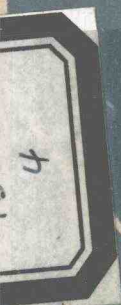


工业噪声控制及测定



冶金安全小丛书之三

(内部发行)

工业噪声测量与控制

程明昆 李松盛

中国金属学会冶金安全学术委员会科普领导小组
冶 金 部 安 全 技 术 情 报 网

说 明

冶金安全小丛书，是由中国金属学会冶金安全学术委员会科普领导小组和冶金部安全技术情报网负责组织有关专业人员编写的一套通俗读物，计划分为若干单册，陆续编印，内部征订发行。它试图针对冶金企业比较常见的伤亡事故及职业危害情况，从科学技术上深入浅出地加以阐述，并提出防治措施。其目的是普及安全技术知识，并为企业开展安全教育、举办安全训练班提供参考材料。

中国金属学会科普工作委员会第一次工作会议以后，冶金安全学术委员会也召开了科普工作讨论会，制订了1981—1985年科普工作规划(草稿)，并成立了科普工作领导小组。领导小组由徐孟任、隋鹏程、孙继香、董宝富、齐秉轩、么纯玉、王励前、杨敏、陈化韩同志组成，由陈化韩同志担任组长。

由于我们对通俗读物的组织编写工作缺乏经验，缺点、错误在所难免，欢迎读者批评指正。

目 录

第一章 噪声的基本概念.....	(1)
一、什么是噪声.....	(1)
二、噪声频谱.....	(1)
三、噪声传播.....	(3)
四、噪声的度量.....	(5)
五、噪声级的计算.....	(13)
第二章 噪声的危害.....	(21)
一、噪声会引起耳聋.....	(21)
二、噪声会诱发人体的多种疾病.....	(22)
三、噪声干扰人们的睡眠.....	(22)
四、噪声对动物的影响.....	(23)
五、噪声影响安全生产和降低劳动生产率.....	(23)
六、高强噪声能损害物质结构和建筑物.....	(24)
七、噪声对社会政治、经济的影响.....	(24)
第三章 工业噪声测量和评价标准.....	(25)
一、测量仪器.....	(25)
二、工业噪声测量.....	(27)
三、噪声评价方法.....	(28)

四、噪声标准.....	(32)
第四章 工业噪声控制.....	(36)
一、吸声.....	(37)
二、隔声.....	(42)
三、消声.....	(47)
四、阻尼和隔振.....	(55)
五、个人防护.....	(56)
附录一 史蒂文斯响度指数表.....	(57)
附录二 工业企业噪声卫生标准 (试行草案)	(61)
附录三 工业企业噪声检测规范.....	(63)

第一章 噪声的基本概念

一、什么是噪声

从物理学观点讲，噪声就是各种频率与声强杂乱无序组合的声音。从生理和心理学观点讲，对人们有危害的以及使人厌烦的、不需要的声音叫噪声。

工业噪声是我们最常遇到的一类噪声。它不仅直接对从事生产的工人带来危害，而且对工厂周围的居民或其他工作人员的影响也很大。工业噪声依其车间工作性质而异。一般电子工业和轻工业的噪声级在90分贝以下；纺织厂在90~106分贝之间；而机械、冶金工业噪声级在80~120分贝范围内。

冶金工业噪声中，主要有空气动力性噪声、机械性噪声和电磁性噪声三种。空气动力性噪声是由气体振动产生的。如钢铁厂的高炉鼓风机、矿山局扇和主扇、空气压缩机、排气放空等。机械性噪声是由固体振动产生的。如凿岩机、球磨机、破矿机、锻锤等。电磁性噪声是由于电机中的交变磁场力的相互作用而产生的。如发电机、电动机、变压器等。

二、噪声频谱

噪声，有的低沉，有的尖锐，是因其频率不同的缘故。振动物体每秒振动的次数称为频率，用 f 表示，单位是赫(Hz)。正常人耳的可听频率范围是20~20000赫，低于20赫的声音叫

