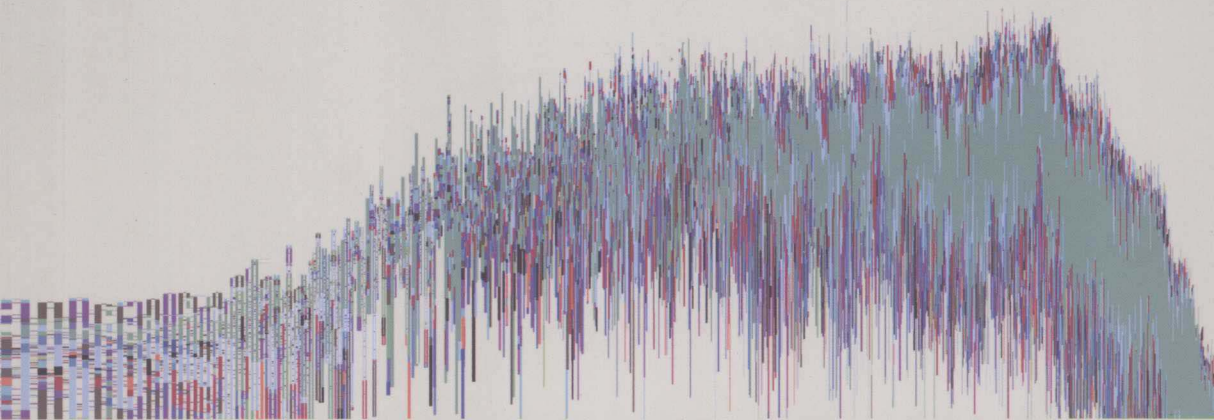


地下空间声环境

康健 金虹 著



科学出版社

地下空间声环境

康健金虹 著

国家“十一五”科技支撑计划重点项目：

城市地下空间建设技术研究与工程示范

——课题四：城市地下空间环境质量保障技术研究

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以改善地下空间声环境、降低环境噪声为目标,通过对我国地下空间进行的大量调研,系统分析我国地下空间的类型、使用现状及存在问题,从地下空间声场特性、地下商业空间声环境主观评价、地上与地下商业空间声环境对比分析、地下空间声环境模拟方法、地下空间噪声控制策略等方面,详细阐述了地下空间声环境研究的基础理论与方法。

本书图文并茂,内容翔实,调查试验数据充分,可作为高等院校有关专业师生、声学研究工作者及声学工程师的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

地下空间声环境/康健,金虹著. —北京:科学出版社,2014. 8
ISBN 978-7-03-041471-7

I. ①地… II. ①康…②金… III. ①城市空间-地下建筑物-声学设计
IV. ①TU112.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 170604 号

责任编辑:刘宝莉 / 责任校对:郭瑞芝
责任印制:肖 兴 / 封面设计:陈 敬

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>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 8 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2014 年 8 月第一次印刷 印张: 11

字数: 222 000

定价: 88.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



前 言

随着城市化水平的快速发展和人口密度的急剧增加,以土地短缺、交通拥挤、环境污染等为代表的“城市综合症”愈演愈烈。地下空间作为潜在资源,对其开发利用可以有效地解决以上问题。然而地下空间通常是人群高度集中的公共空间,与地上空间比,相对封闭、受自然环境影响小,存在物理环境相对较差等问题。地下空间环境对使用者的生理和心理的健康是否有影响以及如何创造良好的地下空间环境,是人们普遍关心和亟待研究的一个问题。

地下空间声环境是地下空间环境的重要组成部分和主要影响因素之一。由于地下空间的封闭特性,同一声源在地下空间环境内的声压级经常要比地面大,因此地下空间环境中的噪声问题要比地上空间更为突出。另外,由于地下空间形体的特殊性(如长空间),经典的声学理论难以解决地下空间的声学问题,因此迫切需要针对地下空间的特殊性研究并创建地下空间声学理论。

“十一五”期间,课题组完成了“十一五”国家科技支撑计划重点项目“城市地下空间建设技术研究与工程示范——课题四:城市地下空间环境质量保障技术研究——子课题:城市地下空间噪音控制技术研究(2006BAJ27B03-8)”,开展了大量典型地下空间声环境的调查、分析与模拟等系列研究。本书展现了课题组研究的部分成果,希望为相关研究与工程设计提供必要的参考和理论依据,从而为改善我国地下空间的声环境做出贡献。

本书由康健、金虹总体撰写,各章主要贡献人如下:第一章唐征征、宋菲、张卷舒;第二章唐征征;第三、四章孟琪;第五章宋菲;第六章姜虹;第七章张震;第八章姜虹;第九章张微微;第十章于德梓;第十一章姜虹。全书图表等由孟琪、王斌统一调整。在写作过程中也得到哈尔滨工业大学建筑技术科学 2005、2006、2007 级研究生的协助,特此感谢!

