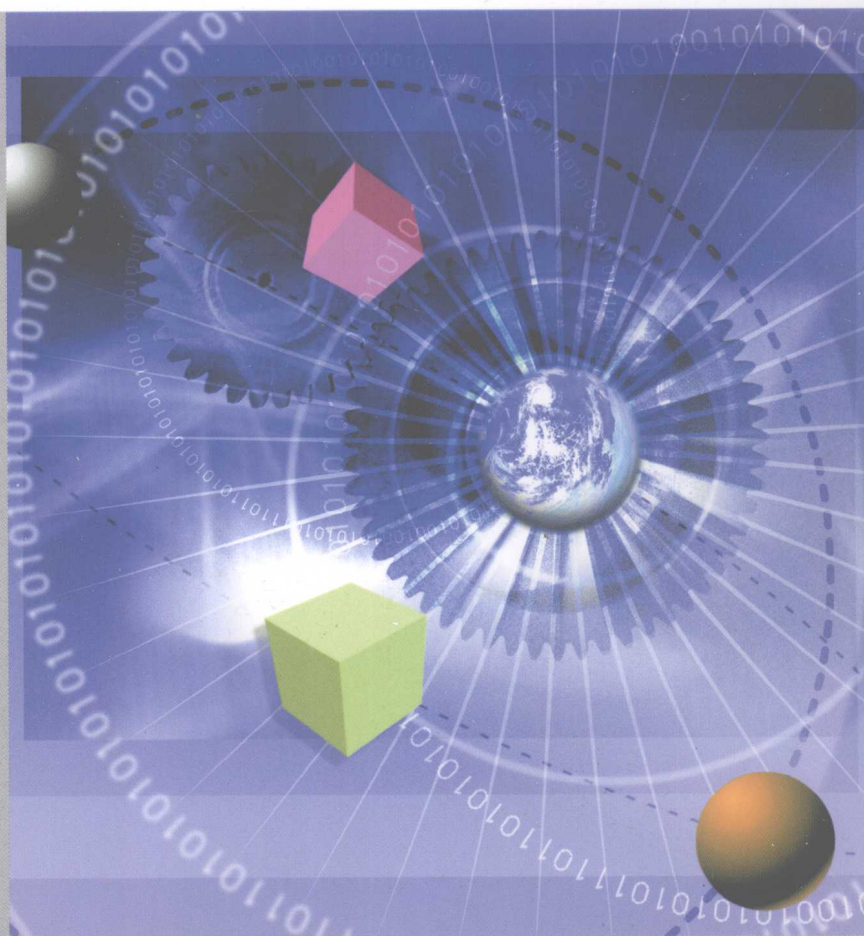


噪声与振动测量

王佐民 编著



科学出版社

www.sciencep.com

噪声与振动测量

王佐民 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书主要介绍噪声与振动测量的基本理论、测量系统和测量分析方法,包括声源声功率、吸声性能、隔声性能、噪声评价和环境噪声、振动的危害和评价及阻尼性能等方面的基本概念和测量分析方法。附录中列出部分常用的声与振动标准。本书力求能够反映噪声与振动测量方面的最新研究成果,尽可能地介绍有关标准的最新版本。对近期修订的标准,除引述更新的内容外,也适当说明新旧版本的主要差异。

本书可作为声学、环境科学、建筑规划和机电专业的大学高年级本科生和研究生教材,也可供相关领域的科研、设计和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

噪声与振动测量/王佐民编著. —北京:科学出版社,2009

ISBN 978-7-03-022355-5

I. 噪… II. 王… III. ①噪声测量②振动测量 IV. TB53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 091180 号

责任编辑:周 炜 王向珍/责任校对:陈丽珠

责任印制:赵 博/封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 1 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2009 年 1 月第一次印刷 印张: 10 3/4

印数: 1—3 000 字数: 199 000

定价: 30.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈环伟〉)

前 言

随着国民经济的迅速发展,全社会的环境保护意识不断增强,各类机电产品的声振特性受到越来越广泛的重视,相关的噪声与振动的限值指标也日趋严格。为了适应这方面的需要,许多高等学校和科研机构积极开展相关的教学、科研工作,越来越多的生产企业建立了专门的声与振动的检测和研发部门,从事噪声与振动测量分析工作的技术队伍不断壮大。

