

Media

TECHNOLOGY

传媒典藏

音频技术与录音艺术译丛

声学工作者 · 音响工程师 · 音乐工作者 · 建筑师 · 乐器制作者的工作手册

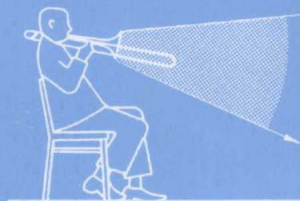
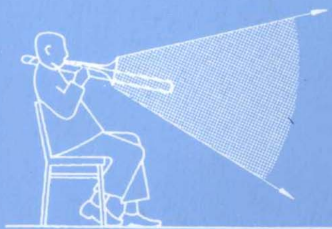
音乐声学与音乐演出 (第5版)

[德]Jürgen Meyer 著

陈小平 译



Akustik und
musikalische
Aufführungspraxis



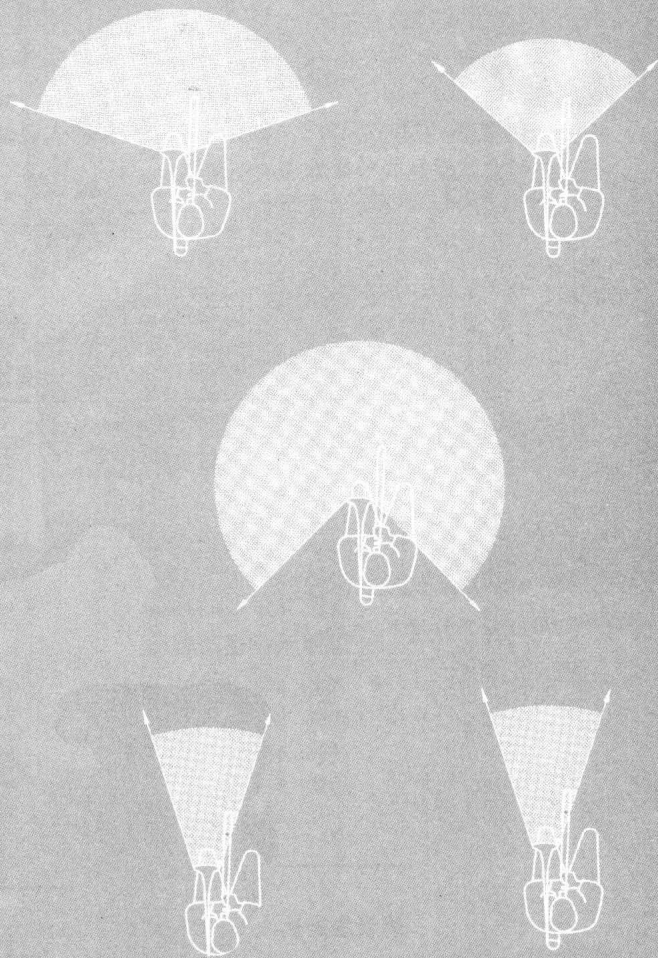
人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

音频技术与录音艺术译丛

音乐声学与音乐演出 (第5版)

[德] Jürgen Meyer 著 陈小平 译

Akustik und
musikalische
Aufführungspraxis



人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

音乐声学 with 音乐演出 : 第5版 / (德) 迈耶著 ; 陈小平译. — 北京 : 人民邮电出版社, 2012.10
(音频技术与录音艺术译丛)
ISBN 978-7-115-28528-7

I. ①音… II. ①迈… ②陈… III. ①音乐声学②音乐表演 IV. ①J611.1②J604.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第118590号

版权声明

Akustik und musikalische Aufführungspraxis, written by Jürgen Meyer.

Authorized Simplified Chinese translation edition published by the Proprietor.

ISBN 3-932275-95-0

Copyright © 1972 by PPV Medien GmbH. All rights reserved.

Printed in China by POSTS & TELECOM PRESS under arrangement with PPV Medien GmbH.

