

任文堂 祝存钦 编

# 厂矿企业噪声和环境噪声

冶金工业出版社



# 厂矿企业噪声和环境 噪声控制

任文堂 祝存钦 编

冶金工业出版社

**厂矿企业噪声和环境噪声控制**

任文堂 祝存钦 编

责任编辑 郭富志

\*

冶金工业出版社出版

(北京灯市口74号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

\*

787×1092 1/32 印张 6 1/2 字数 142 千字

1983年7月第一版 1983年7月第一次印刷

印数00,001~13,000册

统一书号: 15062·3947 定价0.70元

## 编者的话

随着现代工业和交通运输事业的发展，噪声已成为危害工人健康和污染环境的主要因素之一。噪声影响人们的休息和睡眠，降低工作效率，影响安全生产；噪声使人听力减退，并诱发多种疾病；噪声还能损坏建筑物并影响仪器设备的正常工作。因此，噪声污染越来越引起人们的关注。控制噪声、振动是劳动保护和环境保护的一项重要课题。

为了满足厂矿企业对噪声、振动控制工作的需要，本书概括地介绍了噪声和振动控制的基础知识，包括噪声的产生、评价、标准、测量方法以及噪声控制原理和措施等均适合于一般厂矿企业。本书的重点是介绍厂矿企业各类噪声、振动的特性及其产生的原因，较系统地总结了冶金工矿企业控制噪声、振动的具体方法和经验。为了适应当前噪声控制工作的实际需要，书中还介绍了各类噪声和振动控制的实例，便于读者了解和掌握控制噪声的原理和方法。

城市环境噪声控制是现代城市发展中需要解决的重要技术问题之一。其主要控制措施是颁发有关标准和法规，控制噪声源，合理规划和建设等。本书对这方面的内容也作了介绍。

本书可供从事劳动保护、环境保护、建筑设计、设备制造等工作的科技人员、管理人员、干部和工人参考。

由于水平所限，书中不妥之处，希望读者批评指正。

一九八一年九月

# 目 录

第一章 厂矿企业噪声、振动的产生和评价	1
一、振动和噪声	1
二、工厂车间噪声的产生和计算	8
三、噪声、振动的测量和评价	14
第二章 噪声源的控制方法	23
一、机械噪声	23
二、空气动力性噪声	31
第三章 噪声传播途径中的控制方法	42
一、隔声	42
二、吸声	56
三、消声器	64
四、阻尼	72
五、个人防护	74
第四章 厂矿企业噪声及其控制措施	76
一、矿山	76
二、炼铁和烧结	93
三、炼钢	109
四、轧钢	118
五、铁合金、耐火材料、金属制品、焦化	131
六、铸造	139
七、辅助生产	144
第五章 厂矿企业振动控制	148
一、隔振	148
二、减振器的设计	155
三、厂矿企业振动控制实例	158

第六章 环境噪声及其控制 .....	165
一、环境噪声概述 .....	165
二、环境噪声的测量和标准 .....	167
三、交通噪声的预算和特性 .....	172
四、机动车辆噪声和控制技术 .....	176
五、飞机噪声 .....	183
六、绿化和声屏障 .....	186
七、城市规划和建设 .....	194
参考文献 .....	201

# 第一章 厂矿企业噪声、振动的 产生和评价

随着现代工业的发展，大功率和高转速的机械设备越来越多。厂矿企业的噪声和振动不仅影响人们的正常工作休息和健康，而且影响设备的工作质量和使用寿命。因此，控制噪声和振动是现代环境科学研究的一个重要课题。

## 一、振动和噪声

任何一个物体，在某些外力作用下，都能以一定的形式进行振动。这里所研究的振动是指由各种机械设备所产生的对人有危害的振动。

最简单的振动是周期性简谐振动，它的数学表达式为：

$$x = x_0 \sin(\omega t + \phi) \quad (1-1)$$

式中  $x$ ——振动位移；

$x_0$ ——振幅；

$\omega$ ——圆频率；

$\phi$ ——位相；

$t$ ——时间。

机械的振动大小，除可用位移的大小表示外，也可用速度和加速度的大小来表示。如果对公式(1-1)微分，可得到速度幅值 $V_0$ 、加速度幅值 $A_0$ 和位移的关系：

$$V_0 = \omega x_0; \quad A_0 = \omega^2 x_0$$

一个物体在简谐周期振动中传递的功率为：

$$W = \frac{1}{2} Z V^2 = Z V_{\text{有效}}^2 \quad (1-2)$$

式中  $Z$ ——物体的机械阻抗，等于施加给物体的力和振动速度之比；

$$V_{\text{有效}} = \bar{V} / \sqrt{2}, \text{ 振动速度的有效值。}$$

然而，一般的机械振动都不是一个简谐周期振动，而是由许多不同频率、位相和振幅的周期振动组成的。为了表征这种振动，经常采用由各个频率振动的位移幅值或速度、加速度幅值组成的曲线来表示。这种曲线称为频谱曲线。

