

能源经济预测与展望研究报告

FORECASTING AND PROSPECTS RESEARCH REPORT

CEEP-BIT-2025-005 (总第 86 期)



碳捕集技术发展前沿与趋势预测

2025 年 1 月 12 日

北京理工大学能源与环境政策研究中心

<http://ceep.bit.edu.cn>

能源经济预测与展望研究报告发布会

主办单位：北京理工大学能源与环境政策研究中心
碳中和系统工程北京实验室
碳中和系统与工程管理国际合作联合实验室（教育部）
能源经济与环境管理北京市重点实验室
国家自然科学基金“能源与气候变化”基础科学中心
中国煤炭学会碳减排工程管理专业委员会

协办单位：北京理工大学管理学院
北京经济社会可持续发展研究基地
中国“双法”研究会能源经济与管理研究分会
中国能源研究会能源经济专业委员会
《能源与气候变化》编辑部
《煤炭经济研究》编辑部

特别声明

本报告是由北京理工大学能源与环境政策研究中心研究团队完成的系列研究报告之一。如果需要转载，须事先征得中心同意并注明“转载自北京理工大学能源与环境政策研究中心系列研究报告”字样。

碳捕集技术发展前沿与趋势预测

执笔人：魏一鸣、康佳宁、刘兰翠、刘贺磊、舒雅琳、邓一敏、刘力、赵阳、刘胤彤

作者单位：北京理工大学能源与环境政策研究中心

联系人：康佳宁

研究资助：国家自然科学基金项目（72488101，72474023，72104025）



北京理工大学能源与环境政策研究中心

北京市海淀区中关村南大街5号

邮编：100081

电话：010-68918551

传真：010-68918651

E-mail: kangjianing@bit.edu.cn

网址：http://ceep.bit.edu.cn

Center for Energy and Environmental Policy Research

Beijing Institute of Technology

5 Zhongguancun South Street, Haidian District, Beijing 100081, China

Tel: 86-10-68918551

Fax: 86-10-68918651

E-mail: kangjianing@bit.edu.cn

Website: http://ceep.bit.edu.cn

碳捕集技术发展前沿与趋势预测

2024年，《联合国气候变化框架公约》第二十九次缔约方大会（COP29）正式通过了《巴黎协定》关于碳移除减排量的授权机制，国际社会在支持碳捕集利用与封存（CCUS）技术发展方面达成了广泛共识，进一步明确了CCUS技术在推动化石燃料系统减排及达成全球净零排放目标方面具有不可或缺的作用。对我国而言，CCUS技术也是实现碳中和目标的重要技术组成。CCUS技术涵盖了二氧化碳捕集、运输、利用以及封存等多个环节，其中，碳捕集作为核心技术环节，具有碳源多样、技术密度高、资金需求大、工艺复杂等显著特点，是决定CCUS项目投资和部署的关键因素。基于此，本报告立足我国碳中和目标下碳捕集技术的发展现状，结合国际发展趋势，着重研究了该技术的发展需求、前沿趋势及关键挑战，并提出相应的发展建议。

一、全球碳捕集技术发展前沿趋势

在碳中和目标与经济高质量发展的双重推动下，我国对CCUS技术的需求极为迫切（实现碳中和需要CCUS提供5-15亿吨CO₂/年的减排量）。作为当前实现化石能源低碳化利用的唯一途径，CCUS技术不仅是保持碳中和目标下电力系统灵活性的关键手段，也是钢铁、水泥等难减排行业在尚未出现颠覆性减排技术时的可行选项。然而，当前碳捕集技术高昂的成本对上述行业的低碳转型带来了较大压力。同时因排放源各异，各行业适配的碳捕集技术在工艺、设备、材料及成

本等方面具有较大差异，制约着CCUS的进一步推广^[1]。在此背景下，超前研究并部署高效、低能耗的碳捕集材料，推进核心工艺变革升级，进一步提高各类碳排放源浓度下捕集技术的成熟度，形成碳捕集技术新体系，是推动CCUS技术广泛应用的关键。

全球碳捕集技术正朝着稳定高效、低能耗和低成本趋势发展，亟需立足全球视野和我国国情，识别全球碳捕集技术前沿进展及我国的差距，促进关键核心技术攻关和成果产业化，推动我国在全球碳捕集技术竞争中抢占战略优势地位。

