

噪声控制技术 及其新进展

周新祥 编著



冶金工业出版社

<http://www.cnmip.com.cn>

内 容 简 介

本书介绍了噪声控制基础知识、噪声的危害、评价和标准;较详细地叙述了噪声的测试、吸声、隔声、隔振与减振、消声器等噪声控制技术;从工程应用出发,列举了风机、空压机、电机、排气设备、粉碎机械设备、凿岩机及气动工具、木工机床、冲床、轧钢圆盘锯切机等噪声控制工程实例;对有源噪声控制的新进展、有源噪声控制的工程应用做了简单介绍。

书中通过较多设计计算例题和工程应用实例,阐述了噪声控制的基本理论和方法,从而提高分析和解决实际问题的能力。同时,还注意吸收国内外近年来噪声控制的新技术及成果。

本书可作为高等学校机械工程、环境保护工程及相关专业本科生和研究生的教学用书,也可作为噪声控制专业方面的培训教材,可供从事噪声控制的环境保护技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

噪声控制技术及其新进展/周新祥编著. —北京:
冶金工业出版社, 2007. 7

ISBN 978-7-5024-4287-3

I. 噪… II. 周… III. 噪声控制 IV. TB535

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 095171 号

出 版 人 曹胜利(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

责任编辑 王之光 美术编辑 李 斌 封面设计 张 青

责任校对 刘 倩 李文彦 责任印制 丁小晶

ISBN 978-7-5024-4287-3

北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2007 年 7 月第 1 版, 2007 年 7 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 22 印张; 529 千字; 337 页; 1-3000 册

56.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

随着工业和交通运输业的飞速发展,噪声污染如同污水污染、大气污染、废弃物污染一样,越来越引起人们的重视。许多工业化国家先后制定了噪声控制法规。20世纪70年代末,我国也相继颁布实施《工矿企业噪声卫生标准》、《城市区域环境噪声标准》和《中华人民共和国环境噪声污染防治条例》。这些法规条例的实施,推动了我国环境保护事业的发展。

如何更好地掌握噪声控制技术,并应用于噪声控制工程中,同时,注意吸收国内外近年来噪声控制新技术及应用成果,是作者编写本书的主要目的。

本书共分20章。第1、2章简明地叙述了噪声控制的基础知识和噪声的评价标准,并力求通俗易懂、简洁,着重讲清基本概念、基本理论和基本方法。第3~8章详细地阐明噪声控制技术,分别介绍了噪声测试、噪声源、吸声、隔声、隔振与减振、消声器。在编写这些内容时,力求由浅入深、循序渐进、理论联系实际,并引入许多设计例题和应用实例。第9~18章分析介绍了典型机电设备的噪声控制工程应用,包括风机、空压机、电动机、机床、排气设备、粉碎机械、凿岩机、木工机床、冲床、圆盘锯切机等噪声控制。通过这些工程实例,可提高人们分析问题、解决问题的能力,从而将噪声控制技术应用于工程实际。第19、20章对有源噪声控制的新进展进行了概述,并对有源噪声控制的工程应用及发展方向进行了简略介绍。

本书由辽宁科技大学周新祥编写,杭州师范学院马宝丽参加了部分编写(第2章、第4章、第7章、第11章、第12章)。全书由周新祥统稿,王波、胡素影、姜海生、姜洪兰、崔宇等参加绘图、打字、校对工作。

本书在编写过程中,得到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,编者对所有给予帮助的诸位表示衷心感谢。

本书由辽宁科技大学学科建设基金资助出版,值此,对校领导、负责同志的大力支持深表谢意。

由于编者水平所限,书中不妥之处,恳请读者批评指正。

作 者
2007年4月

目 录

1 噪声基础知识	1
1.1 噪声污染	1
1.2 声音的产生与传播	1
1.2.1 声音的产生	1
1.2.2 声音的传播	1
1.3 噪声的物理量度	4
1.3.1 声压、声强和声功率	4
1.3.2 声压级、声强级和声功率级	5
1.3.3 噪声级的合成	7
1.3.4 噪声频谱	10
1.4 声音的传播与衰减特性	14
1.4.1 声学概念	14
1.4.2 声波的反射、折射、散射、绕射和干涉	14
1.4.3 声波的自然衰减	17
1.5 管道噪声的自然衰减	20
1.5.1 直线管道	20
1.5.2 弯头	21
1.5.3 三通	21
1.5.4 变径节	21
2 噪声的危害、评价和标准	23
2.1 噪声的危害	23
2.1.1 噪声性耳聋	23
2.1.2 噪声对人体健康的影响	24
2.1.3 噪声影响人们的生活	25
2.1.4 噪声影响工作效率	25
2.2 噪声的评价	25
2.2.1 响度级和等响曲线	25
2.2.2 A 声级和等效连续 A 声级	31
2.2.3 噪声评价数 NR 及曲线	36
2.2.4 噪声评价标准 NC 及曲线	37
2.3 噪声的标准	38

