

工作场所噪声 检测与评价

陈青松 主编

GONGZUO CHANGSUO ZAOSHENG
JIANCE YU PINGJIA



中山大学出版社
SUN YAT-SEN UNIVERSITY PRESS

工作场所噪声 检测与评价

陈青松 主编

GONGZUO CHANGSUO ZAOSHENG
JIANCE YUPINGJIA



中山大学出版社
SUN YAT-SEN UNIVERSITY PRESS

· 广州 ·

版权所有 翻印必究

图书在版编目 (CIP) 数据

工作场所噪声检测与评价/陈青松主编. —广州: 中山大学出版社, 2015. 10
ISBN 978 - 7 - 306 - 05283 - 4

I. ①工… II. ①陈… III. ①环境噪声—噪声测量 ②职业危害—个体防护
IV. ①TB53 ②R135

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 133085 号

出 版 人: 徐 劲

策划编辑: 曾育林

责任编辑: 曾育林

封面设计: 曾 斌

责任校对: 曹丽云

责任技编: 何雅涛

出版发行: 中山大学出版社

电 话: 编辑部 020 - 84111996, 84113349, 84111997, 84110779

发行部 020 - 84111998, 84111981, 84111160

地 址: 广州市新港西路 135 号

邮 编: 510275 传 真: 020 - 84036565

网 址: <http://www.zsup.com.cn> E-mail: zdcbs@mail.sysu.edu.cn

印 刷 者: 佛山市浩文彩色印刷有限公司

规 格: 787mm × 1092mm 1/16 14.5 印张 340 千字

版次印次: 2015 年 10 月第 1 版 2015 年 10 月第 1 次印刷

定 价: 58.00 元

如发现本书因印装质量影响阅读, 请与出版社发行部联系调换

编 委 会

主编	陈青松				
主审	黄汉林				
编者	徐国勇	肖 斌	张丹英	晏 华	郎 丽
	王 怡	林瀚生	严茂胜	陈贵平	
审校	李雪谦	黄建勋	杨爱初	苏世标	闫雪华

前 言

工作场所噪声称为生产性噪声或工业噪声，是在生产过程中产生的，其频率和强度没有规律，听起来使人感到厌烦的声音。工作场所噪声通常具备广泛存在、强度高、中高频音所占比例大、持续暴露时间长以及与其他有害因素联合作用等特点。工作场所噪声是影响作业工人身体健康最主要的职业性有害因素之一。

在实际工作中，由于技术和经济条件的限制，工作场所噪声往往难以从工程上进行完全的控制，特别是对于已经建成的装置和设备。如何正确识别、检测和评价工作场所的噪声危害，从而在防护和管理上采取科学合理的三级防控措施，是目前防控噪声危害的关键，也是职业卫生工作者的责任和使命。但目前我国在该领域的技术水平落后，特别是缺乏既符合国家标准又具有良好操作性和科学性的规范。笔者在连续3年主办的“工作场所噪声检测与评价实验室间比对”活动中发现，职业卫生技术服务机构的技术人员普遍存在对噪声的基本知识掌握不足、对标准的解读不统一以及缺乏职业卫生的思维和方式等问题，以至于实际工作中出现危害识别不到位、布点不合理、检测仪器使用不当、检测方法错误、检测结果分析不当、质量控制不力、检测报告缺乏针对性的建议和措施等，最终整个检测流于形式，既不能解决企业噪声防控的实际问题，也无法保护工人健康。

广东省职业病防治院物理因素监测所一直致力于工作场所噪声检测、评价及质量控制方法等方面的研究，受广东省职业病防治重点实验室资助(2012A061400007)，为满足目前职业卫生工作者的需求而编写本书。本书共分为七章，涉及工作场所噪声检测评价及相关防控技术等多方面的内容。第一章简要介绍了声学基础知识和声的评价指标；第二章介绍了噪声的分类以及不同行业工作场所噪声的危害现状；第三章简要介绍了噪声对人体健康的危害和噪声所致的职业病；第四章全面介绍了噪声检测、评价的工作程序和方法，以及噪声相关的检测设备；第五章详细介绍了工作场所噪声检测评价的质量控制新技术；第六章从卫生工程、个体防护、管理控制措施方面介绍了噪声危害的防控措施；第七章为实例分析，笔者用自身工作中的2个实例，从最初的现场情况调查、检测方案制订、现场检测、评价报告和建议详

