

“CCUS大规模集成化发展”专题

客座主编致读者

《巴黎协定》的达成和全球碳中和目标的提出，使CCUS成为实现大规模化石能源零排放利用的重要技术选择。同时CCUS也是实现能源系统灵活可靠与低碳排放的关键技术手段和削减各行业剩余碳排放的托底技术保障。全球针对碳捕集利用与封存（CCUS）技术不断加大投资力度，产业集群化建设和规模化发展趋势明显，成为低碳技术竞争的新高地。然而，我国作为CCUS技术需求大国，在技术发展、项目示范、激励政策和监管制度等方面存在较多挑战，整体发展滞后于欧美，亟需超前部署。国务院印发的《2030年前碳达峰行动方案》中指出，要深化CCUS应用的基础研究，集中力量开展低成本CCUS等技术创新，建设全流程、集成化、规模化CCUS示范项目。在此背景下，开展CCUS规模化集成示范应用的研究对于实现“双碳”目标具有重要意义。

为加快推动CCUS规模化、产业化发展，我国学者在CCUS技术研发创新、CCUS潜力评价与规模化部署、CCUS综合效益与政策体系、负排放技术评估等方面开展了大量深入研究，并取得了重要的研究进展和系列成果。应《洁净煤技术》编辑部邀请，我们策划出版了“CCUS大规模集成化发展”专题。专题收录了来自中国21世纪议程管理中心、中国科学院武汉岩土力学研究所、清华大学、浙江大学、同济大学、天津大学、华中科技大学、中国石油大学（北京）、中国矿业大学（北京）、广东南方碳捕集与封存产业中心、国家能源集团、中国华能集团、中石油勘探开发研究院、中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司等国内多家高校、科研机构、企业的17篇论文。

（1）CCUS技术研发创新方面：中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司王润宇等以全容量二氧化碳捕集的630 MW机组为对象，研究了碳捕集系统工艺参数选择及多种余热利用方法对汽轮机发电效率的影响；江汉大学王小雨等构建了以CuO/Cu₂O为氧载体的600 MW化学链氧解耦燃煤发电系统，并基于仿真结果分别分析了该系统的能量、烟和烟成本；天津大学陈羿骥等通过调节水-乙酸比例合成并表征了UiO-66-NH₂材料，提出了促进Zr-MOFs二级结构形成的机理，成功实现其百克级规模化合成；西子清洁能源装备制造股份有限公司俞苗等建立了基于压缩式热泵技术的有机胺法捕集CO₂流程模拟模型，探究了相关工艺流程对CO₂再生过程的影响；浙江工业大学沈遥等采用物理浸渍将四乙烯五胺分子封装入MOF-808的孔道内，开发了一种胺基分子高度分散的胺基功能化吸附材料TEPA@MOF-808；南京师范大学宋夏等通过制备复合碱激发胶凝材料样品，研究了碱激发胶凝材料配比、矿化养护压力以及矿化养护时长在自然养护和矿化养护中的影响。

（2）CCUS潜力评价与规模化部署方面：中国科学院武汉岩土力学研究所刘胜男等采用基于企业特征与优化后的企业尺度CCUS源汇匹配系统评估模型，定量评估了燃煤电厂CCUS改造的技术经济性和减排潜力；中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司包琦等分析了海南洋浦、海口及福建漳州地区的天然玄武岩样品的矿化效果，同时构建了封存潜力评估公式，并以海南地区为例进行了封存潜力评估；中国石油勘探开发研究院王高峰等通过分析中国大规模CCUS-EOR项目的技术现状、经济

性及其影响因素，提出了适用于复杂油藏的滚动建设模式，并提供了政策建议；清华大学李吉喆等通过模糊可能性、随机机会约束和区间线性规划等方法，构建了基于区间模糊机会约束规划方法的CCUS源汇匹配模型，进一步探究了CCUS规模化部署的风险管理和决策支持方案。

(3) CCUS综合效益与政策体系方面：清华大学吕昊东等立足全球气候变化治理与推动碳中和目标下的经济社会发展的战略决策，以CCUS技术发展为基础，探索了CCUS技术部署与环境、经济、社会的协同效益；内蒙古大学侯荟芸等采用全球变化评估模型及煤电退役速率下的三种发展路径耦合情景，基于技术学习曲线模型动态量化了CCUS技术应用于电力系统低碳转型中的不同成效；中国21世纪议程管理中心史明威等比较了中美两国在CCUS技术领域的潜力需求、政策法规、研发示范等情况，并提出了中美在CCUS技术领域开展合作的潜在方向；同济大学姚悦等围绕碳管理的内涵与外延、技术细分、全球前沿进展、中美发展态势对比等方面进行了深入的分析。

(4) 负排放技术评估方面：国家能源集团翁小涵等综述了快速发展的直接空气碳捕集与封存和生物质能耦合碳捕集与封存技术的最新研究进展与应用情况；中国矿业大学（北京）肖姝璇等构建了直接空气捕集技术（DAC）项目选址指标体系，并基于该指标体系对相关领域的专家开展问卷调查，评估了各项指标影响DAC选址的重要性；中国石油天然气集团公司周爱国等采用自上而下的工程经济分析方法构建了DAC成本分析及预测模型，并选取基于液体吸收工艺和固体吸附工艺的DAC技术，研究了不同规模情景、技术路径、能源类型下的DAC成本。

