

湖北科学技术出版社

黄翠芹 林忠信 译

时根大 校

工业噪声控制手册

gong ye zao yin kong zhi shou ce



工业噪声控制手册

gong yezaoyinkong zhishouce

湖北科学技术出版社

工业噪声控制手册

黄翠芹 林忠信 译 时火根 校

湖北科学技术出版社出版发行 新华书店湖北发行所经销

湖北科技出版社黄冈印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本 7.125印张 2插页 156千字

1988年4月第1版 1988年4月第1次印刷

ISBN 7—5352—0252—7/X·2

印数：1—5 000 定价：2.05元

(封面复膜)

译 者 的 话

随着现代工业的不断发展，噪声污染问题越来越突出，噪声污染已成为世界上三大社会公害之一。为了给人们提供一个健康、安宁、舒适的工作和生活环境，控制噪声已受到人们广泛的重视。目前，我国不少部门正在着手进行噪声控制的基本理论，技术措施及有关标准、条例等方面的工作。为了配合这项工作，我们翻译了此书。

本手册共分七章，前四章着重介绍声的基础知识、噪声测量的方法、控制技术和噪声控制材料的选择。第五章详细介绍了三十个解决噪声控制问题的成功实例，并附有大量的图表，可供从事噪声研究、防护和治理的工程技术人员参考。

书中不当之处，恳望读者批评指正。

译 者

一九八七年五月

于湖北省计量测试研究所

中南噪声治理测试中心

目 录

第一章 声学基础	(1)
§ 1—1 基本原理	(1)
§ 1—2 定义和相互关系	(2)
§ 1—3 听力与噪声级计权刻度	(6)
§ 1—4 噪声级的组合	(9)
§ 1—5 噪声的产生与噪声场	(11)
§ 1—6 声功率	(14)
§ 1—7 符号与定义	(16)
第二章 噪声的测量	(17)
§ 2—1 符合测量	(17)
2—1·1 基本仪器及其使用与校准	(17)
2—1·2 剂量计	(21)
§ 2—2 诊断测量	(22)
2—2·1 声级计	(22)
2—2·2 倍频程滤波器	(24)
2—2·3 分数倍频程(百分带宽)分析仪	(25)
2—2·4 照相设备	(25)
2—2·5 磁带记录仪	(25)
2—2·6 其他设备	(28)
2—2·7 读数	(28)
2—2·8 关于A声级	(28)
2—2·9 振动	(30)

2—2•10 人耳与脑	(30)
2—2•11 提示	(31)
2—2•12 分贝的叠加	(31)
2—2•13 数据要求	(33)
2—2•14 跟踪测量	(35)
第三章 噪声控制技术	(36)
§ 3—1 噪声源	(36)
3—1•1 改变距离 (即重新选定位置)	(37)
3—1•2 振动控制 (即隔绝)	(38)
3—1•3 阻尼	(40)
3—1•4 管道包扎	(41)
3—1•5 气流噪声的降低	(42)
3—1•6 喷射气流噪声	(43)
3—1•7 液压系统	(44)
3—1•8 电机空气动力噪声	(47)
3—1•9 封闭的驱动装置	(47)
3—1•10 平衡	(48)
3—1•11 隔声罩和声障板 (屏障)	(48)
§ 3—2 噪声的传播途径	(48)
3—2•1 声屏障与声障板	(49)
3—2•2 全隔声罩	(52)
3—2•3 室内声学	(62)
§ 3—3 接收者	(66)
3—3•1 行政管理控制	(66)
3—3•2 个人防护设施	(67)
3—3•3 测听技术	(68)
第四章 噪声控制材料	(69)
§ 4—1 吸声材料	(69)
§ 4—2 隔声材料	(72)

