

基于 VOSviewer 的 CO₂ 捕获吸收剂相关研究的分析



刘翰林, 刘彬*

青岛科技大学化工学院, 山东青岛 266061

摘要: CO₂ 等温室气体的过度排放所导致的全球气候变化给人类社会带来了极为不利的影响。CO₂ 吸收剂的研究对 CO₂ 捕获的效率, 改善全球气候变化问题有着极为重要的意义。为更直观明了地了解近期 CO₂ 捕获吸收剂的研究热点与研究方向, 分析 CO₂ 捕获吸收剂研究的未来发展方向。通过借助 vosviewer 软件, 对 2008-2022 年的相关文献进行计量化分析, 通过关键词共现的方法, 分析 CO₂ 捕获吸收剂研究的领域热点, 并对实现碳中和提出相应的策略, 为实现 CO₂ 捕获吸收剂效率最大化这一目标提供参考。通过研究分析, 中国、美国及韩国在 CO₂ 捕获吸收剂研究方面具有较强的综合实力和国际影响力, 离子液体、溶解度、胺、汽油、二氧化碳捕获等是本领域的研究热点方向, 为实现“碳中和”、“碳达峰”的实现提供了更好的基础。同时, CO₂ 捕获吸收剂的研究也有广阔的研究发展空间。

关键词: CO₂ 捕获; CO₂ 捕获吸收剂; 文献计量学; 碳中和; 碳达峰

DOI: [10.57237/j.wjese.2023.02.004](https://doi.org/10.57237/j.wjese.2023.02.004)

Analysis of Relevant Studies Involving CO₂ Capture Absorber Based on VOSviewer

Liu Hanlin, Liu Bin*

College of Chemical Engineering, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China

Abstract: The study of CO₂ absorbers is of great importance to the efficiency of CO₂ capture and the improvement of global climate change. In order to understand the recent hot spots and research directions of CO₂ capture absorbers and to analyze the future development of CO₂ capture absorbers, we have used vosviewer software to analyze the future development of CO₂ capture absorbers. By using vosviewer software, we analyse the relevant literature from 2008 to 2022, analyse the hotspots of CO₂ capture sorbent research through keyword co-occurrence, and propose corresponding strategies to achieve carbon neutrality, in order to provide a reference for achieving the goal of maximising the efficiency of CO₂ capture sorbents. The research analysis shows that China, the US and Korea have strong comprehensive strength and international influence in CO₂ capture absorber research, and ionic liquids, solubility, amines, gasoline and CO₂ capture are the hot research directions in this field, which provide a better basis for achieving "carbon neutrality" and "carbon peaking". This has provided a better basis for the realization of "carbon neutral" and "carbon peaking". At the same time, the research of CO₂ capture absorbers also has a broad research development space.

Keywords: CO₂ Capture; CO₂ Capture Absorbent; Bibliometry; Carbon Neutralization; Carbon Peak

*通信作者: 刘彬, 2717663738@qq.com

1 引言

目前,人类普遍面临的全球问题是气候变化,为了实现温室气体排放控制目标,实现“双碳目标”,需要推进能源转型,构建低碳高效的新型能源体系,CO₂作为温室气体,受到了全球的普遍关注,二氧化碳排放引起的气候变化已成为最受关注的问题之一[1],其捕获、应用和贮存技术成为了当下研究的热点问题[2],并对于开发未来的碳中和能源系统至关重要[3],努力进行CO₂捕获吸收剂的相关研究则显得非常重要。[4]

