

碳中和技术研究进展及展望的综述

石辉

重庆三峡科技大学

DOI:10.32629/eep.v9i3.3106

[摘要] 碳中和技术是以减排、节能和增效为核心的新技术体系,主要分为捕集、封存以及低碳新能源技术三个大类,目的是减少碳排放和增加碳固定。关于捕集技术,主要有提高捕集效率、降低成本、减少能耗以及提升材料和工艺的稳定性这几个发展方向。同时,封存技术和低碳新能源技术在多个领域取得了显著的进步,为促进绿色可持续发展提供了技术支持。碳中和技术的发展前景可观,但需要全球一起努力,持续加大投入,不断推动创新。

[关键词] 碳中和; 捕集技术; 封存技术; 新能源

中图分类号: TU241.91 文献标识码: A

Advances and Prospects in Carbon Neutrality Technologies: A Review

Hui Shi

Chongqing Sanxia University of Science and Technology

[Abstract] Carbon neutrality technologies represent a new technological framework centered on emission reduction, energy conservation, and efficiency improvement. They can be broadly categorized into three areas: capture, storage, and low-carbon renewable energy technologies. The goal is to reduce carbon emissions and increase carbon sequestration. In terms of capture technologies, efforts are focused on improving efficiency, reducing costs, lowering energy consumption, and enhancing the stability of materials and processes. Meanwhile, both storage technologies and low-carbon renewable energy technologies have made significant progress in various fields, providing technical support for building a green and sustainable future. While the prospects for carbon neutrality technologies are promising, global cooperation and continued investment are necessary to drive innovation forward.

[Key words] carbon neutrality; capture technology; storage technology; new energy

引言

碳中和,这个定义最早是出现在欧洲,欧盟首先在《欧洲绿色协议》文件里面提出了要建成世界上首个“碳中和”地区(2050年)。“碳中和”作为一个非常专业的词汇,现在已经飞入寻常百姓家,万众瞩目。金融市场上“碳中和”相关的企业股价获得了长时间的上涨;然而,“碳达峰”以及“碳中和”工作应该如何干?中央会议确定了“碳达峰”以及“碳中和”工作的定位,为“碳达峰”工作(今后5年)谋划了清晰的“施工图”。按照会议的规划,在2030年前我国要实现“碳达峰”,在2060年前我国要实现“碳中和”。有大量专家指出,新能源与可再生能源势可作为实现“碳达峰”以及“碳中和”的重要路径,必须尽快加入现有的能源体系,实现基础理论、产业形态以及技术链条等环节取得突破。

据数据估计显示,我国的碳排放总量多达114亿吨(2022年),占全球碳排放总量的30.81%^[1]。因此,通过碳中和技术的发展实

现“碳中和”,对于控制全球气候变暖具有非常重要的生态意义^[3]。目前,碳中和技术主要有捕集、封存以及低碳新能源技术^[2]。

吴跃东等人^[4]提出,需要加大低投入、高成效技术的开发力度,如钢渣微生物碳化技术,在确保碳化钢渣具有凝胶特性的同时,提升了钢渣碳化的效率,可有效实现碳减排目标。在非均质孔隙内,王思佳等人^[5]采集到了两相分布的形态以及流动的特点,进一步量化了CO₂饱和度,对CO₂的封存容量进行了评估,对CO₂残余捕集过程在重力下的影响进行阐明。针对工业园区零碳转型的需求,李江南等人^[6]建立了一种“新能源发电+氢储能”与“火电+碳捕集”的多能互补技术组合,结果显示:该组合既增加了风、光新能源的消纳,又降低了运行的成本,这验证了园区零碳转型的可行性。

除了以上的发现,碳中和技术的研究进展还有很多。本文通过在英文数据库及中文数据库搜索文献,对碳中和技术的研究进展进行分类整理,并提出发展展望。

1 材料和方法

通过英文数据库: SCI-HUB、Science Direct、Web of Science及中文数据库: 知网、万方、维普以碳中和、捕集技术、封存技术、新能源、温室效应、研究进展作为关键词、主题; 以文献题目搜索中外文献。对其中有关碳中和技术的研究进展进行分类整理分析。

