

ZAOSHENG KONGZHI YU JIEGOU SHEBEI DE DONGTAI SHEJI

噪声控制与结构设备的 动态设计

■ 周新祥 于晓光 著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

噪声控制与结构设备的 动态设计

周新祥 于晓光 著

北 京
冶金工业出版社
2014

内 容 提 要

本书主要介绍了噪声控制的声学基础、噪声的危害与评价标准、噪声的测量仪器与测试技术、噪声源及控制概述等知识,重点叙述了吸声、隔声、隔振与减振、消声器等噪声控制措施,选择典型噪声控制设备——消声器来分别阐述消声器的优化设计、有限元模态分析、实验模态分析的基本理论和方法,选编典型噪声控制设备动态设计工程应用专题进行分析讲解,包括噪声源测试分析应用专题、噪声源数学模型的建立应用专题、噪声源的主动控制应用专题、噪声控制设备的优化设计应用专题、噪声控制设备的有限元模态分析专题、噪声控制设备的灵敏度分析与结构动力修改专题、噪声控制设备的实验模态分析应用专题,专题来自作者从事噪声控制领域的部分科研应用课题。

本书可供相关专业本科生、研究生及工程技术人员阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

噪声控制与结构设备的动态设计/周新祥,于晓光著. —北京:
冶金工业出版社, 2014. 10

ISBN 978-7-5024-6765-4

I. ①噪… II. ①周… ②于… III. ①噪声控制—结构设计
IV. ①TB53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 238155 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp. com. cn 电子信箱 yjchs@cnmp. com. cn

责任编辑 曾 媛 谢冠伦 美术编辑 杨 帆 版式设计 孙跃红

责任校对 李 娜 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-6765-4

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;北京佳诚信缘彩印有限公司印刷

2014 年 10 月第 1 版, 2014 年 10 月第 1 次印刷

169mm×239mm; 17 印张; 327 千字; 260 页

56.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp. com. cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街46号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgy. tmall. com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

噪声污染已成为一种公害,强烈的噪声会导致机器设备和某些工业结构的声疲劳,长期作用会缩短其寿命,甚至有可能导致事故的发生。海军舰船和水中兵器的噪声直接关系到人员能否生存,噪声控制在军事领域尤其重要。因此,噪声控制越来越引起人们的重视。

隔声罩、隔声屏、消声器等是噪声控制的高效工程应用设备,设备的设计受多种因素制约。如何更好地利用材料的隔声、吸声、隔振等特性,阻碍声波的传播,或让声波的能量耗散掉,从而达到高效降噪的目的,是作者撰写本书的主要目的。

本书共分为18章。第1~4章分别介绍了噪声控制的声学基础、噪声的危害与评价标准、噪声的测量仪器与测试技术、噪声源及控制概述等知识;第5~8章主要叙述了吸声、隔声、隔振与减振、消声器等噪声控制措施;第9~11章选择典型噪声控制设备——消声器,分别阐述消声器的优化设计、有限元模态分析、实验模态分析的基本理论和方法;第12~18章为典型噪声控制设备动态设计工程应用专题,来自作者从事噪声控制领域的部分科研应用课题,包括噪声源测试分析应用专题、噪声源数学模型的建立应用专题、噪声源的主动控制应用专题、噪声控制设备的优化设计应用专题、噪声控制设备的有限元模态分析专题、噪声控制设备的灵敏度分析与结构动力修改专题、噪声控制设备的实验模态分析应用专题。

本书由辽宁科技大学周新祥(第1章、第7~18章)、于晓光(第2~6章)撰写,辽宁科技大学胡素影也参与撰写第18章(专题2),全书由周新祥统稿。研究生任因因、汤艳玲、刘成、胡光宇、韩达梦、

类兴隆、杨凤贞、丛天舒、陈颖、李荣荣、邹晓彬、田恩辉、孙传涛等也参与了书稿的编校工作。

本书在撰写过程中，得到大连理工大学教授、博士生导师郭杏林的指导和鼓励，在此表示诚挚、衷心的感谢。同时，作者对中国机械工程学会环境保护学会、中国振动工程学会、辽宁省振动工程学会、辽宁省机械工程学会环境保护工程分会的有关专家、教授的指导和帮助深表谢意。

