

硕士学位论文

养老院老年人声喜好及声环境研究

**RESEARCH ON SOUND ENVIRONMENT AND
SOUND PREFERENCE OF THE ELDERLY
PEOPLE IN THE NURSING HOME**

李忠哲

哈尔滨工业大学

2016 年 6 月

国内图书分类号：TB533+.2
国际图书分类号：625.1/.5

学校代码：10213
密级：公开

工学硕士学位论文

养老院老年人声喜好及声环境研究

硕士研究生：李忠哲

导师：杨利芳 副教授

申请学位：工学硕士

学科：设计学

所在单位：机电工程学院

答辩日期：2016年6月

授予学位单位：哈尔滨工业大学

Classified Index: TB533+.2

U.D.C.: 625.1/.5

Dissertation for the Master Degree in Engineering

RESEARCH ON SOUND ENVIRONMENT AND SOUND PREFERENCE OF THE ELDERLY PEOPLE IN THE NURSING HOME

Candidate :

Li Zhongzhe

Supervisor :

Asst. Prof. Yang Lifang

Academic Degree Applied for :

Master of Engineering

Specialty :

Designology

Affiliation :

School of Mechatronics Engineering

Date of Defence :

June, 2016

Degree-Conferring-Institution : Harbin Institute of Technology

摘要

随着老龄化的快速发展以及家庭结构的改变，人们对于养老院的需求逐年增高。养老院的声音环境，不仅影响老年人的心理健康，也同时影响着老年人的睡眠质量等身体健康，因此，研究养老院的声环境以及养老院老年人的声音喜好至关重要。本文主要通过问卷调查，研究老年人对声音舒适度的影响因素，通过声学仪器测量得到养老院内的声场分布，并通过软件模拟出养老院内主要场所的声环境仿真模型，进而研究不同房间材料对声环境的影响。

本文运用深入访谈的方法获求养老院老年人的身心需求，进而设计了养老院老年人声喜好量表，利用问卷调查的方式收集了关于养老院老年人对于声环境的主观评价参数以及老年人的基本信息。运用相关分析，得出了养老院内声环境舒适度的影响因素，并运用因子分析，研究了养老院老年人对于不同种类声源的喜爱程度。

运用声学仪器，采集了养老院内主要活动区域的声音样本。通过数据处理，得到了主要活动区域的声音频谱特征、混响时间曲线以及不同房间内的语言清晰度及语言可懂度，并通过采集的客观数据进行了主客观参数的相关分析。

通过设定材质参数和声源参数，构建了养老院内主要活动区域的空间模型，模拟出了养老院内的声环境仿真空间。并通过软件，模拟分析了养老院内的顶棚材料、地面材料、室内绿化以及空间吸声体的设置对声环境参数的影响。

本论文通过问卷、测量和模拟的方法，得出养老院老年人对声环境的喜好规律以及养老院建筑空间内的声环境模拟。本文的研究成果将为今后的养老院建筑设计以及适合老年人的声音设计提供一定的建议和帮助。

关键词： 养老院；声喜好；声环境；相关分析；声场模拟

Abstract

The demand of nursing home is increasing as the family structure changing. And the old inside request both sound environment and mental characteristic which influence elderly people's mental health, sleeping quality, etc. Thus, research on sound environment of nursing home and elderly people's sound preference is essential. This paper did research on various factors that affect elderly people's sound comfort degree with questionnaire, analyzed sound field distribution, simulated sound environment for main space of nursing home and studied various influence on sound environment with different materials.

The paper collected elderly people's requirement in nursing house by deep interview and sound preference scale. And subjective evaluation parameters and basic information of the old were learned from questionnaire. Also, factors that affect sound comfort in the environment like nursing home were collected with Correlation Analysis. Besides, the old people's preference on sound sources was studied with Factor Analysis.

Collecting sound samples were collected in main activity zone of nursing home with acoustic instrument. And sound spectrum characteristic, reverberation time, Articulation Index and Speech Intelligibility in different rooms were obtained by analyzing data. Based on the collected objective data, Correlation Analysis was conducted for subjective and objective parameters.

Model of main activity zone inside nursing home was studied by setting materials and sound sources as well as simulating the sound environment in nursing home. Also, how changing on ceiling material, ground material, indoor greening and spatial sound absorber affects sound environment parameters was analyzed.

This paper aims at obtaining elderly people's sound preference and sound environment simulation with approaches of questionnaire, measurement and simulation. The findings in research can offer advice and favor for nursing home architect design and sound design for elderly people in the future.

Keywords: nursing home, sound preference, sound environment, correlation Analysis, sound field simulation

目 录

摘 要.....	I
Abstract.....	II
第 1 章 绪 论.....	1
1.1 课题背景及研究的目的和意义.....	1
1.2 国内外在该方向研究现状.....	2
1.2.1 建筑室内声环境研究现状.....	2
1.2.2 老年人声喜好研究现状.....	3
1.2.3 养老院老年人生理及心理研究现状.....	4
1.2.4 声环境模拟研究现状.....	4
1.2.5 国内养老院现状分析.....	5
1.3 本课题主要研究内容.....	6
第 2 章 养老院老年人声喜好量表设计及分析.....	7
2.1 养老院老年人声喜好研究方法和假设.....	7
2.1.1 研究对象和研究范围的界定.....	7
2.1.2 声喜好研究的深入访谈.....	8
2.1.3 声喜好问题的研究假设.....	8
2.2 养老院老年人声喜好量表设计.....	9
2.2.1 量表的选择及检验标准.....	9
2.2.2 量表的设计与实施.....	10
2.2.3 量表的检验与分析标准的确定.....	10
2.3 养老院老年人声喜好量表分析.....	12
2.3.1 被调查者特征对声环境舒适度的影响.....	12
2.3.2 身心健康指标对声环境舒适度的影响.....	15
2.3.3 不同类型环境舒适度间的相关性分析.....	16
2.3.4 声喜好要素的因子分析.....	17
2.4 本章小结.....	21
第 3 章 养老院声环境测量与声场分析.....	22
3.1 养老院声环境测量.....	22

3.1.1 测量仪器及测量条件.....	22
3.1.2 测量方法及时间地点.....	23
3.2 养老院声源及声场分析.....	25
3.2.1 不同类型房间的声音频率特征.....	25
3.2.2 养老院内的混响时间.....	27
3.2.3 养老院内的语言清晰度和语言可懂度.....	27
3.3 养老院声环境主客观关系分析.....	29
3.3.1 养老院全天内声压级变化.....	29
3.3.2 客观参数对声环境舒适度的影响.....	30
3.4 本章小结.....	31
第4章 养老院声环境仿真模型构建.....	32
4.1 模拟空间及模拟方法确定.....	32
4.1.1 声场仿真模拟原理.....	32
4.1.2 模拟空间的确定.....	33
4.1.3 声学模拟软件的选取.....	33
4.2 养老院声环境模拟过程.....	34
4.2.1 房间模型的建立.....	34
4.2.2 材料声学参数设定.....	35
4.2.3 声源的位置及参数设定.....	36
4.3 养老院声环境模拟可靠性验证.....	37
4.3.1 棋牌室空间模型可靠性验证.....	37
4.3.2 阳光大厅空间模型可靠性验证.....	39
4.4 本章小结.....	40
第5章 养老院声环境模拟分析及设计策略.....	41
5.1 棋牌室声环境分析.....	41
5.1.1 顶棚材料对声环境的影响.....	41
5.1.2 地面材料对声环境的影响.....	45
5.2 阳光大厅声环境分析.....	49
5.2.1 室内绿化对声环境的影响.....	49
5.2.2 空间吸声体对声环境的影响.....	52
5.3 养老院人性化声环境设计策略.....	54
5.3.1 根据声喜好需求的养老院布局规划策略.....	55
5.3.2 满足声环境要求的养老院室内设计策略.....	55

5.4 本章小结.....	56
结 论.....	57
参考文献.....	58
附录 1 声喜好问卷调查.....	62
攻读学位期间发表的学术论文.....	65
哈尔滨工业大学学位论文原创性声明及使用授权说明.....	66
致 谢.....	67

第1章 绪论

1.1 课题背景及研究的目的和意义

目前，我国已步入人口老龄化飞速发展阶段，截止到 2014 年底，中国超过 60 岁的老年人人口总数已超过 2 亿，在 2020 年老年人口总数将达到 2.43 亿，在 2025 年将超过 3 亿。积极应对人口老龄化，加快发展养老服务业，不断满足老年人持续增长的养老服务需求，是全面建成小康社会的一项紧迫任务，有利于保障老年人权益，共享改革发展成果，有利于拉动消费、扩大就业，有利于保障和改善民生，促进社会和谐，推进经济社会持续健康发展^[1]。本课题主要将养老院声环境作为研究对象，以声学、医学和社会学等理论为基础，研究老年人的声喜好以及养老院的声环境分布。本课题是工业设计实验室自选课题。

面对人口老龄化的巨大压力的同时，也考验着政府的能力。根据统计，截至 2008 年底，中国共有 37623 家老年福利机构，养老院床位达到 245 万张，但这一数字只占中国 60 岁以上人口总数的 1.5% 左右，而且也低于一些发展中国家的 2%—3% 的水平^[2]。

此外，在养老方面除了要保障老年人的日常基本生活外，还需要大量的适合老年人的，诸如心理、医疗等多方面的专业护理服务。未来的发展应当是将养老问题逐渐走向社会化，变家庭养老为社会养老是一个主要趋势。虽然我国现有的老年人养老系统只占养老制度的一小部分，但其作用却相当大。随着经济和社会的发展，特别是人口老龄化和家庭小型化问题日益严重，人们对养老服务的需求会越来越大，现有的养老设施很难满足日益增长的需求。

国内对养老院的研究目前主要集中于养老院的建筑设计上，对养老院的建筑环境研究，尤其是声环境的研究几乎处于空白阶段。

众所周知，大部分老年人会由于身体和心理原因，随年龄增长普遍会出现听力衰退的现象^[3]，这势必会对声音的喜好产生影响。另外，由于中国固有的养老观念，导致绝大部分老年人对养老院有抵触心理^[4,5]，这一现状在农村老年人中更为明显^[6]。有研究表明，对于不同类型的老人，其听觉喜好也可能不相同，听力有障碍的老年人有时需要较大的声音刺激，而患有一定小脑萎缩的老年人则容易对噪声感到反感^[7]。以上种种原因导致养老院需要比一般建筑声环境更为严格的声环境，研究养老院老年人的声环境需求和声音喜好特性，进而

改善养老院的声音环境很有意义。

论文研究成果对今后养老院的规划、布局，发展以人为本的设计理念具有重要的价值。它使设计师更多地关注老年人对养老院声环境的需求，并加以充分考虑、合理布局，营造出健康舒适的养老院声环境。

1.2 国内外在该方向研究现状

1.2.1 建筑室内声环境研究现状

声环境(Sound Environment)是环境物理中的一方面。声环境是指通过人耳所感知周围的一切声音活动的状况，人们通过耳朵能够听到的所有声音都属于声环境的范畴。建立良好养老院声环境的目的就是创造符合老年人听闻要求的舒适环境。

根据近几十年来对室内声学的研究，人们发现仅通过 A 声级或 NC 数已不足以表现噪声中存在的所有属性，因此更多的心理声学参数逐渐被室内声学研究者定义。研究表明，人在环境中对于声音的感知程度（喜欢或烦躁）不仅取决于 A 声级的高低，更多取决于其它诸多因素，例如声源的频谱特性、声音的波动性、噪声的时变性等^[8]。

国外对于声环境的研究由来已久，早已形成体系，但大多是对典型声学空间，既音乐厅、歌剧院等声品质要求较高的空间进行声环境的评价和设计研究。近几十年来，随着对音乐厅等声学空间的研究越来越深入，非声学空间的声品质也越来越受到关注^[9-10]。

目前国内针对养老院声环境的研究较少，大部分文献主要是从心理学和统计学角度分析养老院老年人的身体状况以及哪些因素会对老年人带来不利影响。有些论文虽没有专门研究养老院内的声环境，但其对于声环境的研究理论和方法值得借鉴。

英国谢菲尔德大学的康健教授在其论文中分析了八种类型的公共建筑在声环境问题上的研究成果，包括火车站、购物广场、图书馆、开放性办公室、足球场、游泳池、公共餐厅和教堂，其主要目的是分析主观评价与客观评价之间的关系，并探讨在非声学空间中创造舒适的声环境的原则和方法^[11]。其发表的系列论文也证实了声品质在非声学建筑空间中也具有重要作用，研究也表明了声环境的主观评价与客观评价指标间存在更复杂的关系，于此相关的因素可能包括社会背景、心理状况、声音喜好因素以及噪声的可接受程度等^[12-15]。

此外 Lotta Johansson 等人对重症监护室的声环境进行了研究^[16]，Kawai.K

等人研究了声音环境的整体印象与环境声音的类型与噪声的关系^[17], Suzuki 从声环境角度对医院护理环境的设计进行研究^[18], Thomas 等人对康复中心的声环境特性进行了分析^[19], Mui.K.W 等人对香港养老中心的整体环境进行了分析评价, 其中对声环境有所涉及^[20], Lin Wei 等人对台北市老年精神病院的声环境进行了分析评价^[21], 医院和精神病院与养老院在空间和作用上有很多相似之处, 因此以上论文的研究成果值得参考。

国内在声环境设计方面, 也有许多学者做了大量研究, 对论文有一定的帮助。比如: 长安大学郝原的针对博物馆核心公共空间的声环境研究进行了研究^[22], 哈尔滨工业大学陈曦在其硕士论文中分析了地下餐饮空间的声环境, 并建立了空间仿真模型^[23]、青岛理工大学的李亮研究了低气压下声环境对人体舒适度的影响^[24]。

专门研究声环境的博士论文在近五年来也逐渐增多, 对本论文有参考意义: 重庆大学的张厚斌博士研究了教堂建筑的声环境, 针对宗教和心理分析了教堂特有的声环境对人的影响^[25], 以及哈尔滨工业大学秦鑫博士研究了综合医院候诊区内的声环境, 分别从患者角度和病人角度进行了调查和分析^[26], 这两篇论文都从受众角度分析了建筑的声环境的设计合理性, 对本论文的调查研究和分析方法有一定的指导作用。

1.2.2 老年人声喜好研究现状

声喜好 (sound preference) 是指人们对于声音的偏好。不同类型的人对于不同类型的声音喜好程度是不同的, 这是因为不同的人对同样的声环境会给予不同的评价。从认知心理学的角度来看, 人们需要通过完整的环境信息才能理解声音和声音事件, 而不单单只通过简单的声音, 也就是说在不同的声环境中声音有不同的意义。由于人对于声音理解的不同, 导致人们对不同的声音有着不同的偏好。因此, 研究老年人对于声音的喜好是研究舒适的养老院声环境分布的基础。在此基础上, 才能对养老院声环境展开研究。

国外对于声喜好的研究主要集中在各种环境下声喜好的研究, 但对于特殊人群, 尤其是老年人的声喜好研究相对较少。其中 Hirage 等人用音频游戏测试了听力损伤者的声喜好^[27], Smymova, Kang.J 等人研究了听力障碍的学生的室内声喜好^[28], Hannes 分析了老龄化与声感知以及老年人娱乐化声音的理想特征^[29]。这三篇论文的方法和部分结论对本论文的研究具有指导意义。

国内对于声喜好方面的研究在近几年也取得了一些成果, 例如: 哈尔滨工业大学唐征征分析了地下商业空间内的声喜好问题^[30]和周志宇以哈尔滨中央

大街为主要研究目标，通过相关分析的研究方法，得到了历史街区人们的声音喜好特性^[31]，以上两篇论文都具有较高的参考价值。

1.2.3 养老院老年人生理及心理研究现状

对于养老院老年人的生理及心理研究并不是本论文的研究重点，在此只是作为论文研究的基础进行借鉴和参考。由于老年人的生理和心理受环境和地域的影响十分显著，因此这部分不分析国外的研究现状，只分析国内对养老院老年人的生理和心理研究。

国内对养老院老年人的研究主要集中在两方面，一方面单纯研究养老院老年人的生理和心理现状，分析养老院老人的需求并提出改善措施；另一方面通过对比研究，比较养老院老人与居家老人生理及心理的差异。前者从需求分析角度考察养老院老年人各方面的需求，后者则从差异性的角度分析养老院老年人，以探求产生现状的原因。

对于养老院老年人需求的研究，国内不少硕士生进行了调查和分析，研究较为完整详细的有：天津大学迟向正的硕士论文中提出了基于生理和心理需求研究的养老院人性化设计^[32]；北方工业大学宋宁宁在其论文中针对北京市特大型养老院老年人的行为特征与空间需求进行了深入研究^[33]；大连工业大学孟凡昌在其硕士论文中研究了大连市养老院入住满意度的影响因素^[34]。

对于养老院老人与居家老人比较的研究也比较全面，边红艳将养老院老人与居家老人的家庭关怀度进行了对比分析^[35]，发现养老院老人普遍缺少家庭关怀，王月惠等人分析了养老院与居家老年人生活质量的比较及其相关因素进行了研究^[36]，四川师范大学汪娟的硕士论文中以孤独感为中心讨论了两类老人的差异^[37]。

以上的参考文献虽然与论文整体没有明显的相关性，但可以作为研究基础对养老院老年人的心理及生理进行大致了解，方便后续的访谈和问卷调查。

1.2.4 声环境模拟研究现状

声环境模拟是针对声环境研究的一个比较成熟的研究方法。自从 1900 年以来，赛宾发现了混响时间的计算公式，建筑声学在近 120 年的发展中已经不断改进。在早期，人们只能通过画图和模型的方法，手工计算厅堂的混响时间和音质^[38]；随着电脑技术的飞速发展，通过模拟软件，设计人员可以在最初的设计阶段预测厅堂内的声学特性，这一技术在上世纪 60 年代孕育而生，在上

世纪 90 年代逐渐趋于成熟^[39]。如今，对于声环境的模拟已经达到完全逼真的构建或再现声环境中的每一个细节的程度。

近几年来，我国对于声环境的模拟研究也得到了充足的发展，声学设计软件的应用已经在日常设计和工程实践中普及。随着计算机运算和信号处理等方面研究的进步，国际上已经有多家大型声学公司推出了各种完善的声学模拟软件，其中比较成熟的软件有：德国 ADA 公司研发的 EASE 软件；丹麦科技大学研发的 ODEON 软件；比利时 LMS 公司设计研发的 SYNIOSE 软件；以及瑞典 CATT 公司研发的 CATT 软件^[40]。这些软件都可以将声环境通过参数化的方式进行仿真模拟，在实际的设计中起到了很大作用。本文将分析这些模拟软件的优缺点，并选取适当的软件进行论文的研究。

1.2.5 国内养老院现状分析

“养老院”一词在词典中的解释为“由社会承办的赡养老人的机构”；我国于 2003 年颁布了《老年人居住建筑设计标准》，在其中将将养老院定义为“为老年人提供集体居住，并具有相对完整的配套服务设施”。有明确的定义可以使论文的研究方向更加明确、研究内容更加具体。

我国的养老机构与发达国家相比出现较晚，但在近几十年来也得到了一定的发展。我国在解放之后就针对孤寡老人，设置了一定的养老院、疗养院以及福利院等养老设施。在近几年来，随着养老需求的增加，出现了越来越多的公立和私立的养老机构，这些机构在命名上各不相同，在功能和作用上也有所差异，因此本文在进行研究之前，首先对常见的几类养老机构进行概念的界定：

(1) 老年公寓 老年公寓一般情况下收留身体健全、有一定自理能力的老年人，与养老院相比，老年公寓的设施更完善一些，大多数老年公寓可以给老年人独立的生活空间，更接近居家养老的模式，因此其费也用相对较高。

(2) 养老院 泛指一切针对老年人公立或私立的养老机构，可以为老年人提供全天的服务，收留有自理能力的老人，同时也收留一些无法自理需要照料的老年人。

(3) 老年福利院 指由政府修建，专门为三无老人提供生活空间的机构。有些福利院不仅收留老人也收留孤儿，本文的研究范围专指针对老年人开放的社会福利院。这类福利院中的老人大多没有经济来源，一般通过民政局负责将这类老人介绍进福利院，属于纯公立的养老机构。

社会上还有很多种其他类型养老机构，比如针对瘫痪或昏迷老年人所开设的护理医院，或是为老年人提供白天看护的日间照料机构等。但这些机构超出

了本文所研究的范围，本文的研究仅限于上文中所提到的三类养老院模式。

1.3 本课题主要研究内容

本课题主要以养老院老年人的声音主观感受为中心，将养老院声环境作为研究对象，以声学、医学和社会学等理论为基础，研究老年人对声喜好以及养老院的声环境分布。

论文主要从以下几个方面展开：

(1) 养老院老年人声喜好分析 首先，通过对养老院老年人的深入访谈确定养老院老年人问卷调查的主要研究内容，其中主要的调查方法是通过问卷或是问询的方式获得数据，主要包括前期深入访谈、量表的设计、调查实施、与量表的检验。分析了养老院老年人对于养老院内主要的声源类型的评价、对不同类型声源的喜好程度、声环境及其它环境要素舒适度的评价。将评价结果进行统计，分析了养老院老年人声喜好的共性。此外，分析了养老院老年人的社会特征、生理指标、心理因素以及主观因素与声环境舒适度的相关性研究。

(2) 养老院声源与声场测试 通过对养老院的实际环境进行分析，并结合养老院老年人的生活方式及行为特征，确定声场测试的时间和测试位置。运用人工头、声级计等声学测量仪器，对养老院的声音进行采集和处理。得出养老院内声源的频谱组成、声压级、混响时间、语言清晰度及语言可懂度等客观参数的变化规律。

(3) 主客观评价关系分析 主要通过相关分析研究养老院老年人声喜好和声源与实际测量数据间的关系。主要应用相关分析，根据各参数间的相关性的大小，对相应的声学参数进行分析，研究主要是哪几种声学参数对主观评价造成了影响，为养老院声环境的设计提供理论基础。

(4) 养老院声环境模拟与设计策略 通过声学模拟软件对养老院重点空间进行仿真模拟，并通过实际测量验证声环境模拟的准确性。对于声环境模拟的主要研究内容包括：养老院模拟空间的选定、养老院声环境模型的建立及声环境模拟可靠性验证。结合之前几部分内容的研究，可以得到主观评价和客观评价之间的关系，根据养老院声环境的研究结果对现有养老院的设计提出设计策略。主要探讨针对养老院老年人适合的房间平面及剖面形式、空间分布和吸声装置设计策略。

