



教育部高职高专规划教材

噪声控制技术

► 李耀中 主编

535
19

化学工业出版社
教材出版中心

教育部高职高专规划教材

噪声控制技术

李耀中 主编



化学工业出版社
教材出版中心
· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

噪声控制技术/李耀中主编. —北京: 化学工业出版社,
2004.3

教育部高职高专规划教材

ISBN 7-5025-5003-8

I. 噪… II. 李… III. 噪声控制-高等学校: 技术学
院-教材 IV. TB535

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 010105 号

教育部高职高专规划教材

噪声控制技术

李耀中 主编

责任编辑: 王文峡

文字编辑: 刘莉珺

责任校对: 陈 静 边 涛

封面设计: 于 兵

*

化学工业出版社
教材出版中心

出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

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

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 10 字数 229 千字

2004 年 3 月第 1 版 2005 年 5 月北京第 2 次印刷

ISBN 7-5025-5003-8/G · 1312

定 价: 18.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

高职高专环境教材

编审委员会

顾问

刘大银

主任委员

沈永祥

副主任委员

李居参 许 宁 王文选 王红云

委员

(按姓氏汉语拼音排序)

白京生	陈 宏	冯素琴	傅梅绮	付 伟
顾 玲	郭 正	何际泽	何 洁	扈 畅
胡伟光	蒋 辉	金万祥	冷士良	李党生
李东升	李广超	李 弘	李洪涛	李居参
李旭辉	李耀中	李志富	牟晓红	司 颐
宋鸿筠	苏 炜	孙乃有	田子贵	王爱民
王春莲	王红云	王金梅	王文选	王小宝
王小平	王英健	魏振枢	吴国旭	徐忠娟
许 宁	薛叙明	杨保华	杨永红	杨永杰
尤 峥	于淑萍	于宗保	袁秋生	岳钦艳
张柏钦	张洪流	张慧利	张云新	赵连俊
智恒平	周凤霞	朱惠斌	朱延美	庄伟强

出版说明

高职高专教材建设工作是整个高职高专教学工作中的重要组成部分。改革开放以来,在各级教育行政部门、有关学校和出版社的共同努力下,各地先后出版了一些高职高专教育教材。但从整体上看,具有高职高专教育特色的教材极其匮乏,不少院校尚在借用本科或中专教材,教材建设落后于高职高专教育的发展需要。为此,1999年教育部组织制定了《高职高专教育专门课课程基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》),通过推荐、招标及遴选,组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师,成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍,并在有关出版社的积极配合下,推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种,用5年左右时间完成。这500种教材中,专门课(专业基础课、专业理论与专业能力课)教材将占很高的比例。专门课教材建设在很大程度上影响着高职高专教学质量。专门课教材是按照《培养规格》的要求,在对有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上,充分吸取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的。这套教材充分体现了高等职业教育的应用特色和能力本位,调整了新世纪人才必须具备的文化基础和技术基础,突出了人才的创新素质和创新能力的培养。在有关课程开发委员会组织下,专门课教材建设得到了举办高职高专教育的广大院校的积极支持。我们计划先用2~3年的时间,在继承原有高职高专和成人高等学校教材建设成果的基础上,充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验,解决新形势下高职高专教育教材的有无问题;然后再用2~3年的时间,在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,通过研究、改革和建设,推出一大批教育部高职高专规划教材,从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

本套教材适用于各级各类举办高职高专教育的院校使用。希望各用书学校积极选用这批经过系统论证、严格审查、正式出版的规划教材,并组织本校教师以对事业的责任感对教材教学开展研究工作,不断推动规划教材建设工作的发展与提高。

教育部高等教育司

2001年4月3日

前 言

· · · · · ·

本教材根据高职高专环境专业教材编写委员会制定的《噪声控制技术》教学大纲编写。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、噪声环境影响评价、噪声测量以及实验训练。本书在内容编排上注重理论与实践的结合,突出实践性、应用性,体现了高等职业技术教育的特色。此外,针对不同的读者对象,还提供选择学习的内容(打*部分为选学内容)。在编排形式上,也力求方便读者,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(第1、2、3章)、李东升(第4、5章)、吴国旭(第6、7章)编写,李耀中主编,江苏工业学院朱红星主审。由于编者水平所限,再加上时间仓促,教材中一定存在许多不足之处,希望读者和广大师生提出宝贵意见。在本书的编写过程中,常州工程职业技术学院的许多老师提出了有益的修改意见和建议,在此表示衷心的感谢。

编者

2004年1月

内 容 提 要

本书主要介绍噪声污染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、噪声测量、噪声环境影响评价及噪声控制实验。在内容编排上力争做到理论与实践的结合,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(打*部分为选学内容)。在编排形式上,也力求新颖、方便读者,在主要章节后附加阅读材料,以增加信息量和趣味性。

