

基于Web of Science核心数据库的建筑碳排放研究现状与趋势可视化分析

杜可洵¹, 李妍睿¹, 陈晓贤¹, 李雪¹, 黄夏银², 崔云霞^{1*}

¹南京师范大学环境学院, 江苏 南京

²江苏省环境工程技术有限公司, 江苏 南京

收稿日期: 2025年7月8日; 录用日期: 2025年8月7日; 发布日期: 2025年8月15日

摘要

建筑碳减排是一个全球共同面临的挑战。本文利用VOSviewer、CiteSpace和文献计量平台对Web of Science核心数据库中2010年以来建筑碳排放相关文献进行分析, 从发文量、作者、国家、机构、关键词、爆发词等进行系统的梳理, 分析研究现状以及研究趋势。结果表明: 1) 建筑碳排放研究领域发展迅速, 2022年开始发文量呈现大幅度增长, 研究成果主要发布期刊为《SUSTAINABILITY》《BUILDINGS》和《JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION》, 主要研究机构多为高校, 重庆大学、清华大学、同济大学是发文量排名前3的机构, 中国是发文量最大的国家但论文影响力有待提升, CAI W G是发文量最多的作者。2) 研究热点从建筑性能、设计、能源效率等转变为建筑碳排放核算方法、影响因素和特定研究范围, 未来趋势为发展低碳技术, 制定减碳措施。3) 中国建筑碳排放研究起步晚但发展快, 建议我国加强国际交流, 利用新技术提升研究方法, 推动绿色建筑改造和碳排放核算的精准化, 促进研究成果的政策转化。

关键词

建筑碳排放, 节能减碳, 可视化分析, 文献计量学, 研究趋势

A Visual Analysis of the Current Status and Trends in Building Carbon Emissions Research Based on the Web of Science Core Database

Kexun Du¹, Yanrui Li¹, Xiaoxian Chen¹, Xue Li¹, Xiayin Huang², Yunxia Cui^{1*}

¹School of Environment, Nanjing Normal University, Nanjing Jiangsu

²Jiangsu Environmental Engineering Technology Co., Ltd., Nanjing Jiangsu

Received: Jul. 8th, 2025; accepted: Aug. 7th, 2025; published: Aug. 15th, 2025

*通讯作者。

文章引用: 杜可洵, 李妍睿, 陈晓贤, 李雪, 黄夏银, 崔云霞. 基于 Web of Science 核心数据库的建筑碳排放研究现状与趋势可视化分析[J]. 可持续发展, 2025, 15(8): 178-193. DOI: 10.12677/sd.2025.158233

Abstract

Building carbon emission reduction is a global challenge. This study employs VOSviewer, CiteSpace, and bibliometric analysis to examine literature on building carbon emissions from the Web of Science Core Collection since 2010. It systematically organizes the literature from aspects such as publication volume, authors, countries, institutions, keywords, and burst terms to analyze the current state and trends of research. The findings are as follows: 1) The field of building carbon emissions research is developing rapidly, with a significant increase in the number of publications starting in 2022. The main journals for publishing research findings are "SUSTAINABILITY," "BUILDINGS," and "JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION." The primary research institutions are universities, with Chongqing University, Tsinghua University, and Tongji University ranking in the top 3 for the number of publications. China is the country with the highest number of publications, but the impact of the papers needs to be enhanced. CAI W G is the author with the most publications. 2) Research interests have shifted from building performance and design to carbon accounting methods, influencing factors, and specific scopes, indicating a future trend towards developing low-carbon technologies and carbon reduction measures. 3) Although China's research on reducing carbon emissions started late, it has developed swiftly. It is recommended that China enhance international exchanges, leverage new technologies to refine research methodologies, promote green building renovations, and improve the precision of carbon emission accounting to facilitate the policy translation of research findings.

Keywords

Building Carbon Emissions, Energy Saving and Carbon Reduction, Visualization Analysis, Bibliometrics, Research Trends

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)于2023年3月发布了第六次评估报告指出2011~2020年全球地表温度较1850~1900年升高了1.1℃,2019年全球温室气体净排放量分别较2010年和1990年增长12%和54% [1],全球气候变化加剧和环境问题日益突出[2]-[4],强化气候行动、实现低碳发展已成为世界上大多数国家的共同目标。全球建筑业产生的高能耗以及高碳排放不容小觑,我国建筑碳排放量庞大[5],建筑碳排放能否得到有效控制对中国乃至全球能源转型和实现可持续发展目标起到关键作用。

学者们对建筑的节能技术[6]-[8]、低碳改造[9]-[13]以及建筑碳排放的不同阶段[14] [15]、建筑类型[16]-[18]、情景预测[19] [20]等进行了研究,也有学者梳理了建筑节能[21]低碳材料[22]、绿色建筑技术[23]、装配式建筑碳排放[24]、建筑全生命周期[25]、建筑碳排放核算及影响因素[26]-[28]等研究进展,在此背景下,有必要针对建筑碳排放领域,探索当前建筑碳排放的研究热点和发展趋势。

通过检索 Web of Science 核心数据库,运用文献计量学方法,采用 VOSviewer、文献计量平台和 CiteSpace 可视化分析工具对建筑碳排放领域的研究现状与趋势进行系统的梳理和分析,绘制基础文献信息的知识图谱,可以揭示建筑碳排放研究的发展现状,为未来的研究方向提供了新的视角和启示,也为建筑碳排放领域的科研工作者开展课题研究、寻找潜在合作者与合作机构、追踪当下研究热点和分析未来研究发展趋势提供了有价值的信息。

2. 研究方法

Web of Science 其核心数据库收录了众多高影响力和权威的学术期刊，数据更新快、覆盖范围广，确保了研究数据的质量和可靠性。收集整理 Web of Science 核心合集 14 年内(2010 年 1 月 1 日至 2024 年 7 月 30 日)可查询到的相关主题的文献，通过运用文献计量学方法对检索结果进行处理，文献检索流程如图 1 所示。

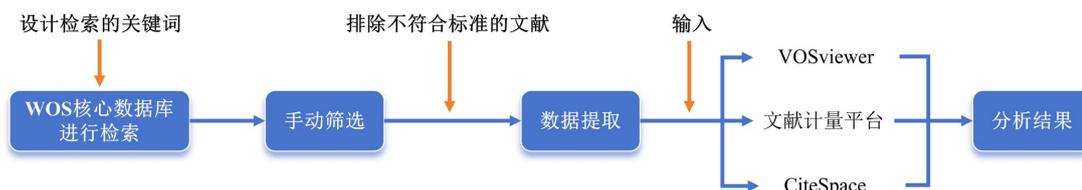


Figure 1. Literature search process

图 1. 本文文献检索流程

2.1. 数据采集

使用 Web of Science 核心合集高级检索，关键词设置为“建筑碳排放”，利用检索式：TS=("Building carbon emissions" OR "building carbon reduction" OR "building low-carbon" OR "Low carbon building" OR "Zero carbon building" OR "construction carbon emission" OR "Carbon Emission in Low-Carbon Architectures" OR "Carbon Emissions in the Construction Industry")，检索时间为 2024 年 7 月 30 日，检索年份为 2010 年至 2024 年 7 月 30 日。对语言、文档类型、数据类别没有限制，检索得到研究性论文和综述 592 篇。

2.2. 纳入及排除标准

通过阅读文献摘要、关键词、研究方向等，手动排除与研究主题不相关及学术会议的文献，最终共得到 468 条可用于进行文献计量分析的文献。将筛选过后的文献以“全记录与引用的参考文献”方式进行下载，文献下载格式为“纯文本”，获取文献的全部记录，包括标题、出版年份、作者、国家(地区)、研究机构、期刊名、关键词和摘要。