第2章 养老院老年人声喜好量表设计及分析

人对于声音的喜好程度往往与所处的环境、自身的心理状态以及生理指标密切相关。本章主要目的是寻求所有养老院老年人对于声音感受的共性问题，主要通过问卷调查的方式，来获得老年人对于声音的主观评价。

2.1 养老院老年人声喜好研究方法和假设

对于老年人的需求往往难以挖掘，这是因为与老年人交流本身存在一定的隔阂，有些时候老年人没有听懂调查者语言中的实际含义，更多的时候老年人听懂了对方的意思却难以表达。因此，在进行实际的问卷调查之前，首先应当进行深入访谈、提出假设、准备问题并制定明确的标准，以求更完善、更真实的获求养老院老年人对于声音的感受。

2.1.1 研究对象和研究范围的界定

论文的研究对象为常住养老院的老年人，区别于日间照料式养老院或托老所，养老院老年人应常年居住在养老院内，有固定的生活规律。

本项目在研究前期调查了黑龙江省近 200 所养老院，其中大型养老院 13 所，通过筛选确定重点以其中 3 所养老院作为主要调查目标。有关养老院研究地点的选定主要考虑了以下 3 点因素：

(1) 所选养老院应当符合标准、设备齐全，不会因养老院的自身条件问题影响老年人对声环境的评价；

(2) 所选养老院应当具有可观的人数，这不仅能够使得问卷发放更有效率，也可以使数据在统计学上更为可靠；

(3) 所选养老院在地理位置上应有不同，尽量有所差异，考虑到不同的噪声环境，应包含市区内噪声相对较大的养老院和郊区噪声相对较小的养老院。

在确定的这三家养老院中，一所是建立在城市中心靠近公路的养老院，声环境相对吵闹；一所是位于哈尔滨江北开发区的养老院，由于设置在空旷地带，声环境相对安静；最后一所养老院为一所开设在县级市的养老院，养老院设施虽然齐全但相对环境较前两所养老院稍有不足。

2.1.2 声喜好研究的深入访谈

深入访谈属于质性研究的方法之一^[41]，质性研究本身可以作为独立的研究方法对问题进行分析，但本文主要应用基于量化的分析方法，将质性研究作为量化方法的前期准备工作，进行深入访谈的目的是为了深入了解养老院老年人对于噪声的感知能力以及对于不同声音的喜爱程度。

深入访谈需要调查人员与受访者进行面对面沟通和交流，以便了解他们对待声环境的总体看法，起到对后续问卷调查提供补充和完善的作用。深入访谈需要采用标准化和非标准化相结合的方式，标准化的访谈内容需要提前准备，将问题提问的整个流程设计好，但提问时受访者容易被规定好的问题所控制，难以发掘问题背后的现象和规律。非标准化访谈内容相对随机，但没有主要的研究方向，对问题的答案不做预先的判断。

本文在研究中首先列出提前需要获知的信息，进而设计规定的问题，通过预先查阅资料，设计尽可能多的内容。与此同时，以启发的方式向老年人询问开放性的问题，使受访者可以更广泛更深入地回答问题，进而得到更多与声喜好问题相关的因素，实现对访谈内容的补充和完善。

根据文献查阅和实际情况，深入访谈的主要涉及以下 5 方面内容：

- (1) 养老院老年人的性别、年龄、婚姻状况等基本社会特征；
- (2) 养老院老年人的心理状态和身体状态；
- (3) 养老院老年人对噪声的感知程度等主观因素；
- (4) 老年人在养老院内能够听到的声音，以及对这些声音的喜爱程度；
- (5) 老年人对养老院内光环境、湿度等其他环境要素的满意度评价。

根据访谈结果，得出以下 3 点结论：

- (1) 养老院老年人对声音的烦躁程度可能呈两极分化的趋势；
- (2) 养老院老年人普遍存在孤独感，这一现象在丧偶老人中尤其明显；
- (3) 老年人的声喜好特性可能与老年人的身心状况间存在一定关系。

2.1.3 声喜好问题的研究假设

论文在进行声喜好的问卷调查前已经进行了一定的研究，通过查阅文献并结合深入访谈得到的结果，对养老院老年人的声喜好提出一定的研究假设。假定养老院老年人的声环境的舒适度评价和某些因素相关，这些因素如下：

(1) 大量文献研究表明，声环境的舒适度评价主要与使用者的社会属性和所处空间的空间特征相关；

(2) 从心理学角度分析，老年人的心理状态和生理状态受自然环境的影响的同时，也会根据自身的身心状态来评估所处环境中的声音。因此，研究中应该体现对老年人身体和心理的评价参数。

(3) 认知心理学研究表明，人的不同感官之间存在一定联系。也有大量的文献证实了，人对声环境的评价与光环境、温度、湿度等其他环境因素相关^[42]。因此，在量表中也应当体现对其他环境因素的体现。

基于以上因素，量表假设的具体内容如下：

- (1) 养老院声环境舒适度与老年人的性别、年龄等社会因素有关；
- (2) 养老院声环境舒适度与老年人的孤独感等心理参数有关；
- (3) 养老院声环境舒适度与老年人的听力、体力等生理参数有关；
- (4) 养老院声环境舒适度与养老院的光环境、湿度等其他环境要素有关；
- (5) 养老院声环境舒适度与建筑内部声压级、声源等声场性质有关。

2.2 养老院老年人声喜好量表设计

量表设计是问卷调查的关键，一份优质的量表可以全面完善的收集信息，本文通过深入访谈中发现的问题，提出了相关的研究假设，进而设计相应的量表问卷，并确定明确的检验标准。

2.2.1 量表的选择及检验标准

量表是针对主观评价的一种度量工具，又称为度量尺度^[42]。量表可以将针对主观问题的定性数据转换为定量数据，将心理学范畴内的主观评价转换为编码和数值，方便研究和计算。

调查研究中常见的量表形式有：李克特量表、语义分化量表和瑟斯顿态度量表等。不同的量表适用范围不同，本文根据研究内容，将李克特量表(Likert Scale)作为问卷设计中的主要量表形式，因为该量表构造简单，相对清晰，更适合养老院老年人进行选择。问卷中所有涉及量表的问题，全部采用5个等距等级进行编码，分别记为1~5分，记录的结果便于后续有关主观评价和相关性的统计和分析。

为了确保量表在设计上具有可靠性，在调查实施的过程中具有可信度，以及在研究的结果上具有实际意义，需要对量表进行检验以确保量表设计的质量。本文中对于量表的检验主要包括信度分析和结构效度分析。

2.2.2 量表的设计与实施

根据以上的分析对量表进行了设计，最终的量表详见附录 1。量表内容主要分为以下 4 个部分：

(1) 对养老院老年人基本信息的调查：主要包括被调查者的年龄、性别、文化程度、婚姻状况、子女情况等要素；

(2) 对老年人心理及生理状况的评估量表：主要包括 ULS-8 孤独感评价量表、PHQ-9 抑郁程度量表和 ADL 日常生活活动能力量表；

(3) 调查养老院老人对不同声源喜好程度的声喜好量表：列举了养老院内能听到的常见声源，包括养老院外部的自然生与人造声以及养老院内部的机器声与人造声；

(4) 养老院声环境及其它环境的满意度评价量表：包括声环境、光环境、温度、湿度在内的 5 级评价量表。

因为老年人的受教育程度普遍较低、且视力和身体条件都不太好，设计好的量表问卷采用逐个问询的方式进行调查。这样虽然会使调查效率极大降低，但能保证调查问卷的可靠性。

2.2.3 量表的检验与分析标准的确定

调查时间为 2015 年 12 月至 2016 年 2 月，共调查了黑龙江三家养老院共 113 名老人，将问卷统一编码，录入 SPSS 软件中。本文对于问卷信度的检验采用 Cronbach L J 创造的 Cronbach 信度系数（见公式 2-1），其值为 0 至 1 区间内的一个小数，若该值在 0.8 以上，说明问卷信度良好，若低于 0.6，则应重新修订或编制量表：

$$\alpha = \frac{K}{K-1} \left(1 - \frac{\sum S_i^2}{S^2} \right) \quad (2-1)$$

式中 K —— 量表包括的项目数；

S^2 —— 测验量表总分的变异量；

S_i^2 —— 每个测验项目总分的变异量。

通过软件计算，声喜好量表的 Cronbach 系数值如表 2-1 所示。

表 2-1 声喜好量表可靠性统计量

Cronbach's Alpha	基于标准化项的 Cronbachs Alpha	项数
0.851	0.839	12

由上表可知，声喜好量表的Cronbach系数为0.851，表明问卷的信度良好，问卷调查的结果在可信范围内。

除信度检验外，还需对问卷进行结构效度的检验。结构效度指量表能够测量理论或特质的程度，通过结构效度检测能够找出量表潜在的结构，并探究问卷中变量之间的关系知否紧密。如果量表通过了结构效度检验，则表明量表设计结构合理，若未通过检测，则需要根据结果对量表中的项目进行精简，使量表成为项目少并且彼此密切相关的整体，本文中的结构效度检验标准是KMO（Kaiser-Meyer-Olkin）见公式（2-2）检验，除此之外KMO的检验还是因子分析的重要指标之一。

KMO 检验结果是介于 0~1 之间的小数，如果该值在 0.9 以上，表示量表设计非常合适，数值在 0.8~0.9 之间表示量表结构合适，在 0.7~0.8 之间表示量表结构合理，可以进行因子分析；在 0.6~0.7 之间表示量表设计一般，勉强可以进行因子分析；在 0.5~0.6 之间表示量表设计较差，不适合因子分析，若 KMO 检测值在 0.5 以下表示量表设计有严重问题，非常不适合因子分析，需要重新设计量表^[43]。

$$KMO = \frac{(\sum \sum r_{ij}^2)}{(\sum \sum r_{ij}^2 + \sum \sum a_{ij}^2)} \quad (2-2)$$

式中 r_{ij} ——相关系数；

a_{ij} ——偏相关系数。

通过软件计算，声喜好量表的 KMO 系数值如表 2-2 所示。

表 2-2 声喜好量表的 KMO 和 Bartlett 的检验

Kaiser-Meyer-Olkin 度量	近似卡方	df	Sig.
0.707	880.299	66	0.000

由上表可知 KMO 系数为 0.707，表明变量之间的相关性较强，量表的结构效度良好，且适合进行因子分析；其中 Bartlett 球形检验结果具有显著性 ($P<0.001$)，表明量表数据拒绝了各变量独立的假设，各变量具有相关性，可以进行后续的因子分析。

问卷主要研究的内容之一是声环境舒适度评价的影响因素，数据之间的相关性主要通过相关分析来计算，不同类型的变量计算的计算方法和检测方式不同，如表 2-3 所示，为不同类型数据的相关分析方法。

表 2-3 不同自变量与因变量的相关分析计算方式

自变量	因变量	SPSS 计算方式	指标	选择方式和指标的原因
性别	声环境 舒适度 评价	独立样本 T 检验	Mean difference	二分类变量-定序变量
婚姻状况				
收入水平		交叉表 Crosstabs	Crammer'V	分类变量-定序变量
年龄		双变量相关	Pearson 系数	定距变量-定序变量
入住时间				
子女个数				
孤独指数				
抑郁程度	交叉表 Crosstabs	Gamma 系数	定序变量-定序变量	
活动能力				
实测声级				
听力情况				
睡眠状况				
其它环境舒适度				
不同位置相同时间的声压级	双变量相关	Pearson 系数		定距变量-定距变量

2.3 养老院老年人声喜好量表分析

人们对于声音的喜好是各不相同的，因人而异的。本节主要通过问卷调查整理的得到的结果，运用 SPSS 统计分析软件，以探求不同分类情况下，不同类型的老年人对于声音喜好方面的共性问题。

2.3.1 被调查者特征对声环境舒适度的影响

调查问卷中可能对声环境舒适度评价产生影响的因素包括：被调查者的性别、婚姻状况、收入水平、年龄、听力情况和睡眠状况等。

虽然本文在问卷中设计了多种婚姻状况形式，但在实际调查中，养老院老年人的婚姻状况仅有已婚和丧偶两种，因此婚姻状况和性别同属于 2 分类变量，如表 2-4 所示，对性别和婚姻状况进行独立样本 t 检验，以检测不同的分类情况下，老年人的声环境舒适度评价有无差异性。

表 2-4 性别和婚姻状况的独立样本 t 检验

		Levene 检验			均值方程的 t 检验			
		F	Sig.	t	df	Sig.	均值差值	标准误差值
性别	假设方差相等	0.360	0.550	1.678	111	0.096	0.361	0.215
	假设方差不相等	—	—	1.682	107.769	0.095	0.361	0.215
	假设方差相等	0.490	0.486	0.666	111	0.507	0.141	0.212
	假设方差不相等	—	—	0.669	108.138	0.505	0.141	0.211

由上表可知，性别因素对养老院声环境舒适度评价没有显著影响，但婚姻状况对声环境舒适度的影响显著，已婚老年人的评价均值（3.44）大于丧偶老年人的评价均值（3.29）。

为进一步检验婚姻状况与声环境舒适度之间的相关性，对婚姻状况进行卡方检验和相关性分析，如表 2-5 和 2-6 所示。

表2-5 不同婚姻状况老年人对声环境舒适度评价的卡方检验

	值	df	渐进	Sig. (双侧)
Pearson 卡方	3.539	4	—	0.472
似然比	3.565	4	—	0.468
线性和线性组合	2.772	1	—	0.096
有效案例中的 N	113	—	—	—

表2-6 婚姻状况与声环境舒适度评价的相关分析

		值	渐进标准误差	近似值 T	近似值 Sig.
	φ	0.177	—	—	0.472
按标量标定	Cramer 的 V	0.177	—	—	0.472
	相依系数	0.174	—	—	0.472
按区间	Pearson 的 R	-0.157	0.092	-1.678	0.096
按顺序	Spearman 相关性	-0.162	0.092	-1.733	0.086
	有效案例中的 N	113	—	—	—

由表2-5和2-6可知，婚姻状况因素并未通过卡方检验，与声环境舒适度评价之间的相关分析结果也并不显著。这表明，不同的婚姻状况的老年人对声环境的感觉虽有显著差异，但二者的分布比例是相同的，而且两个因素之间也没有显著的相关性。

由于在实际调查中，很难明确询问老年人的实际收入，且老年人收入与子女收入有关，因此，收入因素设为定性变量，分高中低三挡。如表2-7所示，用SPSS交叉表中Crammer'V系数计算该变量与声环境舒适度评价间的相关系数。

表2-7 老年人收入与声环境舒适度评价的相关分析

		值	近似值 Sig.
按标量标定	φ	0.472	0.000
	Cramer 的 V	0.334	0.000
有效案例中的 N		113	

由上表可知，声环境舒适度与收入之间的相关性为 0.334** ($P<0.01$)，** 表示双尾检验在 0.01 的水平上是显著的，* 表示在 0.05 的水平上是显著的（下同）。但由于 Crammer'V 系数为对称度量结果，该系数无正负之分。通过分析数据均值，发现低收入老年人评价均值为 3.45，中等收入为 3.33，高收入为 3.45，说明随着收入的增高，老年人对声环境舒适度的评价呈下降趋势。

如表 2-8 所示为年龄和子女个数、入住时间与声环境舒适度评价间的相关性分析，由于这三个变量均为连续定量变量，因此采用 Pearson 相关系数进算。

表 2-8 年龄和子女个数、入住时间与声环境舒适度评价间的相关性分析

	Pearson	显著性 (双侧)
年龄	0.358**	0.000
子女个数	0.168	0.076
入住时间	-0.77	0.417

由上表可知，年龄与声环境舒适度评价之间的相关性显著，相关系数为 0.358** ($P<0.01$)，说明随着年龄的增长，老年人对于声环境的舒适度评价呈增高趋势，高龄老年人比低龄老年人对声环境的耐受度更高一些。除此之外，子女个数与入住时间的显著性检验 P 值均大于 0.05，说明这两个变量与声环境

舒适度的相关性并不显著。

如表 2-9 所示, 为听力状况、睡眠质量与声环境舒适度评价之间的相关分析, 由于这两个变量与声环境舒适度的变量同为 5 级量表, 数据均为定序变量, 因此采用 Gamma 系数来计算数据之间的相关性。

表 2-9 听力状况、睡眠质量与声环境舒适度评价之间的相关分析

	值	渐进标准误差	近似值 T	近似值 Sig.
听力状况	-0.517	0.133	-3.318	0.001
睡眠质量	0.272	0.118	2.227	0.026

由上表可知, 声环境舒适度与听力状况之间的相关性为-0.517** ($p<0.01$), 与睡眠质量的相关性为 0.272* ($p<0.05$)。说明听力状况越好的老年人对声环境舒适度的评价越差, 而睡眠状况越好的老年人对声环境舒适度的评价越高。

2.3.2 身心健康指标对声环境舒适度的影响

本文中分析了与声环境舒适度可能存在关系的影响因素, 包括养老院老年人的孤独指数、抑郁程度和活动能力。由于这 3 个变量均属于等距定量变量, 采用 Pearson 相关系数进行相关分析的计算, 具体计算结果如表 2-10 所示。

表 2-10 孤独指数、抑郁程度和活动能力与声环境舒适度的相关分析

类别	相关系数/显著性水平			
	声环境评价	孤独指数	抑郁程度	活动能力
声环境评价	1	-0.629/0.000(**)	-0.530/0.000(**)	0.354/0.000(**)
孤独指数	—	1	0.843/0.000(**)	-0.391/0.000(**)
抑郁程度	—	—	1	-0.298/0.023(*)
活动能力	—	—	—	1

由上表可知, 三个因素均与声环境舒适度评价显著相关, 相关系数分别为, 孤独指数-0.629** ($P<0.01$), 抑郁程度-0.530** ($P<0.01$), 活动能力 0.354** ($P<0.05$)。由此结果可以得出, 孤独感和抑郁感越强的老年人对声环境的评价越差, 而身体能力越好的老年人对声环境的评价越高。

值得注意的是, 孤独指数和抑郁程度之间的相关系数高达 0.843** ($P<0.01$),

这表明两变量之间存在强烈的相关性，但由于现代心理学认为，孤独和抑郁表示两种不同的心理状态，也各自存在不同的形成原因，是两个独立的心理状态，不能混为一谈。因此，在本文中，将两种心理状态作为独立因素分别讨论，而没有合为一个变量。

2.3.3 不同类型环境舒适度间的相关性分析

大量文献表明，人对声环境的感知与其他环境指标之间存在相关性，本文在问卷中列举了声音、光照、温度、湿度、气味和整体评价 6 种主要的感官舒适度评价指标，这是人体在环境中所能感受的主要感觉，如表 2-11 所示，对各种感官舒适度评价的参数进行统计。

表 2-11 感官舒适度评价的参数统计

	声环境	光环境	温度	湿度	气味	整体评价
均值	3.37	3.43	2.74	3.33	3.41	3.28
标准差	1.120	1.043	1.266	0.995	0.862	0.881
均值的标准误	0.105	0.098	0.119	0.094	0.081	0.083
峰度	-0.877	-0.473	-0.949	-0.243	0.737	0.692
偏度	-0.080	-0.229	0.202	-0.036	-0.557	0.048

由上表可知，养老院老年人对光环境的评价最高为 3.43，其次是气味 3.41，对声环境舒适度的评价为 3.37，对温度和湿度的评价较低，湿度的平均值为 3.33 而温度最低，平均值只有 2.74。整体评价的平均值为 3.28，低于除了温度之外的其它平均水平。

由于各变量均为 5 级量表，用 Gamma 系数来计算其他环境舒适度评价与声环境舒适度评价之间的相关系数，具体参数如表 2-12 所示。

表 2-12 其他环境因素与声环境舒适度的相关分析

	值	渐进标准误差	近似值 T	近似值 Sig.
光环境	0.420	0.145	2.592	0.010
温度	0.231	0.118	2.227	0.026
湿度	0.485	0.117	3.658	0.000
气味	0.303	0.154	1.862	0.063
整体评价	0.516	0.142	3.282	0.001

由上表可知，声环境与湿度之间的关系最密切，具体参数值为 0.485** ($P<0.01$)，与光环境之间的相关系数为 0.420** ($P<0.01$)，与气味的相关性未通过显著性检测，不能证明二者相关，与温度的相关性较弱为 0.231* ($P<0.05$)。

由此可见，声环境的评价与其他环境之间存在相关性，除气味之外，光照环境、温度和湿度都会对声环境的舒适度产生影响。

此外，声环境舒适度评价与整体环境评价之间的相关系数很高，达到 0.516** ($P<0.01$)，这说明声环境的评价也在很大程度上影响了对养老院整体环境评价。

如图 2-1 所示，为不同变量与声环境舒适度评价之间的关系图。图中的相关系数均为 0 到 1 之间的小数，相关系数的大小虽然能表示数据之间相关性的强弱，但只表示相关的趋势，严格意义上，并不能相互比较，因为不同类型变量的计算方式在这里是不相同的。

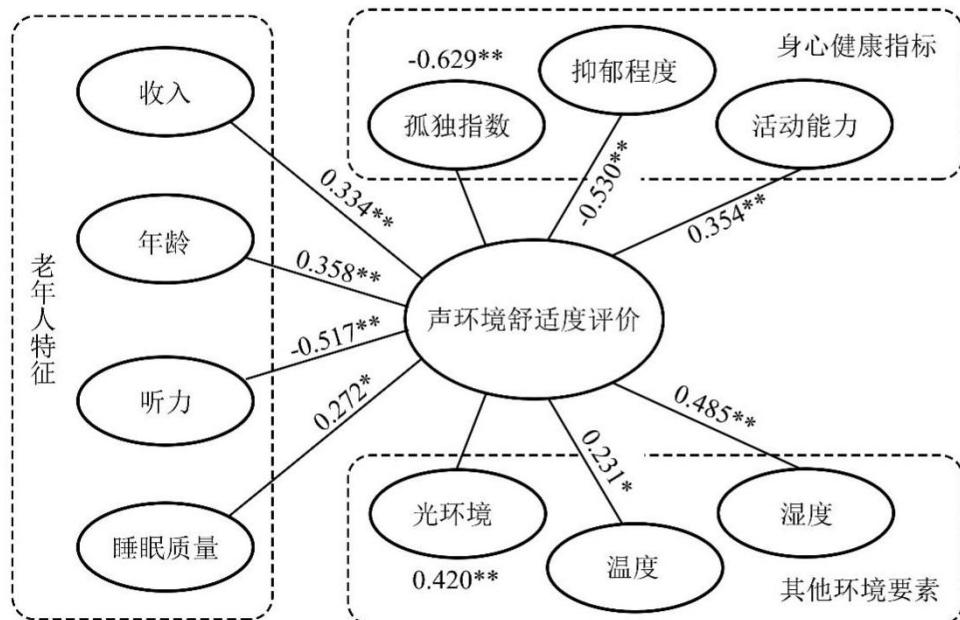


图 2-1 声环境舒适度评价的关系示意图

2.3.4 声喜好要素的因子分析

本文在问卷量表中列举了养老院能听到的常见声源共计 12 种，由于声源种类很多，单独分析的意义并不大。因此，本文对养老院内 12 种声源进行因子分析，寻找不同声源之间的共性特征，尝试将声源归类。