次声；高于20000赫的声音叫超声。为了解一个噪声的特性，往往需要知道声压级与频率之间的关系，即看看哪一个频率或哪一段频率中噪声最强或较弱，这种函数关系称为噪声的频谱。要想得到这种关系，就需进行频率分析。如果频率分析按1赫来进行，工作量将十分庞大而且对噪声控制也没有必要。因此，人们常把一宽广的声频范围划成几个频段，这就是频带或频程。频带一般分为恒定带宽、恒定百分率带宽和倍频程带宽三种。在工业噪声测量中，常用的是倍频程和1/3倍频程。它们的频带宽度（上、下频率限度）和中心频率按下式计算：

$$f_0 = \sqrt{f_{\text{上}} \cdot f_{\text{下}}} \quad (1)$$

式中 f_0 —中心频率；

$f_{\text{上}}$ —上限频率；

$f_{\text{下}}$ —下限频率。

$$f_{\text{上}} = 2^n \cdot f_{\text{下}}$$

当 $n=1$ 时为倍频程； $n=\frac{1}{3}$ 为三分之一倍频程。

倍频程的中心频率和频率范围如表1。

表1 倍频程频率范围

中心频率 (赫)	频率范围 (赫)	中心频率 (赫)	频率范围 (赫)
63	45~90	1000	710~1400
125	90~180	2000	1400~2800
250	180~355	4000	2800~5600
500	355~710	8000	5600~11200

三分之一倍频程的中心频率和频率范围如表 2。

表2 1/3 倍 频 程 频 率 范 围

中心频率 (赫)	频 率 范 围 (赫)	中心频率 (赫)	频 率 范 围 (赫)
50	45~56	1000	900~1120
63	56~71	1250	1120~1400
80	71~90	1600	1400~1800
100	90~112	2000	1800~2240
125	112~140	2500	2240~2800
160	140~180	3150	2800~3550
200	180~224	4000	3550~4500
250	224~280	5000	4500~5600
310	280~355	6300	5600~7100
400	355~450	8000	7100~9000
500	450~560	10000	9000~11200
630	560~710	12500	11200~14000
800	710~900		

以频率为横坐标, 频带声压级为纵坐标, 作出的噪声大小与频率关系的特性图, 称为噪声频谱图。噪声的频谱分析, 为我们了解噪声特性, 进行噪声控制提供依据。

三、噪声传播

噪声具有声波的传播特性。由于温度梯度和风速梯度的影响, 声波在大气中的传播速度和方向随着离地面至高空温度的增高或降低而使声线弯曲, 如图 1 所示。



图1 声波传播受温度和风速梯度的影响

声波的传播速度随气温的升高而变快。空气中的声速大致可由下式决定：

$$C = 331.4 + 0.607\theta, \text{ 米/秒} \quad (2)$$

式中 C —声速；

θ —摄氏温度；

331.4 (米/秒) 是 $\theta = 0^\circ\text{C}$ 时的声速。

一般室内温度 $\theta = 23^\circ\text{C}$ 时，声速 $C = 345$ 米/秒。在不同的介质中，声速是不一样的。如在钢铁中约为 5000 米/秒；在水中约为 1400 米/秒；在橡胶中却只有 30~40 米/秒。

声速 C 与波长 λ 、频率 f 的关系为：

$$\lambda = \frac{C}{f} \quad (3)$$

声波在传播过程中如果遇到墙或其他障碍物时，会产生

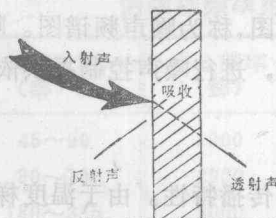


图2 声波的反射、吸收和透射现象

反射，这一由反射而来的声音称为反射声；还有一部分由于墙或板的振动而透射过去的声音，称为透射声。如图 2 所示。

透射声能与入射声能之比，称为透射系数，常用 τ 来表示。 τ 值小的材料称为隔声材料。反射声能与入射声能之比，称为声能反射系数，可用 β 来表示。 β 值小的材料称为吸声材料。吸声材料的吸声系数定义为：

