

引用格式: 吕翔宇, 张九红, 张晓倩, 等. 国内建筑声环境研究热点分析——基于“中国知网”数据库[J]. 声学技术, 2022, 41(6): 878-886. [LYU Xiangyu, ZHANG Jiuhong, ZHANG Xiaoqian, et al. Research process hotspot analysis of domestic building acoustic environment: based on CNKI database[J]. Technical Acoustics, 2022, 41(6): 878-886.] DOI: 10.16300/j.cnki.1000-3630.2022.06.013

国内建筑声环境研究热点分析—— 基于“中国知网”数据库

吕翔宇¹, 张九红², 张晓倩¹, 马鸣霄³

(1. 沈阳建筑大学, 辽宁沈阳 110168; 2. 东北大学, 辽宁沈阳 110169; 3. 北京航空航天大学, 北京 100191)

摘要: 经历了数十年探索, 国内建筑声环境研究体系逐渐成熟, 分析总结其演进过程对今后学科发展具有重要意义。文章借助科学计量软件 CiteSpace 对 CNKI 数据库中 2000-2021 年建筑声环境相关文献进行可视化处理, 由文献作者、研究机构、关键词共现、聚类分区等可视化信息, 对该学科进行宏观归纳; 通过时域图、突现图等可视化信息, 将该学科近二十年研究热点进行剖析总结。最终从内容体系、技术手段、政策发展三方面总结国内建筑声环境研究体系特征, 并对学科未来发展方向进行展望。

关键词: 声环境; 中国知网; CiteSpace; 可视化分析; 知识图谱

中图分类号: TU112

文献标志码: A

文章编号: 1000-3630(2022)-06-0878-09

Research process hotspot analysis of domestic building acoustic environment: based on CNKI database

LYU Xiangyu¹, ZHANG Jiuhong², ZHANG Xiaoqian¹, MA Mingxiao³

(1. Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, Liaoning, China; 2. Northeastern University, Shenyang 110169, Liaoning, China; 3. Beihang University, Beijing 100191, China)

Abstract: After decades of exploration, the research system of building acoustic environment in China is gradually mature. It is of great significance to analyze and summarize its evolution process for the development of the discipline in the future. This paper uses the scientific measurement software — CiteSpace to conduct visual processing of the literatures related to building acoustic environment in CNKI database from 2000 to 2021, and keywords are co-appeared by the authors' research institutions. Based on the visual information such as the atlases of authors, research institutions, keywords co-appearance and clustering partitions, the macro generalization of the discipline is made. And, according to subject, the research hotspots of this discipline in recent twenty years are analyzed and summarized through visualization information such as keywords time-zone and burst domain graph. Finally, the characteristics of domestic architectural acoustic environment research system are summarized from three aspects of content system, technical means and policy development, and the future development direction of the discipline is predicted.

Key words: acoustic environment; CNKI; CiteSpace; visual analysis; knowledge map

0 引言

20 世纪以来, 随着科技、交通、工业的不断发展, 噪声问题严重影响人们的生产生活^[1], 极大危害人们身心健康, 噪声控制成为社会性难题。各国

相继制定了对不同类型建筑以及城市区域的噪声限值标准。1974 年第八届国际声学会议首次使用“环境声学”概念^[2], 其作为新兴的社会工程学科, 突破了过去单纯追求建筑内部声学质量的范畴, 其研究内容还涵盖了不同环境下保障人们生产生活的声学要素, 旨在通过建筑声环境设计, 为人们提供良好的声学环境。

国内有关建筑声环境的研究虽起步较晚, 但通过数十年发展已完成基础理论研究, 开展了多方向拓展并取得显著成果。我国近代建筑声学的研究可追溯至 1926 年叶企孙等对清华大礼堂的声学研究及马大猷 1938 年的经典研究, 后继学者们数十年来在多个研究方向取得了显著成果^[3]。梳理国内建

收稿日期: 2021-05-05; 修回日期: 2021-09-22

基金项目: 国家重点研发计划项目“既有公共建筑综合性能提升与改造关键技术”(2016YFC0700700)、辽宁省自然科学基金指导计划“既有公共建筑室内声环境质量提升关键技术研究”(20180550967)、辽宁省高校创新团队支持计划资助。

作者简介: 吕翔宇(1997—), 男, 吉林长春人, 硕士研究生, 研究方向为建筑声环境设计。

通信作者: 张九红, E-mail: hongmamm@sina.com

筑声环境学科演进过程对学科未来发展具有重要的参考意义。由于该领域发表文献量较大，传统文献分析方法难以清晰反映学科结构与演进过程，本文依托 CiteSpace 可视化科学计量工具对国内声环境学科近二十年的发展特征进行分析，为我国建筑声环境的发展提供参考。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

本文以中国知网 CNKI 文献库为数据源，以“建筑声环境”为主题词，时间范围设定为 2000~2021 年，进行检索，得到文献 2 431 篇。将与本学科相关性较弱、研究特征不明显的文献进行初步筛选删除后，得到有效文献样本 2 128 篇。