2 结果与讨论

通过计算CO₂排放总量, 然后通过植树等方式把这些排放量吸收掉, 以达到环保的目的过程就是“碳中和”。碳中和技术主要包括三大类: (1) 捕集技术、(2) 封存技术、(3) 低碳新能源技术。

2.1 温室气体的捕集技术

常规的捕集技术有生物捕集, 让绿色植物吸收大气中的CO₂。化工厂排出的废气里, CO₂占比可能高达80%, 在烟囱上加装吸附装置, 能把大量CO₂捕集回来^[7]。

目前这个技术需要极高的价格, 捕集1吨CO₂可能需要花600美元。为了降低成本从而提高效率, 科学家们正在努力改进技术。封存技术捕集的CO₂, 通过高压管道送到地下或者是海底永久封存。有实验室在做大量的研究把捕集的CO₂用作原料创造经济价值。比如, 可以通过生物转化过程将捕集的CO₂做成食品、饲料和肥料; 网红抗氧化剂虾青素就是通过超临界CO₂从植物中提取出来的^[8]。

捕集技术(CCS)是应对全球气候变暖的重要手段之一。目前全球变暖的问题日益严重, 在此过程中, 关于捕集技术的研究和应用也取得了一定的进展。化学吸收: 利用氨水、胺类化合物(作为吸收剂)来与CO₂发生特定的化学反应, 从烟气中将CO₂分离出来, 比较常用的吸收剂是单乙醇胺, 不过它存在强腐蚀性和高能耗等问题, 研究人员正在开发更加高效能、低能耗的新型吸收剂; 物理吸收: 在高压环境下不同物质对CO₂的溶解度特性不同, 由此对CO₂进行捕集, 例如有机溶剂和离子液体在高压条件下对CO₂的溶解效果较好, 在天然气处理等领域比较适用; 传统吸附剂: 已经在工业上广泛使用主要有活性炭和沸石, 但吸附容量和选择性有限, 限制了这些材料的使用; 新型吸附剂: 如金属有机框架材料、共价有机框架材料, 高比表面积和可调孔径使得它们能够显著提高CO₂的捕集效率; 聚合物膜: 如具有良好的选择性和渗透性但耐高温的性能较差的聚乙烯醇膜; 无机膜: 如具有优异的热稳定性和耐化学性但制造成本比较高的碳分子筛膜和金属氧化物膜; 低温冷凝法: 目的是使得CO₂凝结(通过降低烟气的温度)实现分离但能耗较高, 主要适用于高浓度CO₂气体的捕集, 若与其他技术结合进行优化升级效果更佳; 生物捕集法: 利用生物体进行CO₂的捕集和固定, 如微藻能够通过光合作用吸收CO₂并产生大量生物质, 这种方法对环境比较友好, 但需要优化生物反应器设计和培养条件; 近年来, 研究人员还在继续探索多种技术的组合使用以提高捕集效率并降低成本, 如吸附-吸收联合和膜分离-吸收联合等技术^[9]。

捕集技术(CCS)的工业应用前景可观, 主要有: (1) 应用于发电厂: CO₂排放的主要来源之一是发电厂, 而CCS技术可以显著减

少CO₂的排放量。(2) 应用于钢铁和水泥工业: 这些企业是产生大量CO₂的关键主体, CCS技术的应用可以帮助相关企业实现碳中和目标。(3) 应用于天然气处理环节: 处理天然气的过程中需要去除CO₂, CCS技术可以大大提高天然气的纯度和质量^[10]。

综上所述, 提高捕集效率、降低成本、减少能耗以及提升材料和工艺的稳定性都是捕集技术的发展方向。CCS技术在未来有望成为应对气候变化的重要手段, 离不开技术的进步以及国家政策的支持。

