

PROFESSIONAL ARCHITECTURE 丛书

Architectural Acoustics

Design Guide

建筑声学设计指南

[美] 詹姆斯·考恩 / 埃森泰克公司高级顾问 著
李晋奎 燕翔 李韞玉 杨帆 刘志翔 译
李晋奎 徐学军 校



中国建筑工业出版社

Professional Architecture 丛书

建筑声学设计指南

[美] 詹姆斯·考恩/埃森泰克公司高级顾问 著
李晋奎 燕 翔 李韞玉 杨 帆 刘志翔 译
李晋奎 徐学军 校

中国建筑工业出版社

著作权合同登记图字：01 - 2003 - 2725 号

图书在版编目(CIP)数据

建筑声学设计指南/(美)考恩著;李晋奎等译;李晋奎等校.
北京:中国建筑工业出版社,2004
(Professional Architecture 丛书)
ISBN 7 - 112 - 05901 - 1

I . 建 ... II . ①考 ... ②李 ... ③李 ... III . 建筑声学 - 声学设计 IV . TU112.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 052464 号

Professional Architecture: Architectural Acoustics Design Guide by James Cowan,
senior consultant, Acentech

ISBN 0 - 07 - 135938 - 9

Copyright © 2000 by The McGraw - Hill Companies, Inc.

Translation Copyright © 2003 China Architecture & Building Press

Original language Published by The McGraw - Hill Companies, Inc.

All Rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed by any means, or stored
in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

Simplified Chinese translation edition jointly published by McGraw - Hill Education(Asia)Co. and China
Architecture & Building Press.

本书中文简体字翻译版由中国建筑工业出版社和美国麦格劳 - 希尔教育(亚洲)出版集团合作
出版。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

策 划:张惠珍 董苏华

责任编辑:董苏华 程素荣

Professional Architecture 丛书

建筑声学设计指南

[美]詹姆斯·考恩/埃森泰克公司高级顾问 著
李晋奎 燕 翔 李韞玉 杨 帆 刘志翔 译
李晋奎 徐学军 校

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

伊诺丽杰设计室制版

北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本:787×1092毫米 1/16 印张:14 $\frac{3}{4}$ 字数:600千字

2004年1月第一版 2004年1月第一次印刷

定价:48.00元

ISBN 7 - 112 - 05901 - 1

TU · 5179 (11540)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

感谢菲尔·普拉伊诺在个人方面和专业上的所有贡献，
感谢埃森泰克公司及其员工在实力与正直方面为我们做的表率。

前 言

自古罗马和古希腊时期以来，人们对建筑设计中声学因素的理解一直是最少的。每个人都有在嘈杂的饭馆中用晚餐感到头疼的痛苦经历，或者在学校礼堂听讲演却听不明白，或者在廉价的汽车旅馆，甚至在好的公寓住宅中隔墙的隔声不良。在那些为音乐会而“想当然”设计的音乐厅里，谁没有听过令人难以忍受的声音效果呢？读过本书后，我觉得本书在创造满意的声学环境上为建筑师和设计工作者提供了非常有效的指导，并为他们提供了超乎想像的专业帮助。

詹姆斯·考恩先生在阐明良好声学设计的基础方面做了杰出的工作。他做了两件事情。第一件是近期发行了标题为《建筑声学》（麦格劳-希尔图书出版公司出版，1999年）的多媒体光盘，该光盘引领建筑设计者做了一次声学旅游，用视觉图像表述听觉概念。第二件事即为撰写了本书，书中提供了许多设计表格和构造，还有饱含他的公司之经验的项目图表及照片。

我特别欣赏本书的组织。开篇通俗易懂地概述了建筑声学基础和在建建筑室内外控制声音的基本方法。读者将了解声波在内隔墙、外墙及不规则表面是如何被反射的。本书解释了分贝的概念，以及它是如何测量的，这

