



噪声控制技术

第二版

李耀中 李东升 编



化学工业出版社

本书以《噪声控制工程》为基础，结合《噪声控制工程》的出版，本书在2001年出版。本书以《噪声控制工程》为基础，结合《噪声控制工程》的出版，本书在2001年出版。本书以《噪声控制工程》为基础，结合《噪声控制工程》的出版，本书在2001年出版。



噪声控制技术

第二版

李耀中 李东升 编



本书在修订编写过程中

目次 (CIP)

噪声控制技术 / 李耀中、李东升 编

工业出版社 2008.3

ISBN 978-7-132-01975-2

I. 噪... II. ①李... ②李...

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 011453 号

责任编辑：王文文
封面设计：张树德

责任编辑：王文文
封面设计：张树德

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南路13号 邮政编码100011）

印 刷：北京云信印刷有限公司 8开 125千字 2008年3月第1次印刷



化学工业出版社

北京

本书在 2001 年出版的《噪声控制技术》的基础上修订而成。主要介绍噪声控制技术的基本原理和基本方法,包括噪声控制基础、隔声、吸声、消声、隔振与阻尼等,并介绍环境噪声的控制与影响评价、噪声控制实例和实验。在内容编排上力争做到理论与实践相结合,努力突出实践性、应用性。此外,还针对不同的读者对象,提供不同的学习选择内容。在编排形式上,也力求新颖,在主要章节后附加阅读资料,以增加信息量和趣味性。

本书可作为职业院校环境保护与监测专业的教材,也可用于环境类专业技术人员和管理人员在职培训和上岗培训,还可用于其他人员噪声控制技术自学和参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

噪声控制技术/李耀中,李东升编.—2 版.—北京:化学工业出版社,2008.2

ISBN 978-7-122-01975-2

I. 噪… II. ①李…②李… III. 噪声控制 IV. TB535

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 011429 号

责任编辑:王文峡
责任校对:洪雅姝

文字编辑:卓 丽
装帧设计:尹琳琳

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装:北京云浩印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 8 $\frac{1}{4}$ 字数 192 千字 2008 年 3 月北京第 2 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888 (传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:16.00 元

版权所有 违者必究

环境类专业系列教材编审委员会

主任委员

沈永祥 刘德生 律国辉 许 宁

委 员 (按姓氏汉语拼音排序)

蔡庄红 冯 流 傅新华 高洪潮 顾明华

顾 强 黄一石 金万祥 冷宝林 李东升

李广超 李耀中 李志富 刘德生 刘勇志

刘云华 律国辉 秦建华 沈永祥 王瑞芬

王燕飞 谢惠波 许 宁 于淑萍 袁红兰

张慧利 张书圣 庄伟强

再版前言

2000年,在全国石油和化工行业教学指导委员会的支持下,化学工业出版社组建了由全国十几所院校的二十多位专家教师组成的环境类专业教材编委会,于2001年出版了中等职业教育环境类专业系列教材。《噪声控制技术》是其中的一本。本教材自出版以来,受到广大师生的欢迎,实现了多次重印,对职业教育环境类专业的发展起到了一定的作用。同时,使用本书的一些教师也提出了许多宝贵的意见和建议。本教材正是在2001年出版的《噪声控制技术》第一版的基础上,依据目前职业教育发展特点修订而成的。

随着我国科学技术的不断进步、社会的不断发展,职业教育近几年也有了很大的发展,体现在职业教育理念的转变,人才培养目标紧跟社会发展的步伐,能力训练紧贴岗位要求。在这样的新形势下,学生将成为学习的主体,教师将成为主导。而这种角色的转变,不仅对学生、教师提出了更多、更高的要求,同时也对学习过程中使用的教材提出了新的要求。要求教材应充分体现职业教育倡导的以就业为导向、以技能培养为核心、以综合素质培养为灵魂的办学思想,同时还应兼顾学生自我学习的特点。

为了适应这些新情况,更好地满足读者的需求,本书重点对噪声控制技术、标准及其应用进行了更新;删除了一些相对过时的内容;增加了一些必要的噪声标准内容;对文字表述存在的疏漏、错误之处进行了更正。

本书在修订编写过程中,疏漏和不完善之处还希望读者予以指正。

编者

2008年1月

本书共分7章,内容包括噪声控制基础、隔声技术、吸声技术、消声技术、隔振与阻尼、机械噪声的控制与影响评价以及实验实例。本书在内容编排上力求做到理论与实践相结合,力求突出实用性、应用性,体现职业技术教育的特色。此外,针对不同的读者对象,提供了不同的学习进程(有、有、有可不选)。在编排形式上,也力求新颖,在主要章节后附相关材料,以增加信息量和趣味性。