本书简体中文版由 PPV Medien GmbH 授权人民邮电出版社出版发行。未经出版者书面许可，不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

版权所有，侵权必究。

音频技术与录音艺术译丛

音乐声学 with 音乐演出 (第5版)

-
- ◆ 著 [德] Jürgen Meyer
 - 译 陈小平
 - 责任编辑 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 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京天宇星印刷厂印刷
 - ◆ 开本: 800×1000 1/16
印张: 24.25
字数: 481千字 2012年10月第1版
印数: 1-3000册 2012年10月北京第1次印刷
著作权合同登记号 图字: 01-2011-2436号

ISBN 978-7-115-28528-7

定价: 80.00元

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

反盗版热线: (010)67171154

广告经营许可证: 京崇工商广字第0021号

内容提要

本书在简单介绍声学基本概念的基础上，详细阐述了各种管弦乐队常规乐器和演唱的声音特性，并对指向性进行了详细描述。此外，本书还对音乐厅和歌剧院的相关声学问题进行了讨论，在此基础上，对音乐演出和歌剧演出提出了改善演出效果的指导性建议，包括管弦乐队的摆位、演出技术和演奏技巧如何与厅堂声学环境相适应等。本书对乐器以及人声的声辐射指向性给出了详细图解，这一点是其独到之处。在表述上，本书有意避免使用复杂的数学公式，使非声学专业的读者也能够较容易地理解书中内容。

本书适合于声学工作者、管弦乐演奏者、乐队指挥、音响工程师和建筑师使用，对从事音乐声学研究人员和学生也具有参考价值，较适合作为一本使用手册。

丛书编委会

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，沈阳人。20岁考入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，期间录音作品颇丰。在不惑之年赴德国柏林艺术大学(UdK)音乐学院录音专业学习，师从录音大师J.N.马蒂斯教授。经过五年半的德国留学生活，获硕士学位。回国后调入中国传媒大学(原北京广播学院)任教，期间出版专著《立体声拾音技术》，主编“现代录音技术丛书”，发表专业论文若干篇；承担多项科研项目，2009年获国家级教学成果一等奖。现任中国传媒大学音乐与录音艺术学院常务副院长、录音系系主任、博士研究生导师，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。

丛书序

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。我国在声音设计和制作领域的理论研究和实践近些年来取得的成就是有目共睹的，尤其是2008年北京奥运会的成功举办，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》杂志社的相关编辑，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”的第一批和第二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广大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、翻译等诸方面提出宝贵意见。

感谢人民邮电出版社相关领导和编辑，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丛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
2010年初冬于北京

前言

自从 20 世纪中叶以来，音乐厅演出的发展提升了对音乐家和建筑师的要求，也在某种程度上提出了新的要求。对音乐演出条件的要求发生改变的原因之一是，人们越来越倾向于建造大型音乐厅，另一个原因是听众听惯了高质量的录音作品，因此更愿意聆听精准的音调和细微的声音差异。在这种情况下，就产生了并不为前辈们所认知的、需要解释的声学方面以及音乐演出方面的技术问题。音乐家本身需要充分了解和把握这些问题，但是，在某种意义上，调音师（录音工程师）和音乐厅的建造者对演出的音响效果会产生根本的影响。因此，至关重要的是，所有参与者都应该了解从演奏者的听感到听众的听音印象这一声音发展过程中的所有声学处理问题。

在这样的背景之下，第一个德文版的《音乐声学与音乐演出》问世于 1972 年，其中对乐器声学、室内声学以及与音乐相关的一般问题进行了讨论。本书的一个重要特点在于试图解决这些问题，就是从这些基本原理出发可以找到那些对演出实践有用的方法。对解决这些问题的巨大需求促成几个新版本的相继出版，每个新版本都补充了最新的知识。这个英文版本是以 2004 年德文第 5 版为母版，除了增加物理、技术领域的最新实验结果外，作者作为大型交响乐演示音乐的参与者和指挥者，足迹遍及欧洲、美国和日本，获得了许多关于乐队摆位的个人经验，为本书增加了这方面的独到见解。

为了使没有专业物理知识的读者也能读懂此书，本书在介绍基本原理的章节用较短的篇幅解释了一些最重要的声学基本概念，同时有选择地介绍了一些较为重要的听觉原理，这是理解本书内容的基本条件。第 4 章中关于指向性的详细描述原本是专门为声频工程师提供的，然而，从那时以后，室内声场听觉化模拟这一新领域得到发展（中文译者注：声源的指向性得到应用），这在 1972 年是难以预测的。有关室内声学章节的讨论有意地局限在与音乐演出有关的方面，更偏向于作为非声学专业读者的入门知识。另一方面，当声学工作者在考虑历史上著名演出的技术方面事宜时，了解一些每一位音乐家都知道的声学常识可能更为重要。