1.2 研究方法

知识图谱(Mapping Knowledge Domains, MKD)概念源于 2003 年美国国家科学院组织的一次研讨会^[4]。利用科学知识图谱可将某个学科的发展历程、结构关系以及内在联系以图像形式可视化呈现，学者可通过该方法预测学科未来发展趋势，发掘潜在领域。本文采用的 CiteSpace 知识图谱可视化软件与中国知网 CNKI 数据具有较好匹配性，是目前广泛采用的知识图谱绘制软件之一。本研究通过 CiteSpaceV 软件的可视化聚类功能，归纳收集文献的作者、研究机构、关键词等数据，将数据以更直观的可视化图形式呈现，对国内建筑声环境的研究热点和发展趋势进行科学化计量以及总结归纳分析。

1.3 操作方法

将 CNKI 中筛选出的有效文献以 refworks 格式导出后，加载至 CiteSpaceV 软件中，设置时间跨为 2000~2021 年，节点类型分别选择“author”“institution”“keyword”，对作者、机构、关键词依次进行分析，点击运行后生成可视化知识图谱，并通过控制面板对图谱进行调整。图谱中颜色由深到浅对应的是研究时间由早到晚；连线粗细表示关联强度的强弱，机构作者节点大小反映发文量数量的多少；关键词节点大小反映与其他关键词共现频次的多少。

1.4 研究线索

本文基于 CiteSpace 软件进行文献数据的可视化分析。首先进行文献作者、机构、关键词的共现

分析得到普遍的研究热点，其次进行关键词的聚类分析对学科进行领域的宏观划分并得到各领域的研究集中时间，最终按照时域分析的散点图样和突显词时间与强度，对近二十年国内建筑声环境研究热点进行总结。行文线索由浅及深，以热点关键词为基础，聚类分析宏观领域划分，最终得到热点研究的总结。

2 可视化分析结果

2.1 作者与机构

将文献数据导入 CiteSpace 5.7.R5 中，节点类型选择“author”“institution”，运行软件，将所选文献资料的作者与机构信息可视化分析。

可知研究机构可视化图谱，如图 1 所示。由图 1 可知，主要研究机构之间未形成较强网络联系。国内各高校为研究的主力，从共现次数来看发表文献最多的五所高校机构分别是：哈尔滨工业大学建筑学院、华侨大学建筑学院、华南理工大学建筑学院、重庆大学建筑城规学院以及安徽建筑大学环境与能源学院。

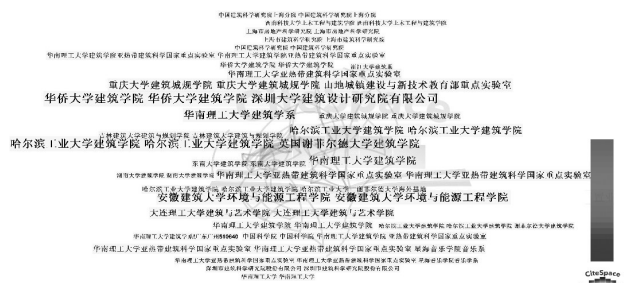


图 1 研究机构可视化图谱
Fig.1 Visualization atlas of research institutions

作者可视化图谱如图 2 所示。由图 2 可知，吴硕贤、康健与其他学者形成较强的共现网络，二人共现频次分别为 109 次、88 次。根据中国知网数据显示，学者吴硕贤的中国知网的总发文量为 145 篇，学者康健中国知网的总发文量为 101 篇。其中吴硕贤的主要关注学科领域有“建筑声学”“声功率级”“语言清晰度”“声脉冲响应”“声景观”等，康健的主要关注学科领域有“声环境”“声喜好”“严寒地区”“交通噪声”等。

由建筑声环境文献作者与机构可视化分析可知，国内声环境领域学者专家团体分布在几所高校内，经过多年发展研究团体不断壮大，但各高校研究团队间合作较少，在未来学科发展中有望加强高校与社会各研究团体间学术合作。



图2 作者可视化图谱
Fig.2 Visualization atlas of authors

2.2 关键词共现分析

运行 CiteSpac 5.7.R 软件, 在节点类型选择“keyword”, 将所选文献资料的关键词信息可视化分析, 得到由关键词共现频次图谱, 如图3所示, 热点关键词共现频次与中心性表, 按照出现频次与中心性由高到低排序, 如表1所示。



图3 热点关键词共现可视化图谱
Fig.3 Visualization atlas of hotspot keywords co-appearances

关键词是文献主旨的高度概括, 处于网络中心且出现频次高的关键词能够反映该领域的研究热点^[5]。

研究广度上, 图谱中出现不同的建筑类型如: “办公建筑”“住宅建筑”“体育馆”等关键词节点为该领域的研究主体。随时代发展与民众需求, 学者对新兴建筑声环境探索, 极大拓宽建筑声环境领域的研究容量。研究深度上, 根据所选文献关键词中心性与出现频次综合分析(表1)得到热点高频关键词如: “噪声”“混响时间”“计算机模拟”“Odeon”“绿色建筑”“声景”“光环境”“评价体系”等。其中“噪声控制”“混响时间”“绿色建筑”共现404次, 中心性0.07; “噪声”共现107次, 中心性0.12; “声景”共现97次, 中心性0.06;

