

工厂噪声控制技术及应用

彭玲生编 · 中国铁道出版社

35

内 容 简 介

本书扼要地介绍了噪声控制的基本理论及工厂噪声常规控制技术
技术与应用，并剖析了工厂噪声控制的部分实例。

本书主要供从事环境保护与劳动保护的工作人员学习与参
考。

工厂噪声控制技术与应用

彭玲生 编

中国铁道出版社出版

责任编辑 苏国镇 封面设计 骆正山

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092毫米 印张：8 字数：180 千

1987年4月 第1版第1次印刷

印数：0001—6,000册 定价：1.50元

前 言

随着近代工业、交通运输事业和许多工程领域的发展，机器的功率越来越大，转速越来越快，自动化程度越来越高，带来的工业噪声日趋严重。噪声干扰环境、危害人体健康、影响人们休息、降低工作效率，如何与噪声危害进行斗争，乃是当前环境保护与劳动保护的一项重要课题。有鉴于此，特编此书，供从事环境保护与劳动保护工作的技术人员和工人在进行噪声治理工作时参考。

本书在收集大量资料的基础上，结合工作实践体会，立足于“实用”二字，选择有价值的内容，进行整理编写。书中在简单介绍有关噪声控制基本理论之后，重点介绍了工厂噪声常规控制技术及其应用，力图反映最新理论及科技成果，并剖析了工厂噪声控制实例，便于读者直观了解和掌握控制噪声的原理和方法。书内省略了繁琐的公式推导，只求弄懂原理之后，灵活掌握各种行之有效而又经济的治理方法。同时，还编纂了噪声控制方面最为迫切需要的资料，供查阅之用。

噪声控制是一门新兴的技术科学，无论在理论上还是在实践上都有许多尚待研究的问题。同时，由于水平有限，书中难免有不当与谬误之处，如蒙读者不吝赐教，则不胜感激之至！

书稿写出后，承蒙华东交通大学建筑声学教研组蔡彪、李源生、黄世益、徐诗池、张浣淳同志详为审校，及江西铁道学会等有关单位和同志给予热情支持、帮助，在此一并表示衷心感谢。

彭 玲 生

1986年3月

目 录

本书主要符号表	I
第一章 噪声控制的基本理论	4
第一节 声音的性质	4
一、声音的产生	5
二、声音的物理度量	7
(一) 声压 p 、声强 I 、声功率 W	7
(二) 声压级 L_p 、声强级 L_I 、声功率级 L_W	8
(三) 声压级的合成	10
三、声波的反射、折射、衍射	13
四、声波的干涉	14
五、倍频程	16
第二节 噪声的危害	17
一、噪声对人的危害	19
(一) 噪声对听觉的影响	19
(二) 噪声对健康的危害	22
(三) 噪声对睡眠的干扰	22
(四) 噪声影响语言收听	23
(五) 噪声对人的心理影响	23
二、噪声对动物的影响	24
三、噪声对建筑物的危害	24
第三节 噪声的评价与标准	25
一、噪声评价方法	25
(一) 响度级与响度	26
(二) A 声级	32
(三) 等效连续A声级 (L_{eq})	36
(四) 噪声评价标准NC	37
(五) 噪声评价数NR	37
二、噪声评价标准	39
(一) 关于听力保护的标准	39
(二) 环境噪声标准	40
(三) 各类产品的噪声标准	42
第四节 噪声测量	43
一、噪声测量仪器	43

(一) 声级计	43
(二) 频谱分析仪	47
(三) 声级记录仪	48
二、噪声测量	49
(一) 噪声的特性	49
(二) 噪声源辐射噪声的测量	50
(三) 同噪声评价有关的测量	51
(四) 工厂车间噪声测量	51
第二章 工厂噪声常规控制技术	56
第一节 噪声控制原理和基本方法	56
一、控制声源发声	57
二、阻拦声音传播	57
(一) 总体布局要合理	58
(二) 利用屏障阻止噪声传播	59
(三) 利用声音的指向性来控制噪声	59
(四) 其它办法	59
三、加强个人防护	60
四、噪声控制的工作步骤	61
第二节 吸 声	62
一、吸声材料性能基本参量	63
(一) 吸声系数 α	63
(二) 流阻 R_f	65
(三) 孔隙率 q	70
(四) 结构因子 S	71
(五) 声阻抗率 Z_s	71
二、吸声材料	75
(一) 多孔吸声材料	76
(二) 共振吸声结构	82
第三节 隔 声	95
一、隔声的基本原理	95
(一) 透射系数与透射损失	95
(二) 质量定律与吻合效应	97
(三) 双层构件的隔声	100
二、隔声间的设计	104
(一) 有门窗的墙板隔声量的计算	104
(二) 门窗的隔声处理	106
三、隔声罩的运用	111
(一) 对隔声罩材料的要求	111
(二) 对隔声罩内表面的要求	112
(三) 对隔声罩有孔洞时的要求	113
四、隔声屏的设计	114