由表 2-2 可知，声喜好量表的 KMO 系数为 0.707，表明数据适合进行因子分析。本文中因子的抽取方法是以主成分分析为基础的反复法，计算中默认的

因子抽取数量基于特征根大于 1 时提取的成分个数。如图 2-2 所示，为因子分析的碎石图：表 2-13 所示，为因子分析模型解释的总方差。

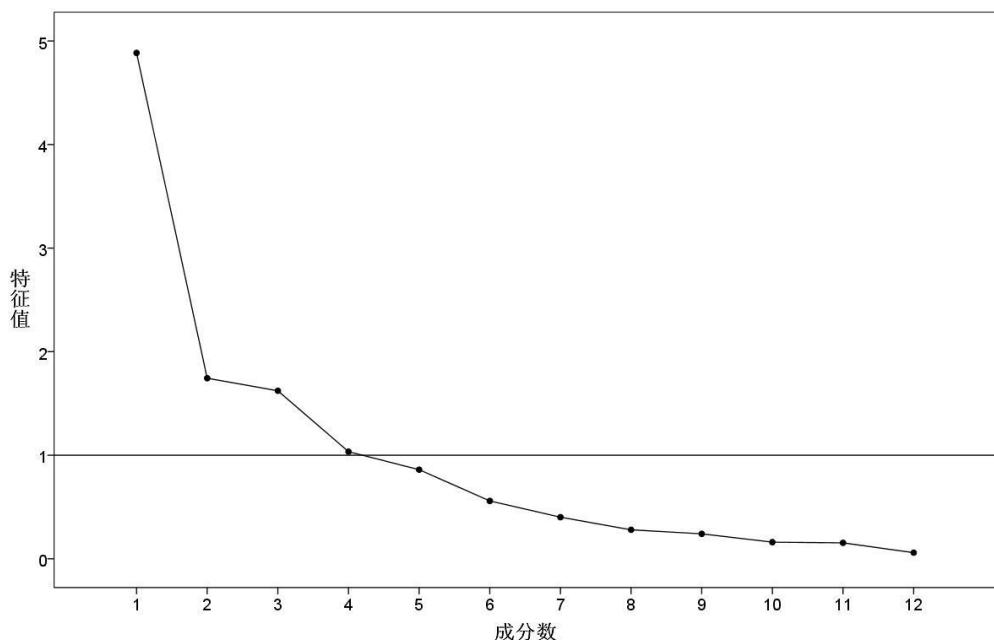


图 2-2 因子分析碎石图

表 2-13 因子分析解释的总方差

成份	初始特征值			提取平方和载入			旋转平方和载入		
	合计	方差 %	累积 %	合计	方差 %	累积 %	合计	方差 %	累积 %
1	4.885	40.706	40.706	4.885	40.706	40.706	3.490	29.083	29.083
2	1.744	14.529	55.236	1.744	14.529	55.236	2.593	21.611	50.694
3	1.622	13.519	68.755	1.622	13.519	68.755	2.014	16.783	67.477
4	1.034	8.619	77.374	1.034	8.619	77.374	1.188	9.897	77.374
5	0.861	7.171	84.545	—	—	—	—	—	—
6	0.559	4.656	89.201	—	—	—	—	—	—
7	0.402	3.349	92.550	—	—	—	—	—	—
8	0.280	2.332	94.882	—	—	—	—	—	—
9	0.241	2.007	96.889	—	—	—	—	—	—
10	0.161	1.338	98.227	—	—	—	—	—	—
11	0.154	1.283	99.509	—	—	—	—	—	—
12	0.059	0.491	100.000	—	—	—	—	—	—

由碎石图可以看出,依照提取特征根大于 1 的原则,共提取出了 4 个因子,且提取出的 4 个因子对全部 12 个变量的累积贡献为 77.374%,说明模型的解释程度良好。

本文中因子载荷矩阵的模型采用具有 Kaiser 标准化的正交旋转法进行旋转,旋转后的因子载荷矩阵如表 2-14 所示,为了方便阅读,分析软件对表格进行了重新排序和化简,小于 0.1 的系数在表格中被抑制输出了。

如图 2-3 所示,为旋转后的因子空间成分图。由于生成的图形是 3 维空间的散点分布图,以 3 维坐标方式很难辨识,本文将三维坐标平面化,图中分别列出了以成分 1 和成分 2、成分 1 和成分 3 为横纵坐标的空间载荷图。

表 2-14 旋转的因子载荷矩阵

	成份			
	1	2	3	4
人说话声	0.828	-0.399	-0.131	-0.155
音乐声	0.724	0.483	—	—
鼾声	0.769	0.184	0.340	—
手机铃声	0.793	0.293	—	0.244
电视声	0.742	0.355	0.198	0.208
洗衣机声	0.423	0.295	0.192	—
风雨声	0.185	0.931	—	—
虫鸟声	0.259	0.889	0.181	—
车辆行驶声	0.467	0.332	0.656	—
工地施工声	—	0.239	0.797	0.332
室内维修声	—	-0.201	0.831	—
空调声	—	—	—	0.954

由表可知,公因子 1 主要和人说话声、音乐声、鼾声、手机铃声、电视声和洗衣机声相关,这类因子与人的日常行为是密切相关,是养老院室内常见声音。公因子 2 主要和风雨声、虫鸟声有关,这类公因子是养老院室外常见自然声。公因子 3 主要包括车辆行驶声、工地施工声和室内维修声,这类因子属于养老院内常见公共噪音。公因子 4 的主要成分只包含空调声,因为数据是根据特征根大于 1 自动确定公因子个数,若人为设定为 3 个公因子,那么空调声将归为公因子 1 中。虽然空调声与公因子 1 之间的联系比较密切,但数据计算的

结果将空调声单独归类，说明空调声拥有不同于公因子 1 中其他声源的特性，本文中将空调声作为独立因子单独分析。

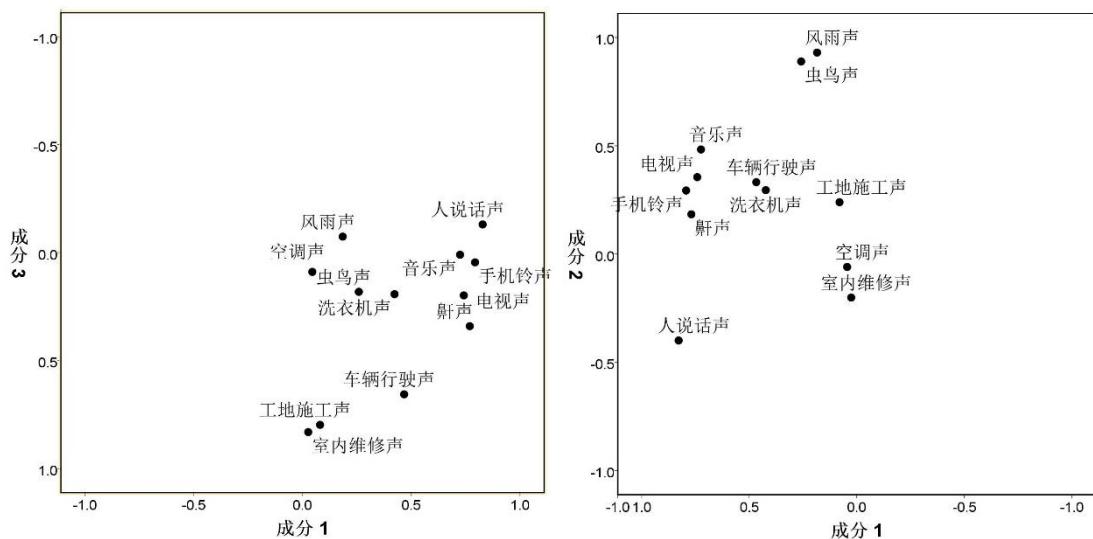


图 2-3 因子的空间载荷图

如表 2-15 所示，对 12 个声源的均值和标准差进行统计，为了方便，对部分声源的名称做了适当的简化。如图 2-4，为依据表 2-15 绘制的不同声源评价均值条形比较图。

表 2-15 不同声源的均值及标准差

	风雨	虫鸟	车辆	工地	人说	音乐	鼾声	手机	电视	维修	空调	洗衣
均值	3.43	3.30	2.17	1.71	2.67	3.01	2.34	3.12	3.07	1.48	2.65	2.39
标准差	0.693	0.875	0.778	0.703	0.471	0.840	0.649	0.665	1.006	0.642	0.611	0.574

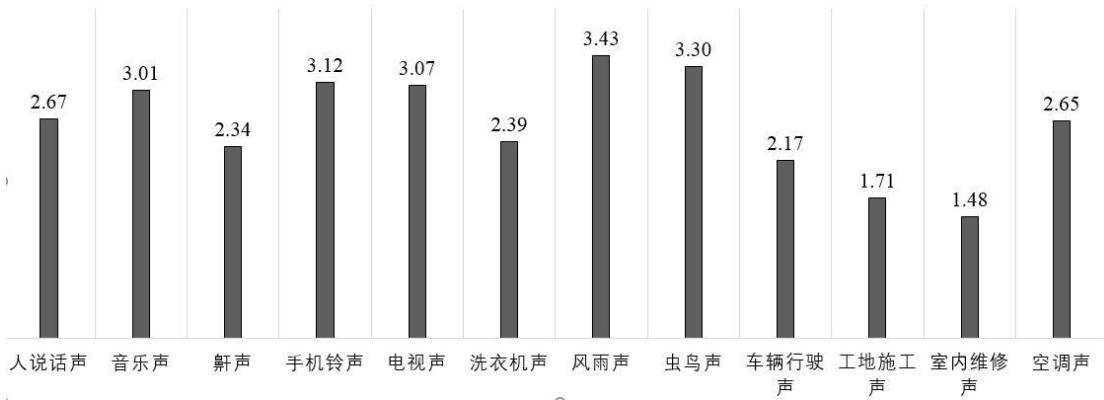


图 2-4 声源的均值比较

由图 2-4 可知，风雨声和虫鸟声等自然声源的评分较高，达到 3.43 和 3.30。说明老年人普遍愿意接受这样的声音。而车辆行驶等室外噪声的评分很低，尤其是室内维修声的评分只有 1.48，说明在声环境中必须要避免这类噪声。此外，老年人对于手机铃声、音乐声和电视声的评分也比较高，说明这些声音可以满足老年人对于声音的需求。

2.4 本章小结

本章主要通过深入访谈来获取老年人对于声音的心理需求。根据深入访谈的结果，提出老年人声喜好问题的研究假设，并根据假设制定声喜好量表。通过问卷发放，整理得到了老年人对声喜好问题的主观评价数据，并运用统计分析软件，分析了养老院老年人对声环境舒适度评价的影响因素，研究了声环境舒适度与老年人特征、身心健康程度和其他环境舒适度之间的关系，并通过因子分析，将养老院内的常见声源分成了四种类别。

第3章 养老院声环境测量与声场分析

老年人生活在养老院的内部空间中，单纯分析主观评价并不足以解决问题。养老院内的声源和声场是决定养老院内声环境的客观因素。本章的研究目的在于采集和测量养老院声环境的客观参量，进行分析来寻求主观评价和客观参数间的相互作用和客观规律。

3.1 养老院声环境测量

声音的测量方法多种多样，不同的仪器测量参数不同，有些仪器虽然测量相同的参数，但仪器的计算方法和单位也会有所差别。为了在采集样本之前能够明确测量仪器的类别、使用方法和范围，本文对声音采集和分析中应当遇到问题逐个进行了分析和整理。

3.1.1 测量仪器及测量条件

为了掌握养老院内部声环境声源和声场的变化规律，需要对养老院声环境进行实地测量，具体需要的仪器如下表 3-1 所示，包括 BSWA801 声级计、数字人工头、温湿度计和数码相机。

表 3-1 声环境测试使用的仪器

仪器名称	测量范围	分辨率	用途
声级计	24—140dBA	0.1dBA	测量 A 声级
数字人工头	—	—	声音样本记录
温湿度计	0°C—50°C 0—100%	0.1°C 0.1%	测量温度 测量湿度
数码相机	—	1600 万像素	记录场地

BSWA801 声级计在测量时每间隔 10s 自动记录一次数据，每次测量需要至少连续测试 3 分钟以上的等效 A 声级，测量前后使用声校准器校准测量仪器的示值，要求其偏差小于 2dB。数字人工头可以对声环境进行现场的高保真录音，与其相匹配的 ArtemiS 声学分析软件可以计算所记录空间内的声压级、混响时间及其它心理

声学参数。

除此之外，温湿度计和数码相机等仪器，均可以在声音的测量和录制时，进行备份和记录。

3.1.2 测量方法及时间地点

在进行声场的实际测量过程中，需要保证有两名以上的人员对同一地点进行观察和记录，在测量的同时记下他们在养老院内听到的声源以及声源位置和方向，同时需要用数码相机对所测量地点进行拍照。

在测量时，声压级是随时间不断变化的，有时还会发生突发性的噪声。因此在测量时对同一个测试点需要测量至少 10 次，通过计算出的平均值作为测量结果，以保证测量数据的真实可靠。

用人工头录音的过程中应当保证人工头处于平稳的状态，没有震动和位移。数字人工头需要录制大于 300s 的声音样本，每个测量位置至少录制 3 次。在后续分析中，应首先检查录制声音的声音样本有无突发性变化，并截取中间部分，声音频谱稳定且有一定规律的部分进行最终的分析。

在测量结束后，需要反复播放录音，将人工头的录音内容与声级计检测的数据和数码相机记录的数据相互比对，以确保调查和测量的过程中，没有声音和细节被遗漏。

本文通过前期的调研和访谈，确定了养老院内老年人活动最频繁的区域为阳光大厅、老年人房间和棋牌室。因此，对于噪声声源的测量和声音样本的录制主要集中在这 3 个区域。如图 3-1 所示，为对房间内声音进行录制的现场照片。

本文经筛选，将大庆市某养老院作为声环境的主要研究对象。该养老院养老院内部设施齐全、环境舒适，主体为 3 栋建筑，中间通过阳光大厅相连接，具体示意图如图 3-2 所示。老年人房间和棋牌室分别分布在 1 栋的 1 层和 2 栋的二层，如图 3-3 和 3-4 所示。

样本的测量时间为 2016 年的 2 月份，这段时间为冬季，老年人主要活动在室内，是室内声环境相对要求最高的一段时间。测量时间区间选取周一到周五的上午 8 点至 11 点和下午 14 点至 16 点之间。



图 3-1 声音录制现场

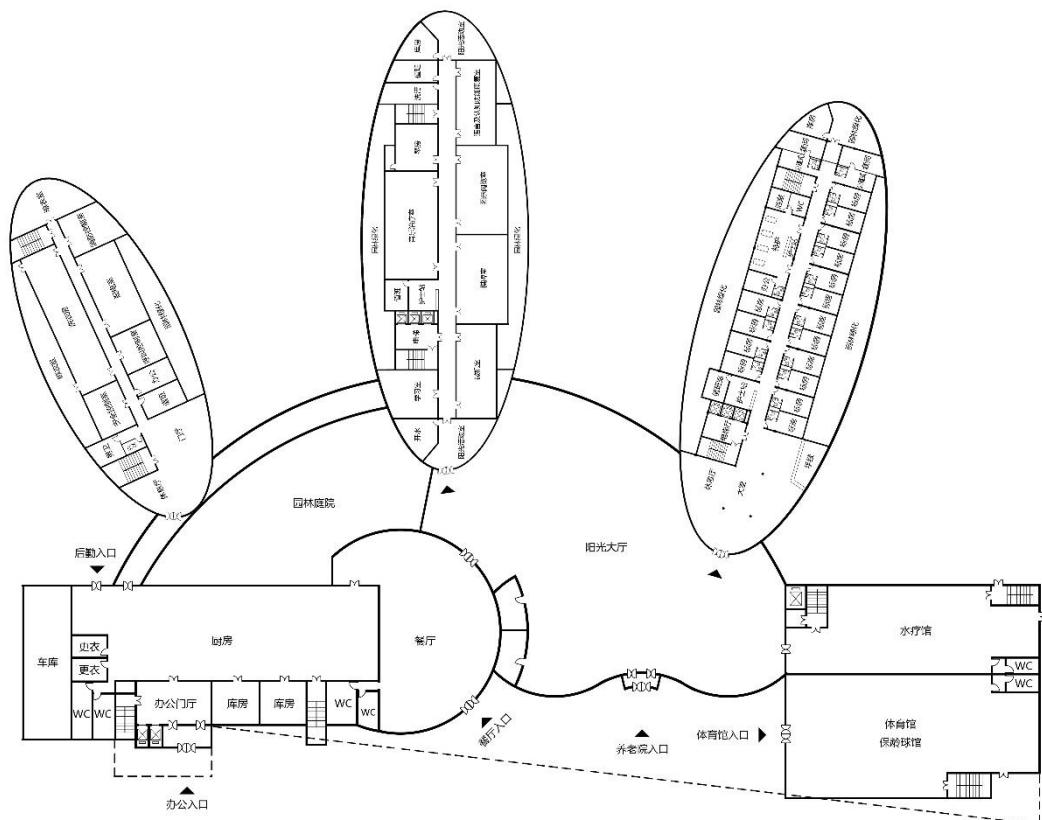


图 3-2 养老院整体结构图

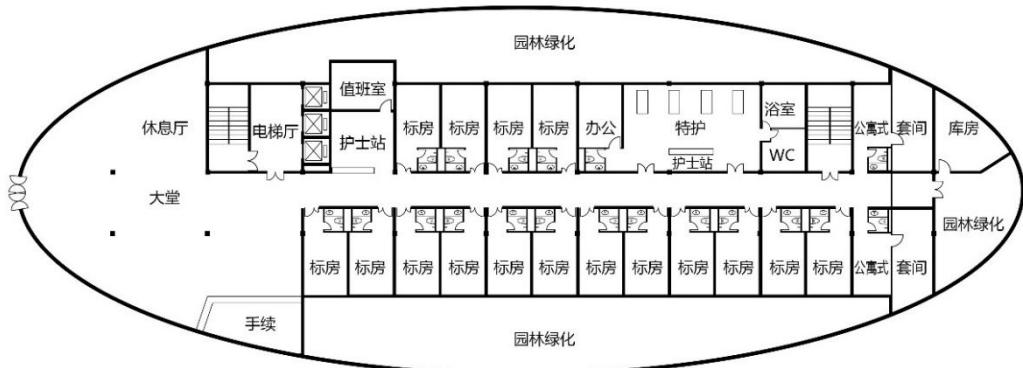


图 3-3 养老院 1 栋 1 层老年人房间结构图



图 3-4 养老院 2 栋 2 层棋牌室结构图

以上 3 图中显示进行声音测量的房间，测试点主要集中在房间座椅位置，采用分布均匀的多个测点，每个测点离墙面和其他主要反射面不小于 1m，测量点离地面距离控制在 1.2—1.5m。

3.2 养老院声源及声场分析

分析声音样本的参数有上百种之多，由于本文的研究内容是养老院内的声环境，属于以语言为主要功能的声学空间，在分析时不考虑以音乐作为评价指标的声学参量。经过分析和筛选，本文主要针对空间内的频率特征、混响时间和语言清晰程度进行分析。

3.2.1 不同类型房间的声音频率特征

运用 ArtemiS 软件，进行声音样本的频谱分析，如图 3-5、3-6、3-7 所示，分别为阳光大厅、老人房间内和棋牌室的声音频谱分布图。图中频谱测量范围为 20Hz