表1 热点关键词信息表
Table 1 Hotspot keywords information table

共现频次	关键词	中心性	关键词
404	声环境	0.15	声环境
114	绿色建筑	0.12	噪声
107	噪声	0.08	室内物理环境
101	建筑声学	0.07	绿色建筑
97	声景	0.07	建筑声学
87	室内物理环境	0.07	混响时间
87	交通噪声	0.06	声景
77	混响时间	0.06	噪声控制
69	建筑设计	0.05	交通噪声
53	噪声控制	0.05	建筑设计
48	评价体系	0.04	评价体系
44	光环境	0.04	光环境
42	Odeon	0.03	主观评价
37	优化设计	0.03	居住区
32	主观评价	0.02	Odeon
31	物理环境	0.02	优化设计
27	中庭	0.02	物理环境
26	噪声污染	0.02	声舒适
26	居住区	0.02	计算机模拟
22	热环境	0.02	室内设计

“交通噪声”共现87次, 中心性0.05。

关键词是建筑声环境领域的主要问题, 其中“噪声控制”“混响时间”等关键词是建筑声环境领域的主要问题, 反映该学科的基础性研究热点。“计算机模拟”“Odeon”为新兴的学科研究手段。“主观评价”“绿色建筑”等关键词作为声环境领域研究的评价措施, 可反映该学科深度挖掘的研究热点。“声景”“光环境”等关键词是声环境领域的衍生以及跨领域交叉, 反映学科发展的创新性以及多样化可能。

2.3 聚类分区分析

通过 CiteSpace 软件聚类分析功能可将该学科进行宏观领域划分, 有助于剖析学科结构与发展历程。通过软件算法定量分析, 将关键词划分为各个关联群组, 进而形成可视化聚类区域。聚类区域名称由该群组内部出现频次最高关键词确定, 单一聚类区域内热点关键词能够反映该群组研究主题, 不同聚类的叠合区域为学科的核心内容与主干结构。

聚类模块(Modularity)值 Q 和聚类平均轮廓(Mean Silhouette)值 S 来判断聚类分析的优劣。其中当 $Q > 0.3$ 时, 可认为该聚类结构显著, $S > 0.5$ 时, 聚类合理, $S > 0.7$ 时, 聚类可信^[6]。本次聚类结果的 Q 为 0.683 9, S 为 0.825, 因此认定此次聚类运算结

果合理有效。

热点关键词聚类分区图谱如图4所示。根据可视化结果显示，建筑声环境文献数据被划分为7大聚类区域，分别为绿色建筑、噪声、混响时间、声环境、声景、人居环境、环境舒适度。聚类序号数字越小，表明该聚类中关键词越多。各聚类区域内高频关键词，如表2所示。

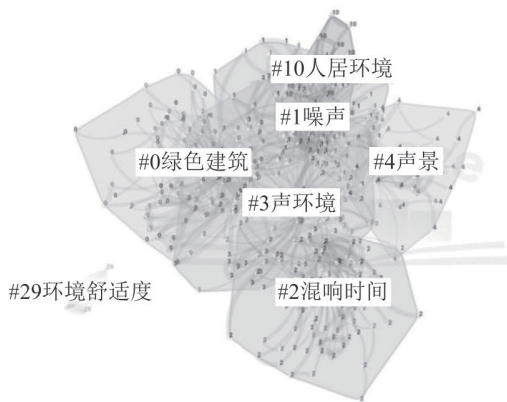


图4 热点关键词聚类分区图谱

Fig.4 Visualization atlas of keywords clustering partitions

各类别研究的主要年份可由聚类区域颜色判断，“人居环境”颜色最深其主要研究集中于2003年，“噪声”“声环境”“混响时间”的区域颜色相近且都集中于2009年，“声景”与“环境舒适度”区域颜色最浅主要年份为2012、2019年。能够反映出建筑声环境学科的研究目的由过去单纯解决建筑声学的使用功能逐步向健康舒适的人文关怀转变的趋势。

由聚类区域位置分析，“声环境”区域与其他聚类叠合面积最大，该类关键词属于本学科的研究核心，由此延伸出包含了“混响时间”“噪声”“绿色建筑”的对学科重点问题深度的挖掘。此外存在与“声环境”不重叠区域，如“绿色建筑”“声景”分区中“光环境”“健康建筑”“环境舒适度”等关键词，反映学科的跨领域研究可行性与多样化可能。反映了近年来声环境形成的新兴学科和跨学科

研究体系的形成。

由热点关键词分析得到的聚类颜色不同、重合度较高、已完成基础性研究，呈现在跨学科领域拓宽建筑声环境研究广度与深度的趋势。为下文总结学科热点内容提供数据计算支撑。

3 演进过程热点分析

根据 Citespace 的时域图分析以及突显词分析功能，将由2000~2021年，研究热点关键词时间演变关系得到关键词时域图，如图5所示。根据特定时间热点关键词的词频变化率得到为热点关键词表现表，如表3所示。