2.3. 研究工具

使用文献计量学中使用广泛的 VOSviewer、CiteSpace 软件，结合文献计量平台进行分析。VOSviewer 是由荷兰莱顿大学的 Nees Jan van Eck 和 Ludo Waltman 共同开发的免费文献计量分析软件[29]，在概率论的数据标准化方法基础上提供了关键词、机构、作者等领域多种可视化图，包括网络视图(Network Visualization)、叠加视图(Overlay Visualization)和密度视图(Density Visualization)。CiteSpace 是美国德雷塞尔大学(Drexel University)陈超美教授[30]开发的软件，它专门用于科学文献的时序分析，帮助研究者识别和追踪研究领域的发展趋势、热点主题和知识结构。文献计量平台是一个在线分析平台，允许用户对科学文献进行深入分析。

根据工具特点，使用 VOSviewer 绘制作者合作网络图及关键词密度、覆盖、网络可视化图；使用文献计量平台制作国家间关系合作图；使用 CiteSpace 生成研究的爆发词爆发年限与爆发强度图。

3. 结果与分析

3.1. 文献发表趋势分析

通过研究某一领域不同时间段的发文量可以更直观地体现其研究热度的变化。考虑到 2024 年的数据

只统计到 2024 年 7 月 30 日并不完整, 利用 Logistic 曲线[31]拟合增长趋势曲线时, 排除了 2024 年的数据可以避免因数据不完整而对模型拟合和预测结果造成的偏差, 拟合模型的 $R^2=0.97306$, 拟合具有代表性和预测性。

2010~2024 年建筑碳排放文献发表趋势及总发文量前三的国家历年发文情况如图 2 所示。建筑碳排放领域文献的发表量在 2010 年到 2023 年整体呈上升趋势, 根据增长速度可以划分为三个时间段。初始阶段(2010~2015 年), 年发文量较低; 缓慢增长阶段(2016~2021 年), 年发文量逐步上升, 从 2016 年到 2021 年发文量提升至 2.7 倍, 平均每年发文 25 篇; 快速发展阶段(2022~2023 年), 年发文量大幅度增长, 2022 年到 2023 年, 相邻年的年增长量从 45 篇增长至 48 篇, 每年平均发表 107 篇论文。这表明该研究领域从 2016 年开始受到了越来越多的关注, 2022 年开始猛增。虽然没有办法收集到 2024 年的完整数据, 但通过观察增长趋势拟合曲线, 可以推测该领域的研究兴趣可能在未来几年内显著增长。

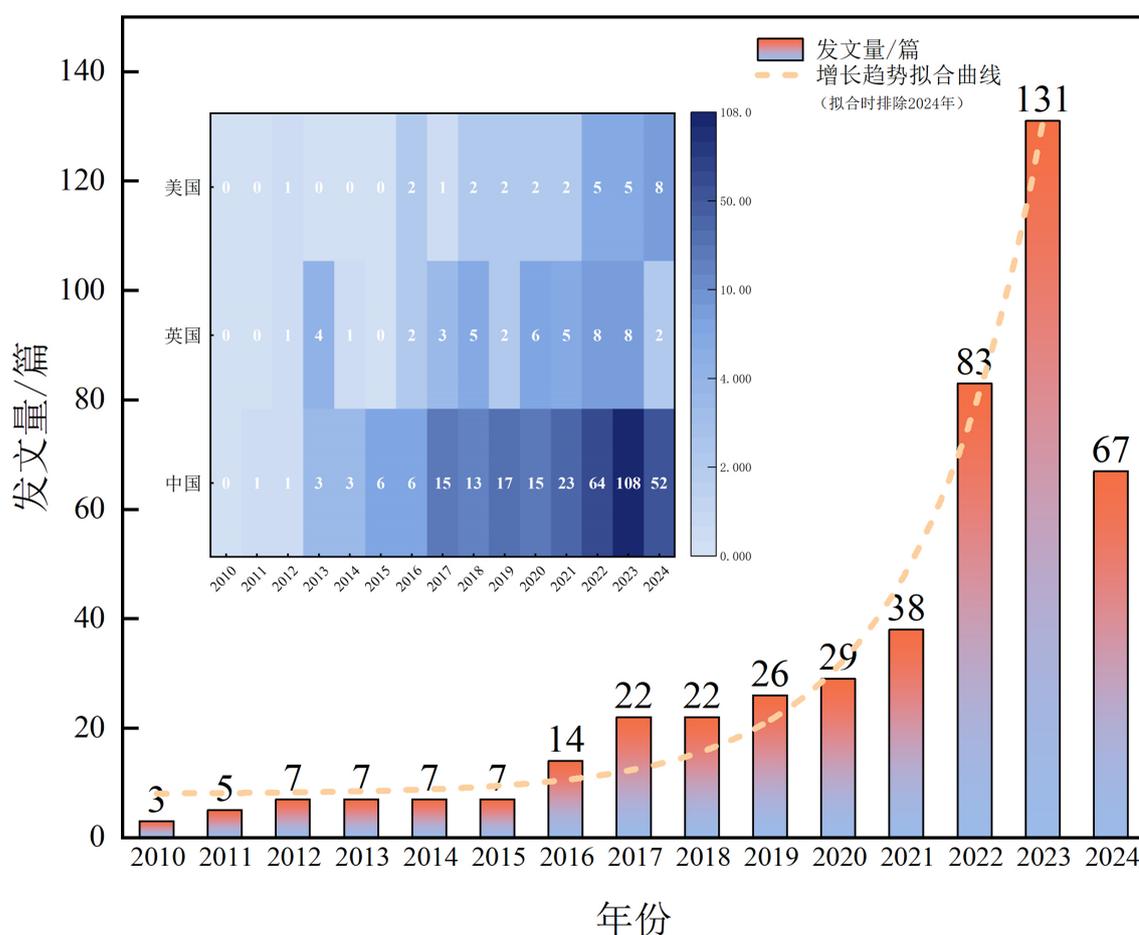


Figure 2. Trend of literature publication from 2010 to 2024 and the historical publication chart of the top three countries by total number of publications

图 2. 2010~2024 年文献发表趋势及总发文量前三的国家历年发文图

按照年份顺序展示建筑碳排放领域发文量 TOP3 国家的趋势图, 如图 2 小图所示, 发文量排名前三的国家分别是中国(327 篇)、英国(47 篇)、美国(30 篇)。其中, 英国和美国的发文量相对稳定, 这反映了这两个国家在建筑碳排放领域的研究已经形成了成熟的研究体系和稳定的研究团队, 这种稳定性与它们较早开始关注该领域、拥有完善的研究基础和充足的研究资金有关。中国从 2022 年开始发文量呈爆发增

长,说明建筑碳减排从 2022 年左右开始在我国展露出较大的研究价值和研究需求,这与国家政策的推动、社会对环境问题的关注增加以及学术界对可持续发展议题的重视有关。2021 年 10 月 21 日中央印发《关于推动城乡建设绿色发展的意见》、2022 年 1 月 19 日住房和城乡建设部印发《“十四五”建筑业发展规划》,我国政府在推动建筑领域科技创新和绿色发展方面提供了政策支持和资金投入,吸引了许多国内研究者进行深入研究。

3.2. 作者合作网络分析

根据 VOS viewer 软件进行统计发现,从事该领域研究的作者共有 1666 人,仅有 3 位作者发表论文超过 10 篇,占总数的 0.18%; 只有一篇建筑碳排放相关论文的作者有 1508 人,占作者的 90.52%。