国际碳捕集技术在成本、能耗和适用性方面不断优化，代际演进特征凸显。第一代技术以化学吸收法中的基础胺溶剂为主，尽管技术相对成熟并实现了工业化应用，但是高能耗与高成本限制了其大规模部署。第二代技术通过复配胺溶剂的优化显著提升了能效。美国成功将捕集能耗降低至2.6 GJ/吨CO₂，捕集成本降至70美元/吨；而英国进一步优化工艺后，实现了2.4 GJ/吨CO₂的能耗水平，捕集成本降低至60美元/吨。第二代技术的发展标志着碳捕集技术在能耗和经济性方面取得了显著进展。而第三代技术，则凭借新型材料与工艺的突破，成为了当前碳捕集技术研发的前沿方向。以欧洲开发的相变溶剂技术为例，该技术通过材料创新将能耗进一步降低至2.2 GJ/吨CO₂，捕集成本压缩至39美元/吨。第三代技术不仅在技术的经济性和适用性上实现了显著提升，还为钢铁、水泥等高碳排放行业带来了更具竞争力的减排方案。碳捕集技术的代际发展，遵循着由工艺改进向技术革新的演进路径，为未来更大规模、更广范围的技术应用创造了可能。

新型捕集技术发展迅速。传统的CO₂捕集技术主要分为燃烧后捕集、燃烧前捕集、富氧燃烧。其中，燃烧后捕集技术应用最为广泛，涵盖化学吸收、物理吸附、膜分离和低温精馏等多种方法。化学吸收法以单胺和复配胺溶剂为代表，是目前最为成熟的技术，已广泛应用于燃煤电厂和工业烟气捕集项目（见附表1）；物理吸附法适用于高压气体分离场景，尤其是天然气处理领域；膜分离技术和低温精馏法在特定条件下表现出高效的分离能力，特别适用于高浓度气源的处理。与此同时，新型捕集技术正迅速发展，包括但不限于电化学捕集、固态吸附、催化解吸、界面捕集以及利用微生物或藻类进行CO₂固定等方法。而DAC技术主要依赖于吸附法或吸收法，通过高效的材料和化学反应，从大气中直接捕集CO₂并将其存储或转化为有用资源，目前，美国、挪威、冰岛、肯尼亚和阿联酋等国家已经开始进行大规模的部署和示范。尽管多种捕集技术各具优势，但它们仍面临高能耗和高成本等技术经济挑战，需要通过持续的研发和优化以实现大规模应用。

全球范围内碳捕集技术研发受到广泛重视，专利申请数量庞大，增长迅速。如图1所示，自2005年开始碳捕集技术专利数量呈快速增长趋势，年均增速达18.7%。截至目前，世界范围内与碳捕集技术直接关联的专利有40383项，其中近10年公开的专利数量达32685项。中国、美国和世界知识产权组织的CCUS专利数量位居世界前三，专利总数分别为31210项、4203项、3755项，三者专利总量约占全球总量的71.1%。我国碳捕集专利申请后发先至，自2013年起超越美国，现今申请总量稳居全球首位。

