

现代声学科学与技术丛书

城市声环境论

Urban Sound Environment

〔英〕康健◎著

戴根华◎译



科学出版社

现代声学科学与技术丛书

城市声环境论

Urban Sound Environment

[英] 康 健 著

戴根华 译

中国科学院噪声与振动重点实验室

中国科学院声学研究所

科 学 出 版 社

北 京

图字: 01-2010-4813 号

内 容 简 介

本书介绍城市声环境研究的最新发展, 提出该领域的基本知识和原理, 内容涵盖了城市声环境的三个主要方面: 声评价, 包括噪声的烦扰及相关法规、起正面作用的声音的声舒适及声景观; 声预测, 小区块如街道或广场的声模型, 大区块如整个城市的声模型; 声环境的建立, 建筑和城市设计的选项的影响。本书将技术内容和多学科方法相结合, 通过一系列现场研究, 为实际的应用和设计提供建议。第 1 章介绍一些背景和基本声学知识, 其余各章相对独立, 以方便读者挑选阅读。

本书可作为从事城市规划、建筑、声景观、声学和噪声控制、环境科学、市政工程、交通工程、环境心理学和社会学等领域的研究人员、工程人员和学生的参考书或教科书。

Urban Sound Environment 1st Edition / by Jing Kang / ISBN: 0-415-35857-4

Copyright © 2007 by Taylor & Francis

Authorized translation from English language edition published by Routledge, a member of Taylor & Francis Group. All rights reserved. 本书原版由 Taylor & Francis 出版集团旗下, Routledge 出版公司出版, 并经其授权翻译出版。版权所有, 侵权必究。

Science Press is authorized to publish and distribute exclusively the Chinese (Simplified Characters) language edition. This edition is authorized for sale throughout Mainland of China. No part of the 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. 本书中文简体翻译版授权由科学出版社独家出版并限在中国大陆地区销售。未经出版者书面许可, 不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

本书封面贴有 Taylor & Francis 公司防伪标签, 无标签者不得销售

图书在版编目(CIP)数据

城市声环境论/(英)康健(Kang, J)著, 戴根华译. —北京: 科学出版社, 2011
(现代声学科学与技术丛书/田静, 程建春主编)

书名原文: Urban Sound Environment

ISBN 978-7-03-029791-4

I ①城… II ①康… ②戴… III ①城市噪声-研究 IV ①TB533

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010) 第 249464 号

责任编辑 刘凤娟/责任校对 张凤琴
责任印制 钱玉芬/封面设计 鑫联必升

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>

骏立印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011 年 1 月第 一 版 开本 B5(720×1000)

2011 年 1 月第一次印刷 印张 17 插页: 2

印数 1—2 000 字数 332 000

定价: 57.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《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	钱梦騄	邱小军	孙 超
王威琪	谢菠荪	杨德森	杨士莪
张海澜	张仁和	张守著	

前 言

20 世纪 90 年代前后, 在城市环境声学领域的研究和实践方面, 有许多重要的新发展. 随着计算机资源的丰富与进步, 人们开发了若干套绘制大区块噪声地图的软件包, 并使其在实践中得到广泛应用; 人们探索了各种预报城市小区块和中区块内声传播的方法, 相应地, 提出了一系列噪声控制措施和设计方法. 在主观研究方面, 发展了若干种多学科途径的评价方法. 同时, 声景观和声环境设计的重要性得到广泛认可, 从降低城市噪声来说, 这是重要的一步. 根据环境政策和法规, 噪声问题受到各级部门极大重视, 特别在欧洲, 这导致一系列噪声降低的实际措施的出台.

撰写本书的主要动机是介绍城市声环境的最新发展, 试图系统地涵盖该领域的重要知识和基本原理. 考虑到从实际的应用和设计层面提出的建议, 本书将专门技术和多学科方法结合在了一起, 所以本书对诸如城市规划、建筑、城市景观、声学 and 噪声控制、环境科学、市政工程、交通、工程学, 和环境心理学/社会学等一些学科和门类的研究人员、专业人员、学生都适用. 本书各章自成体系, 作为入门的第 1 章介绍声学基础知识, 其余各章则几乎独立, 以方便读者选择自己熟悉的章节.