至 20KHz，图像格式采用 1/3 倍频程的连续频谱进行记录。

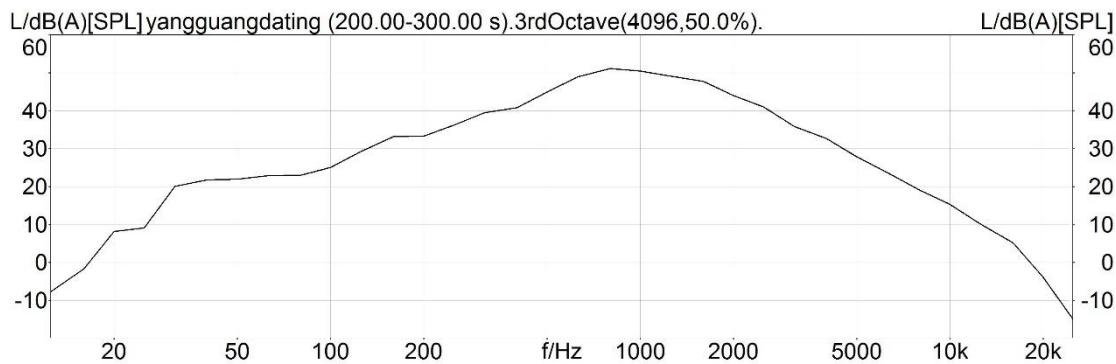


图 3-5 阳光大厅的声音频谱图

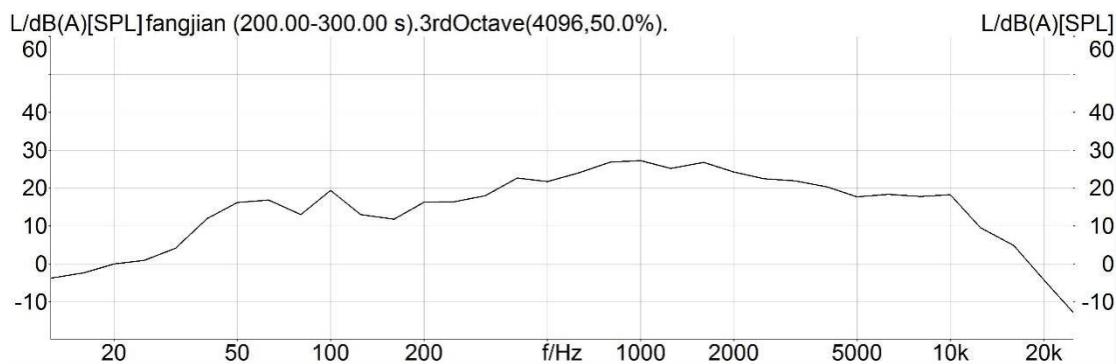


图 3-6 老人房间内的声音频谱图

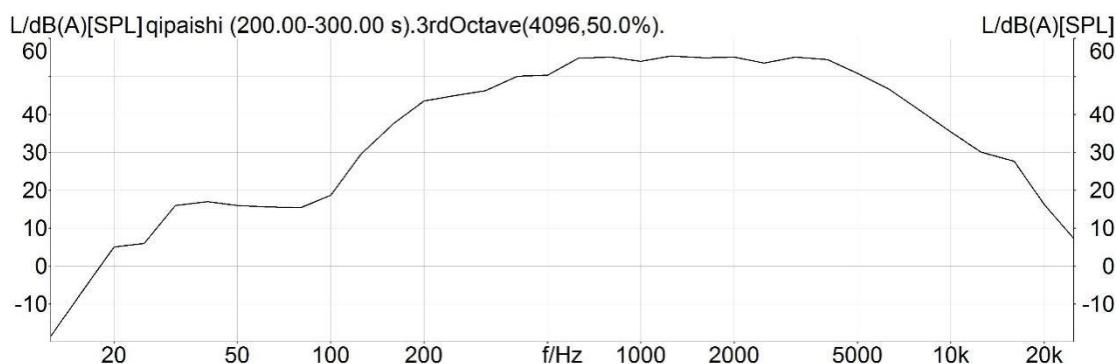


图 3-7 棋牌室的声音频谱图

由图 3-5 可以看出，阳光大厅内的的噪声能量主要集中在 250Hz 至 4KHz 之间，这一区间也是人的语言声能量所分布的主要频率范围。这表明，养老院阳光大厅内的背景噪声的主要组成部分是人的语言声。

由图 3-6 可知，老人房间内的声压级普遍低于 30dB，这表明老年人的室内是一个极为安静的空间，由于老年人的行动缓慢，房间内的环境极为安静。

与前两者不同，图 3-7 所示的棋牌室内的频谱，表明棋牌室内的声音比较嘈杂，从 200Hz 到 10KHz 的频率的声能都很强，表明在这一空间内，充斥的不仅是人的语言声，还包含了一定的高频噪声。

3.2.2 养老院内的混响时间

混响时间是室内声学设计中的一项重要指标之一，它表示当室内声场达到稳定状态后，声源停止发声一刻起，至声能密度衰减 60dB 所需的时间，单位为秒^[44]。房间内的混响时间过长会使声音缺乏清晰度，而混响时间过短会是声音变得干涩缺乏活力。因此声音是否真实悦耳与混响时间有很大关系。

如表 2-17 所示，为阳光大厅、老人房间和棋牌室的不同频率混响时间列表。

表 3-2 不同频率混响时间列表

房间类型	125Hz (s)	250Hz (s)	500 Hz (s)	1000Hz(s)	2000Hz(s)	4000Hz(s)
阳光大厅	1.40	1.89	2.34	2.37	2.53	2.18
老人房间	1.35	1.27	1.23	1.11	1.00	0.98
棋牌室	2.00	2.37	2.34	2.28	2.11	1.97

由表可知，阳光大厅内的混响时间较长，1000Hz 频率的混响时间为 2.37s，这时间严重超出了正常厅堂内混响时间的建议值。产生这一现象的原因是，阳光大厅的面积较大、举架很高。拥有如此大体积的同时、并没有设置任何吸声装置，导致室内混响时间过长，这将严重影响大厅内的声音传播。相比较，老年人房间内的混响时间比较理想，由于老人房间体积很小，并非厅堂空间，该区域本身的混响时间并不需要控制便能达到理想水平。

棋牌室内的混响时间在 1000Hz 的频率时为 2.28s，时间稍长，因此也应当采取一定的措施，控制混响时间等声学参数在理想范围之内。根据我国《剧院、电影院和多用途厅堂声学设计规范（报批稿）》对混响时间的建议值，目前的养老院在混响时间上较难满足标准上的规定。主要原因和目前养老院的建设以及室内的装修没有进行实际意义上的声学设计有关，即养老院的声学设计还没有被普通的建筑设计师所接受并引起他们的重视。

3.2.3 养老院内的语言清晰度和语言可懂度

语言清晰度指数又称 AI 指数(Articulation Index)，和语言可懂度一样，都是用来描述声场内噪声对语言传输的影响，语言清晰度和语言可懂度越高表明房间内声环境质量越好，软件中语言可懂度的算法是 ANSI S3.5-1997 算法^[45]，对 3 种房间的两种声学参数的计算结果如图 3-8、3-9 和 3-10 所示。

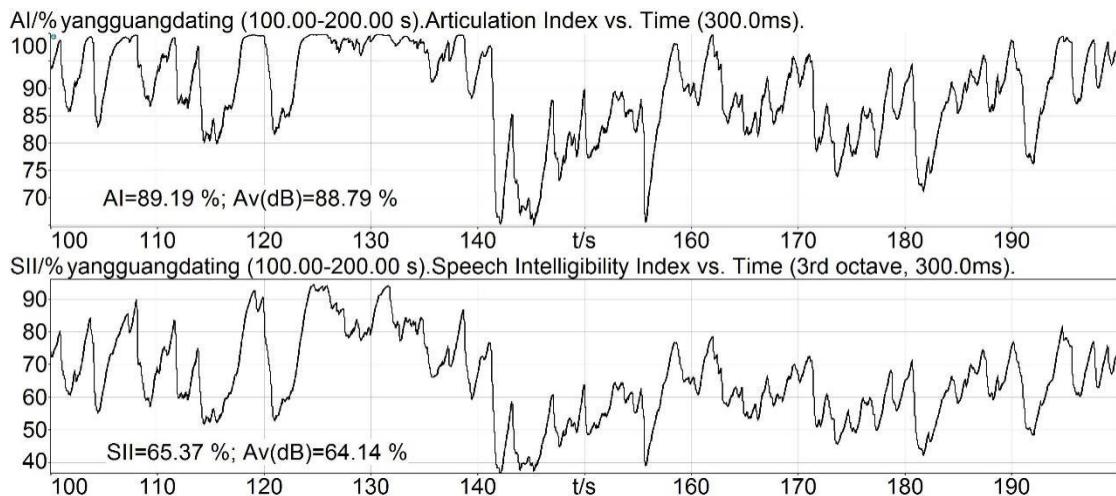


图 3-8 阳光大厅内语言清晰度及语言可懂度

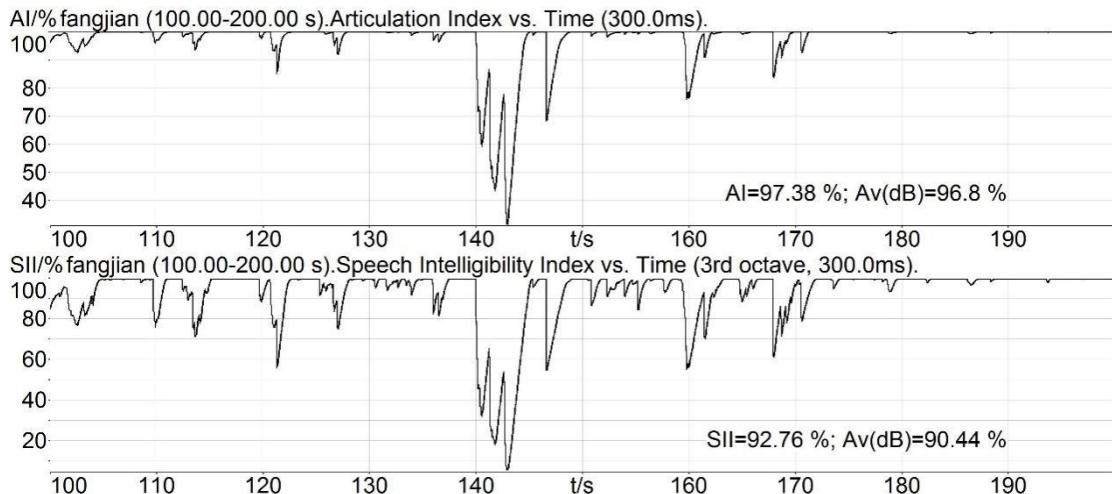


图 3-9 老年人房间内语言清晰度及语言可懂度

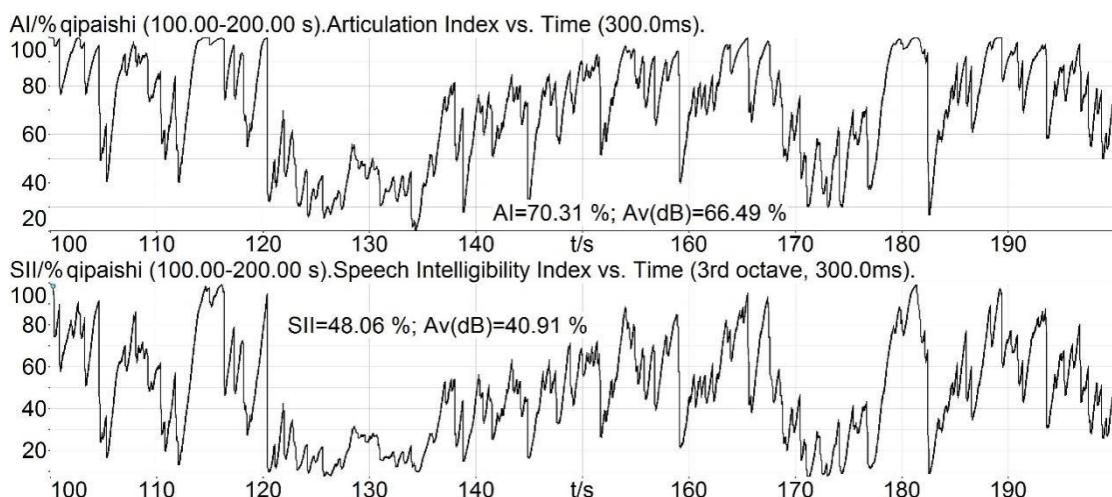


图 3-10 棋牌室内语言清晰度及语言可懂度

由图 3-8 可知，阳光大厅内语言清晰度为 89.19%、语言可懂度为 65.37%。这表明养老院内的语言清晰度还比较理想，但语言可懂度较低。这与阳光大厅的体积和混响时间有关，由于大厅体积较大，混响时间过长，导致大厅内的语言清晰度很低，尤其对于老年人来说，这样的声环境很容易造成听不清说话的现象。

图 3-9 的结果表明，老人房间内的语言清晰度为 97.38%、语言可懂度为 92.76%。这表明，老人房间内的声环境状况良好，声音的传输能力很强，几乎不会影响老年人的日常交流。

由图 3-10 可知，棋牌室内的语言清晰度为 70.31%、语言可懂度为 48.06%。这表明棋牌室内的背景噪音较大，声环境较为恶劣，老年人之间的交流容易产生较大的障碍。

3.3 养老院声环境主客观关系分析

本节主要研究养老院内声音参量随时间的变化趋势，分析声环境的客观参量是否对主观评价造成影响。在前文中已经收集了大量的调查问卷，但都是同一时间集中发放的，调查问卷记录时并没有采集客观数据。本节中重新调查了 30 位老人，只询问对此刻声环境的满意程度，并同时采集该时段的声音信号，以便寻求声环境中主观参数与客观参数间的关系。

3.3.1 养老院全天内声压级变化

老年人的作息时间通常比较规律，在调查问卷中发现，绝大部分老人起床时间很早，大部分的老人起床时间分布在早上 4 点到早 6 点之间，休息时间也比较早，大致分布在晚上 7 点到晚上 9 点之间。如图 3-11 和 3-12 分别为老年人起床时间和分布于老年人休息时间分布图。

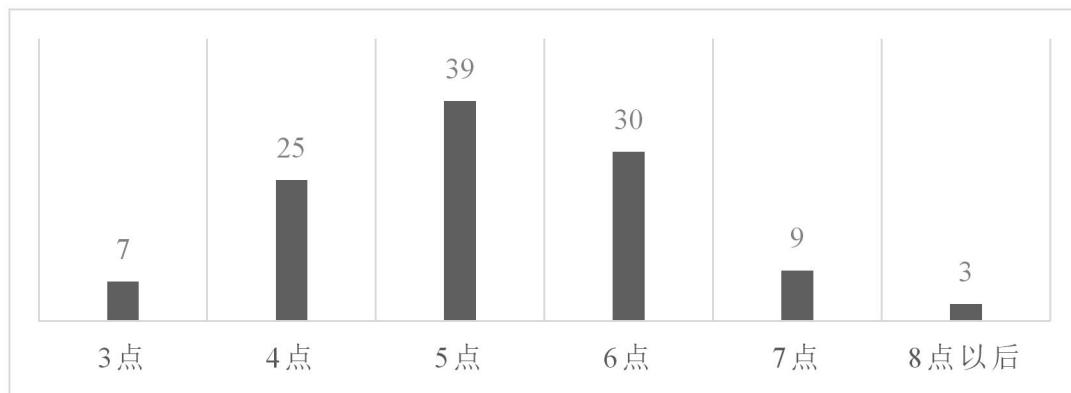


图 3-11 老年人起床时间分布

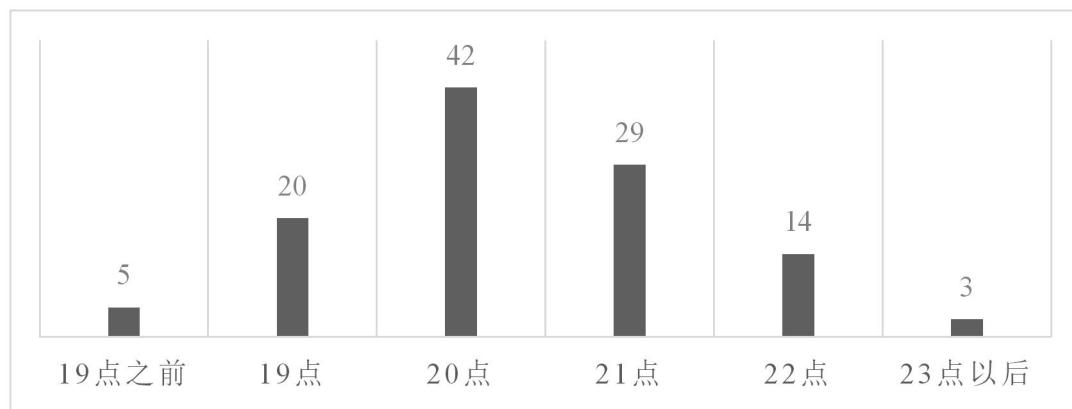


图 3-12 老年人休息时间分布

本文对养老院内三个位置进行了全天（早 4 点至晚 8 点）的声音采集，处理得到了，养老院内全天气压级随时间变化的分布图，如图 3-13 所示。

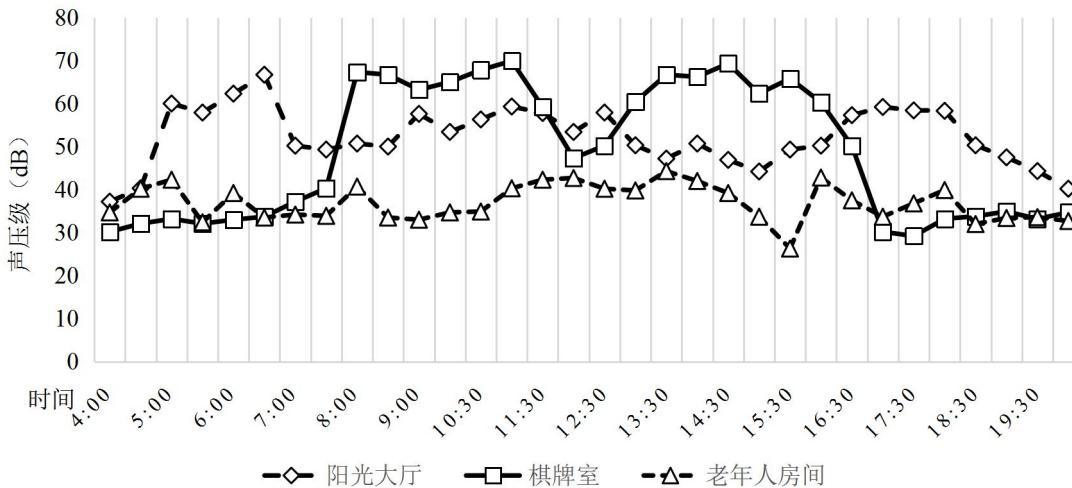


图 3-13 三种房间内的日常全天 A 声级分布

由图 3-13 可知，养老院内棋牌室内的声压级较高，但明显存在两个峰值，这是由于棋牌室的开放时间为上午和下午两个时段，棋牌室开放时声压级达到 60dB 以上；棋牌室不开放时与老年人房间的声压级类似，都在 30dB 左右。阳光大厅内的声压级平均在 50dB 左右，早上 5 点到 7 点之间出现一个高峰，这是由于老年人早起活动导致的。其次在中午和晚上也出现了声压级稍有升高的现象。老年人房间内的声压级全天都大致保持在 30 到 40dB 之间，下午声压级稍高于上午和晚上。

3.3.2 客观参数对声环境舒适度的影响

本文在养老院的各个位置随机调查了 30 名老年人，询问所处环境的声音舒适度，同时记录当时声环境下的声音，计算出声压级和语言清晰度，与主观声舒适度评价对比，得出声环境舒适度与声压级和语言清晰度的相关列表，如表 3-3 所示。

表 3-3 声环境舒适度与声压级和语言清晰度的相关性列表

类型	Pearson相关系数	Sig.
A 声级	-0.697**	0.000
语言清晰度	0.742**	0.000

由上表可知，声环境舒适度与实测的 A 声级之间存在显著相关性，声压级越高，舒适度评价越差，相关系数为 -0.697** ($p < 0.001$)；语言清晰度与舒适度之间也存在显著相关性，相关系数为 0.742** ($p < 0.001$)。

研究至此，可以将主客观相关分析的结果与第二章中的声环境舒适度评价的关系示意图相结合，如图 3-14 所示，可以得出完整的声环境舒适度主客观影响关系示意图。

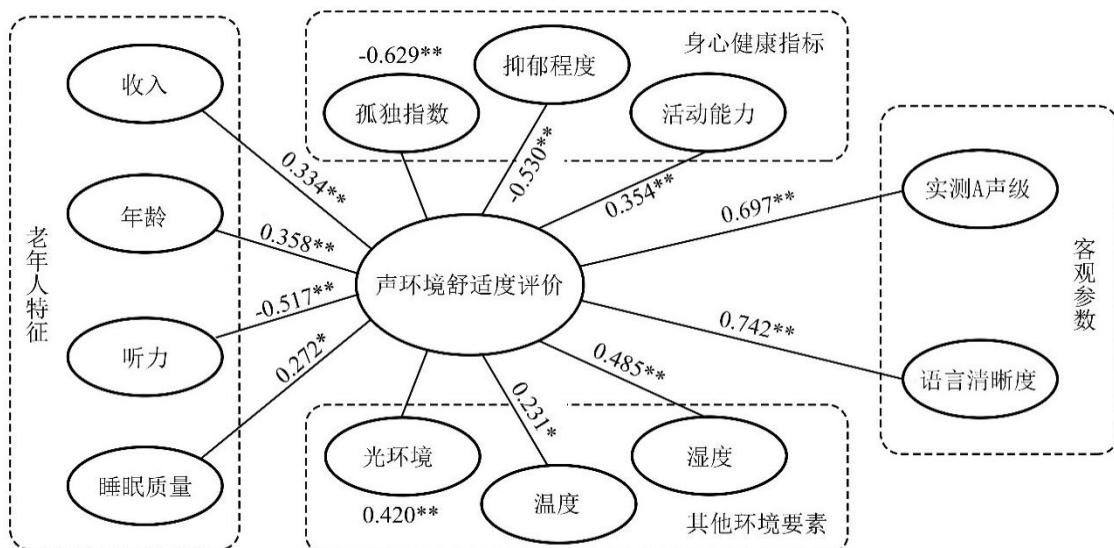


图 3-14 声环境舒适度主客观影响关系示意图

3.4 本章小结

本章主要对养老院内的重点区域进行了声音的采集和测量，明确了声音样本采集的仪器和方法。通过声学处理软件分别分析了养老院内的棋牌室、阳光大厅和老年人房间内的声场，以声音频谱、混响时间和语言清晰度作为评价指标对三个区域进行了分析。并通过采集养老院内全天范围的声压级变化，得出了不同房间的声压级变化规律。通过主客观的相关性分析，研究了 A 声压级和语言清晰度对于声环境舒适度的影响。

第4章 养老院声环境仿真模型构建

为了更深入了解养老院内部声环境的各项参数，需要对现有的养老院进行仿真模拟。由于现有的养老院空间不适合进行实际的修改性实验，模拟的到的声场可以方便后续对养老院内不同结构的设计进行讨论和研究。本章主要确定模拟的空间和方法，以及声场模型的建立和验证。

4.1 模拟空间及模拟方法确定

声场模拟自上世纪 90 年代以来逐渐发展，现已十分成熟。常用的声场仿真方法和软件有很多种。本节主要明确声场的仿真原理、需要模拟的声学空间以及声学模拟软件的选取。

4.1.1 声场仿真模拟原理

声线跟踪法是声场模拟中最为常见的方法之一。其主要原理是假定空间内各个内表面都是由多个平面构成的封闭空间。当空间内某一位置的声源在某刻向四周均匀发射大量的声粒子，这些声粒子都沿直线运动，将声粒子与墙壁或障碍物所撞击的点依次连接所形成的线称为声线^[46]。