本书由李耀中(编写第1、2、3章)、李永升(编写第4、5、6、7章)编写,李耀中审定。参加审稿的有袁红兰、冯立林、金永祥、刘勇庆、高海超、庄修强、于淑萍、傅国辉、陆志发、李广理、王燕飞等,他们提出了有益的修改意见和建议,在此表示衷心感谢。由于受编者水平所限制,书中一定存在不足之处,希望读者和广大师生提出宝贵意见,批评指正。

编者

2001年3月

第一版前言

环境问题是当代人类普遍关注的全球性问题。随着现代工业生产的迅速发展,对环境污染实施有效控制已变得越来越重要和紧迫;人类的可持续发展成为21世纪国际社会关注的焦点。我国吸取世界上工业化国家“先污染、后治理”的教训,把实现可持续发展作为一项基本国策。而可持续发展战略的实施必须依靠科技进步和环境教育。为满足社会对环境专门人才,特别是具有从事环境保护与监测工作的综合职业能力,在生产、服务、技术和管理第一线工作的高素质劳动者的需求,许多学校先后开设了环境类专业,培养出了一批又一批职业人才。随着高、中等职业教育改革的发展,社会对环境类职业人才专业水平与能力的要求日渐提高,广大院校把进一步提高环境类专业的教学质量作为专业生存和发展的基本前提。更新专业教学内容,强化职业能力培养,提高学生的专业素质,增强学生对职业的适应能力等问题逐渐集中到对传统教学内容和方式的改革上来。专业教学改革对教材提出了全新的要求,而改革的成果又为新教材的诞生提供了充分的素材。

化学工业出版社对近两年职业教育环境类专业的教学改革给予了高度重视和认真研究。2000年春,在全国石油和化工行业教学指导委员会的支持下,化学工业出版社组建了由全国十几所院校的二十多位专家教师组成的环境类专业教材编委会。在对几十所学校的培养规格、教学内容、专业特色等问题进行广泛调研的基础上,编委会组织各校进行了教学文件和手段的交流和研讨,拟订了环境类专业的协作性教学计划。接着对各校现用教材基本情况 and 意见进行了调查和整理,并决定从目前较薄弱的专业基础课和专业课教材入手,开始新一轮教材的编审工作。第一批教材涉及的课程有环境保护基础、大气污染控制技术、水污染控制技术、固体废物处理与利用、噪声控制技术和环境监测。

本套教材充分考虑职业教育对教材的要求,以学生为本,注重对专业素质和能力的培养。在保证专业教学内容科学合理的基础上,结合社会对环境类职业的要求,适当突出了技术传授和能力培养;根据学生兴趣发展,安排了部分自学内容,增强学校与社会、理论与实践之间的衔接。考虑到培养规格和教学内容的不同,学校之间教学重点和特色的区别,教材对课程内容和层次采用模块化拼接,以便于组织教学。

全书共分7章,内容包括噪声控制基础、隔声技术、吸声技术、消声技术、隔振与阻尼、环境噪声的控制与影响评价以及实验实例。本书在内容编排上力争做到理论与实践相结合,努力突出实践性、应用性,体现职业技术教育的特色。此外,针对不同的读者对象,提供了不同的学习选择内容(有*者可不选)。在编排形式上,也力求新颖,在主要章节后附加阅读材料,以增加信息量和趣味性。

本书由李耀中(编写第1、2、3章)、李东升(编写第4、5、6、7章)编写,秦建华主审。参加审稿的有袁红兰、冷宝林、金永祥、刘勇志、高洪超、庄伟强、于淑萍、律国辉、陆志发、李广超、王燕飞等,他们提出了有益的修改意见和建议,在此表示衷心感谢。由于受编者水平的限制,书中一定存在不足之处,希望读者和广大师生提出宝贵意见,批评指正。