另外,由于研究工作的不断深入和测量仪器的发展更新,现有的噪声与振动测量的专著中部分内容已显陈旧。特别是近年来,一些涉及噪声与振动测量的国际标准(ISO)和国家标准(GB)都有不少修订和补充。因此有必要编写出版一本能反映噪声与振动测量领域近期研究成果的专著。

本书侧重于噪声与振动测量的基本概念和测量方法的介绍,不拘泥于理论公式的详细推导。至于深入的声与振动理论、信号处理方法及各类测量仪器的详细性能和使用方法,请参阅相关的文献资料。

本书共分15章:第1章和第2章介绍声学基础知识;第3章和第4章介绍声学测量基本系统和分析方法;第5~10章介绍常用声学测量方法;第11~14章介绍振动和阻尼的基本概念及相关测量规范;第15章简单介绍了声学实验室。附录中列出部分常用的声与振动标准,书中的一些资料、数据和图表源自这些文献。本书引用的测量规范以国家标准为主,辅以少量国际标准和行业标准。

本书的撰写得到了同济大学声学研究所许多同仁的鼓励、支持和帮助。书中介绍的一些内容也是作者所在科研组成员长期共同努力的成果,其中部分成果列于参考文献中。本书列入同济大学“十一五”规划教材,并得到同济大学教材和学术著作出版基金会资助。在此谨向上述单位和个人表示衷心的感谢。

由于作者水平所限,书中难免有疏漏和不妥之处,敬请各位专家和读者批评指正。

目 录

前言

第 1 章 声波的特性	1
1.1 声音的产生	1
1.2 基本物理量	1
1.3 平面声波	2
1.4 球面声波	4
1.5 柱面声波	5
1.6 声波的反射和折射	5
1.7 声波的叠加和驻波	7
1.8 声波的散射与绕射	8
第 2 章 声的量度	10
2.1 级和分贝.....	10
2.2 分贝运算.....	11
2.3 声音的频谱.....	12
2.4 计权声级.....	15
第 3 章 声学测量基本系统	18
3.1 系统组成.....	18
3.2 电容传声器.....	18
3.3 前置放大器.....	22
3.4 声级计.....	22
3.5 声级计校准.....	24
3.6 实时分析仪.....	25
3.7 磁带记录器.....	26
第 4 章 测量分析方法	28
4.1 声级计模式分析.....	28
4.2 频谱分析.....	30
4.3 模数转换.....	31
4.4 傅里叶变换和快速傅里叶变换.....	32
4.5 窗函数.....	34
4.6 频率细化.....	38

4.7	相关分析	40
4.8	频率响应函数、脉冲响应函数和反滤波	43
4.9	相干分析	45
4.10	倒函数	45
4.11	相关技术在声学测量中的应用实例	46
第5章	声源声功率测定	49
5.1	声源声功率测定指南	49
5.2	消声室的声功率测定	49
5.3	半消声室的声功率测定	56
5.4	混响室的声功率测定	57
5.5	声功率的现场测量	60
5.6	声强测量	64
第6章	吸声性能测量	68
6.1	阻抗管中吸声系数和声阻抗的测量	68
6.2	混响室内材料无规入射吸声系数的测量	72
第7章	隔声性能测量	76
7.1	空气声隔声的实验室测量	76
7.2	房间之间空气声隔声的现场测量	82
7.3	楼板撞击声隔声的实验室测量	83
7.4	楼板撞击声隔声的现场测量	87
第8章	噪声评价和环境噪声测量	88
8.1	噪声评价方法	88
8.2	环境噪声的标准	90
8.3	城市区域环境噪声测量方法	92
8.4	工业企业厂界噪声测量方法	93
8.5	机动车辆噪声测量方法	94
第9章	双耳测试技术和声品质评价	97
9.1	人耳的听觉特性	97
9.2	双耳测试技术	99
9.3	声品质评价	100
第10章	m-序列相关技术在声学测量中的应用	103
10.1	m-序列信号	103
10.2	测量原理	105
10.3	测量应用	107
10.4	采样平均数的选定	110

