

597847

568
8617

噪声与噪声控制

智乃刚 许雅芬 编著



北京市机械工业局技术情报所

前 言

这本讲义是北京市劳动保护科学研究所智乃刚、许雅芬两位同志为北京市机械工业局技术情报所举办的噪声控制讲座编写的。经过试讲，大家认为，这本讲义的内容比较适合于厂矿从事产品设计、技术革新、环境保护的技术人员和管理人员学习，受到我局、本市和兄弟省市有关单位的欢迎。这次作者对这本讲义又作了必要的修订，新增加了三章内容，使之更臻适合生产和科研的需要。为满足各单位和广大读者的要求，特编印出版，供参考。

北京市机械工业局技术情报所

1980年4月

著 者 的 话

本书是作为噪声控制讲座的讲义经过几次试讲而修改定稿的。

本书一共十四章，前六章主要介绍噪声的一般概念及基本知识，后八章介绍噪声源的特性及吸声、消声、隔声、减振的原理、设计程序与综合治理。书中结合实例分析各控制措施的设计方法、步骤和实际应用效果。

由于时间紧促、水平有限，书中定有许多不足之处，望读者给予批评指正。在编写过程中，得到蔡京京、张元两位同志的大力协助，借此致以谢意。

另外，北京市机械工业局技术情报所任子诚、郑垠观、刘达华等同志大力支持，使本书得以顺利出版，在此也表示感谢。

1980年4月

568
3611

597547

目 录

第一章 声波与噪声的基本概念

1.1	声波的产生	(1)
1.2	声速和波长、频率的关系	(1)
1.3	声波的反射、透射和绕射	(2)
1.4	噪声的定义与掩蔽效应	(4)
1.5	声压、声强、声功率	(5)
1.6	声压级、声强级、声功率级及其分贝	(6)
1.7	噪声级的相加	(8)
1.8	噪声级的平均	(8)
1.9	噪声的频谱	(9)
1.10	常遇到的噪声级 (A)	(9)

第二章 噪声的评价方法

2.1	响度和响度级	(11)
2.2	A 声级	(22)
2.3	等效连续 A 声级	(23)
2.4	噪声评价数	(25)
2.5	NC 和 PNC 曲线	(28)
2.6	声功率级和声功率	(29)

第三章 噪声的危害

3.1	引起听觉损伤	(33)
3.2	噪声引起的其它疾病	(35)

3.3	噪声影响睡眠和休息	(37)
3.4	噪声能降低生产效率与引起伤亡事故	(37)
3.5	噪声损害建筑物	(37)

第四章 噪声的允许标准

4.1	听力保护标准	(39)
4.2	环境和工作地点标准	(41)
4.3	语言交谈和通讯的允许噪声标准	(45)

第五章 噪声的测量仪器

5.1	声级计	(47)
5.2	频率分析器	(55)
5.3	自动记录仪	(57)
5.4	录音机	(57)

第六章 噪声的测量方法

6.1	仪器的选用和校正	(59)
6.2	测量条件	(59)
6.3	测量的内容	(62)
6.4	测点的选择	(64)
6.5	读数的方法	(65)
6.6	声级计的握持方法和话筒的取向	(65)
6.7	数据记录	(66)

第七章 风机噪声

7.1	概述	(68)
-----	----	--------

7.2	气动噪声产生的机理	(68)
7.3	气动噪声声功率级的计算方法	(70)
7.4	各类风机进出口噪声级 A	(73)
7.5	风机气流噪声频谱特性	(74)
7.6	电动机噪声	(76)
7.7	机械噪声	(77)

第八章 管道系统噪声的自然衰减

8.1	直线管道的自然衰减值	(81)
8.2	弯头的衰减值	(82)
8.3	变径管的衰减值	(86)
8.4	三通管的自然衰减值	(86)
8.5	多支管的衰减值	(87)
8.6	过滤器的衰减值	(88)
8.7	出口末端的反射损失	(88)
8.8	出口位置的影响	(90)
8.9	房间因数的影响	(90)
8.10	三种因数的修正值	(91)