编者

2001年3月

目 录

绪论	1
1 噪声控制基础	3
1.1 噪声及其类型	3
1.1.1 声音的产生	3
1.1.2 噪声的概念	4
1.1.3 噪声的类型	4
1.1.4 噪声的危害	5
1.2 噪声的声学特征	6
1.2.1 噪声的物理量度	6
1.2.2 噪声的主观评价	11
1.3 噪声的传播特性	14
1.3.1 声场	15
1.3.2 噪声在传播中的衰减	15
1.3.3 声波的反射	16
1.3.4 声波的干涉	17
1.3.5 声波的折射	17
1.3.6 声波的绕射	17
1.4 噪声控制的基本途径	18
1.4.1 治理噪声源	18
1.4.2 在噪声传播途径上降低噪声	18
1.4.3 接受点防护	19
阅读材料	20
小结	20
思考与练习	20
2 隔声	22
2.1 隔声原理	22
2.1.1 单层均质壁面的隔声原理	22
2.1.2 双层隔声墙的隔声原理	23
2.2 隔声装置	24
2.2.1 隔声罩	24
2.2.2 隔声间	26
2.2.3 隔声屏	28
* 2.3 隔声设计	30
* 2.3.1 单层结构的隔声设计	30
* 2.3.2 双层结构的隔声设计	31

* 2.3.3 多层复合结构的隔声设计	31
* 2.3.4 隔声设计的程序	32
阅读材料	33
小结	35
思考与练习	35
3 吸声	36
3.1 吸声原理	36
3.1.1 多孔吸声材料的吸声原理	36
3.1.2 穿孔板共振吸声结构的吸声原理	37
3.1.3 薄板共振吸声结构的吸声原理	37
3.2 吸声材料	37
3.2.1 吸声材料的种类	38
3.2.2 多孔吸声材料的吸声特性	40
3.2.3 空间吸声体	41
3.3 吸声结构	42
3.3.1 薄板共振吸声结构	42
3.3.2 穿孔板共振吸声结构	42
3.3.3 微孔板共振吸声结构	43
* 3.4 吸声设计	45
* 3.4.1 吸声结构选择与设计的原则	45
* 3.4.2 吸声设计程序	46
* 3.4.3 吸声计算	46
阅读材料	48
小结	49
思考与练习	50
4 消声	51
4.1 消声器性能评价	51
4.1.1 消声器性能评价	51
4.1.2 消声器性能参数	52
4.2 消声器分类及消声机理	53
4.2.1 阻性消声器	54
4.2.2 抗性消声器	57
4.2.3 阻抗复合式消声器	59
4.2.4 微孔板消声器	60
4.2.5 小孔消声器	60
4.2.6 有源消声器	61
4.3 消声设计	61
4.3.1 消声设计原则及方法	61
4.3.2 阻性消声器	62

4.3.3 抗性消声器	64
* 4.3.4 阻抗复合式消声器	66
* 4.3.5 微穿孔板消声器	67
4.4 消声器的选用与安装	67
4.4.1 消声器的选用	67
4.4.2 消声器的安装	69
阅读材料	69
小结	70
思考与练习	71
5 隔振与阻尼	72
5.1 隔振	72
5.1.1 隔振技术概述	72
5.1.2 隔振元件	74
* 5.1.3 隔振元件的选择与设计	77
5.2 阻尼	82
5.2.1 阻尼的基本原理	82
5.2.2 阻尼材料	84
* 5.2.3 阻尼设计的处理	85
阅读材料	86
小结	87
思考与练习	87
6 环境噪声评价与控制	89
6.1 环境噪声评价	89
6.1.1 环境噪声评价概述	89
6.1.2 环境噪声评价的基本程序	89
6.2 噪声控制方案的选定	95
6.2.1 选择原则	95
6.2.2 选择程序	95
小结	95
思考与练习	96
7 噪声控制技术应用	97
7.1 噪声控制技术应用实例	97
7.1.1 工业噪声	97
7.1.2 城市环境噪声	100
7.2 噪声控制技术应用技能训练	102
7.2.1 城市交通环境噪声控制	102
* 7.2.2 化工设备噪声控制	104
小结	106

附录	108
附录 1 中华人民共和国环境噪声污染防治法	108
附录 2 建设环境噪声达标区管理规范	113
附录 3 工业企业厂界噪声标准	115
附录 4 铁路边界噪声限值及其测量方法	116
附录 5 城市区域噪声标准	118
参考文献	120

绪 论

如果聆听一下周围的环境,就会发现其间充斥了各种各样杂乱的声音,有机器的轰鸣声、铁器的碰撞声、汽车喇叭的鸣叫声、飞机掠过天空的轰响声等,它们完全掩盖了自然的声音,是我们所不希望听到的噪声。