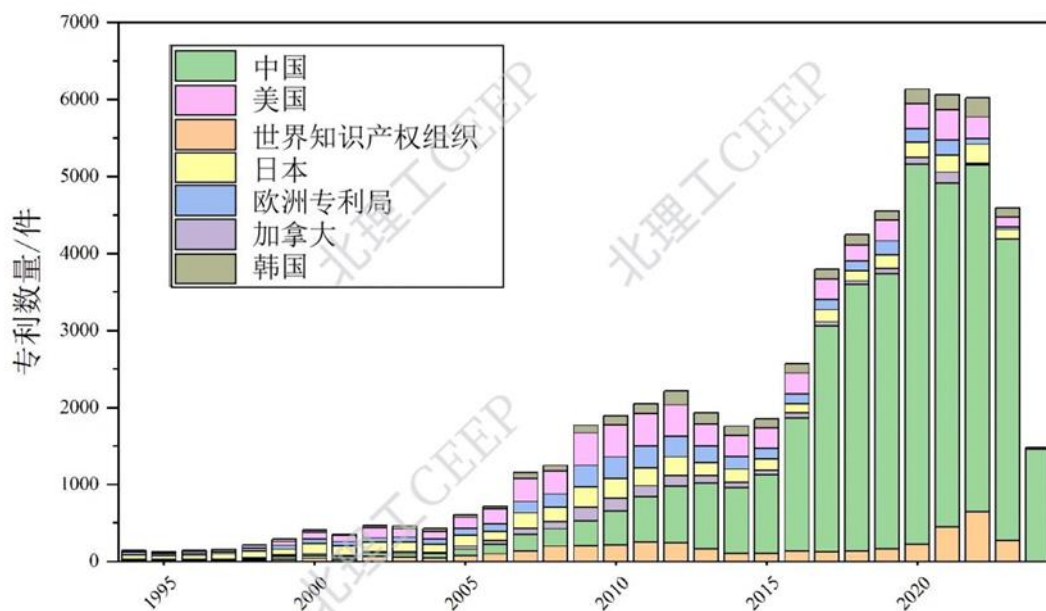


图 1 全球碳捕集技术专利主要申请国专利申请量随时间的变化情况

国内外二氧化碳捕集项目发展各具特色。我国已投运项目多数采用化学吸收法。美国的碳捕集项目采用技术更为多元化，重点集中在天然气处理（6个）、生物能源（5个）和直接空气捕集（2个）等多个新型碳捕集技术领域。欧盟则着力推动CO₂捕集产业的规模化和商业化，尤其在天然气处理和直接空气捕集领域。相较于美欧，我国在直接空气捕集等新兴技术研发上起步较晚，整体水平尚待提升。

美欧等国正通过明确的战略规划与激励政策，积极推动碳捕集技术的创新与规模化应用。在战略层面，2024年2月，美国首次将碳捕集等碳管理技术纳入关键和新兴技术清单，显示出其在国家战略层面的重视。此外，美国能源部提出，到2030年计划将碳捕集成本降低90%，同时依托5000多英里的CO₂管道和墨西哥湾储存潜力拓展下游市场；欧盟方面亦提出到2030年至少建设10个大规模碳捕集与存储项目，并期望在2040年实现捕集CO₂的三分之一得到有效利用。在资金激励方

面，美国45Q税收抵免政策可对DAC项目提供最高180美元/每吨CO₂的补贴，对其他碳捕集项目补贴最高85美元/吨；加拿大通过C-59法案对DAC项目提供最高60%税收抵免，对其他碳捕集项目补贴50%，并通过加速折旧政策降低资本支出成本。在集群化建设方面，美国《基础设施投资和就业法案》（IIJA）支持多个区域性碳捕集示范项目，为每个项目提供约6亿美元财政支持，并推动29个以DAC为中心的概念项目；欧洲通过创新基金和《净零工业法案》推动区域性碳捕集集群建设，聚焦钢铁、化工、水泥等行业。其中，英国的“北方碳捕集集群”和“赫尔省碳捕集集群”、荷兰和比利时共建的跨国界“北海碳捕集集群”都是通过构建区域性合作平台和共享基础设施，来促进碳捕集技术创新和成本降低的典范。

二、我国碳捕集技术发展现状与面临的挑战

我国已发展形成适配多种浓度不同规模排放源的碳捕集技术。截至2024年11底，我国已投运和规划建设中的CCUS示范项目超120项，CO₂捕集能力达600万吨CO₂/年。低成本、低能耗的新一代碳捕集技术呈现快速发展态势，正由中试逐步向工业示范过渡。同时，碳捕集项目应用场景明显增多，涉及煤炭、石油、天然气、新能源等能源生产领域，以及电力、化工、钢铁、水泥、建筑、交通等多个应用场景^[2]，已呈现规模化发展趋势。

我国碳捕集技术成本整体处于全球中等偏低水平，具有一定的发展优势。从已投运项目的捕集成本来看，我国煤化工和石油化工领域

的一体化驱油示范项目捕集成本相对较低，为105~250元/吨CO₂。电力、水泥仍是国内捕集成本较高的行业，捕集成本分别为200~600元/吨CO₂和305~730元/吨CO₂，但整体均低于国外约350~977元/吨CO₂和686~1280元/吨CO₂的捕集成本^[3]。

我国碳捕集技术与国际水平呈现“并跑”与“跟跑”并存的状态。具体而言，我国的化学吸收法已在能耗和成本控制方面取得了显著突破，与国际水平齐平。以国能泰州电厂项目为例，该项目采用第二代复配溶剂技术，实现能耗下降至2.2~2.4 GJ/吨 CO₂，捕集成本低于250元/吨 CO₂，相关指标达到全球领先水平。化学吸附技术也实现了关键进展，国能锦界千吨级项目通过固体胺吸附材料的应用，将能耗控制在2.2-2.4 GJ/吨 CO₂，展现了良好的技术经济性。然而，我国在第三代技术领域仍面临挑战。目前，第三代技术多处于工业化探索阶段。以相变溶剂技术为例，其在部分示范项目中实现了较低能耗(目标2.2 GJ/吨 CO₂)，但距离商业化规模应用仍需技术和工艺的进一步突破。此外，直接空气捕集、低温精馏和膜分离技术在国内的应用大多停留在中试阶段，与国际成熟项目相比尚有差距。要在前沿领域实现超越，我国亟需加大技术创新力度，深化关键技术研发，同时推动新技术的规模化验证和推广，以进一步提升国际竞争力。