依据可视化图谱结果，对国内建筑声环境学科的演进过程进行详细分析，我国建筑声环境学科研究按照时间可大致分为三个阶段：

第一阶段为2000~2005年，为建筑声环境基础理论的初步探索阶段。第二阶段为2006~2015年，为声环境评价体系完善阶段，第三阶段为2016至今，为学科的深度挖掘与跨领域研究阶段。时域图上横轴按照时间2000~2021年，节点所在位置为该关键词首次出现时间，节点大小反应共现次数。

突显强度是根据发文量计算的可显示在所选时间范围内，该类关键词出现激增的现象，可反应时间区域内的研究热点，表3中所展示的关键词突显强度均在3以上。

根据前文聚类分析的分类结果以及时域分析图的散点结构结合国家相关行业规范标准规范发行，总结将近二十年我国建筑声环境学科研究热点如下。

3.1 热点一：吸声隔声技术

结合关键词突显图，吸声隔声技术始终是建筑声环境理论研究的核心问题，诸如“吸声量”“吸声材料”“噪声控制”“声屏障”“环境噪声”等突显关键词均反映了建筑声学领域对吸声隔声技术发展的核心需求。

表2 热点关键词聚类信息表

Table 2 Hotspot keywords clustering information table

聚类序号	聚类名称	主要年份	主要关键词
0	绿色建筑	2011	绿色建筑；室内物理环境；建筑设计；评价体系；光环境
1	噪声	2009	噪声；交通噪声；噪声控制；噪声污染；居住区
2	混响时间	2009	建筑声学；混响时间；odeon；主观评价；计算机模拟
3	声环境	2009	声环境；中庭；声舒适；空间环境；感知
4	声景	2012	声景；声景设计；健康建筑；人居声环境；室内光环境
10	人居环境	2003	生态住宅；人居环境；噪声与振动；绿色生态小区
29	环境舒适度	2019	数值模拟；交通枢纽；候乘空间；环境舒适度

关单位在原《民用建筑隔声设计规范》GBJ 118—88基础上修订的《民用建筑隔声设计规范》GB 50118—2010^[6]于2011年开始实施，相较于原规范增加了对办公、商业两类建筑隔声、减噪设计的内容，对部分室内允许噪声级标准、隔声标准的最基本要求，向比较严格的方向作了适当的调整，2018年末，由中国住建部与节能标准化设计委员会主导工作将《民用建筑隔声设计规范》重新修订，将适应当前需求达到国际先进水平。

3.2 热点二：计算机模拟技术

室内声场仿真计算机模拟技术从20世纪末开始兴起，因其对室内音质的预测可以避免建筑完工后出现声缺陷采取补救的问题，极大节省了施工人力物力的浪费。也使室内音质设计从模糊的经验理论指导转别为可量化的精确预测。近年来几何声学在计算机模拟技术的建筑声环境领域的应用得到了极大发展，推动了国内建筑声环境学科的研究进程，例如声线跟踪法、虚声源法等以及由脉冲响应和音乐卷积模拟可听化技术^[17]。根据CiteSpace计算得到的关键词“Odeon”“Ease”等模拟软件，反映了该技术在建筑声环境领域的技术支撑，尤其在厅堂类建筑工程中的应用极为广泛。彭庆等详细介绍了声场模拟软件Odeon以集合声学为基础，运用声线跟踪法、虚声源法可得到精准室内声场仿真结果^[18]。杜铭秋等通过三次声学软件国际巡回对比结果，验证Ease, Odeon, CAESAR, CATT, RA JOS等程序在厅堂音质设计中的有效性，得出使用者的室内声学知识是保证计算机模拟有效性的重要条件^[19]。赵培生、章金生、成忠军、赵越喆等学者对声质要求较高的歌剧院、音乐厅、剧院、教室等类型建筑开展研究，对混响时间、空间形体、材料装修等方面进行探讨，对未来该类别建筑设计在建设提供经验与范式，实现脉冲响应法在厅堂建筑声环境领域的应用，填充了国内声环境实测技术空白^[20-23]。孙海涛、王红卫等基于Odeon仿真技术对电影院观众厅、厅堂类建筑、高铁站等建筑进行实测与模拟分析，为建筑声学设计提供参考建议^[24-25]。房间声学的数值模拟技术以准确且快速的预测为目标不断发展，以计算机的高速度和大存储容量使已经提出的声场波动理论的近似解法得以实现并得到发展，常用的是有限差分法、有限元法和边界元法，证明了在小尺度房间的适用性，但在大尺度的厅堂类空间中其准确性仍有待商榷^[15]。计算机模拟技术在声学领域中的引用，避免了建筑声学弊端只能在建成后测量修复的情况。在建筑设计及过程

中，设计师可通过仿真结果分析并优化方案，为施工提供指导性建议，有望在未来不断完善减小误差，克服在各类空间中的适用性问题，使建筑声环境实测与计算机模拟核验的研究方法逐步走向成熟。