所谓噪声,就是人们不需要的声音。它包括杂乱无章的、影响人们工作、休息、睡眠的各种不协调声音,甚至谈话声、脚步声、不需要的音乐声都是噪声。与人们接触时间最长、危害最广泛、治理最困难的噪声是生活和社会活动所产生的噪声。生活噪声虽然不会对人生理危害,但会使人烦躁、心神不定,干扰休息和工作。

1. 噪声控制技术课程的性质和内容

噪声控制技术是声学理论在环境科学中的应用,是一门迅速发展的边缘性应用学科,它涉及机械、建筑、材料、电子、环境、仪器乃至医学等多个领域,呈现多元化的发展趋势。

本课程是环境保护专业的一门重要专业课。全书共分七章,主要学习噪声控制基础知识、隔声技术、吸声技术、消声技术、隔振与阻尼技术以及噪声控制影响评价等内容(打*的内容为选学),并通过噪声控制实例和实验,使学生进一步学习和掌握噪声控制的方法和技术。

通过本门课程的学习,培养学生具有噪声控制仪器设备使用、选型和噪声控制方案选择的能力,掌握隔声、吸声、消声及隔振阻尼等控制技术的原理、特点、计算及应用,学会噪声影响评价的原则方法。

2. 噪声控制技术的发展

随着社会经济科技的发展,环境问题已被国际社会公认为是影响 21 世纪可持续发展的关键性问题,而噪声污染更是成为 21 世纪首要攻克的环境问题之一。人类社会在进步,科技在发展,人们的环境意识也在不断增强。近几年来,在噪声污染控制领域,无论在技术上,还是政策管理方面,都有长足的进步,效果非常显著。从 20 世纪 70 年代到 90 年代,噪声控制技术日益成熟,目前世界上常用的噪声控制技术有消声、吸声、隔声、隔振阻尼等,主要是在声源、噪声传播途径及接受点上进行控制和处理。从噪声源和振动源上进行噪声控制,既是最积极主动、有效合理的措施,也是工业生产中噪声控制的努力方向之一。

有源降噪技术自 1947 年美国 H. F. 奥尔森首次提出后,引起了世界各国的广泛兴趣。1953 年, H. F. 奥尔森等人又提出了“电子吸声器”,并付之实用。20 世纪 60 年代到 70 年代,欧洲一些国家把单个有源消声扩展为多通道系统和组合次级声源,并成功地将其应用于管道消声。1980 年,法国将配有微处理的有源消声器装置应用于 2.2kW 的实验室柴油机,在 20~250Hz 范围内可降低噪声 20dB。

近年来,国内不少大专院校、科研设计单位及工厂企业开展了产品低噪声化研究、实践,深入分析研究各种噪声源的发声机理及其传播途径,研制成功并批量生产了 20 余种低

噪声产品,例如低噪声轴流风机、低噪声离心风机、低噪声罗茨鼓风机等。

噪声控制的进步还体现在政策管理方面,我国早在20世纪70年代就将保护环境确立为一项基本国策,并制定了各种环境规划,努力实现经济效益、社会效益和环境效益相统一。近10年来,国家和地方各级政府建立健全了环境保护管理机构、环境监测管理系统以及环保产品质量监督检验体系,颁布了环境噪声污染防治法和各种噪声与振动限值标准及测量方法,使噪声控制有法可依,有标准可循。可以预计,随着我国国民经济的发展和科学技术水平的不断提高,噪声控制将会有有一个更大的发展。

3. 噪声控制技术课程的学习要求和方法

(1) 学习要求

噪声控制技术是一门理论性和实践性非常强的课程,学习要求如下。

① 掌握噪声的产生、传播和接收的原理、噪声的物理量度、噪声的传播特性、噪声的危害、噪声源的分类、噪声控制的基本途径;

② 掌握噪声测量仪器的使用、测点的选择、测量方法的选择、噪声源声功率级的测量和声压级差的测量;

③ 掌握隔声原理、隔声装置的类型、特点及选择;

④ 掌握消声原理、消声器的类型、特点及选择;

⑤ 掌握吸声原理、吸声材料与结构、了解吸声设计的原则、程序、计算;

⑥ 掌握隔振原理、隔振器的类型及特点,了解隔振设计,掌握阻尼原理及常见阻尼材料的性质;

⑦ 掌握噪声环境影响评价的评价对象、现状调查、评价标度、预测评价以及控制方案的选择;

⑧ 熟练掌握有关噪声监测与控制的操作。

(2) 学习方法

为了学好本门课程,建议学生采用以下学习方法。

① 切实掌握有关课程的相关知识,特别是物理学中的声学知识。本课程还与机械原理、机械设备、材料科学、建筑知识有密切关系,建议在学习时注意;