第九章 吸声材料与吸声结构

9.1	吸声材料与吸声结构的作用与分类	(93)
9.2	吸声材料和吸声结构的吸声性能	(94)
9.3	吸声处理的应用及效果	(102)

第十章 消声器

10.1	消声器的种类与机理	(107)
------	-----------	---------

10.2	消声器的评价方法	(133)
10.3	消声器的设计程序	(137)
10.4	风机配用系列消声器	(151)

第十一章 隔 声

11.1	隔声值	(156)
11.2	共振频率和临界频率	(160)
11.3	不同围护系统达到的噪声降低	(161)
11.4	消声箱的设计程序	(163)

第十二章 噪声的个人防护

12.1	听觉及头部的防护	(171)
12.2	胸部的保护	(182)

第十三章 减振降噪

13.1	一般概念	(183)
13.2	振动的危害与允许标准	(187)
13.3	振动与噪声的关系	(190)
13.4	振动阻尼	(194)
13.5	减振材料与减振器	(199)

第十四章 噪声的综合治理

14.1	控制的原则与步骤	(210)
14.2	工业企业的主要噪声控制措施	(210)
附录 习题集		(212)
参考资料		(217)

第一章 声波与噪声的基本概念

1.1 声波的产生

声音是由物体（固体、液体、气体）振动而产生的。一个物体来回运动或者振动时，都会扰动邻近的空气，使它随之来回运动。这种运动从一个质点传到另一个质点，交替形成密层和疏层，这样空气中就激起声波，在一定的距离内，当这种声波到达人们的耳朵时，就产生了声音的感觉。

在日常生活中，物体振动产生的例子是很多的，用锤去敲鼓，就会听到鼓声，摸摸鼓面，就会感到鼓面在振动；大风时，你会看到江河或湖海中的水前浪推后浪，这就是液体在振动。无论是固体还是液体，都是通过空气压缩密集层和稀疏层的交替变化，使之静态的空气层产生压强的变化，即瞬时声压，并逐层向外传播，发声的物体称为声源。

1.2 声速和波长、频率的关系

声波在弹性媒质中的传播速度也就是振动在媒质中的传递速度，称为声速。在任何媒质中，声速大小只取决于媒质的弹性和密度，而与声源无关。

一般情况下，在钢板中声速约为5000米/秒，水中约为1500米/秒，橡胶中约为40~50米/秒，空气是最主要的一种媒质，其弹性和密度与温度有关，其声速为：

$$C = 20.05 \sqrt{T} \quad \text{米/秒} \quad \dots\dots\dots (1-1)$$

式中T——绝对温度

$$T = 273 + Q$$

Q——摄氏温度

当 $Q < 30^\circ\text{C}$ 时

$$C = 331.5 + 0.61 Q \text{ 米/秒} \dots\dots\dots (1-2)$$

从一个声源发出声波，其相邻的两个压缩层（或稀疏层）之间的距离称为波长，用 λ 表示。波行经一个波长的距离所需要的时间就是周期 T ，对正弦波来说，频率 $f = \frac{1}{T}$ ，所以有

$$C = \frac{\lambda}{T} \quad \text{或者} \quad C = f\lambda \quad \dots\dots\dots (1-3)$$

并不是所有频率的声音都能听到，人耳能感觉到的声波频率大约在 $20 \sim 20000$ 赫范围内，并且要有一定的强度。小于 20 赫的叫次声，高于 20000 赫的叫超声，人耳是听不到的。

通常室温下空气中的声速约为 340 米/秒，100 赫到 4000 赫声音的波长范围大致在 3.4 米 \sim 8.5 厘米。

1.3 声波的反射、透射和绕射

1.3.1 声波的反射

在山谷中，当一个人大声喊话，你会听到四周的山都有人同样地喊话，这就是通常说的回声，是由声波反射产生的。当声波波长比障碍物小得多时，在障碍物的正面就产生明显的声反射。障碍物壁面越坚硬，反射声强越大。声波反射定律和光的相同：