(一) 隔声屏的降噪原理.....	115
(二) 隔声屏的构造和布置形式.....	119
(三) 隔声屏的主要特点.....	120
第四节 隔 振	121
一、隔振的原理.....	121
二、隔振的原则与方法.....	124
三、隔振材料与装置.....	126
(一) 钢弹簧.....	127
(二) 橡胶类隔振装置.....	129
(三) 树脂胶合的玻璃纤维板.....	131
(四) 软木、毡板类隔振材料.....	133
(五) 其它措施.....	133
四、阻尼减振.....	135
(一) 阻尼减振的原理.....	135
(二) 阻尼材料与阻尼层.....	136
第五节 消 声 器	140
一、消声器设计的基本要求与方法.....	140
(一) 消声器的设计要求.....	140
(二) 消声器设计的工作步骤.....	141
(三) 消声器声学性能的测量.....	142
二、阻性消声器.....	143
(一) 片式消声器.....	145
(二) 折板式消声器.....	146
(三) 蜂窝式消声器.....	146
(四) 阻性声流式消声器.....	147
(五) 室式消声器.....	147
(六) 弯头式消声器.....	147
三、抗性消声器.....	148
(一) 扩张室消声器.....	149
(二) 共振消声器.....	156
(三) 干涉消声器.....	161
(四) 文氏消声器.....	161
四、阻抗复合式消声器.....	162
五、微穿孔板消声器.....	165
六、节流降压消声器.....	169
七、小孔喷注消声器.....	171
八、多孔扩散消声器.....	172
九、有源消声器.....	173
第三章 工厂噪声控制实例	175
第一节 空压机噪声及控制	175
一、空压机噪声特性.....	175

二、空压机噪声控制方法	177
(一) 新建空压机站噪声控制设计	177
(二) 老空压机房噪声治理	179
(三) 移动式空压机隔声罩	181
第二节 鼓风机噪声及控制	183
一、鼓风机噪声特性	183
二、鼓风机噪声的控制方法	185
第三节 轴流风机噪声及控制	189
一、轴流风机噪声特性	190
二、轴流风机噪声的控制方法	191
三、风机系列消声器的应用	195
第四节 圆锯机噪声及控制	201
一、圆锯机噪声特性	201
二、圆锯机噪声的控制方法	204
第五节 电机噪声及控制	206
一、电机噪声特性	206
二、电机噪声的控制方法	207
第六节 直流电焊机噪声及控制	210
一、焊机噪声源的分析	211
二、焊机噪声的控制方法	211
第七节 锅炉房噪声及控制	215
一、燃煤锅炉房的噪声控制	215
二、燃油或燃气锅炉房的噪声控制	218
第八节 风砂轮噪声及控制	219
一、MC型风砂轮消声器	219
二、S150型风砂轮消音器	222
三、T型风砂轮消声器	222
第九节 蒸汽加热噪声的控制	223
一、“三连三”法	224
二、射汲式蒸汽加热消声器	224
三、进水注射器	226
第十节 风动工具噪声控制	227
一、风动螺母扳手的噪声控制	227
二、风压机、架车风镐的噪声控制	228
第十一节 排气噪声控制	229
一、火车制动排气噪声控制	229
二、锅炉排汽噪声控制	230
三、空气锤排气噪声控制	231
四、风动夹具排气噪声控制	232
第十二节 滚筒噪声控制	233

第十三节 隔声屏应用实例	234
一、方案的选择	234
二、具体措施	235
附录	238
I. 中华人民共和国《工业企业噪声卫生标准》(试行草案)	238
II. 中华人民共和国《工业噪声检测规范》(草案)	239
III. 声学常数	242
参考文献	247