本书分 7 章, 涵盖了城市声环境的 3 个主要方面: 声评价和声舒适 (第 2 章和第 3 章); 城市声模型/绘制噪声地图 (第 4 章和第 5 章)、噪声降低和声环境设计 (第 6 章和第 7 章). 第 1 章简要介绍与城市声环境有关的基本概念和理论, 包括声波的物理特性、听觉感受、声源、声学材料、户外声传播和室内声学. 第 2 章讨论城市噪声的描述和评价, 包括介绍以声学量/物理学量和社会心理因素/经济因素, 对城市噪声进行主观评价的概况, 以及常用的评价方法、城市噪声的客观表述、关键的/典型的噪声标准/法规和其制订原则和城市噪声环境现状. 第 3 章注意力集中在城市声景观和声舒适, 特别注重城市公众广场. 以一般声景观研究和评价概况开始, 然后介绍一系列欧洲国家和中国的声景观研究工作. 采用语意细分法, 研究表征声景观的主要因素. 探索了表述城市公众广场声景观的基础, 然后是基于人工神经网络的全面的声景观评价体系和声景观设计的系统考虑. 又在若干房间内考察了声舒适, 它是声景观的自然延伸. 第 4 章介绍了一系列模拟技术, 以及有关为精确计算诸如街道或广场那样的小区块中的声场的声学理论, 包括计算具有几何反射 (镜面反射) 边界面的围蔽街道和广场内的声场的能量虚源法, 计及干涉效应的虚源法、声线法, 具有扩散反射边界面的放射线模型、输运理论、等效源法, 以及一些其他的模型. 还讨论了城市声景观动画技术. 简要介绍了城市声学物理模型技术和实测结果. 这些对确认为模拟而采用的模型非常有用. 第 5 章以计算机辅助软件处理大区块的噪声地图, 包括绘制噪声地图的主要算法、精度、效率和应用策略,

现场研究, 以及最新开发的中区块/大区块模拟的模型. 第 6 章介绍降低城市噪声的主要措施, 特别是与城市设计和建筑设计关联的措施, 包括规划上的考虑、建筑物外部设计、各种噪声屏障的原理和应用, 以及设计屏障的非声学因素. 第 7 章分析城市街道和广场中声场的基本特性, 建筑上的变化和城市设计选项的影响, 包括边界面的反射特性、街道/广场的几何因素、边界面的吸收和建筑布局. 由于本书主题的多学科特征, 要在一本书中, 将城市声环境的所有方面有深度地全都覆盖到, 是不容易的, 所以最后书中列出了大量参考文献.

感谢 Tony Moore 先生与我联系并鼓励我撰写本书. 感谢编辑部对我的支持. 感谢声学界的同事们, 包括 D.J. Oldham、J. Picaut、D. Botteldooren、P.J. Thorsen、M. Oeren、C. Marquis-Favre、H. Bougdah、I. Ekici、B. Shield、C.J. Skinner、K. Attenborough、K.M. Li、K.V. Horoshenkov、A. Bristow 和 W. Probst 等, 笔者与他们进行了有益的讨论. 我得到谢菲尔德大学建筑学院同事和声学组研究人员, 包括 M.W. Brocklesby、M. Zhang、W. Yang、J. Joyn、K. Chourmouziadou、Y. Meng、L. Yu、C. Yu、J. Huang、B. Chen、Z. Du、R. Huerta、C. Stepan、C. Christophers、S. Keeling-Roberts、C.H. Lin、M.A. Rahim 和 L. Thomas 等的支持; 得到 R.J. Orłowski、P. Grasby、K. Harsham、M. Nikolopoulou、M. Kikira、K. Steemers、N.U. Kofoed、G. Scudo、L. Katzschner、R. Compagnon、N. Chrisomallidou、E. Kovani 和 K. Avdelidi 诸位同仁的支持, 我感谢他们. 我感谢英国皇家学会、欧盟委员会、英国工程和物理科学基金会、英国社会科学院、劳埃德基金会和英国石油公司, 感谢他们的经费支持. 最后, 让我感觉非常珍重的是, 我的家人给予的始终如一的支持和鼓励.