尽管我国在碳捕集技术领域取得了显著进展，但仍面临以下挑战：

第一，相对发达国家高度重视碳捕集专利的全球布局，我国在专利申请全球化方面的考虑尚显不足。如图2所示，我国机构几乎仅限于在本国申请专利，在国外专利布局较少，这或将对我国未来CO₂捕

集专利的海外技术转移构成严重制约。而发达国家则在全球积极申请CO₂捕集专利，以占领全球CCUS技术市场，构建围绕核心技术群的全球保护战略。美日专利在全球申请的保护国家数为我国专利的2.5倍以上。特别是，美国和日本均把我国视为核心专利布局的重点目标国，这或将给我国碳捕集技术创新带来一定的技术壁垒挑战。

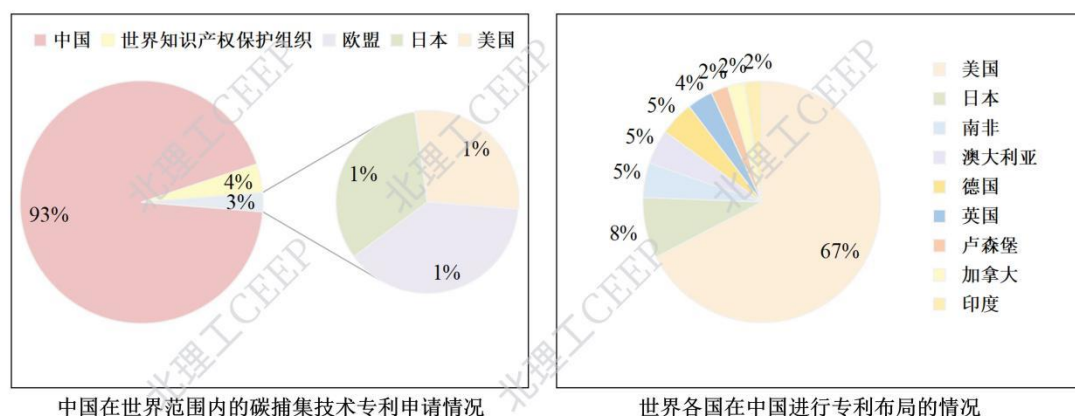


图2 中国在世界范围内的碳捕集技术专利申请情况与世界各国在中国进行专利布局的情况

第二，CCUS项目总体进展仍然缓慢，规模效应不显著，碳捕集技术仍处于成本曲线的高点。碳捕集技术的部署仍面临高昂的初期资本投入挑战，已成为发展工业点源捕集和直接空气捕集最具挑战的技术难题。高成本主要来源于设备购置、运营维护及能源消耗，加之部分技术的成熟度不足，尤其对于低浓度排放源（热电厂、水泥行业），碳捕集的总成本大大高于其他行业。此外，碳捕集技术的成本发展趋势还存在很大的不确定性，关键影响因素包含技术进步速度、项目投融资成本、市场和基础设施完善程度、政策环境等。反过来，高成本与高不确定性又将进一步影响碳源企业部署碳捕集技术的积极性，从而制约CCUS的大规模发展。

第三，碳排放源复杂性导致碳捕集技术面临适配性挑战。中国可部署 CO₂ 捕集技术的碳排放源空间分布广且类型复杂，涵盖煤电、钢铁、水泥、化工等多个行业。各行业碳排放浓度和捕集需求差异显著，各项技术在成熟度、适用场景和成本效益方面各具特点，导致碳捕集技术与碳汇的空间匹配性、成本效益性以及材料环境友好性等方面存在严峻挑战。特别是，在碳中和深度减排的背景下，CCUS 未来将趋向大规模集群化发展。当多个不同类型碳排放企业共同参与同一集群建设时，技术集成、成本分摊、利益分配、技术标准以及制度设计等方面也将面临复杂的挑战。