本书主要符号表

符 号		中 文 意 义	单 位 名 称	单 位 符 号
大 写	小 写			
		一、拉丁字母		
<i>A</i>		吸声量	平方米	m^2
	<i>a</i>	长度	米	m
	<i>b</i>	长度	米	m
	<i>c</i>	声速	米每秒	m/s
<i>D</i>		1. 声能密度	焦[耳]每立方米	J/m^3
		2. 长度、直径	米	m
	<i>d</i>	直径、厚度	米	m
<i>E</i>		弹性模量	牛[顿]每平方米	N/m^2
<i>E_0</i>		入射总声能	焦[耳]	J
<i>E_a</i>		吸收声能	焦[耳]	J
<i>E_r</i>		反射声能	焦[耳]	J
<i>E_t</i>		透射声能	焦[耳]	J
<i>F</i>		1. 系数		
		2. 承受载荷	帕[斯卡]	Pa
	<i>f</i>	声频率	赫[兹]	Hz
	<i>f_c</i>	临界吻合频率	赫[兹]	Hz
	<i>f_0</i>	固有频率	赫[兹]	Hz
<i>G</i>		1. 构件刚度	牛[顿]米	$N \cdot m$
		2. 剪切弹性模量	牛[顿]每平方米	N/m^2
		3. 传导率	米	m
<i>H</i>		高度	米	m
	<i>h</i>	厚度、高度	米	m
<i>I</i>		声强	瓦[特]每平方米	W/m^2
<i>K</i>		1. 压缩模量	牛[顿]每平方米	N/m^2
		2. 弹簧刚度	牛[顿]每米	N/m
		3. 波数	每米	m^{-1}
<i>L</i>		声压级	分贝	dB

续上表

符 号		中 文 意 义	单 位 名 称	单 位 符 号
大 写	小 写			
L_1		声强级	分贝	dB
L_w		声功率级	分贝	dB
L_{eq}		等效连续A声级	分贝	dB
L_N		响度级	方	phon
ΔL		消声量	分贝	dB
	l	长度	米	m
	m	1. 质量	千克	kg
		2. 面密度	千克每平方米	kg/m ²
		3. 扩张比		son
N		响度	宋	
	n	1. 圈数		
		2. 转数	转每分	r/min
P		穿孔率		
	p	声压	帕[斯卡]	Pa
	Δp	声压差	帕[斯卡]	Pa
Q		声源指向性因数		
	q	孔隙率		
R		隔声量	分贝	dB
R_f		流阻	帕[斯卡]秒每米	Pa·s/m
	r	半径	米	m
	r_s	声压反射系数		
S		1. 面积	平方米	m ²
		2. 结构因子		
T		传递率		
T_c		容许抗扭应力	帕[斯卡]	Pa
TL		透射损失	分贝	dB
	t	1. 摄氏温度	摄氏度	°C
		2. 厚度	米	m

续上表

符 号		中 文 意 义	单 位 名 称	单位符号
大 写	小 写			
V		3. 时间	秒	s
		质点速度	米每秒	m/s
	u	体积	立方米	m ³
W		振速	米每秒	m/s
	U	声功率	瓦[特]	W
		位移	米	m
Z	X	振幅 (最大位移)	米	m
	X _m	叶片数		
Z _s		声阻抗率	帕[斯卡]秒每米	Pa·s/m
二、希腊字母				
Σ	a	1. 吸声系数		°
		2. 角度	度	
	α _T	混响室吸声系数		
	α ₀	驻波管吸声系数		
	α _N	法向吸声系数		
	β	角度	度	°
	δ	振动的阻尼系数	牛[顿]秒每米	N·s/m
	δ _c	临界阻尼系数	牛[顿]秒每米	N·s/m
	η	1. 衍射系数		
		2. 材料损耗因子		
	λ	波长	米	m
	ρ	介质密度	千克每立方米	kg/m ³
	ρ ₀ c	特性阻抗	帕[斯卡]秒每米	Pa·s/m
		总和		
	σ	泊松比		
τ	透射系数			
φ(α)	消声系数	分贝	dB	
ω	角频率	每秒	s ⁻¹	

注：表内未列单位的均无量纲。

第一章 噪声控制的基本理论

人们依赖声音作为信息传递人们的思维和感情，研究和识别周围事物的活动。然而，也有一些声音的存在是没有价值的，有的还妨碍人的休息、工作、交谈，过响的声音还会损害人的健康，对于这些使人讨厌、受害和不需要的声音，称为噪声。狭义地讲，无规则的连续谱，即频率和声强都不同的声波的杂乱组合就称之为噪声。从三十年代开始到如今，噪声控制已由零星的研究发展成一门科学，建立了它的方法论、术语、标准和规范。随着人们对噪声控制知识的积累和科学技术的发展，噪声危害的问题将会逐步得到解决。

噪声控制是一门新兴的技术科学。其理论基础是振动和声波理论，以及振动和声波对人的生理、心理作用。噪声控制有它物理和技术方面的问题，有它生理和心理方面的问题，还涉及到经济的问题。广泛应用到国民经济和国防的各个方面（工业、建筑、机械、冶金、交通运输等），与各个方面的科学技术密切结合，具有极大的综合性。它的内容包括噪声的理论分析，测试噪声的评价标准，降低噪声的措施等。