本文依据普莱斯定律[32]确定核心作者,计算公式为 $C = 0.749(N_{max})^{1/2}$ (其中 N_{max} 为统计时间段内发文量最多作者的发文量, C 为核心作者的最低发文数量)。经统计,中国的 CAI W. G. 是发文量最多的作者(23 篇,包含其作为团队成员的文章),团队在建筑碳排放领域主要进行住宅建筑碳排放的相关研究[33]-[35],填补数据空白并模拟未来情景,为制定更好的碳达峰路径提供有价值的参考。发文 4 篇及以上($M = 3.59$)的作者可以认为是该研究领域的核心作者,共 28 位。这表明,虽然许多研究人员参与了相关工作,但高产作者很少,发文量排名前 5 的作者文献影响力情况见表 1。

Table 1. Top 5 authors by number of publications

表 1. 发文量前 5 的作者

排序	作者	发文量	篇均被引频次	h-指数
1	CAI W. G.	23	53.52	15
2	PAN W.	20	32.8	14
3	HUO T. F.	13	69.31	10
4	DU Q.	9	33.67	6
5	WANG S. W.	7	93.43	7

排除没有产生联系的作者生成的作者合作关系如图 3 所示,可以观察到形成了 12 个明显的聚类组,其中每个聚类组内通常有一个或多个核心作者,CAI W. G. 所在团体是最大的。作者合作关系图整体呈现聚类组内合作密切,但聚类组外合作较少的情况,这表明仍有许多研究人员并未与他人建立稳定的合作关系。在未来应增强研究团体间的合作能力,加强国内外学者的交流与合作,这将有助于建筑碳排放领域知识共享与资源整合,推动领域研究的深入发展、提升研究质量、促进创新。

3.3. 国家间合作分析

通过文献计量平台生成国家间关系合作图,节点长短/大小代表发文量,节点之间的连线代表两个国家之间的合作次数。图 4 分析表明,大部分国家在建筑碳排放研究方面合作关系紧密,学术交流与合作较为频繁,其中中国、美国、英国和澳大利亚四国之间存在少量合作,共同探讨了碳减排模型、生命周期评估(LCA)、建筑性能模拟、低碳材料技术等多个研究领域,贡献较大,这也与文献发表量分析一致。仍有不少国家如以色列、西班牙、德国等这些国家在低碳建筑技术、生命周期评估、节能政策等方面具备独特经验,却尚未形成紧密的国际合作机制,需要加强国际的合作交流,促进不同国家和地区在研究方法、技术和理论上的互补,提高研究的效率和质量,推动研究领域向更深层次和更广领域发展。建议中国进一步拓展与西欧国家(如德国、西班牙、意大利、法国)、以色列等在低碳建材、节能设计、碳交易政策机制等方面开展方法论、政策机制、技术试点等深入合作,更好地吸收国际经验,加强我国建筑节能减碳研究。

篇均被引频次(Average Citations per Paper)和 h-指数(h-index) [36]是两个重要的指标,可以用于衡量不同国家文献的影响力和质量,进一步分析该领域的高生产力国家。

表 2 是全球发文量 TOP10 国家论文影响力分析,分析发现,中国虽然在发文量和 h-指数上排名第一,但篇均被引频次较低(22.78),这表明中国具有一定的影响力,但可能需要进一步提高研究质量。英国虽然发文量排名第二,但篇均被引频次较低(17.64)和 h-指数(15)都相对较低,表明其研究质量和影响力都有待提高。美国和澳大利亚篇均被引频次较高(依次为 30.40 和 36.52),h-指数不高(依次为 12 和 17),这表明美国和澳大利亚在该领域的研究具有较高的质量,但发文量不高。德国在发文量较少的情况下,仍具有最高的篇均被引频次,这反映了德国在建筑碳排放领域具有代表性的不同研究特点和影响力。

Table 2. Analysis of the impact of papers from the TOP 10 countries in global publication volume

表 2. 全球发文量 TOP10 国家论文影响力分析

发文量排序	国家	篇均被引频次	h-指数
1	中国	22.78	49
2	英国	17.64	15
3	美国	30.40	12
4	澳大利亚	36.52	17
5	意大利	5.90	5
6	加拿大	19.78	6
7	德国	43.33	6
8	韩国	19.56	6
9	印度	13.63	3
10	荷兰	9.38	4

3.4. 机构分析

经文献计量平台的统计,发表文献的研究机构共有 540 个,发表了 5 篇及以上文章的机构共有 40 个,占研究机构总数的 7.41%。

发文量排名和平均被引次数前 10 的研究机构统计结果如图 5(a)和图 5(b)所示。发文量排名前 10 的机构中,如图 5(a)所示,中国占 4 个,英国占 1 个。从发文量来看,中国的重庆大学、清华大学、同济大学分别以 44 篇、31 篇和 26 篇的数量位居前三;如图 5(b)所示,从平均被引频次来看,澳大利亚的阿德莱德大学(17.5)和中国的西南民族大学(16)的平均引用次数远超其他国家的研究机构,平均被引次数前 10 的机构中国占 4 个。总体上看,中国机构在发文量上占据绝对优势,重庆大学和河北工业大学论文篇数多的同时高影响力的论文产出也较多,但平均被引次数与前两机构相比仍有一定差距,中国机构需要在高数量论文的基础上提升论文影响力。

3.5. 热门期刊分析

通过发文量、占总发文量比例、影响因子三个指标分析发文量 TOP10 期刊。发文量反映了期刊在该领域的活跃程度,占比越高,表明该期刊发表的相关论文数量越多。如表 3 所示,发文量前十的期刊中,《SUSTAINABILITY》《BUILDINGS》《JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION》《ENERGY AND BUILDINGS》期刊占总发文量比例 5%以上,是领域的发文热门期刊,也可能反映了当前研究的热点和趋势如可持续性、清洁生产、能源效率等。

