

噪声的危害及防治

(增订第三版)

中国建筑工业出版社



71.54
016-3)

噪声的危害及防治

(增订第三版)

方 丹 群

中国建筑工程出版社

本书是介绍噪声防治基本知识的普及读物，共分四章。第一章介绍同噪声有关的声学基本知识；第二章介绍噪声对人的身体、工作、生活等方面以及对建筑物的损害；第三、四两章介绍防治噪声的一般原理、方法和应用实例，内容侧重于工业噪声。

本书此次重印时，将卫生部和国家劳动总局正式颁发的《工业企业噪声卫生标准》（试行草案），以及《工业企业噪声检测规范》（草案）辑入本书，作为附录。

本书可供从事建筑、机械、环境保护、劳动保护、工业卫生等工作的工人、干部和科技人员参考。

噪声的危害及防治

（增订第三版）

方 丹 群

•

中国建筑工业出版社出版（北京西郊百万庄）
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷（北京阜外南礼士路）

•

开本：787×1092毫米1/32 印张：5½ 字数：118 千字

1980年8月增订第三版 1980年6月第三次印刷

印数：31,761—46,440 册 定价：0.40元

统一书号：15040·3205

第一章 声波和噪声	1
一、振动和声波	1
二、声波的传播特性	5
(一) 声波的反射、折射、绕射和干涉	5
(二) 声波的辐射和衰减	6
三、什么是噪声	8
四、噪声的物理量度	9
(一) 噪声的强度	9
(二) 噪声的频谱	14
五、噪声的主观评价	20
六、噪声测量	23
(一) 噪声测量仪器	23
(二) 噪声测量方法	27
第二章 噪声的危害	32
一、噪声可以使人耳聋	32
二、噪声引起多种疾病	37
三、噪声影响正常生活	39
四、噪声降低劳动生产率	42
五、噪声损害建筑物	43
第三章 噪声防治的原理和方法	45
一、概述	45
二、噪声容许标准	47
三、吸声	50
(一) 吸声材料	50
(二) 吸声结构	62

(三) 吸声减噪量.....	71
四、消声器.....	73
(一) 阻性消声器.....	74
(二) 抗性消声器.....	79
(三) 阻抗复合消声器和微穿孔板消声器.....	93
五、隔声.....	97
(一) 隔声构件的传声损失.....	97
(二) 隔声间的实际隔声量.....	105
六、隔振与阻尼.....	111
(一) 隔振.....	111
(二) 阻尼.....	129
七、个人防护.....	131
(一) 耳塞.....	131
(二) 防声棉.....	132
(三) 耳罩.....	132
(四) 帽盔.....	133
第四章 噪声防治实例	134
一、机组噪声防治.....	134
(一) 鼓风机噪声防治.....	134
(二) 球磨机噪声防治.....	139
(三) 通风、空调设备噪声防治.....	142
二、车间和工厂区噪声防治.....	146
(一) 车间噪声防治.....	146
(二) 工厂区噪声防治.....	152
附录：工业企业噪声卫生标准（试行草案）	
工业企业噪声检测规范（草案）	

第一章 声波和噪声

一、振动和声波

我们的周围是充满声音的世界。

街道上，车声隆隆，喇叭尖叫；工厂里，机器的转动声，物件的撞击声响成一片；草原上，风声在呼啸；海洋里，浪涛在怒吼。在我们的地球上，不论是有生命的或者无生命的各个角落里，到处都充满着声音。

正是由于声音，人们才能互相谈话，表达思想感情，广播电台播送的新闻、音乐和革命歌曲，我们才能听得见，我们的生活才有声有色，丰富多采，生气勃勃。如果没有声音，这一切就都是不可想象的了。

声音同人们的生活是这样的紧密相关，那么，声音究竟是什么呢？它是怎样发生又怎样传播的呢？

人们在长期的生产斗争和科学实验的实践中发现，声音是物体机械振动的传播。

你去拨一下琴弦，弦就会左右振动，振动的同时，也就发出了声音。弦不停地振动，声音不断地发生，弦振动的程度减弱了，声音也就变小了，弦停止振动，声音也就没有了。你用鼓槌去敲鼓，就会听到鼓声，这时你用手去摸摸鼓面，就会发觉鼓面在振动，如果你用力压着鼓面使它不能振动，再敲鼓就不响了。你拿大锤去砸钢板，就会听到很大的声响，这时，如果用手去摸钢板，就会因强烈振动而感到手发麻。