② 本课程是实践性较强的课程,学习时要特别重视理论联系实际,要多观察、多分析;

③ 在学习的过程中,应注意加强动手能力的培养,掌握常见仪器设备的使用维护方法。

1

噪声控制基础

学习指南

为了了解噪声污染的规律,找到防治噪声污染的有效途径,首先要学习和讨论噪声的发生、类型、危害及传播特征,噪声的物理量度和主观评价等基本概念。学好这些基础知识,对掌握噪声控制技术的基本原理、防治噪声污染、改善生产生活条件有很大的帮助。

1.1 噪声及其类型

随着现代工业、建筑业和交通运输业的迅速发展,各种机械设备、交通运输工具在急剧增加,噪声污染日益严重,它影响和破坏人们的正常工作和生活,危害人体健康,已经成为当今社会四大公害之一。在《中华人民共和国环境噪声污染防治法》中,环境噪声是指在工业生产、建筑施工、交通运输和社会生活中所产生的影响周围生活环境的声音。

1.1.1 声音的产生

在日常生活中充满着各种各样的声音,有谈话声、广播声、各种车辆运动声、工厂的汽笛声和各种机器声等等。人们的一切活动离不开声音,正因为有了声音,人们才能进行交谈,才能从事生产和社会实践活动。如果没有声音,整个世界将处于难以想像的寂静之中。可见声音对人类是非常重要的。那么,声音是怎样产生的呢?空气中的各种声音,不管它们具有何种形式,它们都是由于物体的振动所引起的。敲鼓时听到了鼓声,同时能摸到鼓面的振动。喇叭发出声音是由于纸盆或音膜在振动。人能讲话是由于喉头声带的振动。汽笛声、喷气飞机的轰鸣声,是因为排气时气体振动而产生的。总之,物体的振动是产生声音的根源。发出声音的物体称为声源。声源发出的声音必须通过中间媒质才能传播出去。人们最熟悉的传声媒质就是空气。除了气体外,液体和固体也都能传播声音。

声音是如何通过媒质传播的呢?以音箱的纸盆为例,当声音信号通入音箱时,纸盆在它原来静止位置附近来回振动,带动了它相邻近的空气层质点,使它们产生压缩或膨胀运动。由于空气分子间有一定的弹性,这一局部区域的压缩或膨胀又会影响和促使下一邻近空气层质点发生压缩或膨胀的运动。如此由近及远相互影响,就会把纸盆的这一振动以一定的速度沿着媒质向各方向传播出去。这种振动传到耳朵,引起耳内鼓膜的振动,通过听觉神经使我们感觉到声音。这种向前推进着的空气振动称为声波。有声波传播的空间叫声场。当声振动在空气中传播时空气质点并不被带走,它只是在原来位置附近来回振动,所以声音的传播是指振动的传递。

物体振动产生声音,如果物体振动的幅度随时间的变化如正弦曲线那样,那么这种振动

称为简谐振动。物体作简谐振动时周围的空气质点也作简谐振动。物体离开静止位置的距离称位移 x ，最大的位移叫振幅 a ，简谐振动位移与时间的关系可表示为 $x = a \sin(2\pi ft + \varphi)$ ，其中 f 为频率， $(2\pi ft + \varphi)$ 叫简谐振动的位相角或周相，它是决定物体运动状态的重要物理量， φ 表示 $t=0$ 时的位相角叫初位相。振幅 a 的大小决定了声音的强弱。

物体在 1s 内振动的次数称为频率，单位为赫兹 (Hz)，简称赫。每秒钟振动的次数愈多，其频率愈高，人耳听到的声音就愈尖，或者说音调愈高。人耳并不是对所有频率的振动都能感受到的。一般说来，人耳只能听到频率为 20~20000Hz 的声音，通常把这一频率范围的声音叫音频声。低于 20Hz 的声音叫次声，高于 20000Hz 的声音叫超声。次声和超声人耳都不能听到，但有一些动物却能听到，例如老鼠能听到次声，蝙蝠能感受到超声。

振动在媒质中传播的速度叫声速。在任何一种媒质中的声速取决于该媒质的弹性和密度。声音在空气中的传播速度还随空气温度的升高而增加。声音在不同媒质中传播的速度也是不同的，在液体和固体中的传播速度一般要比在空气中快得多，例如在水中声速为 1450m/s，而在钢中则为 5000m/s。

