

实用工业噪声控制技术

郑 长 聚 等 编

上海科学技术出版社

环境保护丛书



《环境保护丛书》

实用工业噪声控制技术

郑长聚等编

上海科学技术出版社

统一书号: 15119·2217 定价: (科四) 0.59 元

前 言

噪声污染已成为举世瞩目的一大公害。采用相适应的现代技术控制工业噪声,乃是环境保护和劳动保护当前所面临的重要任务之一。由于工业噪声控制技术是一门新兴的边缘学科,各类专业人员和管理干部,特别是那些肩负解决工业噪声实际问题的工程技术人员和环境保护与劳动保护工作者,急需有一本能提供解决工业噪声的科学方法的实用图书,我们正是为此目的而编写的。

本书内容力求简明、实用、新颖,为读者提供各种行之有效而又较为经济的办法。因此,在收集了大量资料的基础上,筛选出一部分符合我国国情的,有实际应用价值的内容,进行整理编写。书中除介绍必要的声学知识外,还分别从机械部件的噪声控制、吸声、隔声、声屏障、隔振与阻尼、消声器等各个方面探讨工业噪声的控制技术途径。各章都有实例剖析并力图反映最新科技成果。由于作者水平有限,可能会存在不少错误和缺点,望读者批评、指正。

参加本书编写工作的有郑长聚、王譔贤、洪宗辉、张则陆、夏德荣。承蒙李端生同志以及不少单位和个人为本书提供了宝贵意见和资料,有的已经得到引用,在此一并致谢。

内 容 提 要

本书内容简明、实用、新颖。书中避免繁琐的理论推导,用较通俗的语言、简明的图表和具有代表性的实例阐述了控制工业噪声的各种途径。

全书共分九章,内容包括:声学的基本知识;噪声控制的标准、机理以及噪声源和噪声传播过程中所能采取的一些实用技术措施。

本书可供有关专业学校师生、工程设计人员和从事环境保护工作的工人、技术人员参考。

目 录

第一章 声音的特性和量度	1
一、声音的传播	1
二、声音的波长、频率和声速	4
三、声波的反射、衍射、透射和声源的指向性	6
四、驻波	9
五、声压级和声功率级	12
六、声压级的合成	13
七、响度和响度级	16
第二章 噪声测量	19
一、测量仪器	19
二、测量方法	24
第三章 噪声允许标准和控制原则	30
一、工业噪声评价	30
二、车间噪声允许标准	34
三、环境噪声允许标准	39
四、工业噪声控制的原则和步骤	41
第四章 机械部件噪声的控制	48
一、齿轮噪声控制	48
二、轴承噪声控制	55
三、凸轮机构的噪声控制	56
四、曲柄连杆机构的噪声	58
五、机械噪声和振动源的识别	60
第五章 吸声	66
一、吸声系数和吸声量	66
二、吸声材料和吸声结构的选择	69

三、吸声减噪量的计算	88
四、设计步骤和应用实例	93
第六章 隔声	99
一、透射系数与透射损失	100
二、简单构件的隔声性能	102
三、吻合效应	106
四、双层墙的隔声	110
五、分层复合结构的隔声	113
六、门窗和孔洞对墙板隔声的影响	115
七、分隔墙的噪声降低量	119
八、监察室和隔声罩	121
九、楼板撞击声的隔声	126
第七章 声屏障	130
一、声屏障的降噪原理	131
二、决定声屏障降噪效果的因素	131
三、声屏障的构造和布置形式	137
四、声屏障应用与计算实例	138
第八章 隔振与阻尼	146
一、隔振原理	147
二、隔振材料与隔振元件	152
三、隔振设计实例	157
四、薄板振动的阻尼	162
第九章 消声器	166
一、阻性消声器	167
二、抗性消声器	176
三、共振消声器	180
四、复合消声器	184
五、高速气流消声器	188
参考文献	192

