炉与压力容器安全》和《煤矿安全》等十种。这套教材较为详细地阐述了安全技术与工业卫生技术的原理和方法,可供各地区、各工矿企业劳动部门培训劳动保护

干部之用；也可供企业单位劳动保护干部和生产管理干部学习参考；并可作为中等专业学校的劳动保护教材。

由于编写时间仓促，书中恐有错误、不妥之处，敬希读者批评指正，以便在重版时改正。

1981年10月

重 印 说 明

由原国家劳动总局主编的一套劳动保护技术教材，原拟编辑出版十种，后《劳动保护概论》因故未编，实为九种。

在当前普遍开展安全教育的形势下，对这套教材需求甚切。我社为满足读者需要，现决定姑按老版本重印一次，并由内部发行改为公开发行。

上海科学技术出版社

1987年6月

目 录

第一章 噪声基础知识	1
第一节 声音和噪声	1
第二节 描述振动的三个物理量	2
第三节 描述波动的三个物理量	3
第四节 噪声的物理量度	4
第五节 声波的传播	17
第六节 人耳的听觉特性与 A 声级	26
第七节 噪声评价	29
第二章 噪声的危害和噪声标准	43
第一节 噪声的危害	43
第二节 噪声标准	50
第三章 噪声测量	53
第一节 噪声测量的计划与准备	53
第二节 噪声测量的标准与规范	56
第三节 噪声测试与分析仪器	58
第四节 工业噪声测量技术	64
第五节 工业噪声测量注意事项	67
第六节 等效声级与统计声级的测量和计算	70
第四章 噪声控制的一般方法和步骤	74
第一节 噪声控制的一般方法	74
第二节 噪声控制工作步骤	77
第五章 吸声减噪	81
第一节 吸声材料与吸声系数	81

第二节	多孔吸声材料的种类及其吸声系数	84
第三节	影响多孔材料吸声性能的若干因素	96
第四节	吸声结构	106
第五节	吸声减噪的计算与设计	115
第六章	隔声	123
第一节	隔声的基本概念和原理	123
第二节	隔声测量和评价	134
第三节	隔声罩	153
第四节	隔声室	167
第五节	隔声屏	184
第七章	消声器	191
第一节	阻性消声器	192
第二节	抗性消声器	206
第三节	阻抗复合式消声器及微穿孔板消声器	218
第四节	排气喷流消声器	225
第五节	其他几种特殊型式的消声器	235
第八章	振动控制	247
第一节	前言	247
第二节	振动的基本概念	248
第三节	隔振器	251
第四节	隔振垫和其他隔振措施	273
第五节	阻尼减振	275
第九章	噪声的综合治理	285
一、	鼓风机噪声及其控制方法	285
二、	空压机组的噪声控制	292
附录	工业企业噪声卫生标准	299

第一章 噪声基础知识

第一节 声音和噪声

我们生活在声音的世界里,不论我们在什么地方,什么时间或作什么工作,总是有各种不同的声音伴随着我们,如街道上车辆的轰鸣声,工厂中机器的轧轧声,孩子们的谈笑声,灌溉渠中潺潺的流水声,翻动报纸书页的沙沙声等。由于我们习惯于这些充斥在日常生活中的声音,也就不去特别注意这些熟悉的声音了。歌曲和交响乐能鼓舞我们的斗志,使我们的生活丰富多采、生气勃勃。但是一些过大或不必要的声音如:鼓风机房、泵房噪声、球磨机噪声、铆钉枪噪声等,会引起人们的烦恼、不安甚至损害人们身心健康。

总之,不需要的声音就是噪声。本节的目的就是通过了解噪声的性质,寻找降低噪声的方法,来消除过强噪声。

物体振动,在空气或其它介质中传播,引起听觉器官或其它接受器的反应,就是声。

可见,形成声需要三个要素:振源、介质和接收器。

声源的振动,可以是固体(如琴弦、鼓膜等),也可以是气体(如飞机喷气、哨等),还可以是其它状态的物质(如现在研究的等离子体发声)。不论是什么状态的物体,引起声的是机械振动,即位置的周期性变化。