康 健

2007. 01

目 录

第 1 章 声学基础	1
1.1 声波的基本特性	1
1.1.1 声波	1
1.1.2 声功率、声压和声强	1
1.1.3 声级	2
1.1.4 频带	2
1.2 听觉感知	3
1.2.1 声级和频率的感知	3
1.2.2 响度和噪度	3
1.2.3 计权声级	3
1.2.4 掩蔽	4
1.2.5 声质量	4
1.2.6 噪声的影响	5
1.3 声源	5
1.3.1 声源的基本形式	5
1.3.2 声源指向性	6
1.3.3 城市噪声源	6
1.4 声学材料	7
1.4.1 反射、透射和吸收系数	7
1.4.2 声吸收器	8
1.4.3 声反射器和声扩散器	9
1.4.4 空气声隔离	10
1.5 户外声传播	12
1.5.1 基本方程	12
1.5.2 大气条件：大气、风和温度	12
1.5.3 地面衰减	13
1.5.4 声屏障	13
1.6 室内声学	15
1.6.1 混响过程	15
1.6.2 混响时间	15

1.6.3	混响的测量	16
1.6.4	扩散场中的声音分布	16
1.6.5	简正模式	17
第 2 章	城市噪声评价	18
2.1	噪声主观评价	18
2.1.1	声学的/物理的因素	18
2.1.2	社会的/心理的/经济的因素	20
2.1.3	噪声评价方法	21
2.1.4	多重声源	23
2.2	声音描述量	23
2.2.1	统计声级	24
2.2.2	等效连续声级	24
2.2.3	昼-夜声级	26
2.2.4	昼-晚-夜声级	26
2.2.5	交通噪声指数	26
2.2.6	噪声污染级	26
2.2.7	校正噪声级	27
2.2.8	有效感觉噪声级	27
2.2.9	声暴露级	27
2.2.10	飞机噪声评价	27
2.2.11	噪声对语言通信的干扰	27
2.2.12	室内噪声评价	28
2.3	标准和法规	28
2.3.1	立法的原理和形式	28
2.3.2	WHO 和 ISO	29
2.3.3	欧洲联盟 (欧盟) 委员会 (EU)	30
2.3.4	英国	30
2.3.5	其他欧洲国家	32
2.3.6	其他国家	33
2.4	城市噪声气候	34
2.4.1	英国	35
2.4.2	其他国家	36
2.4.3	调查结果比较	38
第 3 章	城市声景观	39
3.1	声景观的研究	39

3.2 声景观评价	40
3.2.1 声	40
3.2.2 个体	42
3.2.3 城市街道和广场	43
3.2.4 声和其他物理条件的相互作用	43
3.3 欧洲城市公众广场现场研究	44
3.3.1 研究现场	45
3.3.2 问卷调查	49
3.3.3 测量	50
3.4 声舒适	51
3.4.1 识别的声音	51
3.4.2 声级的评价	52
3.4.3 声舒适评价	56
3.4.4 特定声音的影响	58
3.4.5 其他物理因素的影响	60
3.4.6 统计因素的影响	61
3.5 声音偏好性	61
3.5.1 声音的偏好	61
3.5.2 声音的偏好性和广场的选择	62
3.5.3 统计因素的影响	62
3.5.4 文化因素的影响	66
3.5.5 声音偏好的三个等级	69
3.6 中国城市公众广场现场研究	69
3.6.1 方法学	69
3.6.2 结果	70
3.7 语义细分分析	71
3.7.1 语义的过程	71
3.7.2 城市公众广场现场研究方法论	72
3.7.3 声景观评价的主要因子	75
3.7.4 季节、现场、采样量和特色声音的影响	77
3.7.5 个体和设计师之间的比较	77
3.8 城市公众广场声景观的描述	79
3.9 人工神经网络声景观评价	81
3.9.1 人工神经网络	81
3.9.2 采用 ANN 进行声景观评价的路线图	82