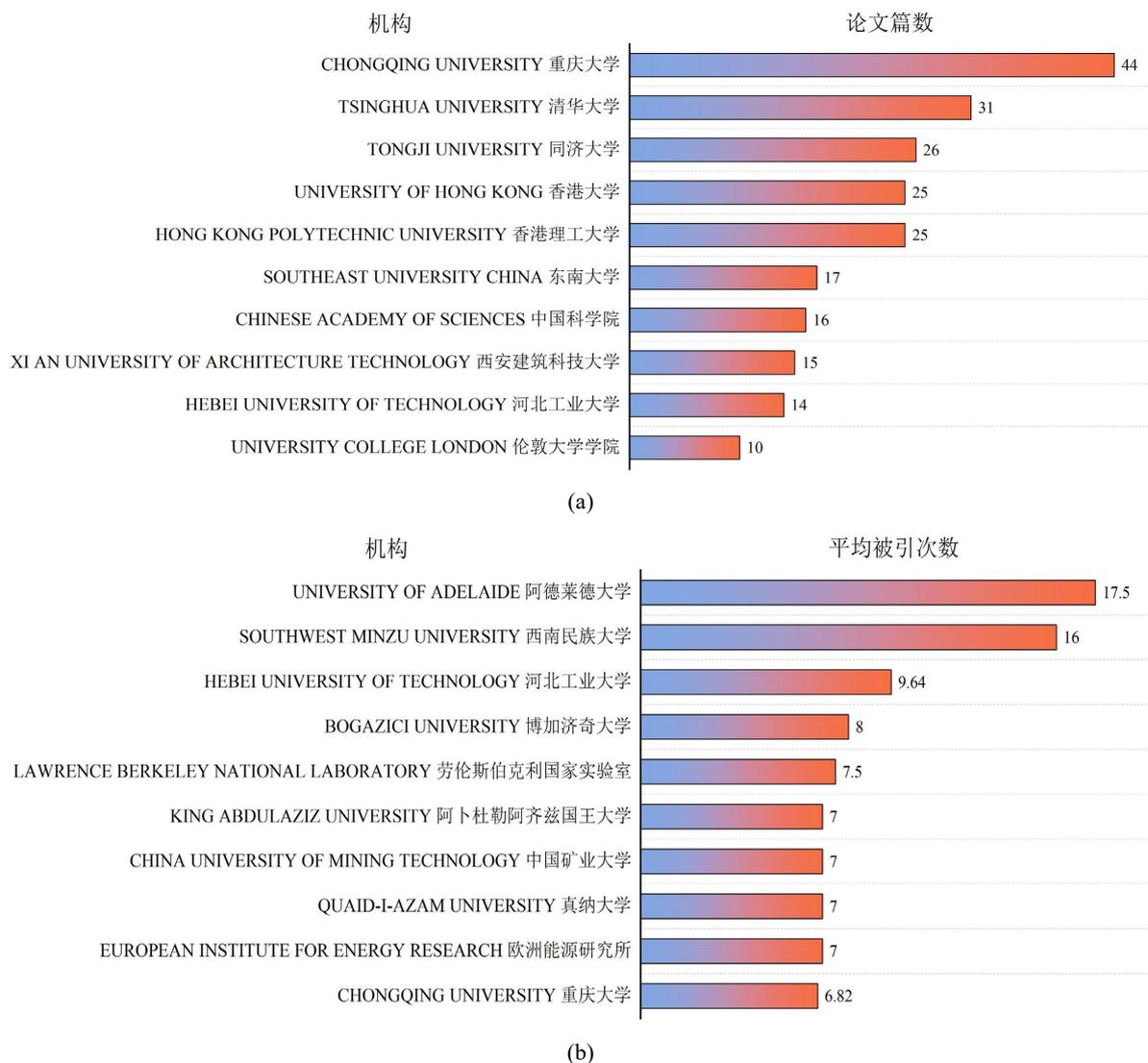


Figure 5. (a) Top 10 research institutions by publication volume, (b) Top 10 institutions by average number of citations
图 5. (a) 发文量排名前 10 的研究机构, (b) 平均被引次数前 10 的机构

Table 3. TOP 10 journals by publication volume

表 3. 发文量 TOP10 期刊

排序	期刊名称	发文量	占总发文量比例%	影响因子(2023)
1	《SUSTAINABILITY》	40	8.55	3.3
2	《BUILDINGS》	33	7.05	3.1
3	《JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION》	30	6.41	9.7
4	《ENERGY AND BUILDINGS》	26	5.56	6.6
5	《SUSTAINABLE CITIES AND SOCIETY》	17	3.63	10.5
6	《BUILDING AND ENVIRONMENT》	17	3.63	7.1
7	《ENERGY》	17	3.63	9
8	《CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS》	14	2.99	7.4
9	《APPLIED ENERGY》	12	2.56	10.1
10	《JOURNAL OF BUILDING ENGINEERING》	12	2.56	6.7

影响因子是衡量期刊学术影响力的一个指标，影响因子越高，表明期刊上发表的文章平均被引用的次数越多，期刊的学术地位越高。《SUSTAINABLE CITIES AND SOCIETY》《APPLIED ENERGY》《JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION》《ENERGY》期刊影响因子(2023)高达 9，具有非常高的学术地位，可能是该领域内研究者希望发表重要研究成果的目标期刊。结合发文量占比和影响因子，可以评估期刊在建筑碳排放及相关领域的整体影响力。研究者在选择发表研究成果的期刊时，可以参考此类数据，选择与自己研究方向最匹配、影响力最大的期刊。

3.6. 关键词分析

通过关键词分析，可以掌握文章的主要研究内容[37]。借助 VOSviewer 软件对筛选保留的 468 篇文章的关键词进行分类与可视化展示，经统计，文献共有 2369 个关键词，频次 20 次及以上的关键词合并同义词后有 25 个，频次 50 次及以上的关键词有 5 个。

通过密度可视化图，展现出频次 20 次及以上的关键词，如图 6，其中暖黄色代表热点区域，冷绿色代表冷区域。可以观察到研究的热点有 CO₂ Emissions (CO₂ 排放)、Perormance (建筑性能)、Energy-consumption (能耗)、China (中国)、Energy (能源)、Life-cycle Assessment (全生命周期评价)、Construction (建筑)、Design (设计)、Impact (影响因素)、Residential Buildings (居住建筑)。

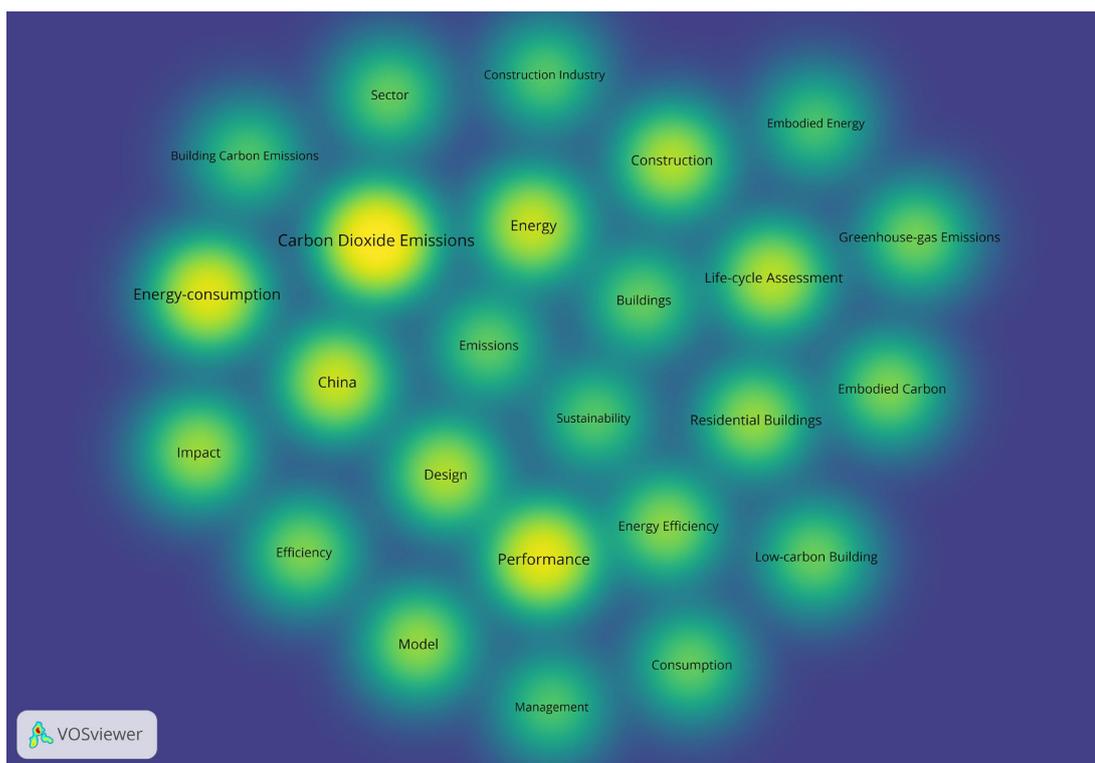


Figure 6. Keyword density visualization

图 6. 关键词密度可视化

通过覆盖可视化图，展现出频次 20 次及以上的关键词，如图 7。图中节点颜色从蓝到黄，颜色越黄表明关键字越新，根据选取的关键词的平均时间选取合适的时间尺度，深蓝色的关键词代表平均时间为 2018 年左右提出的关键词，黄色的关键词代表平均时间为 2024 年左右提出的关键词，时间的设置表明频次超过 20 次的关键词平均提出时间都比较新。