第四，碳捕集技术尚未完全满足大规模、长期稳定运行的需求。目前多数技术仍处于中试或工业示范阶段。例如，膜分离技术尽管具有较好的前景，但在性能方面仍需改进，尤其是在处理大规模排放时的效率和稳定性。此外，碳捕集过程中，常常伴随其他污染物如无机氨、气溶胶等的排放，但目前缺乏成熟的协同处理技术，因此限制了捕集系统的整体效率和环境友好性。尽管许多碳捕集技术已经在实验或示范阶段取得了进展，但其长期运行中的系统稳定性、材料耐久性等关键指标的安全性和可靠性数据仍然不足。缺乏长时间的实地验证数据使得这些技术在实际部署中的风险难以准确评估，从而影响了大规模应用的推进速度。

第五，我国碳捕集技术的部署面临着代际权衡的挑战。我国碳捕集技术部署涉及对上千个工业排放点源的改造，规划决策直至 2060 年。其优化决策是一个面向长周期的复杂系统工程，需综合考虑我国

不同发展阶段的碳减排需求、工业点源特性、基础设施服役寿命、技术锁定效应等因素。随着碳捕集技术未来将从第一代逐步向第 N 代不断演进，其成本、效率、适用性和可持续性等指标可能发生跃迁式变化，因此，必须从长期视角出发，立足多技术主体立场，审慎权衡技术的代际选择，避免技术锁定风险，寻找一条长期成本最优的碳捕集技术部署路径。

第六，碳捕集下游领域亟需突破低成本大规模 CO₂ 高附加值转化技术。将 CO₂ 转化为高附加值化学品和液体燃料，既能创造经济效益，又能实现环境效益，近年来已成为技术研发的热点。但由于 CO₂ 的化学性质和反应路径复杂，其转化利用依然面临挑战。突破高温高压环境的瓶颈并寻找合适的催化剂，是实现 CO₂ 高效资源化利用的核心所在。为此，需优化 CO₂ 转化利用路径的组合，合理分配各技术路径的比例，同步探究光、电、热多场耦合技术的发展，以及开发有机酸、醇、酯等高附加值化学品的定向转化新途径，对于拓宽 CO₂ 的应用领域、提升其上游捕集环节的经济价值具有重要意义。

第七，我国碳捕集技术仍缺乏持续有效的专项资金激励政策。尽管已有政策引导，如国家发展改革委于 2024 年 4 月发布的《节能降碳中央预算内投资专项管理办法》中提到，CCUS 项目补贴比例可达 20%，然而，对于碳捕集技术的实质性补贴、针对性税收优惠等经济性激励措施，在力度和覆盖范围上仍然有限。特别是在技术研发和示范项目初期，政策资金扶持不足，导致技术进步缓慢，缺乏推动大规模应用的内生动力。此外，当前的税收激励政策未能全面惠及所有

CO₂ 捕集技术。例如，根据《资源综合利用产品和劳务增值税优惠目录》（财税〔2015〕78号），仅对高纯度二氧化碳产品（若95%以上来自工业废气并符合相关规定）实施增值税即征即退政策，退税比例为70%。对于能耗较大、成本较高的第二代及第三代捕集技术，缺乏有效的财政支持与优惠政策，这严重制约了技术的产业化进程与规模化推广。

第八，碳捕集相关标准与评估方法学体系不完善。尽管我国已开始制定碳捕集技术相关标准（如表1所示），但现有政策文件，如《关于推动碳捕集、利用和封存试验示范的通知》，在提供碳捕集项目具体指导方面存在不足。目前，针对碳捕集技术全过程的统一标准尚不完善，多数标准仍处于起草、征求意见或审批阶段。加之，地方标准和行业标准存在不统一，可能导致技术执行和评估标准在不同地区和项目间存在差异。此外，碳捕集项目的减排核算方法尚未形成统一的评估体系，缺乏对不同捕集技术效率的定量评估标准，存在碳减排量核算不准确、减排效益评估方法不一致等问题^[4]，进而可能导致碳减排量的双重计算或漏算。针对碳捕集技术的直接立法依然缺乏，现行环境法律体系，如《环境保护法》和《大气污染防治法》，尚未明确将温室气体纳入污染物范畴，进一步限制了碳捕集技术的推广和应用。