细展示了噪声检测和评价的整个工作流程，是对前述各章知识的实际运用，希望给职业卫生工作者提供一个很好的范本。

本书主要面向广大职业卫生技术服务机构噪声检测和评价相关技术人员及用人单位职业健康安全管理人員。对职业健康监护和职业病诊断等技术人员以及学生和科研人员均有很好的参考价值。

本书主要是由笔者及其团队在借鉴前人经验的基础上，并在长期工作中逐步归纳总结形成。由于参加编写人员的知识面及水平有限，某些专业技术理论和实践可能存在一定的不足，希望读者多提宝贵意见，以便不断修正和提高。我们在此表示衷心的感谢！



2015 年 8 月 5 日

目 录

第一章 声学基础知识	(1)
第一节 声及声音的产生	(1)
第二节 声音的传播	(1)
一、声波的基本物理参数	(1)
二、声波的基本类型	(2)
三、声波的传播与衰减特性	(3)
第三节 声音的物理量度	(10)
一、基本物理量度	(10)
二、声级	(11)
三、频谱	(15)
四、噪声的主观评价量	(19)
第二章 工业噪声的分布	(30)
第一节 工业噪声	(30)
第二节 不同行业的噪声分布	(31)
一、发电企业	(31)
二、采矿业	(50)
三、炼钢业	(52)
四、烟草制品业	(56)
五、汽车制造业	(61)
六、集装箱码头	(66)
七、石化行业	(69)
八、制鞋业	(73)
九、纺织业	(79)
十、造纸业	(82)
十一、通用设备制造	(85)
十二、日用化学产品制造业	(89)
十三、机械加工行业	(90)



第三章 噪声对人体健康的危害	(92)
第一节 听觉的产生	(92)
第二节 噪声对听力的损害	(93)
一、噪声对听力的损害的类型	(93)
二、噪声对听力损害的影响因素	(94)
三、噪声引起听力损伤的机制	(96)
第三节 噪声对非听觉系统的影响	(97)
一、噪声对神经系统的危害	(98)
二、噪声对精神行为的影响	(98)
三、噪声对心血管系统的影响	(99)
四、噪声对内分泌系统的影响	(99)
五、噪声对消化系统的影响	(99)
六、噪声对生殖系统、妊娠结局及子代的影响	(100)
七、噪声对呼吸系统的影响	(100)
八、噪声对机体的其他影响效应	(101)
第四节 噪声所致职业病	(101)
一、职业性噪声聋	(101)
二、职业性爆震聋	(104)
三、噪声性耳聋和爆震聋的预防和治疗	(106)
四、伤残等级与劳动能力丧失程度判定	(106)
第五节 职业性噪声聋诊断实例	(106)
第四章 噪声的检测与评价	(109)
第一节 噪声检测评价工作程序	(109)
第二节 工作场所噪声的检测	(110)
一、工作场所噪声检测的类别	(110)
二、工作场所噪声检测的一般要求	(110)
三、工作场所噪声检测的步骤	(111)
第三节 噪声检测结果的评价	(114)
一、噪声评价相关物理量	(115)
二、噪声评价相关标准及应用	(117)
第四节 常用噪声检测仪器	(128)
一、声级计	(128)
二、工作场所噪声测量仪器介绍	(133)
第五章 工作场所噪声检测的质量控制	(143)
一、实验室管理	(143)

二、人员要求	(143)
三、仪器管理	(144)
四、检测过程中的质量控制	(145)
五、检测条件	(146)
六、受检者依从性对个体噪声暴露检测时的影响	(147)
七、原始记录和检测报告审核	(149)
八、实验室间比对	(149)
九、测量误差及其分类	(153)

第六章 噪声危害的防控措施	(155)
第一节 噪声控制工作程序	(155)
第二节 卫生工程措施	(157)
一、总体设计中的噪声控制	(157)
二、常用噪声设备	(158)
三、噪声控制措施	(159)
第三节 个体防护措施	(163)
一、常用个体防护用品	(163)
二、护听器的选择和防护效果的评价	(165)
三、个体防护用品使用注意事项	(169)
第四节 噪声的职业卫生管理控制措施	(171)
一、听力保护计划的建立	(171)
二、听力保护计划的实施	(174)