反映乐器音色的乐器声辐射的声学数据以及室内声学的处理过程是客观存在的方面，相反地，

2 音乐声学 with 音乐演出 (第 5 版)

音乐演出的实际指导在很多情况下只是主观艺术处理的一些例子，这类工作的目的只是尽可能地利用客观条件获得艺术的听音感受。从这个意义上说，这本书填补了常规的 Fletcher 或 Rossing 著作 (乐器物理学) 和 Beranek 著作 (音乐厅与歌剧院 — 它们怎样发出声音) 之间的空隙。因此，以实践经验为依托，本书在音乐声学和室内声学之间架起了一座桥梁。

作者在本书中提供的科学数据是长期在不伦瑞克物理技术联邦研究所 (Physikalisch-Technische Bundesanstalt in Braunschweig) 进行实验研究和在德特莫尔德音乐学校 (School of Music in Detmold) (音乐学院) 的音频工程专业 (录音师资格培训) 任教取得的成果，作者再次向两个学院几十年来的大力支持表示感谢。更准确地说，正是在几代音频工程师共同努力下，指挥家对弦乐组在交响乐队中的摆位次序的固有观点，近年来已经发生了改变。

我非常感谢美国印第安纳州立大学 (Indiana State University) 的 Uwe Hansen 教授为翻译此长篇著作的英文版所付出的巨大努力。他曾几次到德国拜访交流，以便对无数细节部分进行完善。此外，他还和出版商对本书出版的一些具体问题进行了多次沟通。最后还要特别感谢施普林格出版社 (Springer-Verlag) 的通力合作并最终把这本书的英文版呈现在读者面前。

Jürgen Meyer
Branschweig, 德国

目录

第 1 章 声学导论	1
1.1 基本物理概念	1
1.1.1 声压	1
1.1.2 质点振速	2
1.1.3 声功率	2
1.1.4 频率	3
1.1.5 声速	4
1.1.6 波长	4
1.2 听觉特性	5
1.2.1 响度感觉	5
1.2.2 掩蔽效应	8
1.2.3 指向性	11
1.2.4 方向定位	12
1.2.5 鸡尾酒会效应	13
1.2.6 演奏者的掩蔽效应	14
1.2.7 对频率变化和声压级变化的敏感度	17
第 2 章 乐音的构造	19
2.1 模型介绍	19
2.2 频谱结构	22
2.2.1 谐音的声谱	22
2.2.2 声谱的频率范围	23
2.2.3 共振峰	25

2 音乐声学 with 音乐演出 (第 5 版)

2.2.4	频率分量的作用	26
2.2.5	分量的频带宽度	27
2.2.6	噪声成分	28
2.2.7	力度和声谱	29
2.2.8	动态范围和声功率	30
2.3	时间结构	31
2.3.1	稳态振动的偏差	31
2.3.2	起振过程	32
2.3.3	不谐和分量	33
2.3.4	谐振的衰减	34
2.3.5	衰减时间和混响时间	35
2.3.6	准稳态阶段的波动	36
第 3 章	乐器的乐音特性	39
3.1	铜管乐器	39
3.1.1	圆号	39
3.1.2	小号	46
3.1.3	长号	51
3.1.4	大号	55
3.2	木管乐器	56
3.2.1	长笛	56
3.2.2	双簧管	61
3.2.3	单簧管	64
3.2.4	大管	68
3.3	弦乐器	73
3.3.1	小提琴	73
3.3.2	中提琴	82
3.3.3	大提琴	84
3.3.4	低音提琴	86
3.4	钢琴	89
3.4.1	声谱	89
3.4.2	动态特性	90
3.4.3	时间结构	91