在某种程度上与使用温度计相似。书中以数值图表的方式给出了各种不同材料在房间中的降噪效果和从一个房间到另一个房间之间隔墙或顶棚的隔声量。

为了辨别和控制特殊的声学现象，中间章节提供了基本的图表和整套设计工具，穿插介绍了成功应用这些工具的典型案例。书中那些图表把设计方案与房间的主要用途联系起来，还有那些说明如何研究复杂案例的照片及插图也非常精彩，这都深深吸引了我。本书读者并不需数学功底。本书最后给出了书中用到的名词表及其通俗解释，还给出了计算声学参量的常用公式。

我确信，对于那些需要考虑声学的建筑项目中，建筑师们和设计师们通过仔细研究本书，并在前面提及的光盘中再做些视听漫步，将受益匪浅。

利奥·L·白瑞纳克

《音乐厅和剧院的音质设计》的作者，
波特、白瑞纳克及纽曼有限公司(BBN)创始人，
噪声控制工程研究所主任，
美国声学协会前任会长

致 谢

如果没有埃森泰克股份有限公司和他们的成员的支持，这本书是不可能完成的。本书的大部分案例研究都是由埃森泰克公司人员承担或实施的项目，他们包括卡尔·罗森伯格，赖因·皮伦，汤姆·霍尔奥，克里斯·萨韦瑞德，弗兰克·亚科维诺，保罗·伯奇，帕克·希尔特欧，鲍勃·贝伦斯，道格·斯图兹，拉里·菲尔布里克，艾里克·云下和库尔特·米利根。为本书作出贡献的还有保罗·雷明顿，鲍勃·琼斯和 BBN 的豪·艾米克。插图由罗宾·斯潘赛和菲尔·普拉伊诺提供。除了注明作者的插图以外，大多数的照片由琼·麦奎德拍摄。帮助我们提供图片的还有伯克利（Berkeley）音乐学院的布鲁斯·斯佩纳，罗杰斯艺术中心的彼得·沃德荣，伍斯特艺术博物馆的弗朗·佩多内，洛厄尔纪念馆礼堂的科蒂斯·埃克尔坎普，诺曼·诺埃尔，哈雷-戴维森办公室的里克·赖尔森。特别感谢戴维·哈瑞斯和白瑞纳克在编辑和注释方面为最终完成本书所提供的帮助。

绪 论

在 1999 年夏天，麦格劳 - 希尔图书出版公司发行了《建筑声学》多媒体光盘。该产品是作为建筑师和设计者的教学工具而设计的，他们可以从光盘中倾听声学原理。本书与《建筑声学》光盘是同一作者所著的姊妹篇，基本原理与多媒体光盘所描述的是一致的，只是更进一步给出包含这些原理的成功设计实例。

从古希腊到 21 世纪的那些剧场，建筑声学成为设计考虑的关键问题。然而，直到上一世纪我们才能够懂得并能够预言室内与室外声音的传播过程，掌握了这些知识，声学才从黑色艺术发展成一个已经建立起来的工程学体系。

本书对声学的基本原理作了解释，并提供了如何有效地将这些原理应用于当前建筑设计的实例。最与众不同的是，本书案例研究中涉及的建筑声学方面的问题，全部是由作者的声学顾问公司（包括他的上级公司波特、白瑞纳克及纽曼（BBN）有限公司）的成员解决的。由于与每一个项目有这样密切的联系，因此书中为读者提供了如何考虑声学因素的全部照片。下面是本书的构成与内容的概述。

本书的第一部分概述了光盘中讨论过的声学基本原理。接下来，第二

部分的部分章节讨论了特殊的声学原理，并分别附有设计方法清单和应用这些设计原理取得成功的案例。

第一章包括了任何声学讨论之前需要了解的基本点。这一章的点点滴滴是后续知识凝聚成的。声音的产生和传播是基础。进而使用频率、波长和声速描述声波性质。下一步讨论我们的听音过程。任何声学方面的教材都不能完全让读者了解我们是怎样感知声音的，或者我们是如何听的。