本书由辽宁科技大学重点学科建设基金资助出版，对学校领导及有关部门负责、经办的同志的大力支持与帮助表示真诚的感谢。

由于作者水平所限，书中不妥之处，恳请读者批评指正。

著 者

2014年7月

冶金工业出版社部分图书推荐

书 名	定价(元)
噪声控制技术及其新进展	56.00
噪声与电磁辐射——隐形的危害	29.00
噪声与振动控制	30.00
噪声与振动控制技术	23.00
环境噪声控制	19.80
环境污染控制工程	49.00
物理性污染控制	48.00
电磁辐射污染及其防护技术	29.00
绿色冶金与清洁生产	49.00
冶金企业安全生产与环境保护	29.00
钢铁企业安全生产管理(第2版)	65.00
职业健康与安全工程	36.00
特种作业安全技能问答	66.00
冶金安全防护与规程	39.00
炼钢厂生产安全知识	29.00
系统安全评价与预测(第2版)	26.00
安全系统工程	24.00
安全生产与环境保护	24.00
安全管理技术	46.00
钢铁冶金的环保与节能(第2版)	56.00
冶金企业环境保护	23.00
中国钢铁工业节能减排技术与设备概览	220.00
冶金工业节能减排技术	69.00
钢铁产业节能减排技术路线图	32.00

目 录

1 噪声控制的声学基础	1
1.1 噪声污染与声音的产生及传播	1
1.2 噪声的物理量度	4
1.3 声音的传播与衰减特性	15
1.4 管道噪声的自然衰减	22
2 噪声的危害与评价标准	25
2.1 噪声的危害	25
2.2 噪声的评价	28
2.3 噪声的标准	37
3 噪声的测量仪器与测试技术	43
3.1 常用的噪声测量仪器	43
3.2 噪声的测量方法	48
3.3 噪声信号处理与频谱分析	53
4 噪声源及控制概述	65
4.1 噪声源的类型	65
4.2 空气动力性、机械性、电磁性噪声及控制概述	65
4.3 噪声源鉴别与控制基本程序	70
5 吸声材料与吸声技术	75
5.1 吸声材料的性能参数	75
5.2 吸声材料与吸声结构	78
5.3 吸声减噪与降噪设计	94
6 隔声材料与隔声技术	102
6.1 隔声材料及隔声基本知识	103

6.2	隔声间的设计	113
6.3	隔声罩的设计	122
6.4	隔声屏的设计	127
7	隔振与减振技术	133
7.1	振动基本知识 with 测量技术	133
7.2	振动的危害与评价标准	137
7.3	隔振设计	142
7.4	隔振材料与隔振器	152
7.5	阻尼减振与阻尼材料	159
8	典型噪声控制设备——消声器	161
8.1	消声器的种类及性能要求	161
8.2	阻性消声器	161
8.3	抗性消声器	169
8.4	阻抗复合式消声器	179
8.5	微穿孔板消声器	180
8.6	排气喷射消声器	182
8.7	干涉式消声器	189
8.8	消声器的声学性能与空气动力性能	191
9	消声器的优化设计分析	195
9.1	消声器的优化设计概述	195
9.2	消声器优化设计理论基础	195
9.3	消声器优化设计例题分析	199
10	消声器的有限元模态分析	203
10.1	消声器有限元模态分析方法的提出	203
10.2	消声器有限元模态分析的理论基础	203
10.3	消声器有限元模态分析例题	205
11	消声器的实验模态分析	209
11.1	消声器实验模态分析概述	209
11.2	消声器实验模态分析的理论基础	210
11.3	消声器实验模态分析训练及例题	214

