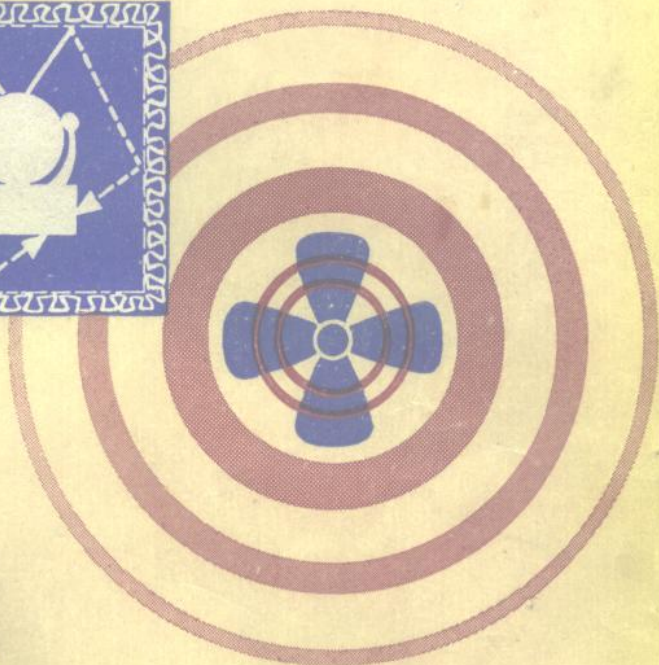


劳动保护丛书



陈秀娟编

工业噪声控制

化学工业出版社

劳动保护丛书

工业噪声控制

陈秀娟 编

化学工业出版社

内 容 提 要

本书是劳动保护丛书之一，主要介绍工厂噪声控制的知识。书中共分六章，第一章介绍声音的基本性质，度量单位和工厂一般噪声测量；第二章介绍噪声的危害，控制标准和防治噪声的基本原理和原则；第三、四、五、六章分别介绍工厂噪声控制的几种基本方法，吸声，隔声、隔振、阻尼和消声等措施的原理、设计方法和应用实例。最后附有我国1979年颁发的《工业企业噪声卫生标准》试行草案和《机动车辆允许噪声标准》。

本书可以作为劳动保护、环境保护、工业卫生工作人员自学读物，或作培训教材，也可供在校学生参考。

劳动保护丛书 工业噪声控制 陈秀娟 编

化学工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

开本787×1092¹/₃₂印张7¹/₈ 字数154千字印数1-11,650

1981年4月北京第1版1981年4月北京第1次印刷

统一书号15063·3267定价0.60元

出版说明

建国三十年来，在党的领导下，我国的劳动保护工作取得了很大成绩。企业里劳动条件有了很大的改善，职工伤亡事故、职业病和职业中毒显著下降，从而保障了广大职工在生产中的安全与健康，促进了我国社会主义建设的发展。这充分显示了我国社会主义制度的无比优越性。

1975年全国安全生产会议纪要中指出：为了搞好安全生产，做好劳动保护工作，对职工群众要加强安全教育，“对特殊工种工人，要进行专业安全技术训练”。为了适应这一需要，我们着手出版一套《劳动保护丛书》，这套《丛书》包括《用电安全技术》、《起重机及其安全技术》、《工业锅炉安全技术》、《焊接安全防护技术》、《工业噪声控制》、《通风除尘》、《工业防毒技术》、《受压容器安全技术》等书籍。

《丛书》可作为生产工人和技安人员的安全培训教材，也可供其他工作人员参考。

化学工业出版社
一九八〇年六月

前 言

在我们生活的世界里，每时每刻都可以听到各种各样的声音。声音对于我们人类社会实践来说是非常有用的，它可以帮助我们借助于听觉熟悉周围环境，通过语言谈话表达思想，有节奏的乐曲可以使我们精神愉快，消除疲劳；工人师傅听一听机器的转动声音，就可以知道机器运转是否正常；医生通过听诊器听到心脏和肺部的声音就可以对患者的健康情况作出正确的判断。但是，也有一些声音是我们不需要的，例如工厂车间内的各种金属铿锵声，机床运转隆隆声，各种风机的尖叫声，机动车辆发出的喷气嘟嘟声等等所有这些声音杂乱无章，使人听起来感到心情烦躁，这就是噪声。噪声直接干扰我们正常的生活、工作、学习、休息和睡眠。如果长时间在强烈的噪声环境中从事生产活动，将会使人们的听力下降，并有可能引起高血压、神经衰弱、心血管系统病症，严重地影响着人们的身体健康。