值此专题刊出之际，我们谨代表编辑部对众多学者的踊跃投稿表示真诚的谢意，同时感谢同行专家们对每篇稿件耐心细致的审阅和提出的宝贵意见。希望本专题能加深读者对CCUS技术和示范项目的了解和关注，从而促进相关研究和技术的快速发展。

孙勇 鲁奎 王舟 樊静丽

2024年10月

客座主编



张 贤 研究员

中国21世纪议程管理中心

张贤，博士，研究员，中央和国家机关青年联合会第一届委员会常务委员，现任国家自然科学基金委中国21世纪议程管理中心全球环境处（气候变化国际合作处）处长，中国可持续发展研究会气候变化工作委员会主任，入选国家高层次人才特殊支持计划，国家万人计划“青年拔尖人才”，全球前2%顶尖科学家。长期从事气候变化和低碳技术发展领域重大问题的战略研究，致力于促进CCUS技术的发展和转移南南合作。主要研究包括CCUS等技术价值形成机理、减排潜力评估、系统协同优化。在*Nature Climate Change*、*Nature Communications*、*iScience*等*Nature*、*Cell*主要资源环境类子刊、以及中国工程院*Engineering*、《中国科学院院刊》等国内外重要期刊发表高水平论文100余篇、出版著作20余部，并作为负责人主持或参与国家、省部级项目40余项，承担多项国际双边和多边合作项目。作为国别代表参加国际气候变化谈判和清洁能源部长级会议、创新使命等多个部长级合作机制，与联合国计划开发署、国际能源署等国际机构开展广泛合作。负责组织《中国碳中和技术发展路线图》研究，牵头编写了《中国碳捕集利用与封存技术发展路线图》，并作为首席作者牵头完成了《第三次气候变化国家评估报告》和《第四次气候变化国家评估报告》CCUS技术专题评估。主笔的系列咨询报告被中办国办采用，多篇得到党和国家领导人批示。

客座编辑



鲁 玺 教授
清华大学
清华大学碳中和研究院

鲁玺，清华大学环境学院特聘教授，碳中和研究院院长助理，国家杰出青年科学基金获得者，国家自然科学基金重点项目负责人。长期从事碳中和背景下可再生能源的持续发展问题，主要研究方向为可再生能源“供-用”全链条评估技术、可再生能源潜力与变动性精准化评估方法与数据库、可再生能源倍增式发展的环境综合效应、区域与园区碳中和转型路径与智慧能源管理系统、区域与园区温室气体监测与核算等，为开发利用可再生能源与碳中和转型提供关键分析工具与数据库支撑。近年来在*Science*、*PNAS*、*Nature Energy*、*Nature Communications*、*Nature Sustainability*、*Joule*等国际高水平期刊上发表SCI/SSCI论文70余篇。担任中国工业节能与清洁生产协会碳中和专委会主任、中国环境科学学会青年科学家分会常务副主任、中国能源研究会能源工程专业委员会副主任委员、科技部中国21世纪议程管理中心碳中和咨询专家、UNESCAP亚太能源联盟智库专家（APNETT），以及《碳中和科技评论》执行主编与国内外多个能源环境期刊的编辑与编委。先后获得首批北京市先进科技工作者、中国环境科学学会青年科学家奖（金奖）与第十五届中国青年科技奖等。



王 涛 教授
浙江大学

王涛，浙江大学能源工程学院教授、博士生导师，教育部煤炭分级转化清洁发电协同创新中心副主任。长期从事燃烧后二氧化碳捕集与矿化利用的理论、技术及应用研究。承担国家重点研发计划项目、国家重点研发计划课题、国家自然科学基金等科研项目10余项，参编国家标准2项、团体标准4项，牵头制定我国首个火电行业二氧化碳化学吸收溶液管理行业标准，参编《中国碳捕集利用与封存技术评估报告》《第四次气候变化国家评估报告》《中国碳捕集利用与封存技术发展路线图（2019）》等著作，发表论文70余篇，获授权发明专利40余项。



樊静丽 教授
中国矿业大学（北京）

樊静丽，中国矿业大学（北京）能源与矿业学院副院长，教授、博士生导师。入选教育部长江学者奖励计划青年学者、全球前2%顶尖科学家终身和年度科学影响力榜单（斯坦福大学）、第二批中国科协“青年人才托举工程”、国际清洁能源拔尖创新人才培养项目、霍英东基金会青年教师基金、北京市优秀人才-青年骨干个人等。主要研究方向为能源环境复杂系统建模、能源与气候经济、减排技术投资决策与评价、资源环境可持续发展等。近年来在*Nature Climate Change*、*Nature Communications*等国内外著名期刊发表SCI/SSCI论文50余篇。出版专著4部、译著1部。主持承担国家自然科学基金（4项）、国家重点研发计划专题、亚太全球变化网络（APN）资助项目、科技部国际合作司委托任务、联合国开发计划署资助项目、能源基金会（美国）、国际能源署（IEA）合作研究等重要课题。获中国煤炭工业科学技术奖二等奖等行业或省部级科技奖励7项。担任*Journal of Cleaner Production*副主编、《洁净煤技术》“2060碳中和”栏目共同主编和专题客座主编，中国煤炭学会碳中和科学与工程专委会副秘书长、中国可持续发展研究会气候变化工作委员会委员、中国优选法统筹法与经济数学研究会能源经济与管理分会理事等。