声波中两个相邻的压缩区或膨胀区之间的距离称为波长 λ ，单位为米 (m)。波长、频率和速度间存在如下的关系

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

其中 T 为周期，是物体来回振动一次所需的时间。因此波长是声音在一个周期的时间中所行进的距离。波长和频率成反比，频率愈高、波长愈短；频率愈低，波长愈长。

1.1.2 噪声的概念

物体的振动能产生声音，声波经空气媒介的传递使人耳感觉到声音的存在。但是，人们听到的声音有的很悦耳，有的却很难听甚至使人烦躁，那是什么道理呢？从物理学的角度讲，声音可分为乐音和噪声两种。当物体以某一固定频率振动时，耳朵听到的是具有单一音调的声音，这种以单一频率振动的声音称为纯音。但是，实际物体产生的振动是很复杂的，它是由各种不同频率的许多简谐振动所组成的，把其中最低的频率称为基音，比基音高的各频率称为泛音。如果各次泛音的频率是基音频率的整数倍，那么这种泛音称为谐音。基音和各次谐音组成的复合声音听起来很和谐悦耳，这种声音称为乐音。钢琴、提琴等各种乐器演奏时发出的声音就具有这种特点。这些声音随时间变化的波形是有规律的，而它所包含的频率成分中基音和谐音之间成简单整数比。所以凡是有规律振动产生的声音就叫乐音。

如果物体的复杂振动由许许多多频率组成，而各频率之间彼此不成简单的整数比，这样的声音听起来就不悦耳也不和谐，还会使人产生烦躁情绪。这种频率和强度都不同的各种声音杂乱地组合而产生的声音就称为噪声。图 1-1 是乐音与噪声的波形及其频谱。各种机器噪声之间的差异就在于它所包含的频率成分和其相应的强度分布都不相同，因而使噪声具有各种不同的种类和性质。从环境和生理学的观点分析，凡使人厌烦的、不愉快的和不需要的声音都统称为噪声，它包括危害人们身体健康的声音，干扰人们学习、工作和休息的声音及其他不需要的声音。

1.1.3 噪声的类型

一般来说，噪声主要分为过响声、妨碍声、不愉快声、无影响声等几类。过响声是指很响的声音，如喷气发动机排气声，大炮射击的轰鸣声等。妨碍声是指一些声音虽不太响但它

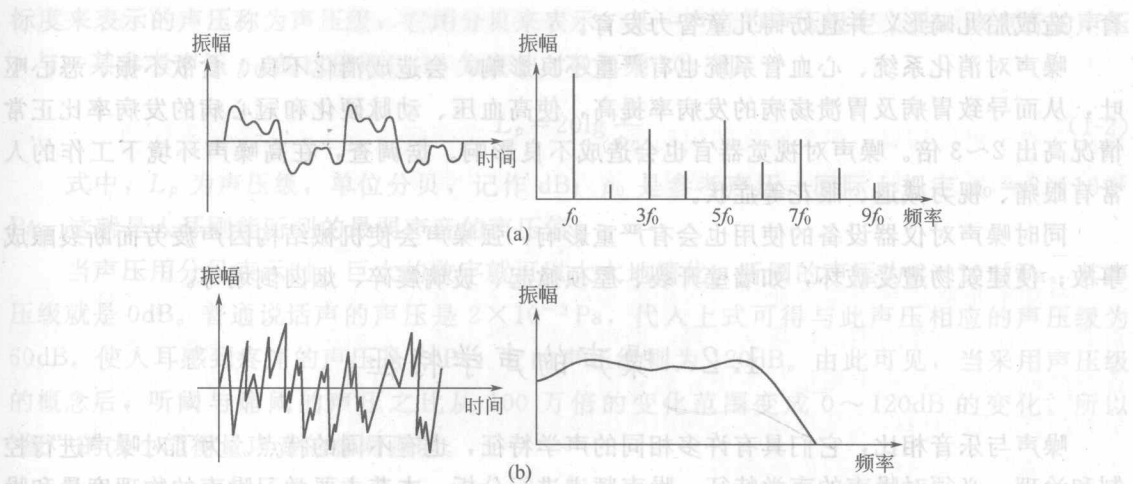


图 1-1 乐音与噪声的波形及其频谱

(a) 乐音(单簧管)的波形及其频谱; (b) 噪声的波形及其频谱

妨碍人们的交谈、思考、学习和睡眠的声音。如摩擦声、刹车声、吵闹声等噪声称为不愉快声。人们生活中习以为常的如室外风声、雨声、虫鸣声等声音称为无影响声。

根据噪声源的不同,噪声可分为工业噪声、交通噪声和生活噪声三种。

工业噪声是指工厂在生产过程中由于机械震动、摩擦撞击及气流扰动产生的噪声。例如化工厂的空气压缩机、鼓风机和锅炉排气放空时产生的噪声,都是由于空气振动而产生的气流噪声。球磨机、粉碎机和织布机等产生的噪声,是由于固体零件机械振动或摩擦撞击产生的机械噪声。