10.5 残余噪声影响的抑制·····	111
第 11 章 振动概论 ·····	115
11.1 简谐振动 ·····	115
11.2 阻尼振动和强迫振动 ·····	117
11.3 多自由度系统和弹性连续系统·····	119
11.4 随机振动、冲击和瞬态振动 ·····	120
11.5 振动的隔离·····	120
第 12 章 振动的危害和评价 ·····	124
12.1 振动的危害或影响·····	124
12.2 振动标准·····	132
第 13 章 振动和冲击测量 ·····	134
13.1 振动测量系统·····	134
13.2 振动和冲击测量·····	138
第 14 章 阻尼性能测量 ·····	145
14.1 自由阻尼层·····	145
14.2 约束阻尼层 ·····	146
14.3 测量方法·····	147
第 15 章 声学实验室简介 ·····	152
15.1 消声室·····	152
15.2 混响室·····	155
15.3 风管实验室·····	157
参考文献 ·····	160
附录 部分常用的声与振动标准 ·····	161

第 1 章 声波的特性

在日常生活中存在各种各样的声音,如人们的交谈声、汽车的喇叭声、机器的运转声、乐器演奏的音乐声等。在所有各种声音中,凡是让人感到不需要的声音,就是噪声。简单地讲,噪声就是不需要的声音。为了对噪声进行测量分析和控制,首先需要了解声波的特性。

1.1 声音的产生

各种各样的声音都起始于物体的振动。凡是能产生声音的振动物体统称为声源。从振动物体的状态来分类,声源可以分成固体声源、液体声源和气体声源。例如,振动的机器、大海的波涛和汽车排气都是常见的声源。

如果您用手轻轻触摸刚被敲击的鼓面,就能感觉到鼓面的振动。所谓声源的振动就是物体(或质点)在其平衡位置附近进行往返运动。声源的振动会引起声源周围空气分子的振动,这些振动的分子又会使其相邻的空气分子产生振动。这样,声源产生的振动就以声波的形式向外传播。声波不仅可以在空气中传播,也可以在液体和固体中传播。但是,声波不能在真空中传播。这是因为在真空中不存在能够产生振动的媒质。根据传播媒质的不同,可以将声波分为空气声、水声和固体(结构)声等类型。在噪声控制问题中主要涉及在空气中传播的空气声。

在空气中,声波是纵波。这时,媒质质点的振动方向与声波的传播方向一致。与之对应,将质点振动方向与声波传播方向相互垂直的波称为横波。在液体和固体媒质中,既可能存在纵波,也可能存在横波。

需要注意,声波是通过相邻质点间的动量传递来传播能量,而不是由物质的迁移来传播能量。

1.2 基本物理量

当声源振动时,其周围的空气分子受到交替的压缩和膨胀,形成疏密相间的状态,空气分子时疏时密依次向外传递。当某部分空气变密时,这部分空气的压强增大;当某部分空气变疏时,这部分空气的压强减小。这样,在空气传播过程中,空间各处的空气压强产生起伏变化。通常用 p 来表示压强的起伏变化量,即与静态压强的差值,称为声压。声压的单位:帕[斯卡],Pa; $1\text{Pa}=1\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

如果声源的振动是按一定的时间间隔重复进行的,也就是具有周期性的,那么就会在周围媒质中产生周期性的疏密变化。在同一时刻,从某个最稠密(或最稀疏)的地点到相邻的另一个最稠密(或最稀疏)的地点之间的距离称为声波的波长,记为 λ ,单位:米,m。

重复振动的最短间隔时间称为周期,记为 T ,单位:秒,s。周期的倒数称为频率,即单位时间内的振动次数,记为 f ,单位:赫[兹],Hz;1Hz=1s⁻¹。

如前所述,媒质中的振动依次向外传播,传播需要一定的时间,也就是说,传播的速度是有限的。这种振动状态在媒质中的传播速度称为声速,记为 c ,单位:米·秒⁻¹,m·s⁻¹。在空气中, $c=331.45+0.61\theta$ (m·s⁻¹),其中, θ 为空气的摄氏温度。

显然,存在关系

$$\lambda = c/f \quad (1.1)$$

$$f = 1/T \quad (1.2)$$

声波传播时,媒质中各点的振动频率都是相同的,但是在同一时刻各点的相位不一定是相同的。同一质点在不同时刻也会具有不同的相位。相位反映了质点的振动状态,包括振动媒质中质点的位移大小、运动方向及压强的变化等。在1.3节中将具体介绍相位的数学表述。

声波在媒质中传播,一方面使媒质质点在平衡位置附近往复运动,产生动能;另一方面又使媒质不断地压缩膨胀产生形变势能。这两部分能量之和就是声波传播过程中使媒质具有的声能量,记为 E ,单位:焦[耳],J。其对某一周期取平均,则得声能量的时间平均值。