在模拟的过程中，假定每个声粒子在发出时均携带等量大小的能量，其大小根据声源辐射的总能量和发出的声粒子个数计算得出。当声粒子遇到墙壁或障碍物时，声线在该点作镜面反射，反射的部分沿新的方向传播，余下的部分作扩散反射，其数值和方向由计算机随机控制。在声线传播的过程中，每当遇到吸声系数为 α 的墙面时，碰撞后携带的能量变为原有能量的 $(1-\alpha)$ 倍，直至其携带的能量衰减至域限值（如-60dB）或高于预设的最多碰撞次数（如 10 次）时，该条声线的计算停止，继续计算下一条声线，直至所有发出的声线计算完毕，声线跟踪过程结束^[47]。

在模拟空间内设定一听声点，定义该听声点周围的球形区域来捕获经过的声粒子，称为计数器。在声线跟踪过程结束之后，通过记录计数器捕获声粒子的到达时间，携带的能量和传播的方向将该点的声学参数计算出来。如图 4-1 所示为声线跟踪法模拟过程示意图。

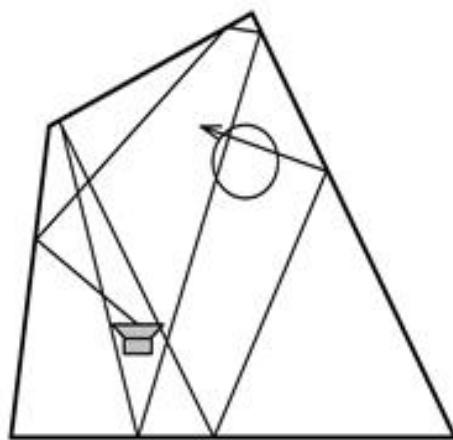


图 4-1 声线跟踪法的模拟过程示意图

4.1.2 模拟空间的确定

在运用声线跟踪法进行声环境模拟的过程中，有两个比较重要的假设，一是假设声音以声线的形式传播，而没有考虑声音的波动性；二是假设声线在遇到障碍物时会发生反射而不是绕过障碍物传播。这就要求模拟空间需要有足够大的体积，模拟的声音需要足够高的频率。

在上一章中，对棋牌室、阳光大厅和老年人房间三个区域进行了声场测量，但由于老年人房间的空间尺寸过小，且声场的频率段过低，在声音传播的过程中波长越长绕过障碍物的能力越强，且在小空间内容易形成驻波和声染色现象。因此，老年人房间属于小尺度房间的声学范畴，无法用声线跟踪法进行模拟。

由于本文的篇幅有限且研究精力有限。本文将声环境模拟的空间确定为棋牌室和阳光大厅。在以下的章节中，将主要讨论这两个空间的声学模拟和设计策略。

4.1.3 声学模拟软件的选取

声学模拟软件都遵循国际标准组织颁布的 ISO3382-1997 标准，近年来随着声音模拟技术的发展，大批知名的声场模拟软件涌现出来，例如丹麦的 ODEON 软件，德国的 EASE 软件和 CAESAR 软件以及瑞典的 CATT 软件等。2001 年春天的第三次国际声环境模拟软件巡回对比测试中，有 15 个国家 21 个单位参与对比了 9 中常见的模拟软件和其他自编软件。其中最为常见的六种软件的测试结果各有千秋不分上^[48]。

国内声学模拟设计中最常用软件是德国的 EASE 软件，该软件具有以下特点：

(1) 软件的不同功能以模块的形式呈现，有专门的仿真计算模块和模型设置的模块。

(2) 计算过程稳定快速，计算步长可以设置，计算结果较为精准。

(3) 结果可以输出为彩色图片，对各种声学参数均能以平面图谱和空间图谱的方式呈现出来。

(4) 内部的计算模块能够快捷计算大量的声学参数，包括早期衰变时间 EDT、语言清晰度 C₅₀、混响时间 T₆₀、重心时间 Ts 等。

(5) 软件内部自备的吸声材料数据库和扬声器数据库种类齐全，也可以自行设置吸声材料和扬声器并作为新材料存入数据库内。

基于以上特点，本文在后续的模拟中，选取 EASE 软件作为主要研究工具。

4.2 养老院声环境模拟过程

声场模拟中的建模与设计中的建模有很大区别，声场模拟时的模型要求尺寸精准，按实际大小没有缩放。在建立模型后，还需要设置不同表面的吸声参数以及声源的位置和参数。本节主要讨论在模拟过程中的问题和模拟参数的设定。

4.2.1 房间模型的建立

EASE 软件的主要功能是对声场进行仿真模拟，这就意味着其建模功能十分薄弱。EASE 的 EDIT 模块的建模方式为：根据空间的三维实际尺寸插入定点，再将同一平面内的顶点连接成面。所建成的空间模型没有实体的概念，由若干相互封闭的平面构成。不仅如此，在 EASE 软件中，无法直接画出圆弧，必须以阵列的形式形成近似圆弧的散点，再将散点连接成直线和平面。

在 EASE 的设定中，只存在平面不存在曲面。对于不同的平面，可以设置不同的材质属性，改变这些平面的材质的吸声特性，便可以模拟出空间内的声场。需要注意的是，在 EASE 软件中，连接的面有正面和反面之分，顺时针依次连接的点形成的是正面、逆时针连接形成的面为反面，只有正面相互封闭才能形成闭合空间进行声场的模拟运算。

如图 4-2 和 4-3 所示，本文按照声场采集时所调查的养老院图纸，依据实际尺寸建立了养老院内棋牌室和阳光大厅的仿真模型。其中阳光大厅内的室内绿化区由于过于复杂，将其按图纸中标注的规模简化为拉伸体。这不仅降低了建模的难度，也减轻了模拟运算的负担。

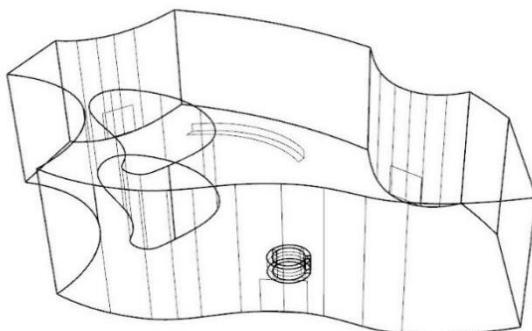


图 4-2 阳光大厅空间模型

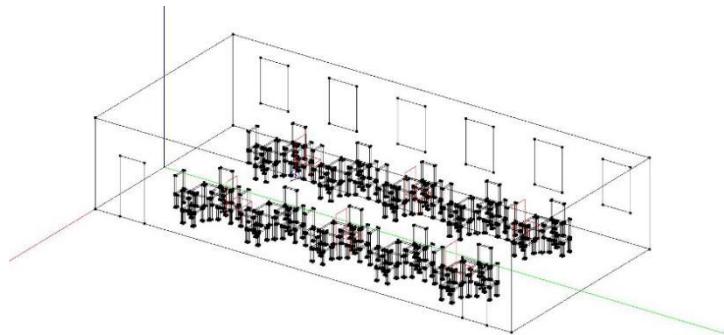


图 4-3 棋牌室空间模型

4.2.2 材料声学参数设定

根据实际房间尺寸建立出声场模型之后，需要赋予模型表面不同的材质，不同的材质具有不同的吸声系数。通过对数据的不断修正，经过反复模拟与实测数据之间的相互验证，最终确定的棋牌室和阳光大厅的材料声学参数分别如表 4-1 和 4-2 所示。

表 4-1 棋牌室内各材料的吸声系数

材料名称	在下列频率下的吸声系数 (f: Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
瓷砖地板	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02
双层玻璃窗	0.35	0.25	0.18	0.12	0.07	0.04	0.04
高靠背椅（空椅）	0.15	0.46	0.46	0.50	0.42	0.42	0.38
高靠背椅（坐人）	0.42	0.84	0.99	0.96	1.07	1.03	0.96
墙和棚顶	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.07	0.08
红木桌椅	0.08	0.12	0.28	0.44	0.84	0.68	0.08

表 4-2 阳光大厅内各材料的吸声系数

材料名称	在下列频率下的吸声系数 (f: Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
瓷砖地板	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02
玻璃幕墙	0.08	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02
室内绿化	0.11	0.26	0.60	0.69	0.92	0.99	0.99
理石面服务台	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
玻璃门	0.15	0.10	0.06	0.08	0.10	0.05	0.02
抹灰墙面	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.07	0.08

在模拟的过程中，设定的部分材料的声学参数并不一定完全符合其声学指标，原因在于本文主要研究声场的特性，将实际测量结果和模拟结果相匹配。因此在数值上会稍有差异。

4.2.3 声源的位置及参数设定

养老院内部的声音主要是由于老年人的日常活动发出的声音，在上一章里，已经对声场进行了实际的测量，现将测试的声音频谱特性重新设置成点声源。

由于实际空间中的声音是由多人随机造成。因此声源的位置选取在老年人活动最多区域的中心点。声源方向不固定，无特定方向，因此设定成无指向性声源。如图 4-4 和 4-5 所示，为棋牌室和阳光大厅声源位置示意图。

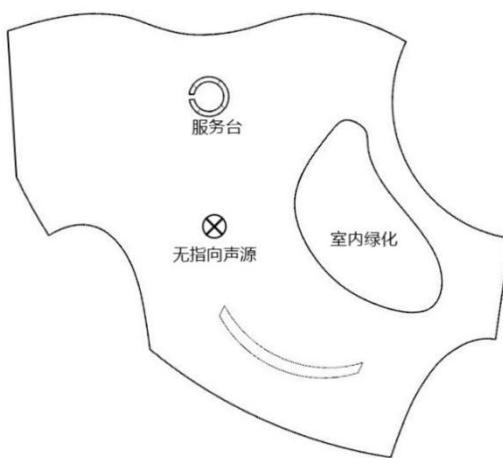


图 4-4 阳光大厅声源位置

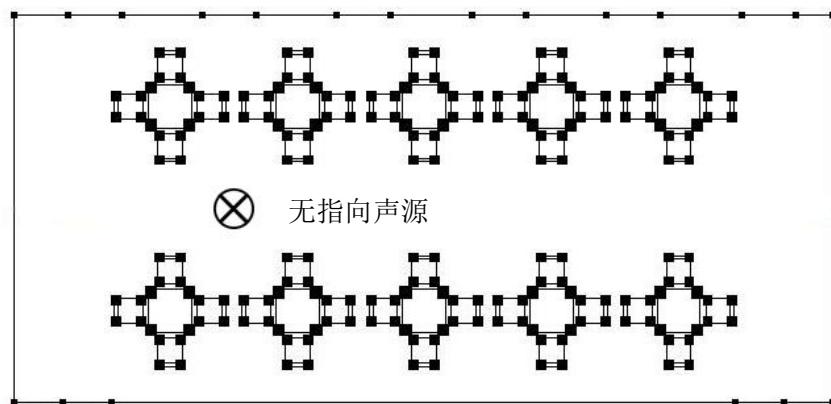


图 4-5 棋牌室声源位置

4.3 养老院声环境模拟可靠性验证

上文中已经对养老院内声环境进行了模型的建立，对已经建好的模型首先要通过房间密闭性检测，检验房间是否封闭，通过验证后便可对空间进行模拟。由于在上一章中分析的语言清晰度和语言可懂度的算法在两个软件中并不相同，本小节主要通过对比房间内的混响时间来验证空间模型的可靠性。

4.3.1 棋牌室空间模型可靠性验证

在 EASE 软件中，首选的计算混响时间的公式为艾润-努特生公式见公式(4-1)，式中用 T_{60} 表示混响时间，表示当房间内声源停止发声后，声压级衰减 60dB 所需的时间，以秒为单位。

$$T_{60} = \frac{0.163V}{-S \ln(1 - \bar{\alpha}) + 4mV} \quad (4-1)$$

式中 T_{60} —— 混响时间 (s);

V —— 房间容积 (m^3);

S —— 室内总表面积 (m^2);

$\bar{\alpha}$ —— 室内平均吸声系数;

m —— 空气中声衰减系数 (m^{-1});

上式中的声衰减系数的计算方法见公式(4-2)。

$$m = \frac{170}{\psi\%} \cdot f^2 \cdot 10^{-4} \quad (4-2)$$

ψ —— 相对湿度 (%);

f —— 频率 (kHz)。

由公式（4-1）可见，知道房间的体积和各表面的吸声系数，便可计算出房间内的总吸声量，进而计算得到房间内的混响时间。棋牌室内的混响时间经过模拟后如图 4-6 所示。

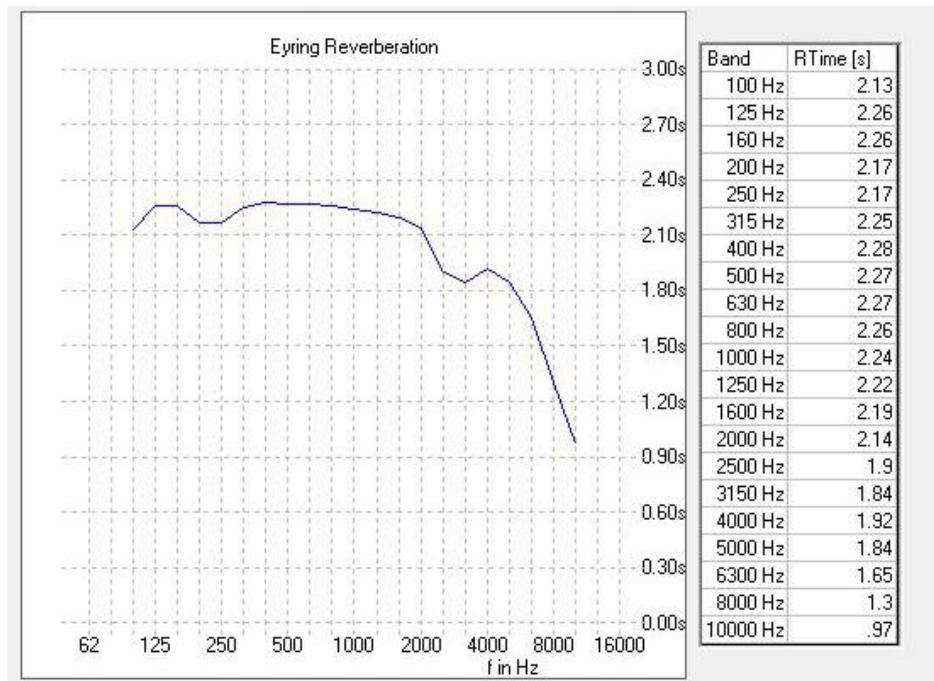


图 4-6 模拟棋牌室混响时间曲线

如图 4-7 所示，为棋牌室内模拟的混响曲线与实际测量值之间的比较。

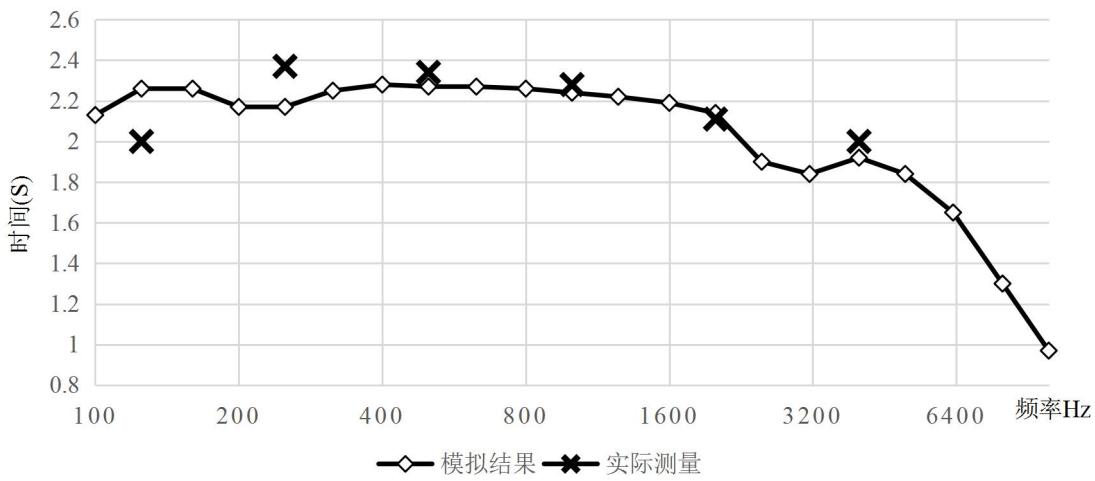


图 4-7 棋牌室模拟混响时间与实际测量值的比较

由图 4-7 可以看出，模拟的棋牌室内混响时间与实际测量值的走势大致相同，表明对房间声环境的模拟在一定程度上是可靠的，各频率段内的混响时间的误差基本不超过 0.2 秒。此外，可以发现，房间内中频（250Hz-4000Hz）的数据吻合程

度比较好，但在低频区域和高频区域数据间的误差较大，这表明 EASE 软件对中频信号的模拟较好，对低频和高频信号的模拟相对薄弱一些。

4.3.2 阳光大厅空间模型可靠性验证

与棋牌室的处理方法相同，如图 4-8 所示为模拟后计算出的阳光大厅内的混响时间曲线。

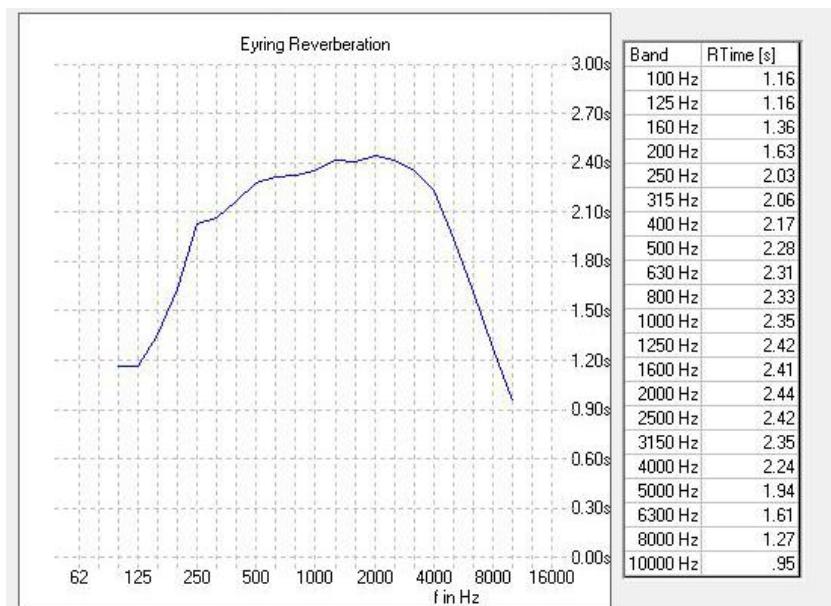


图 4-8 模拟阳光大厅混响时间曲线

如图 4-9 所示，为阳光大厅内模拟的混响曲线与实际测量值之间的比较。

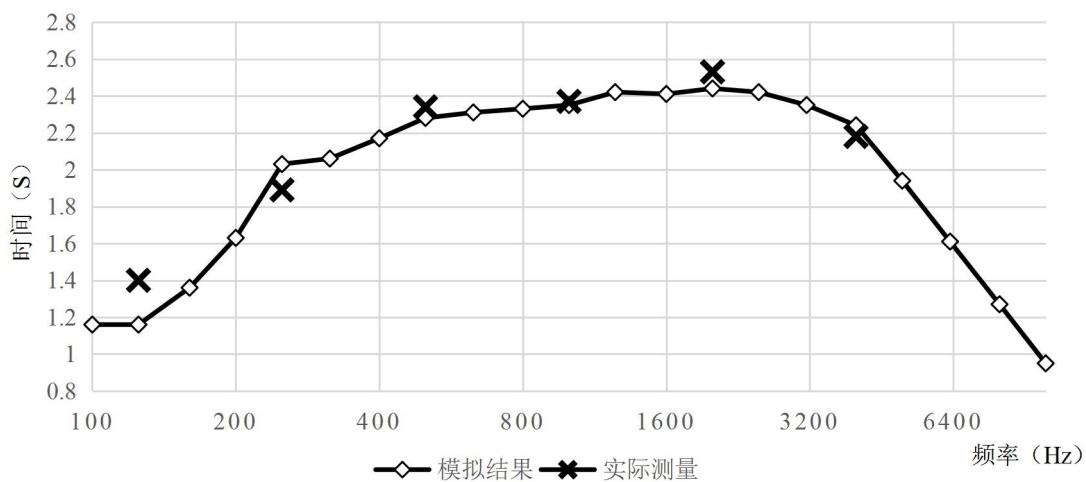


图 4-9 阳光大厅模拟混响时间与实际测量值的比较

从阳光大厅内的模拟对比图中可以看出，实测的混响曲线与模拟的混响曲线走势大致相同，都在中频区域出现峰值。数据在低频区域的误差同样较大，随着

频率的升高，误差呈减小趋势。整体来看，模拟的数据与实际测量得到的结果相差不大，可以说明模拟得到的模型是可靠的。

除以上内容之外，在模拟过程中，仍有以下 3 点需要说明：

(1) 在对声场进行实际测量时是空场测量，测量时厅堂内的人较为稀少，在多数情况下，房间内的人数一般都会比测量时较多。因此，由于人体服装的吸声作用，在实际情况下，房间内的吸声系数会在一定程度上增加，这一现象在冬季可能会更为明显。

(2) 房间内在模拟时没有设置电声系统，实际上，在部分养老院的阳光大厅里有类似广播的设置，但由于这一设施并不普遍存在，且很少使用，因此，在本文的模拟和分析中，尚没有考虑电声系统对养老院室内声环境的影响。

(3) 本章对声环境进行模拟的主要目的是研究房间结构和材料的变化对声环境的影响，不力求逼真的还原养老院内实际的声环境，因此在模拟的过程中难免有一定误差，但不会影响各声学参数的变化规律。

4.4 本章小结

本章主要对养老院内的阳光大厅和棋牌室进行了模型的构建，通过设置房间内部材料的参数，以及前文中通过采集获得的声源参数，得到了两个房间的声学仿真模型。根据模拟得到的混响时间曲线与实际测量得到的曲线向比较，发现两个模拟空间内的模拟结果与实际结果的走势相同，误差基本在 0.2 秒以内，证明模拟的结果可靠，可以对模拟得到的声场仿真模型进行更深入的分析。