二氧化碳的捕获与封存技术作为实现“碳达峰”、“碳中和”的关键。中国在第七十五届联合国大会上提出“二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值,努力争取2060年前实现碳中和”的重要举措,近些年来受到了越来越多的学者与专家的关注和参与。全球CO₂的排放量正在以惊人的每年3%的速率增长,即到2030年将达到每年120亿吨,到本世纪末将超过200亿吨,这无疑是非常惊人的。按照这个速度发展下去,到2100年,整个地球的气候条件将逐步接近史前年代,温室效应造成的影响将不再适合生物生存。中国的CCUS相关政策逐步完善成熟,2006年4~5月,在北京香山会议第276次、第279次学术讨论上,与会专家提出碳捕集、利用与封存(CCUS)概念[5],试点示范项目逐步增多,整体的竞争实力在不断增强,已经表现出良好的发展势头。但从整体发展规划上看,中国的碳中和绿色低碳技术体系还未建立,重大技术发展的应用还具有一定的短板,现有的战略减排技术与完全达到碳中和这一愿景的实际需求之间还存在一定的差距。针对这些问题,发展二氧化碳捕获吸收剂技术,改善二氧化碳捕获条件,促进碳中和,可持续发展显得尤为重要,具有现实战略意义。

文献计量学是以文献体系和文献计量特征研究对象,采用数学、统计学等计量方法进行评价现状和预测发展趋势的图书情报学分支学科,近年来运用文献计量学分析方法逐渐成为潮流,其选题范围也不断拓宽,既有理论、方法探讨,又有广泛的应用研究。已有农业科学、化学化工、采矿冶金、建筑科学等50多个专业采用文献计量学方法开展过应用研究。[6]

为了理清近些年来二氧化碳捕获与封存技术中吸收剂应用工作的热点,阶段性研究前沿,目前的研究进展以及预测未来的研究方向,以web of science为数据源,采用文献计量学方法结合VOSviewer可视化分

析软件,定量分析了2018-2023年发表的1664篇相关文献。

2 数据与方法

2.1 数据来源

本文数据来源于外文期刊web of science全文数据库,WOS是目前世界上规模最大的、各学科领域覆盖面积最广的综合性学术信息资源数据库,其中包含世界上各个研究领域最具影响力的研究成果。以CO₂捕获为检索项,以“CO₂捕获吸收剂”为检索词,以精准的方式对主题进行检索,检索范围为全部期刊,时间范围为2008-2023年,检索日期为2023年3月15日,共检索1255篇文献作为本文研究的基础数据,随后通过专业知识背景和关键词等信息,人工剔除掉与本研究无关的相关词汇。[7]

2.2 研究方法

目前有很多种软件工具可以绘制知识图谱,较为广泛被使用的有CiteSpace [8, 9]、UCINET、VOSviewer和Global maps of science等。与Cite Space略有不同的是,VOSviewer更加侧重于各类的密度分析,是一款极其强大的科学知识图谱分析工具,在学术界有着极其巨大的使用量,应用于文献的各类分析。[10]本文采用vosviewer(version1.6.18版本)这款软件,这款软件是由荷兰莱顿大学科技研究中心(The Centre for Science and Technology Studies, CWTS)的van Eck和Waltman于2009年开发的一款基于JAVA的免费的文献计量分析与可视化软件,主要面向文献数据,适应于一模无向网络分析,侧重科学知识的可视化,其核心思想是“共现聚类”,其优势在于可视化,能从多个视图、多个角度对结果进行展示,构建多种矩阵并能够进行文本挖掘[9]。VOSviewer提供两种不同的查看模式:网络和叠加可视化。[11]本文主要通过WOS自带的分析检索工具筛选出发文数量、发文作者、发文国家以及发文关键词等信息并保存为“纯文本”文件。运用vosviewer对1225篇文献数据进行可视化分析及绘制知识图谱,直观的展现了目前国际二氧化碳捕获吸收剂技术的研究方向,热点、主要的研究国家和人员以及各个历史阶段的前沿研究方向[12]。并借助统计软件Excel对文献的数量,类型,作者关联,高频关键词等进行表达与分析。

3 文献计量学分析

3.1 文献类型分析

为更加清晰了解 CO₂ 捕获吸收剂研究成果的具体表现形式，更加方便我们筛选文献，我们对检索出的 1225 篇文献进行文献类型分析，发现研究论文共有 1181 篇，占比达到 90.35%，通过这些大量的研究论文我们更好的分析关于 CO₂ 捕获吸收剂方向的研究成果和研究方向。