3.3 热点三：绿色建筑

结合关键词突现图表，“绿色建筑”“健康建筑”“使用后评估”等关键词，反映了近二十年国内建筑声环境的发展基调与总体趋势。面对全球能源短缺和环境恶化的国际环境的现状，国内专家学者着力提出完备的声环境绿色建筑评价体系。可持续发展是21世纪国际环境的重要议程，可持续建筑作为可持续发展的重要一环，绿色建筑作为可持续建筑发展的第三阶段，应涵盖环境、社会、经济三方面内容。伴随全球诸多国家对绿色建筑评价的探究与推行，姚润明等总结并分析了发达国家绿色建筑技术手段、评估办法、相关政策等^[26]。国内学者在建筑声环境领域的研究也将节能性、环保性、舒适性、安全性作为学科研究的重点，着力推行并完善适合我国国情的绿色建筑评价体系^[27-28]。吴硕贤提出在建筑投入使用后，对建筑实际使用情况与使用者建议进行收集，与建筑师的原定设计目标进行比较，得到使用后评价的反馈评价机制^[29]。2006年，我国推行了第一部《绿色建筑评价标准》(GB/T 50378—2006)，提出了节能、节地、节水、节材和环境保护的绿色建筑内涵^[30]。按照公共建筑民用建筑分类，在室内物理环境项中，对建筑构件隔声性能以及背景噪声均做出了明确规范。随时间推移国内相继修订了《绿色建筑评价标准》GB/T 50378—2014中对建筑声环境进行了控制项与评分项的详细规定，在《绿色建筑评价标准》GB/T 50378—2019中对室内物理环境进行了继续完善，将声、光、热环境统一归纳为健康舒适评价^[31-32]。

绿色建筑的发展理念与相关评价标准的修订，提高了行业内外对健康绿色室内物理环境的关注与重视，规范中对构件隔声性能与背景噪声声环境质量的不断提高对隔声与吸声技术也提出了新要求。除此之外随着我国工业化、城镇化的高速发展，人口老龄化的加剧以及人民生活方式变化等，维护和促进人民生活健康成为新时代发展的重要问题，为贯彻以人为本的健康建筑发展理念，注重使用群体的不同，展开了有关教育建筑、适老类等类型建筑的健康舒适研究，CiteSpace图谱中“绿色校园”“老年人”等关键词很好地反映研究热点。赵巍等通过对呼和浩特及哈尔滨8处养老设施的活

动空间播放鸟鸣声、流水声、钢琴曲以及中国民歌研究背景声源对老年人情绪和活动的影 响。得到中国民歌抵抗烦扰情绪最强；鸟鸣声提升愉悦感最佳；钢琴曲情绪唤醒能力最好的结论^[33]。我国发布的第一部《健康建筑评价标准》T/ASC 02—2016，自2017年1月6日起实施^[34]，国内健康建筑的发展建立在绿色建筑基础上，区别于绿色建筑的关注对象为建筑本身的节能性能，健康建筑强调以人为本的的建筑理念，涵盖了使用者生理、心理、社会三方面需求，为人提供舒适健康的物理环境。建筑声学研究的不再单纯追求实用性，进而包含了健康舒适的新涵义。

3.4 热点四：心理声学与生理声学方面研究

有关物理声场与主观听觉的研究可追溯到从上世纪五十年代。建筑声环境的研究实际上是不单停留于纯粹的物理领域，而是生理声学与心理声学的结合。从突显词图表中“舒适度”“声景”等关键词可以发现近二十年有关心理与生理声学的研究发展迅速。

2019年以来，针对室内物理环境对人体的环境舒适度影响逐渐增多。该类研究结合了人因学，拓展了人体生理与声音主观评价的关系。除单一研究声环境对人体舒适度研究外，有关声环境与光热环境交互作用对人舒适度的整体性研究逐渐增多。刘畅从视听交互角度出发，总结了火车站候车区内导向信息的影响因素，提出了控制声压级、利用合理声音类型等办法，改善候车区内导向型的候车厅设计策略^[35]。郭铁明等总结了人体热舒适、光舒适和声舒适生理学基础信息，研究了人体处于低气压环境中热、光、声舒适状态的变化。在此基础上，依据人们在极端室内环境中的主观评价，得出了综合热光声三方面的人体舒适度的评价模型^[36]。张璐从生理学、心理学以及医学的角度出发，运用主客观结合的方法，在实验舱内对热声复合因素对人体舒适度影响程度进行了研究^[37]。管宏宇等使用诱发电位仪测试在不同频率和声压级下被试者的听觉诱发电位。通过客观生理数据解释了人体主观声舒适度与声音特性的关系。得到声音频率越高人体听觉诱发电位越密集，主观烦恼度随着声压级增大而增加，为不同声环境下人体声舒适度机理研究做参考^[38]。

声景研究不同于单纯的噪声控制，而是将声音作为一种资源，结合物理、工程、心理、医学、艺术等诸多学科，在特定环境给人带来积极或指定的影响^[39-40]。诸多学者对有关声景展开的领域研究，

反映了建筑声环境学科的生命力和发展多样性。籍仙荣等使用声漫步、主观问卷调查和物理参数实测的方法，探讨了主观声舒适度评价对校园环境景观评价的影响，分析了各项环境物理量主观评价与建筑物理环境舒适度整体评价与之间的关系^[41]。楼华鼎等对教室、图书馆、教研室三种高校建筑空间物理环境进行了评价研究，得到学习空间内易懂语言声是最令人烦恼的噪声源，影响学习工作效率^[42]。任欣欣等对老年人户外健身场地景观环境进行了喜好度调查，研究发现声景观设计可协同健身活动特点，提高老年人的环境满意度^[43]。声景学是一门较新的学科，其学科理论体系尚待完善。研究声景的主观评价方法、记录方法、营建技术与保护对策，探讨城乡生态建设、环境保护与声景营建的关系等等，均需进一步探索^[40,43]。

