

Media

Mc
Graw
Hill
Education

TECHNOLOGY

音频技术与录音艺术译丛

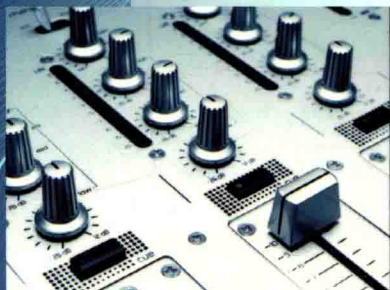
传媒典藏

Master Handbook of ACOUSTICS

声学手册 (第5版)

声学设计与建筑声学 实用指南

关于录音棚·控制室·家庭听音室等
声学环境构建的科学和艺术实践指导书



[美] F. Alton Everest Ken C. Pohlmann 著
郑晓宁 译

 中国工信出版集团

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

Media

TECHNOLOGY

传媒典藏

Mc
Graw
Hill
Education

音频技术与录音艺术译丛

Master Handbook
of **ACOUSTICS**
声学手册 (第5版)
声学设计与建筑声学
实用指南

[美] F. Alton Everest Ken C. Pohlmann 著
郑晓宁 译

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

声学手册 : 声学设计与建筑声学实用指南 : 第5版 /
(美) F. 奥尔顿·埃佛勒斯 (F. Alton Everest), (美)
肯恩·C. 博尔曼 (Ken C. Pohlmann) 著 ; 郑晓宁译. —
北京 : 人民邮电出版社, 2016. 12
(音频技术与录音艺术译丛)
ISBN 978-7-115-42669-7

I. ①声… II. ①F… ②肯… ③郑… III. ①声学设计—手册②建筑声学—手册 IV. ①TU112-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第158570号

版权声明

Master Handbook of Acoustics, 5th Edition.

By F. Alton Everest & Ken C. Pohlmann, ISBN: 978-0-07-160332-4.

Copyright ©2009, 2001 by McGraw-Hill Education.

All Rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including without limitation photocopying, recording, taping, or any database, information or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

This authorized Chinese translation edition is jointly published by McGraw-Hill Education and POSTS & TELECOM PRESS.

This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only, excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan.

Copyright ©2016 by McGraw-Hill Education and POSTS & TELECOM PRESS.

Copies of this book sold without a McGraw-Hill Education sticker on the cover are unauthorized and illegal.

版权所有。未经出版人事先书面许可，对本出版物的任何部分不得以任何方式或途径复制或传播，包括但不限于复印、录制、录音，或通过任何数据库、信息或可检索的系统。本授权中文简体字翻译版由麦格劳-希尔（亚洲）教育出版公司和人民邮电出版社合作出版。此版本经授权仅限在中华人民共和国境内（不包括香港特别行政区、澳门特别行政区和台湾）销售。版权©2016 由麦格劳-希尔（亚洲）教育出版公司与人民邮电出版社所有。本书封面贴有 McGraw-Hill Education 公司防伪标签，无标签者不得销售。

◆ 著 [美] F. Alton Everest Ken C. Pohlmann

译 郑晓宁

责任编辑 宁茜

责任印制 周昇亮

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号

邮编 100164 电子邮件 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: 800×1000 1/16

印张: 31

2016年12月第1版

字数: 689千字

2016年12月北京第1次印刷

著作权合同登记号 图字: 01-2013-9314号

定价: 159.00元

读者服务热线: (010) 81055339 印装质量热线: (010) 81055316

反盗版热线: (010) 81055315

广告经营许可证: 京东工商广字第 8052号

内容提要

本书对各种声学现象进行了清晰的解释，且提供了实用的房间声学设计方法，同时本书还涉及了最新的测量方法和软件。它让读者了解到，如何进行声学测量、房间尺寸选择，如何摆放扬声器、分析频率响应曲线，以及如何设计安装吸声体和扩散体。读者还将会了解到，如何调节房间的混响时间、减小外部噪声，以及如何运用心理声学的概念。借助于两位声学专家的洞察力，我们可以建造属于自己的声学环境，例如录音棚、控制室以及家庭听音室。