$$\alpha = 1 - \beta \quad (4)$$

式中 α —吸声系数；

β —反射系数。

声波在传播过程中随距离的增加而衰减。不同类型的声源，衰减规律不同。如点声源的声波是以球面波的形式传播，强度与距离的平方成反比。即距离每增加一倍，声压级衰减 6 分贝（声压级和分贝的概念见第四节），可用下式表示：

$$L_{p1} - L_{p2} = 20 \lg \frac{r_2}{r_1} \quad (5)$$

式中 L_p 及 r 分别为声压级及至声源的距离。

四、噪声的度量

1. 声压和声压级

声波是伴随着空气分子密度的增减变化而传播的，这种变化反映着大气压力的增减，这个压力增减量就是瞬时声压。但一般所称的声压是它的有效值，即有效声压，常用符号 P 表示，单位是微巴。1 个大气压等于 1 巴，1 巴 = 10^6 微巴。

正常人耳，刚能听到的声音，当频率为 1000 赫时，声压

为0.0002微巴，称为听阈声压，又叫基准声压，用 P_0 表示。使人耳感觉疼痛的声音，此时1000赫的声压约为200微巴，称为痛阈声压。从听阈声压到痛阈声压，数值相差一百万倍，可见用声压的大小来表示声音的强弱是不方便的。因此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。正好人耳听觉的灵敏度也是符合对数关系变化的。声压级的单位是分贝（dB），数学表达式为

$$L_p = 20 \lg \frac{P}{P_0} \quad (6)$$

式中 L_p —声压级，分贝；

P —声压，微巴；

P_0 —基准声压，0.0002微巴。

这样，把声压值相差一百万倍的变化范围，用声压级表示，就变成了0~120分贝的变化范围。从式(6)可以看出，声压级增加6分贝，声压增加1倍；每变化20分贝或40分贝，就相当于声压值变化10倍或100倍。可见在工业噪声控制中，如果使噪声降低20分贝或40分贝，是个相当大的变化。

2. 声强和声强级

噪声的强度简称声强。它表示声场某点在声传播方向上，单位时间内通过垂直于传播方向的单位面积的声能，用 I 表示，单位是瓦/米²。声强正比于声压的平方。对于自由行进波，声强与声压的关系为：

$$I = \frac{P^2}{\rho C} \quad (7)$$

式中 P —声压，牛顿/米²

ρ —传播介质的密度，千克/米³；

C —声速，米/秒。

声强通常也是用声强级来表示，声强级被定义为

$$L_1 = 10 \lg \frac{I}{I_0} \quad (8)$$

式中 L_1 —声强级，分贝；

I —声强，瓦/米²；

I_0 —基准声强， 10^{-12} 瓦/米²。

声强级与声压级有如下关系：

$$L_1 = L_p + 10 \lg \frac{I^2}{\rho C I_0} \quad (9)$$

由式(9)可以看到，声强级一般不等于声压级。在空气介质中，只有在标准大气压(1.013×10^5 牛顿/米²)，温度为38.9℃时， $\rho C = 400$ (千克·米·秒制瑞利)，右边第二项等于零，二者才相等。不过，由于右边第二项通常很小，在噪声测量中可以忽略不计，因此，一般认为声压级等于声强级。

如果知道声强级或声压级分贝的变化，就能计算出声强或声压的变化

例：某工厂的通风机在消声前的声强级 $L_1 = 100$ 分贝，装上消声器后，声强级 $L_2 = 88$ 分贝，求声强和声压各下降多少？

$$\text{解：} \quad \because L_1 = 10 \lg \frac{I_1}{I_0} = 100$$

$$\therefore \frac{I_1}{I_0} = \text{antilg} \frac{L_1}{10} = \text{antilg} \frac{100}{10} = 10^{10}$$

$$I_1 = 10^{10} \times I_0 = 10^{10} \times 10^{-12} = 0.01 \text{瓦/米}^2$$

$$\text{又} \because L_2 = 10 \lg \frac{I_2}{I_0} = 88$$

$$\therefore \frac{I_2}{I_0} = \text{antilog} \frac{L_2}{10} = \text{antilog} \frac{88}{10} = 6.3 \times 10^8$$