表 1 文献类型信息

文献类型	数量/篇	百分比/%
研究论文	1181	90.35%
综述论文	73	5.59%
会议录论文	39	2.98%
在线发表	12	0.92%
书籍章节	1	0.08%
会议摘要	1	0.08%

3.2 年度发文量分析

通过分析文献发表年份可以清晰地了解到二氧化碳捕获吸收剂技术在不同时间段的发展情况以及研究的热度，并能反映出该领域的研究水平和研究程度，同时也可以反应一个国家/地区整体的科研实力以及影响力。[14]

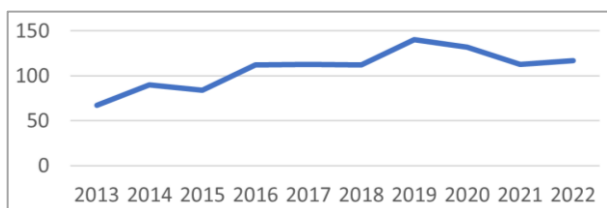


图 1 2013-2022 年发表的文献数量

如图 1 所示，该类技术的文章数量自 2013 年开始逐步增长，意味着学者们对二氧化碳捕获吸收剂技术的关注越来越多，逐渐开始重视该技术，对该领域的认识，工作不断加强，科研成果不断增加，并呈现出了一个良好的发展态势，但文献的发表数量在 2019 年达到顶峰，在 2020 年开始呈现出一种放缓甚至下降的趋势，其主要原因是受全球新冠肺炎影响的冲击，增大了各学者研究的难度，部分工作难以开展，使其放慢了对该领域的研究与讨论。而从图中不难看出，在 2022 年，文献的发表数量有明显的回暖趋势，甚至有赶超 2019 年发表数量的势头，其缘由是全球陆续适应

了疫情的节奏，顺利完成了复工复产任务，以及在全球推行“碳中和”“碳达峰”主流背景政策的不断完善，各国学者对二氧化碳捕获吸收剂技术的热情不断增加，对其技术的重视程度不断增加。

3.3 学科类别分析

通过 WOS 分析检索结果中的学科类别分类，我们可以得到近 10 年在 CO₂ 捕获吸收剂研究中排名前 4 的类别，如表 2 所示。通过分析整理我们可以看出工程化学品类所占比例最高，说明其技术在 CO₂ 捕获吸收剂研究发展领域有着不可磨灭的作用。能源燃料相关领域共发文 409 篇，总数量位居第二，说明 CO₂ 捕获吸收剂的研究与其密切相关。同时工程科学、化学多学科等相关领域也发表了较多研究论文，可以看出 CO₂ 捕获吸收剂的研究与各个学科之间的成果密切相关，出现了各学科交叉应用的现状。

表 2 排名前 4 的各学科发文量及占比

学科	发文量/篇	占比/%
工程化学品	819	65.0%
能源燃料	409	32.5%
工程环境	265	21.0%
化学多学科	239	18.9%

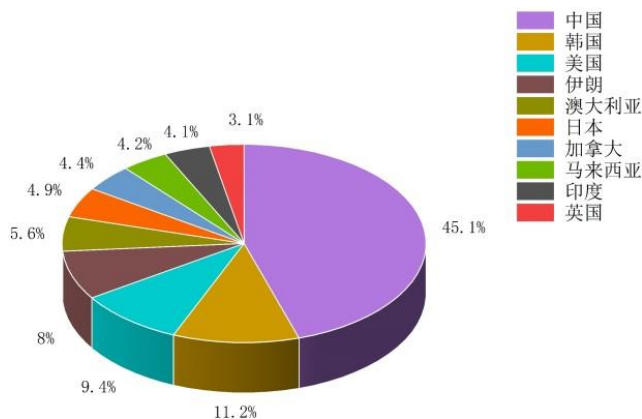


图 2 各国家间的发文量比较

3.4 发文国家分析

3.4.1 发文国家分布

2008-2022 年研究 CO₂ 捕获吸收剂领域的文献共 1225 篇，来自 61 个国家（地区）。说明目前 CO₂ 捕获吸收剂的研究在全球范围还是比较小众，涉及该领域研究的国家较少。发文量排名前 10 位的国家发文量共 1177 篇，占总发文量的 96%，说明对 CO₂ 捕获吸收剂