§ 4—3 阻尼材料	(73)
§ 4—4 隔振材料	(74)
§ 4—5 材料的选择	(75)
4—5•1 声学考虑	(75)
4—5•2 隔振材料	(80)
4—5•3 消声器	(81)
4—5•4 材料的非声学考虑	(81)
第五章 应用实例	(84)
§ 5—1 实例数据	(84)
§ 5—2 整个噪声控制设计过程的提纲	(85)
§ 5—3 应用30例	(90)
实例1 钢丝网编织机的噪声控制	(90)
实例2 800吨Verson冲压机的隔振	(95)
实例3 血浆过滤机的减噪	(101)
实例4 冲压机压头的噪声控制	(117)
实例5 纺纱机气流噪声控制	(121)
实例6 饲料加工厂的噪声控制	(124)
实例7 箱板挤压机的噪声控制	(132)
实例8 Bobst切削挤压机在折叠纸箱过程中 气流处理碎屑的噪声控制	(135)
实例9 Jordans型纸板匀浆机的噪声控制	(137)
实例10 纸箱折叠打捆机气锤噪声源的控制	(144)
实例11 印刷折叠式箱纸板的照相板胶印机 生产线的噪声控制	(147)
实例12 瓦楞箱工业中的废料处理管道的 噪声控制	(150)
实例13 造纸机湿端的噪声控制	(152)
实例14 冲床噪声控制	(156)
实例15 矫直剪切机的噪声控制	(170)
实例16 金属切割冲床的噪声控制	(176)

实例17 工件输送槽的降噪、隔噪	(183)
实例18 制钉机的噪声处理	(185)
实例19 木工刨床的噪音控制	(188)
实例20 冲床的噪声控制	(191)
实例21 装卸材料的空气发动机排气噪声 的消声处理	(200)
实例22 纺织品编织机的噪声处理	(201)
实例23 金属锯床操作工的噪声防护	(204)
实例24 木工刨床的噪声控制	(206)
实例25 使用全隔声罩对冲床进行降噪处理	(208)
实例26 造纸厂脱水真空泵的消声处理	(209)
实例27 蒸汽流调节器的噪声控制	(210)
实例28 废塑料粉碎机的隔声处理	(211)
实例29 报纸印刷机的降噪、防噪	(214)
实例30 化工处理厂的降噪处理	(215)

第一章 声学基础

进行噪声控制并不是什么新的课题，古罗马人就曾抱怨过马车的噪声。随着工业革命的进展，噪声不仅仍然存在而且越来越严重，但是在设计、制造机器和把机器出售给用户时，却很少考虑机器的噪声问题。

近来，美国国家政府和各州州政府都非常重视处理各种类型的环境污染，当然噪声是其中一种。

面对着使人难以忍受的高强度的噪声问题，人们必须采取各种不同的降噪方法。在某些情况下，人们从有关工业或机器方面的文章上或多或少找到一些解决方法，但是，一般的降噪问题并不是那么简单，不能照搬从书上找到的方法，而是要学会和掌握声与振动的基本原理，再运用这些基本原理，根据具体情况，自己去设计出降低噪声的具体方法。本章的目的是，介绍声的基本原理，以便让人们在实际工作中运用这些原理。

§ 1—1 基本原理

声音是通过弹性介质（气体、固体或液体）进行传递的，并以波动形式进行传播。观察波动的最简便方法就是

用一根象玩具一样的长弹簧，将这根弹簧垂直地拉长，它的顶端很快地下降，从而将引起弹簧沿长度方向的运动。把弹簧归拢在一起，然后再拉开，这时产生的运动就象波动一样，这可以帮助我们更好地理解波动。

看不见的声波的波动可以与看得见的弹簧的波动相对应。实际上，声是借助于传播它的介质中的原子或分子之间的相互作用的弹性力传播的。这就意味着，声速是取决于介质的质量（密度）和它们之间相互作用的弹性力（压力）。

为了讨论波动的性质，让我们重新回到圆形弹簧实例上来。再次将弹簧垂直拉开，然后突然向顶部弹簧圈推压下去，并不断重复这一动作，这时，可以看到被压紧的一圈圈弹簧使整根弹簧向下运动，而且弹簧圈比平时要伸得更开一些，但不再向下移动，而是停留在某平均位置上，并在其周围摆动。波动中的波是指一组弹簧件，弹簧是按一定的速度进行移动的。如果用手握住弹簧的顶端，改变其上下运动的速度，但弹簧圈的速度保持不变，只是弹簧组之间的间隔发生变化，这种间隔称为波长。