交通噪声是指飞机、火车、汽车和拖拉机等交通运输工具在飞行和行驶中所产生的噪声。

生活噪声是指街道以及建筑物内部各种生活用品设备和人们日常活动所产生的噪声。

工业噪声、城市交通噪声和生活噪声也是构成环境噪声的三个主要来源。噪声使人感到烦躁,强的噪声还会给人体健康带来危害。

1.1.4 噪声的危害

噪声的危害是多方面的,噪声不仅对人们正常生活和工作造成极大干扰,影响人们交谈、思考,影响人的睡眠,使人产生烦躁情绪、反应迟钝,工作效率降低,分散人的注意力,引起工作事故,而且使人的听力和健康受到损害。噪声的强度愈大、频率愈高、作用时间愈长、个人耐力愈小,则危害愈严重。据统计资料表明,80dB(A)以下的噪声不会引起噪声性耳聋;80dB(A)~85dB(A)的噪声会造成轻微的听力损伤;85dB(A)~100dB(A)的噪声会造成一定数量的噪声性耳聋;而在100dB(A)以上时,会造成相当大数量的噪声性耳聋。人在没有思想准备的情况下,强度极高的爆震性噪声(如突然放炮、爆炸时)可使听力在一瞬间永久丧失,即产生爆震性耳聋,这时,人的听觉器官将遭受严重创伤。

噪声对人体健康的影响是多方面的。噪声作用于人的中枢神经系统,使人们大脑皮层的兴奋与抑制平衡失调,导致条件反射异常,使脑血管张力遭到损害。这些生理上的变化,在早期能够恢复原状,但时间一久,就会导致病理上的变化,使人产生头痛、脑胀、耳鸣、失眠、心慌、记忆力衰退和全身疲乏无力等症状。噪声作用于中枢神经系统还会影响胎儿发

育,造成胎儿畸形,并且妨碍儿童智力发育。

噪声对消化系统、心血管系统也有严重不良影响,会造成消化不良、食欲不振、恶心呕吐,从而导致胃病及胃溃疡病的发病率提高,使高血压、动脉硬化和冠心病的发病率比正常情况高出2~3倍。噪声对视觉器官也会造成不良影响。据调查,在高噪声环境下工作的人常有眼痛、视力减退、眼花等症状。

同时噪声对仪器设备的使用也会有严重影响,强噪声会使机械结构因声疲劳而断裂酿成事故;使建筑物遭受破坏,如墙壁开裂、屋顶掀起、玻璃震碎、烟囱倒塌等。

1.2 噪声的声学特征

噪声与乐音相比,它们具有许多相同的声学特征,也有不同的特点。为了对噪声进行控制和治理,必须对噪声的声学特征、噪声频谱进行分析。本节主要学习噪声的物理量和噪声的主观评价量,包括声压、声强、声功率、声压级、声强级、声功率级、分贝、响度和响度级等基本概念。

1.2.1 噪声的物理量度

1.2.1.1 声压与声压级

当没有声波存在、大气处于静止状态时,其压强为大气压强 p_0 。当有声波存在时,局部空气产生压缩或膨胀,在压缩的地方压强增加,在膨胀的地方压强减少,这样就在原来的大气压上又叠加了一个压强的变化。这个叠加上去的压强变化是由于声波而引起的,称为声压,用 p 表示。一般情况下,声压与大气压相比是极弱的。声压的大小与物体的振动有关,物体振动的振幅愈大,则压强的变化也愈大,因而声压也愈大,听起来就愈响,因此声压的大小表示了声波的强弱。

当物体作简谐振动时,空间各点产生的声压也是随时间作简谐变化,某一瞬间的声压称为瞬时声压。在一定时间间隔中将瞬时声压对时间求方均根值即得有效声压。一般用电子仪器测得的声压即是有效声压。因此习惯上所指的声压往往是指有效声压,用 p_e 表示,它与声压幅值 p_A 之间的关系为 $p_e = p_A / \sqrt{2}$ 。