表 1 碳捕集技术相关标准（部分）

标准类型	标准名称	年份	状态
地方（广东）	燃煤电厂二氧化碳捕集测试平台运行技术规范	2024	实施
地方（广东）	燃煤电厂膜法碳捕集运行技术规范	2024	实施
国标计划	烟气二氧化碳捕集压缩装置运行与管理规范	2023	征求意见
国标计划	二氧化碳捕集、运输和地质封存—地质封存	2023	征求意见
国标计划	二氧化碳捕集 第 1 部分：电厂燃烧后 CO ₂ 捕集性能评估方法	2023	征求意见
国标计划	二氧化碳捕集 第 2 部分：电厂燃烧后 CO ₂ 捕集确保和维持稳定性能的评估程序	2023	正在起草
国标计划	二氧化碳捕集、运输和地质封存 —二氧化碳用于提高原油采收率	2023	正在起草
国标计划	二氧化碳捕集、运输和地质封存—词汇—共性术语	2023	正在起草
国标计划	二氧化碳捕集 燃烧后二氧化碳捕集系统通用要求	2023	正在起草
国家标准	二氧化碳捕集、输送和地质封存 管道输送系统	2023	现行
国标计划	火力发电厂烟气二氧化碳捕集系统能耗测定技术规范	2022	正在批准
国标计划	碳捕集、利用与封存（CCUS）项目温室气体减排量化和核查技术规范	2022	暂缓
行业标准	燃煤烟气二氧化碳捕集装备	2017	现行
行业标准	燃煤烟气碳捕集装置运行规范	2016	现行
行业标准	燃煤烟气碳捕集装置调试规范	2016	现行

第九，我国碳捕集项目尚未全面融入市场化机制。一方面，碳捕集技术与碳市场的衔接机制尚不明确，缺乏有效的碳定价和排放权交易体系支撑，从而限制了技术的经济激励效应。在市场上，碳捕集产品的应用仍然有限，碳捕集技术的加装与运行可能导致原产品成本上升 10%至 90%，致使 CO₂ 转化的下游产品难以显现成本优势^[5]。在全

球竞争背景下，企业难以将额外的成本转嫁给消费者，这直接限制了碳捕集技术所能获得的盈利空间。同时，由于市场机制不健全，碳捕集项目难以充分实现其经济价值。这不仅进一步压缩了项目的盈利空间，还加剧了现金流的不稳定性，从而挫伤投资者的积极性。

三、促进我国碳捕集技术发展与创新的对策建议

碳捕集环节是决定 CCUS 项目投资和部署的关键。“十五五”期间，亟需加快统筹相关基础研究、技术开发、装备研制、集成示范和产业培育，全面提升我国碳捕集技术水平与核心竞争力。建议：

（一）加强碳捕集技术创新体系的总体布局

政府应从顶层制定 CCUS 技术发展专项战略，形成与碳中和目标相结合的长期碳捕集技术路线图，明确各行业、分阶段的碳捕集技术需求，统筹技术创新与产业转型。同时，尽快启动碳捕集科技创新战略，设立专项资金支持关键技术研发，建立碳捕集技术产业联盟，促进产学研深度融合，解决碳捕集产业链关键环节的技术瓶颈，推动技术的规模化应用。

（二）围绕碳捕集技术瓶颈和薄弱环节，重点突破一批关键基础理论和前沿技术

针对现有捕集技术能耗高、效率低和稳定性差的问题，建议重点突破新型低能耗捕集材料的研发工作，如相变吸收剂和催化解吸材料，提升吸收-解吸性能及材料稳定性；针对 CO₂转化技术反应效率低和催化剂性能不足的问题，建议重点突破光、电、热多场耦合技术，优

化 CO₂转化路径，实现高效资源化利用；针对碳捕集技术的系统集成与应用瓶颈，建议重点突破技术多样化与集成化发展，推动碳捕集技术与可再生能源等新兴技术的融合，开发低成本、高效的分散式减排解决方案；针对全流程集成与数字化优化的短板，建议重点突破智能化优化技术，推动碳捕集设施的实时监控和优化，提高系统效率并降低成本，为技术规模化应用奠定基础。此外，建议加强传统 CCUS 技术与风能、太阳能、氢能等可再生能源的集成耦合，探索多能源系统的能量互补与时空协同，提升系统效率和应用场景多样性。利用弃风弃光资源缓解碳捕集及空气碳捕集的能耗瓶颈，并推动碳捕集与绿氢等产业的融合发展，实现资源优化配置与低碳转型协同增效。