我们稍微留心地考查一下所听到的声音，就会发现它们的根源都来自于物体的振动。我们把能够发出声音的物体叫做声源。但声源可不一定非是固体的不成。气体和液体也一样会因振动而发声。比如说，笛子就是靠空气柱的振动发声，汽笛就是靠蒸汽通过汽笛时振动发声的，海水的波浪声，就是液体振动的结果。

声源振动发出声音，如果没有介质传播，我们也无法听到。如果把一个钟放在一个带抽气机的大玻璃瓶里，当瓶里空气没有抽出时，钟的滴答声听得很清楚，当空气逐渐被抽出时，滴答声就逐渐小了，当空气抽到真空时，钟声也就听不见了。在这里，明显地看出来，传播声音的介质是空气。在空气中，某物体发生机械振动，就会使周围的空气发生相应的振动，周围空气的振动，又会使它邻近的空气发生振动，这样，物体的振动以声波的形式被空气传播到四面八方。如果这个振动传到我们的耳朵，会使耳朵里的鼓膜同样发生振动，这种振动，通过我们的听觉神经使我们感觉到它，这就是声音。

声音不仅在空气中可以传播，通过其他物体也能够传播。我们把耳朵贴在铁轨上倾听，可以听到远得看不见的奔驰的火车声。夜间侦察的侦察员，有时把耳朵贴在地上，来探听周围有无敌人移动的脚步声，或者有无骑兵的马蹄声。这说明，声音在钢铁和大地中比在空气中传播得更好。所以，钢铁和大地等物体，也是传播声音的介质。

总之，振动的物体是声音的声源，振动在弹性介质（气体、固体和液体）中，以波的方式进行传播，这个弹性波就叫做声波，一定频率范围的声波作用于人耳就产生了声音的感觉。

我们以图 1 为例，形象地说明一下振动和声波。

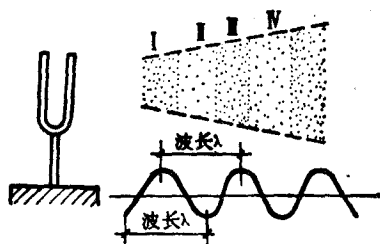


图 1 振动和声波

敲一下图 1 中的音叉，它就会一来一往地摆动。这个有规则的摆动就叫振动。音叉往返一次算作一次振动，每秒振动的次数叫频率，用 f 来表示，单位是赫。是不是所有的振动人耳都听得见？不是。对人来说，只有频率为 $20 \sim 20000$ 赫的振动，才能产生声音的感觉。低于 20 赫的声波叫次声，高于 20000 赫的声音叫超声，次声和超声人耳都听不见。可是动物就不一样，如狗可以听到 38000 赫的超声，老鼠可以听到 16 赫以下的次声。因此，当海洋里发生大风暴，风浪发出的次声登陆了，人听不到，老鼠却听到了，他们预感到生命危险，就会成群结队地逃跑。

如图 1 所示，当音叉先向右边振动时，右边邻近处的空气受到压挤，形成一个密集 I，这个密集 I 的空气又去压挤右边邻近 II 处的空气，使 II 处的空气又趋向于密集。

当音叉又向左边振动时，留给右边一个大空隙，I 处的空气就充满了这个大空隙，突然变稀了，形成一个稀疏。这时 II 处的空气已经成为一个密集，II 处的空气继续向右挤压，使 III 处的空气趋向密集。

当音叉又向右边振动时，I 处的空气又受到压缩而成为

密集，Ⅱ处的空气在压挤Ⅲ处的空气的过程中，自己便成为一个稀疏，把Ⅲ处的空气压挤成一个密集。

这样，由于空气的弹性和惯性，振动的音叉使周围的空气质点时而成为密集，时而成为稀疏，这个密疏的过程，在空气中以声波的方式顺序地从音叉附近的质点传到远处的质点，从扰动的地方以一定速度向各个方向传播。

需要提醒一下，在空气中传播的声波只是这个密集、稀疏的波动形式，空气本身并不传走，它只是在原地振动。这如同水波一样，在水上的飘浮物只是来回振动，并不传走，传走的只是水波的波动形式。

声波在一定介质中传播的速度叫声速，用 c 来表示，单位是米/秒。在常温 (20°C) 和标准大气压下，空气中的声速是 344 米/秒。但声速不是固定不变的，当温度发生变化时，声速也随着发生变化，在 0°C 时，声速 $c = 331.5$ 米/秒，每增加 1°C ，声速增加 0.607 米/秒。在不同介质中，声速也是不一样的。如在水中的声速是 1450 米/秒，钢铁中是 5000 米/秒，在玻璃中是 5000~6000 米/秒，而在橡胶中却只有 30~50 米/秒。

