

“十二五”国家重点图书出版规划项目
现代声学科学与技术丛书

工程噪声控制

——理论和实践 (第4版)

Engineering Noise Control:
Theory and Practice (Fourth Edition)

[澳] D.A.比斯 C.H.汉森 著

邱小军 于淼 刘嘉俊 译校



科学出版社

014008981

TB535
23

“十二五”国家重点图书出版规划项目
现代声学科学与技术丛书

工程噪声控制——理论和实践

Engineering Noise Control: Theory and Practice

(第4版)
(Fourth Edition)

[澳] D. A. 比斯 C. H. 汉森 著
邱小军 于 森 刘嘉俊 译校



科学出版社

北京



北航

C1696006

TB 535

23

图字: 01-2012-4783 号

内 容 简 介

工程噪声控制实践要求对声学基础知识、当今噪声控制技术的实际应用和其内在的原理概念有深刻的理解。经完整修订并更新的第4版《工程噪声控制》详细深入地解释这些关键的知识、技术应用和原理概念。第4版的新内容反映了噪声控制各领域专家在其领域的最新进展,具体包括:完全更新了传输损失、消声器和排气烟囱指向性章节;添加了实用数值声学的新章节;详细介绍了最新测量和分析仪器。

作为高年级本科生或者那些已经熟悉噪声控制科学和工程的读者的必备读物,本书特色鲜明,可用于解决噪声与振动咨询者、工程师和职业环境卫生管理者在实际工作中遇到的问题。

© 2009, Bies D. A. and Hansen C. H.

图书在版编目(CIP)数据

工程噪声控制——理论和实践(第4版) / (澳) 比斯(Bies, D. A.), (澳) 汉森(Hansen, C. H.) 著; 邱小军, 于森, 刘嘉俊译校. —北京: 科学出版社, 2013

(现代声学科学与技术丛书)

书名原文: Engineering Noise Control: Theory and Practice(Fourth Edition)

ISBN 978-7-03-038758-5

I. ①工… II. ①比…②汉…③邱… III. ①噪声控制 IV. ①TB535

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 233270 号

责任编辑: 刘凤娟 / 责任校对: 桂伟利

责任印制: 赵德静 / 封面设计: 陈 敬

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>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013年10月第一版 开本: 720×1000 1/16

2013年10月第一次印刷 印张: 42 1/4

字数: 820 000

定价: 148.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

出版

南京大学



“985工程”项目

ZISEN 正升

四川正升声学科技有限公司
部分资助出版



《现代声学科学与技术丛书》编委会

主 编：田 静

执行主编：程建春

编 委：（按姓氏拼音排序）

陈伟中 陈 宇 邓明晰 侯朝焕

李晓东 林书玉 刘晓峻 吕亚东

马远良 钱梦騷 邱小军 孙 超

王威琪 谢菠荪 杨德森 杨土莪

张海澜 张仁和 张守著

中译本前言

能有幸看到自己所著的科技书籍被译成中文正式出版的作者并不多。我特别感激我非常能干的朋友和同行、现任南京大学声学研究所所长邱小军教授，他提出了这个想法，然后组织翻译，并仔细检查、修正、校对所翻译的版本，确保中文版准确反映原著。我还要感谢于森女士和刘嘉俊先生，他们承担了大部分翻译工作，并在短短的几个月内完成了任务——这真是了不起！

我也向四川正升声学科技有限公司表达由衷的感谢，他们出资部分赞助了这个译本的翻译出版。这家公司是中国领先的噪声和振动控制公司，由真正具有远见的人领导。他们不仅提供创新性的噪声和振动控制咨询服务，而且还生产制造所需的噪声控制设备。

我一直有个愿望，希望这本书能为中国未来噪声和振动控制专家的教育提供一个有用的基础。所有工业化国家都需要这样的人才以及他们的公司，这是因为如果对人们活动所产生的噪声不加控制和约束并任由其发展下去的话，它们可能导致严重的健康问题和社会问题。中国未来 50 年会有巨大科技成果，本书所面对的那群中国读者，将“完善这些科技成果并被社会认可”的领域做出贡献。