第 5 章 养老院声环境模拟分析及设计策略

对于上文中已经建立的仿真模型来说，通过改变空间内的吸声材料的吸声特性就可以改变空间的声场特性。本章主要研究养老院内棋牌室和阳光大厅的不同材料和装饰对房间内的声环境的影响，并在最后针对养老院内人性化的声环境设计提出一些建议。

5.1 棋牌室声环境分析

棋牌室在平面图中属于矩形的空间，房间结构十分整齐，没有特殊的装饰，如果不作为棋牌室的话于普通房间无异。考虑到方便性和美观性，本文主要研究房间内的顶棚材料和地面材料的改变对声环境客观参量的影响。

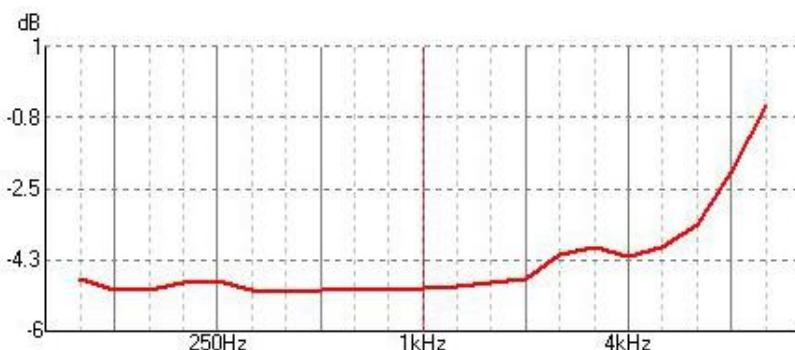
5.1.1 顶棚材料对声环境的影响

房间内原有的棚顶材料与墙体材料相同，均为普通白色涂料。为讨论顶棚材料对声环境的影响，现分别模拟四种不同的吊顶材料，观察其混响时间、语音传输指数和语言可懂度的变化。四种材料的名称和吸声系数如表 5-1 所示。

表 5-1 顶棚材料及吸声系数

材料名称	倍频程中心频率吸声系数 (f: Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
普通涂料	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
石膏板吊顶	0.20	0.15	0.10	0.08	0.04	0.02	0.02
穿孔铝板 (孔径 2.8 穿孔率 18% 空腔 200mm)	0.40	0.88	0.94	0.68	0.71	0.68	0.63
聚酯纤维板厚度 9mm、后空 100mm	0.36	0.88	1.08	1.12	0.92	1.04	1.00

经过模拟得到采用普通白色涂料作为顶棚材料的房间的语言可懂度(C_{50} 参量)如图 5-1 所示。

图 5-1 普通白色涂料作为顶棚的 C_{50} 参量

其中， C_{50} 参量用于表示语言可懂度，用来表示声音在 50ms 前后以 dB 为单位的能量比。其中 50ms 以前的声能主要包括直达声和早起反射声；50ms 以后的声能主要包括混响声能。该参量首先由梯雷(Thisle)提出，后经白瑞纳克(Leo Beranek)和苏尔兹(Schultz)修正，用于预测房间内讲话单词的可懂度^[49]，其表达式如公式(5-1)所示。

$$C_{50} = 10 \lg \frac{\int_0^{50} p^2(t) dt}{\int_{50}^{\infty} p^2(t) dt} \quad (5-1)$$

式中： p —— 听声面内某一点的声压级；

t —— 时间 (ms)。

具有一般混响的房间，高于 0dB 时代表其具有良好的语言可懂度，如果房间内声音较为混乱，则要求至少高于-5dB。

由图 5-1 可以看出，棋牌室内用普通涂料作为顶棚时，大部分频率的 C_{50} 参量值低于-5dB，表明房间内的语言可懂度并不理想。

将顶棚设置为石膏吊顶后，经过模拟得出房间内的混响时间和 C_{50} 参量分别如图 5-2 和 5-3 所示。

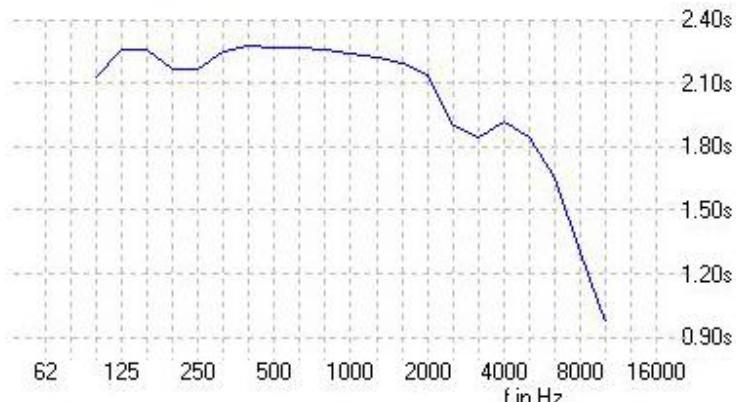


图 5-2 石膏吊顶作为顶棚材料的混响时间

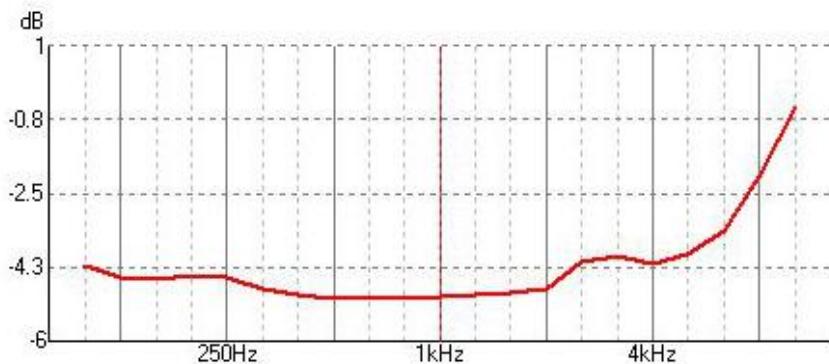


图 5-3 石膏吊顶作为顶棚材料的 C₅₀ 参量

将顶棚设置为穿孔铝板后，经过模拟得出房间内的混响时间和 C₅₀ 参量分别如图 5-4 和 5-5 所示。

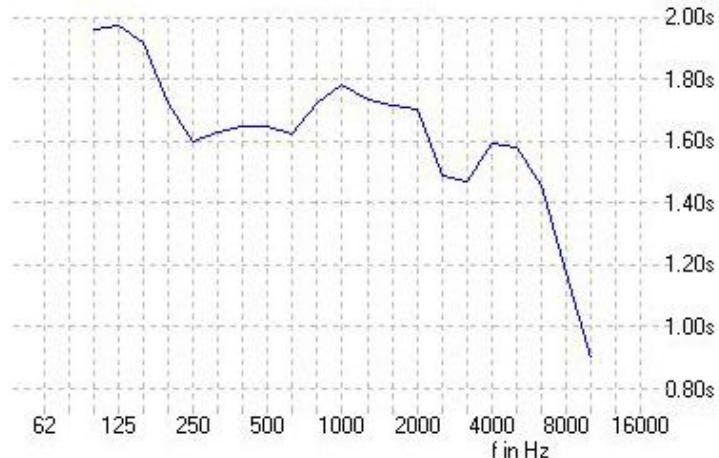


图 5-4 穿孔铝板作为顶棚材料的混响时间



图 5-5 穿孔铝板作为顶棚材料的 C₅₀ 参量

将顶棚设置为聚酯纤维板后，经过模拟得出房间内的混响时间和 C₅₀ 参量分别如图 5-6 和 5-7 所示。

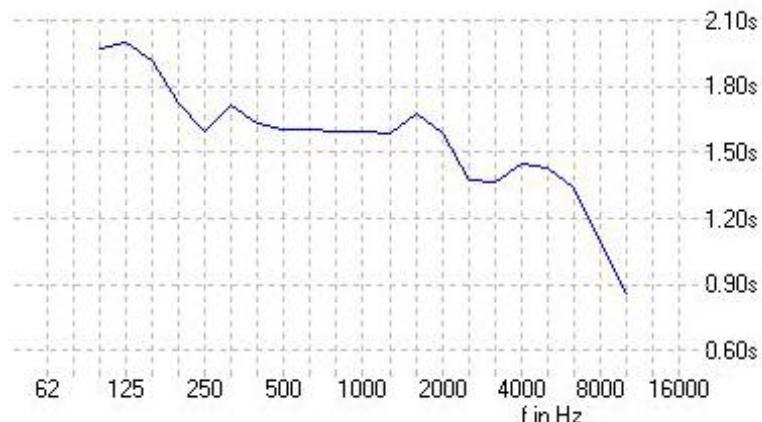


图 5-6 聚酯纤维板作为顶棚材料的混响时间

图 5-7 聚酯纤维板作为顶棚材料的 C_{50} 参量

由图 5-2、5-4 和 5-6 可以看出，石膏吊顶、穿孔铝板和聚酯纤维板都在混响时间和语言可懂度上有不同的改善。如图 5-8 所示，为四种材料在不同频率下的混响时间。

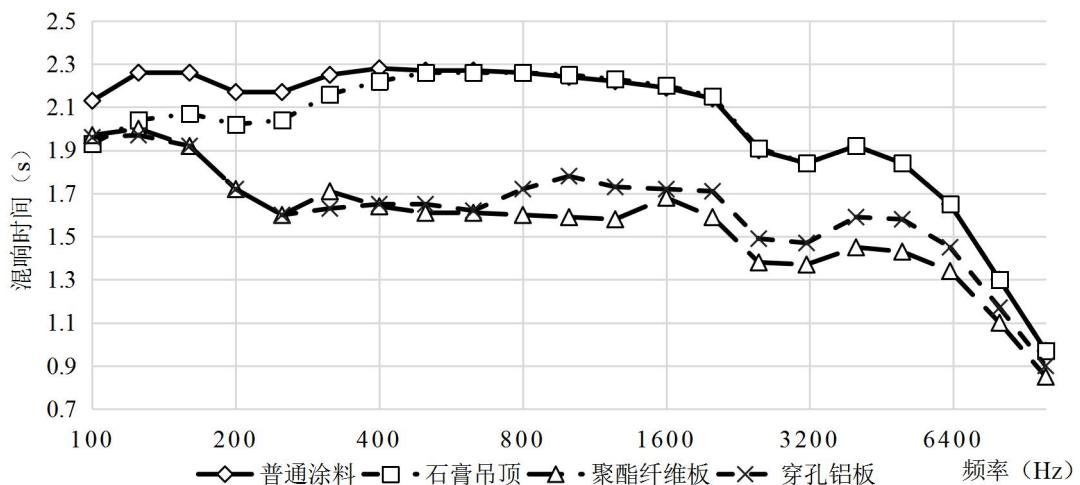


图 5-8 四种材料在不同频率下的混响时间

由图 5-8 可知，石膏吊顶对低频区域的混响时间进行了一定的控制，但在中高频区域与普通涂料的混响时间曲线几乎重合。聚酯纤维板和穿孔铝板在各频率段内都对混响时间进行了一定控制，尤其是在中频和高频区域，混响时间下降到了 1.7s 左右，整体来看，聚酯纤维板比穿孔铝板的混响时间更短一些。

从图 5-3、5-5 和 5-7 可以看出，不同的顶棚材料的 C_{50} 参量都不相同，如图 5-9 所示，为四种材料的 C_{50} 曲线。

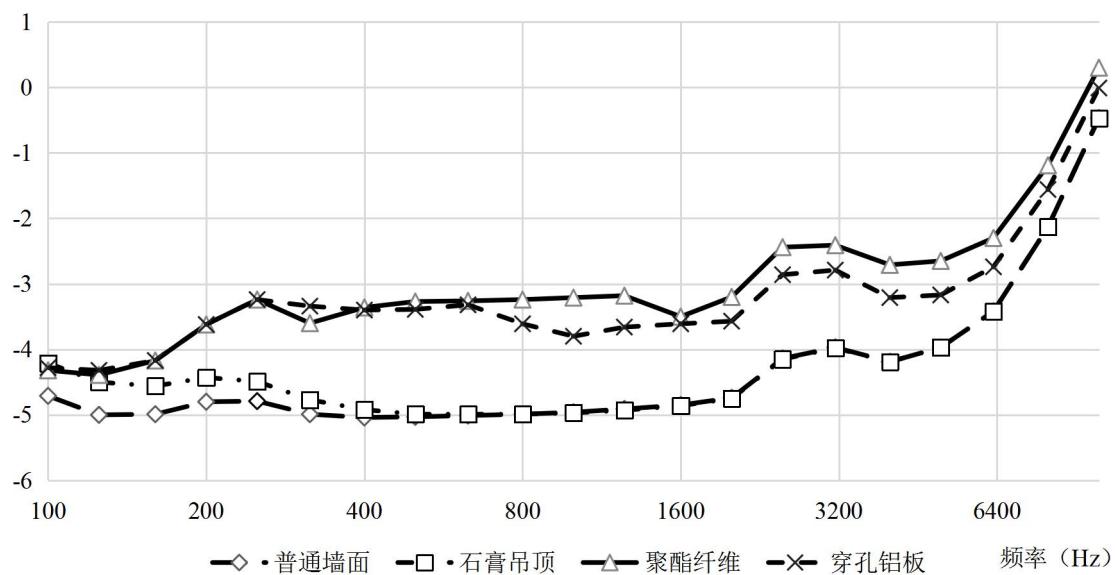


图 5-9 四种材料的 C_{50} 曲线

由图 5-9 可知，普通墙面的 C_{50} 参量最低，既普通涂料的语言可懂度最差，在低频和中频段的 C_{50} 参量都在-5dB 左右，表明空间内的语言传输不是很理想。

石膏吊顶最为顶棚时，对低频区域的语言可懂度有所改善，但在中高频区域与普通涂料的曲线重合。聚酯纤维板与穿孔铝板与普通涂料相比，在 C_{50} 曲线上均有很大改善，两者在低频区域曲线重合，但在中高频段的区域，聚酯纤维板的语言可懂度要高于穿孔铝板。

5.1.2 地面材料对声环境的影响

养老院棋牌室内原有的地面的材料为普通的瓷砖地面，其表面光滑，吸声效果几乎为零。现研究常用的几种地面材料对声环境的影响，本文根据目前常见的室内装修材料，分别选取瓷砖地面、硬木地板、镶木拼花地板、室内地毯，各种材料的吸声系数如表 5-2 所示。

表 5-1 地面材料及吸声系数

材料名称	倍频程中心频率吸声系数 (f: Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
瓷砖地面	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02
镶木拼花地板	0.02	0.15	0.10	0.08	0.05	0.05	0.05
硬木地板	0.15	0.11	0.10	0.07	0.06	0.07	0.07
室内地毯	0.01	0.05	0.10	0.20	0.45	0.65	0.80

采用镶木拼花地板作为地面材料的房间，经过模拟，得出的混响曲线和 C_{50} 曲线如图 5-10 和 5-11 所示。

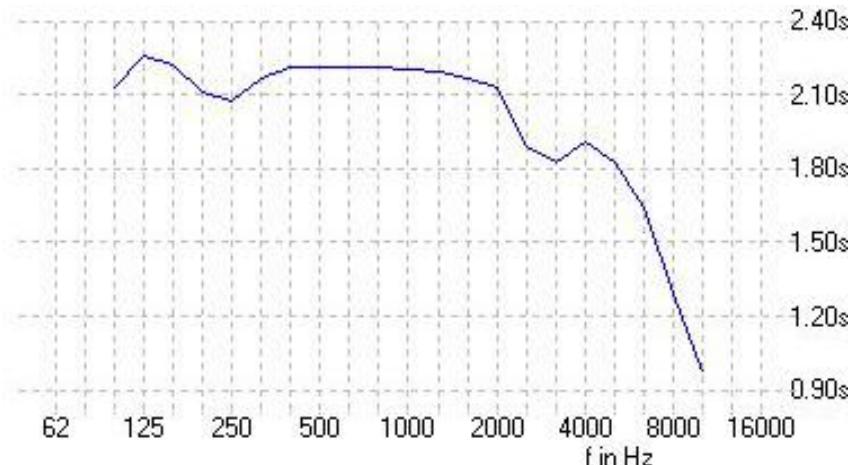
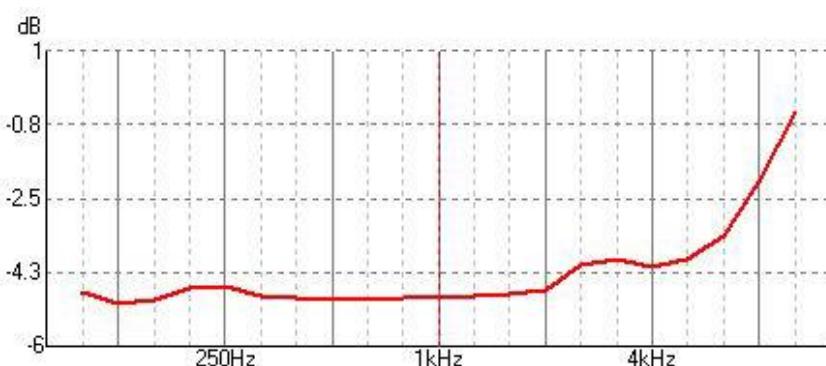


图 5-10 镶木拼花地板作为地面材料的混响时间

图 5-11 镶木拼花地板作为地面材料的 C_{50} 曲线

采用硬木地板作为地面材料的房间，经过模拟，得出的混响曲线和 C_{50} 曲线如图 5-12 和 5-13 所示。

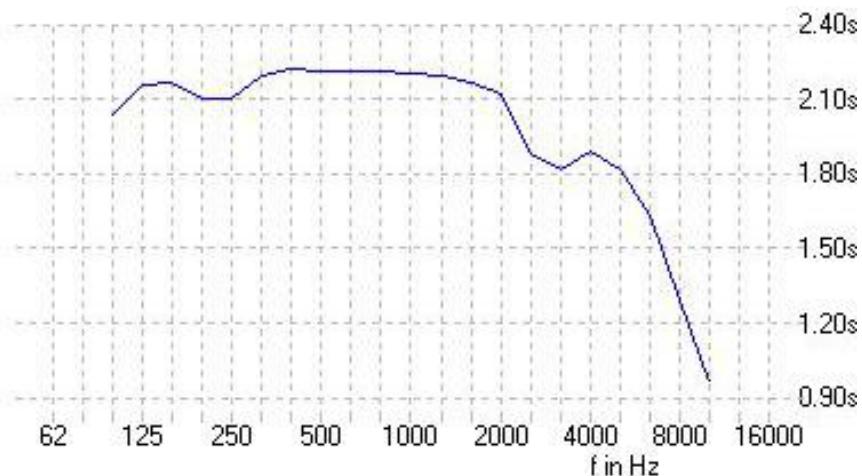


图 5-12 硬木地板作为地面材料的混响时间

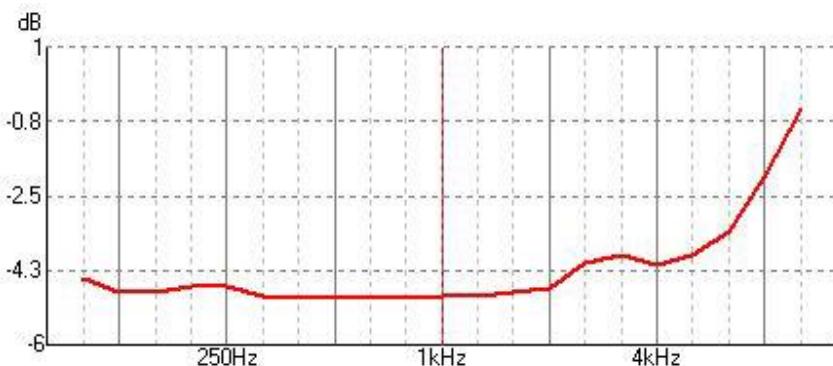


图 5-13 硬木地板作为地面材料的 C₅₀ 曲线

采用室内地毯作为地面材料的房间，经过模拟，得出的混响曲线和 C₅₀ 曲线如图 5-14 和 5-15 所示。

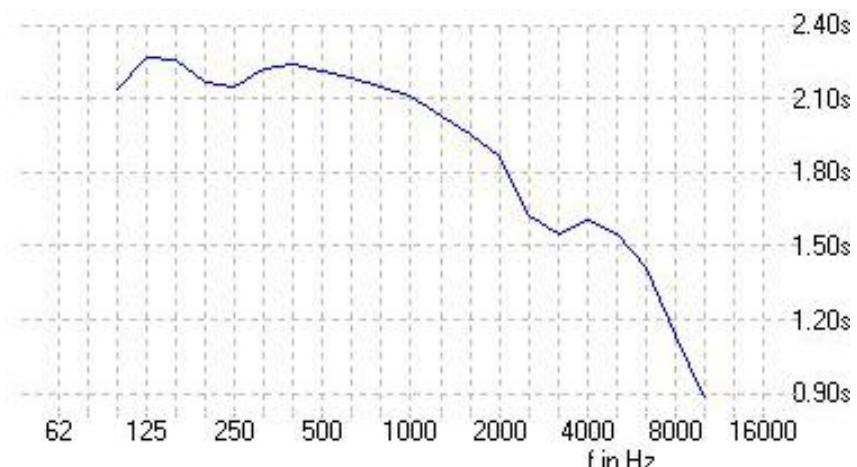
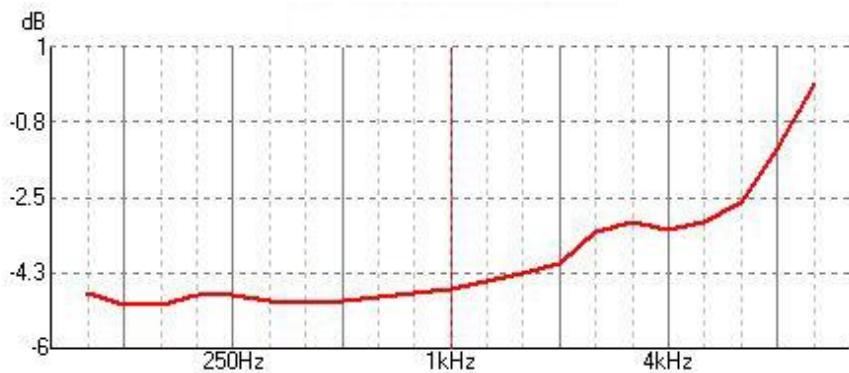