第七章 实例分析	(180)
实例一	(180)
一、检测背景	(180)
二、检测目的	(180)
三、检测评价依据	(180)
四、噪声危害的分布调查	(181)
五、检测方案	(182)
六、检测条件	(185)
七、检测结果和评价	(185)
八、检测评价结论	(186)
九、建议	(187)
实例二	(188)
一、检测背景	(188)
二、检测评价目的	(188)



三、检测评价依据	(188)
四、委托项目基本情况	(188)
五、噪声的分布调查	(193)
六、检测方案和检测条件	(194)
七、噪声检测结果和评价	(197)
八、噪声检测评价结论	(203)
九、建议	(203)
 附 录	(206)
附表1 委托单位职业卫生调查表	(206)
附表2 噪声强度现场检测原始记录表	(211)
附表3 个体噪声检测原始记录表	(212)
附表4 噪声频谱现场检测原始记录表	(213)
附表5 噪声测量仪器期间核查（标准源）原始记录表	(214)
附表6 声校准器期间核查（传递比较法）原始记录表	(215)
附表7 声校准器期间核查（仪器比对法）原始记录表	(216)
 参考文献	(217)

第一章 声学基础知识

第一节 声及声音的产生

“声”，古代繁体写为“聲”，从耳，殸（qìng）声，“殸”是古乐器“磬”的本字，“耳”表示听，很形象地展示了声音的客观性和主观性。早在远古时代，我们的祖先对声就有较多的认识，东汉许慎在《说文》中解释“声，音也”。如今，多数学者认为声音（sound）是物体受到振动后，振动能在弹性介质中以波的形式向外传播，到达人耳引起的音响感觉。如讲话的声音来源于喉内声带的振动，扬声器发声来源于纸盆的振动，机械性噪声来源于机器部件的振动。我们将这些能发出声音的物体称为声源。声音是对声波的主观感觉，其产生的前提是振动体存在、有传播媒介且振动体在运动。

第二节 声音的传播

声音靠声波进行传播。声波（sound wave）是物质波，是在弹性介质（气体、液体和固体）中传播的压力、应力、质点运动等的一种或多种变化。以敲锣为例，当人们用锣锤敲击锣面时，锣面振动，即向外运动，使靠近锣面的空气介质受压缩，空气介质的质点密集，空气密度加大；当锣面向内运动时，这部分空气介质体积增大，从而使空气介质的质点变稀，空气密度减小。锣面这样往复运动，使靠近锣面附近的空气时密时疏，带动邻近空气的质点由近及远地依次推动起来，这一密一疏的空气层就形成了传播的声波，声波作用于人耳鼓膜使之振动，刺激内耳的听觉神经，就产生了声音的感觉。

一、声波的基本物理参数

声波可以用周期、波长、频率及声速等来表述其物理特性。

周期是声波运动一周所需的时间，或一个完整的周期波通过波线上某点所需的时间，记作 T ，单位为秒（s）。声音的产生和传播见图 1-1。

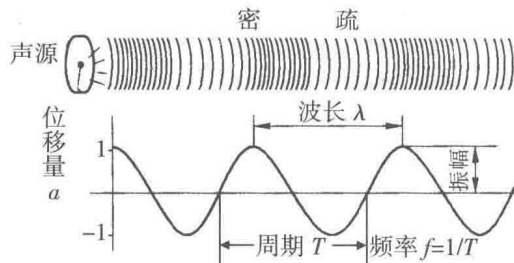


图 1-1 声音的产生和传播

波长是声波在一个周期中传播的距离，或同一波线上两个相邻的周期差为 2π 的质点之间的距离，记作 λ ，单位为米（m）。对于纵波，波长等于两个相邻的密集部分（压缩区）或稀疏部分（膨胀区）中心之间的距离。

频率是单位时间内（1 s），声波波动推进的距离中所包含的完整波长的数目，或单位时间内通过波线上某点的完整波的数目，记作 f ， $f = 1/T$ ，单位为赫兹（Hz）， $1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$ 。人耳对声音的频率有选择性，能听到频率范围 $20 \sim 20\,000 \text{ Hz}$ 内的声音（波长 $\lambda = 17.000 \sim 0.017 \text{ m}$ ）。频率小于 20 Hz 的声音为次声，频率大于 $20\,000 \text{ Hz}$ 的声音为超声。次声和超声作用到人的听觉器官时不引起声音的感觉，所以一般人听不到。

