

Media

TECHNOLOGY

传媒典藏

音频技术与录音艺术译丛

高保真音响
www.hi-fi.com.cn



ELSEVIER
爱思唯尔

音乐声学与心理声学

(第三版)

ACOUSTICS AND PSYCHOACOUSTICS

[英] David M. Howard 著
Jamie Angus 著
陈小平 译



随书附带CD中包含78轨与本书内容相关的听音项目，
通过聆听有助于更好地理解 and 掌握书中内容

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

Media

TECHNOLOGY 音频技术与录音艺术译丛

传媒典藏

音乐声学与心理声学

Acoustics and
Psychoacoustics

(第三版)

[英] David M. Howard 著
Jamie Angus

陈小平 译

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

音乐声学 & 心理声学 : 第3版 / (英) 霍华德
(Howard, D. M.), (英) 安格斯 (Angus, J.) 著 ; 陈小平
译. — 北京 : 人民邮电出版社, 2010. 1
(音频技术与录音艺术译丛)
ISBN 978-7-115-21677-9

I. ①音… II. ①霍… ②安… ③陈… III. ①音乐声
学②心理声学 IV. ①J611.1②B845.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第194478号

版权声明

Acoustics and Psychoacoustics, 3rd Edition by David M. Howard and Jamie Angus.
ISBN 978-0-240-51995-1

Copyright © 2006, David M. Howard and Jamie Angus. Published by Elsevier 2006. All rights reserved.
Authorized Simplified Chinese translation edition published by the Proprietor.

ISBN: 978-981-272-245-4

Copyright © 2009 by Elsevier (Singapore) Pte Ltd, 3 Killiney Road, #08-01 Winsland House I, Singapore.
All rights reserved. First Published 2009.

Printed in China by POSTS & TELECOM PRESS under special arrangement with Elsevier (Singapore)
Pte Ltd. This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong SAR and Taiwan.
Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil
and Criminal Penalties.

本书简体中文版由 Elsevier (Singapore) Pte Ltd. 授权人民邮电出版社在中国境内 (香港特别行政区和台湾
地区除外) 出版发行。

本版仅限于中国境内 (香港和澳门特别行政区以及台湾地区除外) 出版及标价销售。未经许可之出口, 视
为违反著作权法, 将受法律之制裁。

音频技术与录音艺术译丛

音乐声学 & 心理声学 (第三版)

-
- ◆ 著 [英] David M. Howard Jamie Angus
 - 译 陈小平
 - 责任编辑 黄 彤
 - 执行编辑 宁 茜
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京隆昌伟业印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 24.25
字数: 475 千字 2010 年 1 月第 1 版
印数: 1-3 000 册 2010 年 1 月北京第 1 次印刷
著作权合同登记号 图字: 01-2009-0465 号

ISBN 978-7-115-21677-9

定价: 75.00 元 (附光盘)

读者服务热线: (010) 67132837 印装质量热线: (010) 67129223

反盗版热线: (010) 67171154

内容提要

本书第1章介绍了声波的基本物理性质，使读者从物理学角度对声音有一定的了解；第2章介绍了听觉特性，即心理声学的基础知识；第3章到第5章介绍了音乐声学，主要将乐器的发声原理和音乐的听觉心理学结合起来进行讨论，在此基础上使读者对音乐有更深层次的理解，为从事音乐技术工作打下基础；第6章主要介绍了声波在封闭空间即房间中的传播特性，使读者了解室内声学特性和音质之间的密切关系，达到对室内音质进行控制的目的；第7章介绍了声音信号电子加工和处理的几种基本方法。

本书还附带有一张CD，录制了78条听音项目，目的是使读者通过听音更好地理解书中的相关内容。

本书适合从事音响工程、音乐技术、音乐录音、音乐制作的人员阅读，通过阅读可以提高专业理论水平，对实际工作将有较大的促进作用，也适合从事相关教学和学习的院校师生作为一本很好的参考书。