物体包括固体、液体、气体的振动都可以发声,如纺织机由于飞速运动的梭子不断与皮节撞击而发声;运行的鼓风机,

由于气体冲击机壳和管道也会剧烈振动而发声。总之,声音是由物体的振动而产生的。振动的固体、气体或液体称为声源。一般工厂中发声的机器我们称它为噪声源。

声音总是通过一段距离,从声源传入人耳。在声源与人耳之间,物体振动的能量靠什么传播呢?科学实践告诉我们,声音可以通过空气传播,一个敲响的鼓面,上下不断振动使得鼓面上面一层的空气分子也随着上下振动,由于空气分子之间有一定的弹性以及分子的惯性,振动着的分子又带动了与其相邻的其他分子,以此类推,鼓面的振动就可以使远处的空气分子发生振动,这个振动的能量通过空气分子传至我们的耳中,则听到了鼓声。

声音也能在固体和液体中传播。如有的师傅用木棒或改锥的一端放在运转机器的某个部件上,另一端贴在耳朵上听机器的声音以断定机器运转是否正常。水中的鱼能听到人们在岸边的脚步声而迅速逃走。

最普通的接收器是耳和话筒。耳是人体的听觉感受器官,话筒则是实验测量系统的声传感器。

由于声的构成有三个要素,所以要消除声可以从三个方面着手:声源处理、传播途径处理和接收器处理。声源处理是改革声源结构以减少其发声;传播途径处理可以把声源罩起来,也可以在途中设置吸声体或声障板等;接收器处理可用耳塞或耳罩。具体处理办法将在第四章中讨论。

第二节 描述振动的三个物理量

声来自声源的振动,所以振动特性对声的性质影响很大。物体的振动通常用振幅、频率和相位三个物理量来描述。

一个质量为 m 的物体在弹簧的作用下沿光滑平面无摩

擦地往复运动, 就是最简单的振子, 如图 1-1 所示。

物体离开平衡点的最大偏离就是振幅。物体单位时间内一往一复的次数是频率, 而相位则表明某一时刻, 物体在一个往返过程中所处的位置。

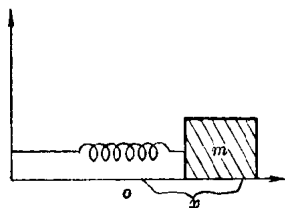


图 1-1 振动示意图

设每个时刻 t , 物体都有一个位置, 以此时位置与平衡位置的距离用 X 表示(可设在平衡点右方时 X 为正, 左方为负), 则振动方程为:

$$X = A \sin(2\pi ft + \varphi_0) \quad (1-1)$$

式中: A ——振幅(米或厘米);

f ——频率(赫兹);

$2\pi ft + \varphi_0$ ——相位角(弧度);

φ_0 ——初相($t=0$ 时的相角)。

令 $\omega = 2\pi f$ (ω 称为圆频率), 将 $\omega = 2\pi f$ 代入(1-1)式得:

$$X = A \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (1-2)$$

应当指出, 这三种描述振动的物理量是互相独立的。

第三节 描述波动的三个物理量

振动在介质中传播即为波。振动与波动不同。振动是振动物体的位移随时间而变化。波动则是介质中各处质点的位移随时间和空间分布不同而变化。

设 Y 表示位移, X 表示介质中的位置(若考虑三维情况则应用 X_1, X_2, X_3 三个坐标), 即有:

$$Y = A \sin\left(2\pi ft - 2\pi \frac{X}{\lambda}\right) \quad (1-3)$$

式中 λ 表示波长(米或厘米), 它是波峰与波峰(或波谷与波

谷)之间的距离。

(1-3)式有时简化为:

$$Y = A \sin(\omega t - KX) \quad (1-4)$$

式中 $K = 2\pi/\lambda$ 称为波数。

另外二个重要的量是波速和频率。波速是相位传播的速度;频率反映的是声调的高低。

波速 C , 频率 f , 波长 λ 有如下关系:

$$C = f\lambda \quad (1-5)$$

其中两个量连同振幅一起, 构成描述波动的三个物理量。

声音传播速度在空气中与温度有关, 在 0°C 时, 声速为 332 米/秒。温度升高 1°C , 声速约增加 0.6 米/秒。当温度为 20°C 时, 声速为 344 米/秒。