本书包含了以下内容：

- 如何确定开放和封闭空间的声音传播。
- 如何测量声压级。
- 如何分析房间模式的共振特征。
- 如何对房间进行装修，以获得最佳的早期反射声、混响时间和扩散。
- 如何降低声学失真、梳状滤波效应以及 HVAC 噪声。
- 如何构建一间高品质的立体声和环绕声听音室。
- 如何设计专业的录音棚和控制室。
- 如何评价音乐厅和礼堂的音质。
- 如何利用声学测量、模型以及可听化软件对房间进行设计和优化。

谨以此书献给 F. Alton Everest

关于作者

F. Alton Everest 是一位优秀的声学顾问。他是穆迪科学研究院（Moody Institute of Science）科学电影生产部门的联合创始人兼主管，同时也是美国加州大学海底声学研究部的主管。

Ken C. Pohlmann 是一位著名的音频教育家、顾问以及作家。他是美国科勒尔盖布尔斯的迈阿密大学的退休教授，也是许多音频设备制造商和汽车制造商的顾问，同时还是许多文章和书籍的作者，所著书籍中包括《数字音频原理》。

· 其他对本书做出贡献的人员包括 Peter D' Antonio、Geoff Goacher 以及 Doug Plum。

引言

什么样的书才称得上经典？一本经典的书最重要的特点，在于大家都知道且信赖它，经常使用它，封面磨损得很旧且好多章节有下划线的标注。毫无疑问，Everest先生的《声学手册》绝对有资格称得上经典。这本书的第1版自1981年面世以来深受读者的喜爱，在大家强烈的要求下，2001年该书已经修订出版了第4版。实际上，这本书在声学界已经畅销逾20年。声学工程师协会对Everest先生在2005年的逝世（享年95岁）表示十分悲痛。他是声学工程领域的一位伟人，Everest先生是他这一代工程师当中高水准的楷模。大家将会非常怀念他。

当McGraw-Hill出版社邀请我为该书准备第5版时，我感到非常的荣幸。这本手册我已经使用了25年，我深知它作为教材以及参考书的价值。在充分认识到这个项目所面临的挑战之后，我同意了出版社的邀请。一些熟悉《数字音频原理》的读者或许会惊奇地发现，我对数字技术与对声学的热情是同样的。我在迈阿密大学教授建筑声学的课程（另外还有数字音频课程）已经有30年了，在那里还指导音乐工程技术课程。在那段时间里，我也在许多声学工程当中担任顾问，这些工程的范围涵盖从录音棚到听音室的设计，从教堂声学到城市噪声的处理。与该领域许多实践者一样，对于我来说去理解声音属性的基础，同时跟上当今声学问题的解决方案及实际应用是非常重要的。这种理论和实践的平衡是Everest先生前面几个版本的指导原则，并且我会继续寻找这种平衡。

个人观点，特别是对于一些在声学领域的初学者来说，或许会问“为什么研究声学知识是非常重要的？”其中一个原因就是，你是否会希望对伟大的科学进步做出贡献。数千年间，声学及其复杂性鼓舞着世界上伟大的科学家和工程师们去探索它的奥秘。科学和艺术的发展深深影响了整个文明和个体的生命。但是在当今的数字世界当中，声学是否仍旧重要呢？设想一下：我们睡觉时眼睛是紧闭的，并且不能看到黑暗中的东西，有些人能够悄悄地从身后靠近我们。但是从出生到死亡，醒着或者睡着，在明亮处以及黑暗处，我们的耳朵一直保持着对周围环境的敏感度。无论听到的是令人高兴的声音，还是处于危险的警告，无论它是自然界的还是人工合成的声音，声学的属性以及建筑空间对这些声音的影响，都穿插在我们生活中的每时每刻。声学重要吗？答案是肯定的。