声速是声振动在弹性介质中的传播速度（波速度），或等位相面（波阵面）传播的速度（相速度），记作 c ，单位为米每秒（m/s）。声速取决于介质的弹性和密度，例如， 20°C 时，空气中， $c = 344 \text{ m/s}$ ；水中， $c = 1\,483 \text{ m/s}$ ；混凝土中， $c = 3\,100 \text{ m/s}$ ；钢材中， $c = 5\,000 \text{ m/s}$ 。在空气中声速随温度 t （ $^\circ\text{C}$ ）的上升而增加，关系式为 $c = 331.45 + 0.61 t$ 。常温下，工程上实际计算时常取 $c = 340 \text{ m/s}$ 。

频率 f 、波长 λ 和声速 c 三者之间的关系是如式（1-1）或式（1-2）所示：

$$\lambda = c/f = cT \quad \text{式（1-1）}$$

$$\text{或} \quad c = \lambda f = \lambda/T \quad \text{式（1-2）}$$

二、声波的基本类型

声波在三维空间中传播，为了形象地描述声波的传播情况，常用声射线（声线）和声的波阵面这类几何要素来表达声波的传播。声线是自声源出发表示声波传播方向和传播途径的带有箭头的线，而不考虑声的波动性质。波阵面是声波在传播过程中，所有相位相同的媒介质点形成的面。波阵面总是与传播方向垂直，即声线与波阵面垂直。见图 1-2。

（一）平面声波

波阵面为平面的声波称为平面声波。各种远离声源的声波往往可以近似地看成平面波。见图 1-2。

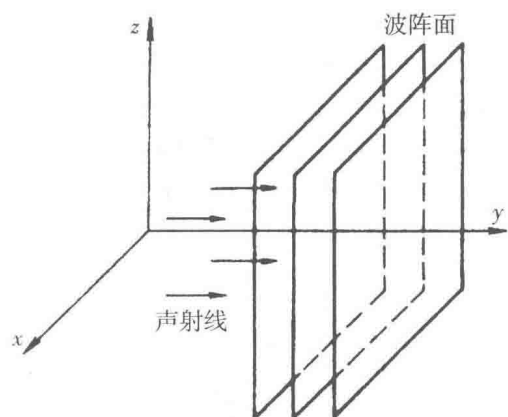


图 1-2 平面声波传播示意图

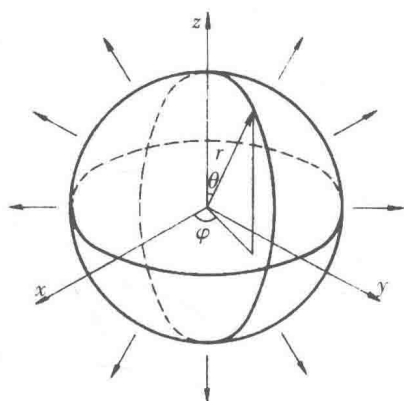


图 1-3 球面声波传播示意图

(二) 球面声波

声源的几何尺寸比声波波长小得多，或者测量点离声源相当远时（离声源的距离比声源的尺寸大 5 ~ 10 倍以上），则可将该声源看成一个点，称为点声源。在各向同性的均匀媒质中，从一个表面同步胀缩的点声源发出的声波，其波阵面为一个以声源点为球心的球面称为球面声波。见图 1-3。

(三) 柱面声波

波阵面是同轴圆柱面的声波称为柱面声波，其轴线 z 可视为线声源。柱面声波见图 1-4。在理想媒质中，声压近似地与离声源的距离 r 的平方根成反比。

平面波、球面波和柱面波都是理想型的声波传播基本模式，实际情况可能与其不同，在具体应用时可根据实际情况灵活地运用。例如一列火车，常可被看作近似于线声源，当声波传播距离小于该线声源的长度时，可以认为它遵循柱面波的传播规律；当声波传播距离远大于该线声源的长度时，则在某个方向上的传播，又可当作球面波的一部分来考虑；如果考虑在远小于传播距离的某个小区域内的传播问题，则又可简化为平面波的传播。