12 噪声源测试分析应用专题	218
专题 1 LGA 罗茨风机噪声测试与分析	218
专题 2 减速器的噪声测试及控制	221
13 噪声源数学模型的建立应用专题	225
专题 1 轴流风机噪声源数学模型建立和估算	225
专题 2 空压机噪声源的数学模型建立	228
14 噪声源的主动控制应用专题	231
专题 小型离心风机噪声源的主动控制	231
15 噪声控制设备的优化设计应用专题	235
专题 LGA 罗茨风机圆盘式消声器的动态优化设计	235
16 噪声控制设备的有限元模态分析专题	242
专题 LGA 罗茨风机圆盘式消声器的有限元模态分析	242
17 噪声控制设备的灵敏度分析与结构动力修改专题	246
专题 LGA 罗茨风机圆盘式消声器的灵敏度分析与结构动力修改	246
18 噪声控制设备的实验模态分析应用专题	250
专题 1 LGA 罗茨风机圆盘式消声器的实验模态分析	250
专题 2 节流降压-小孔喷注消声器实验模态研究	253
参考文献	259

1 噪声控制的声学基础

1.1 噪声污染与声音的产生及传播

1.1.1 噪声污染

人们在生活中离不开声音。声音作为信息，传递人们的思维和感情，并帮助人们进行工作和社会活动，声音在生活中起着非常重要的作用。但有些声音干扰人们的工作、学习、休息，影响人们的身心健康。如各种车辆嘈杂的交通声音、压缩机的进排气声音等。这些声音人们是不需要的，甚至是厌恶的。从声理学上讲，人们对不需要的声音就称为噪声。从物理学上看，无规律、不协调的声音，即频率和声强都不同的声波杂乱组合就称为噪声。

噪声污染和空气污染、水污染、废弃物污染一样，被称为当今的四大污染。噪声污染面积大，到处可见。如交通噪声污染、厂矿噪声污染（各类机械设备）、建筑噪声污染、社会噪声污染。噪声污染一般不致命，它作用于人们的感官，好像没有严重后果，即噪声源停止辐射时，噪声立即消失，噪声没有具体污染物，又不能积累，再利用价值不大，因而，噪声常被人们忽视。随着近代工业的迅猛发展，噪声污染越来越严重，已成为一种公害。控制噪声污染、保护环境已成为人们的共识。

1.1.2 声音的产生与传播

噪声和声音有共同的特性，声音的产生来源于物体的振动。例如，敲锣时，会听到锣声，此时如果你用手去摸锣面，就会感到锣面在振动；如果用手按住锣面不让它振动，锣声就会消失。这就说明锣声的声源是锣面振动引起的，它属于机械运动。在许多情况下，声音是由机械振动产生的。如锻锤打击工件的噪声，机床运转发出的声音，洗衣机工作时产生的噪声，它们都是由振动的物体发出的。能够发声的物体称为声源。当然，声源不一定是固体振动，液体、气体振动都同样能发出声音。如内燃机的排气噪声，锅炉的排气噪声，风机的进排气噪声，高压容器排气放空噪声，都是高速气流与周围静止空气相互作用引起空气振动的结果。

前述物体振动发出的声音要通过中间介质才能把声音传播出去，送到人耳，

使人感觉到有声的存在。那么,声音是怎样通过介质把振动的能量传播出去的呢?

现仍以敲锣为例,当人们用锣锤敲击锣面时,锣面振动,即向外(右)运动,使靠近锣面的空气介质受压缩,空气介质的质点变密集,空气密度加大;当锣面向内(左)运动时,又使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。声音在空气中产生和传播如图 1-1 所示。

声音在介质中传播只是运动的形式,介质本身并不被传走,只是在它的平衡位置来回振动。声音传播就是物体振动形式的传播,故亦称声音为声波。产生声波的振动源为声源;介质中有声波存在的区域称为声场;声波传播的方向叫做声线。

在图 1-1 中,声波两个相邻密部或两个相邻疏部之间的距离叫做波长,或者说,声源振动一次,声波传播的距离叫波长。波长用 λ 表示,单位是米(m)。声波每秒钟在介质中传播的距离称为声速,用 c 表示,单位是 m/s。每秒钟振动的次数称为频率,用 f 表示,单位是赫兹