由于作者水平有限,书中难免存在不足之处,敬请批评指正。

康 健 金 虹

2013 年 12 月

目 录

前言

1 地下空间声环境实测分析	1
1.1 声场测试方法与地点选择	1
1.1.1 测试方法	1
1.1.2 地点选择	1
1.2 测试结果分析	4
1.2.1 地下商业街	4
1.2.2 地下走廊	7
1.2.3 地下车库	20
1.3 不同类型地下空间的声场特性比较	25
1.3.1 声压级	25
1.3.2 混响时间	25
1.4 本章小结	28
2 地下商业空间的声源调研分析	29
2.1 哈尔滨地下商业空间调研分析	29
2.1.1 调研地点及方法	29
2.1.2 调研结果	31
2.2 法国巴黎地下商业空间调研分析	34
2.2.1 调研地点及方法	34
2.2.2 调研结果	35
2.3 中法地下商业空间声源比较	36
2.4 本章小结	37
3 地下商业空间声环境主观调查方法	38
3.1 基础工作	38
3.1.1 研究假设	38
3.1.2 地点取样	39
3.1.3 实地访谈	46
3.2 问卷设计	47
3.2.1 问题设置	47
3.2.2 量表选择	47

3.3	问卷的信度与效度	50
3.3.1	信度	50
3.3.2	效度	51
3.4	实地调查	53
3.4.1	取样方法	53
3.4.2	样本规模	54
3.5	本章小结	54
4	地下商业空间声环境的主观评价	55
4.1	声音与声环境的主观评价	55
4.1.1	等效 A 声级与主观响度	55
4.1.2	等效 A 声级与声舒适度	57
4.1.3	主观响度与声舒适度	59
4.2	使用者社会特征与声环境的主观评价	61
4.2.1	性别因素	61
4.2.2	年龄因素	62
4.2.3	学历因素	63
4.2.4	收入因素	64
4.2.5	职业因素	65
4.3	空间因素与声环境的主观评价	66
4.3.1	空间类型因素	66
4.3.2	空间功能因素	68
4.4	环境因素与声环境的主观评价	70
4.4.1	温度因素	70
4.4.2	湿度因素	71
4.5	本章小结	72
5	地上与地下商业空间声环境主观评价对比分析	74
5.1	研究方法	74
5.1.1	研究理论	74
5.1.2	研究案例	75
5.1.3	研究方法	76
5.2	声音识别与评价比较	78
5.2.1	声音识别	78
5.2.2	声音评价	79
5.3	声环境评价比较	80
5.3.1	声环境评价与声压级的关系	80

5.3.2 各楼层声环境评价比较	82
5.3.3 各空间声环境评价比较	84
5.4 本章小结	86
6 地下空间声环境模拟方法研究	88
6.1 声环境模拟发展概况	88
6.1.1 声场模拟的发展	88
6.1.2 声场模拟的基本方法	88
6.2 长空间声环境模拟方法研究	89
6.2.1 声场模拟软件的特点分析	89
6.2.2 地铁空间测试	90
6.2.3 地铁空间声环境模拟	92
6.2.4 模拟参数修正	93
6.3 本章小结	99
7 地下商业空间人群密度对语言清晰度的影响	101
7.1 相关概念	101
7.2 语言清晰度模拟的基础调研	101
7.2.1 基础数据收集	102
7.2.2 基础数据整理	104
7.3 人群建模研究	105
7.3.1 人体模型	105
7.3.2 人群分布模型	107
7.4 语言清晰度模拟分析	108
7.4.1 模拟方法	108
7.4.2 数据分析	110
7.4.3 推论验证	114
7.5 本章小结	115
8 地下长空间声源指向性对广播系统语言清晰度的影响	117
8.1 地下长空间公共广播系统的声学问题	117
8.1.1 公共广播系统概述	117
8.1.2 地下长空间的声场特性	118
8.2 地下长空间公共广播声源系统的设计原则	118
8.2.1 扬声设备概述	118
8.2.2 扬声设备的布置方式	120
8.2.3 STI 的主要影响因素	121
8.3 声源系统的指向性对 STI 的影响	121

8.3.1	模拟参数的设置	121
8.3.2	模拟结果	122
8.4	本章小结	126
9	地下转换空间低频声场特征模拟分析	127
9.1	模拟参数设计	127
9.2	模拟结果	131
9.2.1	带有支路的走廊转换空间	131
9.2.2	带有支路的大空间转换空间	133
9.3	本章小结	136
10	地下长空间空调噪声环境模拟分析	137
10.1	模型建立	137
10.2	空调风口直达声及混响声模拟分析	139
10.2.1	直达声	139
10.2.2	混响声	140
10.3	吸声材料降噪	141
10.3.1	顶送风	142
10.3.2	侧送风	145
10.4	风口指向性的影响	146
10.5	本章小结	147
11	地下空间噪声控制策略	148
11.1	地下停车库	148
11.2	地铁站	150
11.3	地下商场	154
11.4	本章小结	156
	参考文献	157
	附录 1 地下商业街声景调查问卷	160
	附录 2 地下地上商场声环境满意评价调查问卷	162
	索引	164

1 地下空间声环境实测分析

了解城市地下空间的声场现状,是解决其声学问题的重要依据。本章首先介绍地下空间声场的测试方法,其次以三种不同类型的典型空间为例,对声场测试结果进行逐一的分析,最后通过混响时间和声压级比较了不同类型声场的特性。

1.1 声场测试方法与地点选择

1.1.1 测试方法

现场测量时所采用的声源设备是无指向扬声器系统,在十二面体音箱上,每个面上设置有 $D=10\text{cm}$ 的动圈扬声器,保证声源在所测频率范围内有良好的指向性,同时获得均匀的频率响应,其发出的信号为白噪声。