3.9.3 数据库的建设和初步分析·····	84
3.10 城市公众广场声景观设计·····	84
3.10.1 声音·····	84
3.10.2 广场·····	85
3.11 从户外声景观到室内声舒适·····	86
3.11.1 大型商场的门廊·····	87
3.11.2 图书馆阅览室·····	88
3.11.3 足球场·····	89
3.11.4 游泳场·····	90
3.11.5 教堂·····	91
第 4 章 小区块声模型 ·····	92
4.1 能量虚源法·····	92
4.1.1 围蔽街道·····	93
4.1.2 城市广场·····	95
4.2 考虑干涉效应的虚源法·····	96
4.3 声线追踪法·····	98
4.3.1 一般原理·····	98
4.3.2 城市广场模型·····	98
4.4 无规扩散反射放射线模型·····	99
4.4.1 扩散的作用·····	99
4.4.2 放射线模型一般原理·····	99
4.4.3 面元的划分·····	100
4.4.4 1 阶面元源·····	101
4.4.5 形状因子·····	102
4.4.6 面元之间的能量交换·····	104
4.4.7 从面元到接收器的能量·····	104
4.4.8 几何反射地面·····	105
4.4.9 十字形街道和城市广场·····	106
4.4.10 数值模拟和算法验证·····	106
4.4.11 与测量的比较·····	106
4.5 输运理论·····	108
4.5.1 通用方程·····	108
4.5.2 空置街道·····	109
4.6 波动理论模型·····	112
4.6.1 有限元法和边界元法·····	112

4.6.2	用于平行围蔽街道的等效源法	112
4.6.3	有限差分域法和抛物线方程法	113
4.7	经验公式	114
4.8	其他模型	115
4.9	声动漫	115
4.9.1	经过参数研究实现简化	116
4.9.2	通过主观测试作简化	119
4.9.3	范例	121
4.10	物理缩尺模型	121
4.10.1	一般原理	121
4.10.2	应用	122
4.11	现场测量	124
第 5 章	大区块声模型	126
5.1	噪声地图绘制技术	126
5.1.1	道路交通噪声源模型	127
5.1.2	一般计算方法	127
5.1.3	几何发散	128
5.1.4	大气吸收	128
5.1.5	地面效应	128
5.1.6	声屏障	129
5.1.7	反射	129
5.1.8	气象条件校正	130
5.1.9	其他衰减	130
5.1.10	噪声地图绘图软件	131
5.2	噪声地图绘制: 精度和策略应用	131
5.2.1	噪声地图及其绘制技术的应用	132
5.2.2	与虚源法的比较	133
5.2.3	斜屋顶的简化	135
5.2.4	建筑物之间的间隔	137
5.2.5	计算参数	138
5.2.6	数据采集	140
5.2.7	现场研究	140
5.3	噪声地图应用	143
5.3.1	欧洲	143
5.3.2	英国	143

5.3.3 工业现场噪声地图	144
5.4 其他模型	145
5.4.1 平面城市模型	146
5.4.2 线性输运模型	146
5.4.3 动态交通噪声	148
第 6 章 城市噪声降低	150
6.1 规划考虑	150
6.1.1 建筑规划	150
6.1.2 自防护建筑物	150
6.1.3 植物	151
6.2 建筑物外结构	152
6.2.1 隔声罩	152
6.2.2 复合墙	153
6.2.3 空调通风口消声器	153
6.2.4 防声窗	156
6.2.5 振动隔离	159
6.3 环境噪声屏障	159
6.3.1 多边缘屏障	160
6.3.2 抗性屏障	160
6.3.3 相位干涉屏障	160
6.3.4 倒相屏障	161
6.3.5 屏障上沿的纵向设计	162
6.3.6 窗百叶式和窗帘式屏障	162
6.3.7 绕射边缘的吸收处理	163
6.3.8 反射的处理	163
6.3.9 策略性建筑/景观设计	164
6.4 屏障设计中的非声学因素	166
6.4.1 公众的参与	166
6.4.2 使用寿命评估	167
6.4.3 感觉	168
6.4.4 设计过程	169
第 7 章 城市街道和广场的声环境	170
7.1 城市街道	171
7.1.1 声场的基本特性	172