(1)、入射线、反射线与反射向的法线三者在同一平面内；

(2)、入射线和反射线分别在法线的两侧；

(3)、入射线与法线的夹角等于反射线和法线的夹

角。

声波的反射如图 (1-1) 所示。

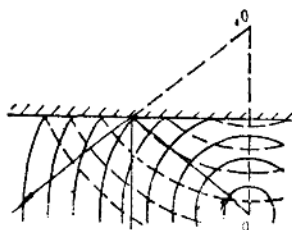


图 (1-1) 声波的反射

1.8.2 声波的透射
 简易楼房, 隔壁邻居讲话, 可以听到, 这就是声波从隔壁房间透射过来所致。

声音入射到构件 (墙和板)

上时, 总要引起构件振动, 所以, 声能一部分被反射, 一部分被透过构件。如图 (1-2) 所示。



图 (1-2) 声波的传播

从能量关系来看, 单位时间里入射声能为 E_0 , 反射声能为 E_r , 在构件内部损耗的声能为 E_x , 透射声能为 E_2 , 那么, 它们有如下关系:

$$E_0 = E_r + E_x + E_2 \quad \dots\dots\dots (1-4)$$

透射声能与入射声能之比称为透射系数 (τ), 反射声能与入射声能之比称为

反射系数 (β) 即

$$\tau = \frac{E_2}{E_0} \quad \dots\dots\dots (1-5)$$

$$\beta = \frac{E_r}{E_0} \quad \dots\dots\dots (1-6)$$

人们把 τ 值小的材料称为隔声材料, 把 β 值小的材料称为吸声材料。一般说来, 砖墙、混凝土板等隔声性能好, 吸声性能差, 玻璃棉板、矿棉板等隔声性能差, 吸声性能好,

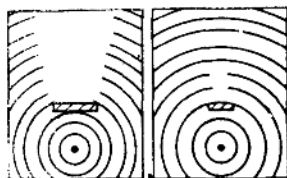
把它们结合起来，可形成隔声、吸声性能都很好的结构。

1·3·3 声波的绕射

声波从障碍物的边缘通过时，改变原来的传播方向，向障碍物的内侧绕去，这种现象称为声音的绕射。图(1-3)是平面波绕射的例子，声音绕到障板的背后，当障板比波长小得多时，板后产生明显的影区，否则不明显，频率很低，波长很长的声音传播几乎不受小障碍物的影响，如图(1-3)和(1-4)所示



图(1-3) 平面波的绕射



图(1-4) 不同障板对声传播的影响

1.4 噪声的定义与掩蔽效应

1·4·1 什么是噪声

简单的讲，噪声就是人们不需要的声音。通常，噪声是由不同振幅和频率组成的无调嘈杂声。有时，有调或好听的音乐声，它影响人们的工作和休息并使人感到烦恼、讨厌时，也变成噪声。

1·4·2 噪声的种类

噪声的分类有两种分法，一种是按声强是否随时间变化可分为二种：一是稳态噪声，即噪声的强度不随时间而变化，如：织布车间的噪声；二是非稳态噪声，即噪声的强度

随着时间而变化，如飞机、火车、汽车声音随着离开人们的距离的增加，噪声越来越小。也可以按噪声产生的机理分为三种：一是空气动力性噪声，二是机械噪声，三是电磁噪声。空气动力性噪声由于气体振动产生的。叶片高速旋转或高速气流通过叶片都会使叶片两侧的空气发生压力突变，激发声波，如通风机、鼓风机、压缩机，发动机通过进排气口传出的即为空气动力性噪声；机械噪声是由于固体振动产生的。在撞击、摩擦、交变的机械应力作用下，机械的金属板、轴承、齿轮……发生振动，就产生了机械性噪声。如织布机、车床、齿轮等产生的噪声均属此类；电磁性噪声是由于高次电磁场的相互作用，产生周期性的力，从而产生噪声，如发电机、变压器产生的噪声即属此类噪声。