图 5-14 室内地毯作为地面材料的混响时间

图 5-15 室内地毯作为地面材料的 C_{50} 曲线

由图 5-10、5-12 和 5-14 可以得出，不同地面材料的混响时间曲线的走势基本相同，在低频区域混响时间偏高。中高频区域的混响时间有所下降。如图 5-16 所示为四种地面材料的混响时间曲线。

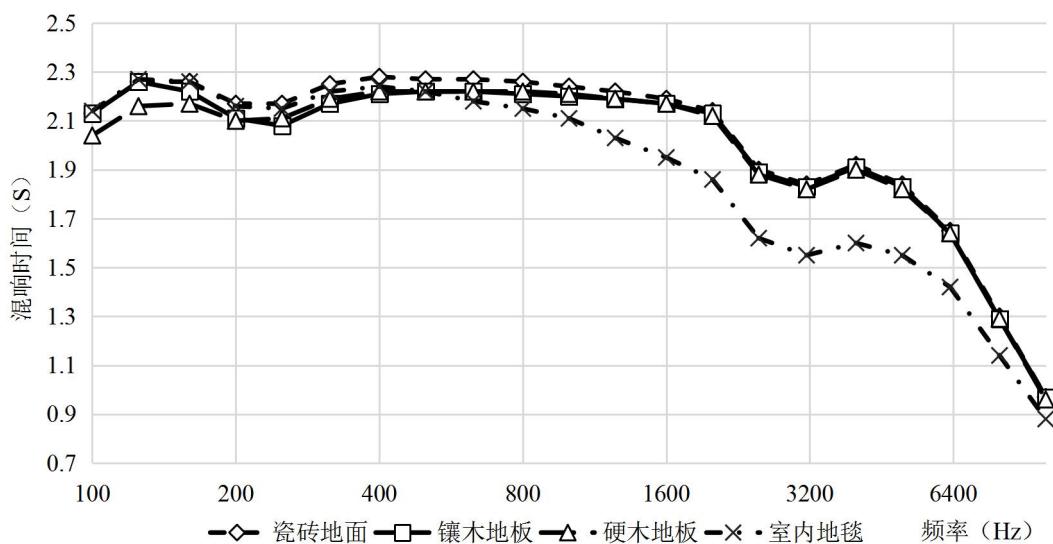
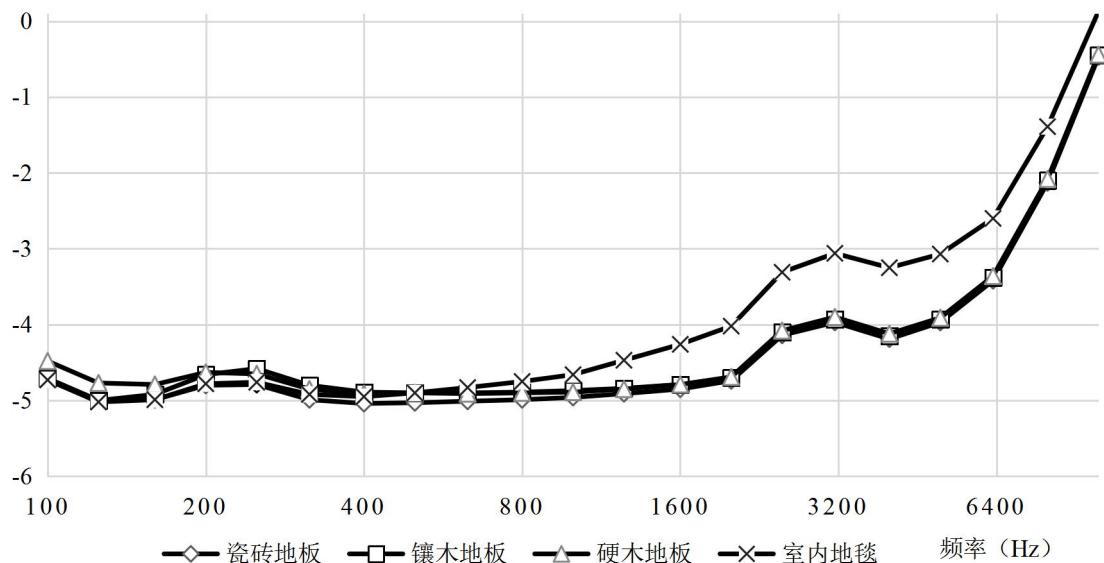


图 5-16 四种地面材料的混响时间曲线

由图 5-16 可以看出，瓷砖地面、镶木地板和硬木地板的曲线几乎重合，室内地毯的曲线在低频区域较瓷砖地面的混响时间稍有缩短，但几乎没有变化；在中高频区域有明显下降，说明室内地毯对高频噪声有一定的吸收能力。整体来看，地面材料对室内混响时间的影响不大。

如图 5-17 所示，为四种地面材料模拟得出的 C_{50} 参量曲线。

图 5-17 四种地面材料的 C_{50} 曲线

由上图可知，不同地面材料对 C_{50} 曲线的影响不大，只有室内地毯在中高频区域的 C_{50} 参量有所提升，达到了 -3dB 左右，而其他三种材料的 C_{50} 参量基本都在 -5dB 左右，没有太大差别。

5.2 阳光大厅声环境分析

阳光大厅顾名思义，在白天阳光可以直接照射进大厅内部，达到采光充足的作用，因此阳光大厅本身的玻璃幕墙很难进行改变。但针对养阳光大厅目前有多种噪声控制的方式，本节主要研究大厅内的室内绿化和加入空间吸声体对大厅内声环境的影响。

5.2.1 室内绿化对声环境的影响

室内绿化是公共场所常用的装饰方式之一，室内绿化在起到装饰美观作用的同时，也能对噪声起到一定的吸收作用^[50]。本文研究了没有室内绿化时阳光大厅内的声环境特征以及室内绿化扩大一倍后室内的声环境特征。

如图 5-18 所示，为养老院阳光大厅内原有绿化情况下的 C_{50} 曲线。

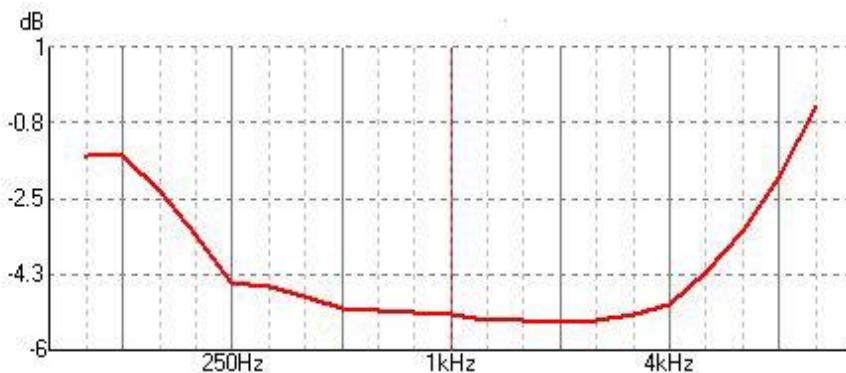


图 5-18 阳光大厅原有绿化情况的 C₅₀ 曲线

将原有绿化面积扩大一倍后，阳光大厅内的混响时间曲线赫尔 C₅₀ 曲线分别如图 5-19 和 5-20 所示。

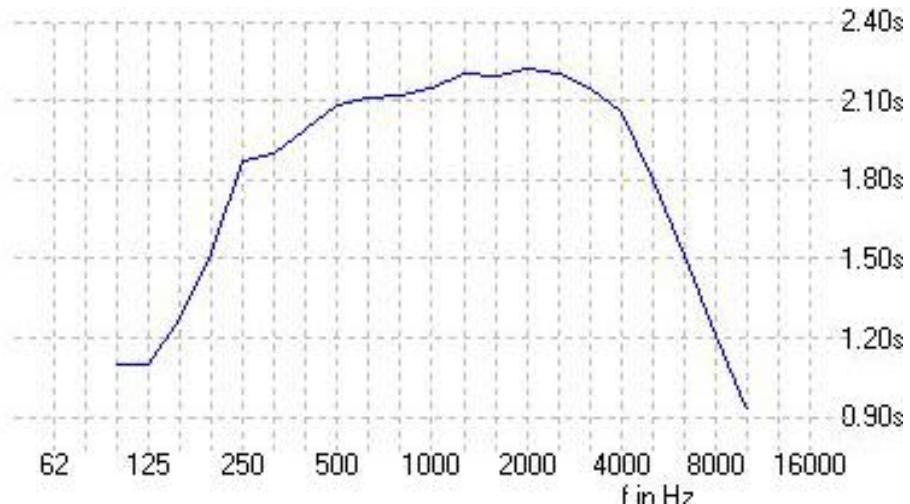


图 5-19 绿化面积扩大一倍的混响曲线

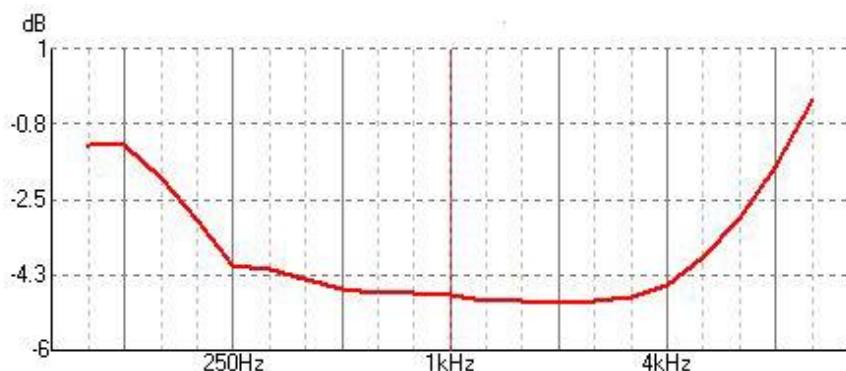


图 5-20 绿化面积扩大一倍的 C₅₀ 曲线

将原有的室内绿化去除之后，得到的混响时间曲线和 C₅₀ 曲线分别如图 5-21 和 2-22 所示。

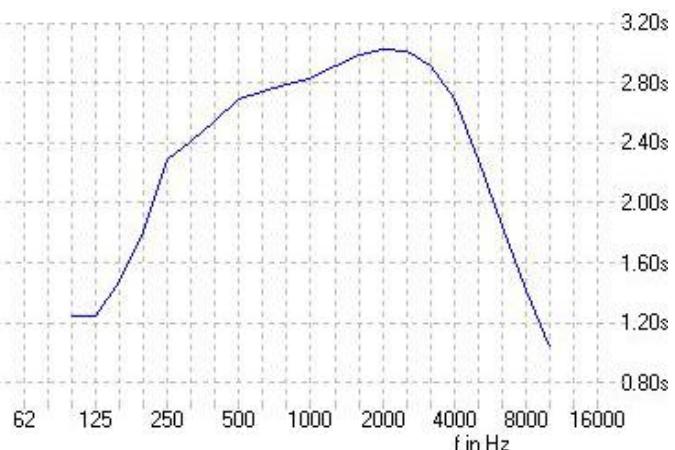
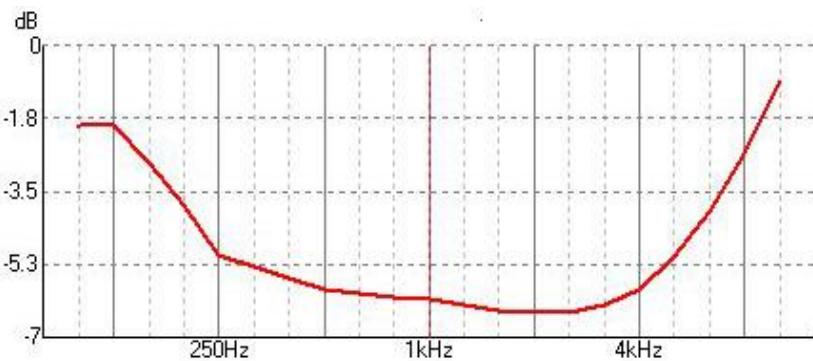


图 5-21 去除室内绿化后的混响曲线

图 5-22 去除室内绿化后的 C₅₀ 曲线

由上图可以看出，室内绿化的多少影响了混响曲线和 C₅₀ 曲线的变化。如图 2-23 和 2-24 所示，分别为模拟得出的有无室内绿化的混响时间对比图和 C₅₀ 曲线的对比图。

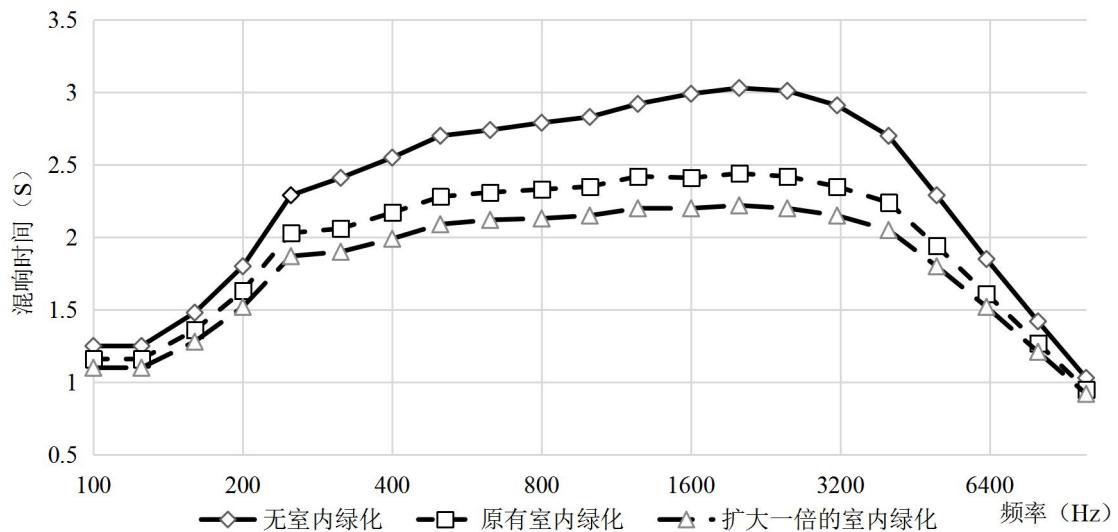
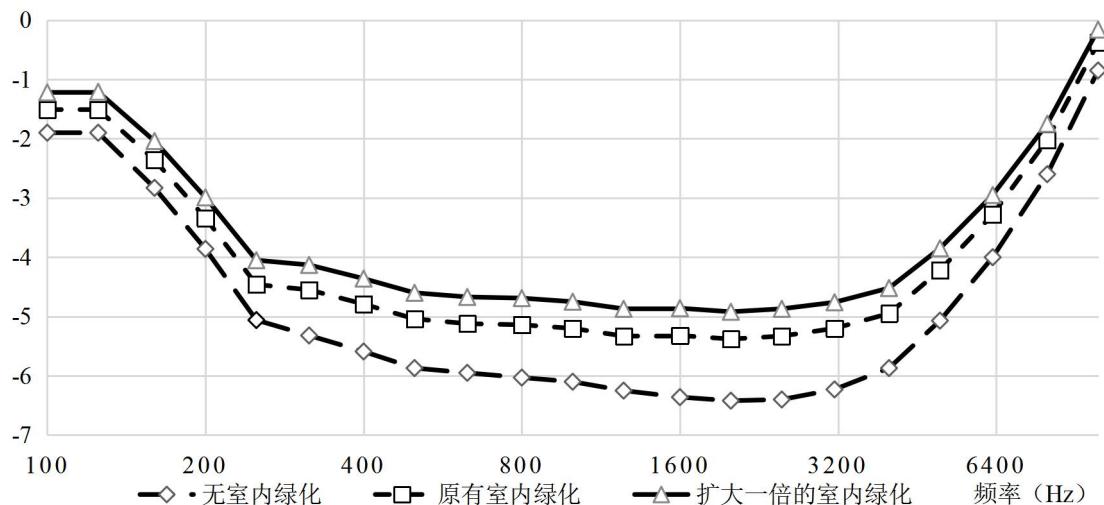


图 5-23 有无室内绿化的混响时间对比图

图 5-24 有无室内绿化的 C_{50} 参量对比图

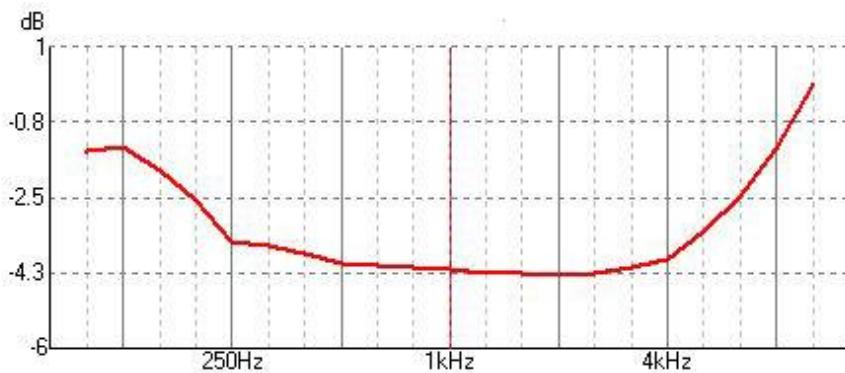
由图 5-23 和 5-24 可以看出，室内增加了绿化后可以使室内的混响时间明显下降，尤其是在中频区域，可以使混响时间缩短 0.5 秒左右。同样，室内绿化也可以使大厅内的 C_{50} 参量得到显著提高，将房间内的语言可懂度控制在可接受的范围内。

5.2.2 空间吸声体对声环境的影响

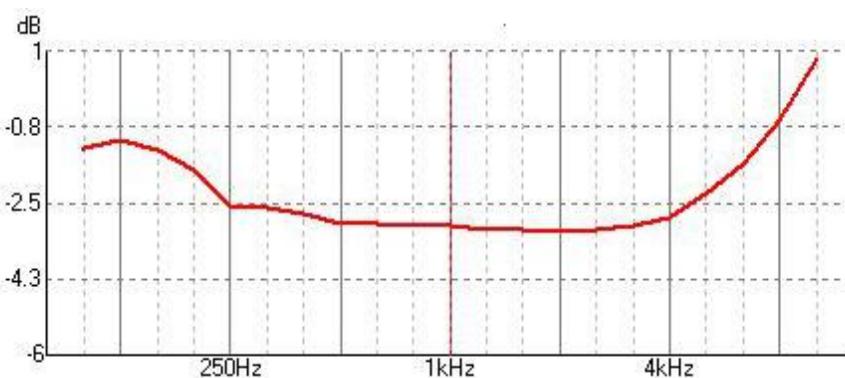
空间吸声体是用吸声材料制作成特定形状后，悬挂在厅堂中间，起到降噪作用的噪声控制方法之一^[51]。因为空间吸声体具有两个或两个以上的面用来吸收声波，因此具有良好的吸声效果。本文分别分析了均匀悬挂了总表面积为 $150m^2$ 的空间吸声体和悬挂 $300m^2$ 的空间吸声体后，阳光大厅的混响时间和 C_{50} 参量。

如图 5-25 和 5-26 所示，分别为均匀悬挂了总表面积为 $150m^2$ 空间吸声体的混响曲线和 C_{50} 曲线。

图 5-25 悬挂 $150m^2$ 空间吸声体后的混响时间曲线

图 5-26 悬挂 150m^2 空间吸声体后的 C_{50} 曲线

如图 5-27 和 5-28 所示，分别为均匀悬挂了总表面积为 300m^2 空间吸声体的混响曲线和 C_{50} 曲线。

图 5-27 悬挂 300m^2 空间吸声体后的混响时间曲线图 5-28 悬挂 300m^2 空间吸声体后的 C_{50} 曲线

可见悬挂空间吸声体后对房间内的混响时间和语言可懂度产生了一定影响。如图 2-29 和 2-30 所示，分别为模拟得出的有无空间吸声体的混响时间对比图和 C_{50} 曲线的对比图。

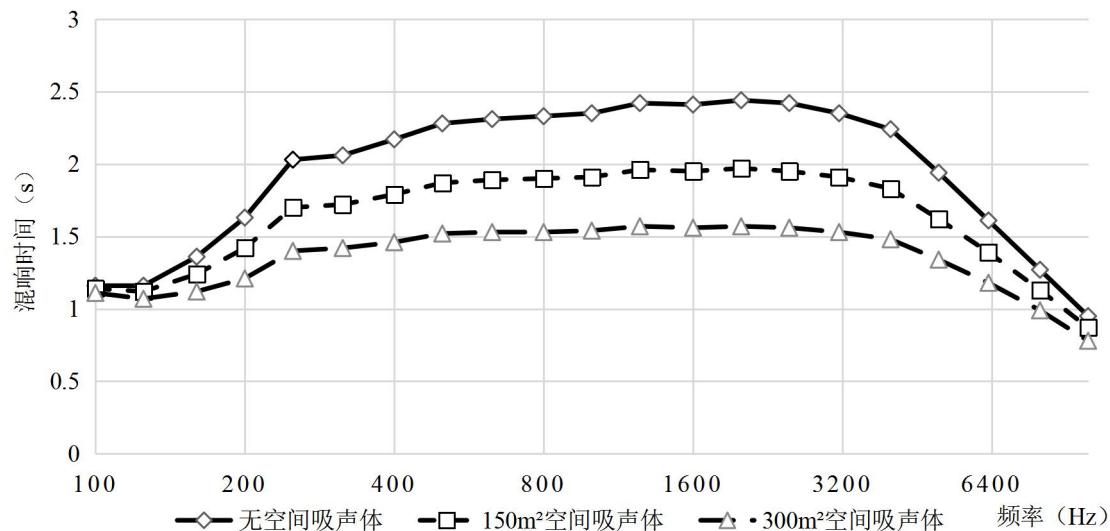
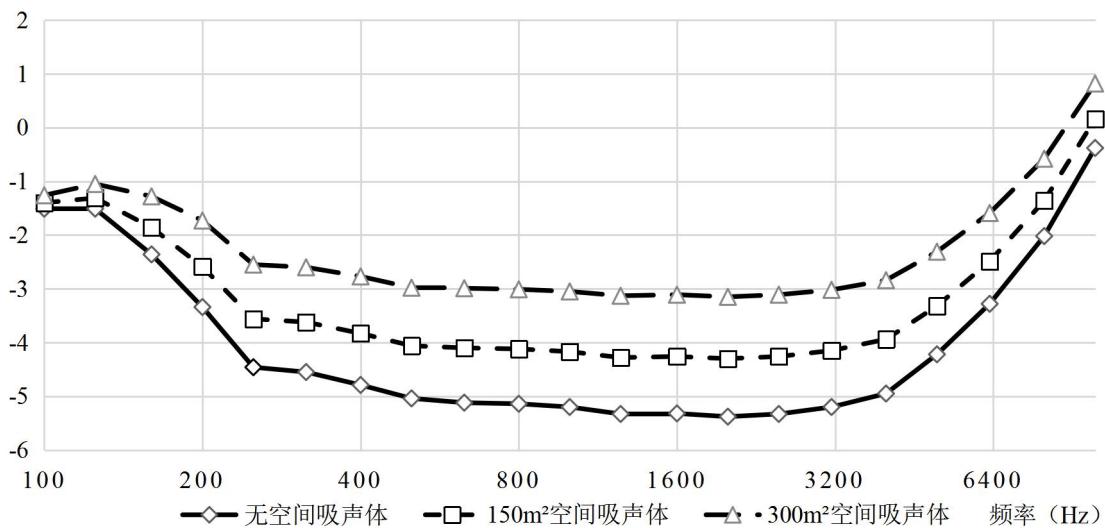