弹簧组的波长发生变化时，弹簧中的波速仍保持不变。声在空气中也发生这种情况。空气中的声在常温（ 20°C ）时，以 344m/s 的速度（ C ）进行传递。由于声能的存在，空气的波动还包括振动质点（原子和分子），这些质点所完成周期次数称为声波的频率。我们通过上述弹簧模拟试验知道，可以改变声的频率或波长，但声速仍保持不变。

§ 1—2 定义和相互关系

本章只描述与空气中的声波有关的四种参数：声速、频

率、波长和振幅。声速取决于介质的温度，而振幅取决于介质的温度和密度。

人们在处理噪声控制问题中将牵涉到频率与波长。按现代术语，频率的单位是Hz，频率的符号为 f 。

波长是指声波中具有相同形状或组合的质点间的距离。希腊字母(λ)是波长的符号。根据线圈弹簧的实验，可以看出弹簧组之间的间隔随频率的增加而减少。用下列方程式表示声速、频率和波长之间的关系，

$$C = f \lambda \quad (1.1)$$

图1—1表示空气中的声音在20℃时，声速、频率和波长之间的相互关系。

频率为1000Hz时，波长为34cm。在第三章中，我们将讨论在噪声控制技术中应如何运用上述这些概念。

空气声是我们在工业噪声问题中主要涉及的对象，最关键的两个参数是频率和振幅。如果离开关于声的某些基本物理特性的解释，就不容易讲清楚噪声的振幅。把对振幅的感觉称为响度，测量振幅与这一理解有关。

传统的测声方法是观察声对某些物体的影响。早期的方法是用膜片来直接记录由声波引起的位移，很象耳鼓。科学家可以计算出产生位移所需要的声压，但是，在研制出稳定的传声器和放大器之前，不可能对声进行简单和可靠的定量测量。术语“声压”是指在大气压上下波动的一种交变压力。人耳不能忍受的声压值仅为大气压力的千分之一。在这里，有关声压波动的数学阐述不如物理概念以及声压、声功率和声压级定义重要。这些术语之间的相互关系有点复杂。但下面的讨论，能有助于我们的理解。

声功率与声压（对于平面波和球面波来说）的关系式

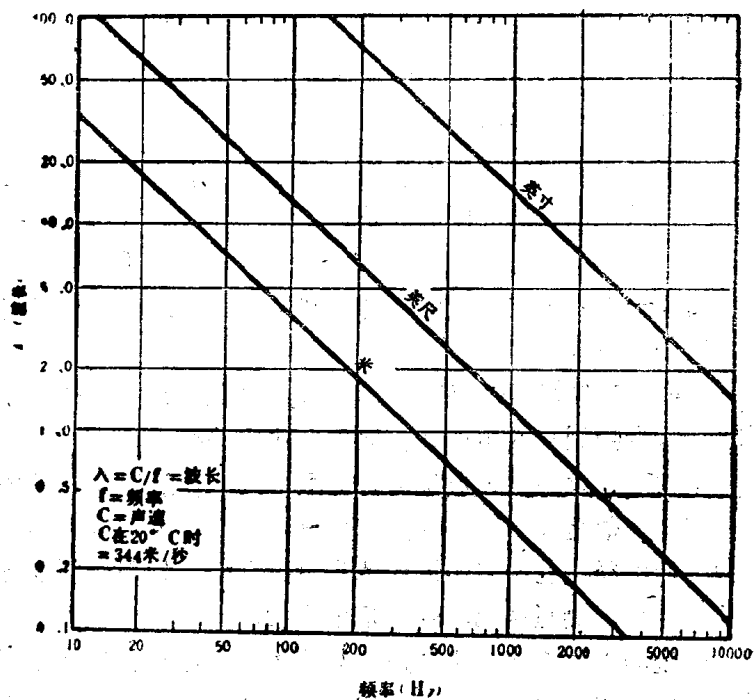


图 1-1 频率—波长图

是:

$$W = p^2 S / \rho C \quad (1.2)$$

式中, W 为声功率, p 为声压, S 是与声压测量有关的表面面积, ρ 是希腊字母, 用来表示介质密度, C 为声速。

在噪声控制中，对球面波，则 $S = 4\pi r^2$ ， $\pi = 3.1416$ ， r 是从声源到测点之间的距离。

用测得的声压 p 来指示声的幅度，但其数值的范围在高声压与低声压之间的比率是百万分之一，为了表示这样宽的数值范围，采用声压级 (L_p)。声压级与声压之间的对数关系用下式表示：