2.3.1	ISO 听力保护标准与我国《工业企业噪声卫生标准》	38
2.3.2	ISO 的环境区域噪声标准和我国《城市区域环境噪声标准》	39
2.3.3	机动车辆噪声的允许标准	40
2.3.4	机床噪声的允许标准	40
2.3.5	建筑设计噪声标准	40
2.3.6	机械产品和家用电器噪声的允许标准	41
3	噪声测试技术	42
3.1	常用的噪声测量仪器	42
3.1.1	声级计	42
3.1.2	频率分析仪	45
3.1.3	自动记录仪	46
3.1.4	磁带记录仪	46
3.1.5	数据自动采集和信号分析系统	47
3.2	噪声的测量方法	47
3.2.1	噪声的特性	47
3.2.2	噪声的测量方法	47
3.2.3	现场噪声的测量	48
3.2.4	声强测量法	49
3.3	噪声信号处理与频谱分析	51
3.3.1	相关性概念	51
3.3.2	自相关函数和互相关函数	52
3.3.3	功率谱密度函数	55
3.3.4	相干函数	56
3.3.5	倒频谱	59
4	噪声源及其控制概述	61
4.1	噪声源的类型	61
4.2	空气动力性噪声及控制概述	61
4.2.1	空气动力性噪声的形成	61
4.2.2	风机的空气动力性噪声及控制概述	63
4.2.3	空压机的空气动力性噪声及控制	64
4.3	机械性噪声	64
4.4	电磁噪声	65
4.5	机械噪声源的鉴别方法	66
4.5.1	主观鉴别	66
4.5.2	客观鉴别	67
4.6	噪声控制的一般原则	67
4.6.1	噪声源的控制	67

4.6.2	噪声传播途径的控制	69
4.6.3	噪声接受点采取防护措施	70
4.6.4	噪声控制的工作程序	70
5	吸声技术及应用	72
5.1	吸声材料性能参数	72
5.1.1	吸声机理及吸声系数	72
5.1.2	吸声系数的测定方法简介	73
5.1.3	流阻 R_f 、孔隙率 q 和结构因子 S	75
5.2	吸声材料与吸声结构	76
5.2.1	多孔吸声材料	77
5.2.2	多孔材料的吸声结构	82
5.2.3	共振吸声结构	84
5.2.4	微穿孔板吸声结构	89
5.3	吸声减噪量的计算	91
5.3.1	吸声量	92
5.3.2	吸声减噪计算	93
5.3.3	吸声减噪措施的应用范围	95
5.3.4	吸声降噪设计的一般步骤	95
5.4	吸声降噪设计应用实例	96
6	隔声技术及应用	100
6.1	隔声的基本知识	100
6.1.1	透声系数与传声损失	100
6.1.2	单层结构的隔声	101
6.1.3	双层结构的隔声	105
6.2	隔声间的设计及应用	110
6.2.1	组合墙体的隔声量	110
6.2.2	孔洞和缝隙对隔声的影响	112
6.2.3	隔声门和隔声窗的设计	113
6.2.4	隔声间的实际隔声量计算	117
6.2.5	隔声间的设计及应用实例	118
6.3	隔声罩的设计及应用	119
6.3.1	隔声罩的选材及形式	120
6.3.2	隔声罩的实际隔声量计算	120
6.3.3	隔声罩的设计要点	121
6.3.4	隔声罩的降噪效果测试方法	122
6.3.5	隔声罩的设计及应用实例	122
6.4	隔声屏的设计及应用	127