空间中存在声波的区域称为声场。声场中单位体积媒质所含有的声能量称为声能密度,记为 ϵ ,单位:焦[耳]·米⁻³,J·m⁻³。其对某一周期取时间平均,即得平均声能量密度。

声波在传播过程中,对应空间某一点在单位时间内通过一个与指定方向(如声波传播方向)相垂直的单位面元的平均声能量称为声强,记为 I ,单位:瓦[特]·米⁻²,W·m⁻²。

整个声源在单位时间内辐射的声能量称为声功率,记为 W ,单位:瓦[特],W。显然,它与声强之间存在关系 $W = \sum_i I_i \Delta S_i$,其中, ΔS_i 是声强为 I_i 的元面积。

1.3 平面声波

当声波的波阵面是垂直于传播方向的一系列平面时,就称为平面声波。所谓波阵面是指空间同一时刻相位相同的各点轨迹曲面。若将振动的活塞置于均匀直

管一端,管道的另一端伸向无限远处,当活塞在平衡位置附近往复运动时,在管中同一截面上的各个质点将同时受到压缩或稀疏,具有同样的振幅和相位,这就是平面声波(图 1.1)。

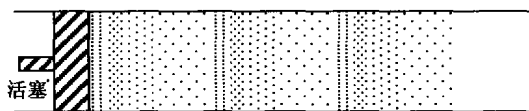


图 1.1 管道中的平面声波

声波传播时处于最前端的波阵面称为波前。通常,可以将各种远离声源的声波近似地看成平面波。平面波在数学上的处理比较简单,属于一维问题。通过对平面声波的详细分析,可以了解声波的许多基本性质。

活塞以正(余)弦函数规律进行的往复运动称为简谐振动。活塞离开平衡位置的距离 ξ 称为位移,对简谐振动有

$$\xi = \xi_0 \cos(\omega t + \phi) \quad (1.3)$$

式中, ξ_0 是活塞离开平衡位置的最大位移,称为振幅; $\omega = 2\pi f$ 为角频率; t 为时间; $(\omega t + \phi)$ 为时刻 t 的相位; ϕ 为初相位。

在均匀理想气体媒质中,小振幅平面声波的波动方程为

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \quad (1.4)$$

式中, x 为声波的传播方向; p 为声压; c 为声速。

对于简谐声源,沿 x 正方向传播的平面波为

$$p(x, t) = P_0 \cos(\omega t - kx + \phi)$$

为了表述简洁,适当选取时间 t 的起始值,或者适当选取 x 轴的坐标原点,使 $\phi = 0$, 则有

$$p(x, t) = P_0 \cos(\omega t - kx) \quad (1.5)$$

式中, P_0 为振幅; $k = \omega/c$ 为波数。

用 u 表示质点振动速度,由微分形式的牛顿第二定律

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} = - \frac{\partial p}{\partial x} \quad (1.6)$$

可以得到沿 x 正方向传播的平面波的质点速度

$$u_x = U_0 \cos(\omega t - kx) \quad (1.7)$$

式中, $U_0 = \frac{P_0}{\rho c}$ 为质点振动的振幅, ρ 为媒质密度。

定义声阻抗率

$$Z_s = \frac{p}{u} \quad (1.8)$$

对于平面声波, $Z_s = \rho c$ 只与媒质的密度 ρ 和媒质中的声速 c 有关, 而与声波的频率和幅值等无关, 故称为媒质的特性阻抗, 单位: 帕[斯卡]·秒·米⁻¹, Pa·s·m⁻¹。

经过一定的运算, 对于平面声波可以得到如下关系:

声能密度

$$\epsilon = \frac{\overline{p^2}}{\rho c^2} \quad (1.9)$$

在传播方向的声强

$$I = \frac{\overline{p^2}}{\rho c} \quad (1.10)$$

声功率

$$W = IS \quad (1.11)$$

式中, $\overline{p}$ 为声压的有效值, 对于简谐波, $\overline{p} = \frac{P_0}{\sqrt{2}}$; S 为平面声波波阵面的面积。