3.5	拨弦健琴	96
3.5.1	声谱	96
3.5.2	动态特性	97
3.5.3	时间结构	97
3.6	竖琴	98
3.6.1	声谱	98
3.6.2	动态特性	99
3.6.3	时间结构	99
3.7	打击乐器	100
3.7.1	定音鼓	100
3.7.2	大鼓	102
3.7.3	响弦鼓	103
3.7.4	锣	104
3.7.5	钹	105
3.7.6	三角铁	106
3.8	歌声	106
3.8.1	声谱	106
3.8.2	动态特性	107
3.8.3	时间结构	108
3.8.4	合唱	109
第4章	乐器的指向性	111
4.1	声辐射的指向性	111
4.1.1	指向性和指向性图	111
4.1.2	评估与表示方法	113
4.2	铜管乐器	114
4.2.1	小号	114
4.2.2	长号	116
4.2.3	大号	117
4.2.4	圆号	118
4.3	木管乐器	120
4.3.1	长笛	120
4.3.2	双簧管	123

4 音乐声学与音乐演出 (第5版)

4.3.3	单簧管	125
4.3.4	大管	126
4.4	弦乐器	127
4.4.1	概述	127
4.4.2	小提琴	130
4.4.3	中提琴	134
4.4.4	大提琴	136
4.4.5	低音提琴	138
4.5	三角钢琴	140
4.5.1	琴盖打开	140
4.5.2	琴盖关闭	143
4.5.3	琴盖半开	143
4.5.4	琴盖拆除	144
4.5.5	拨弦健琴	144
4.6	竖琴	144
4.7	打击乐器	146
4.7.1	定音鼓	146
4.7.2	大鼓	147
4.7.3	铜锣	148
4.8	歌声	149
第5章	室内声学基础	153
5.1	反射与折射	153
5.1.1	平面的反射	153
5.1.2	曲面的反射	154
5.1.3	波长的影响	156
5.2	声吸收	159
5.3	混响	160
5.4	直达声和扩散声场	163
5.4.1	声能密度	163
5.4.2	直达声	164
5.4.3	扩散场距离	166
5.5	声场的时间结构	167

第 6 章 老式和新式演出场所的声学特性	173
6.1 音乐厅	173
6.1.1 声音的要求	173
6.1.2 混响时间和厅堂体积	175
6.1.3 声场和厅堂体型	184
6.1.4 舞台的声学条件	190
6.1.5 指挥的位置	197
6.2 歌剧院	199
6.2.1 混响时间和房间体积	199
6.2.2 直达声和早期反射声	203
6.3 教堂	208
6.4 室内乐演奏厅	212
6.5 演播室	215
6.6 特殊用途房间	217
6.7 露天舞台	218
第 7 章 音乐厅的乐队摆位	223
7.1 乐器组的习惯摆位	223
7.2 厅堂的声音效果	232
7.2.1 弦乐器	232
7.2.2 木管乐器	250
7.2.3 铜管乐器	259
7.2.4 定音鼓	275
7.2.5 三角钢琴	277
7.2.6 竖琴	279
7.2.7 乐队的整体声音	280
7.2.8 歌声	292
第 8 章 乐队编制和演奏技巧的声学考虑	295
8.1 乐队整体声音的强度	295
8.1.1 历史发展	295
8.1.2 与厅堂相适应	297
8.2 动态特性	305
8.3 演奏技巧	315

6 音乐声学 & 音乐演出 (第5版)

8.3.1 激振和乐音演奏	315
8.3.2 颤音演奏	321
8.3.3 木管乐器的演奏姿势	324
8.4 节奏与房间声学的关系	327
第9章 歌剧院的声学问题	331
9.1 交响乐的强度	331
9.1.1 历史发展	331
9.1.2 厅堂的声级	332
9.1.3 乐池的声级	335
9.2 乐池里的乐队摆位	336
9.2.1 乐器组的习惯摆位	336
9.2.2 厅堂的声音效果	338
9.3 歌手与乐队之间的平衡	342
9.4 舞台上合唱与演奏的摆位	346
9.4.1 场景内的音乐家	346
9.4.2 场景后面的音乐家	349
附录 统计指向性因数随角度变化表.....	351
参考文献.....	353
彩图.....	365

声学导论

1.1 基本物理概念

1.1.1 声压

当我们聆听音乐时，乐感是由通过空气传输到人耳的声音引起的，实际上是由叠加在我们周围静态大气压上微小的压强变化引起的。这种压强变化像波动一样在空气中传播。这些相对于静态压强以接近于周期性变化的压强变化量称为声压变化，通常简称为声压。