第一章 声音的特性和量度

当大气受到干扰时,这一干扰向各方向传播,便成为空气中的声音。但是这种干扰发出的声音不是都能为我们听觉所觉察得到的。例如,经常看到树叶在飘动,但却感觉不到声音。这是因为人的听觉器官只能感觉到一定频率范围和至少有一定能量的声音。低于这一频率范围的声音称为次声,高于这一频率范围的声音称为超声。次声和超声,人的听觉都感觉不到。人耳所能感觉到的声音称为可听声,通常所说的声音,就是指这种有一定能量的可听声。因此研究噪声问题必须要分析声音的特性以及声音与听觉感受之间的关系。

一、声音的传播

声音是由波动而产生的,类似于水波。当一石块落在平静的池塘中,可以看到水面有一定速度前进的波动。因为水在波动,所以水波带有能量。如果在水面上浮一很小的木块,就可以看到这一小木块随着水面波峰波谷作上下运动。在干扰过后,水面平静下来,木块则仍停留在它的原来位置。由此可见水质点本身并不沿着波动前进,而是水受干扰的波动的能量从一部分水面到邻近的另一部分水面,相继传递。所以说波的传播,实际上是波的能量随波在传播。

水波和声波仅仅是相似,但并不一样。声波是靠空气的弹性和空气分子的惯性作用而传播的。当空气受到扰动,先是干扰处的空气密度发生变化,时而增加(稠密),时而减少

(稀疏)。这种稠密和稀疏的空气层因弹性作用，向其邻近分子层由近到远，层层传递，便形成为空气中的声波。试以敲钟为例，钟被敲击，钟壁在原来平衡位置来回运动，由于这种运动使近壁面空气层受到压缩和稀疏，向外传播成为钟声。为说明简便起见，下面以一刚性平面作类似钟壁运动来分析这一波动产生的过程。

图1.1a为平面处于静止状态时，它的前面空气密度分布均匀，压强相同(正常大气压)。如以纵坐标代表大气压强(或密度)变化，横坐标为空气层相对位置，这时各处压强变化为零。代表这一压强的是 P_0 。水平线，即横坐标轴线。

当平面开始向前运动，最靠近平面的空气层最先受到压缩，这一被压缩的空气层气压便大于附近空气，于是向前挤压其相邻空气层。当平面运动到最大位置时，平面附近的空气层受到最大压缩，密度最大，因而压强也最大。同时，随着至平面距离的增大，压强逐渐降低，直到 A_1 处才为正常大气压强，其变化如图1.1b曲线所示。

当平面到达上述最大距离转而向后运动，原来被压缩的空气层因弹性和惯性作用仍向前层层推进。同时平面最近层的空气层因跟随平面向后运动，开始由原来稠密逐渐变稀，当平面运动到平衡位置时，它的邻近空气密度回复到原来的正常大气压强，而这时已压缩的空气层向前运动到一定距离， A_2 开始受到压缩的扰动，其压强变化如图1.1c曲线所示。

平面通过平衡位置继续向后运动，这时平面邻近空气层密度开始变得比正常情况更稀疏，其邻近正常状态空气密度比较大，便向后补充就逐渐变稀，当平面达到最大位置时，其邻近空气密度达到最稀疏程度，并随着距离增大，稀疏程度逐渐减少。这样稀疏空气层便紧随稠密空气层向前推进，形成