6.4.1	隔声屏的降噪原理	127
6.4.2	隔声屏降噪效果的计算	128
6.4.3	隔声屏的选材及设计应注意的问题	130
6.4.4	隔声屏的应用实例	130
7	隔振与减振	132
7.1	振动的测量	132
7.1.1	振动的主要参数	132
7.1.2	加速度计	133
7.2	振动的危害与评价	136
7.2.1	振动对机械设备的危害	136
7.2.2	振动对人体健康的影响	136
7.2.3	振动的评价标准	137
7.3	隔振设计	139
7.3.1	隔振原理	139
7.3.2	隔振设计	145
7.4	隔振材料与隔振器	147
7.4.1	钢弹簧隔振器	148
7.4.2	橡胶隔振器	152
7.4.3	橡胶隔振垫	158
7.4.4	其他隔振垫	160
7.4.5	其他隔振装置及措施	161
7.5	隔振设计应用实例	165
7.6	阻尼减振与阻尼材料	167
7.6.1	阻尼减振原理	167
7.6.2	损耗因子	168
7.6.3	阻尼材料及配方	168
7.6.4	阻尼层结构	170
7.7	阻尼减振降噪应用实例	172
8	消声器的设计	174
8.1	消声器的种类及性能要求	174
8.2	阻性消声器	174
8.2.1	阻性消声器消声量的计算	174
8.2.2	不同形式的阻性消声器的特点及消声量计算	175
8.2.3	高频失效问题	177
8.2.4	气流对阻性消声器声学性能的影响	178
8.2.5	阻性消声器的设计要点及实例	179
8.2.6	阻性消声元件实验数据及应用实例	182

8.3 抗性消声器	189
8.3.1 扩张室消声器	189
8.3.2 共振腔消声器	193
8.4 阻抗复合式消声器	198
8.5 微穿孔板消声器	199
8.6 排气喷射消声器	202
8.6.1 小孔喷注消声器	202
8.6.2 节流降压消声器	207
8.6.3 多孔扩散消声器	208
8.6.4 喷雾消声器	209
8.6.5 引射掺冷消声器	210
8.7 干涉式消声器	211
8.7.1 无源干涉式消声器	211
8.7.2 有源消声器	212
8.8 消声器的声学性能与空气动力性能	212
8.8.1 消声器的消声量	213
8.8.2 消声器的空气动力特性	214
8.9 消声器的优化设计	216
8.9.1 概述	216
8.9.2 优化设计理论	217
8.9.3 消声器优化设计实例	220
8.10 消声器的有限元动力学计算	223
8.10.1 有限元动力学分析方法的提出	223
8.10.2 有限元模态分析的理论基础	223
8.11 消声器的实验模态分析	227
8.11.1 实验模态分析概述	227
8.11.2 实验模态分析的理论基础	229
8.11.3 消声器实验模态分析	232
9 风机噪声控制	235
9.1 风机噪声的机理及频率特性	235
9.1.1 空气动力性噪声的机理	235
9.1.2 风机噪声频谱特性分类	236
9.1.3 风机噪声特性的估算	237
9.2 风机噪声控制方案的选择	239
9.2.1 在风机进、出口安装消声器	239
9.2.2 风机安装隔声罩	240
9.2.3 风机综合降噪措施	242
9.3 典型风机噪声的控制实例	242

10 空压机噪声控制	255
10.1 空压机噪声源分析.....	255
10.1.1 进气与排气噪声.....	255
10.1.2 机械性噪声.....	256
10.1.3 电磁噪声.....	256
10.2 空压机噪声的控制方法.....	256
10.2.1 进气口安装消声器.....	256
10.2.2 空压机装隔声罩.....	256
10.2.3 空压机管道的防振降噪.....	257
10.2.4 贮气罐的噪声控制.....	257
10.2.5 空压机站噪声的综合控制.....	257
10.3 工程实例.....	258
11 电动机噪声控制	262
11.1 电动机的噪声源及估算方法.....	262
11.1.1 电动机的噪声源.....	262
11.1.2 电动机噪声的估算.....	262
11.1.3 电动机噪声控制中的温升.....	263
11.2 电动机噪声的控制方法.....	263
11.2.1 合理设计电机结构.....	263
11.2.2 加装消声器.....	264
11.2.3 采用全封闭隔声罩、消声坑.....	265
11.3 工程实例.....	265
12 机床噪声控制	268
12.1 机床噪声源概述.....	268
12.2 齿轮噪声及控制方法.....	268
12.2.1 齿轮噪声.....	268
12.2.2 齿轮噪声的控制方法.....	270
12.3 轴承噪声及控制方法.....	274
12.4 齿轮箱体的噪声及控制方法.....	276
12.5 机床其他元件的噪声及其控制.....	277
12.5.1 带传动噪声及其控制.....	277
12.5.2 链传动噪声及其控制.....	277
12.5.3 凸轮和曲柄连杆机构的噪声及控制.....	278
12.5.4 轴、联轴器、离合器和制动器的噪声及控制.....	279
12.6 机床切削噪声及控制.....	279
12.7 车床噪声控制实例.....	280