的研究只局限于这几个国家，其他国家对 CO₂ 捕获吸收剂的研究少之又少，体现出研究范围的局限性。其中中国占据了发文数量排行榜的榜首，发文量 531，占比 42.1%，遥遥领先于其他国家。这说明中国在 CO₂ 捕获吸收剂的研究方面有着举世瞩目的成就，同时也说明中国对 CO₂ 捕获吸收剂研究乃至完成“碳达峰”、“碳中和”目标的重视。韩国紧随其后，发文量达 132 篇，占比 10.4%，其后为美国，共发表该领域论文 111 篇，占比 8.8%。其余国家发表数量均不足百篇，说明全球对于 CO₂ 捕获吸收剂研究领域的重视程度和科研力量仍需不断加强，未来在 CO₂ 捕获吸收剂的研究领域仍有较大的发展空间。

3.4.2 主要发文国家之间的合作关系

图 3 为 CO₂ 捕获吸收剂研究领域主要国家之间的联系与合作，一条条交线展示着不同国家之间在学术研究领域之间的密切交流与联系，可以看出 CO₂ 捕获吸收剂的研究已成为一个国际性课题，需要各个国家

联起手来共同研究。从图中我们不难看出中国处于图中的核心位置，韩国和美国次之，是主要的研究国家，在图中他们的线条不断发散，连接起了众多国家，构建了一座座学术研究的桥梁。非常益于 CO₂ 捕获吸收剂研究的发展。同时也体现了这些国家在 CO₂ 捕获吸收剂研究的重视程度。

中国与美国是目前世界上的两大经济体，同时都是排碳大国，因此两国在 CO₂ 捕获吸收剂研究上承担更多的责任，带动其它国家进行深入的学术交流活动，数据统计显示，中国的碳排放量占全球总排放量的 23.5%，而美国和欧盟 27 个国家的碳排放量分别占全球总排放量的 18.27% 和 13.98%。而随着中国经济和实力的不断提升，使得中国在 CO₂ 捕获吸收剂研究领域具有后发优势，同时也为国际合作奠定了坚实基础。此外，中国已经先后同欧盟和美国等开展了碳捕获的相关合作项目，中国的科技部也同英国的能源和气候变化部签署了相关协议。[4]此外，韩国、伊朗和澳大利亚等国也在不断致力于 CO₂ 捕获吸收剂研究方面的交流与合作。