Ken C.Pohlmann
于美国克罗拉多州

目录

1 声学基础	1
1.1 正弦波	2
1.2 介质中的声音	3
1.2.1 质点运动	3
1.2.2 声音的传播	4
1.2.3 声音的速度	5
1.3 波长和频率	6
1.4 复合波	8
1.4.1 谐波	8
1.4.2 相位	9
1.4.3 泛音	11
1.5 倍频程	12
1.6 频谱	14
1.7 电子、机械和声学类比	17
2 声压级和分贝	18
2.1 比值与差值	18
数字的表达	19
2.2 对数	20
2.3 分贝	20
2.4 参考声压级	21
2.5 对数与指数公式的比较	23
2.6 声功率	24
2.7 分贝的使用	26
2.7.1 例 1: 声压级	26
2.7.2 例 2: 扬声器的声压级	26
2.7.3 例 3: 话筒特性	27
2.7.4 例 4: 线性放大器	27
2.7.5 例 5: 通用放大器	27

2 目录

2.7.6 例 6: 音乐厅	27
2.7.7 例 7: 分贝叠加	28
2.8 声压级的测量	29
2.9 正弦波的测量	30
3 自由声场的声音	32
3.1 自由声场	32
3.2 声音的辐射	32
3.3 自由声场中的声强	33
3.4 自由声场中的声压	34
例: 自由声场中声音辐射	35
3.5 密闭空间中的声场	35
半球面声场及传播	37
4 声音感知	38
4.1 耳朵的灵敏度	38
4.2 耳朵解剖学	39
4.2.1 外耳	40
4.2.2 指向性因素: 一个实验	40
4.2.3 外耳道	40
4.2.4 中耳	41
4.2.5 内耳	43
4.2.6 静纤毛	44
4.3 响度与频率	44
4.3.1 响度控制	46
4.3.2 可听区域	46
4.4 响度与声压级	47
4.5 响度和带宽	49
4.6 脉冲的响度	51
4.7 可察觉的响度变化	52
4.8 音高与频率	52
4.8.1 音高实验	53
4.8.2 消失的基频	54
4.9 音色与频谱	54
4.10 声源的定位	54
4.11 双耳定位	56

4.12	第一波阵面定律	57
4.12.1	法朗森效应	57
4.12.2	优先效应	58
4.13	反射声的感知	59
4.14	鸡尾酒会效应	61
4.15	听觉的非线性	61
4.16	主观与客观	62
4.17	职业性及娱乐性耳聋	62
4.18	总结	64
5	信号、语言、音乐和噪声	65
5.1	声谱	65
5.2	语言	66
5.2.1	语言的声道模型	69
5.2.2	浊音的构造	69
5.2.3	辅音的构造	70
5.2.4	语言的频率响应	70
5.2.5	语音的指向性	71
5.3	音乐	72
5.3.1	弦乐器	72
5.3.2	木管乐器	72
5.3.3	非谐波泛音	73
5.4	音乐和语言的动态范围	73
5.5	语言和音乐的功率	75
5.6	语言和音乐的频率范围	76
5.7	语言和音乐的可听范围	76
5.8	噪声	76
5.8.1	噪声测量	79
5.8.2	随机噪声	79
5.8.3	白噪声和粉红噪声	80
5.9	信号失真	82
5.10	共振	86
5.11	音频滤波器	87
6	反射	90
6.1	镜面反射	90

4 目录

6.2	反射表面的双倍声压	92
6.3	凸面的反射	92
6.4	凹面的反射	93
6.5	抛物面的反射	94
6.6	驻波	95
6.7	墙角反射体	95
6.8	平均自由程	96
6.9	声音反射的感知	97
6.9.1	单个反射作用	97
6.9.2	空间感、声像以及回声的感知	99
6.9.3	入射角、信号种类以及可闻反射声频谱的作用	100
7	衍射	101
7.1	波阵面的传播和衍射	101
7.2	波长和衍射	101
7.3	障碍物的声音衍射	102
7.4	孔的声音衍射	105
7.5	缝隙的声音衍射	105
7.6	波带板的衍射	106
7.7	人的头部衍射	107
7.8	扬声器箱体边沿的衍射	108
7.9	各种物体的衍射	108
8	折射	110
8.1	折射的性质	110
8.2	声音在固体中的折射	111
8.3	空气中的声音折射	112
8.4	封闭空间中的声音折射	115
8.5	声音在海中的折射	115
9	扩散	117
9.1	完美的扩散场	117
9.2	房间中的扩散评价	117
9.3	衰减的拍频	119
9.4	指数衰减	119
9.5	混响时间的空间均匀性	121