现场测量采用声级计和 MP3 现场录音两种方法同时进行。声压级测量采用的仪器是 Norsonic 121 声学分析仪、HS-3671、801 声学分析仪,仪器在测量时设置为“慢”响应,并在测试前采用校准仪和标准声源校准,误差允许范围为 0.3dB 以内;混响时间现场数据收集采用型号为 DQ-109S MP3 进行录音,用 01dB 噪声分析软件对得到的音频文件分析获得。同时也使用 Norsonic 121 声学分析仪来记录混响时间。

测量时保证测量位置离墙面和其他主要反射面不小于 1m ,距地面 $1.2\sim 1.5\text{m}$ 。为了避免人员及其他噪声干扰,测试时间均为 22:00 至次日 5:00。

声场客观调查的测试指标包括该声场的声压级和混响时间。对于声压级的测量按照计权声压级进行测试,按等时间间隔测量瞬时 A 声级、C 声级和 $1/3$ 倍频程声压级,时间间隔为 5s 。对于混响时间的测量采用连续声源截断法。

1.1.2 地点选择

为了全面了解地下空间的声场特性,本节选择了三类典型的地下空间,即地下商业街、地下走廊和地下车库进行声场测试,并对这三类不同平面形态的地下空间声场特性进行了比较。

1. 地下商业街

哈尔滨石头道街地下商业街如图 1.1 和图 1.2 所示,中间为走廊,两侧为隔断式商业店铺,宽度为 15.3m (包括店铺),高度为 5m 。测试点均匀分布在整条商业

街的走廊中,从测试点 R1~R23 的距离为 145.2m。其空间形态特点是长度远大于高度和宽度的 6 倍,高度与宽度接近,属于典型的长空间。

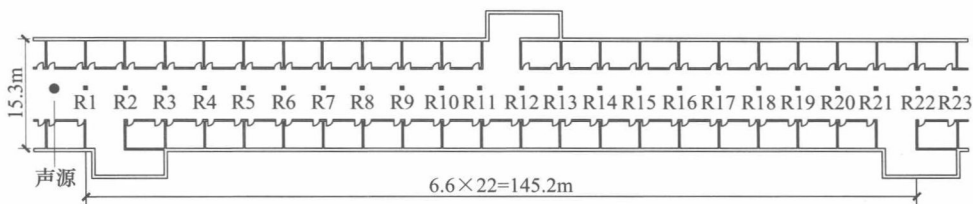


图 1.1 哈尔滨石头道街地下商业街声场测试点分布图

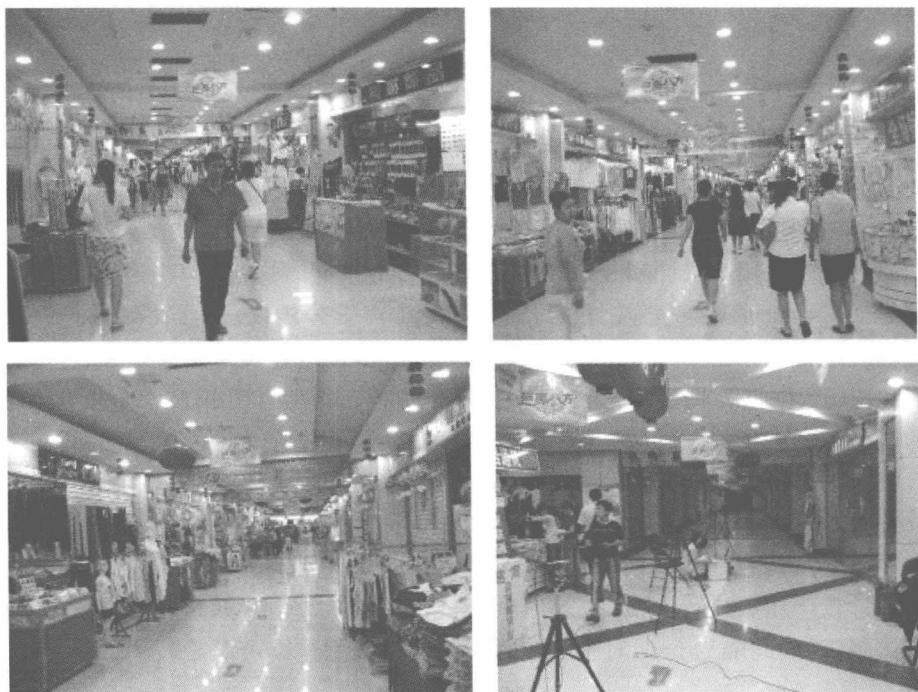


图 1.2 哈尔滨石头道街地下商业街实景及测试现场照片

2. 地下走廊

哈尔滨工业大学建筑学院地下走廊如图 1.3 所示,测试点 R1~R15 约为 62m,测试点 R16~R40 约为 100m,宽度均为 3.1m,高度均为 4.5m,其平面形态特点是两个方向的地下走廊形成 90° 的交接,各自的长度远大于高度和宽度的 6 倍,亦属于典型的长空间。本测试为突出其平面形态特点,采用在一侧走廊端头设置声源的测试方法。