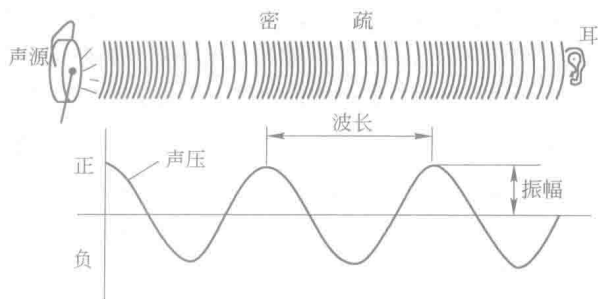


图 1-1 声音的产生和传播

(Hz)。波长 λ 、频率 f 和声速 c 是三个重要的物理量,它们之间的关系为:

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

由式 (1-1) 可以看出,波长、频率和声速三个量中,只要知道其中两个便可求出第三个。

声音不仅在空气中可以传播,在水、钢铁、混凝土等固体中也可以传播。不同的介质有不同的声速。如钢铁中的声速约为 5000m/s,水中约为 1500m/s,橡胶中约为 40~150m/s。声速大小与介质有关,而与声源无关。空气是一种主要介质,其弹性与温度有关。

当温度高于 30℃ 或低于 -30℃ 时,声速由下式计算:

$$c = 20.05\sqrt{T} \quad (1-2)$$

式中 T ——绝对温度, K, $T = 273 + t$, t 为摄氏温度,℃。

当温度低于 30℃ 时, 声速由下式计算:

$$c = 331.5 + 0.61 t \quad (1-3)$$

下面举几个例子说明声波的波长、频率和声速的关系。

例 1-1 当空气温度为 40℃ 时, 试计算空气中的声速, 并求在该温度下, 频率为 500Hz 的波长。

解: 因为温度高于 30℃,

由 $c = 20.05\sqrt{T}$, 且 $T = 273 + t$

有 $T = 273 + 40 = 313$ (K), $c = 20.05\sqrt{313} = 355$ (m/s)

又 $f = 500\text{Hz}$, 故 $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{355}{500} = 0.71$ (m)

例 1-2 当空气温度为 20℃ 时, 试计算空气中的声速, 并求在该温度下 1000Hz 纯音的波长。

解: 由式 (1-3), $c = 331.5 + 0.61t = 331.5 + 0.61 \times 20 = 343.7$ (m/s)

故在 1000Hz 时, $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{344}{1000} = 0.344$ (m)

例 1-3 试计算 1000Hz 纯音在钢和空气中的波长, 并进行比较。

解: 在常温下, 钢的声速约为 5000m/s, 钢中声波波长为:

$$\lambda_1 = \frac{5000}{1000} = 5 \text{ (m)}$$

常温下, 空气中声速为 344m/s, 空气中波长为:

$$\lambda_2 = \frac{344}{1000} = 0.344 \text{ (m)}$$

故有 $\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{5}{0.344} = 14.53$

由此看出, 钢材中的波长是空气中波长的 14.53 倍。

常温 20℃ 下, 空气中的声速约为 344m/s。表 1-1 列出某些介质的声速、密度和声阻抗率 (亦称声特性阻抗)。声阻抗率等于介质的密度与声速的乘积, 单位是 $\text{Pa} \cdot \text{s}/\text{m}$ 。声阻抗率 (简称声阻) 的大小决定了声波从一种介质传入另一种介质时的反射程度以及材料的隔声性能。

表 1-1 某些介质的声速、密度和声阻抗率

名 称	温度 $t/^\circ\text{C}$	密度 $\rho/\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	声速 $c/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	声阻抗率 $\rho c/\text{kg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$
空气	20	1.205	344	410
水	20	1×10^3	1450	1.45×10^6

续表 1-1

名 称	温度 $t/^{\circ}\text{C}$	密度 $\rho/\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	声速 $c/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	声阻抗率 $\rho c/\text{kg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$
玻璃	20	2.5×10^3	5200	1.38×10^7
铝	20	2.7×10^3	5100	1.30×10^7
钢	20	7.8×10^3	5000	3.90×10^7
铅	20	11.4×10^3	1200	1.37×10^7
木材		0.5×10^3	2400	1.20×10^6
橡胶		$(1 \sim 2) \times 10^3$	40~150	2.25×10^5
混凝土		2.6×10^3	4000~5000	1.3×10^7
砖		1.8×10^3	2000~4300	6.5×10^6
石油		7×10^3	1330	9.3×10^5