9.6	几何不规则	123
9.7	吸声体的分布	123
9.8	凹形表面	124
9.9	凸状表面: 多圆柱扩散体	124
9.10	平面扩散体	125
10	梳状滤波效应	126
10.1	梳状滤波器	126
10.2	声音叠加	126
10.3	单音信号和梳状滤波作用	127
10.3.1	音乐和语言信号的梳状滤波作用	129
10.3.2	直达声和反射声的梳状滤波作用	129
10.4	梳状滤波器和临界带宽	133
10.5	多通道重放当中的梳状滤波作用	135
10.6	反射声和空间感	135
10.7	话筒摆放当中的梳状滤波作用	135
10.8	在实践中的梳状滤波作用: 6 个例子	135
10.9	梳状滤波响应的评价	139
11	混响	142
11.1	房间声音的增长	142
11.2	房间内的声音衰减	144
11.3	理想的声音增长和衰减	144
11.4	混响时间的计算	145
11.4.1	赛宾公式	146
11.4.2	艾林 - 诺里斯公式	147
11.4.3	空气吸声	148
11.5	混响时间的测量	148
11.5.1	冲击声源	149
11.5.2	稳态声源	149
11.5.3	测量设备	150
11.5.4	测量步骤	150
11.6	混响和简正模式	151
11.6.1	衰减曲线分析	153
11.6.2	模式衰减的变化	153
11.6.3	频率作用	154

6 目录

11.7	混响特征	155
11.8	衰减率以及混响声场	157
11.9	声学耦合空间	157
11.10	电声学的空间耦合	158
11.11	消除衰减波动	158
11.12	混响对语言的影响	159
11.13	混响时间对音乐的影响	160
11.14	最佳混响时间	160
11.14.1	低频混响时间的提升	163
11.14.2	初始时延间隙	164
11.14.3	听音室的混响时间	164
11.15	人工混响	165
11.16	混响时间的计算	167
11.16.1	例 1: 未做声学处理的房间	167
11.16.2	例 2: 声学处理之后的房间	168
12	吸声	170
12.1	声音能量的损耗	170
12.2	吸声系数	171
12.2.1	混响室法	173
12.2.2	阻抗管法	173
12.2.3	猝发声法	175
12.3	吸声材料的安装	176
12.4	中、高频的多孔吸声	177
12.5	玻璃纤维隔音材料	178
12.5.1	玻璃纤维: 板	180
12.5.2	玻璃纤维: 吸声砖	180
12.6	吸声体厚度的作用	181
12.7	吸声体后面空腔的作用	182
12.8	吸声材料密度的作用	183
12.9	开孔泡沫	183
12.10	窗帘作为吸声体	184
12.11	地毯作为吸声体	188
12.11.1	地毯类型对吸声的影响	188
12.11.2	地毯衬底对吸声的影响	188

12.11.3	地毯的吸声系数	189
12.12	人的吸声作用	189
12.13	空气中的吸声	191
12.14	板(膜)吸声体	192
12.15	多圆柱吸声体	197
12.16	低频陷阱:通过共振吸收低频	199
12.17	赫姆霍兹(容积)共鸣器	200
12.18	穿孔板吸声体	203
12.19	条状吸声体	208
12.20	材料的摆放	208
12.21	赫姆霍兹共鸣器的混响时间	209
12.22	增加混响时间	212
12.23	模块	212
13	共振模式	214
13.1	早期实验和实例	214
13.2	管中的共振	215
13.3	室内的反射	217
13.4	两面墙之间的共振	218
13.5	频率范围	220
13.6	房间模式等式	221
13.6.1	房间模式的计算案例	222
13.6.2	验证实验	225
13.7	模式衰减	227
13.8	模式带宽	229
13.9	模式的压力曲线	232
13.10	模式密度	235
13.11	模式间隔和音色失真	236
13.12	最佳的房间形状	237
13.13	房间表面的展开	242
13.14	控制有问题的模式	244
13.15	简化的轴向模式分析	245
13.16	总结	247
14	施罗德扩散体	248
14.1	实验	248