音频技术与录音艺术译丛 编委会

主任：李 伟

编委：（按姓氏笔画排序）

王 珏 李大康 朱 伟

陈小平 胡 泽

丛书编委会主任简介



李伟，生于1952年，沈阳人。20岁在沈阳音乐学院舞台美术系灯光音响专业学习，毕业后留校任教并兼做扩声和录音工作，之后赴德国柏林艺术大学（UdK）音乐学院录音专业攻读硕士学位，师从录音大师J. N. 马蒂斯教授。学成回国后调入中国传媒大学（原北京广播学院）任教，出版专著《立体声拾音技术》、主编《现代录音技术丛书》。现任中国传媒大学影视艺术学院副院长、录音系系主任、硕士研究生导师，德国录音师协会会员，中国电影电视技术学会声音专业委员会专家组成员，国家广电总局“电视节目质量奖”（金帆奖）评委，中国电影电视技术学会“声音制作优秀作品奖”评委，亚洲录音艺术与科学（广州）文化节“音乐录音作品”评委。

总 序

翻译一套现代录音技术丛书是我们多年的夙愿。

随着现代科技的不断进步和现代媒体传播形式的不断演变，现代录音技术的发展也是十分迅猛的。我国在声音设计与制作领域的理论研究与实践近些年来取得的成就是有目共睹的，尤其是2008年北京奥运会成功举办，高清电视转播和环绕声声音制作使电视声音制作水平提高到新的阶段。但是，与欧美发达国家相比较，我国在该领域还存在一定的差距。中国传媒大学影视艺术学院录音系，作为国内从事声音方面理论研究和教学的团队，一直关注和跟踪国外该领域的研究动态和实践成果，并将国外该领域的许多专著的思想和方法注入到我们的教学中。“它山之石，可以攻玉”，如果将国外最新的录音技术专著翻译出版，无疑是一件很有意义的事情，于是，我们萌生了翻译一套录音技术丛书的计划。

2007年夏天，有幸结识了人民邮电出版社《高保真音响》杂志社的黄彤主编和宁茜编辑。他们十分支持我们的计划，并提供了Focal Press的最新书目。对于这套丛书的设计思想、读者定位等我们也是一拍即合，于是，我们录音系的全体老师带领部分研究生开始了紧张的丛书翻译工作。

今天，“音频技术与录音艺术译丛”的第一批译著与读者见面了，其他译著将分批陆续出版。这套丛书包括广播、电影、电视、唱片等领域的录音技术基础理论、系统集成、声音设计、拾音方法、制作技巧等方面，内容十分丰富，甚至有些译著涉及的领域是国内目前出版物的空白。但愿这套丛书能够为从事声音设计和制作的专业人士、业余爱好者和本专业的学生提供帮助，也希望广大读者对本丛书的设计、翻译等诸方

2 音乐声学 & 心理声学 (第三版)

面提出宝贵意见。

感谢人民邮电出版社副社长蒋伟先生，他曾亲自到我系就本套书的出版事宜进行指导。感谢黄彤主编和宁茜编辑，正是他们的大力支持和高效工作使得这套丛书成功出版。感谢录音系的团队，是我们共同营造的宽松的学术氛围、严谨的治学精神和兄弟姐妹般的情谊使这套书能够顺利地翻译完成。

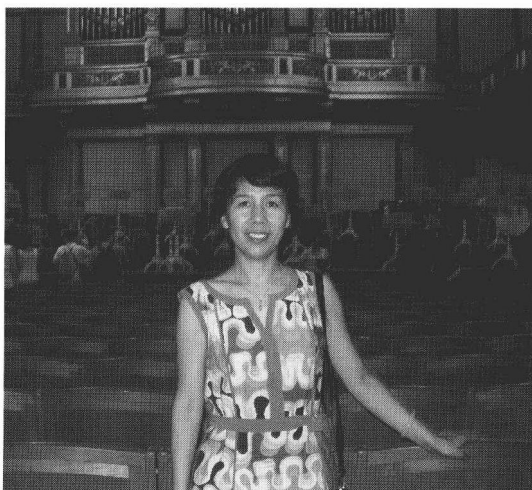
中国传媒大学影视艺术学院副院长、录音系系主任

李 伟

2008 年初冬于北京

译者简介

陈小平，1963年出生，1983年毕业于北京邮电学院电信工程系，并获得工学学士学位，1988年获得北京广播学院通信与信息系统专业广播声学方向工学硕士学位。1999年7月至2000年7月，在丹麦Aalborg大学声学系任访问学者。现在中国传媒大学录音系任教，承担课程有《声学基础》、《电声学与室内声学》等，研究领域为通信声学（Communication Acoustics），主要研究方向为心理声学与听觉传输技术（Psychoacoustics and Binaural Technology）。