为了测量方便，可以把频率范围分成许多倍频带。这里的倍频带是指上限频率等于二倍下限频率的频带，即

$$f_{\text{上}} = 2f_{\text{下}}$$

倍频带的中心频率为：

$$f_{\text{中心}} = \sqrt{f_{\text{上}} \cdot f_{\text{下}}} = \sqrt{2f_{\text{下}}} = \frac{f_{\text{上}}}{\sqrt{2}} \quad (1-3)$$

现场中所遇到的振动速度、位移和加速度大小数值范围很宽，有时可以相差数百万倍。为了测量和计算方便，一般都采用相应振动量的级来描述振动的大小。一个振动量  $M$  对应的级定义为：

$$N = 10 \lg M/M_0 \quad (\text{分贝}) \quad (1-4)$$

式中  $M_0$ ——振动基准值。

对于振动功率来说，其级为：

$$L = 10 \lg W/W_0 = 20 \lg V/V_0 \quad (1-5)$$

式中  $V_0 = 5 \times 10^{-6}$  厘米/秒，人对振动速度的感觉阈值；

$V$ ——功率  $W$  对应的振动速度。

由上式可以看出，级是一个无量纲的相对值。如果已知级的数值，利用表1-1可以计算出相对应的绝对值。计算时，首先把级的数值写成  $20n + m$  的形式，然后利用表1-1查出  $m$  分贝所对应的绝对值，再乘以  $10^n$  和振动基准值，就等于振



动的绝对值了。例如，振动速度级为117分贝，可以写成 $20 \times 5 + 17$ 分贝，由表中查出对应17分贝的绝对值为7.08，对应117分贝的绝对值则为  $7.08 \times 10^5 \times 5 \times 10^{-6}$  厘米/秒 = 354 厘米/秒。

由于振动级是一个对数量，当需要把几个振动源的振动或几个频带的振动叠加起来时，不能简单地算术叠加，只能分别求出绝对值，再按能量叠加，即：

$$L = 10 \lg (10^{0.1V_1} + 10^{0.1V_2} + 10^{0.1V_3}) \quad (1-6)$$

级和绝对值的换算

表 1-1

分贝	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	1.00	1.01	1.02	1.04	1.05	1.06	1.07	1.08	1.10	1.11
1	1.12	1.14	1.15	1.16	1.18	1.19	1.20	1.22	1.23	1.24
2	1.26	1.27	1.29	1.30	1.32	1.33	1.35	1.36	1.38	1.40
3	1.41	1.43	1.44	1.46	1.48	1.50	1.51	1.53	1.55	1.57
4	1.58	1.60	1.62	1.64	1.66	1.68	1.70	1.72	1.74	1.76
5	1.78	1.80	1.82	1.84	1.86	1.88	1.91	1.93	1.95	1.97
6	2.00	2.02	2.04	2.06	2.09	2.11	2.14	2.16	2.19	2.21
7	2.24	2.26	2.29	2.32	2.34	2.37	2.40	2.43	2.46	2.48
8	2.51	2.54	2.57	2.60	2.63	2.66	2.69	2.72	2.75	2.79
9	2.82	2.85	2.88	2.92	2.95	2.98	3.02	3.06	3.09	3.13
10	3.16	3.20	3.24	3.27	3.31	3.35	3.39	3.43	3.47	3.51
11	3.55	3.59	3.63	3.67	3.72	3.76	3.80	3.85	3.89	3.94
12	3.98	4.03	4.07	4.12	4.17	4.22	4.27	4.32	4.36	4.42
13	4.47	4.52	4.57	4.62	4.68	4.73	4.79	4.84	4.90	4.96
14	5.01	5.07	5.13	5.19	5.25	5.31	5.37	5.43	5.50	5.56
15	5.62	5.69	5.75	5.82	5.89	5.96	6.03	6.10	6.17	6.24
16	6.31	6.38	6.46	6.53	6.61	6.68	6.76	6.84	6.92	7.00
17	7.08	7.16	7.24	7.33	7.42	7.50	7.59	7.67	7.76	7.85
18	7.94	8.04	8.13	8.22	8.32	8.41	8.51	8.61	8.71	8.81
19	8.91	9.12	9.12	9.23	9.33	9.44	9.55	9.66	9.77	9.89

