

纪念应崇福院士诞辰 95 周年

人居声环境科学*
——亚热带建筑科学国家重点实验室近年研究进展

吴硕贤 赵越喆†

(华南理工大学建筑学院 亚热带建筑科学国家重点实验室 广州 510640)

摘要 本文介绍华南理工大学亚热带建筑科学国家重点实验室建筑声学子实验室近年来在人居声环境科学领域所开展的研究工作及取得的研究进展。人居声环境科学涵盖建筑声学、环境声学及声景学三个分支学科，分别对应于人居环境科学的三个主干一级学科，即建筑学、城乡规划学及风景园林学。其研究目的在于体现对人们的听觉关怀，创造一个良好的人居声环境。

关键词 人居声环境，建筑声学，环境声学，声景学

中图分类号: TU112 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-310X(2013)05-0331-05

Recent research progress on the sciences of acoustic human settlements
environment in the State Key Laboratory of Subtropical Building Science

WU Shuoxian ZHAO Yuezhe

(State Key Laboratory of Subtropical Building Science, School of Architecture, South China University of Technology, Guangzhou, 510640, China)

Abstract This paper introduces the research progress on the sciences of acoustic human settlements environment in the branch laboratory of building acoustics of the State Key Laboratory of Subtropical Building Sciences in South China University of Technology. The sciences of acoustic human settlements environment cover three subjects: building acoustics, environmental acoustics and soundscape which are corresponding to three main disciplines in the sciences of human settlements: architecture, urban and rural planning as well as landscape and garden designing respectively. The research object of the sciences of acoustic human settlements environment is to give concern to human hearing and create a good acoustic living environment for the people.

Key words Acoustic living environment, Building acoustics, Environmental acoustics, Soundscape

1 引言

不久前，国务院学位委员会与教育部对一级学

科的设置作出调整。原先建筑学一级学科分化为建筑学、城乡规划学及风景园林学三个一级学科。建筑声学原先是属于建筑学一级学科下的二级学科

2013-07-03 收稿; 2013-07-10 定稿

*国家自然科学基金项目(50938003)

作者简介: 吴硕贤 (1947-), 男, 福建诏安人, 教授, 中国科学院院士, 研究方向: 建筑与环境声学。

赵越喆 (1972-), 女, 教授, 博士。

† 通讯作者: 赵越喆, E-mail: arzhzh@scut.edu.cn

建筑技术科学中的一个三级学科。随着建筑领域一级学科的扩展，对人居环境领域中十分重要的子系统之一的人居声环境的科学研究也必然要相应调整和拓展。具体而言，人居声环境的研究将形成三个重要的分支学科，即建筑声学、环境声学和声景学，分别对应建筑学、城乡规划学及风景园林学三个一级学科。这三个与声学相关的分支学科将共同为体现对人民群众的“听觉”关怀，创建一个良好的人居声环境作出贡献。

近年来，作为我国建筑科学领域唯一的国家重点实验室——华南理工大学亚热带建筑科学国家重点实验室下设的建筑声学子实验室（以下简称本实验室），正是沿着这三个分支学科领域开展科学研究与技术开发，并取得若干研究成果。本文介绍该子实验室在人居声环境科学研究方面的若干进展。

2 建筑声学

建筑声学主要研究室内声学、厅堂音质设计及评价以及建筑物的噪声控制，包括吸声降噪、隔声、隔振等措施，目的是创造良好的建筑室内声环境。近年来，本实验室在这一领域重点开展民族音乐戏曲厅堂的音质研究。众所周知，过去厅堂音质设计通常照搬西洋音乐厅、歌剧院的音质标准，缺乏对本民族音乐、戏曲厅堂音质开展较系统的自主研究。本实验室在这方面开展的工作主要有：

- (1) 较系统地录制了民族音乐的干信号
本实验室在消声室中较系统地录制了民族音乐的干信号，包括主要民族乐器的独奏及小乐队合奏的典型民乐曲目的干信号。这些干信号可作为采用可听化技术进行厅堂音质仿真与主观听音评价试验的信号源，是不可或缺的重要基础科学资料。
- (2) 系统地测试了 30 种民族乐器声功率级
本实验室采用混响室法和半消声室法系统地测试了 30 种民族乐器以四种不同力度：pp、mp、f、ff 演奏单音、音阶和代表性曲目等情况下的声功率级、动态范围以及不同方向所辐射声能的差别。每种测试均分别请两位民乐演奏家用两把不同的乐器分别演奏，求其声功率的平均值。这是民族乐器发明 8000 多年以来，首次对其声功率所进行的系统、科学的测试。所获得的宝贵的基础科学数