前 言

前两个版本在全世界拥有大量的读者，说明此书的出版是一个巨大的成功。一直以来我们不断收到读者来信，对本书有关内容提出了一些小的意见和建议（我们十分欢迎这样的交流！）。在第三版的修订中，我们充分考虑了这些意见和建议，对本书内容进行了完善。我们对这些读者表示衷心的感谢！

第三版中补充了一些内容，其中最值得一提的是增加了一张 CD，为利用本书进行教学工作提供了有用的录音资料。在制作这张 CD 时，我们参考了由美国音响工程协会提供的非常优秀的专门用于听音演示的 CD（Philips CD No. 1126-061），这是由 Houtsma, A.J.M., T.D. 和 Wagenaars, W.M. 制作的。尽管之前我们在使用本书作为教材时选用的是这张 CD，并且推荐他人使用该 CD 作为本书教学的补充，但是我们也意识到仅仅简单地重复使用该 CD 的内容并不合适。因此，在第三版所附的 CD 中，我们增加了一些听音材料和单独录制了一系列的单音符、在消声室录制了由特别选择的乐器演奏的短的音乐片断（只有直达声而不存在由房间墙壁产生的反射声），这些可以作为研究和了解不同乐器直达声的声学特性和听觉特性与其声压—时间波形和振幅—频率的频谱之间关系的源材料。附录 5 给出了该 CD 中所有听音项目一览表，指出了每个听音项目所支持的章节以及对本听音项目的一些说明。

在第三版中还对大多数章节增加了一定的内容，其一是使之跟上技术发展的潮流，其二是试图对一些问题给出更好、更清楚的说明。这些内容有些涉及非常重要的研究课题，有些则是横跨科学和艺术两个领域的，因此需要从科学和艺术两个角度进行解释。这种多学科的分析方法

对全面正确地理解音乐声学和听觉心理学是必不可少的，我们希望第三版在满足感兴趣读者的学习要求上能向前迈进一大步。

我们不断收到读者来信提出意见和建议，并且希望继续收到读者直接寄给我们或寄给出版社的来信。我们一直在这个领域从事研究工作，并从读者的反馈中得到了一些很深的启示。我们相信，对音乐和音乐技术中的声学和心理声学了解得越多，对这一人类交流的最基本形式就有更深刻的了解。

David M. Howard (York), Jamie Angus (Salford)

2005年12月

目 录

第 1 章 声音	1
1.1 压力波和声音的传播	1
1.2 声强、声功率和声压级	13
1.3 声波的叠加	18
1.4 平方反比定律	25
1.5 声波的反射、干涉和衍射	29
1.6 时域和频域	46
1.7 频谱分析	51
参考文献	58
第 2 章 听觉概述	59
2.1 听觉系统的构造	60
2.2 临界频带	66
2.3 频率和声压级可听范围	71
2.4 响度感觉	74
2.5 噪声引起的听力损失	82
2.6 听觉对声源的定位能力	87
参考文献	98
第 3 章 乐音与和声的物理和生理基础	100
3.1 乐音	100
3.2 音高感知理论	108
3.3 乐音的听音	124

2 音乐声学与心理声学 (第三版)