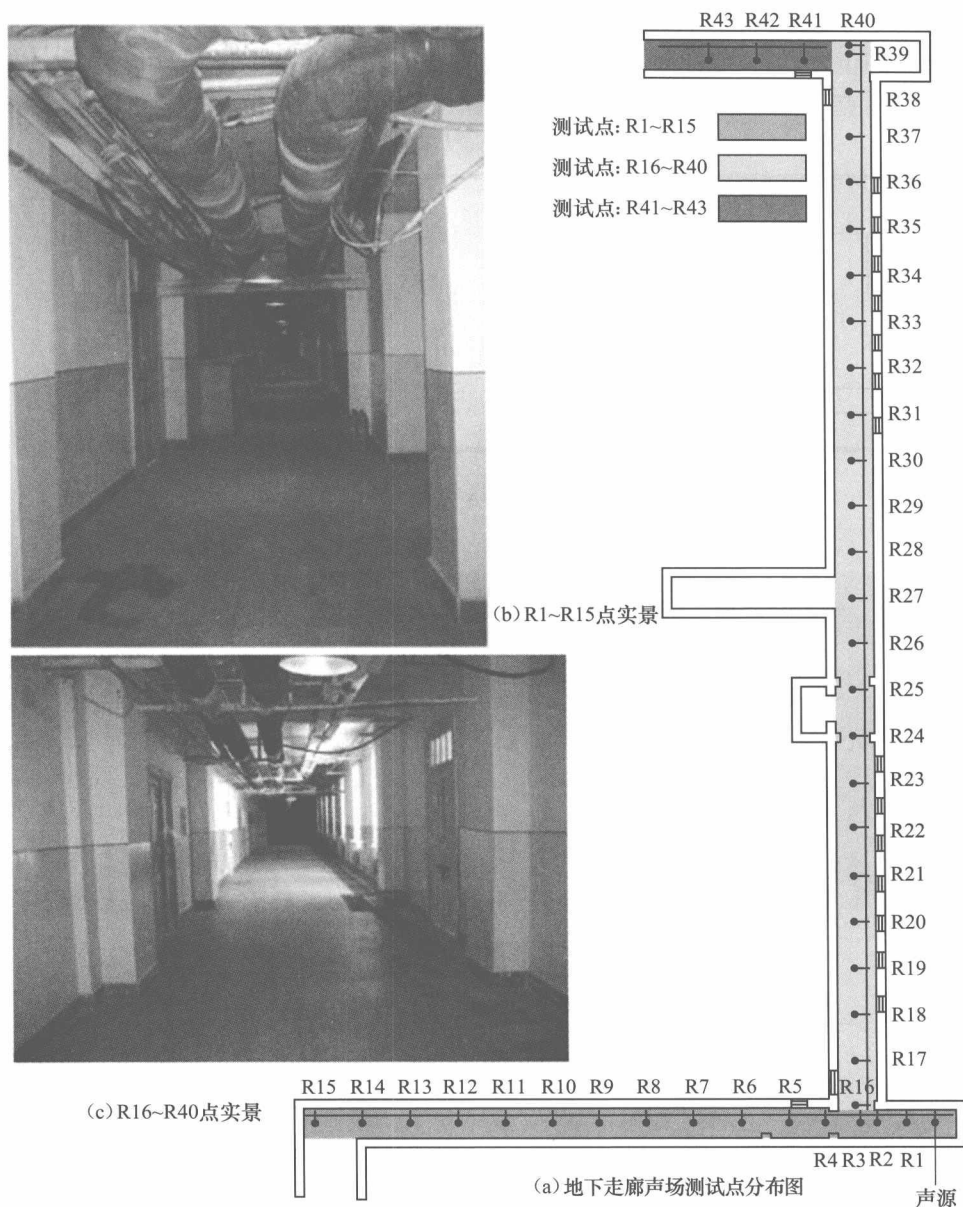


图 1.3 哈尔滨工业大学建筑学院地下走廊

3. 地下车库

哈尔滨工业大学二校区地下车库,位于校园家属区内,其平面尺寸为 $110\text{m} \times 380\text{m}$,如图 1.4 和图 1.5 所示,其空间形态特点为长度、宽度均较大并且比例未超

过 3 : 1, 高度远小于其长度和宽度, 属于扁长形空间形态。本测试将声源布置在端部中间位置, 沿长度柱列方向均匀布置两排测试点(R1~R10 点)和(R11~R20 点)共 20 点。