前面仅给出沿 x 正方向传播的平面声波的表达式(1.5)。对于沿 x 负方向传播的平面声波, 只要简单地将式(1.5)中的波数 k 用 $-k$ 来代替就行了。相应的表达式为

$$p(x, t) = P_0 \cos(\omega t + kx)$$

1.4 球面声波

当声源的几何尺寸比声波波长小得多时, 或者测量点离声源的距离相当远时, 就可以将声源看成一个点, 称为点声源。在各向同性的均匀媒质中, 从一个表面均匀胀缩的点声源发出的声波是球面声波, 即在以声源为球心的同半径 r 的球面上声波的相位相同。可以用 $p(r, t)$ 来描述简谐球面声波

$$p(r, t) = \frac{A}{r} \cos(\omega t - kr) = P_0 \cos(\omega t - kr) \quad (1.12)$$

可见, 振幅 P_0 随距离 r 的增加而减少。其中, A 是与声源辐射声功率相关的恒值。

对于球面声波, 同样可以求得质点振动速度

$$u_r = \frac{1}{\rho c} \frac{A}{r} \cos(\omega t - kr) - \frac{A}{\rho \omega r^2} \sin(\omega t - kr) \quad (1.13)$$

声强

$$I_r = \frac{1}{2} \frac{A^2}{\rho c r^2} \quad (1.14)$$

声功率

$$W = \frac{2\pi A^2}{\rho c} \quad (1.15)$$

声阻抗率

$$Z_s = \rho c \frac{jkr}{1 + jkr} \quad (1.16)$$

式中, $j = \sqrt{-1}$ 为虚数。

1.5 柱面声波

波阵面是同轴圆柱面的声波称为柱面声波。考虑最简单的柱面声波, 声场与柱坐标的角度和轴向长度无关, 仅与径向半径 r 相关。这时, 对于远场简谐柱面声波, 可以求得:

声压

$$p \approx A \sqrt{\frac{2}{\pi kr}} \cos(\omega t - kr) \quad (1.17)$$

质点振动速度

$$u_r \approx \frac{A}{\rho c} \sqrt{\frac{2}{\pi kr}} \cos(\omega t - kr) \quad (1.18)$$

声强

$$I \approx \frac{A^2}{\rho c} \cdot \frac{1}{\pi kr} \quad (1.19)$$

单位长度声源辐射的声功率

$$W \approx \frac{2A^2}{\rho c k} \quad (1.20)$$

声阻抗率

$$Z_s \approx \rho c \quad (1.21)$$

1.6 声波的反射和折射

当平面声波在空间传播到两种媒质的界面处时, 一般会产生声波的反射和折射。这与光在两种界面上的特性十分相似。平面声波 p_i 以 θ_i 的角度入射到 $x=0$ 的界面上, 两种媒质的特性阻抗分别为 $\rho_1 c_1$ 和 $\rho_2 c_2$ 。这时在界面处将产生反射声波 p_r 和折射声波 p_t 。它们与界面法向 n 的夹角分别是 θ_r 和 θ_t (图 1.2)。

在媒质 1 中的总声压为

$$p_1 = p_i + p_r \quad (1.22)$$

在媒质 2 中的声压为

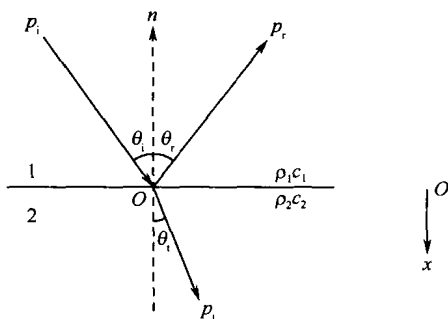


图 1.2 平面声波入射到两种媒质的界面

$$p_2 = p_i \quad (1.23)$$

定义声压反射系数

$$r_p = \frac{p_r}{p_i} \quad (1.24)$$

定义声压透射系数

$$\tau_p = \frac{p_t}{p_i} \quad (1.25)$$

根据界面处声压连续和法向质点振动速度连续的边界条件,可以得到

$$\theta_i = \theta_r \quad (1.26)$$

$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_t} = \frac{c_1}{c_2} \quad (1.27)$$

$$r_p = \frac{\rho_2 c_2 \cos \theta_i - \rho_1 c_1 \cos \theta_t}{\rho_2 c_2 \cos \theta_i + \rho_1 c_1 \cos \theta_t} \quad (1.28)$$

$$\tau_p = \frac{2 \rho_2 c_2 \cos \theta_i}{\rho_2 c_2 \cos \theta_i + \rho_1 c_1 \cos \theta_t} \quad (1.29)$$