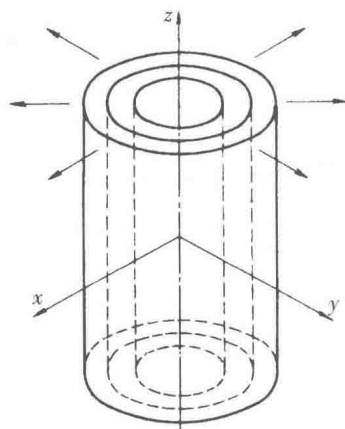


图 1-4 柱面声波传播示意图

三、声波的传播与衰减特性

(一) 声场

声波的传播范围相当广泛，声波的影响和波及范围称为声场。声场可分为自由声场、扩散声场和半自由声场（或称半扩散声场）。



自由声场是在均匀、各向同性的介质中，边界影响可以不计的声波传播场所。自由声场是一个理想的声场，在自由声场中，声波在任何方向传播都没有反射，如室外开阔的旷野、消声室等均属于自由声场。

扩散声场是空间内各点的声能密度相等，从各个方向到达某点的声强相等，到达某点的各波束之间的相位是无规的声场。扩散声场也是一种理想声场，声波在扩散声场里接近全反射。

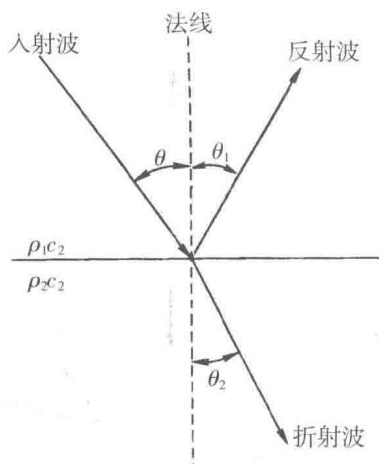
在大多数场合下，声音传播是半自由声场，即介于自由和扩散之间的声场，如工矿企业、住宅等。

(二) 声波的反射、折射、散射、绕射和干涉

声波在实际的传播过程中，常会从一种介质到另外一种介质或穿过介质不均匀的不同部分，这时声波往往会产生反射、折射、散射、绕射和干涉，其传播方向和声能随之发生改变。

1. 声波的反射和折射

当声波从介质 1 中入射到另一种介质 2 时，入射声波一部分在分界面改变方向后在介质 2 中继续传播形成折射波，一部分声波反射回介质 1 中形成反射波。前者称为声波的折射现象，后者称为声波的反射现象，见图 1-5。入射波与界面法线的夹角为 θ ，称为入射角；界面上反射波线与界面法线的夹角 θ_1 为反射角；透过介质 2 的折射波线与界面法线的夹角 θ_2 为折射角， $\theta > \theta_1$ 。入射、反射与折射波的方向满足式 (1-3) 关系：



ρ_1, ρ_2 ——声波在介质 1 和介质 2 中的密度； ρc ——声阻抗率（特性阻抗）

图 1-5 声波的入射、反射、折射

$$\sin \theta / c = \sin \theta_1 / c_1 = \sin \theta_2 / c_2 \quad \text{式 (1-3)}$$

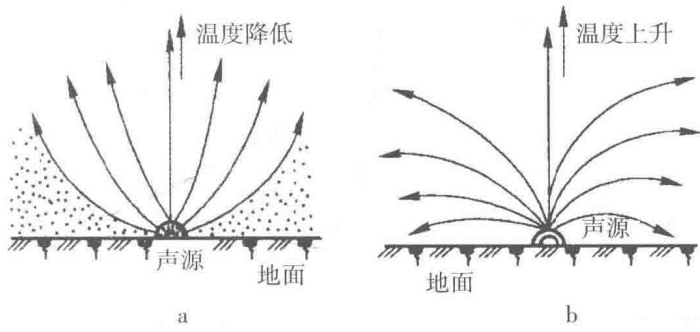
式中： c_1 为声波在介质 1 中的声速；

c_2 为声波在介质 2 中的声速。

图 1-5 中，当两种介质的声阻抗率接近时，即 $\rho_1 c_1 = \rho_2 c_2$ ，声波几乎全部由第一种

介质进入第二种介质，全部透射过去；当第二种介质声阻抗率远远大于第一种介质声阻抗率时，即 $\rho_2 c_2 > \rho_1 c_1$ 时，声波大部分会被反射回去，投射到第二种介质的声波能量很少。在噪声控制工程中，经常利用不同材料所具有的不同阻抗特性，使声波在不同材料的界面上产生反射，从而达到控制噪声传播的目的。如用两种或多种不同材料粘结成多层隔声板，在各层间形成分界面，各界面形成反射，从而阻止声音的传播。因此，对于相同厚度的隔声板，多层隔声板比单层隔声板隔声效果好。