7.1.2 边界面反射	176
7.1.3 街道几何形状	177
7.1.4 边界面吸收和建筑物布局	182
7.2 现场研究: 英国和香港街道的比较	186
7.2.1 街道布局	186
7.2.2 结果	188
7.3 城市广场	193
7.3.1 声场基本特性	193
7.3.2 边界面反射条件	194
7.3.3 广场几何设计	197
7.3.4 边界面吸收和建筑物布局	201
7.4 现场研究: 经典广场	211
7.5 两条平行街道之间的声传播	211
参考文献	213
附录 简略语表	239
索引	241

图 目 录

图 1.1	标准纯音等响级曲线, 前向入射, 自由场双耳测听 (ISO 2003b)	4
图 1.2	卡车和火车噪声典型频谱 (Jonasson and Storeheier 2001; Van Beek et al. 2002; Jonasson et al. 2004)	7
图 1.3	典型建筑材料的吸声系数 (UK DfES 2003)	8
图 1.4	Schroeder 声扩散器横截面图	10
图 1.5	典型构筑物的传声损失 (Möser 2004)	11
图 1.6	计算声屏障声绕射的示意图	14
图 2.1	L_{den} 与烦恼和高烦恼人群百分数的关系 (WG-HSEA 2002)	19
图 2.2	用式 (2.8) 算得的交通流量 Q 与交通噪声 L_{eq} 之间的关系, 式中 a 和 b 的值由 Barrigón-Morillas 等 (2005) 收集	25
图 2.3	英国大伦敦 (Skinner and Grimwood 2005), 西班牙 Pamplona (Arana and García 1998) 和 Badajoz (Barrigón-Morillas et al. 2005), 意大利 Messina (Piccol et al. 2005) 和埃及大开罗 (Ali and Tamura 2002) 的 L_{Aeq} 24h 分布. 注意, 由于测量条件不同, 把这些分布画在一起, 主要是比较它们随时间的相对变化, 而非比较它们绝对值	36
图 3.1	(a) EDINA 电子地图上显示的和平安公园平面图, 灰度表示声级, 虚线圆标明进行调查的区域; (b) 全景	47
图 3.2	(a) EDINA 电子地图上显示的 Barkers Pool 的平面图, 灰度表示声级, 虚线圆标明进行调查的区域; (b) 全景	48
图 3.3	在谢菲尔德于四个季节现场调查的不同年龄受访者人数	50
图 3.4	为 (a) 和平安公园及 (b) Barkers Pool 的受访者识别的主要声音	51
图 3.5	测得的声级与声级的平均主观评价之间的关系, 已作了线性回归和用 R 作了校准	55
图 3.6	在 (a) 和平安公园及 (b) Barkers Pool, 测得的 L_{eq} 与声级的主观评价之间的关系, 和测得的 L_{eq} 与声舒适评价之间的关系. 已作了二项式回归和用 R^2 作了校准	56
图 3.7	(a) 和平安公园及 (b) Barkers Pool 声级的主观评价与声舒适之间的比较	57
图 3.8	在和平安公园, 在三种声源条件下, (a) 测得的声级与声级平均主观评价之间的关系; (b) 测得的声级与平均声舒适评价之间的关系, 已作了二	