C. H. 汉森
2011 年 7 月

原书前言

虽然第4版遵循了已出版的第1、第2和第3版相同的风格和版式,但内容上进行了大量更新和扩展。出版第4版一方面是反映自第3版出版以来6年间声学实践及相关技术的巨大进展,另一方面是响应很多噪声控制工程实践人员和学生对本书提出的改进措施、修正意见、建议和疑问。本版增加的主要内容概述如下。书中还有许多其他小的增加和修正,这里不一一列出。

本版重点在于传统无源噪声控制方法,第2版和第3版中关于有源噪声控制的章节被替换为关于实用数值声学的章节,介绍如何利用免费、开源软件来解决某些较难的声学问题,而采用理论分析解决这些问题则非常复杂。之所以删掉有源噪声控制这一章,一方面原因是本书版面有限,另一方面原因是 Colin H. Hansen 出版的《理解有源噪声控制》一书已提供了更全面和有用的相关知识。

第1章更新了柔性管道中声速的内容,采用对固体、液体和气体更统一的处理方法改写了整个有关声速的部分。

第2章更新了听力损伤机制方面的最新发现。

第3章进行了大量更新和扩展,包括关于使用各种仪器时预期测量精度和误差的讨论,关于利用近场声全息和波束形成方法进行噪声源定位的更先进仪器的讨论。全面改写了关于频谱分析仪和录音设备的讨论以反映更现代的仪器。

第4章更新并改写了有关环境噪声评价的章节。

第5章增加的内容包括更好地定义了入射太阳辐射,以确定由气象效应引起的逾量衰减。改写了5.11节中关于户外声传播部分的许多地方,以澄清第3版中的若干模糊概念。扩展了对振动球偶极子声源的处理方法*。

在第7章中,大幅扩充了听觉上语言可懂度内容,增加了扩声系统设计指南。在声场的低频分析中,除了矩形房间,还考虑了圆柱形房间。扩充了房间常数测量方法的相关部分,并对其进行了更清晰的解释。在厅堂部分,增加了教室中最佳混响时间的讨论。

第8章修正了关于STC和计权隔声指数的讨论,将单层各向同性薄板传输损失的预测方案扩展到共振和劲度控制范围的低频。重新修正了预测双层墙传输损失的Davy方法。新版书中的讨论解释了如何计算多叶和复合薄板的传输损失。多叶板指的是相同材料构成的不同层(或叶)薄板用各种方式连接在一起,而复合

* 译者注:第6章没有什么变化,保持前一版的内容。

板指的是两叶不同材料刚性黏结在一起。加入了计算狭小裂缝的传输损失的步骤,如具有密封条的门周围的狭缝。增加了侧向传输计算的部分,以计算通过吊顶的侧向传输。按照 ISO9613-2 标准重新改写了屏障插入损失的计算部分,力图更清晰地反映该标准。此外,给出了计算经声屏障边界声衍射的路径长度的表达式。

第 9 章增加了许多内容:旁支共振器和膨胀室的传输损失计算(在已有插入损失计算基础上);更细致、更精确地分析了亥姆霍兹共振器,包括如何更好地估算颈部有效长度;扩充了高阶模态传播的讨论,给出了圆形截面管道模态截止频率的表达式;提供了用于计算送气通风室传输损失的若干新模型;给出了排气管指向性的更详细的处理方法。

第 10 章除了讨论螺旋弹簧中的颤动现象外,还增加了弹簧质量对隔振系统共振频率的影响;修正并扩充了吸振器的处理方法,增加了对振动平衡器的讨论,并给出了各种结构的性能曲线;扩展了双级隔振的处理方法并给出了无量纲曲线,以估计各种参数对隔振性能的影响。

第 11 章没有变化。第 12 章用以前版本的第 13 章替换,以前版本第 13 章的内容作为已大幅扩充的实用数值声学这一章的引言,这一章由霍华德(Carl Howard)博士执笔。本版的第 12 章涵盖了利用边界元法、有限元法和 MATLAB 对复杂声学问题的分析。该章重点并不在这些分析方法的理论方面,而在于各种软件的实际应用,其中包括介绍一个免费开源的边界元软件。

附录 A 在第 1 版中提供了一些示例问题,本版中被替换为波动方程的简单推导。特别针对本书设计的各种示例问题集可以在以下网站免费获得:<http://www.causalsystems.com>。