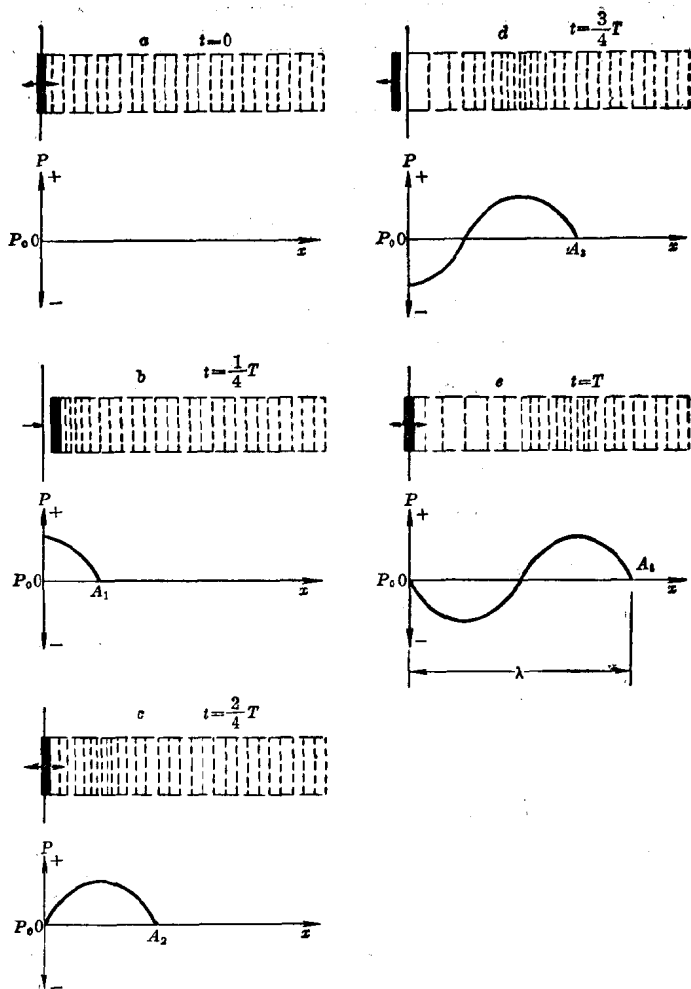


图 1.1 声波的产生

P_0 表示大气压强；a—e 为在不同时间的声波传播； T 表示完成来回一次的运动时间，称为周期

图1.1d的波形,这时最初形成的稠密状态已波及到 A_0 。

图1.1e是平面向后运动到最大距离后又重新向前运动,邻近稀疏空气层开始变密,当运动到平衡位置时,平面邻近空气层又回复到正常大气密度(即正常大气压),这时空气的密度或大气压强变化已波及到 A_0 。

当平面不断地作这样的来回运动时,空气密度便继续地发生密、稀交替的变化。这种变化,称为声波。在平衡位置的这种来回运动,称为振动。可见声波的传播,只是空气密度变化或振动能量的传递,空气分子本身从统计意义来讲,只是在它的平衡位置来回运动。

产生声波的振动源,称为声源。媒质中有声波存在的区域称为声场。引起大气压强增加和减小的变化量,称为瞬时声压,一般所称的声压,象交流电压一样,是指它的有效声压,又称方均根声压。

凡在同一时刻运动状态相同的相邻各点所形成的面,称为波阵面。代表声波传播方向的线,称为声(射)线。平面波的波阵面是垂直于声线的一系列平行的平面。球面波的波阵面是以声源为中心的一系列同心球面。它的声线是球的半径。

二、声音的波长、频率和声速

声源完成一周的振动,声波所传播的距离,或者是具有相同运动状态的两相邻空气层之间的距离,称为声波的波长。从上节的声波传播过程中(图1.1),可以看到声源振动一周,它的振动已传播到 A_4 的空气分子层,所以从平面到 A_4 的距离便是一个波长。

频率是每秒振动的次数。如果声源每秒振动100次,那么,这一声源或所产生声波的频率为100赫(兹),每秒振动

250 次, 频率为 250 赫(兹)。

声音传播的速度与温度有关, 随大气温度的升高而增大。 0°C 时的声速是 331.4 米/秒。声波在空气中的传播速度 c 与温度 $t^{\circ}\text{C}$ 的关系如下:

$$c = 331.4 + 0.6t \quad \text{米/秒} \quad (1-1)$$

在一般室温 23°C 时, 根据上式可算出为 345 米/秒。在作一般计算时, 如没有特别指明空气温度, 则常取室温速度 345 米/秒。声波的传波速度除与温度有关外, 还随媒质而变化, 其传波速度差别很大, 如在钢中为 6300 米/秒, 在 20°C 的水中为 1481 米/秒。