4 结论与展望

本文借助 CiteSpace 软件，对 CNKI 中 2000~2021 年国内建筑声环境研究的文献进行可视化分析，从作者机构、热点关键词以及聚类分区三方面进行宏观总结，结合文献通过可视化时域图以及突显词表进行了推演过程分析，对二十年间研究热点分析得到国内建筑声环境学科研究的特征如下：

(1) 从内容体系上，建筑声环境理论建立在声学理论上，学科发展初期已有诸多学者进行了室内声学的相关研究，相关声学理论已成为完备知识系统，吸声与隔声技术作为建筑声环境的发展主线，其理论的发展是声环境学科发展开枝散叶的先决条件。近年来，以绿色建筑和健康建筑的需求为导向，对建筑环境健康舒适的要求逐渐升高，有关建筑构件的隔声吸声性能与住区声环境的国家相关规范也逐步完善。在学科创新以及多学科合作领域，近年来也发展出声景学以及声光热交互作用构成的室内物理环境研究，充实并延续了建筑声环境在生理及心理声学方向的研究内容。为建筑声环境学科的后续发展奠定了坚实基础。近年来，由建筑声环境设计衍生出的声景设计学科以及声环境与热光作用共同构成的室内物理环境舒适度研究，客观反映了声环境学科的生命力与跨领域研究的潜力。

(2) 从技术手段上，吸声与隔声材料的推陈出新与吸声构造生产的工厂化、模块化作为建筑声环境行业发展的基石推动行业的发展，不断满足政府建设与民生建设的需求。建筑声环境领域的科研方式通过计算机技术手段进行了革新，除设计施工效率得到提升外，新技术的出现拓宽了理论计算的研

究思路,极大提升了建筑声环境研究的灵活性和可操作性,建筑声学技术仍朝着准确且快速预测的目标不断完善发展。

建筑声环境领域的科研方式通过计算机技术手段进行了革新,除设计施工效率得到提升外,新技术的出现拓宽了理论计算的研究思路,极大提升了建筑声环境研究的灵活性和可操作性,最终形成了成熟的实测与模拟结合的研究方法。

(3)从宏观政策发展上,伴随社会时势与建筑学科发展,国内建筑声环境研究契合国内建筑建设工程、紧贴国家政策需求,建筑声学与可持续发展建筑、绿色建筑、健康建筑的评级体系完善与建立,呈现出相辅相成共促进步的关系。

综合分析结果,对我国建筑声环境研究特征提出以下展望:

(1)国内建筑声环境研究作者与机构相对独立且集中于几所知名高校内,机构间合作研究较少,在未来学科发展中有望加强高校与社会各研究团体间学术合作。

(2)在技术层面,部分吸声隔声构造的生产加工水平相较于国外稍显落后,部分新型材料仍需从国外进口加工。此外对于计算机模拟技术还原真实复杂的声场环境还提升空间,有望在今后实现技术突破,实现更精准的声环境预测。

(3)相较于建筑热环境具有完备的热舒适度评价体系,建筑声环境声舒适度的标准评价体系仍不完善,有望在未来提高对声舒适度评价研究的关注度,助力实现以人为本的建筑健康舒适需求。

(4)建筑声环境学科虽呈现出跨领域研究的趋势,但该方向研究的发文量、持续性的合作研究、合作频率较少,仍处于研究的初级阶段。有望在未来的研究中继续深化与热环境、光环境的交互作用研究,提升建筑室内物理环境品质。

当前,我国正处于经济飞速发展的时期,为实现城镇化建设各类大型公共建筑、民用住宅、文体类建筑接连施工,建筑声学相关标准不断革新提高。为解决国内建筑声环境面临的诸多问题,专家学者应从物理视角与心理视角出发,结合世纪经济环境以及建筑构造材料情况,提供舒适健康的声环境,以满足人们更高质量的生活。