附录 B 已更新和扩充,包含了更多材料及其特性。附录 C 中,扩充并阐明了如何利用阻抗管测量流阻。拓展了多孔玻璃纤维和石棉材料的声阻抗表达式,使之适用于聚酯纤维材料和塑料泡沫。附录 C 结尾部分的声阻抗表达式增加了对多层材料的讨论。

原书致谢

我们向所有对本书第 1 版、第 2 版和第 3 版提出建设性批评意见的人们表示感谢,感谢我们的研究生和阿德莱德大学机械工程专业使用本书第 1 版、第 2 版和第 3 版作为声学工程课程教材的本科四年级的学生们。

第一作者衷心感谢他女儿 Carrie 给予的支持和理解,使第 4 版得以顺利完成。

第二作者对他的家人表示最真挚的感谢,尤其是他的妻子 Susan、女儿 Kristy 和 Laura。在作者编写本版的这些年的无数个夜晚和周末,他们都给予了耐心的支持。

我们还要感谢为本书作出贡献的以下各位先生:Con Doolan 校对并评论了 5.3.2 节,涉及分析一个振动球的声辐射;John Davy 对第 8 章中双层墙传输损失理论给出了深刻见解;John Davy 提供了他还未发表的关于排气管声辐射指向性的理论;John Davy 对第 9 章中排气管指向性的章节提出了看法和修正意见;Athol Day 提供了尚未正式发表的排气管指向性数据。

最想感谢来自于我们的朋友 Peter McAllister 的精神支持和帮助,没有他,第 4 版几乎不能完成。

最后,作者要对 Carl Howard 表示深深的谢意,他编写了新的第 12 章,涉及数值声学的内容。虽然这意味着由于篇幅所限,原来第 3 版第 12 章有源噪声控制的内容必须被删去,但我们认为对于那些将本书作为参考书的噪声控制工程师和咨询专家来说,新的第 12 章更加实用。对有源噪声控制感兴趣的读者,可以参考由 Colin H. Hansen 编著的《理解有源噪声控制》一书。

《现代声学科学与技术丛书》已出版书目

(按出版时间排序)

- | | | |
|-----------------------|--------------------------------------|---------|
| 1. 创新与和谐——中国声学进展 | 程建春、田静 等编 | 2008.08 |
| 2. 通信声学 | J. 布劳尔特 等编 李昌立 等译 | 2009.04 |
| 3. 非线性声学(第二版) | 钱祖文 著 | 2009.08 |
| 4. 生物医学超声学 | 万明习 等编 | 2010.05 |
| 5. 城市声环境论 | 康健 著 戴根华 译 | 2011.01 |
| 6. 汉语语音合成——原理和技术 | 吕士楠、初敏、许洁萍、贺琳 著 | 2012.01 |
| 7. 声表面波材料与器件 | 潘峰 等编著 | 2012.05 |
| 8. 声学原理 | 程建春 著 | 2012.05 |
| 9. 声呐信号处理引论 | 李启虎 著 | 2012.06 |
| 10. 颗粒介质中的声传播及其应用 | 钱祖文 著 | 2012.06 |
| 11. 水声学(第二版) | 汪德昭、尚尔昌 著 | 2013.06 |
| 12. 空间听觉——人类声定位的心理物理学 | J. 布劳尔特 著 戴根华、
项宁 译 李晓东 校 | 2013.06 |
| 13. 工程噪声控制理论和实践(第4版) | D. A. 比斯 C. H. 汉森 著
邱小军、于森、刘嘉俊 译校 | 2013.10 |



北航

C1696006

目 录

中译本前言

原书前言

原书致谢

第 1 章 基础知识和基本术语	1
1.1 引言	1
1.2 噪声控制策略	3
1.2.1 声源的改造	4
1.2.2 声传播途径的控制	7
1.2.3 针对接收者的改进	7
1.2.4 现有设施	7
1.2.5 设计阶段的设施	9
1.2.6 空气传播声与结构传播声	9
1.3 声场变量	11
1.3.1 变量	11
1.3.2 声场	12
1.3.3 量级	12
1.3.4 声速	13
1.3.5 色散	15
1.3.6 声势函数	16
1.4 波动方程	17
1.4.1 平面波和球面波	18
1.4.2 平面波传播	18
1.4.3 球面波的传播	22
1.4.4 波的叠加	23
1.4.5 平面驻波	24
1.4.6 球面驻波	25
1.5 均方值	25
1.6 能量密度	26
1.7 声强	26
1.7.1 定义	27