据对于开展民族音乐厅堂音质研究具有重要价值，尤其是对于厅堂音质响度评价、建筑隔声设计以及改良民族乐器的设计具有重要的参考价值。上述研究是在多项国家自然科学基金项目经费资助下，在星海音乐学院和广东民乐团等单位协助配合下完成的。这方面的研究成果已发表了多篇论文^[1-5]。图 1 和图 2 为分别在混响室和半消声室内测量乐器声功率照片。



图 1 在混响室内测量乐器的声功率



图 2 在半消声室内测量乐器的声功率

- (3) 开展民族音乐厅堂音质指标优选值研究
本实验室利用可听化技术，通过在听音室开展主观听音评价试验或者在排练厅和音乐厅现场组织听音评价等方法，开展民族音乐厅堂主要音质指标优选值或优选值域的研究^[6-7]，初步得到若干重要音质指标，包括响度、混响时间、初始延时间隙和双耳互相关系数等的优选值域。这些成果已应用于指导若干重要民族音乐厅堂的音质设计，例如广东粤剧院、广州友谊剧院音质改造等工程并被香港西九龙拟建的戏曲中心粤剧院在举办国际设计竞赛招标中列为重要参考。本文第一作者也应邀成为该项目国际设计竞赛技术委员会的委员，负责建筑声学方面的方案评审。

(4) 开展声散射系数测试及声扩散对厅堂音质定量影响的研究

声扩散是影响厅堂音质的重要因素。但过去对声扩散的影响，通常采用观察厅堂界面的凹凸起伏情况，凭经验判断其所引起的声扩散程度的办法来进行大致估计，尚缺乏定量的精确分析。原因之一是缺乏对构件声散射系数的准确测量及积累这方面的数据库。本实验室在混响室中建立我国首个可自动旋转的电动转盘，按照国际不久前颁布的声散射系数测试方法，对包括多种 MLS 典型扩散构件的声散射系数开展测量，同时研究声扩散对厅堂音质的影响。这一系统也是国际上极少数几个声散射系数足尺测量系统之一。法国著名的 Arbert Xu 声学顾问公司已委托本实验室为其负责音质设计的台湾高雄文化中心音乐厅的界面扩散构件的声散射系数进行测量。图 3 为在混响室内进行 MLS 扩散体散射系数的测量。



图 3 在混响室内测量扩散体散射系数

(5) 开展缩尺模型实验技术、可听化技术和三维视听一体化仿真技术的研究，建立基于三维视听一体化的厅堂座位选择系统

本实验室承担我国在建筑声学领域首个国家自然科学基金重点项目，较系统地开展声学缩尺模型实验技术、可听化技术和三维视听一体化仿真技术的研究，建立基于三维视听一体化的厅堂座位选择系统。

在声学缩尺模型实验技术方面，我们建立了 1:10 及 1:20 的混响室缩尺模型，较系统地开展了缩尺模型模拟材料吸声频谱特性的测试，较仔细地选择缩尺模型对应材料，同时通过设置参考测点保证声源辐射特性的重复一致性以及较仔细地制作缩尺模型等方法，大幅度提升缩尺模型实验的预测精

度，达到与实际厅堂建成后在若干重要指标上与实测数据良好吻合的效果。该项技术已成功应用于包括广州大剧院（图 4）、天津文化中心综艺剧院、音乐厅（图 5），中山文化中心剧院、深圳南山文化中心大剧院、儿童剧院、厦门国际交流中心音乐厅等重点工程，为上述工程的一流音质提供科技支撑。本实验室在可听化方面的工作包括较系统地开展声源指向性对仿真音质的影响^[8]，较系统地测试中国人头相关传输函数^[9]，建立基于 Ambisonic 的多扬声器声重放系统（图 6）以及开展三维视听一体化的技术研究。目前已在厦门国际会议中心音乐厅实现基于三维视听一体化的座位选择系统。意大利费拉拉大学还邀请本实验室成员赴意大利，针对意大利费拉拉歌剧院开发基于三维视听一体化技术的厅堂座位选择系统，并据此开展了视听交互影响的主观评价试验研究^[10]。