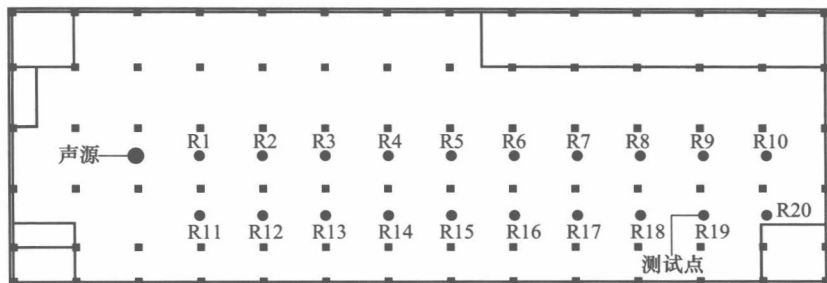


图 1.4 哈尔滨工业大学二校区地下车库声场测试点分布图

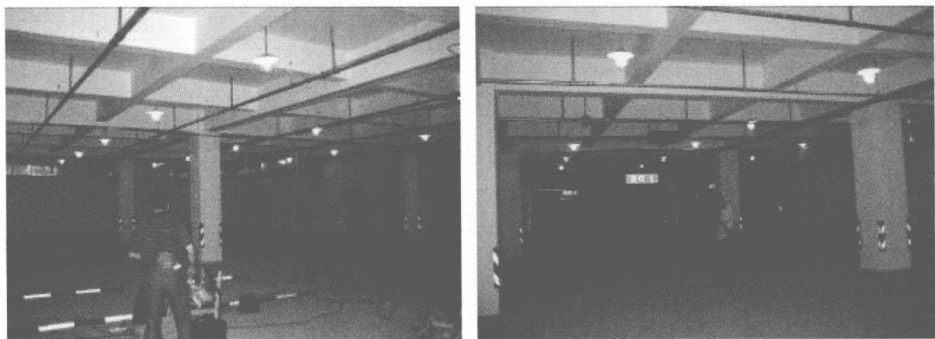


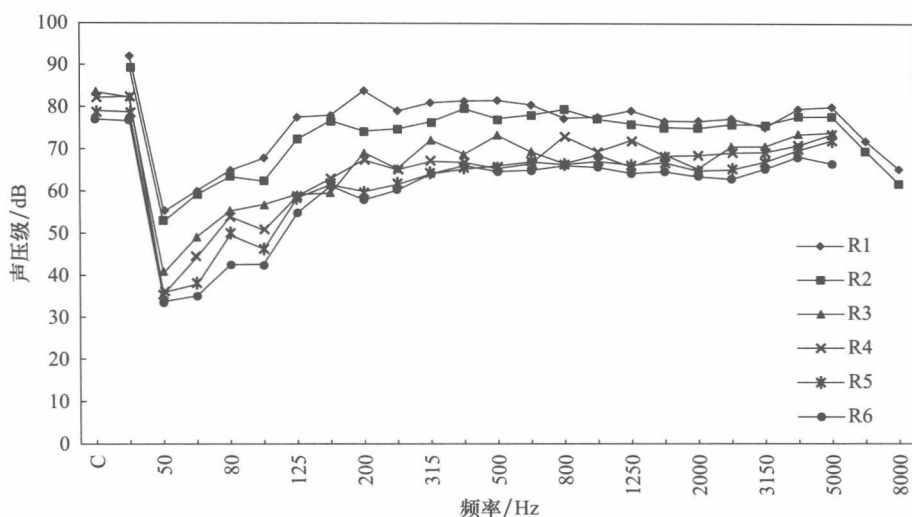
图 1.5 哈尔滨工业大学二校区地下车库现场实测场景

1.2 测试结果分析

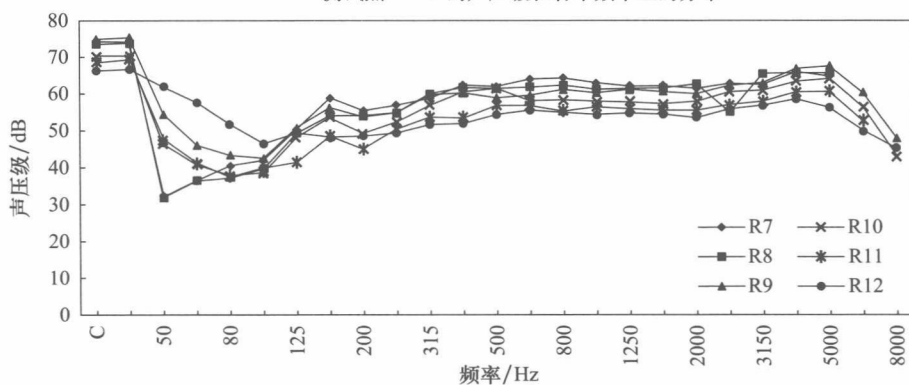
1.2.1 地下商业街

1. 声压级

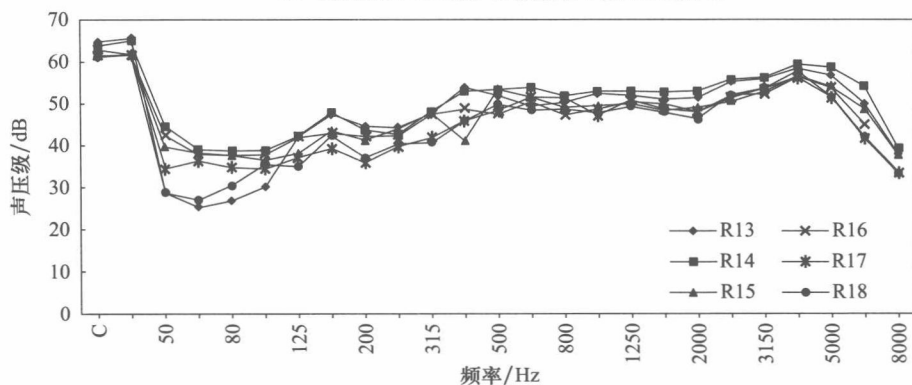
地下商业街的声压级分布如图 1.6 和图 1.7 所示。由于声源的特性, 声压级在 50~200Hz 随频率的增加有明显的加强趋势, 之后趋于平稳。声压级沿着长度方向持续衰减, 在 100m 的范围内, 衰减为 20~30dB, 在低频可以看到明显的波动。