在声波中，两个相邻的密集或两个稀疏之间的距离叫波长，用 λ 来表示，单位是米。

声波波长 λ ，声速 c ，频率 f 是声波的三个基本量，它们之间的关系为

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

在常温下，在空气中，当 $f = 20$ 赫时， $\lambda = 17.2$ 米，当 $f = 20000$ 赫时， $\lambda = 1.72$ 厘米。因此，在常温下，空气中人耳可听声波的波长在 1.72 厘米~17.2 米之间。从公式 (1)

可以看出，声音的频率高，波长就短，频率低，波长就长。

二、声波的传播特性

(一) 声波的反射、折射、绕射和干涉

当声波遇到障碍物时，就象皮球碰在墙上一样，会发生反射。当声波波长比障碍物表面尺寸小时，很容易地就反射回去，在障碍物后面形成一个声影区。高频声波长短，比低频声容易反射得多。在噪声控制中，人们用屏障的方法将高频声反射回声源，就是基于这个原理。

在一个封闭的房子里，声波向四面八方传播，碰到墙、顶棚、地面、家具等就会发生反射现象。反射声的存在，会使原来的声音加强。由于反射声的存在，当声源停止发声后，短时间还能听到声音，这叫做混响声。在噪声控制中，用吸声材料和吸声结构在房屋内表面作饰面就是为了减弱这个因反射而产生的混响声，从而使整个房屋的噪声降低。

声波在传播过程中，遇到不同特性阻抗 ρc 的界面时，如从空气入射到钢板上，除了反射外，还将发生折射现象。当介质存在温度差时，特性阻抗 ρc 也会发生相应的变化，声波亦将发生折射现象。例如，白天，太阳的照射使地面和地面附近空气的温度比上层的高，于是地面附近声速快，而上层声速慢，这样，声音就向上折；夜晚，地面温度下降很快，靠近地面的空气温度下降得也很快，而上层空气温度下降较慢，上层空气温度高，声速快，于是声音就折向地面，因

●特性阻抗是介质的密度 ρ 和该介质中的声速 c 的乘积，单位是瑞利，如：空气的特性阻抗为 $344 \times 1.20 = 413$ 瑞利，钢板的特性阻抗为 $5000 \times 7800 = 390 \times 10^3$ 瑞利。

此，夜晚人们可以清楚地听到很远的声音。

当有风时，亦将发生声音的折射现象。一般地说，因为地面上有障碍物，地面的风速总要比上层空间的小。因此，在顺风时，声音在上层传播得快，向下折射，而在逆风时，声音在地面传播得快，向上折射。这就是顺风说话，老远的就可听见，而逆风说话，人们很不容易听见的道理。

声波在传播过程中，遇到障碍物或孔洞时，当波长 λ 比障碍物或孔洞大得多时，会发生绕射现象。低频声波波长达十来米，所以很容易绕射过去。如果墙上有孔洞，很容易发生低频的“漏声”。

在建筑规划和设计时，应当注意到声波的反射、折射、绕射现象，以达到理想的声学效果。

声波在传播时，还可以互相叠加，这叫做声波的干涉。当两个频率相同的声波以同样相位到达某一点时，两个声波加强，合成振幅为二波振幅之和，当二波相位相反，则相互减弱或完全抵消，合成振幅为二波振幅之差。

(二) 声波的辐射和衰减

当声源的尺寸与波长比较起来很小的时候，声波成球面波的形状从声源较均匀地向各个方向辐射，如图2a，没有方向性，这种声源叫做点声源。当声源的尺寸比波长大时，辐射出的声波以略微发散的声束传播着。波长与声源的尺寸相较越小，声束的发散角越小，其方向性越强。当声波波长与声源尺寸相比非常小时，声波几乎以不发散的声束成平面波的形状从声源向外传播，如图2b。我们知道，低频声波波长长、高频声波波长短。因此，在某一声源的背面，与正面相比，听起来低音相差不大，而高音差得很远。

在大多数实际情况下，可以近似地认为声波在声源附近

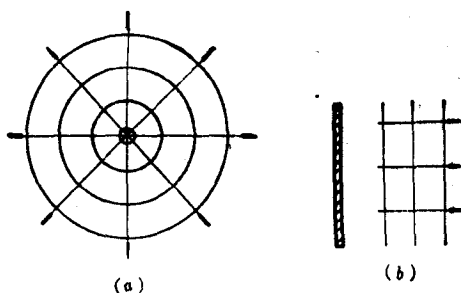


图2 声波的辐射

a—球面波；b—平面波

具有球面波形状。球面波的强度与离开声源距离的平方成反比而降低，即当离声源的距离增为2、3、4、5倍时，声音的强度将相应地减为 $\frac{1}{4}$ 、 $\frac{1}{9}$ 、 $\frac{1}{16}$ 、 $\frac{1}{25}$ 。这是因为声源每秒钟发出的能量是一个恒量，离开声源的距离越大，能量的分布面也越大，因此，通过单位面积的能量就越小。这也就是离声源距离越近，声音越强，离声源的距离越远，声音越弱的原因。这叫做声波的距离衰减。