本书为高等职业技术院校环境类专业教材,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教材,也可作为其他人员学习噪声控制技术的自学和参考用书。

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	5
1.1.4 噪声的危害	6
1.2 噪声的声学特征	6
1.2.1 噪声的物理量度	7
1.2.2 噪声的主观评价	12
1.3 噪声的传播特性	17
1.3.1 声场	17
1.3.2 噪声在传播中的衰减	18
1.3.3 声波的反射	19
1.3.4 声波的干涉	20
1.3.5 声波的折射	20
1.3.6 声波的绕射	20
1.4 噪声控制的基本途径	21
1.4.1 治理噪声源	21
1.4.2 在噪声传播途径上降低噪声	22
1.4.3 接受点防护	23
阅读材料	24
本章小结	24
思考与练习	24
2 隔 声	26
2.1 隔声原理	26
2.1.1 单层均质壁面的隔声原理	27
2.1.2 双层隔声墙的隔声原理	28

2.2	隔声装置	28
2.2.1	隔声罩	28
2.2.2	隔声间	31
2.2.3	隔声屏	34
* 2.3	隔声设计	36
2.3.1	单层结构的隔声设计	36
2.3.2	双层结构的隔声设计	37
2.3.3	多层复合结构的隔声设计	37
2.3.4	隔声设计的程序	38
	阅读材料	39
	本章小结	41
	思考与练习	41
3	吸 声	42
3.1	吸声原理	42
3.1.1	多孔吸声材料的吸声原理	43
3.1.2	穿孔板共振吸声结构的吸声原理	43
3.1.3	薄板共振吸声结构的吸声原理	44
3.2	吸声材料	44
3.2.1	吸声材料的种类	45
3.2.2	多孔吸声材料的吸声特性	48
3.2.3	空间吸声体	49
3.3	吸声结构	49
3.3.1	薄板共振吸声结构	50
3.3.2	穿孔板共振吸声结构	50
3.3.3	微孔板共振吸声结构	52
* 3.4	吸声设计	54
3.4.1	吸声结构选择与设计的原则	54
3.4.2	吸声设计程序	55
3.4.3	吸声计算	55
	阅读材料	58
	本章小结	59
	思考与练习	59
4	消 声	61
4.1	消声原理	61

4.1.1	消声器性能评价	61
4.1.2	消声机理	62
4.1.3	消声性能参数	64
4.2	消声器	66
4.2.1	阻性消声器	66
4.2.2	抗性消声器	71
4.2.3	阻抗复合消声器	74
4.3	消声器的选用与安装	75
4.3.1	消声器的选用	75
4.3.2	消声器的安装	77
	阅读材料	78
	本章小结	78
	思考与练习	79

5 隔振与阻尼

5.1	隔振原理	80
5.1.1	振动概述	80
5.1.2	隔振基本原理	81
5.1.3	传振系数	82
5.2	隔振元件	82
5.2.1	金属弹簧隔振器	82
5.2.2	橡胶隔振器	83
5.2.3	隔振垫	85
5.2.4	管道柔性接管	87
5.2.5	其他隔振元件	88
5.3	隔振设计	88
5.3.1	隔振元件的选择	88
* 5.3.2	隔振设计	90
5.4	阻尼原理	92
5.4.1	阻尼的基本原理	93
5.4.2	阻尼材料	96
	阅读材料	97
	本章小结	98
	思考与练习	98

6 噪声环境影响评价

6.1	噪声控制标准	100
-----	--------------	-----

6.1.1	国内标准	100
6.1.2	国外标准	103
6.2	噪声影响评价	105
6.2.1	评价对象和内容	105
6.2.2	评价工作程序	105
6.2.3	评价等级划分	106
6.2.4	现状调查	107
6.2.5	预测评价	108
	本章小结	111
	思考与练习	111
7	噪声的测量	112
7.1	噪声的测量仪器	112
7.1.1	噪声基本测量系统	112
7.1.2	声级计	113
7.1.3	滤波器	115
7.1.4	频谱分析仪	115
7.1.5	电平记录仪与磁带记录仪	116
7.1.6	实时分析和快速分析系统	116
7.2	噪声声功率级的测量	119
7.2.1	自由声场法	119
7.2.2	混响场法	120
7.3	环境噪声的测量	120
7.3.1	城市区域环境噪声测量	120
7.3.2	城市交通噪声监测	121
7.3.3	工业企业噪声测量方法	122
7.3.4	机场周围飞机噪声测量方法	122
	本章小结	124
	思考与练习	124
8	实验训练	125
	实验一 噪声测定仪器的使用和环境噪声测量	125
	实验二 城市交通噪声控制	126
	实验三 化工设备噪声控制	128
	附 录	131
	附录一 中华人民共和国环境噪声污染防治法	131