3.4 音律	132
参考文献	138
第4章 乐器的声学模型	140
4.1 乐器的“黑盒子”模型	140
4.2 弦乐器	142
4.3 管乐器	154
4.4 打击乐器	179
4.5 语声和歌声	186
参考文献	195
第5章 音色感知与听觉幻觉效应	198
5.1 什么是音色	198
5.2 音色的声学特性	199
5.3 音色的心理声学	207
5.4 管风琴作为音色合成器	216
5.5 听觉的“欺骗”效应	221
参考文献	237
第6章 听音的声学环境	240
6.1 封闭空间的声学特性	240
6.2 房间简正模式和驻波	277
6.3 吸声材料	292
6.4 扩散结构	297
6.5 隔声	303
6.6 声能时间特性的考虑	307
6.7 边界对扬声器输出频率特性的影响	313
6.8 箱体衍射效应的减小	315
参考文献	319
第7章 声音的电子加工和处理	321
7.1 滤波处理	321
7.2 均衡和音色控制	324
7.3 人工混响	328
7.4 合唱、加倍 (ADT)、梳状滤波和镶边效果	336

7.5 音高处理和时间修正	339
7.6 声音的变形与合成技术	345
7.7 空间感处理	347
7.8 响度处理	352
7.9 总结	355
参考文献	355
附录 1 求解 <i>ERB</i> 等式	358
附录 2 频率比与音分之间的换算	359
附录 3 混响时间公式的推导	361
附录 4 不同频率和表面材料混响时间公式的推导	364
附录 5 CD 听音项目一览表	367
后记	372

第 1 章 声音

声音是大自然中存在的一种现象，没有人会否认它的存在。我们的周围充满了噪声，甚至在我们出生之前就已经置身于噪声的包围之中。什么是声音？声音如何传播？如何定量表示声音？本章的主要目的是介绍声音的基本要素、声音的传播方式以及其他有关问题。在此基础上，我们才能进一步了解声音的基本性质及其在不同声学环境中的传播特性，并了解乐器工作的声学原理以及声音与人耳听觉之间的相互作用关系。

1.1 压力波和声音的传播

从物理学上说，声音实际上是媒质的机械扰动。这些媒质可以是空气、固态物质、液态物质或其他气体。然而，这种简单的描述不足以说明媒质的扰动到底是怎样传播的，以及为了能够传播，媒质还需要具备其他哪些性质。因此，关于什么是声音需要一个更准确的描述，在此基础上才能够分析并预测声音在不同声学环境中的传播和存在方式。

1.1.1 声波的性质

图 1.1 所示为声音通过某种媒质传播的简单机械模型。它可以表示空气媒质简化的一维模型，是由一系列代表质量的高尔夫球通过弹簧连接在一起，称之为高尔夫球弹簧模型。高尔夫球代表小体积媒质分子（称为媒质质点）的实际质量，弹簧则代表媒质分子之间存在的相互作用力。当一端的高尔夫球受力向另一端推移时，相连的弹簧会被压缩并推动相邻的高尔夫球，这个高尔夫球又会压缩下一个弹簧，依此类推。由于高尔夫球具有一定质量，从弹簧施加作用力到高尔夫球产生移动存在一个延迟时间，因此，扰动从第一个球传递到另一端需要一定时间。如果始端的球移动回到原来的位置，则上述的运动过程也会发生，所不同的是，高尔夫球是被拉回而不是被推移，弹簧是被拉伸而不是被压缩。无论哪一种情况，当运动停止时，高尔夫球之间的间距会恢复到原来静止状态的间距。

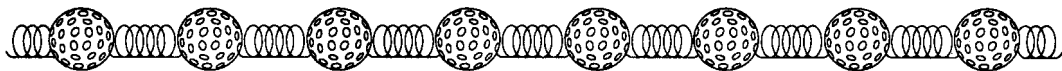


图 1.1 声音传播媒质的
高尔夫球弹簧模型

高尔夫球被推到一起的区域称为压缩区，而高尔夫球被分离开的区域称为稀疏区，高尔夫球本身就是振动传播的媒质。在真实媒质如空气中，由于空气媒质质点总是要回到平衡位置，扰动往往是由压缩状态到稀疏状态再到压缩状态的不断反复过程，如图 1.2 所示。高尔夫球沿着媒质扰动传播的方向前后移动，这种波动传播方式称为纵波。由于声波是通过媒质（大多数情况下是空气媒质）的一系列压缩和稀疏过程进行传播的，因此属于纵波。