随着近代工业交通运输事业的发展，工业噪声已成为危害工人健康和污染环境的重要因素，广大群众强烈要求解决，但如何与噪声危害进行斗争是当前环境保护和劳动保护的一项重要课题。为了普及噪声控制的知识，发动群众共同治理，本书对声音的基本性质以及工业噪声控制的一些基本措施和方法作了概括的介绍。

本书在编写的过程中，北京市劳动保护科学研究所孙家麒同志给予极大的支持和帮助，并协助编写了部分章节。初

稿写成后承请清华大学建工系车世光副教授，第三机械工业部第四设计院刘希贤工程师，北京市劳动保护科学研究所噪声控制组方丹群同志指导和审查，书中有关听觉生理部分经北京医学院附属医院耳鼻喉科主任郑立教授审阅，第五章消声器由北京市劳动保护科学研究所王文琦同志审阅的，北京经济学院劳动保护系何泽民、刘培臣同志参加了定稿研究工作，他们都提出了宝贵的修改意见。在此，对上述所有单位和同志表示衷心的感谢。

编者于北京经济学院

1980年

目 录

第一章 声音的基本性质	1
第一节 声音的产生和传播特性	1
一、声音的产生—振动和波动	1
二、声波传播的特性	7
第二节 声音的物理量度与人耳听觉的特性	16
一、声音的物理量度	16
二、人耳听觉的特性	30
第三节 噪声测量仪器和测量方法	45
一、噪声测量仪器	45
二、噪声测量方法	51
第二章 噪声危害、允许标准以及噪声控制的原理和基本方法	55
第一节 噪声危害	55
一、噪声性耳聋	55
二、噪声可以引起各种疾病	58
三、噪声影响人们的正常生活	61
四、噪声影响工作	62
第二节 噪声的评价和允许标准	62
一、噪声评价方法	63
二、噪声允许标准	68
第三节 噪声控制原理和基本方法	70
一、降低声源噪声	71
二、在传播途径上控制噪声	72
三、对接收者的防护	78

第三章 吸声处理	79
第一节 吸声原理和室内吸声减噪量的计算	79
一、吸声系数	80
二、房间吸声减噪量的确定	83
第二节 吸声材料	93
一、多孔吸声材料	93
二、共振吸声结构	101
三、微穿孔板吸声结构	107
第四章 隔声措施	110
第一节 隔声材料的隔声性能	110
一、隔声构件的隔声原理	111
二、单层密实均匀构件的隔声性能	113
三、双层密实结构的隔声性能	119
第二节 隔声间的设计	122
一、关于具有门窗的隔墙的隔声量计算	122
二、门窗的隔声和具体处理办法	124
三、孔隙对墙体的隔声影响	127
四、隔声构件在隔声间中的隔声量的确定	130
第三节 隔声罩、隔声屏和管道隔声	131
一、隔声罩	131
二、输气管道的噪声隔绝	136
三、隔声屏的设计	137
第四节 个人防护用品	139
一、防声耳塞	140
二、防声棉耳塞	140
三、防护耳罩	141
四、防声帽盔(又称头盔、航空帽)	142
第五章 振动的隔绝	144
第一节 隔振	144