衡量声压大小的单位在国际单位制中是帕斯卡,简称帕,符号是Pa。

日常生活中所遇到的各种声音,其声压数据举例如下。

正常人耳能听到的最弱声音	$2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$	织布车间	2Pa
普通说话声(1m远处)	$2 \times 10^{-2} \text{ Pa}$	柴油发动机、球磨机	20Pa
公共汽车内	0.2Pa	喷气飞机起飞	200Pa

从以上列举的数据可以看到,正常人耳能听到的最弱声压为 $2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$,称为人耳的“听阈”。当声压达到20Pa时,人耳就会产生疼痛的感觉,20Pa为人耳的“痛阈”。“听阈”与“痛阈”的声压之比为一百万倍。

由于正常人耳能听到的最弱声音的声压和能使人耳感到疼痛的声音的声压大小之间相差一百万倍,表达和应用起来很不方便。同时,实际上人耳对声音大小的感受也不是线性的,它不是正比于声压绝对值的大小,而是同它的对数近似成正比。因此如果将两个声音的声压之比用对数的标度来表示,那么不仅应用简单,而且也接近于人耳的听觉特性。这种用对数

标度来表示的声压称为声压级, 它用分贝来表示。某一声音的声压级定义是: 该声音的声压 p 与一某参考声压 p_0 的比值取以 10 为底的对数再乘 20, 即

$$L_p = 20 \lg \frac{p}{p_0} \quad (1-2)$$

式中, L_p 为声压级, 单位分贝, 记作 dB; p_0 是参考声压, 国际上规定 $p_0 = 2 \times 10^{-5}$ Pa, 这就是人耳刚能听到的最弱声音的声压值。

当声压用分贝表示时, 巨大的数字就可以大大地简化。听阈的声压为 2×10^{-5} Pa, 其声压级就是 0dB。普通说话声的声压是 2×10^{-2} Pa, 代入上式可得与此声压相应的声压级为 60dB。使人耳感到疼痛的声压是 20Pa, 它的声压级则为 120dB。由此可见, 当采用声压级的概念后, 听阈与痛阈的声压之比从 100 万倍的变化范围变成 0~120dB 的变化。所以“级”的大小能衡量声音的相对强弱。

1.2.1.2 声强与声强级

声波的强弱可以用好几种不同的方法来描述, 最方便的一般是测量它的声压, 这要比测量振动位移、振动速度更方便更实用。但是有时却需要直接知道机器所发出噪声的声功率, 这时就要用声能量和声强来描述。

任何运动的物体包括振动物体在内都能够做功, 通常说它们具有能量, 这个能量来自振动的物体, 因此声波的传播也必须伴随着声振动能量的传递。当振动向前传播时, 振动的能量也跟着转移。在声传播方向上单位时间内垂直通过单位面积的声能量, 称为声音的强度或简称声强, 用 I 表示, 单位是 W/m^2 。声强的大小可用来衡量声音的强弱, 声强愈大, 人耳听到的声音愈响; 声强愈小, 人耳感觉的声音愈轻。声强与离开声源的距离有关, 距离越远, 声强就越小。例如火车开出月台后, 愈走愈远, 传来的声音也愈来愈轻。

与声压一样, 声强也可用“级”来表示, 即声强级 L_I , 它的单位也是分贝 (dB), 定义为

$$L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0} \quad (1-3)$$

其中 I_0 为参考声强, $I_0 = 10^{-12} W/m^2$, 它相当于人耳能听到最弱声音的强度。

声强级与声压级的关系是

$$L_I = L_p + 10 \lg \frac{400}{\rho c} \quad (1-4)$$

媒质的 ρc 随媒介的温度和气压而改变。如果在测量条件时恰好 $\rho c = 400$, 则 $L_I = L_p$ 。

对一般情况, 声强级与声压级相差一修正项 $10 \lg \frac{400}{\rho c}$, 数值是比较小的。

例如在室温 20℃ 和标准大气压下, 声强级比声压级约小 0.1dB, 这个差别可略去不计, 因此在一般情况下认为声强级与声压级的值相等。

1.2.1.3 声功率与声功率级

声功率为声源在单位时间内辐射的总能量, 用符号 W 表示, 通常采用瓦 (W) 作为声功率的单位。声强和声源辐射的声功率有关, 声功率愈大, 在声源周围的声强也大, 两者成正比, 它们的关系为

$$I = \frac{W}{S} \quad (1-5)$$