声波除了在不同介质的界面上能产生折射现象外，在同一种介质中，如果各点处声速不同，也会产生折射现象。例如，大气中的温度和风速往往能改变声速，从而使声波产生折射。白天地面吸收太阳的热能，使靠近地面的空气层温度升高，自地面向上温度逐渐降低，声速也逐渐变小，声波传播的声线折向法线，声波的传播方向向上弯曲，见图1-6a。反之，晚上地面温度下降快，地面向上温度逐渐升高，声速也逐渐变快，声线背离法线，向地面弯曲，见图1-6b。这就是声音在晚上比白天传得更远的原因。另外，声波顺风传播时，由于地面对空气运动的摩擦阻力，风速随着离开地面的高度而增大，也就是说声速随高度增加而增加，所以声线向下弯曲；反之，逆风传播时，声线向上弯曲，并有声影区，见图1-7。这说明声音顺风比逆风传播得远。



a——白天传播声波；b——晚上传播声波
图1-6 温度对声波传播的影响

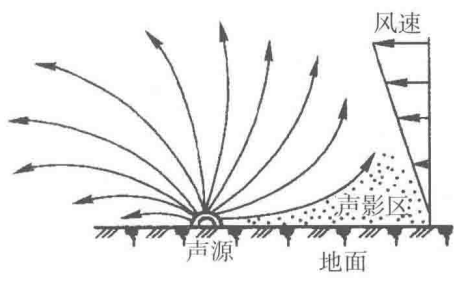


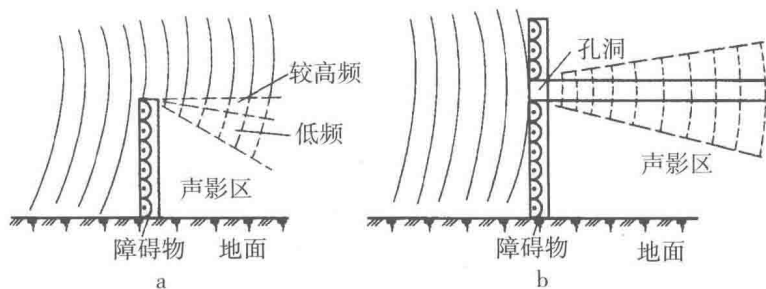
图1-7 风速对声波传播的影响

2. 声波的散射、绕射和干涉

声波传播过程中，遇到的障碍物表面较粗糙或者障碍物的大小与波长差不多，则当声波入射时，就产生各个方向的反射，这种现象称为散射。散射情况较复杂，而且频率稍有变化，散射波图有较大的改变。



声波传播过程中,遇到障碍物或孔洞时,声波会产生绕射现象,即传播方向发生改变。绕射现象与声波的频率、波长及障碍物的尺寸有关。当声波频率低、波长较长、障碍物尺寸比波长小得多时,声波将绕过障碍物继续向前传播。如果障碍物上有小孔洞,声波仍能透过小孔扩散向前传播,图 1-8 为声波的绕射。