在距离声源很远的地方，以及在通道和管子中，声波一般成平面波的形状传播。

另外，声波在远距离中传播时，总有一部分能量被空气吸收，由于空气吸收而引起的声衰减与声波的频率、空气的温度、湿度有关。高频声波比低频声波衰减得快，因此，我们听到远来的飞机声音主要是低频成分。但随着飞机距我们的距离越近，高频成分也就逐渐增加了。

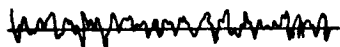
如果空间中放有吸声材料，或安放消声器，声波将有大幅度的衰减。

三、什么是噪声

人们的日常生活是离不开声音的。因为有声音，人们才能交谈和开会，因为有声音，人们才能听广播和唱歌，对于人们的社会实践活动来说，声音是非常重要的，不可缺少的。但任何事物都是一分为二的，当人们睡觉或需要安静时，声音就成为不需要的了；当声音达到一定的强度时，对人们的身体健康还有危害。这种声音就是噪声。

噪声的定义是什么？它与乐音有什么区别呢？

从物理学观点讲，噪声就是各种不同频率和声强的声音的无规律的杂乱组合，如汽车的轰隆声，机器的尖叫声等等，它的波形图是没有规则的非周期性的曲线，如图 3a 所示；乐音是有规律的振动产生的，它的波形图是周期性的曲线，如图 3b 所示。钢琴、胡琴、提琴、琵琶等弦乐器，笛、箫、黑管等管乐器发出的就是乐音。



(a)



(b)

图 3 噪声和乐音的波形图

a—噪声，b—乐音

从生理学观点讲，凡是使人烦躁的、讨厌的、不需要的声音都叫噪声。从这个意义上来说，噪声和乐音就很难区分了。如：一个人演奏钢琴，理应属于乐音，但对正在睡觉或思考问题的邻居来说，就成了讨厌的噪声。

噪声的起源很多，就工业噪声而言，主要有空气动力性噪声、机械性噪声、电磁性噪声三种。

空气动力性噪声是由于气体振动产生的，当气体中有了涡流，或发生了压力突变等，引起气体的扰动，就产生了空气动力性噪声。通风机、鼓风机、空气压缩机、燃汽轮机、喷射器、喷气飞机、火箭以及锅炉排气放空所产生的噪声就属于此类。

机械性噪声是由于固体振动而产生的。在撞击、摩擦、交变的机械应力作用下，机械的金属板、轴承、齿轮等发生振动，就产生了机械性噪声。如织布机、球磨机、碎石机、电锯、车床等产生的噪声就属于此类。

电磁性噪声是由于电机的空气隙中交变力相互作用而产生的。如电机定转子的吸力、电流和磁场的相互作用，磁致伸缩引起的铁心振动等等。发电机、变压器产生的噪声就属于此类。

噪声作为声波的一种，它具有声波的一切特性。

四、噪声的物理量度

(一) 噪声的强度

我们听起来，有的声音大，有的声音小，那么究竟用什么尺度来衡量声音的大小呢？

原来，声波是疏密波，它使空气时而变密，时而变稀。

空气变密，压强就增高；空气变稀，压强就降低。这样，由于声波的存在，使大气压产生迅速的起伏。这个起伏部分称为声压，声压越大，声音越强，声压越小，声音越弱，人们就用声压作为衡量声音大小的尺子，通常用 p 来表示，其单位是牛顿/米²。或者用微巴亦可，1微巴=0.1牛顿/米²。

正常人耳刚刚能听到的声音的声压（称听阈声压）是 2×10^{-5} 牛顿/米²，普通谈话声是 $2 \times 10^{-3} \sim 7 \times 10^{-3}$ 牛顿/米²，大街上载重汽车、摩托车的声压为 $0.2 \sim 1$ 牛顿/米²，很强的噪声，如凿岩机、球磨机的声压为20牛顿/米²，此声压使人耳产生疼痛的感觉（称痛阈声压）。当声压达数百牛顿/米²以上时，可引起鼓膜损伤，耳朵出血。