另一种媒质扰动方式是沿着与高尔夫球弹簧系统垂直的方向进行的，使高尔夫球不是被前后推拉，而是上下移动。由于弹簧对高尔夫球的作用，这种横向扰动也会得到传播，这种波动的传播方式称为横波。乐器中的振动往往属于这一类，例如琴弦或鼓膜的振动。

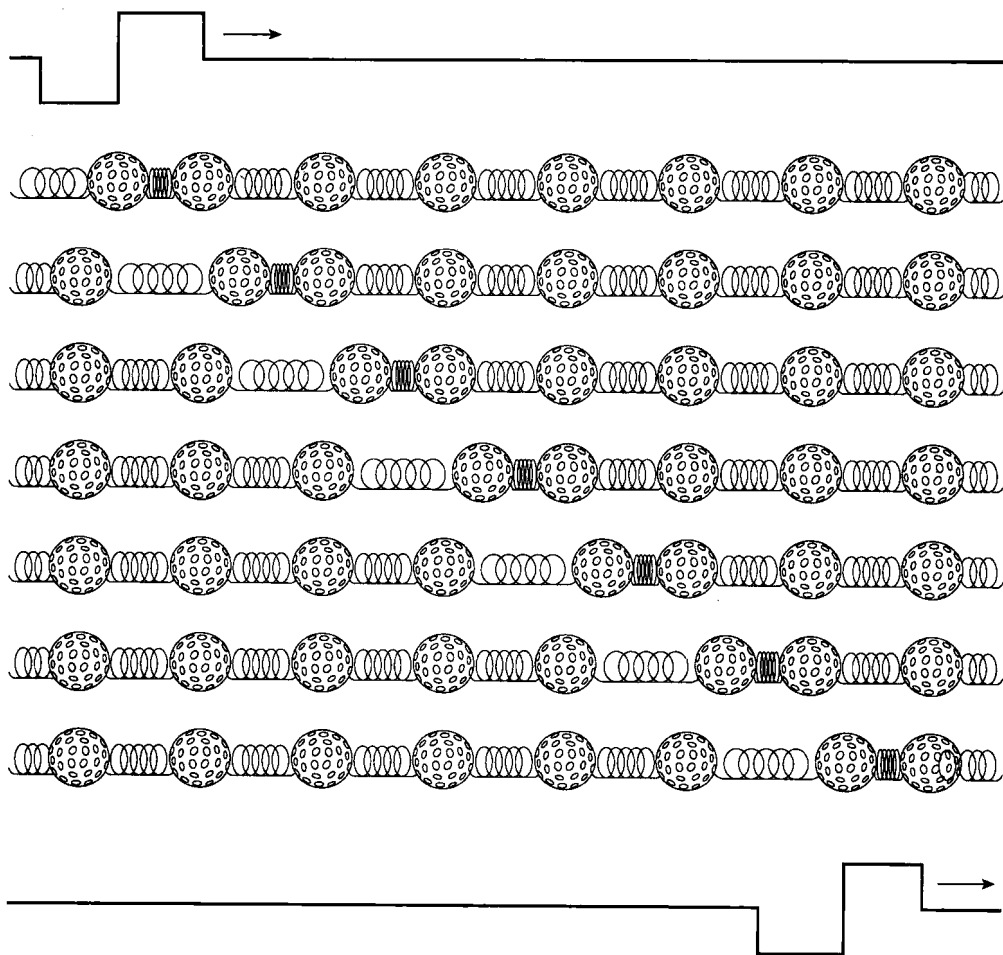


图 1.2 声脉冲在媒质中传播的高尔夫球弹簧模型

1.1.2 声波传播速度

无论是横波还是纵波，扰动沿着高尔夫球弹簧连成的“弦”向前移动的速度取决于以下两个方面。

(1) 高尔夫球的质量：由于高尔夫球质量越大，球开始或停止移动所需的时间越长，因此质量影响扰动传播的速度。实际上，媒质的密度决定了高尔夫球的有效质量。媒质密度越大则球的有效质量越大，那么扰动传播得越慢。