2.2 温室气体的封存技术

碳捕集与封存要想真正发挥作用, 离不开一个关键环节——温室气体的封存, 也就是我们常说的碳封存技术。简单来说, 它的目标就是把捕集到的CO₂安全地、长久地存起来, 不让它跑回大气中。当下用得最多的方法是地质封存: 把CO₂变成液态或超临界状态, 然后注入地下, 封存在盐水层、枯竭的油气田或者煤层里。

具体来看, 几种常见的封存方式各有特点。盐水层封存, 就是找那些深层、有低渗透性盖层且储集空间够大的盐水层, 把CO₂打进去; 油气田封存, 则是在枯竭的油气田中注入CO₂, 顺便还能提高油气的采收率。海洋封存靠的是深海里的低温和高压, 把CO₂转成液态或固态, 再沉到深海或海底沉积物中。溶解封存则是利用CO₂在海水中的溶解和化学反应, 来降低大气中的浓度。矿化封存(也叫矿物碳化)是通过化学反应生成稳定的碳酸盐矿物, 比如把CO₂注入海底的玄武岩层里。陆地生物封存主要靠植树造林、改善土壤管理等方式, 增加土壤和植被中的碳储量。海洋生物封存则是通过提升海洋生物的生产力, 把CO₂转化成生物质, 再靠沉降作用把碳锁在海底。此外, 还有化学转化路线, 比如用工业尾气中的CO₂与金属氧化物反应生成碳酸盐矿物, 或者把CO₂做成化工产品, 像合成燃料、塑料等^[11]。随着这些技术不断成熟完善, 碳封存有望在减缓全球气候变化中扮演越来越重要的角色^[12]。

为了推动技术更进一步, 很多国家已经出台了各种政策和激励措施, 比如碳税、碳交易、直接补贴等。研究者也在用经济模型评估不同封存技术的成本效益, 总的来看, 随着技术越来越成熟、应用规模越来越大, 封存成本有望进一步下降, 商业化的前景也会更加明朗^[13]。

总而言之, 封存技术已经在多个领域取得了实实在在的研究进展。这些进展不仅提升了技术的有效性和安全性, 也推动了它在全球范围内的实际应用, 为应对气候变化提供了重要的技术支持。

2.3 低碳新能源技术

近年来, 低碳新能源技术发展很快, 不少方向都冒出了值得关注的成果。比如光伏领域, 多结太阳能电池和钙钛矿太阳能电池的效率持续刷新纪录, 尤其是钙钛矿材料, 因为光电转换效率高、生产成本低, 已经成为研究热点。再说太阳能集热技术, 主要在热能储存和转换上有了突破, 新型储热材料加上高效集热系统, 让太阳能利用变得更稳定、更高效。

风力发电这边,现代风力涡轮机越做越大,效率也越来越高。一个明显的变化是海上风电场的数量大幅增加,随着涡轮机设计和安装技术不断改进,风能利用效率提升了不少。同时,大数据和人工智能也在帮风能预测变得更准——风速、风向的预测精度提高了,风电场的运行和维护策略自然也跟着优化了。

核能方面也有好消息。国际热核聚变实验堆(ITER)项目取得了重要进展,新一代核聚变反应堆在能量输出和安全性上都表现不错,离实用化越来越近。另外,小型模块化反应堆(SMR)因为建造时间短、成本低、灵活性高,成了很多国家的重点发展对象,能适应不同的电力需求和地理条件。

制氢技术也在进步,尤其是绿色制氢(比如用可再生能源电解水制氢),效率和成本都有明显改善,碳排放显著减少。生物质能方面,快速热解、气化等转化工艺的改进提高了利用效率,第二代、第三代生物燃料(像纤维素乙醇、藻类生物燃料)正逐步走向商业化。地热泵系统也有了新进展,新型热泵材料和换热技术提升了能效比,在建筑供暖和制冷中应用越来越普遍。

最后是电池储能。锂离子电池在能量密度、充放电速度和循环寿命上不断突破,同时钠离子电池、固态电池、液流电池等新型电池技术也在快速发展^[11]。

总的来说,低碳新能源技术已经在多个领域取得了实实在在的进展。这些进展不光提高了能源利用效率,也推动了全球范围的新能源应用,为构建绿色、可持续的未来提供了重要的技术支撑。