一、减振器的减振原理	145
二、减振器的实际设计与应用	149
三、常用减振器	152
第二节 减振阻尼	156
第六章 消声器	161
第一节 消声器设计的基本原则和方法	161
一、关于消声器的分类和设计选型	161
二、消声器设计的基本要求	162
三、消声器设计的工作步骤	163
四、关于消声器声学性能的测量	165
第二节 阻性消声器	166
一、阻性消声器消声量的计算	167
二、几种类型的阻性消声器	169
三、阻性消声器的设计要点	172
四、阻性消声器应用实例	174
第三节 抗性消声器	176
一、扩张室消声器	177
二、共振消声器	184
三、干涉消声器	190
四、抗性消声器设计实例	191
第四节 阻抗复合式消声器及其他消声器	192
一、阻抗复合式消声器	192
二、其他消声器	195
参考文献	204
附录一	206
I. 卫生部、国家劳动总局关于颁发《工业企业噪声卫生标准》(试行草案)的通知	206
II. 《工业企业噪声卫生标准》(试行草案)	206

Ⅲ.《工业企业噪声检测规范》(草案)	208
附录二	211
I. 中华人民共和国国家标准	
机动车辆允许噪声 (GB1495-79)	211
II. 中华人民共和国国家标准	
机动车辆噪声测量方法 (GB1496-79)	212

第一章 声音的基本性质

第一节 声音的产生和传播特性

治理噪声首先要弄清声音的基本性质，即声音的“脾气”，才能对症下药加以解决。平时我们听到各种各样的声音，虽然很熟悉它，但对它的发生机理，传播特性并不一定完全了解，为了弄清这个问题，现在把声音的产生和传播的基本特性分别介绍如下：

一、声音的产生—振动和波动

（一）物体振动是产生声音的根源

声音究竟是怎样产生的，如果我们仔细观察日常生活所接触到的各种发声物体，就会发现声音来源于物体的振动。为了说明这个问题我们作个简单试验：当你用鼓锤去敲鼓，就会听到鼓声，这时你用手去摸鼓面，就会感到鼓面迅速地振动着。如果用手掌压住鼓面使它停止振动，鼓声就会立即消失。这个实验告诉我们，鼓面振动产生了声音。工厂中铁锤敲打钢板，引起钢板振动发声，织布机飞梭不断撞击打板的振动发声等，都是由振动的物体发出来的，我们把能够发声的物体叫做声源。当然声源不一定非固体振动不可，液体、气体振动同样会发声，化工厂中输液管道阀门的噪声就是液体振动发声；高压容器排气放空时的排气吼声，就是高速气流与周围静止空气相互作用引起的空气振动的结果。

既然声音是由物体振动引起的，现在我们简单地来剖析

一下振动。

要了解发声物体振动时的情况,以鼓面振动为例来说明,如图1-1,在没有敲击鼓面时,鼓面上的一点A处于静止平衡位置上,经过鼓锤用力敲击之后,就会发现鼓面A点,忽儿在鼓面原来平衡位置的上边,忽儿在鼓面的下边不停地振动起来,因为鼓面振动的很快,范围很小,所以我们不容易看出来,如果用一小纸团团扔在鼓面上面,小纸团在鼓面上就会跳动起来。鼓面振动离开平衡位置最大的距离如图1-1中AB或AC叫振动振幅。鼓面上下来回一次算一次全振动,一次全振动所需要的时间叫周期,用T表示,单位是秒;一秒钟内振动的次数叫频率用f表示,单位是赫(兹)或记Hz。显然周期T和频率f是互为倒数的关系。

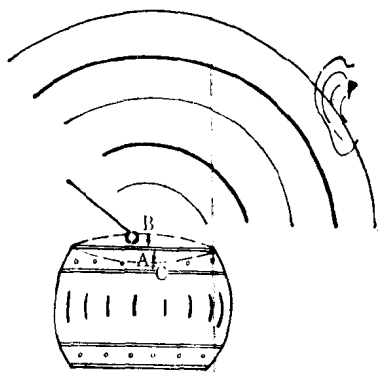


图 1-1 鼓面振动发声

$$f = \frac{1}{T} \text{ 赫 (1-1)}$$

是不是所有发声体的振动人耳都能听得到呢? 不是的, 人耳可以听到的声音频率范围在20赫到2万赫之间, 高于2万赫的叫超声, 低于20赫的叫次声, 超声和次声人耳是听不到的, 但是对于某些动物