项式回归和用 R^2 作了校正	58
图 3.9 在 Barkers Pool, 在两种声源条件下, (a) 测得的声级与声级平均主观评价之间的关系; (b) 测得的声级与平均声舒适评价之间的关系, 已作了二项式回归和用 R^2 作了校正	59
图 3.10 两个谢菲尔德现场研究所得的声偏好性	61
图 3.11 从在谢菲尔德所做的两次现场研究得到的不同年龄组之间的声偏好性差异. (a) 鸟鸣声; (b) 商店音乐声; (c) 周围交谈声	63
图 3.12 从在谢菲尔德所做的关于偏好的休闲声环境的两次现场研究所得的不同年龄组之间的差异	64
图 3.13 从在谢菲尔德所做的两次现场研究所得的男性组和女性组之间声偏好性差异. (a) 教堂钟声; (b) 马路音乐; (c) 孩子欢叫声	66
图 3.14 (a) 北京西单广场; (b) 北京长椿园广场	70
图 3.15 (a) 和平公园和 (b) Barkers Pool 受访者年龄组分布, 两个季度平均	75
图 3.16 (a) 和平公园和 (b) Barkers Pool 受访者的教育和职业分布, 两个季度平均	75
图 3.17 以舒适和不舒适指数表示的四个广场之间的比较	78
图 3.18 选择给定环境因子作为“重要”的建筑系学生百分数	79
图 3.19 描述城市公共广场声景观的模式	80
图 3.20 用 ANN 做声景观评价的线路图	83
图 3.21 英格兰 Chatsworth Garden 三个水景的声音的频谱	86
图 3.22 在 Meadowhall 典型位置测得的噪声的 (a) 时域谱和其 (b) 频域谱	88
图 3.23 在谢菲尔德大学主图书馆建筑阅览室中放送的声音的频谱和时间特性	89
图 3.24 主游泳区典型的 SPL 时间分布	90
图 4.1 理想围蔽街道内虚源分布	93
图 4.2 一个理想化城市广场平面图. 网格线所示为单元划分 (见 4.4 节). 用于数值研究的声源和传声器位置也示于图中 (见 7.3 节), 广场大小: 50m×50m, 声源位置: (10m, 10m), 四个典型的传声器位置: 标号 24 (12.5m, 17.5m); 标号 56 (27.5m, 27.5m); 标号 89 (42.5m, 42.5m); 标号 100 (47.5m, 47.5m), 与之相当的声源—传声器距离为 8m, 25m, 46m 和 53m	95
图 4.3 理想化广场内的虚源分布平面图	96
图 4.4 理想围蔽街道的三维投影, 面元划分的例子	100

图 4.5	从点源到达地面上一个面元的能量分布	102
图 4.6	从发射面源 $A_{l',n'}$ 到垂直接收面源 $G_{l,m}$ 的形状因子的确定	103
图 4.7	几何反射地面和扩散反射立面的理想长方形街道的横断面图, 表示声源能量分布和面元之间能量交换的分布	105
图 4.8	沿长度方向 (a)SPL 衰减的和 (b)RT 的计算与测量的比较	107
图 4.9	两个典型传声器位置处测得的几何反射地面与扩散反射地面衰变曲线的比较	108
图 4.10	耦合 FDTD-PE 模型的建立, 根据 Van Renterghem 等 (2006) 的资料重画	114
图 4.11	用于数值研究的典型广场 (50m×50m), 标明了声源和传声器位置	116
图 4.12	SPL、RT 和 EDT 随声线数增加的变化, 1000Hz, 反射次数 50	117
图 4.13	SPL、RT 和 EDT 随反射次数增加的变化, 1000Hz, 100 000 条声线	118
图 5.1	50 m×50 m 的 (a) 理想广场和 (b) 理想街道, 标明了声源 (大个子点) 和传声器(小个子点)的位置. 坐标原点在广场/街道的一角	133
图 5.2	NMS 计算得到的 SPL, 反射次数 $R = 1 \sim 20$, 以 $R = 20$ 的虚源模型结果作参考. (a) 广场; (b) 街道	134
图 5.3	广场的 NMS 法和虚源模型之间的 SPL 之差, $\alpha = 0.1, 0.5$ 和 0.9	135
图 5.4	斜屋顶和 3 个简化建筑的横断面	135
图 5.5	两个计算布局的平面图, 标明了道路、建筑物和传声器的位置	136
图 5.6	以斜屋顶的 SPL 为基准, SPL 随不同平屋顶高度的变化, 布局见图 5.5(a)	136
图 5.7	建筑物间隔宽度不同的 3 种布局, 用于考察间隔宽度的影响	137
图 5.8	SPL 随建筑物之间的间隔的变化. (a) 以建筑物之间的间隔用砖块堵塞的街道的 SPL 为基准; (b) 间隔为 5m 的 4 种不同建筑物布局图	138
图 5.9	一条街道图 5.5(a) 内不同反射次数时的噪声地图	139
图 5.10	谢菲尔德市一个城区内反射次数为 0 和 1 的噪声地图的比较	139
图 5.11	以图 5.9 的建筑布局为例, 计算时间随反射次数的增大而增加	140
图 5.12	谢菲尔德市中心一个区块的平面图, 表示了 (a) 声源数据测点及其 (b) 视图	141
图 5.13	绘制谢菲尔德市中心一个区块噪声地图的三维模型	142
图 5.14	谢菲尔德市中心一个区块的噪声地图, 反射次数: (a)1 和 (b)3	142
图 5.15	一个工厂周围预测的 SPL 分布	144