接下来的部分涉及声波在遇到介质改变时传播方向的改变方式。大体上可分为反射、折射、衍射、漫射。这些原理将帮助我们更容易理解随后讨论的室内、室外声音的传播。基础声学中我们最后讨论的是如何使用分贝来描述声级。这是建筑声学领域中最难理解的问题之一，但只有理解了本章中对分贝的描述后才会认识分贝的重要性。

第二章讨论的是室内和室外的声音控制。谈到声学材料，室内声音控制的基本原理分为两类：吸声和隔声。材料吸声指的是控制一个房间内的声音，材料隔声指的是控制房间之间的声音。本章也讨论了改变声音传播方向，用以强调声音控制并不总是意味着降低声能。在有些案例中，我们并不想减小声音，只是想控制声音的传播方向。这些讨论自然而然地引出降噪的有效方法。

室外声音控制可选择的方法比室内声音控制的方法更为有限。这些选择方案包括设立缓冲区、隔声屏障和掩蔽系统等。

本书其他部分(第三章到第七章)提供了一些图表，图表列出了为控制特殊的声学现象而使用的设计方法。这些设计方法的图表之后，列举出使用这些方法有效地控制相应声学现象的建筑实例。第三章给出了室内声学 and 混响控制的基本原理，还给出如何利用房间形状进行有效的声音控制和内部噪声控制设计。第四章“声音私密性/隔声”包含了设计方法和一些实例，实例中涉及低频吸收、透声损失、降噪、私密性、声掩蔽、背景噪声控制、多单元住宅和商业建筑中通常的声学问题。第五章致力于解决开敞式办公室独有的声音私密性的难题。第六章论述多功能厅堂。第七章讨论了室外声音控制。

本书着眼于空间各方面的实际设计，没有陷入数学和术语的泥沼。本书总体上没有数学公式。有一些数学表达只是为了获得恰当的结合点。在附录 A(为了定义声学术语)中包含了一些重要的基本数学公式。如果您对那些更详细的数学公式和定量计算感兴趣，应该参考一些已发行的优秀声学书籍。对于那些有兴趣进一步探索建筑师通常所关心的声学问题的读者，书后有技术附录可供参考，其中包含的有关这些主题的内容比本书更为详细。

目 录

前言	xi
致谢	xiii
绪论	xv
第一部分 建筑声学基础概述	1
第一章 声学基础	3
声学	3
声音的产生	4
听觉过程	6
声传播方向的改变	8
反射	8
折射	10
衍射	12
漫射	12
分贝	12
计权	14
频带	16
第二章 声音控制	19
吸声	19
混响	24
反射	26
隔声	26

降噪方法	31
隔声罩	32
隔声屏障	34
消声器	35
吸声处理	35
隔振	35
有源噪声控制	35
掩蔽	36
室内声环境的评价标准	37
室外声音控制	38
缓冲区	38
隔声屏障	39
掩蔽	40
第二部分 设计方法与实例	41
第三章 室内声学	43
混响	43
设计方法	43
案例研究：学校体育馆——皮尔斯学校(布鲁克林，马萨诸塞州)	44
案例研究：审判庭——萨默塞特法院(萨默维尔，新泽西州)	46
案例研究：教堂——普林斯顿天主教堂(普林斯顿，新泽西州)	50
房间体形	52
设计方法	52
案例研究：平面墙——斯皮维音乐厅(莫罗，佐治亚州)	53
案例研究：曲面墙——卡巴鲁斯城市政中心(康科德，北卡罗来纳州)	55
案例研究：浮云板——克雷斯吉大礼堂(剑桥，马萨诸塞州)	57
室内噪声控制	60
设计方法	60
案例研究：楼板的降噪处理——伯克利音乐学院(波士顿，马萨诸塞州)	61
案例研究：墙体构造——机场隔声方案	65
案例研究：有源噪声控制——火车机车噪声	69
第四章 声音私密性/隔声	71
低频吸声/传声损失	71