在 $\theta^{\circ}\text{C}$ 时, 声速为:

$$C = 332 + 0.6\theta \quad (\text{米/秒}) \quad (1-6)$$

声音在不同介质中传播速度是不同的, 在水中的传播速度为 1450 米/秒。声音在铁里的传播速度是空气里传播速度的 14 倍, 约 5000 米/秒。

第四节 噪声的物理量度

对噪声的衡量, 主要有强弱的度量和频谱分析。

噪声的强弱, 可以有客观的物理量评价, 也可以从人耳的主观感觉出发作评价。前者主要包括声压和声压级, 声强和声强级, 声功率和声功率级。后者主要包括响度和响度级, 各种计权网络声级和感觉噪声级等。为了对噪声的各种效应作出数量化的评价, 本节将介绍噪声的物理量度。

一、声压和声压级

振动的鼓皮, 在其平衡位置上、下往返运动。当鼓皮被锤

击变形在平衡位置之下最低位置时，由于弹力作用往上运动的一瞬间，弹力除了使鼓皮迅速向上运动外，一部分变为鼓皮给空气的压力，这部分压力来势很猛，紧贴鼓皮的气体分子与鼓皮一起迅速向上，离鼓皮稍远的气体分子还处在静止状态或来不及跟鼓皮一起向上运动，则空气被压缩而变密了；反之，鼓皮往下的迅速运动，又使得这层空气被拉伸而变得稀疏了，同时原来被压缩变密的部分，由于气体分子振动的传递到了较远的空气层。鼓皮上下振动一次，空气就被压变密、被拉变疏各一次，同时向外辐射出一个疏密波。鼓皮连续振动，则鼓皮上面不断形成密、疏相间的空气层，并传播开来。故声波亦称疏密波。

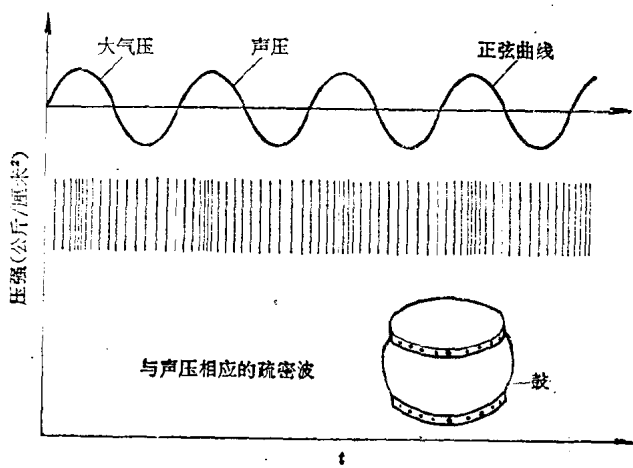


图 1-2 声波

我们通常生活的环境压强是一个大气压(1公斤/厘米²)，当声这个疏密波传来时，疏部的压强稍低于一个大气压，密部的压强稍高于一个大气压。如图 1-2 所示，声音就是在大气压上的压强波动，这个压强波动的大小简称为声压，其单位是

公斤/厘米²。

鼓皮敲得重,上下振动的剧烈,声压大,听得响;反之振动小,声压小,听来声音弱。

人耳刚刚听到的最小声压约为: 2×10^{-5} 牛顿/米² (2×10^{-10} 公斤/厘米²), 只有一个大气压的 50 亿分之一; 可是喷气式飞机附近的声压可达数百牛顿/米² (10^{-8} 公斤/厘米²), 这是人耳能短时忍受的最大声压了, 那也不过是一个大气压的千分之几。在这么强的声音下人耳感到压痛, 头昏, 时间稍长就会引起耳聋。