第一节 声音的性质

噪声具有声音的一切特性，因此，控制噪声首先要弄清楚声音的基本性质，才能有的放矢地采用适当方法加以解决，这就是本节所要叙述的主要内容。

一、声音的产生

声音的产生来源于物体的振动。例如用锤击鼓，就会听到鼓声。这时用手去轻摸鼓面，就会感到鼓面在振动。如果用手按住鼓面，鼓面就会被迫停止振动，鼓声也就消失了。说明鼓面振动是鼓声的声源。这种物体结构产生的振动为机械振动。很多情况下机械振动是声音产生的主要声源，但也有非机械振动产生的声音，气体喷射和化学爆炸声就没有机械结构振动存在，而是气体振动引起的，这就说明了任何物体（固体、气体、液体）的振动都可以产生声音。

物体振动发出声音要通过中间介质才能把声音传播出去，击鼓的声音是以空气做为介质，将鼓面的振动能传给空气介质，引起空气介质的质点振动，由近及远传播出去，送到人耳，使人感到有鼓声存在。

声音又是怎样通过空气介质把振动的能量传播出去的呢？

我们仍以击鼓的现象来说明这个问题。鼓面振动时，鼓面向外运动就使鼓面附近的空气介质受压缩，空气介质的质点密集，空气密度加大。鼓面向内运动时，就使鼓面附近的空气膨胀，空气介质的质点稀疏，空气密度减小。鼓面往复运动，使得附近介质中的质点时而密集，时而稀疏，带动邻近的空气质点由近及远地依次振动起来，就形成了一疏一密的“空气层”，这一层层的疏密相间的“空气层”，就形成了传播的声波。这种声波激起人耳鼓膜的振动，刺激内耳的听觉神经，就产生了声音的感觉。声波的形成和传播如图 1—1。

声波的传播只是空气密度变化或振动能量的传递，而介质本身只在它的平衡位置来回运动，并不随波的传播而前

进。显然声波的传播要靠介质。如果没有介质，声源振动就不能形成声波。可用一个简单的试验来说明这个问题：把一个小闹钟放在密封罩内，将罩内的空气逐渐抽出，那么小闹钟的滴嗒声就会随空气的减少而减弱，最后消失。

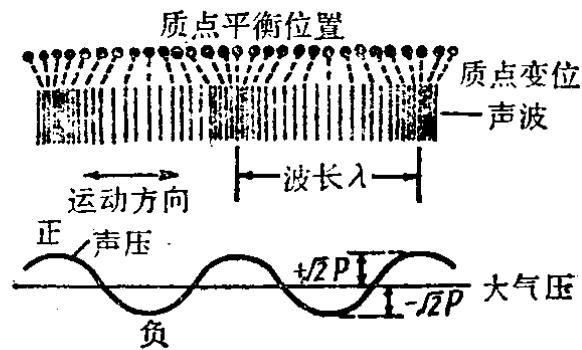


图 1—1 声波的形成和传播

产生声波的振动源，称为声源。介质中有声波存在的区域，称为声场。声波的传播方向叫声线。

图 1—1 中描述的声波相邻的密部与密部或疏部与疏部之间的距离叫做波长。也可以说，声源完成一周的振动，声波所传播的距离叫波长。用 λ 表示，单位是 m。疏密部由近及远的传播速度，就是声波在介质中传播的速度，即每秒钟传播的距离称为声速，用 c 表示，单位是 m/s。每秒钟振动的次数，称为声频率，用 f 表示，单位是赫[兹]，符号为 Hz。

波长、声速与声频率之间的关系是

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (\text{m}) \quad (1-1)$$

声速的大小与介质的温度有关，随温度的上升而增高，可用下式表示

$$c = 331.4 + 0.6t \quad (\text{m/s}) \quad (1-2)$$

式中 c —— 声速，m/s；

t —— 摄氏温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

声速还随介质而变化，在空气中 20°C 下，声速约为 340m/s；在水中的声速近似为 1450m/s；在钢铁中约为

5000m/s；在橡胶中约为40~150m/s。因此，人耳贴近钢轨听到火车行驶的声音，比在空气中听到火车行驶的声音要早得多。此外，声速还与空气湿度、大气压有关。

二、声音的物理度量

(一) 声压 p 、声强 I 、声功率 W

声波引起空气质点的振动，使大气压力产生迅速的起伏，这种起伏就称为声压。也可以这样说，在声场中单位面积上，由于声波而引起的压力增量称为声压，用 p 表示，单位是帕[斯卡]，符号为 Pa。通常都用声压来衡量声音的强弱。