1.2 噪声的物理量度

1.2.1 声压、声强和声功率

声波引起空气质点的振动,使大气压力产生压强的波动称为声压,亦即声场中单位面积上由声波引起的压力增量为声压,用 P 表示,其单位为 N/m^2 ,简称帕(帕斯卡),符号为 Pa。通常都用声压来衡量声音的强弱。

正常人耳刚能听到的声压是 $2 \times 10^{-5} \text{Pa}$,称为听阈声压;人耳产生疼痛感觉的声压是 20Pa ,称为痛阈声压。

在声波中,人们经常研究的瞬间间隔内声压的有效值,即随时间变化的均方根值,称为有效声压值。数学表达式为

$$P = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt} \quad (1-4)$$

式中 $p(t)$ ——瞬时声压;

t ——时间;

T ——声波完成一个周期所用的时间。

对于正弦波,有效声压等于瞬时声压的最大值除以 $\sqrt{2}$,如未加说明,即指有效声压。

声波作为一种波动形式,将声源的能量向空间辐射,人们可用能量来表示它的强弱。在单位时间内,通过垂直声波传播方向的单位面积上的声能,叫做声强,用 I 表示,单位为 W/m^2 。

在自由声场中,声压与声强有密切的关系:

$$I = \frac{P^2}{\rho c} \quad (1-5)$$

式中 I ——声强, W/m^2 ;
 P ——有效声压, Pa ;
 ρ ——空气密度, kg/m^3 ;
 c ——空气中的声速, m/s ;
 ρc ——声阻抗率, $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

由式 (1-5) 可以看出, 如已知声压即可求声强。

声源在单位时间内辐射的总能量叫声功率。通常用 W 表示, 单位是 W , $1\text{W} = 1\text{N} \cdot \text{m}/\text{s}$ 。在自由声场中, 声波作球面辐射时, 声功率与声强有下列关系:

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} \quad (1-6)$$

式中 I ——离声源 r 处的平均声强, W/m^2 ;
 W ——声源辐射的声功率, W ;
 r ——离声源的距离, m 。

1.2.2 声压级、声强级和声功率级

从听阈声压 $2 \times 10^{-5} \text{Pa}$ 到痛阈声压 20Pa , 声压的绝对值数量级相差 100 万倍, 因此, 用声压的绝对值表示声音的强弱是很不方便的; 由于人对声音响度感觉是与对数成比例的, 所以, 人们采用了声压或能量的对数比表示声音的大小, 用“级”来衡量声压、声强和声功率, 称为声压级、声强级和声功率级。这与人们常用级来表示风、地震大小的意义是相同的。

声压级定义为:

$$L_P = 10 \lg \frac{P^2}{P_0^2} \quad \text{或} \quad L_P = 20 \lg \frac{P}{P_0} \quad (1-7)$$

式中 L_P ——声压级, dB ;

P ——声压, Pa ;

P_0 ——基准声压, $P_0 = 2 \times 10^{-5} \text{Pa}$ 。

例 1-4 某一声音的声压为 2.5Pa (均方根值), 试计算其声压级。

解: 由式 (1-7) 和已知条件 $P_0 = 2 \times 10^{-5} \text{Pa}$ 得

$$\begin{aligned} L_P &= 20 \lg \frac{P}{P_0} = 20 \lg \left(\frac{2.5}{2 \times 10^{-5}} \right) = 20 \lg (12.5 \times 10^4) \\ &= 20 \times (\lg 12.5 + \lg 10^4) = 20 \times (1.096 + 4) \\ &= 101.9 (\text{dB}) \end{aligned}$$

同理, 声强级定义为: $L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0} \quad (1-8)$

式中 L_I ——声强级, dB ;