从刚刚可以听到的声音到人们不堪忍受的声音, 声压相差数百万倍, 显然, 用声压表达各种不同大小的声音实在不太方便。为了实用上方便, 同时考虑了人耳对声音强弱变化的(对数)特性。用对数法将声压分为一百多个声压级。所谓声压级, 就是声压平方对 1000 赫纯音的听阈声压 (2×10^{-5} 牛顿/米²) 平方比值的对数, 其单位为贝尔, 为实用方便, 引入其 $\frac{1}{10}$ 定名为分贝。以(1-7)式表示:

$$L_p = 10 \lg \frac{P^2}{P_0^2} = 20 \lg \frac{P}{P_0} \quad (1-7)$$

式中: L_p ——声压级(分贝);

P ——声压, (帕斯卡或牛顿/米²);

P_0 ——基准声压 (2×10^{-5} 帕斯卡或牛顿/米²)。

应当说明:

(1) 分贝值表示的是比值的对数, 它的量纲是 1。

(2) 之所以对声压平方之比取对数是因为两个声音迭加时并不是声压迭加, 而是声压的平方迭加, 也就是能量相迭加。

(3) 两个 60 分贝的声音迭加应按下式来计算;

$$\begin{aligned}\bar{L}_{\Sigma} &= 10 \lg \frac{P_1^2 + P_2^2}{P_0^2} = 10 \lg \frac{2P_1^2}{P_0^2} \\ &= 10 \lg 2 + 10 \lg \frac{P_1^2}{P_0^2} = 3 + 60 \text{ (分贝)}\end{aligned}$$

这就是说, 两个相同的声音迭加其声压级增大 3 分贝。同理, 三个相同的声音迭加, 其声压级增大 $10 \lg 3 \approx 5$ 分贝, N 个相同的声音迭加, 其声压级增大 $10 \lg N$ 分贝。

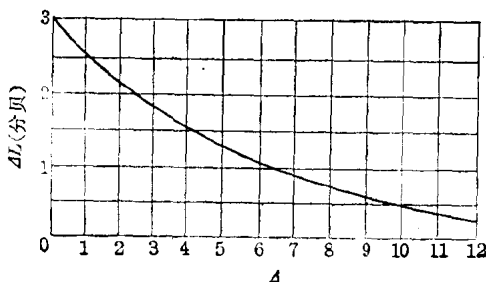
若两个不同的声音迭加, 其分贝加法要复杂一些:

$$L_1 = 10 \lg \frac{P_1^2}{P_0^2}, \quad L_2 = 10 \lg \frac{P_2^2}{P_0^2}.$$

由此得: $\frac{P_1^2}{P_0^2} = 10^{0.1L_1}, \quad \frac{P_2^2}{P_0^2} = 10^{0.1L_2},$

$$\begin{aligned}L_{\Sigma} &= 10 \lg \frac{P_1^2 + P_2^2}{P_0^2} = 10 \lg \left(\frac{P_1^2}{P_0^2} + \frac{P_2^2}{P_0^2} \right) = 10 \lg (10^{0.1L_1} \\ &\quad + 10^{0.1L_2}) = 10 \lg \{10^{0.1L_1} [1 + 10^{0.1(L_2 - L_1)}]\} \\ &= L_1 + 10 \lg (1 + 10^{-0.1\Delta})\end{aligned} \quad (1-8)$$

式中 $\Delta = L_1 - L_2$, 为两声压级的差值(注: 总是以大减小得出值)。如果将(1-8)式右边第二项作为 Δ 的函数画出图表, 即可查得分贝数的值(见图 1-3)。在较大的声压级上加上此值数, 即为总声压级。如 $L_1 = 81$ 分贝, $L_2 = 87$ 分贝, 知 $\Delta = 6$ 分贝, 查得 ΔL 为 1 分贝, 故总声压级 $L_{\Sigma} = 87 + 1 = 88$ 分贝。



(图 1-3 $\Delta L = 10 \lg (1 + 10^{-0.1\Delta})$)

声压使用了“级”的概念后，原来相差数百万倍的声压范围，用 0~150 分贝的声压级就可以表达出来了。简化了表示不同大小声音的方式，也便于记忆。需要强调的是每个声压级全表示一个相应的声压；声压之间的级差（分贝数差），表示相应声压之间的数差。如声压相差 6 分贝，相应声压差一倍，声压级变化 20 分贝，声压变化 10 倍；声压级变化 40 分贝，则声压变为 100 倍。噪声若能降低 20 分贝或 40 分贝，则降低的噪声声压只有原来噪声声压的十分之一或百分之一，耳能感觉到噪声显著降低。另外，人耳能分辨出 3 分贝声压的变化，它相应于声压变化了 1:4 倍。