参 考 文 献

- [1] 马大猷. 声学和生活质量[J]. 声学技术, 1999(3): 98-102.
MA Dayou. Acoustics and quality of life[J]. Technical Acoustics, 1999(3): 98-102.
- [2] 孙广荣. 从建筑声学到环境声学[J]. 应用声学, 2002, 21(1): 46-49, 39.
- [3] 王季卿. 中国建筑声学的过去和现在[J]. 声学学报, 1996, 21(1): 1-9.
WANG Jiqing. Architectural acoustics in China - past and present[J]. Acta Acustica, 1996, 21(1): 1-9.
- [4] LIU J W, HUANG L C. Detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in fuel cell scientific literature [C]//2008 4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing. Dalian, China. IEEE, : 1-4.
- [5] CHEN C. Searching for intellectual turning points: progressive knowledge domain visualization[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2004, 101(Suppl 1): 5303-5310.
- [6] 陈悦, 陈超美, 刘则渊, 等. CiteSpace知识图谱的方法论功能[J]. 科学学研究, 2015, 33(2): 242-253.
CHEN Yue, CHEN Chaomei, LIU Zeyuan, et al. The methodology function of Cite Space mapping knowledge domains [J]. Studies in Science of Science, 2015, 33(2): 242-253.
- [7] 马大猷. 组合微穿孔板吸声结构[J]. 噪声与振动控制, 1990, 10(3): 3-9.
- [8] 秦佑国. 城市住宅声环境[J]. 建筑, 2002(5): 51-53.
- [9] 白静, 秦佑国. 城市住宅声环境改善中的几个问题[J]. 华中建筑, 2003, 21(4): 83-84.
BAI Jing, QIN Youguo. Some problems about improvement of sound environment in resident building[J]. Huazhong Architecture, 2003, 21(4): 83-84.
- [10] 岳秀萍. 城市噪声污染与控制[J]. 科技情报开发与经济, 2004, 14(5):55-56.
YUE Xiuping. Urban noise pollution and control[J]. Sci/Tech Information Development & Economy, 2004, 14(5):55-56.
- [11] 李振格, 李振霞. 城市住宅声环境污染及控制措施[J]. 新建筑, 2001(2): 71-72.
LI Zhengge, LI Zhenxia. The contamination of sound environment and controllable measurements[J]. New Architecture, 2001(2): 71-72.
- [12] 李岚, 吕玉恒. 生态型住宅小区的噪声控制[J]. 噪声与振动控制, 2004, 24(1): 22-24.
LI Lan, LU Yuheng. Noise control of an environmentally friendly residential community[J]. Noise and Vibration Control, 2004, 24(1): 22-24.
- [13] 谢浩, 刘晓帆. 居住区的交通噪声问题及防治方法[J]. 住宅科技, 2003, 23(12): 38-42.
XIE Hao, LIU Xiaofan. Traffic noise in residential areas and prevention methods[J]. Housing Science, 2003, 23(12): 38-42.
- [14] 刘杏. «绿色生态住宅小区建设要点与技术导则(试行)»要点[J]. 生态经济, 2003(1):45.
- [15] 邵惠鑫. 建筑舒适的生态住宅小区声环境[J]. 华中建筑, 2003, 21(4): 81-82.
TAI Huixin. Build comfortable acoustical environment in ecologically residential area[J]. Huazhong Architecture, 2003, 21(4): 81-82.
- [16] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 民用建筑隔声设计规范: GB 50118—2010[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
- [17] 秦佑国. 室内声学的进展[J]. 电声技术, 2009, 33(8): 6-10.
QIN Youguo. Progress in room acoustics[J]. Audio Engineering, 2009, 33(8): 6-10.
- [18] 彭庆, 傅荣. 计算机声场模拟软件 ODEON 及其应用[J]. 中国新技术新产品, 2010(6): 44.
- [19] 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, 30(3): 14-17, 26.