$$I_2 = 6.3 \times 10^8 \times 10^{-12} = 0.00063 \text{ 瓦/米}^2$$

声强下降率为

$$\frac{I_1 - I_2}{I_1} = \frac{0.01 - 0.00063}{0.01} = 0.937 = 93.7\%$$

同理，可计算消声前、后的声压值。

$$L_1 = 20 \lg \frac{P_1}{P_0} = 100$$

$$\frac{P_1}{P_0} = \text{antilog} \frac{L_1}{20} = \text{antilog} \frac{100}{20} = 10^5$$

$$P_1 = 10^5 \times P_0 = 10^5 \times 2 \times 10^{-5} = 2 \text{ 牛顿/米}^2$$

$$L_2 = 20 \lg \frac{P_2}{P_0} = 88$$

$$\frac{P_2}{P_0} = \text{antilog} \frac{L_2}{20} = \text{antilog} \frac{88}{20} = 10^{4.4}$$

$$= 2.5 \times 10^4$$

$$P_2 = 2.5 \times 10^4 \times P_0 = 2.5 \times 10^4 \times 2 \times 10^{-5}$$

$$= 0.5 \text{ 牛顿/米}^2$$

声压下降率为

$$\frac{P_1 - P_2}{P_1} = \frac{2 - 0.5}{2} = 0.75 = 75\%$$

3. 声功率和声功率级

声压或声强，只反映空间某点的噪声特性，不能代表声源本身噪声的大小，因为离声源远近不同，或声源所在空间条件不一样，它们的值也不同。而一个声源单位时间辐射的总声能，即声功率是一定的。因此反映一个噪声源的噪声大小特性主要用声功率表示，符号为 W ，单位是瓦。声功率通常也是用对数标度，即声功率级。

$$L_w = 10 \lg \frac{W}{W_0} \quad (10)$$

式中 L_w —声功率级，分贝；

W —声功率，瓦；

W_0 —基准声功率， 10^{-12} 瓦。

声功率级与声压级的关系有：

(1) 在自由场，声波呈球面波辐射时

$$L_w = L_p + 10 \lg S, \text{ 分贝} \quad (11)$$

$S = 4\pi r^2$ 为透声面积，米²；

r 为测点与声源中心距离，米。

(11) 式可写成

$$L_w = L_p + 20 \lg r + 11, \text{ 分贝} \quad (12)$$

当 $r = 0.28$ 米，即 $S = 4\pi r^2 = 1$ 米²

$$L_w = L_p$$

(2) 在半自由场，声源在硬实地面，声波呈半球面辐射时，透声面积 $S = 2\pi r^2$ ，则

$$L_w = L_p + 20 \lg r + 8, \text{ 分贝} \quad (13)$$

(3) 在混响场

$$L_w = L_p + 10 \lg R - 6, \text{ 分贝} \quad (14)$$

式中 R —房间常数，米²；

$$R = \frac{S\bar{\alpha}}{1-\bar{\alpha}}$$

S —房间的总壁表面积, 米²;

$\bar{\alpha}$ —房间平均吸声系数。

(4) 在半混响场

$$L_w = L_p - 10 \lg \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right), \text{分贝} \quad (15)$$

式中 Q 为指向性因数。对于无指向性声源; Q 值有下列四种情况:

- 声源在房间内的几何中心上, $Q=1$;
- 声源在硬实的地面上, $Q=2$;
- 声源在两墙或墙与地交接处, $Q=4$;
- 声源在两墙与地面相交的墙角处, $Q=8$ 。

表3列举了几种声源的分贝值、声功率值和声压值。

表3 几种声源的分贝、声功率、声压值

声 源	分贝, dB	W, 瓦	P, 微巴
刚可听声	0	10^{-12}	0.0002
普通讲话声	70	10^{-5}	0.6
公共汽车内	80	10^{-4}	2
汽车鸣笛	90	10^{-3}	6
通风机	100	10^{-2}	20
锻钎机	110	10^{-1}	60
凿岩机	120	1	200
炮声	130	10	600