（三）加大资金投入和政策支持，推动碳捕集技术研发与应用

建议在技术发展初期阶段加大对碳捕集项目的直接拨款，建立覆盖多行业、多技术类型的专项税收抵免或碳捕集补贴政策，为企业投资提供长期激励，降低技术研发成本压力，激励社会资本积极参与。进一步完善碳排放交易体系，将碳捕集纳入碳排放交易市场，赋予其碳信用交易资格，并通过绿色债券和低息贷款等金融工具拓宽融资渠道。鼓励多能源系统融合与创新，推动碳捕集技术与风能、太阳能、氢能等清洁能源的深度协同，优化能源配置，提高减排效率，为低碳转型提供强有力的支撑。

（四）健全碳捕集技术标准体系，加速补齐基础短板

为保障碳捕集设施建设与运营的规范性、安全性与环保性，国家层面需要针对相关行业制定碳捕集设施的技术标准和安全规范，强化

对其性能、运行效率及安全性的评估与认证。推动地方政府制定配套地方性实施细则，确保碳捕集项目环境影响可控，避免潜在的环境风险。加强碳捕集设施的全生命周期监管，建立统一规范的碳减排核查与跟踪报告机制，对碳捕集设施的运行情况进行持续监测与评估。

（五）加强碳捕集技术预见与监测，提升专利质量，优化基础研究方向和前沿技术布局

积极开展碳捕集前沿技术预见及专利布局的深入研究，定期评估国内外技术发展动态，科学引导研发方向。聚焦碳捕集关键核心技术，构建长期技术预见与监测体系，建立项目库与技术库，识别 CCUS 技术的关键科学与工程问题。鼓励通过数字化与智能化技术，如物联网、人工智能和区块链，提升技术实时监控和动态调控效率，提高专利质量和产业应用价值，解决当前我国碳捕集专利“量大质低”的问题。

（六）将碳捕集技术发展纳入国际合作战略，加强核心技术海外知识产权布局

积极加强与国际科研机构和合作企业的合作，将碳捕集技术纳入多边、双边国际科技合作，基于国际视野推动我国碳捕集技术研发和国际先进技术的引进、消化和再创新。重视加强海外组专利布局，构建全球知识产权保护格局，提高碳捕集单项技术及集成技术的国际竞争力，推动我国 CCUS 技术的国际推广，打破国外机构对关键技术的垄断。

参考文献

- [1] GCCSI. Global status of CCS 2024[R]. World: GCCSI, 2024.
- [2] 魏一鸣, 余碧莹, 唐葆君, 刘兰翠, 廖华等. 中国碳达峰碳中和时间表与路线图研究[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2022, (04):13-26.
- [3] 张贤, 杨晓亮, 鲁玺等. 中国二氧化碳捕集利用与封存 (CCUS) 年度报告 (2023)[R]. 中国 21 世纪议程管理中心, 全球碳捕集与封存研究院, 清华大学, 2023.
- [4] 康佳宁, 张云龙, 彭淞等. 实现碳中和目标的 CCUS 产业发展展望[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2024, 26(2): 68-75.
- [5] GAO. Decarbonization: Status, challenges, and policy options for carbon capture, utilization, and storage[R]. U.S. Government Accountability Office, 2022.

附表 1 国内外典型 CCUS 项目捕集技术情况表

大类	发展阶段	子类	国家	年份	项目名称	规模	能耗	成本	技术指标	适用场景
化学吸收法	第一代	单胺溶剂 MEA	加拿大	2014	Boundary Dam	100 万吨/年	~2.8-3.1GJ/吨 CO ₂	100 美元/吨 CO ₂	CO ₂ 捕集率 90%	燃煤电厂
	第二代	复配溶剂	美国	2017	Petra Nova	140 万吨/年	2.6GJ/吨 CO ₂	70 美元/吨 CO ₂	CO ₂ 捕集率 92%	燃煤电厂
	第二代	胺溶剂	英国	2024	NZT Power	200 万吨/年	2.4GJ/吨 CO ₂	60 美元/吨 CO ₂	CO ₂ 捕集率 95%	发电厂
	第三代	相变溶剂	欧洲	2025	Dunkirk (3D)	100 万吨/年	~2.2 GJ/吨 CO ₂	~39 美元/吨 CO ₂	CO ₂ 捕集率 88%	钢铁厂
	第一代/第三代	相变溶剂	中国	2009 运行/2021 年改造	华能石洞口电厂 CCUS 项目	12 万吨/年	~2.8 GJ/吨 CO ₂	250~340 元/吨 CO ₂	CO ₂ 捕集率>90%，再生热耗降低>40%以上，溶剂损耗降低>90%以上，CO ₂ 纯度>99.99%	燃煤电厂
	第二代	复配溶剂		2021	国能锦界电厂 CCUS 项目	15 万吨/年	2.2~2.4 GJ/吨 CO ₂	250~300 元/吨 CO ₂	CO ₂ 捕集率>90%、CO ₂ 浓度>99%	燃煤电厂
	第二代	复配溶剂		2023	国能泰州电厂 CCUS 项目	50 万吨/年	2.2~2.4 GJ/吨 CO ₂	<250 元/吨 CO ₂	CO ₂ 捕集率>90%，CO ₂ 纯度>99.99%	燃煤电厂
	第一代	单胺溶剂 AEEA		2024	北京金隅北水环保科技有限公司水泥窑烟气 CCUS 项目	10 万吨/年	-	-	CO ₂ 纯度 99.99%	水泥窑
	第三代	相变溶剂		2025 (在建)	中国华能清能院正宁电厂 CCUS	150 万吨/年	目标 2.2 GJ/吨 CO ₂	目标 230 元/吨 CO ₂	CO ₂ 捕集率>90%，CO ₂ 纯度>99.5%	燃煤电厂