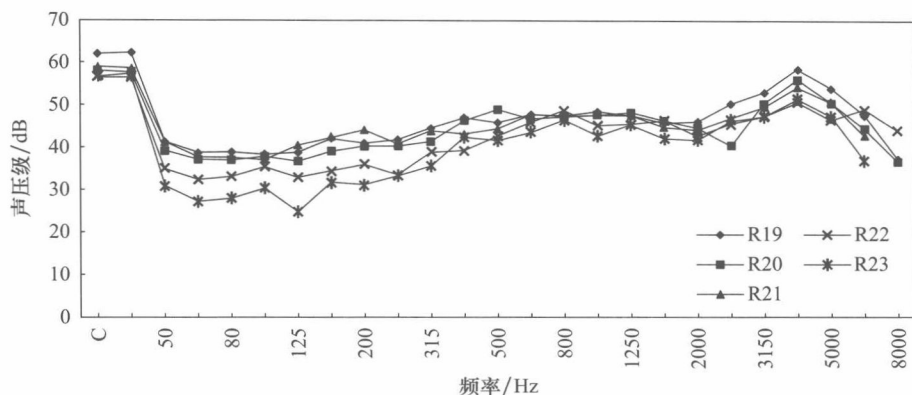
(a) 测试点R1~R6的声压级在各个频率上的分布



(b) 测试点R7~R12的声压级在各个频率上的分布

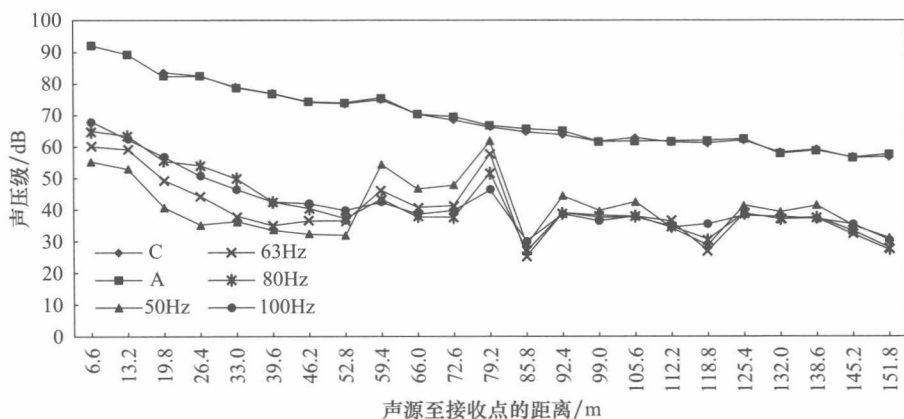


(c) 测试点R13~R18的声压级在各个频率上的分布

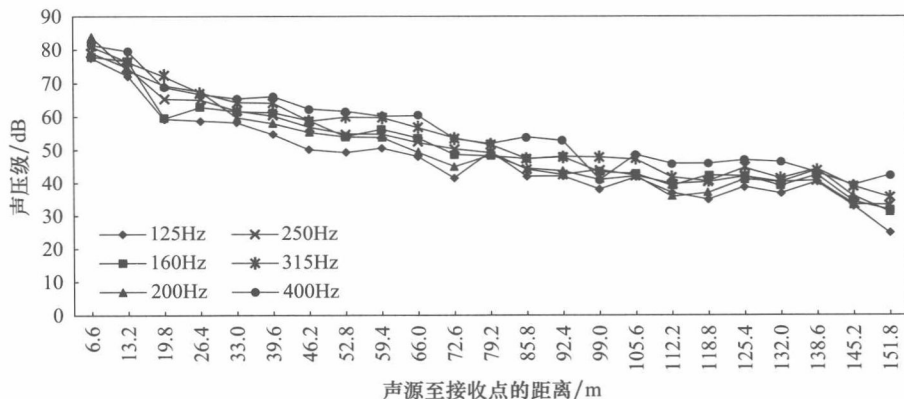


(d) 测试点R19~R23的声压级在各个频率上的分布

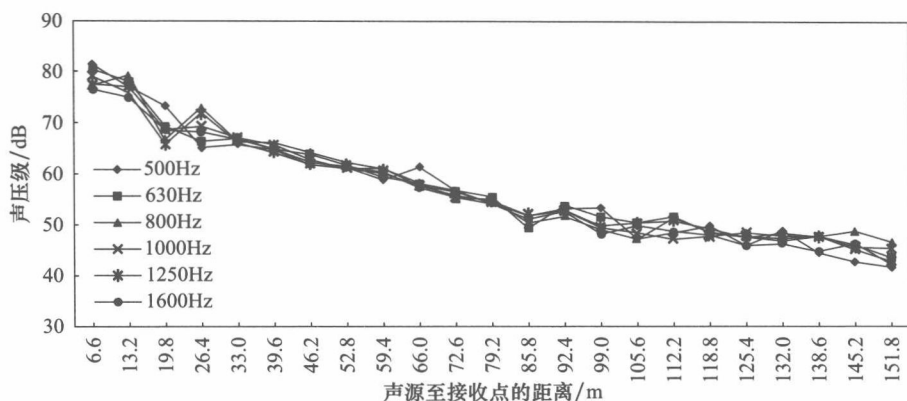
图 1.6 哈尔滨石头道街地下商业街各频率各点分布



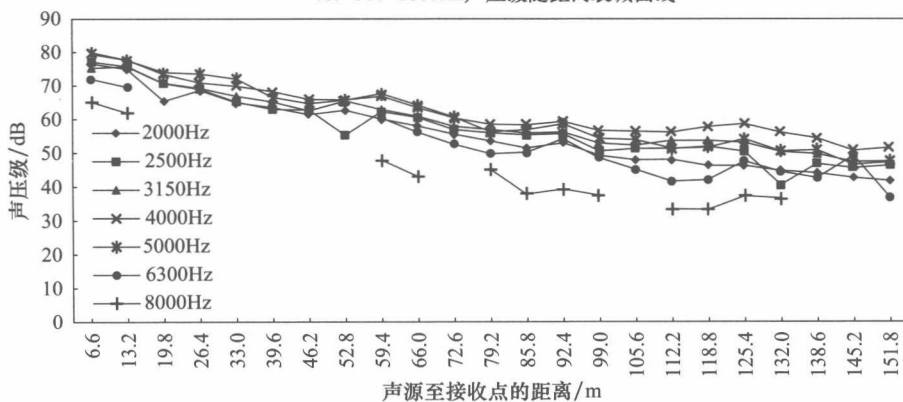
(a) 50~100Hz及C、A计权声压级随距离衰减曲线



(b) 125~400Hz声压级随距离衰减曲线