式中  $L$ ——总振动级；

$V_1$ 、 $V_2$ 、 $V_3$ ——各振动源或振动频带的振动级。

利用图1-1来计算级的合成，那就更方便了。首先在横坐标查出两个级之差，再按曲线找出相对应的 $\Delta L$ 值，把 $\Delta L$ 值加到两个合成级中较大的一个上，即是总的振动级数值。

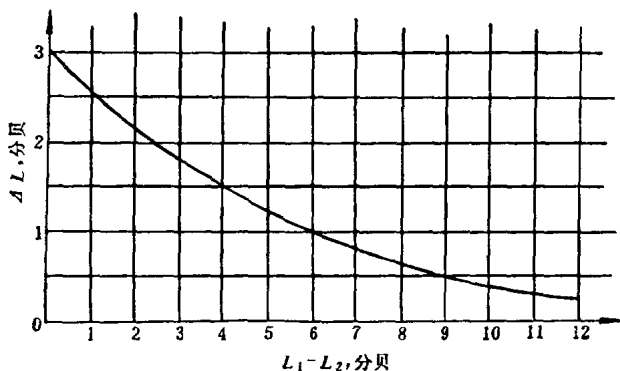


图 1-1 级的合成

噪声是指影响人们正常工作、学习和休息，危害人们身心健康而需要控制的声音。工矿企业中的噪声源，按其噪声的机理来说，可以大致分为由各种机械结构表面振动而产生的机械噪声、由气体和液体振动而产生的流体噪声以及燃烧噪声。

当物体振动时，其附近的空气产生了压力起伏变化，称这个压力起伏变化为声压。单位时间内，通过单位面积的声能称为声强。对于简单的平面声波来说，其声强为：

$$I = p\xi = \frac{p^2}{\rho c} = \xi^2 \rho c \quad (1-7)$$

式中  $p$ ——声压；

$\xi$ ——声波传播过程中，粒子振动速度；

$\rho$ ——空气密度；

$c$ ——空气中的声速，空气温度为  $18^{\circ}\text{C}$  时，等于 340 米/秒。

声场中单位体积的声能密度为：

$$\varepsilon = I/c = p^2/\rho c^2 \quad (1-8)$$

和振动一样，通常也采用级来表示声音，声强级和声压级定义为：

$$L = 10 \lg \frac{I}{I_0} = 20 \lg \frac{p}{p_0} = 10 \lg \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \quad (1-9)$$

式中， $I_0 = 10^{-12}$  瓦/米<sup>2</sup>， $\varepsilon_0 = 3 \times 10^{-5}$  焦耳/米<sup>3</sup>， $p_0 = 10^{-5}$  牛顿/米<sup>2</sup>，它们分别是基准声强、基准声能密度和基准声压。

绝大多数噪声是由许多不同频率、不同强度的声音组合

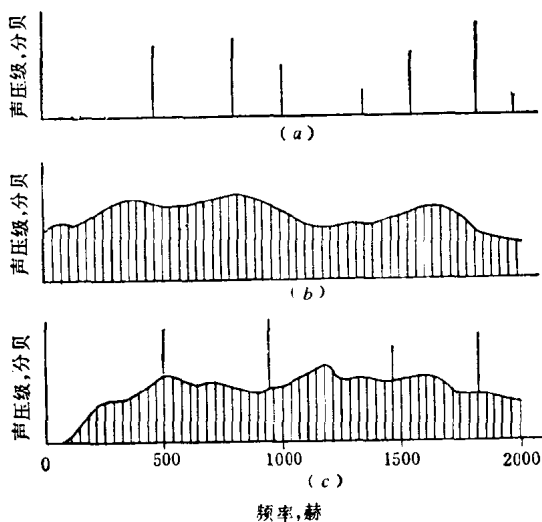


图 1-2 噪声频谱形式

a—线状谱；b—连续谱；c—连续谱上叠加线状谱

而成。一般频谱呈连续性，或者在连续谱上再叠加一些线状谱。图1-2示出了三种典型频谱的形状。

如果一个噪声源的主要能量集中在50~400赫兹时，称为低频性噪声；噪声能量集中在400~1000赫兹时，称为中频性噪声；噪声主要能量集中在1000赫兹以上时，则称为高频性噪声。