既然频率 f 是每秒振动的次数, 而波长 λ 又是每振动一次声波传播的距离, 那么 $f\lambda$ 应该是声波一秒钟传播的距离, 即声速 c 。写成关系式:

$$f\lambda = c \quad (1-2)$$

可见频率 f 与波长 λ 成反比关系, 即频率越高波长越短。频率的倒数 $1/f = T$ 称为振动的周期。

例 1 试计算频率 100 赫和 8000 赫声音的波长和波长 69 厘米的声音频率。

既然无规定温度, 那么可以按照一般常温声速 $c = 345$ 米/秒计算, 从 (1-2) 式中, 可以很容易算出 100 赫和 8000 赫声音的波长依次为

$$\lambda_{100} = \frac{c}{f} = \frac{345}{100} = 3.45 \text{ 米}$$

$$\lambda_{8000} = \frac{c}{f} = \frac{345}{8000} = 0.043 \text{ 米} = 4.3 \text{ 厘米}$$

波长 69 厘米的声音频率则为

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{345}{0.69} = 500 \text{ 赫}$$

正常人的听觉一般能听到的声音从频率20赫到20000赫，最低到最高达1000倍，适应范围很广。但是许多材料对声波有效吸收和隔声等的频率特性适应较窄，因此声音的这一广泛的频率变化范围，也就给我们对噪声的控制带来很大麻烦。

图 1.1 的声压变化和距离的关系，如果任何时刻都是一正弦曲线，那么这一声音是单一频率的纯音。如音叉和少数乐器等发生的声音属于这种纯音。但一般声音，都是由许多频率组成的复合声。声音不同，其组成的频率和能量的分布也不相同。正因如此，才能区别各色各样的声音。声音的这些组成频率和能量分布的关系，称为这一声音的频谱，不同的声音具有不同的频谱。

三、声波的反射、衍射、透射和声源的指向性

当声波在前进路程中，遇有障碍物时就会发生反射和衍射。如果声波波长比障碍物大得多，从障碍物反射回来的声

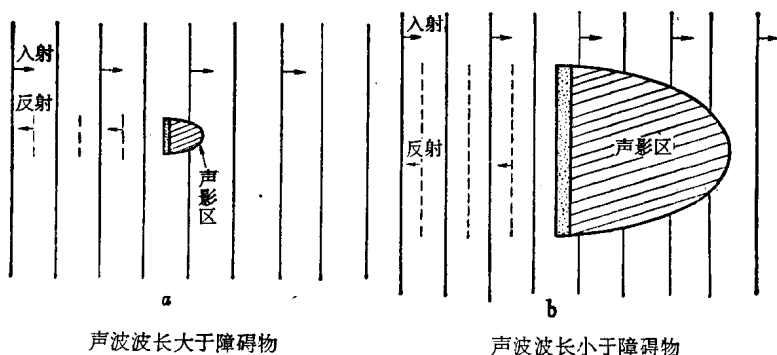


图 1.2 平面声波的衍射

波很少,大部分声波绕过障碍物,距离障碍物稍远的地方就好像没有障碍物一样地传播,见图 1.2a 所示。当波长比障碍物小时,反射波增加,在障碍物后面形成一声影区,这一声影区随着波长缩短而扩大,如图 1.2b 所示,当障碍物是一平面墙壁,且比声波波长大得多时,入射在壁面上的绝大部分声波象光波入射在平面镜上一样被反射回来,见图 1.3 所示。入射角等于反射角,即 $\theta_i = \theta_r$ 。

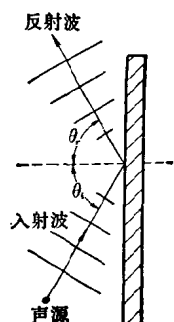


图 1.3 声波的反射

如果在很大的壁面上开一孔洞,声波除碰到壁面反射外,还有部分声波从孔洞穿透过去,这一穿透现象也和上面衍射一样,与孔洞尺寸对入射声波波长之比有关。图 1.4a 是孔洞尺寸比波长小得多的情况,穿透过的声波在壁面另一侧形成半球面波形而传播。当孔洞尺寸远大于波长时,穿透孔洞的声波将仍保持原来波形继续前进,见图 1.4b 所示。