1.7.2	平面波和远场声强	28
1.7.3	球面波声强	29
1.8	声功率	29
1.9	单位	30
1.10	谱与频谱分析	32
1.10.1	谱	32
1.10.2	频谱分析	35
1.11	声压运算	37
1.11.1	相干和非相干声	37
1.11.2	相干声压叠加	38
1.11.3	拍振	38
1.11.4	不相干声叠加(对数相加)	39
1.11.5	声压级相减	40
1.11.6	声级衰减量的叠加	41
1.12	阻抗	42
1.12.1	机械阻抗	42
1.12.2	声阻抗率	43
1.12.3	声阻抗	43
1.13	流阻	43
第2章	人耳	45
2.1	人耳概述	45
2.1.1	外耳	45
2.1.2	中耳	45
2.1.3	内耳	47
2.1.4	耳蜗管或耳蜗层膜	49
2.1.5	毛细胞	50
2.1.6	神经编码	50
2.1.7	非耦合振荡器线阵列	52
2.2	中心层膜的机械特性	53
2.2.1	基底膜行波	53
2.2.2	能量传输和群速度	56
2.2.3	去阻尼	57
2.2.4	半倍频程偏移	58
2.2.5	频率响应	60
2.2.6	临界频带	61

2.2.7	频率分辨率	63
2.3	噪声性听力损失	63
2.4	声压级的主观反应	65
2.4.1	掩蔽	65
2.4.2	响度	68
2.4.3	可比较的响度和方	69
2.4.4	相对响度和宋	71
2.4.5	音调	74
第3章	噪声测量与分析仪器	77
3.1	传声器	77
3.1.1	电容式传声器	78
3.1.2	压电式传声器	80
3.1.3	压强响应	81
3.1.4	传声器灵敏度	81
3.1.5	场效应与校准	81
3.1.6	传声器精度	84
3.2	计权网络	84
3.3	声级计	86
3.4	声级计分类	87
3.5	声级计校准	87
3.5.1	电校准	88
3.5.2	声校准	88
3.5.3	测量精度	88
3.6	噪声测量用声级计	89
3.6.1	传声器违反规程操作	89
3.6.2	声级计放大器违反规程操作	89
3.6.3	传声器和声级计响应特点	89
3.6.4	背景噪声	89
3.6.5	风噪声	90
3.6.6	温度	90
3.6.7	湿度和灰尘	90
3.6.8	周围表面的反射	90
3.7	时变声音	91
3.8	噪声级测量	91
3.9	数据记录仪	93

3.10	个人声暴露计	93
3.11	噪声记录	94
3.12	频谱分析仪	94
3.13	声强计	96
3.13.1	p-u 法测声强及其精度	96
3.13.2	p-p 法测声强及其精度	98
3.13.3	声强的频率分解	101
3.14	能量密度传感器	103
3.15	声源定位	104
3.15.1	近场声全息	105
3.15.2	统计优化的近场声全息	107
3.15.3	波束形成	109
3.15.4	直接声强测量	111
第4章	标准	113
4.1	引言	113
4.1.1	噪声评价量	114
4.2	听力损失	117
4.2.1	阈移	117
4.2.2	老年性耳聋	118
4.2.3	听力损失	119
4.3	听力损伤风险	120
4.3.1	语音识别的要求	120
4.3.2	量化听力损伤风险	121
4.3.3	国际标准化组织公式	122
4.3.4	其他的公式	124
4.3.5	观察到的听力损失	126
4.3.6	一些其他解释	128
4.4	听力损伤风险标准	130
4.4.1	连续噪声	130
4.4.2	脉冲噪声	131
4.4.3	撞击噪声	131
4.5	实施听力保护方案	134
4.6	语言干扰标准	135
4.6.1	宽带背景噪声	136
4.6.2	强的单频声	137