$$L_p = 10 \log_{10} (p^2 / p_0^2) = 20 \log_{10} (p / p_0) \quad (1.3)$$

式中， p_0 为参考声压，选择的参考声压值，近似为 1.000 Hz 时的听觉阈 (20 微巴)。声压级的单位为分贝 (简称 dB ，以下同)，所以，假如 $p = p_0$ ，那么， $L_p = 0 \text{ dB}$ 。从参考声压的定义来说，它是指一个听力最好的人可以听到 0 dB 低的声压。

实验已经得出了声级与响度之间的近似关系，对于普通的谈话，“两倍响”的感觉变化相当于声级变化的 $8 \sim 10 \text{ dB}$ 。这样， 60 dB 的声音就感觉到有 50 dB 的两倍那样响，而 90 dB 的声音就会感觉为 100 dB 声音的一半那样响。

音调的感觉与频率密切相关。音乐的间隔称为“音阶”，已为大多数人承认，它与 $2 : 1$ 的频率比相对应，这样，频率为 262 Hz 的中音 C 比 131 Hz 高一个音阶，比 524 Hz 低一个音阶。人们常常需要估计象鼓风机的叶片和齿轮这样一些机器的声频。请记住，人们需要的是每秒钟的叶片或齿轮数，而一般用每分钟的转数 (用 rpm 表示，我国规定用 r/min 表示——译著)。例如，一台大型风动离心鼓风机有 24 个叶片，运转速度为 1165 r/min ，每个叶片通过的频率是 $(1165)(24) / 60 = 466 \text{ Hz}$ ，人耳可以听见。通过实践，人们能够学会从多种噪声形成的混合声中分辨出某一种音调来。

借助于音质,我们能够区别两种相类似的声音。音质的物理等效量是频谱的特性。频谱是关于在全部频率范围内(从低到高)存在的总的声音有多大的客观的、精确的数值表示。用电子滤波器对频谱进行滤波,这种滤波器只能通过某一特定范围的频率。噪声控制工程技术人员普遍使用倍频程滤波器,这种滤波器将在第二章进行讨论。凭借这种滤波器,能给出每个倍频带的频带声级,一般为 $63\sim 8000\text{ Hz}$ 。

§ 1—3 听力与噪声级计权刻度

我们将人的整个听觉系统称为人耳,它能够接收,并辨识分析较大范围内的各种声音。当只存在一种频率的声音时,声压随时间的变化是正弦波,这种声音被称为纯音。复合音,如一般的噪声频谱,可以被认为是由许多无规相位的纯音组成的。

我们已经知道,人耳只能感觉非常小的声能。图 1—2 表示良好的听力与标准声级计中计权电路响应之间的关系。

噪声级与曝露时间的组合称为噪声曝露(第二章将解释

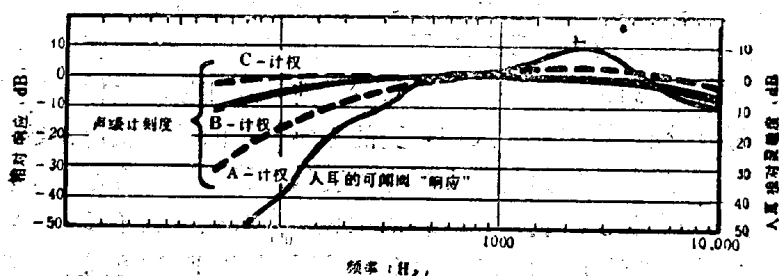


图 1—2 A 计权刻度和可闻阈的响应特性

如何计算噪声曝露)。从对图 1—2 的考查来看, 噪声频谱也是很重要的。人耳对频率高于 1000Hz 的声音很敏感, 容易受到声强高的噪声的损害, 也就是说, 频率在 3000Hz 时比在 300Hz 对人耳的损害更大。对听力范围内的许多频率勿需进行处理, 这样便于用单个噪声频谱特性描述, 来简化噪声的测量与评价。