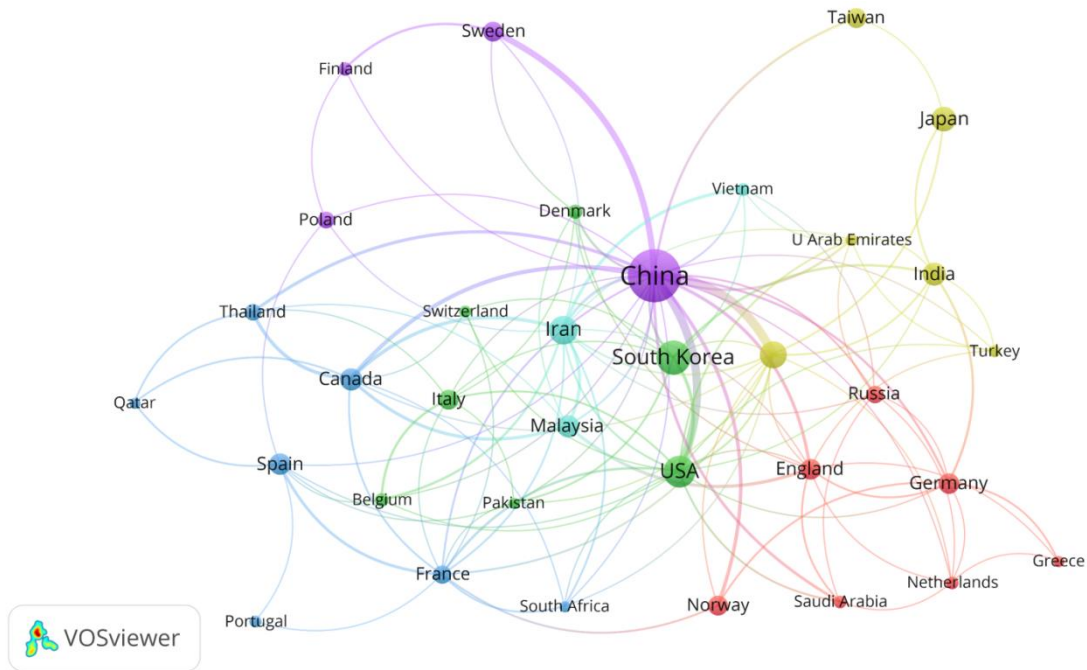


图 3 主要发文国家间的合作网络

3.5 合作发表的文献统计

合作文献反映了各个学者之间对于该领域研究的联系和交流，通过分析合作文献可以了解目前该领域主流的学者及其团队，更直观的理解分析其科研成果。

通过 vosviewer 可视化分析软件，利用 co-authorship 选项，我们即可分析作者与作者之间的联系，其中节点与节点之间的交线显示了作者与作者之间的联系与交流，节点与节点之间的交线越多，说明该作者和其他作者的联系越密集。而节点的大小则表示了作者的发文数量，其中节点越大，说明该作者发文数量越多。

3.6 发文机构分析

从 WOS 核心数据库中检索发现,在发布 CO₂ 捕获 [15]吸收剂研究领域论文的机构共有 881 个,我们采用了发表论文数目大于等于 5 篇的机构为样本制成其合作关系如图 5,并截取发文量前 10 机构如表 3。数据显示,中国的研究机构最多,为 6 个,其次是韩国,为两个。从整体上看,前 10 位机构中多为大学(7 所),其余为科研院所(3 所)。由此可见,中国十分重视 CO₂ 捕获吸收剂的研究工作,对全球 CO₂ 捕获吸收剂的研究起着非常积极的作用,同时也在国际交流合作中有着举足轻重的作用。同时通过图 5 错综复杂的交线也体现出各国的科研机构之间已经建立起密切的合作交流,推动着该领域的不断发展与进步,共同为着 CO₂ 捕获吸收剂研究的深入以及世界 CO₂ 减排的为伟大目标而奋斗着。而未来各国科研机构和人员更应牢记实

现“碳达峰”、“碳中和”这一目标的伟大使命,积极开展研究方面的联系与交流,取长补短,齐头并进,为 CO₂ 捕获吸收剂的研究贡献自己的力量。

表 3 发文量前 10 的机构及占比

所属机构	记录数	占比/%
英联邦科学工业研究组织	48	3.8%
浙江大学	39	3.1%
北京化工大学	37	2.9%
湖南大学	37	2.9%
韩国能源研究院基尔	35	2.8%
浙江工业大学	35	2.8%
中国科学院	34	2.7%
清华大学	32	2.5%
挪威科技大学	31	2.5%
延世大学	31	2.5%