图 4 广州大剧院声学缩尺模型



图 5 天津文化中心音乐厅声学缩尺模型

(6) 开展声强法隔声测试技术研究

声强法与传统声压法相比较，在建筑隔声测试方面，具有可抑制侧向传声的影响，可判定隔声缺陷所在以及便于现场隔声测量等优点，尤其在绿色建筑隔声研究和评价测试方面，将发挥重要作用。本实验室在利用声强法测量建筑隔声方面也做了



图 6 20 通道 ambisonic 三维声重发系统

不少工作，参加一项、主持两项我国利用声强法测量建筑构件隔声标准的制订。

3 环境声学

环境声学的主要研究内容包括环境噪声预测与控制，城乡防噪规划，噪声地图等。本实验室近年在城乡环境声学方面的主要研究成果包括提出城乡声环境规划的梯度理论，主张城市与建筑无论从微观、中观与宏观的角度都应注意形成声压梯度，形成热闹区域、缓冲区域和安静区域的区分^[11]；研究环境噪声的预测和噪声地图，利用 CADNA 等软件预测城市噪声并与实测数据对照，提高噪声地图的制作精度。同时研究基于地理信息系统 GIS 的噪声地图制作和应用，提出利用 GIS 的空间分析方法来研究地理空间和环境噪声之间的关系，并开发了基于 WebGIS 的噪声地图查询和发布系统^[12]。

本实验室还研究城市居民区声音空间组合关系，提出“声音需求和声音贡献”概念和二者间形成“时间齿轮”关系的概念，据此开发相应的计算机软件，便于城市规划师与设计者可对城市声音空间的组合进行自动诊断和寻优，将声环境规划有效地融入城市设计和规划中去^[13]。

4 声景学

声景学自上世纪 60 年代创立以来已取得不少进展，目前已成为国际声学界的一个研究新热点。

这是因为声音是传递信息之重要媒介。因此人对声音的感受具有社会性。研究人对声音的感受，关注对人的听觉关怀则不仅要研究声音的物理特性，如强度、频谱及时空传播与衰减规律以外，还要关注声音所具有的信息内容和人们对声音感受的社会性。声景学的研究内容包括对不同地域、不同历史时期及不同建筑空间，如园林、居住区、公共空间等声景的特点，对有价值的声景的调研与保护，声景的描述、记录、评价及声景图和数据库的建立，以及构建声景的技术与方法等。

本实验室近年在声景学研究方面的主要成果，包括从梳理古代文献入手，率先阐明声音在人类文化传承与信息交流中长期处于主要地位的观点^[14]，并率先开展中国古典园林声景的研究，从古典园林的规划选址、建筑布局、景观组织以及传统造园规划中有关声景营造的理念和技术加以系统梳理，对包括拙政园、留园、网师园等重要江南园林和岭南园林的声景进行物理测量、录音、录像等，积累了宝贵的声景资料^[15-16]。图 7 为我国古典园林典型声景之一——拙政园留听阁。图 8 为留园的入口，体现了“门开于不通之院”、“凡入口处必小委曲，忌太直”的园林入口设计法则，有利于园林幽静声环境的营造。在此基础上，开展中日古典园林声景的比较研究并对包括《诗经》等重要文献的声景思想加以系统梳理与阐述^[17]，提出园林景观的时间性设计等理念^[18]。这些研究成果将对今后风景园林学界开展声景学研究，创建宜居的人居环境做出贡献。该方面的研究工作已引起日本、台湾、香港等地声学专家的浓厚兴趣，产生了较大的影响。