I —— 声强, W/m^2 ;

I_0 —— 基准声强, $I_0 = 10^{-12} \text{W}/\text{m}^2$ 。

例 1-5 对某声源测得其声强 $I = 0.1 \text{W}/\text{m}^2$, 试求其声强级。

解: 由式 (1-8) 及 $I_0 = 10^{-12} \text{W}/\text{m}^2$, 有

$$L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0} = 10 \lg \left(\frac{0.1}{10^{-12}} \right) = 10 \lg 10^{11} = 10 \times 11 = 110 (\text{dB})$$

在自由声场中, $I = \frac{P^2}{\rho c}$, 因此, 声功率级和声强级数值相等。声功率级定义为

$$L_W = 10 \lg \frac{W}{W_0} \quad (1-9)$$

式中 L_W —— 声功率级, dB;

W —— 声功率, W;

W_0 —— 基准声功率, W, $W_0 = 10^{-12} \text{W}$ 。

例 1-6 某一汽车喇叭发出 0.2W 声功率, 试求其声功率级。

解: 由式 (1-9) 和 $W_0 = 10^{-12} \text{W}$, 有

$$\begin{aligned} L_W &= 10 \lg \frac{W}{W_0} = 10 \lg \left(\frac{0.2}{10^{-12}} \right) = 10 \lg (2 \times 10^{11}) \\ &= 10 \times (0.3010 + 11 \times 1) \\ &= 113 (\text{dB}) \end{aligned}$$

由此可见, 在人耳敏感范围内, 0.2W 的较小声功率已是一个相当大的噪声源。

声压级、声强级和声功率级的单位都是 dB (分贝), dB 是一个相对单位, 它没有量纲。为方便起见, 图 1-2 列出声压级与声压、声强级与声强、声功率级与声功率的换算关系。表 1-2 列出了各种声源或噪声环境的声压级, 表 1-3 列出了某些声源的声功率级, 以使人们对声压级、声功率级大小有初步的印象。

1.2.3 噪声级的合成

前述的声压级、声强级、声功率级都是通过对数运算得来的。在实际工程中, 常遇到某些场所有几个噪声源同时存在, 人们可以单独测量每一个噪声源的声压级, 那么, 当噪声源同时向外辐射噪声, 它们总的声压级是多少呢? 我们不能把两个声压级进行简单的代数相加, 能进行相加运算的, 只能是声音的能量。

1.2.3.1 相同噪声级的合成

某车间有两台相同的车床, 它们单独开动时, 测得声压级均为 100dB , 求这两台机床同时开动时的声压级是多少 (dB)? 按照声压级的定义, 它们的总声压级为:

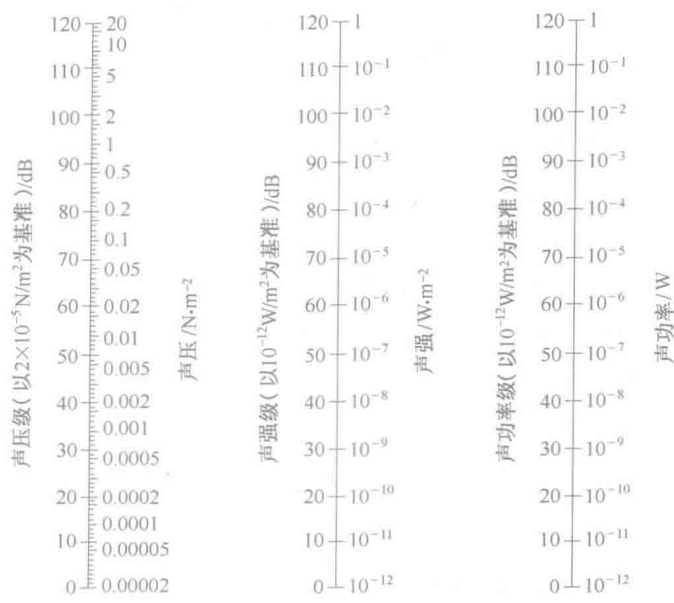


图 1-2 声压、声强、声功率和它们的级的换算关系

表 1-2 某些声源或噪声环境的声压级

声源或环境	声压级/dB	声源或环境	声压级/dB
核爆炸试验场	180	汽车喇叭（距离 1m）	120
导弹、火箭发射	160	公共汽车内	80
喷气式飞机附近	140	大声讲话	80
锅炉排气放空	140	繁华街道	70
大型球磨机附近大型风机房	120	安静车间	40
大型球磨机附近大型风机房 （离机 1m）	110	轻声耳语	30
织布车间、机间过道	100	树叶沙沙声	20
冲床车间（离床 1m）	100	农村静夜	10