图 5.16	SPL 分布比较. (a) 道路噪声; (b) 工厂噪声; (c) 道路和工厂噪声的合成.....	145
图 6.1	自防护建筑物的原理、例子及其横断面	151
图 6.2	典型的 (a) 吸收型消声器和 (b) 抗性消声器	154
图 6.3	“声锁”平面图	155
图 6.4	铺衬管道宽度对其声学性能和气流性能的影响, 管长为 0.3m, 0.45m 和 0.6m. (a) 有效通风面积比随宽度的变化; (b) 单元计权归一化级差 $D_{n,e,w}$ 随宽度的变化 (Oldham et al. 2005d).....	155
图 6.5	普通窗户系统的基本结构. HL 为窗帘长度; HD 为窗帘与玻璃之间的距离; SSO 为声源一侧的孔洞; RSO 为居室一侧的孔洞; MVG 为最小通风间隙; TWW 为典型窗宽; D 为玻璃与 MPA 之间的距离	157
图 6.6	FEMLAB 数值模拟得来的声源室的与接收室的 SPL 的差值, (a) 不同的 SSO-RSO (mm); (b) 不同的 TWW (mm) 和百叶窗的效果, (见图 6.5—PB003a: 45° 硬质百叶窗; PB003b: 声阻为 $0.3(\rho_0 c)$ 的 45° 百叶窗; PB003c: 声阻为 $0.3(\rho_0 c)$ 的 105° 百叶窗; (c) 不同的 HL(mm).....	158
图 6.7	以声源室与接收室的 SPL 之差表示的、典型的/策略设计的窗的声学性能测量结果 (Kang et al. 2005). 为比较, 也给出了单层和双层窗的声学性能	159
图 6.8	策略性设计的屏障断面图. (a) 多边缘屏障; (b) 抗性屏障; (c) 相位干涉屏障; (d) 倒相屏障 (Ekici and Bougdah 2004)	161
图 6.9	各种窗百叶屏障和悬挂窗帘屏障 (Ekici and Bougdah 2004)	162
图 6.10	吸收处理的屏障, 横断面图 (Ekici 2004)	163
图 6.11	发散屏障, 平面图	164
图 6.12	策略性建筑/景观设计, 横断面图. (a) 道路水平高度的调整; (b) 伸臂式和长廊式屏障; (c) 悬吊的平板 (Ekici 2004).....	165
图 6.13	各种屏障的噪声衰减的预想等级, 1 表示最有效, 5 表示最差 (Joynt 2005)	169
图 7.1	用于计算的 (a) 围蔽街道和 (b) 城市单元的基本布局	171
图 7.2	声音随声源与传声器之间距离增大而衰变的曲线, 扩散反射, 街道长 $L=120\text{m}$, 宽 $W=20\text{m}$ 和围蔽高 $H=18\text{m}$. 声源位于 (30m, 6m, 1m)	173
图 7.3	单个点源在街道 S-M 内 5 个位置的 SPL 分布. (a) (60m, 0m, 1m); (b) (60m, 15m, 1m); (c) (60m, 30m, 1m); (d) (60m, 45m, 1m); (e) (60m, 60m, 1m) 和 (f) 沿 $y = 0 \sim 120\text{m}$ 每隔 15m 共 9 个声源. 围蔽高 $H=20\text{m}$	174