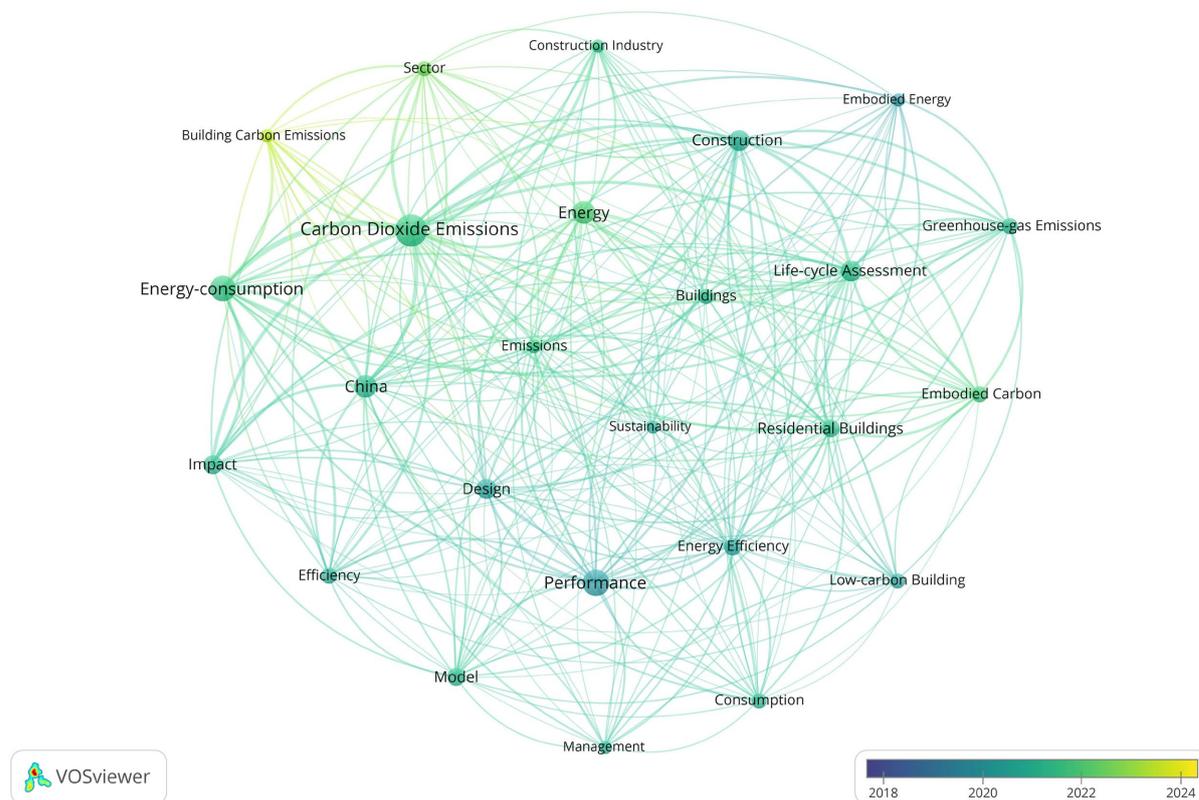


Figure 7. Keyword coverage visualization
图 7. 关键词覆盖可视化

观察颜色的变化可以发现,最初,研究可能集中在 Performance (建筑性能)、Design (建筑设计)、Energy Efficiency (能源效率)和 Model (技术模型),随着时间的变化,研究热点变得更为具体,开始转变为建筑碳排放核算方法、影响因素和特定研究范围如 Life-Cycle Assessment (全生命周期评价)、Impact (影响因素)、Residential Buildings (居住建筑)等。China 成为一个新的研究热点表明我国建筑碳排放领域研究的发展迅速。Building carbon emissions (建筑碳排放)作为最新出现的高频关键词,表示这个表达形式或概念正在获得越来越多的关注和规范化。

通过网络可视化图,将这些关键字分为 3 个聚类,图中节点的大小代表关键字的出现频率,节点的颜色表示它所属的聚类,不同的聚类用不同的颜色表示,如图 8,三个聚类的关键词整理可得表 4。

Table 4. Clustering of keywords with a frequency of 20 or More in the field of building carbon emissions research
表 4. 建筑碳排放研究领域频次 20 次及以上的关键词聚类

聚类	颜色	关键词
1		CO ₂ Emissions, Energy-consumption, China, Sector, Efficiency, Impact, Building carbon emissions;
2		Performance, Construction Industry, Buildings, Energy, Design, Emissions, Sustainability, Energy Efficiency, Model, Management, Consumption, Low-carbon Building;
3		Life-cycle Assessment, Construction, Residential Buildings, Embodied Carbon, Greenhouse Gas Emissions, Embodied Energy.

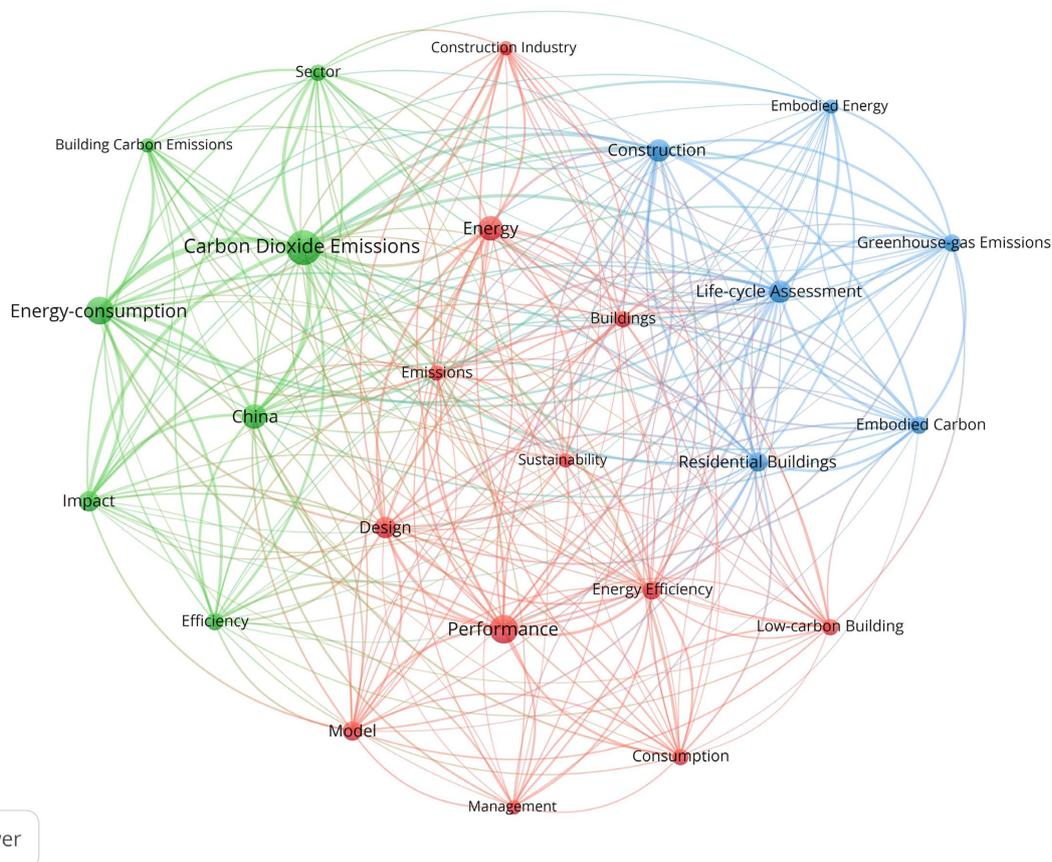


Figure 8. Keyword network visualization
图 8. 关键词网络可视化

绿色聚类的高频关键词代表了建筑碳排放领域的基础概念和主要关注点，包括建筑碳排放的量化、特定地区或行业的研究重点以及能效和建筑活动对环境的影响。红色关键词涉及建筑行业实践、建筑特性和性能，包括能源效率、可持续性、建筑模型、管理、能源消耗和低碳建筑。蓝色关键词包括评估建筑碳排放的核算方法、特定的研究阶段和建筑类型，包括全生命周期、建筑过程、住宅建筑以及建筑的隐含碳、温室气体排放和隐含能源。