顺便说明一下，人耳分辨声音的弱、强变化，实际是声压的倍数变化。

表 1-1 列出了从 0 到 150 分贝之间几种典型环境的声压级及其相应声压。

二、声强和声强级

声强是在传播方向上单位时间内通过单位面积的声能量，或者说是单位面积上的声功率：

$$I = \frac{E}{\Delta t \Delta S} = \frac{W}{\Delta S} \text{ (瓦/米}^2\text{)} \quad (1-9)$$

同样，以听阈声强值 10^{-12} 瓦/米² 为基准，可定义声强级为：

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

三、声功率和声功率级

声功率是描述声源性质的，它不象声压或声强那样随离开声源的距离加大而减小，它反映的是单位时间内声源向外辐射的总能量：

$$W = \frac{E}{\Delta t} \text{ (瓦)} \quad (1-11)$$

表 1-1 各种环境的声压和声压级

声压(微巴=0.1牛顿/米 ²)	声压级(分贝)	环 境
6300	150	喷气飞机喷口附近
2000	140	喷气飞机附近
630	130	锻锤、铆钉工人操作位置
200	120	大型球磨机附近
63	110	8-18 型鼓风机附近
20	100	纺织车间
6.3	90	4-72 风机附近
2	80	公共汽车内
0.63	70	繁华街道上
0.2	60	普通说话
0.063	50	微电机附近
0.02	40	安静房间
0.0063	30	轻声耳语
0.002	20	树叶下落的沙沙声
0.00063	10	农村静夜
0.0002	0	刚刚听到

同样,以 10^{-12} 瓦为基准,可定义声功率级为:

$$L_W = 10 \lg \frac{W}{W_0} \quad (1-12)$$

表 1-2 列出了几种噪声源的声功率和声功率级。

四、噪声的频谱

音乐中有高、低音之分,噪声中有尖调的电锯声,也有低沉闷响的空气压缩机噪声。这又是为什么呢?实践表明,声源振动的快慢决定了其发声音调高、低。振动慢,音调低;振动快,音调高。过强、过弱的声音人们接受不了。同时振动过慢、过快的声音人们也感觉不到。人们只能听到每秒振动 20~20000 次的声音,我们称 20~20000 赫的声音为可听声。低于 20 赫的声音为次声;高于 20000 赫的声音为超声。次声和

表 1-2 几种声源的声功率和声功率级

声功率(瓦)	声功率级(分贝)	声 源
25 百万瓦~40 百万瓦	195	土星火箭
10^5	170	火箭、导弹
10^4	160	喷气式飞机
10^3	150	
10^2	140	螺旋桨飞机
10^1	130	球磨机
10^0	120	
10^{-1}	110	离心风机(风量 3500 米 ³ /分)
10^{-2}	100	
10^{-3}	90	通风机(风量 1000 米 ³ /分)
10^{-4}	80	大声叫喊
10^{-5}	70	一般谈话
10^{-6}	60	
10^{-7}	50	
10^{-8}	40	
10^{-9}	30	耳 语

超声人耳听不到,但它是客观存在的。如老鼠可以听到次声,蝙蝠可以听见超声。我们谈噪声,当然不会超出 20~20 千赫的可听声范围了。

一般电锯,主要噪声频率在 1000 赫以上,听起来尖锐刺耳;8-18 型高压风机主要噪声频率在 500 赫左右,听起来比电锯低沉一些;而空气压缩机主要噪声频率在 200 赫左右,它发出的噪声更为低沉。

实际上,任何机器运转的噪声都不止一个频率的声音,它们是从低频到高频无数频率成分的声音的组合。有的机器高频率的声音多一些,听起来高亢刺耳,如电锯、铆钉枪,它们辐射的主要噪声成分在 1000 赫以上,这种噪声我们称之为高频噪声。有的机器低频率的声音多一些,如空压机,汽车辐射的