表 1-3 一些声源或噪声环境的声功率级

声源或噪声环境	声功率级/dB	声源或噪声环境	声功率级/dB
阿波罗运载火箭	195	通风扇	90
波音 707 飞机	160	大声喊叫声	80
螺旋桨发动机	120	一般谈话	70
空气锤	120	低噪声空调机	50
空压机	100	耳语	30

$$\begin{aligned}
 L_P &= 20\lg \frac{P}{P_0} = 10\lg \frac{P^2}{P_0^2} = 10\lg \frac{P_1^2 + P_2^2}{P_0^2} = 10\lg \frac{2P_1^2}{P_0^2} \\
 &= 10\lg 2 + 20\lg \frac{P_1}{P_0} \\
 &\approx 3 + 100 \\
 &= 103 \text{ (dB)}
 \end{aligned}$$

由此可见, 两个特性相同、声压级相等的噪声相加, 其总声压级比单个声源的声压级增加了 3dB。如果有 N 个性质相同、声压级相等的声源叠加到一起, 总声压级可用下式表示:

$$L_{\text{总}} = L_P + 10\lg N \quad (1-10)$$

式中 L_P ——一个声源的声压级, dB;

N ——声源的个数。

如有 10 个相同的声源, 每个声源的声压级仍为 100dB, 那么, 由式 (1-10) 知, 它们的总声压级为 $L_{\text{总}} = 100 + 10\lg 10 = 110\text{dB}$ 。

1.2.3.2 声压级分贝的加法

对声源不相同的声压级加法可这样计算。

设有两个不同声压级 L_{P_1} , L_{P_2} , 并有 $L_{P_1} > L_{P_2}$ 。

由声压级的定义:

$$\begin{aligned}
 L_{P_1} &= 10\lg \frac{P_1^2}{P_0^2}, \text{ 即 } \frac{P_1^2}{P_0^2} = 10^{\frac{L_{P_1}}{10}} \\
 L_{P_2} &= 10\lg \frac{P_2^2}{P_0^2}, \text{ 即 } \frac{P_2^2}{P_0^2} = 10^{\frac{L_{P_2}}{10}} \\
 L_{\text{总}} &= 10\lg \frac{P_1^2 + P_2^2}{P_0^2} = 10\lg \left(\frac{P_1^2}{P_0^2} + \frac{P_2^2}{P_0^2} \right) \\
 &= 10\lg \left(10^{\frac{L_{P_1}}{10}} + 10^{\frac{L_{P_2}}{10}} \right) = 10\lg \left[10^{\frac{L_{P_1}}{10}} \left(1 + 10^{\frac{L_{P_2} - L_{P_1}}{10}} \right) \right] \\
 &= L_{P_1} + 10\lg \left(1 + 10^{\frac{L_{P_2} - L_{P_1}}{10}} \right)
 \end{aligned}$$

$$\text{令} \quad \Delta = 10\lg \left(1 + 10^{\frac{L_{P_2} - L_{P_1}}{10}} \right) \quad (1-11)$$

$$\text{有} \quad L_{\text{总}} = L_{P_1} + \Delta \quad (1-12)$$

由式 (1-11) 和式 (1-12) 可以看出, 总的声压级等于较大的声压级 L_{P_1} 加上一个修正项, 修正项 Δ 是两个声压级差值的函数。为方便起见, 通常由声压级叠加分贝的增值图 1-3 来计算。由图 1-3 可以看出, 当声压级相同时, 叠加后声