4.7 噪声的心理效应	137
4.7.1 噪声作为压力的起因	137
4.7.2 对行为和工作效率的影响	137
4.8 环境噪声级规范	138
4.8.1 噪声计权曲线	139
4.8.2 使用 dB(A)的噪声计权曲线的比较	147
4.8.3 语言私密度	148
4.9 环境噪声级标准	149
4.9.1 A 计权标准	149
4.10 环境噪声调查	151
4.10.1 测量地点	152
4.10.2 测量调查的持续时间	152
4.10.3 测量参数	152
4.10.4 噪声影响	153
第 5 章 声源和室外声传播	155
5.1 引言	155
5.2 简单声源	156
5.2.1 脉动球	156
5.2.2 流体力学单极子源	158
5.3 偶极子源	158
5.3.1 脉动偶极子(远场近似)	159
5.3.2 脉动偶极子(近场)	161
5.3.3 振荡球	162
5.3.4 流体力学偶极子源	164
5.4 四极子源(远场近似)	164
5.4.1 横向四极子	166
5.4.2 纵向四极子	166
5.4.3 流体力学四极子源	166
5.5 线源	167
5.5.1 无限长线源	167
5.5.2 有限长线源	169
5.6 无限大障板上的活塞	170
5.6.1 远场	170
5.6.2 近场同轴	173
5.6.3 近场的辐射负载	174

5.7	非相干平面声源	176
5.7.1	单面墙	176
5.7.2	建筑或闭空间的多面墙	178
5.8	指向性	179
5.9	反射效果	180
5.9.1	接近一个反射面的简单声源	180
5.9.2	接近一个反射面的观察者	181
5.9.3	观察者和声源都接近一个反射面	182
5.10	一个平面/两种媒质界面的反射和透射	182
5.10.1	多孔土壤	183
5.10.2	平面波的反射和透射	183
5.10.3	分解平面上的球面波反射	186
5.10.4	湍流的影响	188
5.11	室外声传播的基本概念	190
5.11.1	方法	190
5.11.2	预测精度的限制	190
5.11.3	室外声传播预测方案	191
5.11.4	几何传播因数 K	192
5.11.5	指向性指数 DI_M	192
5.11.6	过量衰减因数 A_E	193
5.11.7	空气吸收 A_a	195
5.11.8	屏障、房屋和工艺设备/工业建筑的屏蔽 A_{bbp}	196
5.11.9	由于森林和茂密的叶子引起的衰减 A_f	198
5.11.10	地面影响	199
5.11.11	倒像和远距离时增加的衰减	203
5.11.12	气象影响	203
5.11.13	过量衰减叠加模型	212
5.11.14	室外声音预测的精度	213
第6章	声功率及其应用与测量	214
6.1	引言	214
6.2	辐射阻抗	215
6.3	声功率和声压之间的关系	216
6.4	声源的辐射场	217
6.4.1	消声室中的自由场模拟	218
6.4.2	闭空间产生的声场	219

6.5	利用声强测量值测定声功率	220
6.6	利用常规声压测量值测定声功率	221
6.6.1	自由场或半自由场中的测量	221
6.6.2	扩散场的测量	225
6.6.3	场测量	227
6.7	利用表面振动测量确定声功率	233
6.8	声功率信息的一些用途	234
6.8.1	远场自由场	235
6.8.2	近场自由场	236
第7章	闭空间中的声	237
7.1	引言	237
7.1.1	壁面与腔体的模态耦合	237
7.1.2	赛宾房间	238
7.1.3	扁房间和长房间	239
7.2	低频	239
7.2.1	矩形房间	240
7.2.2	圆柱形房间	244
7.3	低频与高频区域之间的界限	244
7.3.1	模态密度	244
7.3.2	模态阻尼和带宽	245
7.3.3	模态交迭度	246
7.3.4	交叉频率	246
7.4	高频、统计分析	247
7.4.1	扩散场中的有效声强	247
7.4.2	边界处的能量吸收	249
7.4.3	空气吸声	249
7.4.4	稳态响应	250
7.5	瞬态响应	251
7.5.1	经典描述	251
7.5.2	模态描述	252
7.5.3	经验描述	255
7.5.4	平均自由程	256
7.6	房间常数的测量	256
7.6.1	参考声源法	257
7.6.2	混响时间法	257