3.7. 趋势分析

爆发词显示了任何关键词在特定时间段内频繁出现的现象。这些信息不仅可以显示研究热点的演变还可以表明近年来和未来的研究趋势。将去重后的数据导入 CiteSpace，为了显示最新正在爆发的关键词，将分析设置 γ 为 0.6。

当一个关键词的爆发值(Strength)达到 3 以上时[38]，意味着它在较短时间内被频繁引用，表明该词汇所代表的研究主题或概念正在迅速获得学术界的关注和讨论。

从生成的爆发词的爆发年限与爆发强度图 9 可以看出，performance (建筑性能)、zero carbon building (零碳建筑)是较早高爆发的研究的重点。学者通过开发模型等研究建筑性能。如 Jielong Gan [39]等人对一个住宅开发项目采用了基于参数化建筑信息模型(BIM)的方法来分析住宅建筑的生命周期碳性能，并通过替代材料的使用和设计来评估优化潜力。LEE 等[40]研究表明光伏建筑一体化(BIPV)系统是实现零能耗建筑的关键技术之一，能够显著提高建筑性能，同时减少环境影响。HAJDUKIEWICZ 等[41]开发了一个

实时监测框架可以提供建筑性能的指标信息。还有学者研究了零碳建筑的改造效益、驱动因素等,如 Liu 等[42]以北京某公共建筑(幼儿园)为研究案例,比较了不同技术应用程度下的案例建筑零碳改造效果。FALANA 等[43]探讨了零碳建筑在其全生命周期五个阶段(预建、施工、运维、拆除与再利用)中的关键利益相关者及其作用,识别出九组主要利益相关者及 47 个具体角色。PAN 等[44]研究选取香港这一高层高密度城市作为案例,发现零碳建筑政策面临的主要挑战为地理条件限制下的可再生能源开发难题、过度依赖化石能源以及行业内部对新政策的抵触情绪。

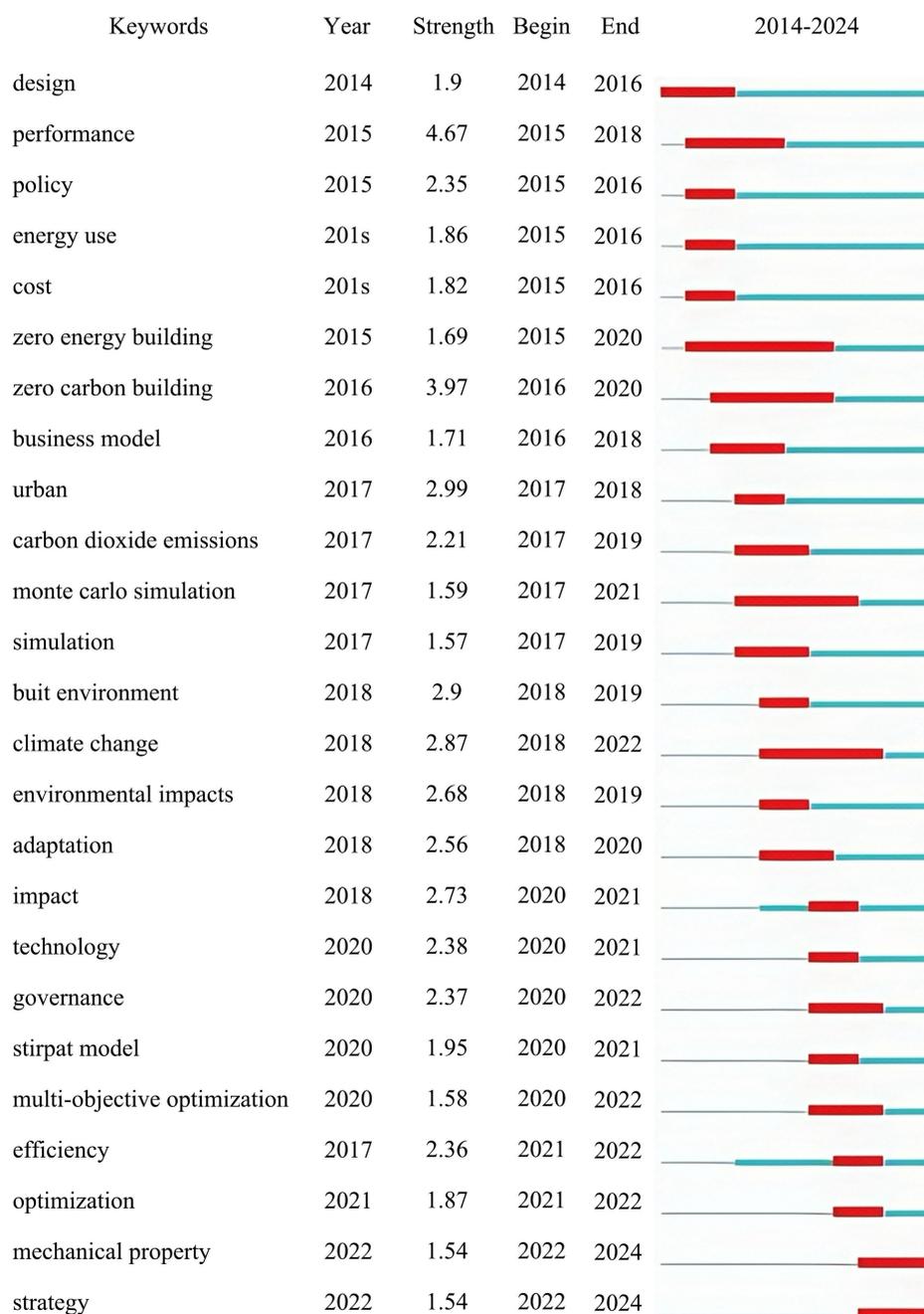


Figure 9. The year and intensity of keyword bursts
图 9. 爆发词爆发年限与爆发强度

Mechanical property 和 strategy 两词近期正在爆发,表明建筑材料和构件的性能、制定和实施减排战略具有成为未来研究热点的潜力。目前学者对于建筑材料和性能研究如 XU 等[45]研发了一种受自然界沙堡启发的仿生粘合剂,可以在低温和常压条件下大规模生产的天然低碳建筑材料(nLCBMs),具有与传统水泥基材料相当的抗压强度和良好的水化可回收性、抗风化性能。LI C.等[46]研制了粉煤灰掺量不低于粘结剂总重量 50%的粉煤灰混凝土(FAC),此低碳建材的抗氯离子渗透和抗碳化性能达到了规范规定的很高水平。LI Z.等[47]研究了再生混凝土细粉(RFP)作为补充胶凝材料的潜力,发现 RFP 可以作为一种经济且环保的水泥混合材料,替代局部水泥,为减少建筑业的碳排放做出贡献。不少学者对各类建筑碳排放提出了策略,如 WANG [48]通过对热带岛屿零碳建筑(TIZCB)特点的分析及其概念的阐释,建立了研究这些建筑系统机制的理论框架,为研究热带岛屿零碳建筑(TIZCB)的能源使用、节约和智能生产系统机制制定了实施策略。MENG 等[49]提出了一种结合创新设计、智能施工和二次利用的三步减碳策略,重新定义了建筑全生命周期中碳排放与碳补偿的系统边界及计算模型。XU 等[50]构建了一个碳税约束下的演化博弈模型研究影响策略的变量,发现在低碳建材行业发展初期,政府起主导作用,但随着行业成熟,市场机制逐渐占据主导地位。

4. 结论与展望

4.1. 结论

1) 建筑碳排放领域发展迅速

建筑碳排放领域发展总体上可以分为三个阶段。初始阶段(2010~2015年),年发文量较低;缓慢增长阶段(2016~2021年),年发文量逐步上升,从2016年到2021年发文量提升至2.7倍,出现了频次较高的研究热点;快速发展阶段(2022~2023年),年发文量大幅度增长,相邻年的年增长量从45篇增长至48篇,研究热点也呈现多样化,这反映了全球对建筑碳排放问题的关注和减碳需求。