图 7 拙政园声景之一——留听阁

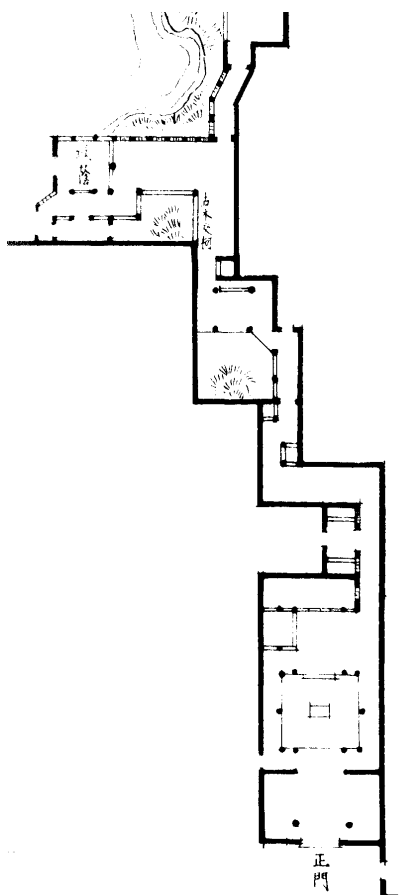


图 8 留园的入口

5 结论

本文对华南理工大学亚热带建筑科学国家重点实验室建筑声学子实验室近年来在建筑声学、环境声学和声景学等方面的主要研究工作和进展作了简要回顾和总结。从中可以反映近年人居声环境科学的若干进展。限于篇幅，本文未能展开研究工作的细节。但文后列出若干较重要的参考文献，可供感兴趣的读者进一步查询。

参 考 文 献

[1] 吴硕贤, 赵越喆, 邱坚珍, 等. 中国传统弹奏乐器扬琴的声功率测试[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2007, 35(10): 54-60.

[2] WU S, ZHAO Y, QIU J, et al. Sound Power Level Measurement of the Erhu. (Chinese Violin)[J]. Acta Acustica united with Acustica, 2008, 94: 164-167.

[3] 赵越喆, 吴硕贤, 吴丽玲, 等. 中国传统民族乐器琵琶的声功率测试[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2009, 37(9): 1270-1275.

[4] 赵越喆, 吴硕贤, 邱坚珍, 等. 中国竹的声功率级测试[J]. 应用声学, 2009, 28(5): 330-335.

[5] 赵越喆, 李楠, 吴硕贤,等. 椰胡声功率级的半消声室测试[J]. 应用声学, 2010, 29(5): 364-370.

[6] WU S. Investigation into Acoustics of Chinese National Music Hall[J]. Journal of South China University of Technology, 2007, 35(A): 17-20.

[7] 邱坚珍, 吴硕贤. 民族音乐演出厅堂响度优选值研究[J]. 建筑学报, 2009, 3: 67-69.

[8] PENG J, WANG T, WU S. Investigation on the effects of source directivity of Chinese speech intelligibility in real and virtual rooms [J]. Appl. Acoust., 2013, 24: 1037-1043.

[9] 谢菠荪. 头相关传输函数与虚拟听觉[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.

[10] SATO S, WANG S, ZHAO Y, et al. Effects of Acoustic and Visual Stimuli on Subjective Preferences for Different Seating Positions in an Italian Style Theater [J]. Acta Acustica united with Acustica, 2012, 98: 749-759

[11] WU S. Sustainable Urban Sound Environment[C]. Proc. First International Conference on Sustainable Urbanization, 2010, Hong Kong: 51-53.

[12] 周旻. 噪声地图研究与应用[J]. 声学技术. 2009, 28(3): 413-416.

[13] 纪卿. 有关城市声音空间组合关系的探索[J]. 华中建筑, 2006, 24(6): 68-73.

[14] 吴硕贤. 声音与听觉在人类文化传承中的作用[M]//音乐与建筑. 2002, 北京: 中国建筑工业出版社, 42-44.

[15] 袁晓梅, 吴硕贤. 中国古典园林的声景观营造[J]. 建筑学报, 2007, (2): 70-72

[16] 袁晓梅, 吴硕贤. 中国古典园林声景观的三重境界[J]. 古建园林技术, 2009, (1) : 25-28.

[17] 吴硕贤. 诗经中的声景观[J]. 建筑学报学术论文专刊, 2012, (1): 109-113.

[18] 吴硕贤. 中国古典园林的时间性设计[J]. 古建园林技术, 2012, (4): 54-55.