(c) 500~1600Hz声压级随距离衰减曲线



(d) 2000~8000Hz声压级随距离衰减曲线

图 1.7 哈尔滨石头道街地下商业街随距离衰减曲线

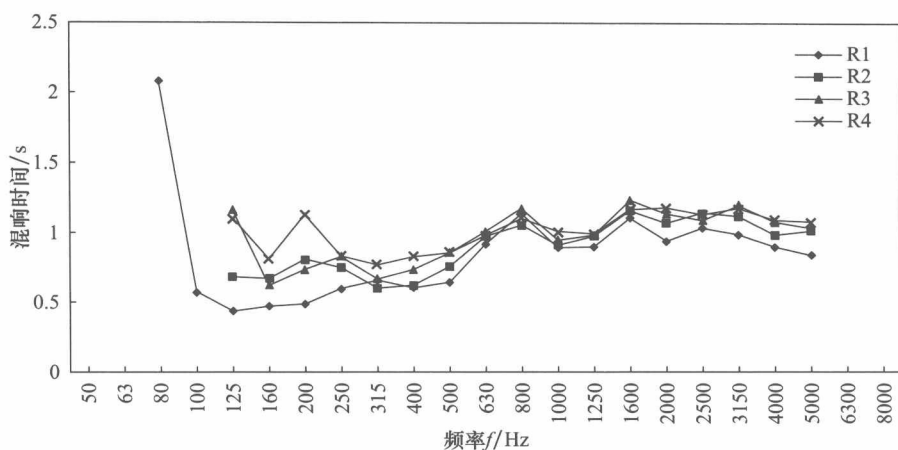
2. 混响时间

图 1.8 和图 1.9 所显示的是不同频率混响时间在各测量点的分布情况。可以看出,随着距离的增加,混响时间有一定的变化,但并不显著,混响时间为 1.0~1.3s。

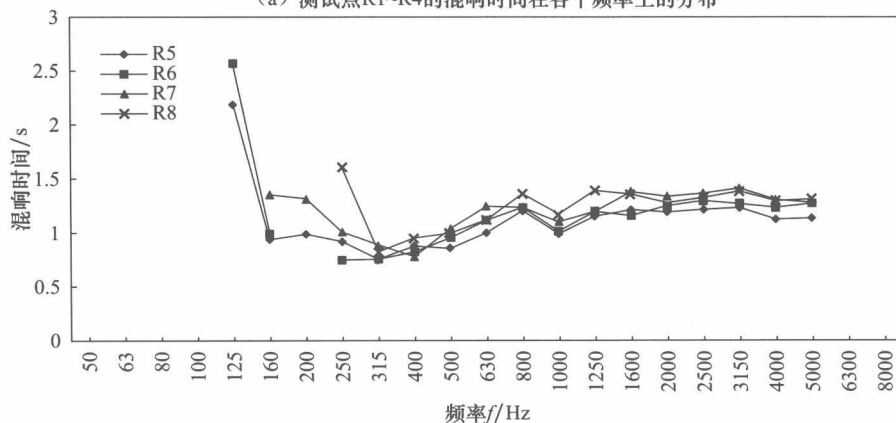
1.2.2 地下走廊

1. 声压级

图 1.10 是不同频率声压级在各测量点的分布情况。可以看出,近场由于声源的特性,50~200Hz 声压级随频率的增加有明显的加强趋势,在 200Hz 左右达到最大值;在 200~5000Hz 声压级随频率的增加无明显变化。随着与声源距离的增加,声压级的变化相对平缓,表明声音在低频衰减的程度比在高频衰减的