3 结论

碳中和技术,说白了就是以节约资源、提高能效、减少污染为核心的一条新路子。它的根本目标,是让人为活动排放的温室气体和吸收它的“汇”之间达到平衡,主要靠碳减排和碳固定这两条腿走路。眼下,碳中和技术大致分成三大块:捕集技术、封存技术,还有低碳新能源技术。

就拿捕集技术来说,未来主要得往这几个方向使劲:提高捕集效率、降低成本、减少能耗,同时让材料和工艺更稳定。另外,随着技术进步和政策支持,CCS技术以后很有可能成为应对气候变化的关键手段。再看封存技术和低碳新能源技术,它们也在不少领域取得了实实在在的进展。这些进展不光让能源利用效率更高,也推动了新能源在全球范围的应用,给打造绿色、可持续的未来撑起了技术腰杆。

当然,光靠这些还不够,全球得一起努力,持续投钱、持续创新才行。

[参考文献]

[1]Cao J X,Zhang J,Chen Y,et al.Current status,future prediction and offset potential of fossil fuel CO₂ emissions in China[J].Journal of Cleaner Production,2023,426:139-207.

[2]Yang R F,Xu J.A review of the research progress of carb on neutralization technology in China[J].Journal of Guangdong University of Technology,2024,41(1):1-10.

[3]周启星,王辉,欧阳少虎.基于碳中和新技术的美丽中国建设[J].中国环境科学,2024,44(04):1777-1787.

[4]吴跃东,闫文,岳昌盛,等.钢渣碳酸化及微生物矿化提升技术的理论研究与探索[J].环境工程,2024,42(3):171-175.

[5]王思佳,李少华,吕鹏飞.CO₂地质封存中重力对气水两相流动特性影响研究[J].工程热物理学报,2024,45(3):845-849.

[6]李江南,程初俐.含碳捕集及电转氢设备的低碳园区综合能源系统随机优化调度[J].中国电力,2024,57(5):149-156.

[7]Tang Y,Li L C,Yue F,et al.Quantitative evaluation of global carbon neutral strategic actions and policies and research on frontier development trends[J].Data Analysis and Knowledge Discovery,2024:1-20.

[8]Maktabifard M,A1-Hazmi H E,Szulc P,et al.Net-zero carbon condition in wastewater treatment plants: A systematic review of mitigation strategies and challenges[J].Renewable & Sustainable Energy Reviews,2023,185:113638.

[9]Fan S J,Xu G Q,Zhao Q, et al. Power System Optimization with energy storage and Carbon Neutrality Scenario Analysis of China[J].China Environmental Science,2023:1-15.

[10]Yu G R,Zhu J X,Xu L,et al.Technological approaches to enhance ecosystem carbon sink in China: Nature-based solutions[J].Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2022,37(4):490-501.

[11]Luhmann A J, Kong X Z, Tutoło B M, et al. Permeability Reduction Produced by Grain Reorganization and Accumulation of Ex-solved CO₂ during Geologic Carbon Sequestration: A New CO₂ Trapping Mechanism[J].Environmental science & technology,2013,47:242-251.

[12]Chang C,Zhou Q,Kneafsey T J,et al.Coupled Supercritical CO₂ Dissolution and Water Flow in Pore-Scale Micromodels[J].Advances in Water Resources,2019,123:54-69.

[13]Avendano J,Lima N, Quevedo A, et al. Effect of Surface Wettability on Immiscible Displacement in a Microfluidic Porous Media[J].Energies,2019,12(4):664.

[14]冯帅,袁至,李骥,等.碳交易背景下基于综合协调储能系统的碳捕集电厂优化调度[J].中国电力,2023,56(6):139-147.

作者简介:

石辉(1999—),女,苗族,重庆市秀山县人,研究生,研究方向:土壤碳排放。