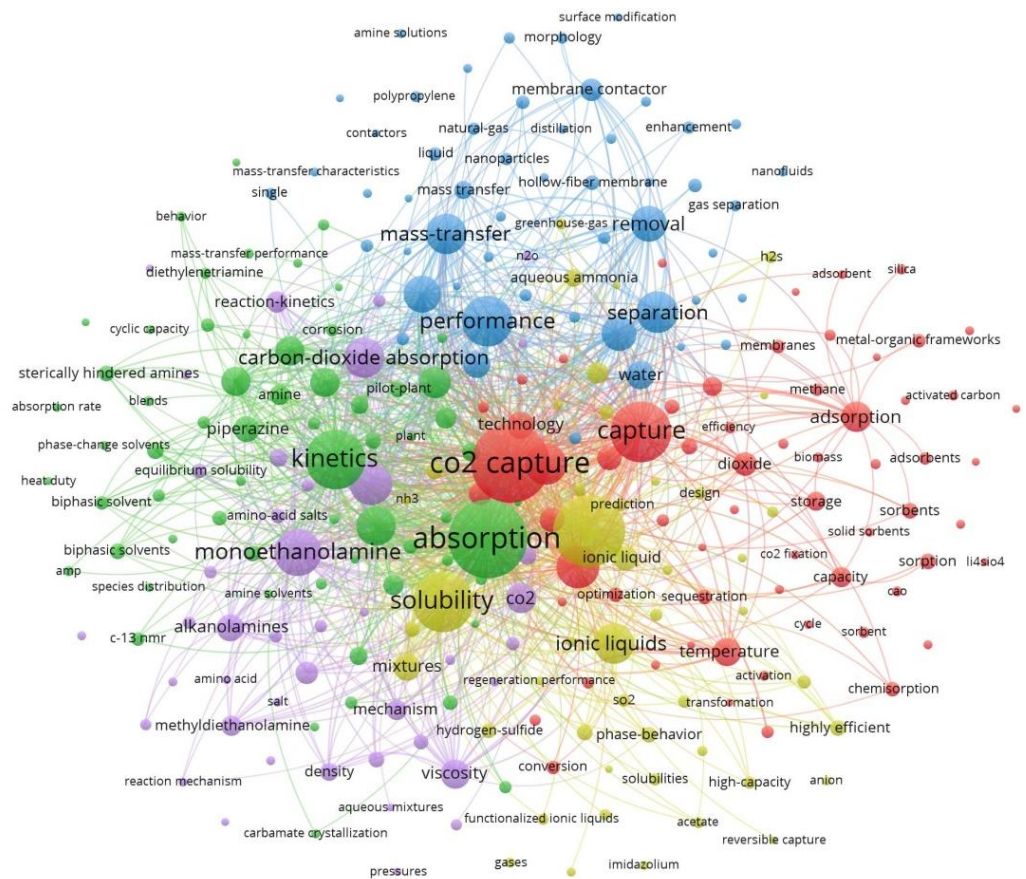


图 6 高频关键词热度图

4 研究热点与发展趋势

4.1 研究热点分析

关键词是揭示论文主题、研究内容的重要方式，同时也是研究主题、研究方向的高度概括，一个关键词出现的频次等于附有该关键词的学术论文的总数，关键词出现的频次越高，说明相关的研究成果数越多，研究内容的集中性就越强，研究热度越高，即可以通过这个角度来展示该领域的研究热点。使用 vosviewer 软件对文本数据进行分析。将检索的 1225 篇文献中的关键词信息通过文本导入 vosviewer 软件中，通过运用软件中的关键词“共现”功能，对关键词进行分析，通过彩色网络标签视图来展示（如图 6）。图中节点圆圈越大，说明该关键词出现的频率越高，越靠近中心位置的节点圆圈，说明其具有越强的重要性，即说明该关键词在其领域有重要概念；节点圆圈之间越接近，说明二者共同出现在同一篇文献中的次数越多；连接两个节点之间的交线越粗，说明二者之间的联系越大且在同一篇文献中出现的次数越多；节点间不同的颜色表示不同的类型，其中相同颜色的节点表示同一种类型，即他们的研究方向、研究主题是相同的。而从图 6 中可以看出，节点“二氧化

碳捕获”、“动力学”、“溶解度”、“离子液体”等是本研究领域的热点或重要的研究方向。

由于软件具有一定的缺陷，不能够识别同义词以及具有无关意义的词汇，对此，经过筛选后，绘制了该高频关键词热度图，通过分析，“CO₂ 捕获”，“捕获”，“溶解度”，“动力学”，“单乙醇胺”，“离子液体”，“传质”等关键词出现频率较高，由此我们可以分析二氧化碳捕获吸收剂研究方向主要集中于这几个方面。而且说明了二氧化碳捕获吸收剂技术与溶解度、单乙醇胺、离子液体有着密切联系。开展二氧化碳捕获吸收剂技术的发展离不开二氧化碳捕获技术、离子液体、动力学等方面的研究以及协助，成熟的发展后者的相关技术能为前者的发展奠定坚实的基础，而众多的节点也说明二氧化碳捕获吸收剂技术的发展众多方向的共同研究，以及众多不同研究方向的团队之间进行协作交流。