一个声源的声压级、声强级，不仅和声源的距离有关，而且和周围的环境有关。如果采用声功率级来表示声源，就克服了由于环境所带来的测量误差。声功率是指声源在单位时间内向整个空间所辐射的声能，即：

$$W = \oint_S I dS \quad (1-10)$$

式中  $S$ ——声源周围的封闭面积；

$I$ —— $dS$ 面积元上的声强。

声功率级定义为：

$$L_w = 10 \lg \frac{W}{W_0} = \bar{L} + 10 \lg \frac{S}{S_0} \quad (1-11)$$

式中  $W_0$ ——基准声功率， $10^{-12}$ 瓦；

$S_0$ ——基准封闭面积， $1\text{米}^2$ ；

$\bar{L}$ ——封闭面积 $S$ 上的平均声压级。

测量一个机器的声功率级，通常都是在距机组（噪声源）表面1米处，测量一些测点的声压级，取平均后再换算成声功率级（图1-3）。计算平均声功率级可采用下式：

$$\bar{L} = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0.1L_i} - 10 \lg n \quad (1-12)$$

式中  $L_i$ ——第 $i$ 个点所测量的声压级；

$n$ ——测点数目。

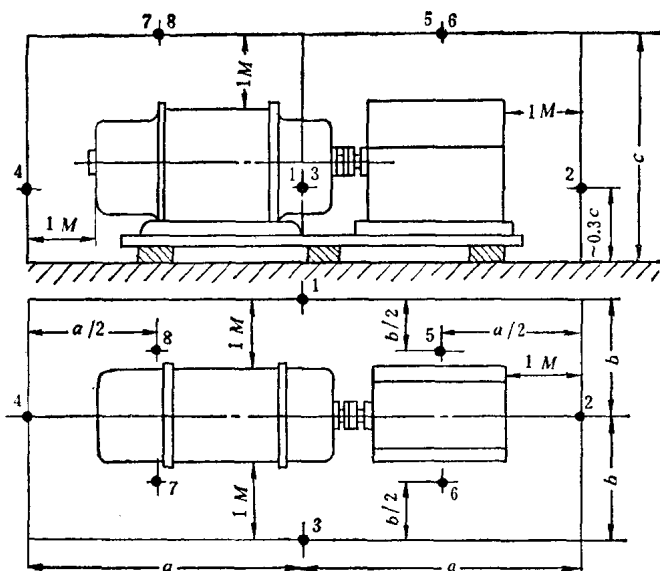


图 1-3 机器声功率级测量的测点布置

如果各测点所测声压级之差最大不超过 5 分贝，平均声压级可简单地取其算术平均值。

当机器置于地板上时，测量表面积为：

$$S = 2\pi r^2$$

式中的  $r$  为等效测量半径，可按式进行计算：

$$r = \frac{\sqrt{a(b+c)}}{2} \quad (1-13)$$

式中  $a$ 、 $b$ 、 $c$  如图 1-3 所示。

如果测量表面的平均声压级和等效半径  $r$  已知，则所测机器的声功率级为：

$$L_w = \bar{L} + 10 \lg 2\pi r^2 \quad (1-14)$$

如果一个大型机组的声功率是由很多声源辐射的，机组辐射的声功率级可由各声源的声功率级合成计算得出。例如，三个声源所辐射的声功率级为  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ ，总声功率级为：

$$L = 10 \lg (10^{0.1L_1} + 10^{0.1L_2} + 10^{0.1L_3})$$

## 二、工厂车间噪声的产生和计算

已知一个噪声源的声功率级，为了有效地控制噪声，还需由声功率级计算出工厂车间中不同位置的声压级大小。

首先研究在自由声场中声压级的计算。自由声场是指声源周围没有大的反射物的声场，例如露天、专业用消声室以及距离声源较远的一些空间点。在自由声场中声源在某点所产生的声强为：

$$I = \frac{W \Phi}{\Omega r^2} \quad (1-15)$$

式中  $W$ ——声源声功率；  
 $\Omega$ ——辐射空间角；  
 $\Phi$ ——声源指向系数；  
 $r$ ——测点至声源中心的距离。

声源指向系数  $\Phi$  是表征噪声源在不同方向上辐射非均匀特性的一个参数，定义为：

$$\Phi = \frac{p^2}{p_0^2} \quad (1-16)$$

式中  $p$ ——至声源  $r$  距离某一给定方向上的声压；  
 $p_0$ ——对于具有同一声功率，但无指向性的声源在上述测点的声压。

为了方便起见，通常采用距声源  $r$  处各方向的平均声压  $\bar{p}$  来代替  $p_0$ ，并引入声源的非均匀度  $L_\phi$ ，它定义为：