但是，如上所述，从听阈到痛阈，声压的绝对值相差一百万倍。用声压的绝对值来表示声音的强弱是很不方便的。

为了方便起见，人们便引出一个成倍比关系的对数量——级，来表示声音的大小，这就是声压级。这正如风按级分、地震按级算一样。

声压级的单位是分贝（db），它的数学表达式为

$$L_p = 20 \lg \frac{p}{p_0} \quad (2)$$

式中 L_p ——声压级，分贝；

p ——声压，牛顿/米²；

p_0 ——基准声压，为 2×10^{-5} 牛顿/米²，是1000赫的听阈声压。

把前面所说的听阈声压，普通谈话声压，大街上载重汽车、摩托车声压，以及凿岩机、球磨机噪声的声压值，分别代入公式（2），可求得它们的声压级分别为0分贝，60~70分贝，80~90分贝，120分贝。可以看出，引出声压级的

概念后，就把声压的数百万倍的变化范围，改变为0~120分贝的变化范围。即使声压级高达数百牛顿/米²的喷气飞机的强烈噪声，也不过140~150分贝。

声压级的单位是分贝。分贝是什么呢？它是一个相对单位，没有量纲，它来源于电讯工程，在电讯工程中，常用两个功率比的常用对数来表示放大器的增益，这样得出的单位叫贝尔。分贝是贝尔的十分之一，因此分贝就是十乘以两个功率比值的常用对数的单位。在声学中，用某声压和基准声压之比取常用对数乘以20就得到该声压的分贝值。

从公式（2）可以看出，每变化20分贝，就相当于声压值变化10倍，每变化40分贝，就相当于声压值变化100倍，每变化60分贝，就相当于声压值变化1000倍。因此，使声音增加或降低20分贝或40分贝，是个相当大的变化。

分贝既然是对数单位，那么分贝的计算就不能按一般的自然数运算，它必须按照对数法则进行运算，即按照能量迭加规律进行。

如：分贝的加法，一个100分贝和一个98分贝的声音相加应该等于多少分贝呢？决不能等于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4上找出与2分贝相对应的增值 $\Delta L = 2.1$ 分贝，然后加在分贝数高的 L_1 上，得到 $L_{\Sigma} = 100 + 2.1 = 102.1$ 分贝，取整数，为102分贝。

如果是几个分贝数相加，亦是依次顺序进行。

分贝的平均亦不能按照自然数平均，而应按照上述分贝的求和方法，把 n 个声音的分贝数相加，再减去 $10 \lg n$ 。

如105、103、100、98四个分贝数平均，则在图4上查得105分贝和103分贝的和为107.1分贝，107.1分贝和100分

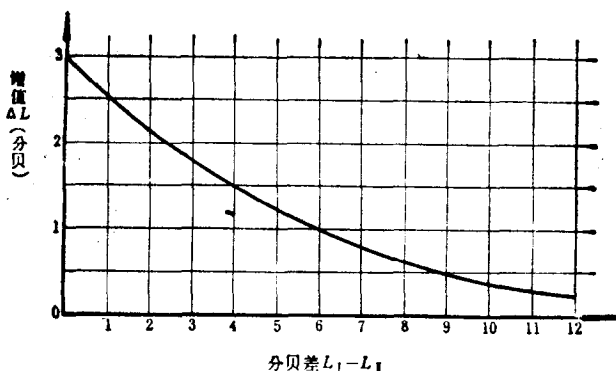


图4 分贝和的增值图

贝的和为107.9分贝, 107.9分贝和98分贝的和为108.3分贝, 最后再减去 $10\lg 4 = 6$, $108.3 - 6 = 102.3$ 分贝, 四舍五入, 得到平均分贝数为102分贝。

声波作为一种波动形式, 当然具有一定的能量, 人们也常常用能量的大小来表征声辐射的强弱, 这就引出了声强和声功率两个物理量。

声强是在声传播的方向上, 单位时间内通过单位面积的声能量。通常用 I 来表示, 单位是瓦/米²。

声功率是声源在单位时间内辐射出来的总声能量, 通常用 W 来表示, 单位是瓦。

与声压一样, 声强和声功率也用级来表示, 这就是声强级和声功率级, 其单位也是分贝, 它们的数学表达式为:

$$\text{声强级} \quad L_w = 10\lg \frac{I}{I_0} \quad (3)$$

$I_0 = 10^{-12}$ 瓦/米², 基准声强, 听阈值。

$$\text{声功率级} \quad L_I = 10\lg \frac{W}{W_0} \quad (4)$$