12.7.1	噪声源分析	281
12.7.2	降噪措施	285
13	排气设备噪声控制	287
13.1	喷注噪声产生的机理及特性	287
13.2	喷注噪声的估算及控制方法	287
13.3	喷注噪声的控制实例	288
14	粉碎机械设备噪声控制	291
14.1	球磨机噪声的控制实例	291
14.1.1	球磨机噪声的机理特性	291
14.1.2	球磨机噪声的治理途径	291
14.1.3	实例	292
14.2	破碎机的噪声控制实例	294
14.2.1	破碎机的噪声源	294
14.2.2	实例	295
15	凿岩机等风动工具噪声控制	297
15.1	凿岩机噪声的控制实例	297
15.1.1	凿岩机的噪声特性	297
15.1.2	实例	297
15.2	风动工具的噪声和振动控制实例	298
15.2.1	风钻噪声控制实例	298
15.2.2	风钻的振动控制	298
16	木工机床噪声控制	300
16.1	圆锯噪声的控制实例	300
16.1.1	圆锯的噪声源	300
16.1.2	圆锯噪声的控制方法	301
16.1.3	实例	303
16.2	刨床噪声的控制实例	304
16.2.1	刨床噪声源分析	304
16.2.2	刨床噪声的控制方法	305
16.2.3	实例	308
17	冲床噪声控制	310
17.1	冲床噪声源分析	310
17.2	冲床噪声的控制方法	311
17.2.1	噪声源的控制	311

17.2.2 在噪声传播途径上控制噪声	312
17.3 工程实例	313
17.3.1 隔振降噪	314
17.3.2 隔声、吸声	314
17.3.3 隔振、降噪的结果测试	315
18 轧钢圆盘锯切机噪声控制	316
18.1 圆盘锯切机的噪声源及控制方法	316
18.1.1 圆盘锯切机的噪声源	316
18.1.2 圆盘锯噪声的控制方法	317
18.1.3 利用组合锯片降低噪声	317
18.1.4 隔声罩控制圆盘锯噪声	318
18.2 圆盘锯的噪声控制实例	318
19 有源噪声控制的新进展概述	320
19.1 有源噪声控制的发展概述	320
19.1.1 有源噪声控制的提出	320
19.1.2 管道噪声有源控制	321
19.1.3 自适应有源噪声控制	322
19.1.4 有源噪声控制	322
19.1.5 有源力控制	323
19.1.6 有源声学结构	324
19.2 有源噪声控制系统概述	324
19.2.1 有源噪声控制系统	324
19.2.2 决定控制效果的各种因素	325
20 有源噪声控制的工程应用	327
20.1 有源噪声控制技术的主要应用方向	327
20.1.1 有源噪声控制技术在工程中的应用	327
20.1.2 正在发展的有源控制技术	329
20.2 管道噪声有源控制应用实例	330
20.2.1 离心机风扇噪声的有源控制	330
20.2.2 有源消声器应用于车辆排气噪声的有源控制	331
20.3 舱室噪声有源控制应用实例	333
20.3.1 螺旋桨飞机舱室有源噪声控制	333
20.3.2 车厢噪声有源控制	333
20.4 讨论与展望	334
参考文献	336

1 噪声基础知识

1.1 噪声污染

人们在生活、工作和社会活动中离不开声音。声音作为信息，对传递人们的思维和感情起着非常重要的作用。然而有些声音却干扰人们的工作、学习和休息，影响人们的身心健康。如各种车辆通行时嘈杂的声音，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。从声学上讲，人们不需要的声音被称为噪声。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被称为噪声。

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，好像没有后效，即噪声源停止辐射时，噪声立即消失。噪声没有污染物，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。