4.2 发展趋势分析

通过 vosviewer 软件中的 Overlay Visualization 选项，可以清晰直观的看出在不同时间段的高频关键词，从而分析出不同时间段的研究热点并预测未来的研究热点及方向。如图 7 所示。

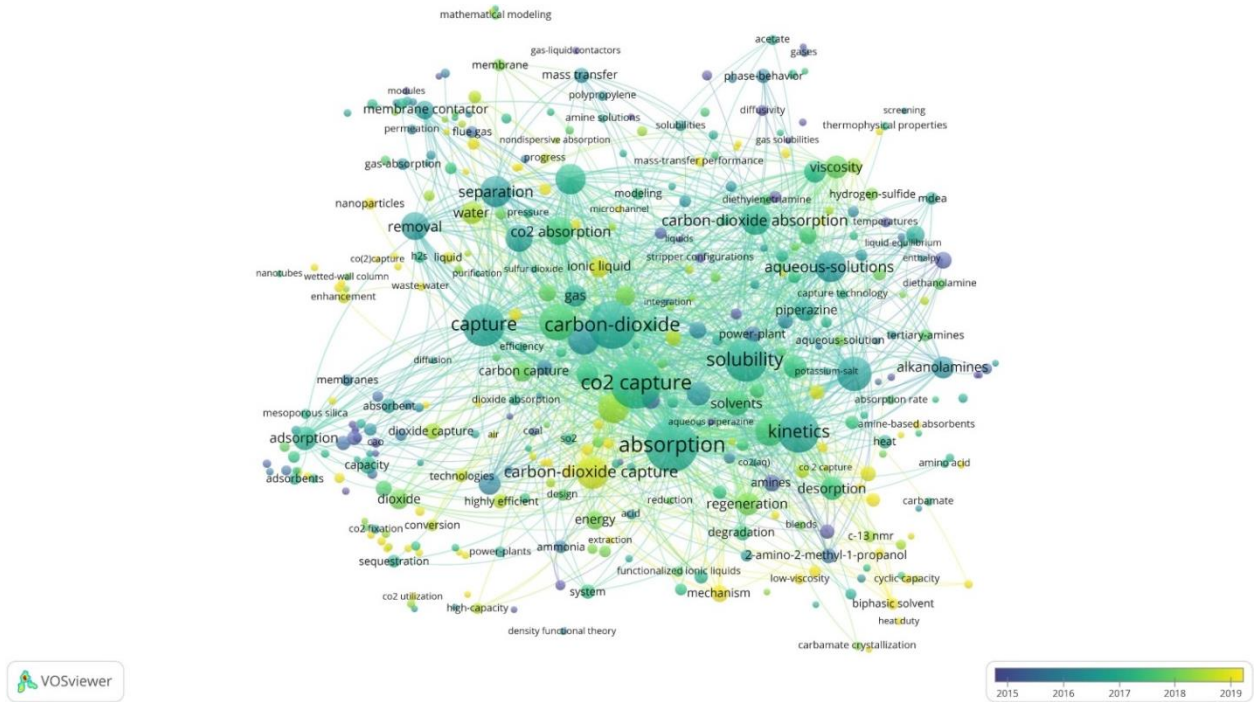


图 7 关键词集群的聚类时序网络

颜色越深的节点表示该研究热点的时间越早，反之，颜色越浅的节点则表示越前沿的研究热点。从图 8 可以分

析看出，该领域早期的研究热点主要集中于氨基二乙醇胺、扩散能力等方向，而随着时间的推移，在 2017-2018

参考文献

- [1] Xu H. J., Hu P. Y. Progress on fundamentals of adsorption transport of metal-organic frameworks materials and sustainable applications for water harvesting and carbon capture [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2023, 393.
- [2] 娜斯曼 吐尔逊. 用于二氧化碳捕获的固体吸附剂研究概述 [J]. *山西化工*, 2022, 42 (04): 19-20. DOI: 10.16525/j.cnki.cn14-1109/tq.2022.04.007.
- [3] Xu Qianghui, Wang lwei, Li Zhenshan, Shi Lin. A calcium looping system powered by renewable electricity for long-term thermochemical energy storage, residential heat supply and carbon capture [J]. *Energy Conversion and Management*, 2023, 276.
- [4] 万大川, 冯倩倩, 高进胜, 周婧, 韩博. 流量计量在“碳达峰、碳中和”的重要意义和前景展望 [J]. *工业计量*, 2022, 32 (S1): 34-37.
- [5] 秦积舜, 李永亮, 吴德彬, 翁慧, 王高峰. CCUS 全球进展与中国对策建议 [J]. *油气地质与采收率*, 2020, 27 (01): 20-28. DOI: 10.13673/j.cnki.cn37-1359/te.2020.01.003.
- [6] 温芳芳. 中国情报学期刊论文零被引现象的计量分析——基于零被引与高被引论文的比较. *情报科学*, 2016, 34 (8): 128-132.
- [7] 杨金康, 赵鹏, 睢福庆等. 纳米颗粒与植物相互作用的研究热点和演变趋势分析——基于 CiteSpace 和 VOSviewer 的知识图谱方法 [J]. *生态毒理学报*, 2023, 18 (01): 460-472.