声音在传播过程中，实际上声压 p 是随时间迅速地起伏变化，在声波中，我们经常研究的是一个时间间隔内声压的有效值，亦即声压随时间变化的方均根值（对于正弦波或“纯音”，方均根值为声压的最大值除以 $\sqrt{2}$ ），如不加说明，通常所指声压就是声压有效值。

声波作为一种波动形式，它是将声源振动的能量向空间辐射的过程。因此，也常用能量大小表示声辐射的强弱。

声强就是垂直于指定传播方向的单位面积上平均每单位时间内传过的声音能量，用 I 表示，单位是瓦特/米²，符号是 W/m^2 。

声功率就是声源在一个周期内，平均每单位时间内辐射的总声能，用 W 表示，单位是瓦，符号为 W。

声强 I 是衡量声音强弱的标志，声音的大小和离开声源距离远近有关。如果在一个没有反射声存在的自由声场，有个向四周均匀辐射声音的点声源，在 r 米处的声强 I 为

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} \quad (W/m^2) \quad (1-3)$$

式中 W ——声功率, W ;
 I ——声强, W/m^2 ;
 r ——距离, m 。

如果声源放在刚性地面上, 则声能只能向半空间辐射, 其声强 $I_{\text{半}}$ 为

$$I_{\text{半}} = \frac{W}{2\pi r^2} \quad (W/m^2) \quad (1-4)$$

声源设置在墙边缘, 则声强 $I_{\text{边}}$ 为

$$I_{\text{边}} = \frac{W}{\pi r^2} \quad (W/m^2) \quad (1-5)$$

声源设置在墙角时, 则声强 $I_{\text{角}}$ 为

$$I_{\text{角}} = \frac{2W}{\pi r^2} \quad (W/m^2) \quad (1-6)$$

声压与声强之间有着内在联系, 当声波在自由声场中传播时, 在传播方向上声强 I 与声压 p 有下列关系

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

式中 p ——有效声压, Pa ;
 I ——声强, W/m^2 ;
 ρ ——介质密度, kg/m^3 ;
 c ——声速, m/s ;
 ρc ——[声]特性阻抗, $Pa \cdot s/m$ 。

从公式 (1-7) 可看出, 声强与声压的平方成正比, 因此, 测量出了声压 p , 进而可以求出声强 I 和声功率 W 。

(二) 声压级 L_p 、声强级 L_I 、声功率级 L_W

声压的变化范围很广, 人耳刚能听到的声音一直到感到耳膜疼痛的声音声压为 $20 \times 10^{-6} Pa$ 到 $20 Pa$, 相差百万倍。在这样宽广的范围内, 用声压或声强的绝对值来衡量声音的强弱很不方便, 而且人耳对声音的感觉并不是与声压成比

例，而是与声压的对数相关性较好。因此，声学工程中引出“级”的概念。声压、声强、声功率的级的划分，是采用数学中常用对数标度来表达。单位叫分贝，符号为 dB。

声压级 L_p 的定义是某一声压与基准声压（频率为 1000 Hz 时可听阈声压为 $20 \times 10^{-6} \text{ Pa}$ ）之比值的常用对数值乘以 20，用数学式表示为

$$L_p = 20 \lg \frac{p}{p_0} \quad (\text{dB}) \quad (1-8)$$

式中 L_p ——声压级，dB；

p ——声压，Pa；

p_0 ——基准声压，取值 $20 \times 10^{-6} \text{ Pa}$ 。

用声压级代替声压就把本来为数百万倍的范围的差值改变为 0 ~ 120 dB 的范围，就简化多了。

必须注意，声压级的分贝数是经过对数压缩过的数值，不能和自然数或一般物理量那样直接相加或相减，应取各声音的能量密度或声强相加，而后得出总声压级。由于声能密度 D （无穷小体积中，平均每单位体积中的声能，用 D 表示。在平面波中， $D = p^2 / \rho c^2$ ，单位为焦耳 / 米³，符号为 J/m³），或声强 I 正比于该点声压的平方，因此，可得到合成的总声压级 $L_{p\text{总}}$ 为

$$L_{p\text{总}} = 10 \lg \frac{p_1^2 + p_2^2 + p_3^2 + \dots + p_n^2}{p_0^2} \quad (\text{dB}) \quad (1-9)$$

式中 p_1, p_2, \dots, p_n ——各个声音的声压，Pa；

p_0 ——基准声压。

同样与声压级一样，声强级 L_I 可用下式表示

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