伯斯福特 (Botsford) 等人已成功地证明了这种单一数字方法的近似值。这种方法证明了噪声A计权读数与造成听力损失的潜在因素之间存在着一种合理的可以接受的互相关系。同时, 还需要某种频谱特性的简单指示仪器。伯斯福特读取了用标准声级计测得的A计权或A刻度噪声与C计权或C刻度噪声级之差。重新检验图 1—2 的准确性, 图中显示出C计权噪声含有比A计权噪声更低的频率。如果考虑下列三种可能性, 我们就能明白所谓的噪声音质是指的什么。

$$(L_C - L_A) > 0 \quad \text{低频音质}$$

$$(L_C - L_A) = 0 \quad \text{中频音质}$$

$$(L_C - L_A) < 0 \quad \text{高频音质}$$

对于固定的C声级来说, 噪声在上述的后两种情况比低频音质噪声能更多地造成听力损失, 必须指出的是, 在考虑实际声级时, 是不计算这种频谱音质参数的, 而且在评价音质之前, 必须考虑这一参数。随着对噪声级测量与分析的进一步深入, 人们将会发现在需要进行快速分析噪声级时, 这种单一数字描述是有所帮助的。对使用A计权噪声级的评定值 L_A , 就是用来证实频率不同、但声级相同的声音造成的相对听力损失的实验结果。高频声音比低频声更容易造成听力损失。图1—2表示了相似的听力灵敏度。A计权声级已成为声级的通用的合法描述, 这是由于A计权声级结合了一

种能表示与响度、噪度，以及听力损失等影响有着良好关系的单一近似计权，美国标准的声级计表明，除非有特别的说明，声级就是指 L_A ，单位为 dBA 。运用表1—1中列出的倍频带中心频率计权因数，将平直响应读数换算成 A 声级。

表1—1 将线性声压级换算为 A 声级的修正因素

倍频带中心频率 (Hz)	dB (转化量)
31.5	-39.5
63	-26
125	-16
250	-8.5
500	-3.0
1000	0
2000	+1.0
4000	+1.0
8000	-1.0
16000	-6.5

到目前为止，我们一直是把噪声作为一种复杂的声音或噪声谱来论述，并描述噪声的特性，在实际上我们对噪声还没有下一个确切的定义。按通常的习惯，可接受的定义是：噪声是一种不需要的声音。这是一种心理学定义而不是物理学定义。飞速前进的汽车发动机运转的声音对司机来说可能不是噪声，但对乘客和汽车旁边的人来说可能是噪声。在正常的感觉中，无论什么声音只要对它有不理想的影响，都可主观地认为是噪声。通常，声级和声的持续时间是主要依据，声或噪声不仅影响谈话，干扰睡眠使人烦躁不安，甚至会导致听力减退。

§ 1—4 噪声级的组合

噪声控制工程中一种常见的计算方法是噪声级的组合。假使有两种噪声级，人们关心的是，假如这两种噪声级同时存在，那么声级计读数是什么呢？我们做了一个基本的假定，噪声是无规的，也就是说，仅仅存在一微弱的纯音。对于给定的 L_1 和 L_2 ，计算组合声级 L_c 的公式为：

$$L_c = L_1 + 10 \log_{10} \left[10^{(L_2 - L_1)/10} + 1 \right] \quad (1.4)$$

举个实例，有两个靠得很近的噪声源，它们与测量点的距离相等，用声级计去测量这些噪声源，首先使一个噪声源工作，把另一个噪声源关掉，然后再反过来。这两个声级的组合，即这两个噪声源同时工作时的噪声级。无规噪声的声级组合要求把每个噪声源的功率或能量进行相加，并用分贝或对数换算成声级计上的读数。

测声仪器和分贝的使用中必须注意能量加倍，声级要增加3 dB。例如，两个40 dB的无规噪声源合成为43 dB的总声级；两个相等的90 dB的无规噪声合成为93 dB。组合的计算过程实际上是根据声压的平方通常与声能近似成正比这样一种物理现象。

图1—3中的示意图能够在不用公式的情况下，进行分贝的组合。

对于近似计算来说，表1—2中的图表容易记住和使用，其结果一般可以达到 ± 1 dB。记住在3 dB、2 dB和1 dB处的交点是与较大声级相加的数，各交点的数差1、4和9证明是最初的3、2和1这三个整数的平方。实际上这些交点