设计方法	71
案例研究：演播室——桑德米尔股份有限公司(牙买加平原, 马萨诸塞州)	72
案例研究：中庭——伍斯特艺术博物馆(伍斯特, 马萨诸塞州)	73
降噪/私密性	75
设计方法	75
案例研究：与补氧健身房相邻的瑜伽练功房	75
案例研究：位于安静的办公室下的机房	76
案例研究：餐厅——第九公园(波士顿, 马萨诸塞州)	77
掩蔽/背景噪声控制	80
设计方法	80
案例研究：特拉华县司法中心(曼西, 印第安纳州)	80
案例研究：哈斯伯行政办公室(波塔基特, 罗得岛州)	82
案例研究：哈利·戴维松发动机公司(密尔沃基, 威斯康星州)	84
多单元建筑	87
设计方法	87
案例研究：住宅单元间的私密性——克莱尔顿大街 56 号(波士顿, 马萨诸塞州)	87
案例研究：综合电影院——霍伊特兹电影院(斯克内克塔迪, 纽约州)	88
案例研究：表演房间之上的公寓	90
第五章 开敞式办公室	93
开敞式办公室设计中的声学考虑	93
吸声	94
阻断	97
掩蔽	98
保障正常讲话私密性的设计方法	99
案例研究：埃特纳生命与事故保险公司总部(哈特福德, 康涅狄格州)	99
案例研究：麻省理工学院职业服务中心(剑桥, 马萨诸塞州)	104
第六章 多功能厅堂	107
设计方法	107
案例研究：多功能厅——洛厄尔纪念堂(洛厄尔, 马萨诸塞州)	108
案例研究：扩声系统——沃登大街 51 号(康考德, 马萨诸塞州)	111

案例研究：可变吸声——罗杰斯艺术中心(北安杜尔，马萨诸塞州)	113
案例研究：巴尔的摩会议中心机房的噪声控制(巴尔的摩，马里兰州)	117
第七章 室外声学	119
设计方法	119
案例研究：圆形剧场——查斯顿公园(亚特兰大，佐治亚州)	120
案例研究：远距离扩声——沙阿清真寺(雪兰莪州，马来西亚)	121
案例研究：社区噪声问题——哈佛大学教工俱乐部(剑桥，马萨诸塞州)	123
案例研究：高速公路噪声控制——85号公路噪声缓解研究(圣克拉拉，加利福尼亚州)	124
技术附录	129
关于“优美的”音质	129
公共空间声学	132
哥特式声音又回响在杜克大学新哥特式教堂中	137
阻断噪声的轰击	145
多住户公寓楼的安静之道	152
吸声：材料的吸声性能	160
吵闹餐馆安静之道	166
高科技设施的振动控制设计	170
声掩蔽：对单位领导调查的结果	181
NC - 15 所代表的声音	187
附录 A 数学表达式	193
附录 B 参考文献	195
附录 C 术语表	197
附录 D 美国声学公司名录	203
英汉词汇对照	207
关于作者	215
译后记	217

第一部分 建筑声学基础概述

第一章 声学基础

声学

声学是声音的科学。我们通过听觉器官感知声音。对任何事物的理解主观上都有喜恶之分。声音的主观感受不仅定义了音乐与噪声的差异，也说明了与之沟通的空间的品质。人们通常认为声学领域面狭而深奥，除了设计音乐厅外很少再有实际应用。实际上这个领域有许多实用的分支，包括噪声控制、心理声学（声音对人的心理影响）、生理声学（声音对人身体的影响）、生物声学（声波应用于医学诊断）和本书的主题——建筑声学。

建筑声学处理的是建筑环境中的声学。由于个人爱好千差万别，在这一领域的许多方面，尤其对于音乐，存在较多争议。然而，在其他许多方面，建筑声学领域遵循一些公认的科学原理。本书将以理论与实例相结合的方式论述这些问题。本书不是音乐厅设计或需要主观评价的空间设计的丛书，有关这些主题的已出版的优秀图书还有很多，附录 B 列出了这类书籍的一部分。

从声波的来源讨论建筑声学是最合理的开始。现在，我们将讨论一般