$$L_{\phi} = 10 \lg \Phi = L - \bar{L}$$

式中  $L$  和  $\bar{L}$  是相应于公式 (1-16) 中声压  $p$  和  $p_0$  的级。

辐射角  $\Omega$  和声源的辐射空间特性有关。声源向周围所有空间辐射噪声时,  $\Omega = 4\pi$ ; 声源放置在地板上, 向半空间辐射噪声时,  $\Omega = 2\pi$ ; 声源处于两个墙壁交接线上时,  $\Omega = \pi$ ; 声源处于三个面的交点上时,  $\Omega = \pi/2$ 。

利用声功率的表达式, 可以得到声压级和声功率级的关系式:

$$L = L_w + L_{\phi} - L_{\Omega} - L_r - L_a \quad (1-17)$$

式中  $L$  ——  $r$  处的声压级;

$L_w$  —— 声源的声功率级;

$$L_{\Omega} = 10 \lg \Omega;$$

$$L_{\phi} = 10 \lg \phi;$$

$$L_r = 20 \lg r;$$

$$L_a = \frac{\beta r}{1000}。$$

其中  $\beta$  值可根据倍频带中心频率按表 1-2 计算。

不同倍频带的  $\beta$  值

表 1-2

倍频带中心频率 (赫兹)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$\beta$ (分贝/1000米)	0	0.7	1.5	3	6	12	24	48

在自由声场中, 如有几个声源时, 空间中某点的声强应  
为:

$$I = \sum_{i=1}^n \frac{W_i \Phi_i}{\Omega_i r_i^2} \quad (1-18)$$

相应声压级为：

$$L = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0.1L_i} \quad (1-19)$$

式中  $L_i = L_{w_i} + L_{\phi_i} - L_{D_i} - L_{r_i} - L_{a_i}$ ，第  $i$  个声源在该点所产生的声压级。

如果声源不是处在自由声场中，而是处在封闭的车间内，在计算声压级时，还要考虑房间墙壁的声吸收和声反射。设壁面的入射声能为  $E_1$ ，吸收的声能为  $E_2$ ，则壁面的吸声系数定义为：

$$\alpha = E_2 / E_1 \quad (1-20)$$

考虑房间的几个壁时，假定第  $i$  个壁面的吸声系数为  $\alpha_i$ ，面积为  $S_i$ ，则房间的总吸声量为：

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i \quad (1-21)$$

平均吸声系数为：

$$\bar{\alpha} = \frac{A}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad (1-22)$$

在这样的房间中，某一点的声能量不仅包含直接来自声源的直达声，而且包含来自房间的壁面的反射声。如果壁面足够光滑（即是声波的良好反射体），声场中能量密度将是均匀的，这样的声场称为混响声场。

混响声场的能量密度为：

$$e = \frac{4W}{Ac} \quad (1-23)$$

式中  $c$  —— 声速；

$W$  —— 混响场中声源声功率；



$A$ ——混响场的总吸声量。

实际上，大多数工厂车间，即不是一个理想的自由声场，也不是一个理想的混响场，而是一个半混响场。在这种声场中，声能由直达声能量和混响声能量组成。由壁面反射而产生的第一次混响反射声能量密度为：

$$\varepsilon_2 = \frac{4W}{Ac}(1 - \bar{\alpha}) \quad (1-24)$$

声场的总能量密度：

$$e = e_1 + e_2 = \frac{W\Phi}{\Omega r^2 c} + \frac{4W}{Ac}(1 - \bar{\alpha}) \quad (1-25)$$

由上式可以得到半混响声场中的声压级和声功率级的关系为：

$$L = L_w + 10 \lg \left( \frac{\Phi}{\Omega r^2} + \frac{4}{B} \right) \quad (1-26)$$

式中  $B = \frac{A}{(1-\alpha)}$ ，称为房间常数。

准确的房间常数应由试验确定，一般可近似按下式计算：

$$B = B_{1000} \cdot \mu$$

式中  $B_{1000}$ ——1000赫兹的房间常数，可按图1-4计算；

不同房间和频率的  $\mu$  值

表 1-3

房间容积 (米 <sup>3</sup> )	倍频带中心频率(赫兹)							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
<200	0.8	0.75	0.7	0.8	1	1.4	1.8	2.6
200~500	0.65	0.62	0.64	0.75	1	1.5	2.4	4.2
>500	0.5	0.5	0.55	0.7	1	1.6	3	6