1·4·3 噪声的掩蔽效应

一个声音为另一个声音掩盖，称为掩蔽，即一个声音的听阈因另一个掩蔽声音的存在而提高的现象，而听阈上升的数量（分贝数），称为掩蔽量。

一般来说，接近掩蔽声频率的掩蔽量最大，掩蔽声压级越大掩蔽量越大，对所有的高频声的掩蔽显著。换句话说，低频声容易掩蔽高频声。高频声难以掩蔽低频声。

噪声对语言的掩蔽不仅使听阈提高，也对语言清晰度有影响。当噪声的声压级超过语言级10~15分贝时，相互交谈是困难的，超过20—25分贝时，则完全都不清楚了，也即被噪声掩蔽了。

1.5 声压、声强、声功率

我们已经知道瞬时声压是指某瞬时媒质中压强相对无声波时内部压强的改变量，即单位面积的压力变化。所以声压

的单位就是压强的单位，即牛顿/米²或达因/厘米²(微巴)。瞬时声压是随时间变化的，它的均方根值称为有效声压。

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

声强是在声波传播方向上，与该方向垂直的单位面积、单位时间通过的声能量。通常用I表示，单位是瓦/米²。

声压与声强有密切关系。在自由声场中，对于平面波和球面波某处的声强均与该处声压的平方成正比：

$$I = \frac{P^2}{\rho_0 C_0} \dots\dots\dots (1-7)$$

其中：P—有效声压，牛顿/米²

ρ_0 —空气密度，千克/米³， C_0 —空气中声速，常温时 $\rho_0 C_0$ 为415牛顿·秒/米³

声功率是指声源在单位时间内向外辐射出的总声能。单位为瓦或微瓦。声源的声功率或指全部可听频率范围所辐射的功率，或者指在某个有限频率范围所辐射的功率（通常所称频带声功率）。

1.6 声压级、声强级、声功率级及其分贝

从听阈 (2×10^{-5} 牛顿/米²) 到痛阈 (2×10^2 牛顿/米²)，声压级的绝对值相差 1000 万倍。因此，用声压的绝对值来表示声音的强弱是很不方便的。再者人对声音响度感觉是与声强的强度的对数成比例的。所以，为了方便起见，引用了声压比或能量比的对数来表示声音的大小，这就是声压级如同地震按级计算一样。

声压级的单位是分贝，分贝是一个相对单位，声压与基准声压之比，取以10为底的对数，再乘上20，就是声压级的

分贝数。即：

$$\text{SPL} = 20 \log_{10} \frac{P}{P_0} \text{分贝} \dots\dots\dots (1-8)$$

式中SPL—声压级，分贝

P—声压，牛顿/米²

P₀—基准声压 (P₀ = 2 × 10⁻⁵ 牛顿/米² 或 2 × 10⁻⁴ 达因/厘米)

用同样的方法把声强IL定义为：

$$\text{IL} = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0} \text{分贝} \dots\dots\dots (1-9)$$

其中基准声强 I₀ = 10⁻¹² 瓦/米² = 10⁻¹⁰ 瓦/厘米²

$$\approx \frac{P_0^2}{\rho_0 C_0}$$

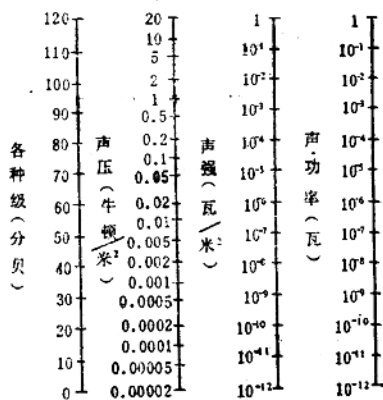
在自由传播的平面波或球面波中，I = $\frac{P^2}{\rho_0 C_0}$ ，所

以声强级和声压级的数值相等。

$$\begin{aligned} &\text{声功率级SWL} \\ &= 10 \log_{10} \frac{W}{W_0} \text{分贝} \\ &\dots\dots\dots (1-10) \end{aligned}$$