当平面声波垂直入射界面时, $\theta_i = 0$, 于是有

$$\theta_r = \theta_t = 0 \quad (1.30)$$

$$r_p = \frac{\rho_2 c_2 - \rho_1 c_1}{\rho_2 c_2 + \rho_1 c_1} \quad (1.31)$$

$$\tau_p = \frac{2 \rho_2 c_2}{\rho_2 c_2 + \rho_1 c_1} \quad (1.32)$$

当媒质 1 是空气、媒质 2 是某种吸声材料时, 定义吸声材料的法向吸声系数

$$\alpha_p = 1 - |r_p|^2 \quad (1.33)$$

式中, r_p 为垂直入射时界面处的声压反射系数。

同样可以定义声强的反射系数 r_I 和透射系数 τ_I

$$r_I = \frac{I_r}{I_i}$$

$$\tau_I = \frac{I_r}{I_i}$$

式中, I_i 、 I_r 和 I_t 分别为入射声波、反射声波和透射声波的声强。

对于垂直入射的平面声波, 有

$$r_I = \left(\frac{\rho_2 c_2 - \rho_1 c_1}{\rho_2 c_2 + \rho_1 c_1} \right)^2 \quad (1.34)$$

$$\tau_I = \frac{4\rho_1 c_1 \rho_2 c_2}{(\rho_2 c_2 + \rho_1 c_1)^2} \quad (1.35)$$

这里, 顺便指出, 在多数封闭空间中壁面的吸声系数不大, 声波会在壁面间多次反射。当空间声场是由来自各个方向的反射声混合而成, 而且各处的声能密度又相等时, 称这种声场为扩散声场或混响声场。

反之, 将仅存在由声源发出的直达声而无反射声存在的声场称为自由声场。

1.7 声波的叠加和驻波

前面仅仅讨论了由一个声源发出的含有单一频率的简谐声波。然而实际存在的声音往往是若干声源发出的含有许多频率成分的声波。这就涉及声波的叠加。各个声源所发出的声波各自在同一媒质中独立传播, 但是在各波交叠的区域, 媒质质点的振动将由各个波在该点所激励的振动叠加而成。

设声场中存在 n 个独立的声波, 于是空间某点处的总声压应为

$$p = p_1 + p_2 + \cdots + p_n = \sum_{i=1}^n p_i \quad (1.36)$$

式中, p_i 为第 i 个声波在该点的声压。

如果两个声波的频率相同, 两个声源到该点的距离分别为 l_1 和 l_2 , 则有

$$p_1 = P_1 \cos(\omega t - kl_1)$$

$$p_2 = P_2 \cos(\omega t - kl_2)$$

这里, 符号 P 表示声波的幅值, 并用不同的下标表示不同的含义。令 $\phi_1 = kl_1$, $\phi_2 = kl_2$, 利用叠加原理, 经过简单的三角函数运算就可以求出该点的总声压

$$p = p_1 + p_2 = P_T \cos(\omega t + \phi_0) \quad (1.37)$$

其中

$$\phi_0 = \arctan \frac{P_1 \sin \phi_1 + P_2 \sin \phi_2}{P_1 \cos \phi_1 + P_2 \cos \phi_2} \quad (1.38)$$

$$P_T^2 = P_1^2 + P_2^2 + 2P_1 P_2 \cos(\phi_2 - \phi_1) \quad (1.39)$$

由于这两个声波的频率相同, 对空间固定位置, 两者的相位差 $\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1$ 恒为常数, 这就形成了声波的干涉现象。

由式(1.39)可见, 叠加后的总声压振幅 P_T 与相位差 $\Delta\phi$ 有关, 对于不同的空

间位置, $\Delta\phi$ 取值不同。当 $\Delta\phi = \pm 2n\pi$ (n 为正整数) 时, $P_{T\max} = P_1 + P_2$ 是极大值; 当 $\Delta\phi = \pm (2n+1)\pi$ 时, $P_{T\min} = |P_1 - P_2|$ 是极小值。这种 P_T 随空间不同位置有极大值和极小值分布的声场称为驻波声场。当 P_1 和 P_2 相等时, $P_{T\max} = 2P_1$, $P_{T\min} = 0$, 驻波现象最明显。驻波的极大值和极小值所在的区域分别称为波腹和波节。