来说, 如老鼠可以听到16赫以下的次声, 狗和蝙蝠可以听到2万赫以上的超声, 本书讲的主要是我们人耳可能听到的声音。

下面简单介绍几个有关振动的基本声学概念。

1. 固有振动，固有频率和阻尼振动

继续前面敲击鼓面的例子，如果我们敲击一下鼓面，给它以一定的能量，以后不再干涉它，让它自己振动，并且假定没有任何摩擦和其他阻力的作用，这样，根据机械能量守恒定律，鼓面将保持一定的振幅永远振动下去，这种理想的振动我们称它为无阻尼自由振动，也叫固有振动，物体在作固有振动时的频率叫固有频率。固有频率的大小一般由振动物体的本身质量（密度）和弹性决定。

固有频率 $f_{\text{固}}$ 的数学表达式为

$$f_{\text{固}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m}} \text{ 赫} \quad (1-2)$$

式中 m ——振动物体的质量，

K ——弹性模量。

由（1-2）式可以看出，固有频率的大小和振动物体的质量成反比和物体的弹性模量成正比。

在实际情况中，摩擦和阻尼总是存在的，振动的物体最初所获得的能量，在以后不断地运动中，要消耗下去，同时振幅也随之减小，这种造成能量不断随时间消耗的振动，叫做阻尼振动。阻尼振动不是周期性振动，因为经过一个周期后，振动的物体并不回到原来状态，它的波形图如图 1-2 所示，从图上可以看到它的振幅逐渐减小，因此我们又把它叫做减幅振动。

2. 强迫振动与共振

前面讲过，由于摩擦和阻尼使振动能量不断地消耗，如要使物体持续地作机械振动，就必须不断地补充能量，常见的是给予振动物体以周期性变化的外力（一般称为策动力），

在这种情况下发生的振动叫强迫振动。强迫振动的特点是振动的频率决定于策动力的频率。

强迫振动中还有一种很重要的特殊情况，就是当策动力变化的频率与物体的固有振动频率接近或相等时，振幅急剧增大就发生了共振。共振时，物体受迫振动的振幅最大，如图1-3。

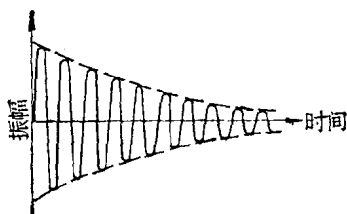


图 1-2 阻尼振动曲线

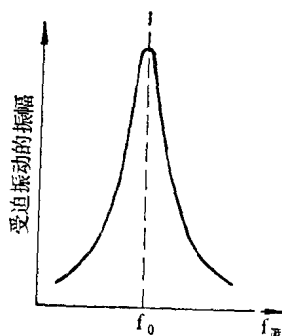


图 1-3 共振曲线

f_0 —物体固有振动频率；
 $f_{策}$ —策动力变化频率

共振现象和其他自然现象一样，在一定条件下是有利的，而在另外一些条件下又是有害的，我们应该根据实际情况来利用它或避免它。

在噪声控制工程中，常利用共振吸声的原理来消除低频噪声，但对于某些隔声材料来说又要力求避免共振，因此共振在噪声控制工程中具有重要的意义。

(二) 物体振动在空气中的传播—波动

物体振动发声，总要通过中间介质才能把声音传播出去，而中间介质必须是弹性介质，空气就是一种弹性介质。在任

何情况下，声音是不能行经真空的。下面用一个简单的试验来说明：把一个钟放在真空罩内，当罩内的空气没有被抽出时，钟的滴答声听的很清楚，空气逐渐被抽出，滴答声也就逐渐减弱，当空气抽到十分稀薄时，滴答声就听不见了，这个实验告诉我们没有空气这个弹性介质的帮助，滴答声是传不出来的，我们人耳平时听到的声音大部分是通过空气传播的。空气能传播声音，液体，固体同样也能传声，比如潜水员潜入水中可以清楚地听到轮船上的机器声；把耳朵贴在钢轨上就可以听到远处驶来的列车嘈杂声。