式中 W₀—基准声功率级，W₀ = 10⁻¹² 瓦

为了直观起见，在图(1-5)中绘出了声压与声压级、声强与

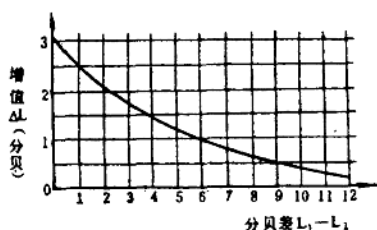


图(1-5) 级的换算图

声强级、声功率与声功率级的关系图。

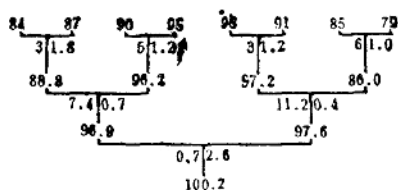
1.7 噪声级的相加

一个 100 分贝的声音和一个 98 分贝的声音相加应该等于多少分贝呢？绝不等于 198 分贝，而应按照对数的加法，先算出两个声音的分贝差 $L_1 - L_2 = 2$ 分贝，再在图（1—6）上找出与 2 分贝相对应的增值 $\Delta L = 2.1$ 分贝，然后加在分贝数大的 L_1 上，得出 L_1 和 L_2 的和 $L = 100 + 2.1 = 102.1$ ，取其整数为 102 分贝。



图（1—6） 分贝和的增值图

如果是几个分贝数相加，亦是依顺次进行，例如：



图（1—7） 噪声级相加

1.8 噪声级的平均

一般来讲，噪声级的平均不能按算术平均计算，然而，当各噪声级相差皆小于 5 分贝时，可以按照算术平均计算，其

误差小于一分贝。

当各噪声级相差大于5分贝时，计算平均值有两种方法。一种方法是按照下述公式计算

$$\overline{SL} = 10 \log_{10} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{SL_i}{10}} - 10 \log n \dots \dots (1-11)$$

式中 \overline{SL} — n个噪声源的平均声级

SL_i — 第i个噪声源的声级

n — 噪声源的个数

另一种方法是将几个噪声源先按求和的方法，把几个噪声源相加，再减去 $10 \log_{10} n$ 。如将105、103、100、98四个分贝数平均，则在图(1-6)查得105分贝与103分贝的和为107.1分贝，107.1分贝与100分贝和为107.9分贝，107.9与98分贝的和为108.3分贝。最后再减去 $10 \log_{10} 4 = 6$ ，即 $108.3 - 6 = 102.3$ 分贝，经四舍五入得到平均数为102分贝。

1.9 噪声的频谱

声压级或声功率级随着频率变化的图形称为频谱。其特性大致可分为三类：一是低频噪声，即频谱中的最高声压级分布在350赫以下；二是中频噪声，即频谱中的最高声压级分布在350—10000赫中间；三是高频噪声，即频谱中最高声压级分布在1000赫以上。空气动力性噪声也可分为五类（详见第七章《风机噪声》）。

1.10 常遇到的噪声级(A)

为了给大家一个直观的概念，并加以比较，下面将噪声级(A)所对应的声压相对值、声压绝对值、相应的噪声源及主观感觉列表(1-1)

常遇到的噪声级(A) 表(1-1)

噪声源 (A) 分贝	$\frac{P}{P_0}$ (相对值)	P	噪 声 源	主 观 感 觉
160	10^8	2×10^4	枪炮噪声射手附近, 航空发动机附近, 电厂 排气放空10米之内。	震耳欲 聋, 需要 带耳罩和 耳塞。
140	10^7	2×10^3	大型鼓风机排气放 空10米之内, 柴油机试 车, 风动工具1米之内。	难以忍 受, 需带耳 塞和耳罩。
120	10^6	2×10^2		鼓风机房, 罗茨鼓 风机进口, 织布车间。
80	10^4	2×10^0	各类风机房离机壳 1米, 地下车车箱内。	特别吵 闹, 需大 声讲话。
60	10^3	2×10^{-1}	精密机床车间, 公 共汽车内。	感到烦 躁, 讲话能 听清。
40	10^2	2×10^{-2}	微电机1米, 小型 电风扇, 办公室内。	较安静。
20	10^1	2×10^{-3}	微语, 效外。	安静。
0	1	2×10^{-4}	播音室, 消声室内。	听阈, 特别安静。

* $P_0 = 2 \times 10^{-4}$ 达因/厘米²

∴ 10 ∴