特别的是,自2022年以来我国文献发表量急剧上升,我国政府在推动建筑领域科技创新和绿色发展方面进行了政策引导和支持,为相关领域的研究提供了政策支持和资金投入。在这一背景下,可以预见我国在推动建筑碳减排的研究成果将会继续增长,但仍面临影响力不足和缺乏合作的问题,建议加强国际交流合作,结合热点趋势提高论文影响力。

2) 建筑碳排放领域出现主要研究机构、核心作者群及期刊

当前,CAI W. G.、PAN W.、HUO T. F.、DU Q.、WANG S. W.等学者是基于WOS核心数据库发文量的核心作者,由他们为中心形成了组内合作密切且较为活跃的作者群,研究者们可以与他们之间进行学术交流和科研合作。

主要研究机构中,中国机构在发文量上占据绝对优势。重庆大学、清华大学和同济大学是我国发文量排名前三的机构,但平均被引次数与国外机构相比仍有一定差距,中国机构需要在高数量论文的基础上提升论文影响力。

《SUSTAINABILITY》《BUILDINGS》《ENERGY AND BUILDINGS》是领域的发文热门期刊,《SUSTAINABLE CITIES AND SOCIETY》《APPLIED ENERGY》《ENERGY》期刊影响因子较高,在本领域具有非常高的学术地位,《JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION》期刊二者兼备。研究者可通过阅读这些期刊迅速了解当前研究的热点和发展情况以及选择发表研究成果的期刊参考。

3) 建筑碳排放研究领域呈现多样化趋势

通过关键词共现分析和爆发词分析,建筑碳排放领域的研究呈现时间上的横向发展和建筑个体研究上的纵向延伸。在横向上,随着时间的推移,宏观角度的研究热点从最初的建筑性能、设计、能源效率、技术模型等多个维度转变为更为具体的建筑碳排放核算方法、影响因素和特定研究范围。关于建筑本身

的微观角度研究热点, 从零碳建筑、建筑材料、全生命周期评价、能源消耗开始转变为发展低碳技术, 制定减碳措施。这表明建筑碳排放领域在进行多角度的研究发展, 预示着未来研究将更加注重综合性和系统性。

4.2. 展望

我国建筑碳排放研究与国外相比相对较晚, 但增长速度较快, 在建筑碳排放领域取得了丰富的成果, 需提升论文质量, 加强国际间合作, 进一步提高国际影响力。同时, 现有的研究方法需要更新, 针对我国现有建筑的庞大体量, 建筑碳排放量的计算需精准化, 建议进一步结合大数据机器学习、遥感卫星等技术实现更为精准的建筑碳排放核算方法以及实时能耗和碳排放量的监测云平台。建筑碳减排策略的制定可以考虑更多情景, 加强对建筑的绿色改造、超低能耗建筑和零碳建筑的搭建研究, 推动与政府之间的合作。

本研究使用关键词索引存在检索不全面或范围不可控等问题的数据完整性不足, 未来研究应考虑获取完整数据以提高分析的准确性。研究也并未在某些细分领域进行深入研究, 可以考虑对建筑材料的碳足迹分析、建筑运营阶段的碳排放监测、碳排放核算方法等方向分类分析进展。

参考文献

- [1] IPCC (2023) AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023.
- [2] Akerlof, K., Maibach, E.W., Fitzgerald, D., Ceden, A.Y. and Neuman, A. (2013) Do People “Personally Experience” Global Warming, and If So How, and Does It Matter? *Global Environmental Change*, **23**, 81-91. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.07.006>
- [3] Sisodiya, S.M., Fowler, H.J., Lake, I., Nanji, R.O., Gawel, K., Esguerra, C.V., et al. (2019) Climate Change and Epilepsy: Time to Take Action. *Epilepsia Open*, **4**, 524-536. <https://doi.org/10.1002/epi4.12359>
- [4] Chen, L., Huang, L., Hua, J., Chen, Z., Wei, L., Osman, A.I., et al. (2023) Green Construction for Low-Carbon Cities: A Review. *Environmental Chemistry Letters*, **21**, 1627-1657. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01544-4>
- [5] 中国建筑节能协会, 重庆大学城乡建设与发展研究院. 中国建筑能耗与碳排放研究报告(2022 年) [J]. 建筑, 2023(2): 57-69.
- [6] Arasteh, H., Maref, W. and Saber, H.H. (2024) Enhancing Building Energy Efficiency: Innovations in Glazing Systems Utilizing Solid-Solid Phase Change Materials. *Thermal Science and Engineering Progress*, **55**, Article 102991. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2024.102991>
- [7] Wei, H., Zheng, Z., Xu, X., Zheng, C., Li, B., Zhao, B., et al. (2024) Fabrication and Building Energy-Saving Performance Evaluation of Polyethylene Glycol/Polymethyl Methacrylate/Expanded Graphite Thermal Enhanced Shape-Stable Phase Change Material. *Applied Thermal Engineering*, **257**, Article 124410. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2024.124410>
- [8] 于瑛, 杨柳, 刘惠, 等. 建筑节能设计基础数据共享平台设计与开发[J]. 建筑科学, 2024, 40(8): 92-97.
- [9] 蒋博雅, 黄浩, 邵望格, 等. 老旧居住区低碳改造仿真实验平台设计与实践[J]. 实验室研究与探索, 2023, 42(9): 12-18, 62.
- [10] 李冰, 李迅, 杜海龙. 既有建筑绿色低碳化改造调查研究——以北京市为例[J]. 城市发展研究, 2022, 29(12): 25-29, 35.
- [11] Kertsmik, K., Arumägi, E., Hallik, J. and Kalamees, T. (2024) Low Carbon Emission Renovation of Historical Residential Buildings. *Energy Reports*, **11**, 3836-3847. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2024.03.030>
- [12] Zhang, D., Ding, Y., Jiang, X. and He, W. (2024) Construction of Carbon Emission Evaluation Methods and Indicators for Low-Carbon Technologies in Buildings. *Energy*, **312**, Article 133529. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.133529>
- [13] Liu, K., Tian, J., Chen, J. and Wen, Y. (2022) Low-Carbon Retrofitting Path of Existing Public Buildings: A Comparative Study Based on Green Building Rating Systems. *Energies*, **15**, Article 8724. <https://doi.org/10.3390/en15228724>
- [14] 陈康海, 李丽娟, 廖国维. 建筑施工阶段温室气体排放核算框架研究[J]. 建筑科学, 2013, 29(12): 22-27.
- [15] 张瀚, 舒平, 孟霞. 既有居住建筑运行阶段碳排放影响因素显著性分析[J]. 工业建筑, 2023, 53(S2): 13-17, 37.
- [16] 许鹏鹏, 聂志琪, 廖云丹, 等. 基于 LCA 的大型商业综合体建筑运维阶段碳排放计算研究[J]. 制冷与空调, 2025,