4. 响度和响度级

量度一个噪声比另一个噪声响多少的量称为响度，单位是宋。响度是人们对声音轻响程度反应的主观量；而声压则是反应声音大小的客观量。声压级为40分贝的1000赫纯音的响度被定义为1宋，即40方为1宋，50方为2宋，60方为4宋，70方为8宋，……，即响度级增加10方，响度增加一倍。用响度表示声音的轻响，可以直接算出主观上感觉到噪声降低轻响程度的百分数。如某机器噪声经过声学处理后，响度级降低了10方，相当于响度降低50%；响度级降低20方，相当于响度降低75%；响度级降低30方，相当于响度降低87%，等等。

根据实验结果，人耳对声压级的变化与响度感觉有如表4的近似关系。

表4 声压级变化与响度感觉的关系

声压级变化	响 度 感 觉
± 1 分贝	几乎觉察不出
± 3 分贝	人耳刚能听出有变化
± 5 分贝	感到有明显改变
± 10 分贝	加倍地响或减轻一半
± 20 分贝	感到比原来吵闹得多或安静得多

人耳对不同频率声音的感觉灵敏程度是不一样的，这种听觉特性可以用等响实验方法得出一族等响曲线，如图3。

所谓响度级，就是以1000赫的纯音做标准，使其和某个声音听起来一样响，那末此时1000赫纯音的声压级就定义为该声音的响度级，单位为方。从图3可见，人耳对高频比低频要敏感得多。如90分贝30赫的声音听起来和60分贝1000赫

的声音一样响。

限阻奇而，想愿主始血又更感即声音奇依即人量更即，宋景

曲音奥赫0001 140 130 120 110 100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0

一十式式00 宋 140 130 120 110 100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0

音一第 宋 140 130 120 110 100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0

刺声刺腔 宋 140 130 120 110 100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0

更即，品 宋 140 130 120 110 100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0

脉，式05 出 宋 140 130 120 110 100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0

宋 140 130 120 110 100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0

宋 140 130 120 110 100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0

宋 140 130 120 110 100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0

宋 140 130 120 110 100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0

宋 140 130 120 110 100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0

宋 140 130 120 110 100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0

宋 140 130 120 110 100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0

宋 140 130 120 110 100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0

宋 140 130 120 110 100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0

宋 140 130 120 110 100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0

宋 140 130 120 110 100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0

宋 140 130 120 110 100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0

宋 140 130 120 110 100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0

宋 140 130 120 110 100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0

宋 140 130 120 110 100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0

宋 140 130 120 110 100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0

宋 140 130 120 110 100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0

宋 140 130 120 110 100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0

宋 140 130 120 110 100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0

宋 140 130 120 110 100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0

宋 140 130 120 110 100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0

宋 140 130 120 110 100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0

宋 140 130 120 110 100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0

宋 140 130 120 110 100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0

宋 140 130 120 110 100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0

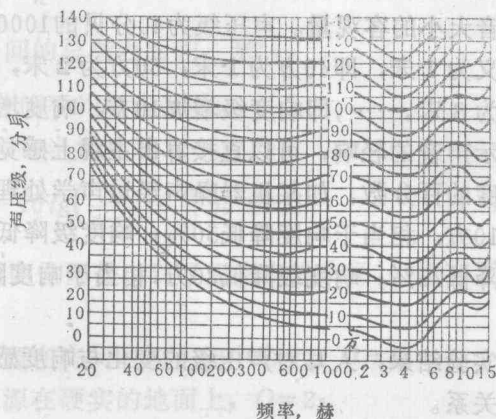


图 3 等响曲线

上面所说的是纯音的响度与响度级的关系，对于宽频噪声，由于一个频率声音对另一个频率声音的掩蔽作用，它的响度和响度级计算程序如下：

- (1) 对噪声进行倍频程测量，记下倍频程声压级；
- (2) 利用史蒂文斯的响度指数表查出各频程声压级相应的响度指数；
- (3) 根据下列公式计算总的响度：

$$S_t = S_m(1 - F) + F \sum_{i=1}^n S_i, \text{ 宋} \quad (16)$$

式中 S_m —最大的响度指数；

$$\sum_{i=1}^n S_i \text{—各频带响度指数之和 (包括 } S_m \text{)}$$