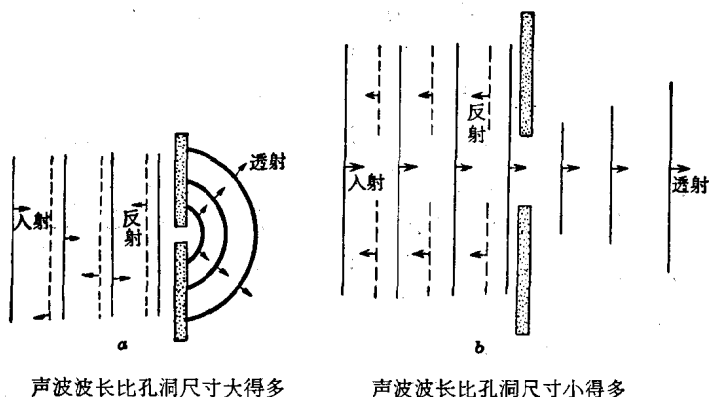


图 1.4 声波通过孔洞的透射

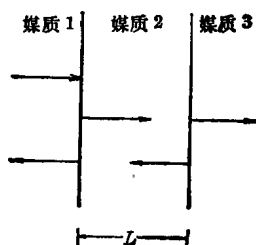


图 1.5 声波通过三层媒质的透射

平面声波在无限大的均匀媒质中自由传播时，媒质对声波辐射的声阻抗率，称为该媒质特性声阻 ρc 。 ρ 是媒质的密度， c 是声波在该媒质中的速度。当声波传播到两层 ρc 不相同的媒质界面上时，将发生反射和透射。两媒质的特性声阻相差越大，在界面上反射越强，透射越弱。

图 1.5 是三层不同媒质的界面上声波反射和透射的情况。密实的隔墙，它的 ρc 比它两边空气的特性声阻 ρc 大得多，在两部分界面上均有较大的反射，因而透射很少，可以达到一定的隔声效果。由此可以推知，声波通过相邻媒质 ρc 相差很大的多层媒质，而且各层媒质有相当厚度（即两相邻界面的距离 L ），这一声波经过各界面层层的大量反射，透射过去的声能便大为减少，从而可以达到很好的隔声效果。

声源发射的声波，在各方向上的声压分布并不一定相同，这种随方向分布的不均匀性，称为声源的指向性。这一指向性也与声源的尺寸以及波长有关，当声源尺寸远大于声波波长时，声波发散较小，大部分声波集中在正前方轴线方向，以声束形式发射。当声源尺寸比声波波长小得多时，则声源近似为点声源，声波以声源为中心点，以近似球面波形式向各方向均匀发射，如图 1.6 所示。图 1.6 中 b 的分贝是衡量声音大小的单位，见本章五（声压级和声功率级）。从声源到曲线上某点的直线的长度相当于该点方向上的相对声压（图 1.6 中 a ）或声压级的相对分贝数（图 1.6 中 b ）。由此可见，声波的指向性随着波长缩短而增强，频率越高，即波长越短，指向性越强；