1.2 声音的产生与传播

1.2.1 声音的产生

噪声和声音有共同的特性，声音来源于物体的振动。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。

1.2.2 声音的传播

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

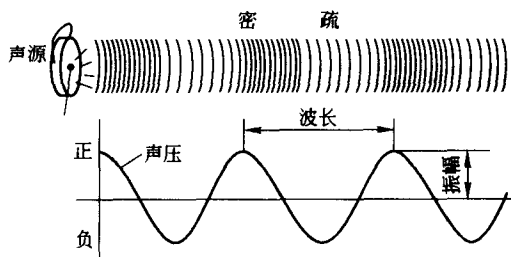


图 1-1 声音的产生和传播

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，只是在它平衡的位置来回振动。声音传播就是物体振动形式

的传播，故声音亦称为声波。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。声波传播的方向称为声线。

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称为波长，或者说，声源振动一次，声波传播的距离称为波长。波长用 λ 表示，单位为米 (m)。声波每秒钟在介质中传播的距离称为声速，用 c 表示，单位为米每秒 (m/s)。每秒钟振动的次数称为频率，用 f 表示，单位为赫兹 (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) 看出，波长、频率和声速三个量中，只要知道其中两个量便可求第三个量。

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 $t < 30^\circ\text{C}$ 时，声速由下式计算：

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

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 纯音的波长。

解：因为 $t > 30^\circ\text{C}$

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

则有

$$T = 273 + 40 = 313\text{K}$$

$$c = 20.05 \sqrt{313} = 355\text{m/s}$$

在 $f = 500\text{Hz}$ ，

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{355}{500} = 0.71\text{m}$$

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)

$$\begin{aligned} c &= 331.5 + 0.61t \\ &= 331.5 + 0.61 \times 20 \\ &= 343.7\text{m/s} \end{aligned}$$

在 1000Hz 时，

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{344}{1000} = 0.344\text{m}$$

例 1-3 试计算 1000Hz 纯音在钢和空气中的波长，并对波长进行比较。

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，则空气中波长为：

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

则有

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

由此看出，钢材中的波长是空气中波长的 14.53 倍。

在常温 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，单位为帕 [斯卡] 秒每米 (Pa · s/m)。声阻抗率（简称声阻）的大小决定着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
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	
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		70	1330	9.3×10^6

1.3 噪声的物理量度

1.3.1 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,单位为帕 (Pa)。通常用声压来衡量声音的强弱。

正常人耳刚能听到的声压是 2×10^{-5} 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,人们经常研究的瞬时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,称为声强。用 I 表示,单位为瓦 [特] 每平方米 (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) 看出,如已知声压可求声强。

声源在单位时间内辐射的总能量称为声功率,通常用 W 表示,单位为瓦 [特] (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。

1.3.2 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, 再有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:

$$L_p = 10 \lg \frac{p^2}{p_0^2}$$

或

$$L_p = 20 \lg \frac{p}{p_0} \quad (1-7)$$

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) 和已知 $I_0 = 10^{-12} \text{W}/\text{m}^2$

则有

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

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, $W_0 = 10^{-12} W$ 。

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 $W_0 = 10^{-12} W$

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

由此可见, 在人耳敏感范围内, 0.2W 的较小声功率将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。

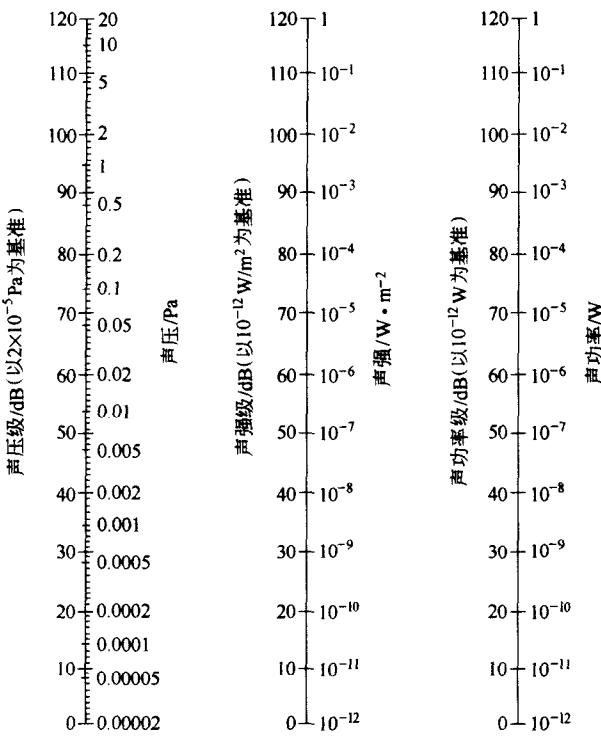


图 1-2 声压、声强、声功率和它们的级的关系

表 1-2 列出了各种声源或噪声环境的声压级, 表 1-3 列出了一些声源或噪声环境的声功率级, 以使人们对声压级、声功率级大小有初步的印象。