- DU Mingqiu, WANG Jiqing. On the effectiveness of room acoustical computer simulation in auditorium design[J]. *Audio Engineering*, 2006, **30**(3): 14-17, 26.
- [20] 赵培生, 李肇华. 厅堂的建筑声学及扩声系统的设计[J]. *电声技术*, 2000, **24**(2): 22-24.
- [21] 章奎生. 上海大剧院观众厅的音质设计与研究[J]. *声学学报*, 2000, **25**(1): 33-41.
ZHANG Kuisheng. Acoustical design and research of auditorium in Shanghai Grand Theatre[J]. *Acta Acustica*, 2000, **25**(1): 33-41.
- [22] 成忠军, 周笃强, 牛聪敏. 脉冲响应法测量混响时间技术的研究[J]. *应用声学*, 2000, **19**(1): 1-3, 15.
CHENG Zhongjun, ZHOU Duqiang, NIU Congmin. A study in measuring the reverberation time on the basis of the impulse response[J]. *Applied Acoustics*, 2000, **19**(1): 1-3, 15.
- [23] 赵越喆, 吴硕贤, 邱坚珍, 等. 由实测双耳脉冲响应计算厅堂声学参数[C]// 全国环境声学电磁辐射环境学术会议. CNKI; WanFang, 2003:19-22.
- [24] 孙海涛, 吴硕贤. 基于 ODEON 软件仿真的电影院观众厅声学特性研究[J]. *电声技术*, 2005, **29**(4): 13-15, 18.
SUN Haitao, WU Shuoxian. Research of acoustic characters of cinema auditorium based on ODEON[J]. *Audio Engineering*, 2005, **29**(4): 13-15, 18.
- [25] 王红卫, 吴硕贤, 赵越喆, 郭志超. 基于仿真脉冲响应的厅堂音质评价[J]. *重庆建筑大学学报*, 2005, **27**(1): 23-25, 31.
WANG Hongwei, WU Shuoxian, ZHAO Yuezhe, et al. Acoustic evaluation of the concert hall based on simulated impulse responses[J]. *Journal of Chongqing Architecture University*, 2005, **27**(1): 23-25, 31.
- [26] 姚润明, 李百战, 丁勇, 等. 绿色建筑的发展概述[J]. *暖通空调*, 2006, **36**(11): 27-32, 91.
YAO Runming, LI Baizhan, DING Yong, et al. Review of development in green buildings[J]. *Heating Ventilating & Air Conditioning*, 2006, **36**(11): 27-32, 91.
- [27] 辛章平, 张银太. 低碳经济与低碳城市[J]. *城市发展研究*, 2008, **15**(4): 98-102.
XIN Zhangping, ZHANG Yintai. Low carbon economy and low carbon city[J]. *Urban Studies*, 2008, **15**(4): 98-102.
- [28] 秦佑国, 林波荣, 朱颖心. 中国绿色建筑评估体系研究[J]. *建筑学报*, 2007(3): 68-71.
QIN Youguo, LIN Borong, ZHU Yingxin. Researches on Chinese green building assessment system[J]. *Architectural Journal*, 2007(3): 68-71.
- [29] 吴硕贤. 建筑学的重要研究方向: 使用后评价[J]. *南方建筑*, 2009(1): 4-7.
WU Shuoxian. Post occupancy evaluation an important research field in architecture[J]. *South Architecture*, 2009(1): 4-7.
- [30] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 绿色建筑评价标准: GB/T 50378—2006[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
- [31] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 绿色建筑评价标准: GB/T 50378—2014[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
- [32] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 绿色建筑评价标准: GB/T 50378—2019[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.
- [33] 秦煜, 赵巍, 康健. 养老设施活动空间背景声源类型对情绪及活动的影响[J]. *西部人居环境学刊*, 2020, **35**(4): 43-49.
QIN Yu, ZHAO Wei, KANG Jian. Effects of background-sound sources types on emotion and activities in activity spaces of elderly care facilities[J]. *Journal of Human Settlements in West China*, 2020, **35**(4): 43-49.
- [34] 中国建筑学会. 健康建筑评价标准 T/ASC 02-2016[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
- [35] 刘畅. 大型铁路客运站候车区视听交互作用的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013.
LIU Chang. Research on audio-visual interaction in waiting areas of large railway stations[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2013.
- [36] 郭铁明, 胡松涛, 刘国丹. 无症状高原反应区室内光环境舒适性影响因素的研究[J]. *建筑科学*, 2016, **32**(10): 39-43, 95.
GUO Tieming, HU Songtao, LIU Guodan. Research on the influence factors of indoor light environment comfort within asymptomatic altitude reaction[J]. *Building Science*, 2016, **32**(10): 39-43, 95.
- [37] 张璐. 热声复合因素对人体舒适度的影响探究[D]. 青岛: 青岛理工大学, 2016.
ZHANG Lu. Study on the effects of thermal and acoustic on human comfort[D]. Qingdao: Qingdao Tehcnology University, 2016.
- [38] 管宏宇, 胡松涛, 刘国丹, 等. 基于听觉诱发电位的不同声环境下人员声舒适度机理及实验研究[J]. *科学技术与工程*, 2018, **18**(28): 195-199.
GUAN Hongyu, HU Songtao, LIU Guodan, et al. Mechanism and experimental investigation of human acoustic comfort in different acoustic environments based on auditory evoked potentials[J]. *Science Technology and Engineering*, 2018, **18**(28): 195-199.
- [39] 康健. 声景: 现状及前景[J]. *新建筑*, 2014(5): 4-7.
KANG Jian. Soundscape: current progress and future development[J]. *New Architecture*, 2014(5): 4-7.
- [40] 吴硕贤, 赵越喆. 建筑环境声学的前沿领域[J]. *华南理工大学学报(自然科学版)*, 2012, **40**(10): 28-31.
WU Shuoxian, ZHAO Yuezhe. Frontiers of architectural and environmental acoustics[J]. *Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition)*, 2012, **40**(10): 28-31.
- [41] 籍仙荣, 陆凤华, 王亚平. 大学校园户外学习空间的声舒适性研究: 以 5 栋山西高校图书馆的室外空间为例[J]. *应用声学*, 2017, **36**(4): 311-316.
JI Xianrong, LU Fenghua, WANG Yaping. Acoustic comfort in university campuses' outdoor learning spaces—Based on 5 university libraries' outdoor space in Shanxi[J]. *Journal of Applied Acoustics*, 2017, **36**(4): 311-316.
- [42] 楼华鼎, 欧达毅, 康升娟. 基于学习效率视角下的高校建筑室内环境质量评价研究[J]. *建筑科学*, 2017, **33**(12): 9-15.
LOU Huading, OU Dayi, KANG Shengxian. Study on indoor environmental quality evaluation of university buildings based on learning efficiency[J]. *Building Science*, 2017, **33**(12): 9-15.
- [43] 任欣欣, 李昕儒, 张敏, 等. 老年人户外健身景观环境满意度及其影响因素调查研究: 以大连为例[J]. *建筑科学*, 2020, **36**(10): 77-83.
REN Xinxin, LI Xinru, ZHANG Min, et al. Study on the satisfaction of the elderly outdoor fitness landscape environment and effect factors—taking Dalian as an example[J]. *Building Science*, 2020, **36**(10): 77-83.