由于人耳能够感知的声压范围非常广，小至刚好能够听到，大至会使听觉产生疼痛感，因此，声学家对所感兴趣的声压的度量通常采用对数坐标。这种度量方法具有很强的可行性和包罗性。一定声压与某个参考声压值之间的关系用分贝（dB）表示，当一个人说到声压级时，这里的“级”

往往指的是对数度量值（中文译者注：声压级和声压之间的换算公式是： $SPL = 20 \lg_{10} \left(\frac{p}{p_{ref}} \right)$ （dB），

其中， p 为声压（Pa）， p_{ref} 为参考声压，取 $2 \times 10^{-5} \text{Pa}$ ）。对于不熟悉的读者，这个换算过程在刚开始时可能显得有些复杂，但是，实践证明它是非常实用的，特别是当需要将一定的分贝值与声音的听感相联系时。而且，对数度量值比线性度量值更接近于人耳听觉。

所谓的“绝对”dB 值是指当参考值为 $2 \times 10^{-5} \text{Pa}$ （帕）时计算的声压级值，这是国际统一的标准。这个参考值相当于听觉最为敏感的频率区域的声音听阈。（测量仪器都默认采用这个参考声压进行声压级计算。）例如，布吕克瑞交响乐团（Brückner Symphony）演奏极强音的声压级可达 $90 \sim 100 \text{dB}$ ，而极弱音的声压级只有 $40 \sim 45 \text{dB}$ 。这个结果与音乐厅大小、厅堂中的位置以及乐队的规模有关。

有时也可能用其他任何的声压值作为参考值, 这时将得到一个“相对”声压级, 特别适合于比较两个声音的声级时使用。当相对声压级为 0dB 时, 说明两个声音具有相同的声压, 而不是说它们的声压接近于听觉下限。在前面的例子中, 如果测得极强声压级为 100dB(绝对声压级), 极弱声压级为 45dB(绝对声压级), 则产生的动态范围是 55dB(相对声压级)。一般使用时不常标注“相对声压级”, 但是, 在文中没有明确说明的情况下, 绝对声压级可以通过在后面标注参考声压来指明。

1.1.2 质点振速

声压变化的产生和传播的根本原因在于空气质点在其平衡位置附近振动, 并沿着它们的运动方向与相邻的质点相撞。质点相对于平衡位置移动的速度称为质点振速。正如声压一样, 质点振速也是不断变化的。但是, 当质点前后振动时, 不仅振速大小发生变化, 而且其振动的方向也在变化。

声压和质点振速共同决定了所谓的声场, 而声场反映了声音产生过程中所有的时间和空间特性。这里人们不仅要关注这两个量的大小, 而且还要关注它们的相位关系。这就是说, 最大声压并不一定在时间上和最大振速相一致, 两者在相位上极可能存在一定差异。

但是, 当平面波传播时, 例如, 当离声源较远时, 即在远场的情况下, 声压和振速是同相的, 而且两者大小存在正比关系: 当声压增大时, 振速以相同的比例增大, 这时, 两者之间的关系完全由空气对质点振动所呈现的“阻力”决定。在实际应用中, 这个“特性阻抗”(早期称为声波阻力)可以认为是不变的。

考虑到这点后, 人们可以仅用声压来描述声场, 尤其是在远场情况下。在观看音乐演出时总是处于远场情况。还需要特别指出的是, 人耳只对声压产生反应。另一方面, 当用传声器进行录音时, 传声器完全可能处在非常靠近声源的位置, 这时声压与振速之间就不再是正比关系, 而且相位也不再相同, 这时两个量都需要考虑到。“近讲效应”是众所周知的现象, 它会使某些类型的传声器产生低音不自然的提升。

1.1.3 声功率

当主要考虑声场中某些特定位置的听众或录音设备时, 声场可以用这些位置的声压级来描述。当然声压级与声源的强度有关。因此, 我们需要找到描述声源强度的方法, 它既能有效地描述声源的强度, 又与厅堂的空间特点以及听众的距离无关。这个量只与声源本身有关, 它表示在单位时间内声源向所有方向辐射的总声能, 这个量称为声源的声功率。

功率的物理单位是瓦特 (Watt), 但是, 就像声压一样, 声功率通常在较大范围内变