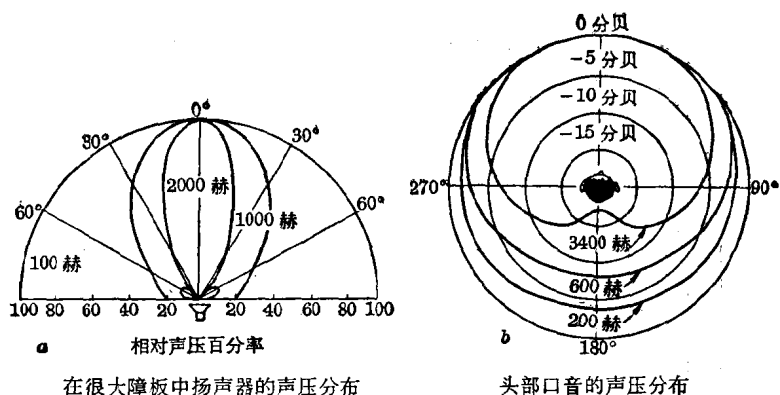


图 1.6 声源的方向性

频率越低,指向性就越差。

四、驻 波

向大的墙面发出一垂直入射的一定频率声音,碰到墙面发生反射,反射回来的声波将与入射声波相互产生干涉现象。如果从离开墙面方向走去,将听出近墙面声音很强,随着距离的增加,逐渐变轻,再又由轻逐渐变响,并依次这样的轻响交替变化着,这种现象称为驻波。形成这种驻波的原理见图 1.7 所示,右边虚线代表入射声波各个瞬时的声压随距离的变化,并在前面已有说明,细线代表反射声的声压,粗线表示入射声和反射声叠加而成的总声压的变化。

图 1.7 假定反射面是一大的刚性壁面,入射平面波自右向左入射。由于壁面是刚性的,入射波声能将被全部反射回来,于是在壁面上声压应为入射声压的两倍,因此反射的声压波形,相当于从刚性壁面背后一个与入射波对称的像(左面虚线)所发出的从左向右前进的波。标在波上的 1、2、3 和 4 表

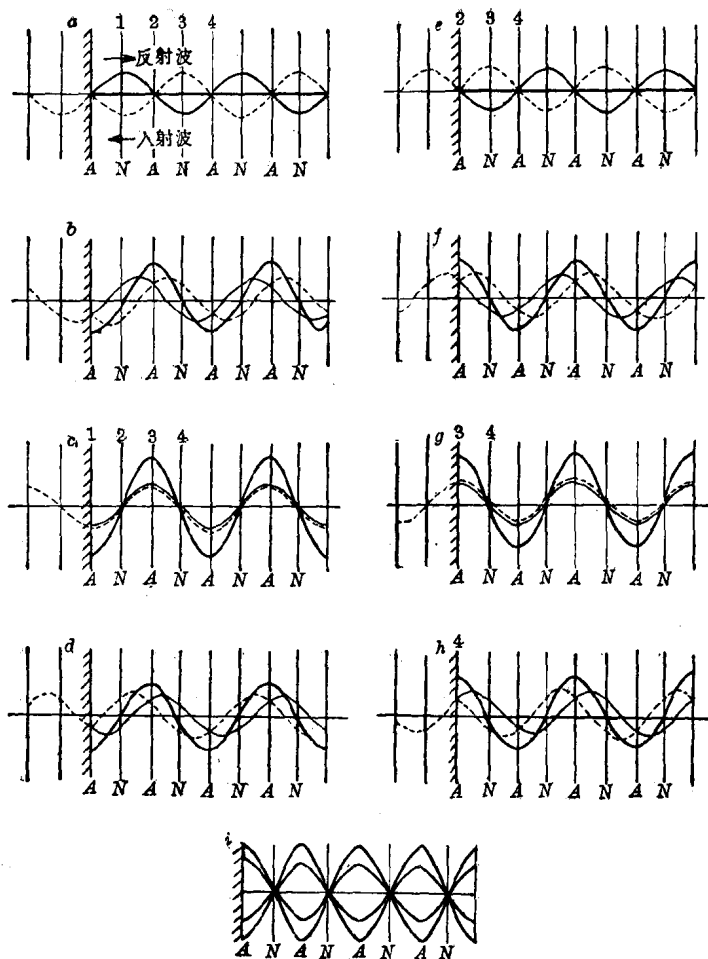


图 1.7 驻波的形成

示两相邻数字之间各为 $\lambda/4$ 的距离。

图 1.7a 的入射波和反射波波峰（声压峰值即正值）与波