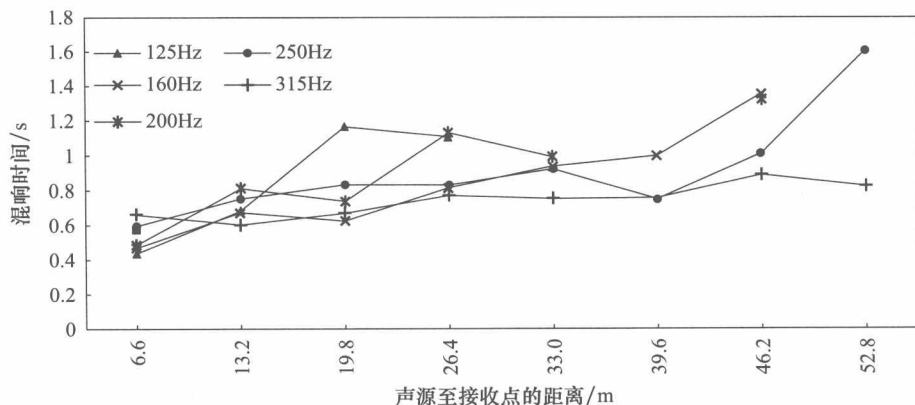


(a) 测试点R1~R4的混响时间在各个频率上的分布

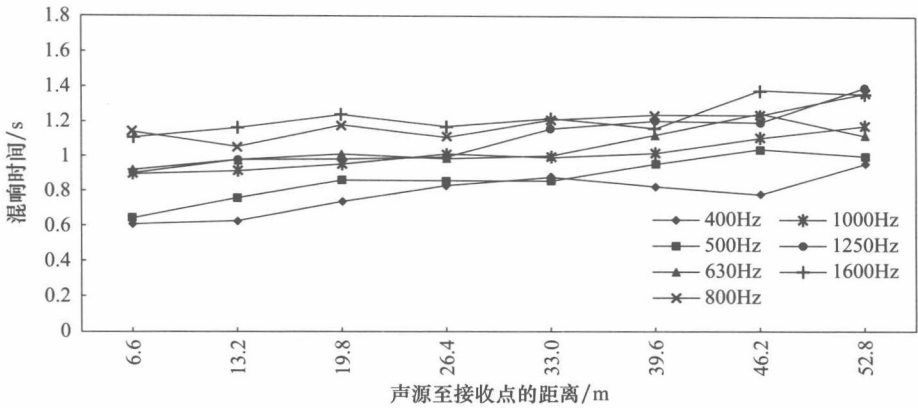


(b) 测试点R5~R8的混响时间在各个频率上的分布

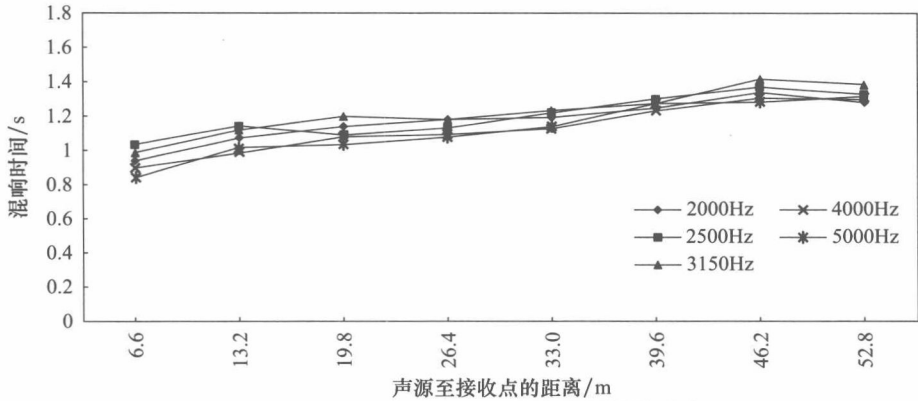
图 1.8 哈尔滨石头道街地下商业街各频率各点混响时间分布



(a) 125~315Hz混响时间随距离变化曲线

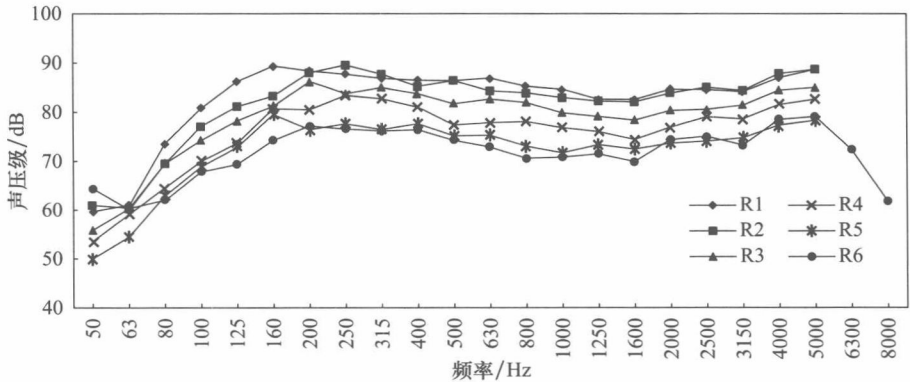


(b) 400~1600Hz混响时间随距离变化曲线



(c) 2000~5000Hz混响时间随距离变化曲线

图 1.9 哈尔滨石头道街地下商业街混响时间分布



(a) 测试点R1~R6的声压级在各个频率上的分布