图 5-29 有无空间吸声体的混响时间对比图

图 5-30 有无空间吸声体的 C₅₀ 参量对比图

由上图可知，悬挂空间吸声体后可以缩短阳光大厅内的混响时间，当原有阳光大厅悬挂表面积达到 300m² 的空间吸声体后，中频区域的混响时间可以减少到 1.5s 左右，基本能够达到标准。此外，空间吸声体也有效的控制了 C₅₀ 参量，提高了室内的语言可懂度。

5.3 养老院人性化声环境设计策略

拥有良好的声音环境，是养老院的基本要求之一。养老院是老年人生活休息的主要场所，大部分老年人，尤其是在冬季，整日待在养老院中，需要合理的声环境。本节在总结了前几章对于养老院老年人声喜好以及养老院内声环境的研

究后，提出了一些在室外布局和室内设计上的策略。

5.3.1 根据声喜好需求的养老院布局规划策略

从第二章中的研究中已经得知，老年人对于不同声源的喜好程度不同且不同类型的老年人对于声音的感受不同。整体来看，老年人喜欢自然声，对电视、收音机等通讯工具带来的声音也比较乐于接受，但对机器产生的噪音相当抵触。身体状况越差、心理状态越不好的老年人对声环境的忍受能力越差。基于对老年人声喜好的研究现状，本文对养老院的室外环境和空间布局提出以下 5 点策略：

(1) 养老院的选址应当远离工地、工厂、闹市以及其它噪声较大区域，保证老年人不会受到施工噪音，公共交通噪音带来的影响。尤其是夜晚，应当保证养老院内的安静，噪声不超过 40dB，保证不会打扰老年人的正常休息。

(2) 养老院室外适宜种植一些植物、布置适当的景观。这不仅可以降低从养老院外界传来的噪声，也可以通过植被和人造景观进行自然声源的设计。

(3) 养老院内应当保证光线充足、温度适宜。老年人对声音的感受也和其他感觉的舒适程度有关，因此进行声环境设计的同时也需要和其他感官环境相互配合，共同营造舒适的养老院环境。

(4) 养老院内老年人的房间应当分布在养老院内较为安静的区域，将噪声稍大的区域作为棋牌室等娱乐活动区域，安静区域和喧闹区域之间应当适当分离。

(5) 应当优先考虑身体较差、内心孤独的老年人，将他们的房间选择在声环境更为舒适，自然声源更多且相对安静的区域。

5.3.2 满足声环境要求的养老院室内设计策略

本文在前几章着重分析了养老院内的声源和声场，以及部分房间结构的改变对室内声环境的影响。在此，总结了 5 点策略，以便在设计时满足养老院的声环境要求：

(1) 养老院内的主要声音传输不是音乐，而是语言。因此，主要应当控制养老院内的语言清晰度，保证室内 C_{50} 参数在 -3dB 以上。由于老年人的听力较差、且口齿也不如年轻人清晰，在进行声学设计时，应当将语言清晰度等参数设计得更高一些，以便满足老年人的日常交流和正常生活。

(2) 养老院内的主要活动场所，如棋牌室，应当在顶棚设计吸声材料，以便控制房间内的混响时间，提高语言清晰度。

(3) 养老院内的地面适宜使用室内地毯或是实木地板，不适宜使用光滑的

瓷砖作为地面材质。地毯虽然对室内的声环境影响不是特别大，但同时可以起到防滑、保障安全的作用。

(4) 养老院内的阳光大厅适宜增加植被，添加一定面积的室内绿化，室内绿化的占地面積最好能够达到 25%以上。这样可以将室外的自然声引入室内，并且弥补了不少老年人在冬季无法出门的不足。

(5) 如阳光大厅等容积较大的厅堂，应当进行完善的声学设计，合理的布置空间吸声体等吸声材料，将大厅内的声环境设计得更加合理，避免声缺陷和声染色等现象，提高语言传输指数，使大厅内老年人交流不存在障碍。

5.4 本章小结

本章主要对养老院内的声场模型进行了模拟分析。对主要房间的材质和结构进行了分析，研究了顶棚材料和地面材料的改变对棋牌室内的声环境参数的影响，以及室内绿化和空间吸声体的布置对阳光大厅内的声环境参数的影响，通过对比和分析，了解了运用哪些材料可以对房间内的声学参数有所改善。在本章的最后，结合了本文前几章的内容，根据问卷调查、声场分析和模拟的结果，对养老院外部的布局规划和内部的声学设计提出了设计策略。

结 论

本文针对养老院内老年人的声喜好和养老院内声环境进行了研究，通过深入访谈和问卷调查，得到了老年人对声音的喜好特性，对养老院内的声环境进行了实际测量，并根据测量结果对养老院内的主要房间进行了仿真模拟，对已有的模拟空间进行了分析，最终提出了养老院室内外设计上的设计策略。主要的工作如下：

(1) 养老院老年人声喜好研究。根据前期的深入访谈，了解老年人对与声音的需求，并根据需求得到声喜好调查的研究假设，进而设计出了针对养老院老年人的声喜好量表。根据量表得出的数据进行相关分析，发现声环境舒适度评价与老年人收入、年龄、听力和睡眠质量以及身心健康指标有关，此外还与实测 A 声级和语言清晰度等客观参数有关。并通过因子分析得到了老年人对声源的四种喜好类型。

(2) 养老院内声源和声场测量及模拟。对养老院内的声场进行了实际的测量和采集。通过声学处理软件，分析了养老院内主要活动区域的频谱特征、声压级、混响时间以及语言清晰度。通过采集到的数据，运用声环境模拟软件，对养老院内的阳光大厅和棋牌室进行了仿真模拟，得到了声环境的空间仿真模型，并验证了两个模型的可靠度。

(3) 养老院的模拟分析及设计策略。对已经建立好的仿真模型进行了分析。通过改变顶棚材料、地面材料、室内绿化和空间吸声体的布置，分别计算了两个空间在不同条件下的混响时间和语言可懂度，得出各种材料对混响时间和语言可懂度的影响程度。并结合全文内容，提出了养老院室内外设计的设计策略。

本文在内容上难免有所局限。对于本课题，可在以下两个方面进行延伸：

(1) 养老院声环境舒适度与客观声学参数间关系的数学模型。本文在研究中分析了主观变量和客观变量间的相关性，可根据研究数据进行数学建模，得到更为精准的数学关系。

(2) 养老院内具体的声环境设计。本文根据声喜好和声环境的研究结果，仅对养老院内的声环境设计提出了建议。在后续的研究中，可以根据已有的研究结论，得出更为具体的设计方案，将本论文的成果用于实际的建筑设计和室内噪声控制中。

参考文献

- [1] 国务院办公厅关于加快发展养老服务业的若干意见[EB/OL]（2013-9-13）[2015-7-15]. http://www.gov.cn/zwgk/2013-09/13/content_2487704.htm.
- [2] 聂建明. 公共政策视角下的中国养老地产研究[D]. 北京：中国社会科学院研究生院，2014.
- [3] 裴宏恩，姜伟，哈思怡，等. 老年人听觉功能特点分析[J]. 听力学及言语疾病杂志，2001，9(1): 5-8.
- [4] 陶莉，邬贤斌，陈春红，等. 养老院老人抑郁状态与社会支持的相关分析[J]. 解放军护理杂志，2008，25(11): 29-31.
- [5] 易松国，鄢盛明. 养老院老人与居家老人健康状况比较分析[J]. 中国人口科学，2006 (3): 73-79.
- [6] 左冬梅，李树苗，宋璐. 中国农村老年人养老院居住意愿的影响因素研究[J]. 人口学刊，2011(1): 24-31.
- [7] 卫大可，罗鹏. 基于英国模式的日间照料养老设施公共活动用房设计要点[J]. 城市建筑，2015 (1): 29-31.
- [8] 陈端石，车驰东. 室内声环境评价方法的研究现状述评[C]. 深圳：第十一届全国噪声与振动控制工程学术会议，2005: 50-55
- [9] Kaarlela-Tuomaala A, Helenius R, Keskinen E, et al. Effects of Acoustic Environment on Work in Private Office Rooms and Open-plan Offices—longitudinal Study During Relocation[J]. Ergonomics, 2009, 52(11): 1423-1444.
- [10] Kang J. Acoustic Comfort in ‘Non—acoustic’ Buildings: A review of Recent Work in Sheffield[J]. Proceedings of the Institute of Acoustics. 2003(25): 125-132.
- [11] 康健. 非声学公共建筑中的声品质[J]. 声学技术，2006，25(6) : 513-522.
- [12] Chen B, Kang J. Acoustic Comfort in Shopping Mall Atrium Spaces: A Case Study in Sheffield Meadowhall[J]. Architectural Science Review. 2004(47): 107-114.
- [13] Kang J, Du Z. Sound Field and Acoustic Comfort in Library Reading Rooms[C]. Proceedings of the 10th International Congress on Sound and Vibration. Stockholm, Sweden, 2003(3): 4779-4786.

- [14] Kang J, Lok W . Architectural Acoustic Environment . Music and Dining Experience [J]. Proceedings of inter-noise, Honolulu, 2006(4): 37-42.
- [15] Stepan C, Christophers C, Kang J. Acoustic Measurements and Subjective Surveys of Five Churches in Sheffield[J] . Proceedings of the Institute of Acoustics. 2003, 25(5): 78-82.
- [16] Johansson L, Bergbom I, Waye K P, et al. The Sound Environment in an ICU Patient Room—A Content Analysis of Sound Levels and Patient Experiences [J]. Intensive & Critical Care Nursing, 2012, 28(5): 269–279.
- [17] Kawai K, Yano T. Relation Between the Overall Impression of the Sound Environment and Types and Loudness of Environmental Sounds [J]. Journal of Sound & Vibration, 2002, 250(1): 41–46.
- [18] Suzuki T. Consideration of Grand Design for the Care Environment in Hospitals--smell, Lighting and Sound. [J]. Japan-hospitals: the Journal of the Japan Hospital Association, 2010, (29): 31-42
- [19] Thomas Anthony, Bergmark Katrin, Janssen Marc R. Room Acoustic Comfort" in Healthcare Premises [C] 8th European Conference on Noise Control, 2009: 39-85.
- [20] Mui K W, Wong L T, Fong K N K, et al. Evaluation of Indoor Environment Quality of Elderly Centers of Hong Kong [J]. International Journal for Housing Science & Its Applications, 2008: 56-63.
- [21] Lin W, Lin H. The Investigation of Acoustical Environments in Elderly Mental Hospital [M]// HCI International 2014 - Posters' Extended Abstracts Springer International Publishing, 2014: 413-418.
- [22] 李亮. 低气压下声环境对人体舒适度影响的探究[D] . 青岛: 青岛理工大学, 2014.
- [23] 陈曦. 地下餐饮空间声环境研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013.
- [24] 郝原. 博物馆核心公共空间声环境研究[D]. 西安: 长安大学, 2013.
- [25] 张厚斌. 教堂建筑声环境理论综合研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2004.
- [26] 秦鑫. 综合医院候诊区声环境研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2012.
- [27] Hiraga R, Hansen K F . Sound Preferences of Persons with Hearing Loss Playing an Audio-Based Computer Game [J]. Acm International Workshop on Interactive Multimedia on Mobile & Portable Devices Immpd Barcelona October, 2013(2): 25-30.

- [28] Smyrnova, Yuliya, Kang J. Acoustic Comfort and Sound Preferences of Hearing Impaired Students in Indoor Spaces [J]. 16th International Congress on Sound and Vibration, 2009(2): 38-42
- [29] Müsch Hannes .Aging and Sound Perception : Desirable Characteristics of Entertainment Audio for the Elderly [J]. Audio Engineering Society - 125th Audio Engineering Society Convention 2008, 2008(2): 1451-1464.
- [30] 唐征征. 地下商业空间声喜好研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2010.
- [31] 周志宇, 康健, 金虹. 历史街区声喜好及其影响因素研究[J]. 建筑科学, 2012, 08: 40-45+88.
- [32] 退向正. 基于生理和心理需求研究的养老院人性化设计[D]. 天津: 天津大学, 2008.
- [33] 宋宁宁. 北京市特大型养老院老年人的行为特征与空间需求研究[D]. 北京: 北方工业大学, 2014.
- [34] 孟凡昌. 大连市养老院入住满意度影响因素研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2013.
- [35] 边红艳. 养老院老人与居家老人家庭关怀度的对比分析[J]. 求医问药(下半月), 2012, 11: 16-17.
- [36] 王月惠, 朱秀丽, 苗秀欣, 等. 养老院与居家老年人生活质量比较及其相关因素研究[J]. 中国护理管理, 2011 (08): 36-39.
- [37] 汪娟. 城市居家老人与养老院老人依恋与孤独感的比较研究[D]. 成都: 四川师范大学, 2012.
- [38] 吴硕贤, 张三明, 葛坚. 建筑声学设计原理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
- [39] 曾向阳. 室内声场计算机模拟发展 40 年(1968~2008)[J]. 电声技术, 2008, S1: 12-17+23.
- [40] 陈剑军. 建筑声学软件 ODEON 应用研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2012.
- [41] 刘宏伟. 基于模糊综合评价的管理咨询企业顾客满意度研究[D]. 天津: 天津大学, 2009.
- [42] 亓莱滨. 李克特量表的统计学分析与模糊综合评判[J]. 山东科学, 2006, 19(2): 18-23.
- [43] 艾庆庆. 文化企业社会责任的影响机制研究[D]. 济南: 山东大学, 2014.
- [44] 肖坚. 中小型体育馆混响时间不同确定方法的对比研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2005.

- [45] 孟凡雨. 高速列车车内声品质评价研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013.
- [46] 高玉龙. 厅堂建筑音质计算机辅助设计[J]. 电声技术, 2007, 31(12): 13-19.
- [47] 曾向阳, 陈克安. 计算房间脉冲响应的经典方法—声线跟踪法研究[J]. 电声技术, 1999 (3): 32-35.
- [48] 杜铭秋, 王季卿. 计算机模拟在厅堂音质设计中的有效性[J]. 电声技术, 2006(3): 14-17.
- [49] 陈湛. 使用扩声系统的舞台声环境研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2010.
- [50] Wang Y, Bakker F, de Groot R, et al. Effect of Ecosystem Services Provided by Urban Green Infrastructure on Indoor Environment: A Literature Review[J]. Building and Environment, 2014(7): 88-100.
- [51] Kawai K. Effect of Sound Absorption on Indoor Sound Environment of Nursery School Classrooms[C]//Proceedings of 20th International Congress on Acoustics, ICA. Sydney, Australia. 2010(1): 372-383.

附录 1 声喜好问卷调查

您好！

本次调研是为研究养老院老年人的声需求和声环境评价。您的回答将直接影响调查报告的有效性，本问卷采用无记名方式，所有的数据仅作为学术分析使用，绝不对外公布，请您按照实际情况和真实想法回答这些问题。

谢谢您的合作！祝您身体健康，事事顺心！

哈尔滨工业大学工业设计 研究生

基本信息：

Q1：姓名： 年龄： 性别： 1) 男 2) 女 民族：

Q2：听力情况： 1=非常好 2=很好 3=一般 4=不太好 5=很差

Q3：睡眠状况(从_____到_____): 1=非常好 2=很好 3=一般 4=不太好 5=很差

Q4：工作情况：

Q5：文化程度：没上过小学、小学、初中、高中、大学、研究生

Q5：婚姻状况： 1) 已婚 2) 离异 3) 丧偶 4) 分居 5) 从未结婚

Q6：您有子女吗？如果有，一共____个？（按年龄大小顺序记录）

Q7：您的收入情况： 1) 低 2) 中 3) 高

孤独量表（ULS-8）：

1、缺少别人陪伴。①从不 ②很少 ③有时 ④一直

2、没有人可以寻求帮助。①从不 ②很少 ③有时 ④一直

3、我是一个愿意交朋友的人。①从不 ②很少 ③有时 ④一直

4、我感到被冷落。①从不 ②很少 ③有时 ④一直

5、我感到和其他人疏远了。①从不 ②很少 ③有时 ④一直

6、当我要时我能找到人陪我。①从不 ②很少 ③有时 ④一直

7、我因为很少与别人来往而感到伤心。①从不 ②很少 ③有时 ④一直

8、虽然身边有人陪但没人关心我。①从不 ②很少 ③有时 ④一直

9、我感到孤独。①从不 ②很少 ③有时 ④一直

抑郁量表（PHQ-9）：

标准： 0：从不 1：好几天 2：过半 3：一直				
1、做事时提不起劲或没有兴趣	0	1	2	3
2、感到心情低落、沮丧或绝望	0	1	2	3
3、入睡困难、睡不安稳或睡眠过多	0	1	2	3

4、感觉疲倦或没有活力	0	1	2	3
5、食欲不振或吃太多	0	1	2	3
6、觉得自己很糟，或觉得自己很失败，或让自己或家人失望	0	1	2	3
7、对事物专注有困难，如阅读报纸或看电视时不能集中注意力	0	1	2	3
8、动作或说话速度缓慢到别人已经觉察？或正好相反，烦躁或坐立不安、动来动去的情况更胜于平常	0	1	2	3
9、有不如死掉或用某种方式伤害自己的念头	0	1	2	3

日常生活活动能力调查表 (ADL):

标准：0：可以 1：稍困难 2：需帮助 3：不能				
1、使用公共车辆	0	1	2	3
2、行走	0	1	2	3
3、做菜	0	1	2	3
4、做家务	0	1	2	3
5、吃药	0	1	2	3
6、吃饭	0	1	2	3
7、穿衣	0	1	2	3
8、洗漱	0	1	2	3
9、洗衣	0	1	2	3
10、洗澡	0	1	2	3
11、购物	0	1	2	3
12、定时上厕所	0	1	2	3
13、打电话	0	1	2	3
14、管理自己钱物	0	1	2	3

声环境评价调查表

对您所在位置听到的声音进行评价，请在合适的数值下打勾

调查项目	非常喜欢	喜欢	一般	不喜欢	非常不喜欢
风雨声	5	4	3	2	1
虫鸟声	5	4	3	2	1
车辆行驶声	5	4	3	2	1
周边施工声音	5	4	3	2	1
人说话声	5	4	3	2	1

音乐声	5	4	3	2	1
同伴的声音（鼾声）	5	4	3	2	1
手机铃声	5	4	3	2	1
电视声	5	4	3	2	1
施工维修声	5	4	3	2	1
空调声	5	4	3	2	1
洗衣机声	5	4	3	2	1

请您评价所处位置的环境情况，并对每项指标在您认为合适的数值下打勾：

调查项目	很舒适	舒适	一般	不舒适	很不舒适
声环境	5	4	3	2	1
光环境	5	4	3	2	1
温度	5	4	3	2	1
湿度	5	4	3	2	1
气味	5	4	3	2	1
整体评价	5	4	3	2	1

本问卷至此全部结束，感谢您的热情协助！

攻读学位期间发表的学术论文

- [1] Yang L, Li Z. Improvement Suggestion of Ergonomics Experiment Based on Apparatus Usability Evaluation[C]//Proceedings of the 6th International Asia Conference on Industrial Engineering and Management Innovation. Atlantis Press, 2016: 147-152.
- [2] Li-fang Yang, Zhong-zhe Li. Analysis of the Demand for the Acoustic Environment of the Elderly in the Nursing Home and the Related Factors[C]// 2015 International Conference on Energy, Environmental and Chemical Engineering. DEStech Publications, 2016: 63-66.
- [3] Zhu R, Li Z. An Ergonomic Study on Influence of Touch-screen Phone Size on Single-hand Operation Performance[C]//MATEC Web of Conferences. EDP Sciences, 2016, 40: 1-5.

致 谢

转眼又是一年夏天，又是一年毕业季，这是我在哈工大度过的第六年，也是到目前为止，我度过得最为充实的一年。

在读研究生的这两年里，我的导师杨利芳老师从科研精神和处世哲学上对我言传身教，令我受益匪浅。从论文选题的那一刻开始，杨老师就耐心为我指导，在论文研究的调研、撰写、修改直至定稿的每一个环节中，杨老师都不断对我进行指导和鼓励。除此之外，杨老师鼓励我在求知求学的道路上走得更远，积极推荐我申请读博，在我博士申请中起到了至关重要的作用。愿先生在未来工作顺利、身体健康！

感谢我未来的博士导师康健教授，是您针对我的课题，在研究方法和整体研究方向上进行了指导。康健教授对待学生和蔼可亲以及无私奉献的态度，使我投身科研的信念更加坚定，在今后读博的路上，我会更加努力。

感谢李建广老师和周岩老师对本论文耐心地审阅，两位老师的修改意见使我的论文有很大提升。感谢实验室王勇老师、任刚老师和丁文娇老师，是你们在课题上为我答疑解惑，在生活中给予我帮助。

感谢朱睿、刘泽瑞同学，是你们为我的课题提供观点和看法，帮助我完成实验，并在读研的学习和生活中给予莫大的帮助，祝你们在今后的学习和生活中事事顺心。

感谢我的父母，是你们在我求学的路上默默支持我，尊重我的选择、给我发展的空间、给予我最无私的爱，愿我的父母永远健康。

最后，向在炎炎夏日担任评审工作和答辩工作的老师们致以最真诚的问候！