在一般情况下, 各波所产生的 p_i 之间的相位差在时间上是随机的, 声源是不相关的。这时不会产生干涉现象。于是, 该点处的总声能密度 ϵ_T 等于各个声波声能密度 ϵ_i 的总和

$$\epsilon_T = \epsilon_1 + \epsilon_2 + \cdots + \epsilon_n = \sum_{i=1}^n \epsilon_i \quad (1.40)$$

或者用声压的有效值表示

$$p_T^2 = p_1^2 + p_2^2 + \cdots + p_n^2 = \sum_{i=1}^n p_i^2 \quad (1.41)$$

需要注意, 即使对于不相关声源, 若要求计算空间某处在某一瞬时的声压值, 则仍应由叠加原理式(1.36)来计算, 不可与声能量的计算相混淆。

1.8 声波的散射与绕射

声波在均匀媒质中传播时不会改变传播方向。但是, 在传播过程中遇到障碍物就会产生各个方向的散射。这时的声场由入射声波和散射声波叠加而成, 这种叠加不是简单的幅值相加, 且随着波长与散射体大小的比值不同而变化。举一个简单的例子, 当空气中的平面声波自左向右传播遇到半径为 a 的刚性小球时, 可以由理论计算(或者实际测量)得到散射波强度的空间分布(图 1.3)。

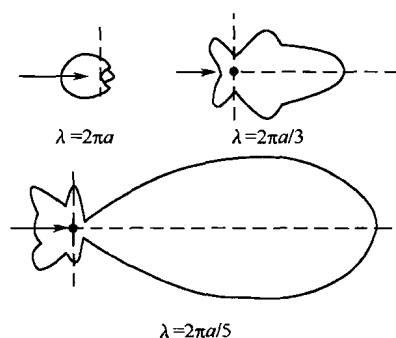


图 1.3 刚性圆球的散射波

对于低频声波, 波长较长, 散射波很弱, 而且大部分均匀地分布在对着入射的方向。当频率增高时, 散射波的指向性变得复杂, 绕射(衍射)峰出现。在高频情况

下,散射波能量的一半集中在入射波的前进方向,另一半较均匀地散布在其他方向。

波的绕射现象不仅在障碍物比波长小时存在,即使障碍物比波长大很多时,在障碍物的边缘也会产生绕射。波长越长,这种现象越明显。

第2章 声的量子度

日常所遇到的声音,其声压的变化范围相当宽。对于听觉器官正常的年轻人,刚能感觉到的 1000Hz 纯音的声压约为 $2 \times 10^{-5} \text{Pa}$;两人相互交谈的声压约为 $2 \times 10^{-2} \text{Pa}$;吵闹车间内的声压约为 2Pa,这之间相差好几个数量级。所以直接使用声压来表示声音的强弱是很不方便的。更重要的是,人耳对声音强弱的感觉,并不正比于声压或声强,而是更接近正比于它们的对数值。因此,在声学中普遍使用对数标度来量度声压、声强和声功率,分别称为声压级、声强级和声功率级,单位:分贝, dB。

2.1 级和分贝

2.1.1 声压级

定义声压级

$$L_p = 10 \lg \frac{p^2}{p_0^2} \quad (\text{dB}) \quad (2.1)$$

在空气中基准声压 p_0 规定为 $2 \times 10^{-5} \text{Pa}$,即指正常人耳的阈值。定义中 p 为声压的有效值。

顺便说明,为简洁方便,许多文献资料直接采用符号 p 来代替符号 $\bar{p}$,表示声压的有效值。

人耳的感觉特性,从 $2 \times 10^{-5} \text{Pa}$ 的阈值到 20Pa 的痛域,相差 100 万倍。用声压级表示,则为 0~120dB。

对于第 1 章中讨论的三种声波,其声压级随距离的变化规律如下:①平面声波,声压级与距离无关;②球面声波,距离增加一倍,声压级降低 6dB;③柱面声波,距离增加一倍,声压级降低 3dB。

2.1.2 声强级

定义声强级

$$L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0} \quad (\text{dB}) \quad (2.2)$$

在空气中基准声强 I_0 取为 $10^{-12} \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

考虑声强级与声压级的关系,对于空气中的平面声波,声强与声压之间存在如下关系(这里 p 指声压的有效值):