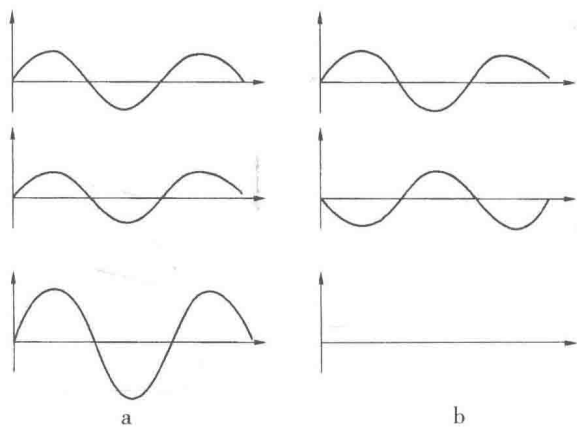


a——障碍物绕射; b——孔洞绕射

图 1-8 声波的绕射

在噪声控制中,尤其要注意低频声的绕射。在设计隔声屏时,高度、宽度要合理,设计隔声间时,一定要做到密闭,门、窗的缝隙要用橡胶条密封,以免声音绕射,降低隔声效果。

当几个声源发出的声波在同一种介质中传播时,它们可能会在空间某些点上相遇,相遇处质点的振动是各波引起振动的合成。以两个传播方向相同、频率相同的简单波为例:当这两个声波在空间某一点处相位相同,两波便互相加强,其相遇的振幅为两波振幅之和(图 1-9a);当两声波相位相反,则两声波在传播过程中相互抵消或减弱,其相遇的振幅为两者之差(图 1-9b),这些现象称为波的干涉。但实际上多个声源声波的振幅和频率以及相位均不相同,在某一点叠加时,情况相当复杂。



a——相位相同; b——相位相差 180°

图 1-9 声波的干涉

3. 声波的自然衰减

声波在任何声场中传播都会有衰减。一是由于声波在声场传播过程中,波前的面积

随着传播距离的增加而不断扩大，声能逐渐扩散，从而使单位面积上通过的声能相应减少，声强随着离声源距离的增加而衰减，这种衰减称为扩散衰减；二是声波在介质中传播时，由于介质的内摩擦、黏滞性、导热性等特性使声源不断被介质吸收转化为其他形式的能量，使声强逐渐衰减，这种衰减称为吸收衰减。声源的形状和大小不同时，其衰减的快慢也不一样。

(1) 声波的扩散衰减：

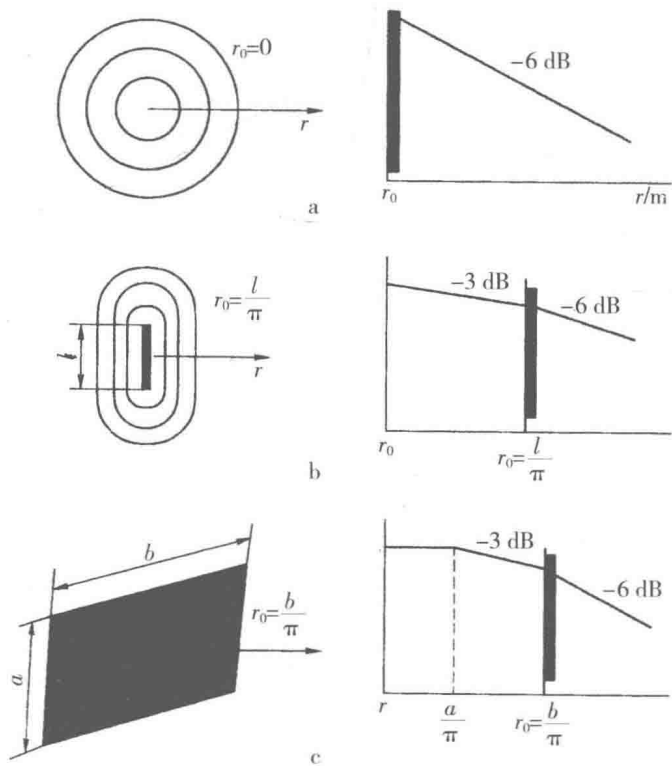
1) 点声源的扩散衰减。在自由声场中，点声源以球面波的方式向各个方向扩散，当距声源为 r_1 处的声压级为 L_{p1} 时，在距声源 r_2 处的声压级为 L_{p2} ，则 L_{p2} 可由式 (1-4) 计算：

$$L_{p2} = L_{p1} - 20 \lg \frac{r_2}{r_1} \tag{1-4}$$

当 $r_2 = 2r_1$ 时，则得式 (1-5)

$$L_{p2} = L_{p1} - 20 \lg \frac{2r_1}{r_1} = L_{p1} - 6 \tag{1-5}$$

衰减量 $\Delta L = L_{p1} - L_{p2} = 6 \text{ dB}$ ，即在自由声场中，距离每增加一倍，声压级衰减 6 dB，见图 1-10a。



a——点声源；b——线声源；c——面声源
图 1-10 点声源、线声源和面声源的声衰减

2) 线声源的扩散衰减。在自由声场中，对于一个无限长的线声源，其声压级随距