8 目录

14.2	反射相位栅扩散体	249
14.3	二次余数扩散体	250
14.4	原根扩散体	252
14.5	反射相位栅扩散体的性能	253
14.6	反射相位栅扩散体的应用	256
14.6.1	颤动回声	258
14.6.2	分形学的应用	260
14.6.3	三维扩散	261
14.6.4	扩散混凝土砖	263
14.6.5	扩散效率的测量	265
14.7	格栅和传统方法的比较	265
15	可调节的声学环境	267
15.1	打褶悬挂的窗帘	267
15.2	可调节吸声板	268
15.3	铰链式吸声板	270
15.4	有百叶的吸声板	270
15.5	吸声/扩散调节板	271
15.6	可变的共振装置	272
15.7	旋转单元	273
15.8	便携式单元	275
16	噪声控制	278
16.1	噪声控制的方法	278
16.2	空气噪声	280
16.3	质量和频率的作用	281
	质量体的间隔	283
16.4	组合区域的隔声量	283
16.5	多孔材料	284
16.6	声音传输的等级	284
16.7	墙体结构的比较	286
16.8	隔声窗	290
16.9	隔声门	291
16.10	结构噪声	293
16.11	浮动地板	294
16.11.1	浮动墙和天花板	296

16.11.2	噪声和房间共振	297
16.12	噪声标准和参数	297
17	通风系统中的噪声控制	299
17.1	噪声标准的选择	299
17.2	风扇噪声	303
17.3	机械噪声和振动	304
17.4	空气速度	307
17.5	自然衰减	308
17.6	风道的内衬	309
17.7	静压箱消声器	311
17.8	密闭的衰减器	312
17.9	抗性消声器	313
17.10	调节后的消声器	314
17.11	管道位置	315
17.12	美国采暖、制冷与空调工程师学会	316
17.13	有源噪声控制	316
17.14	一些建议	316
18	听音室声学	317
18.1	重放条件	317
18.2	小房间的声学特征	318
18.2.1	房间的尺寸和比例	319
18.2.2	混响时间	319
18.3	对于低频的考虑	320
18.3.1	模式异常	323
18.3.2	模式共振的控制	323
18.3.3	听音室的低频陷阱	323
18.4	对于中、高频的考虑	325
18.4.1	反射点的识别和处理	327
18.4.2	侧向反射声以及空间感的控制	328
18.5	扬声器的摆位	329
19	小录音棚声学	331
19.1	对环境噪声的要求	331
19.2	录音棚的声学特征	332

19.2.1	直达声和非直达声	332
19.2.2	声学处理的作用	333
19.3	房间模式及房间容积	334
19.4	混响时间	336
19.4.1	小空间的混响时间	336
19.4.2	最佳混响时间	336
19.5	扩散	337
19.6	噪声	337
19.7	录音棚的设计案例	338
19.7.1	吸声的设计目标	338
19.7.2	声学装修的建议	339
20	控制室声学	342
20.1	初始时延间隙	342
20.2	活跃端 - 寂静端	344
20.3	镜面反射与扩散	345
20.4	控制室中的低频共振	346
20.5	在实际中的初始时延间隙	347
20.6	扬声器的摆放及反射路径	348
20.7	控制室中的无反射区域 (RFZ)	349
20.8	控制室的频率范围	351
20.9	控制室的外壳和内壳	351
21	音 / 视频房间的声学	352
21.1	设计因素	352
21.2	声学处理	352
21.3	音 / 视频房间的例子	353
21.3.1	房间共振的评价	353
21.3.2	房间共振的控制	353
21.3.3	吸声计算	353
21.3.4	声学处理的建议	355
21.3.5	专业的声学处理	355
21.4	语音室	356
21.4.1	寂静与活跃的声学环境	357
21.4.2	早期反射声	357
21.5	LEDE 语音室	359