附录二 建设环境噪声达标区管理规范	138
附录三 工业企业厂界噪声标准	141
主要参考文献	143

绪 论

人们周围的环境，充斥着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，这些声音是人们所不希望听到的噪声。

所谓噪声，就是人们不需要的声音。它包括杂乱无章的和影响人们工作、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产生生理危害，但会使人烦躁、心神不定，以致干扰休息和工作。

(1) 本课程的性质和内容

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。

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、选型和噪声治理方案选择的能力，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了 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，无论在技术方面，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，噪声控制技术发展日益成熟，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，是最积极主动、有效合理的措施，将成为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, 英国、法国、前苏联等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。

噪声污染控制的进步还体现在噪声控制的政策管理方面, 中国早在 20 世纪 70 年代就将环境保护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) 本课程的学习要求和方法

该课程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系统。

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。

噪声控制基础

学习指南

本章主要讨论噪声的产生、类型、危害、传播特征及其物理量度和主观评价等基本概念,从而了解噪声污染的规律,找到治理噪声污染的有效途径。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条例》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环境的声。

1.1.1 声音的产生

在人们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、工厂的各种机器声等。人们的一切活动离不开声音,正因为有了声音,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、
3
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 $x = \sin(2\pi ft + \phi)$,其中 f 为频率, $(2\pi ft + \phi)$ 叫简谐振动的相位角,它是决定物体运动状态的重要物理量, ϕ 表示 $t=0$ 时的相位角,叫初相位。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,符号为 Hz。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 m。波长、频率和速度间存在如下的关系:

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

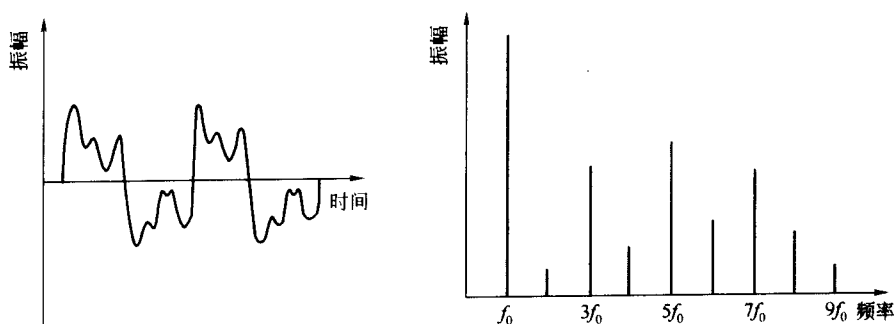
其中 T 为周期,是物体来回振动一次所需的时间。因此波长是声音在一个周期的时间中所行进的距离。波长和频率成反比,频率愈高,波长愈短;频率愈低,波长愈长。

1.1.2 噪声的概念

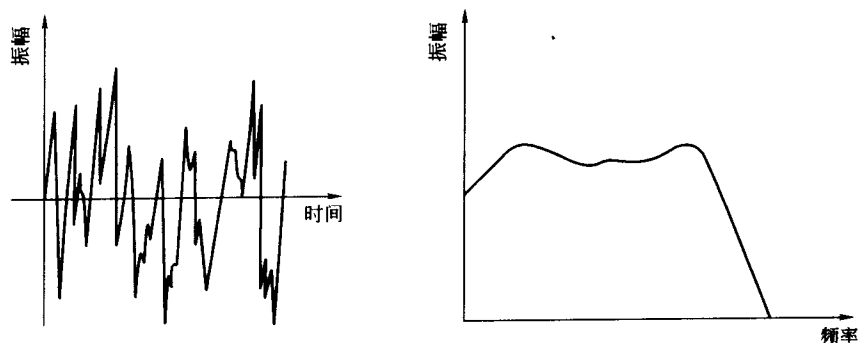
4 物体的振动能产生声音,声波经空气媒介的传递使人耳感觉到声音的存在。但是,人们听到的声音有的很悦耳,有的却很难听甚至使人烦躁,那是什么道理呢?从物理学的角度讲,声音可分为乐音和噪声两种。当物体以某一固定频率振动时,耳朵听到的是具有单一音调的声音,这种以单一频率振动的声音称为纯音。但是,实际物体产生的振动是很复杂的,它是由各种不同频率的许多简谐振动所组成的,把其中最低的频率称为基音,比基音高的各频率称为泛音。如果各次泛音的频率是基音频率的整数倍,那么这种泛音称为谐

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。这种频率和强度都不同的各种声音的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。



(a) 乐音（单簧管）的波形及其频谱



(b) 噪声的波形及其频谱

图 1-1 乐音与噪声的波形及其频谱

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妨碍人们的交谈、思考、学习和睡眠的声音。像摩擦声、刹车声、吵闹声等噪声称为