- [8] 郑娜, 邵党国. 信息可视化分析工具的比较分析——以 CiteSpace、SATI 分析关键词共现为例 [J]. *软件*, 2017, 38 (10): 39-46.
- [9] 张力, 赵星, 叶鹰. 信息可视化软件 CiteSpace 与 VOSviewer 的应用比较 [J]. *信息资源管理学报*, 2011, 1 (1): 95-98.
- [10] 杨婷婷. 基于 VOSviewer 的图书馆管理系统研究的可视化分析 [J]. *现代信息科技*, 2023, 7 (03): 123-126+130. DOI: 10.19850/j.cnki.2096-4706.2023.03.028.
- [11] Abdelwahab Siddig Ibrahim, Taha Manal Mohamed Elhassan, Moni Sivakumar S., Alsayegh Abdulrahman A.. Bibliometric mapping of solid lipid nanoparticles research (2012–2022) using VOSviewer [J]. *Medicine in Novel Technology and Devices*, 2023, 17.
- [12] Ahoum Kemeç Abidin, Altınay Ayşenur Tarakcıoğlu. Sustainable Energy Research Trend: A Bibliometric Analysis Using VOSviewer, RStudio Bibliometrix, and CiteSpace Software Tools [J]. *Sustainability*, 2023, 15 (4).
- [13] 高云峰, 徐友宁, 祝雅轩, 张江华. 矿山生态环境修复研究热点与前沿分析——基于 VOSviewer 和 CiteSpace 的大数据可视化研究 [J]. *地质通报*, 2018, 37 (12): 2144-2153.
- [14] 牛硕, 陈卫平, 杨阳, 等. 基于文献计量的重金属污染土壤修复材料研究热点和前沿分析 [J]. *环境工程技术学报*, 2022, 12: 1-13.
- [15] 杨磊. 碳捕捉与封存技术浅论 [J]. *应用能源技术*, 2014 (01): 11-14.
- [16] 薛博, 刘勇, 王沉等. 碳捕获、封存与利用技术及煤层封存 CO₂ 研究进展 [J]. *化学世界*, 2020, 61 (04): 294-297. DOI: 10.19500/j.cnki.0367-6358.20190704.
- [17] 董书豪. 中国碳捕获、利用与封存(CCUS)技术的发展现状与展望 [J]. *广东化工*, 2021, 48 (17): 69-70.
- [18] 孟菲平, 何新华, 罗聪, 韦昌联. 基于文献计量学和 VOSviewer 的世界芒果研究态势分析 [J]. *中国果树*, 2023 (01): 83-88+99. DOI: 10.16626/j.cnki.issn1000-8047.2023.01.015.