那么声音又是怎样通过空气把振动的能量传播出去的呢？

我们仍以鼓面振动为例，如图 1-4。用力敲一下鼓面，

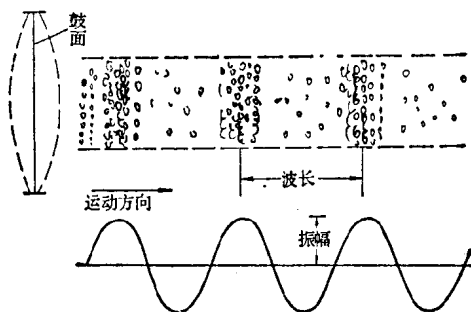


图 1-4 振动与声波

鼓面则一来一回的运动，围绕鼓面的空气质点产生振动，这时鼓面一侧的空气质点被挤压而密集起来，另一侧则变得稀疏，当鼓面向反方向运动时，原来质点密集的地方变为稀疏，原来稀疏的地方则密集起来，由于空气是个弹性介质，振动的鼓面使空气质点时而密集，时而稀疏，带动

邻近的空气质点，由近及远地依次振动起来，这样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。当这种声波传至人耳，引起鼓膜的振动，刺激了内耳的听觉神经，我们就产生了声音的感觉。

声音在空气中传播时，空气质点本身并不随声波一起传播出去，空气质点只在它的平衡位置附近前后作纵向振动。这有如把一石块投入宁静的水中，水面立即出现一圈圈的圆形波纹，初看好像水随波浪运动着，但从浮在水面上的树叶来看，树叶仅仅在它原来的位置上，上下不停的浮动，并不随波移走，所以声音的传播实质是物体振动的传播，即传播出去的是物质运动的能量，而不是物质本身，这说明声音是物质的一种运动形式，这种运动的形式叫波动。

振动和波动是互相密切关联的运动形式，振动是波动的产生根源，波动是振动的传播过程，声音在本质上是一种波动。因此，声音也叫声波。

声波在空气中传播，引起空气质点振动的方向和波传播的方向一致，所以空气中的声波是纵波，又称之疏密波。

物体振动发声时，在同一个时刻波到达各点可以连成一个面称它为波前或波阵面，根据这个面的形状把声波分为平面波，球面波等各种类型。

(三) 声波的波长、频率和声速

在声波中如图1-4两个相邻密集或两个相邻稀疏间的距离称之波长，换句话说，振动经过一个周期，声波传播的距离叫波长，用希腊字母 λ 表示，单位是米。一秒钟内振动的次数是频率，显然频率和波长的乘积就是声速，声速用 C 表示，单位是米/秒。波长、频率和声速之间成下列简单关系。

$$C = f\lambda \quad (1-3)$$

声速是表示声波在弹性介质中传播的速度对于空气中的声速可由下式求出

$$C = 20.06 \sqrt{273 + t_0} \quad (1-4)$$

式中 C ——声速，米/秒；

t_0 ——摄氏温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

可见，声音速度是随温度的变化而改变，温度每升高 1°C ，声速约增加 0.607 米。

在不同的介质中声速是不同的。在空气中 20°C 的温度下，声速约为 340 米/秒；在水中的声速近似为 1450 米/秒；在钢铁中约为 5000 米/秒；在玻璃中约为 $5000 \sim 6000$ 米/秒；在橡胶中约为 $40 \sim 150$ 米/秒。

在同一介质中，同一温度下的声速一般变化是不大的，按照 (1-3) 式，如果声速已定，波长和频率必然成反比关系。图 1-5 所示是在 20°C 的空气中的声速约为 340 米/秒，频率为 20 赫时，波长等于 17 米，频率为 1000 赫时，波长为 0.34 米，说明振动频率低则波长长，频率愈高则波长愈短，这对我们进行噪声控制来说是很重要的，因为控制长波（低频声）和控制短波（高频声）的技术措施是完全不同的。

二、声波传播的特性

（一）声音的辐射与衰减

声波在一个没有边界的空间中传播，如果它的波长比声源尺寸大得多时，（多在低频时发生）声波就以球面波动的形式均匀地向四面八方辐射，我们把这种声源叫点声源。显然点声源辐射球面波，它没有方向性，如图 1-6 a。当声源辐射的声波，其波长比声源尺寸小很多的时候，这时声源发出去的声波就以略微发散的“声束”向正前方传播，当声波的波