- 25(5): 48-53+60.
- [17] 罗晓予, 曹星煜, 宋志茜. 中日建筑全生命周期碳排放比较[J]. 气候变化研究进展, 2024, 20(2): 220-230.
- [18] Chen, L., You, K., Lv, G., Cai, W., Zhang, J. and Zhang, Y. (2024) The Influence of Demographic Structure on Residential Buildings' Carbon Emissions in China. *Journal of Building Engineering*, **87**, Article 108951. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.108951>
- [19] Fang, P. (2023) Short-Term Carbon Emission Prediction Method of Green Building Based on IPAT Model. *International Journal of Global Energy Issues*, **45**, 1-3. <https://doi.org/10.1504/ijgei.2023.127664>
- [20] 常莎莎, 冯国会, 崔航, 等. 建筑行业碳排放特征及减排潜力预测分析[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2023, 39(1): 139-146.
- [21] Ali, A., Issa, A. and Elshaer, A. (2024) A Comprehensive Review and Recent Trends in Thermal Insulation Materials for Energy Conservation in Buildings. *Sustainability*, **16**, Article 8782. <https://doi.org/10.3390/su16208782>
- [22] Cabeza, L.F., Barreneche, C., Miró, L., Morera, J.M., Bartolí, E. and Inés Fernández, A. (2013) Low Carbon and Low Embodied Energy Materials in Buildings: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **23**, 536-542. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.03.017>
- [23] Wang, X., Pan, Y., Liang, Y., Zeng, F., Fu, L., Li, J., et al. (2023) A Review of Carbon Footprint Reduction of Green Building Technologies in China. *Progress in Energy*, **5**, Article 032002. <https://doi.org/10.1088/2516-1083/acdd4b>
- [24] 付杰. 装配式建筑碳排放研究综述[J]. 绿色建筑, 2023, 15(4): 43-46.
- [25] 张军学, 黄莉. 中国建筑全生命周期的碳排放研究综述[J]. 城市建筑, 2024, 21(5): 179-182.
- [26] 李小冬, 朱辰. 我国建筑碳排放核算及影响因素研究综述[J]. 安全与环境学报, 2020, 20(1): 317-327.
- [27] Li, Y., Chen, H., Yu, P. and Yang, L. (2024) The Application and Evaluation of the LMDI Method in Building Carbon Emissions Analysis: A Comprehensive Review. *Buildings*, **14**, Article 2820. <https://doi.org/10.3390/buildings14092820>
- [28] Xiong, L., Wang, M., Mao, J. and Huang, B. (2024) A Review of Building Carbon Emission Accounting Methods under Low-Carbon Building Background. *Buildings*, **14**, Article 777. <https://doi.org/10.3390/buildings14030777>
- [29] van Eck, N.J. and Waltman, L. (2010) Software Survey: Vosviewer, a Computer Program for Bibliometric Mapping. *Scientometrics*, **84**, 523-538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- [30] Chen, C. (2005) Citespace II: Detecting and Visualizing Emerging Trends and Transient Patterns in Scientific Literature. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, **57**, 359-377. <https://doi.org/10.1002/asi.20317>
- [31] 白先春, 唐德善. Logistic 模型的修正及其应用[J]. 南京工程学院学报(自然科学版), 2004, 2(2): 15-20.
- [32] De Solla Price, D.J. (1963) Little Science, Big Science. Columbia University Press. <https://doi.org/10.7312/pric91844>
- [33] Yu, Y., Li, R., Cai, W. and You, K. (2024) Historical Assessment and Future Scenario Modelling: How Do Inter-Provincial Migrants Affect the Process of Carbon Peaking in Residential Buildings? *Environmental Impact Assessment Review*, **109**, Article 107636. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2024.107636>
- [34] Huo, T., Du, Q., Qiao, Y., Cai, W. and Cai, Y. (2024) Exploring the Dynamic Evolutionary Trajectories for Urban Residential Building Carbon Emissions toward 2060: Evidence from the HSCW Zone in China. *Journal of Cleaner Production*, **457**, Article 142310. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142310>
- [35] Huo, T., Ma, Y., Yu, T., et al. (2021) Decoupling and Decomposition Analysis of Residential Building Carbon Emissions from Residential Income: Evidence from the Provincial Level in China. *Environmental Impact Assessment Review*, **86**, Article 106487. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106487>
- [36] Hirsch, J.E. (2005) An Index to Quantify an Individual's Scientific Research Output. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **102**, 16569-16572. <https://doi.org/10.1073/pnas.0507655102>
- [37] 冯璐, 冷伏海. 共词分析方法理论进展[J]. 中国图书馆学报, 2006, 32(2): 88-92.
- [38] 逯万辉, 马建霞, 赵迎光. 爆发词识别与主题探测技术研究综述[J]. 情报理论与实践, 2012, 35(6): 125-128.
- [39] Gan, J., Li, K., Li, X., Mok, E., Ho, P., Law, J., et al. (2023) Parametric Bim-Based Lifecycle Performance Prediction and Optimisation for Residential Buildings Using Alternative Materials and Designs. *Buildings*, **13**, Article 904. <https://doi.org/10.3390/buildings13040904>
- [40] Lee, J.B., Park, J.W., Yoon, J.H., Baek, N.C., Kim, D.K. and Shin, U.C. (2014) An Empirical Study of Performance Characteristics of BIPV (Building Integrated Photovoltaic) System for the Realization of Zero Energy Building. *Energy*, **66**, 25-34. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.08.012>
- [41] Hajdukiewicz, M., Byrne, D., Keane, M.M. and Goggins, J. (2015) Real-Time Monitoring Framework to Investigate the Environmental and Structural Performance of Buildings. *Building and Environment*, **86**, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.12.012>

-
- [42] Liu, Y., Xue, S., Guo, X., Zhang, B., Sun, X., Zhang, Q., *et al.* (2023) Towards the Goal of Zero-Carbon Building Retrofitting with Variant Application Degrees of Low-Carbon Technologies: Mitigation Potential and Cost-Benefit Analysis for a Kindergarten in Beijing. *Journal of Cleaner Production*, **393**, Article 136316. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136316>
- [43] Falana, J., Osei-Kyei, R. and Tam, V.W. (2024) Towards Achieving a Net Zero Carbon Building: A Review of Key Stakeholders and Their Roles in Net Zero Carbon Building Whole Life Cycle. *Journal of Building Engineering*, **82**, Article 108223. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.108223>
- [44] Pan, W. and Pan, M. (2019) Opportunities and Risks of Implementing Zero-Carbon Building Policy for Cities: Hong Kong Case. *Applied Energy*, **256**, Article 113835. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113835>
- [45] Xu, X., Chen, Z., Wan, X., *et al.* (2023) Colonial Sandcastle-Inspired Low-Carbon Building Materials. *Matter*, **6**, 3864-3876. <https://doi.org/10.1016/j.matt.2023.08.023>
- [46] Li, C., Geng, H., Zhou, S., Dai, M., Sun, B. and Li, F. (2022) Experimental Study on Preparation and Performance of Concrete with Large Content of Fly Ash. *Frontiers in Materials*, **8**, Article ID: 764820. <https://doi.org/10.3389/fmats.2021.764820>
- [47] Li, Z., Bian, Y., Zhao, J., Wang, Y. and Yuan, Z. (2022) Recycled Concrete Fine Powder (RFP) as Cement Partial Replacement: Influences on the Physical Properties, Hydration Characteristics, and Microstructure of Blended Cement. *Journal of Building Engineering*, **62**, Article 105326. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105326>
- [48] Wang, Q., Zhu, K. and Guo, P. (2024) Theoretical Framework and Research Proposal for Energy Utilization, Conservation, Production, and Intelligent Systems in Tropical Island Zero-Carbon Building. *Energies*, **17**, Article 1339. <https://doi.org/10.3390/en17061339>
- [49] Meng, Q., Hu, L., Li, M. and Qi, X. (2023) Assessing the Environmental Impact of Building Life Cycle: A Carbon Reduction Strategy through Innovative Design, Intelligent Construction, and Secondary Utilization. *Developments in the Built Environment*, **16**, Article 100230. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100230>
- [50] Xu, Q., Liu, Y., Chen, C. and Lou, F. (2023) Research on Multi-Stage Strategy of Low Carbon Building Material's Production by Small and Medium-Sized Manufacturers: A Three-Party Evolutionary Game Analysis. *Frontiers in Environmental Science*, **10**, Article ID: 1086642. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1086642>