					项目					
物理吸附法	第二代	变压吸附	美国	2020	Port Arthur	113.9 吨/小时	2.5 GJ/吨 CO ₂	-	CO ₂ 纯度>98%	制氢合成气
	第二代	高容量碳基物理吸附材料	中国	在建	国家能源集团浙江公司宁海电厂 CCUS 项目	1 万吨/年	<300 kW·h/吨 CO ₂	-	-	燃煤电厂
	第二代	固体胺		2021	国能锦界千吨级燃煤电厂烟气 CO ₂ 固体吸附项目	1000 吨/年	~2.2 GJ/吨 CO ₂	-	CO ₂ 捕集率>90%, CO ₂ 产品浓度>95%	燃煤电厂
膜分离	第二代	膜分离	巴西	2021	FPSO Carioca	1500 万 m ³ /天	-	-	-	天然气 CO ₂ 分离
	第二代	聚乙烯基胺材料	中国	2021	中石化南京化工研究院有限公司膜法捕集 CO ₂ 技术及工业示范项目	3000 吨/年	-	-	CO ₂ 捕集率≥90%, 产品气浓度≥95%	燃煤电厂
低温精馏	第二代	低温精馏	挪威	2020	Sleipner	100 万吨	-	-	-	天然气 CO ₂ 分离
	第二代		中国	2022	齐鲁石化胜利油田 CCUS 项目	100 万吨/年	60kg 标准油/吨 CO ₂	105-250 元/吨 CO ₂	CO ₂ 纯度 99%	煤气化装置尾气
	第二代			2024	青州中联水泥 CCUS 项目	20 万吨/年	1.6 GJ/吨 CO ₂	400-500 元/吨 CO ₂	-	水泥窑烟气

北京理工大学能源与环境政策研究中心简介

北京理工大学能源与环境政策研究中心是 2009 年经学校批准成立的研究机构，挂靠在管理学院。能源与环境政策中心大部分研究人员来自魏一鸣教授 2006 年中科院创建的能源与环境政策研究中心。

北京理工大学能源与环境政策研究中心（CEEP-BIT）面向国家能源与应对气候变化领域的重大战略需求，针对能源经济与气候政策中的关键科学问题开展系统研究，旨在探索能源系统、气候系统、碳减排系统与经济社会系统互动规律的新知，支撑能源转型和气候战略及政策的科学决策，培养建设现代化国家的跨学科复合型高层次人才。

中心近年部分出版物

魏一鸣. 碳减排系统工程：理论方法与实践. 北京：科学出版社, 2023.

魏一鸣, 梁巧梅, 余碧莹, 廖华. 气候变化综合评估模型与应用. 北京：科学出版社, 2023.

廖华, 朱跃中. 我国能源安全若干问题研究. 北京：科学出版社, 2023.

刘兰翠, 刘丽静. 碳减排管理概论. 北京：中国人民大学出版社, 2023.

唐葆君, 王璐璐. 碳金融学. 北京：中国人民大学出版社, 2023.

余碧莹. 碳减排技术经济管理. 北京：中国人民大学出版社, 2023.

唐葆君. 项目管理——能源项目为例. 北京：科学出版社, 2022.

余碧莹, 张俊杰. 时间利用行为与低碳管理. 北京：科学出版社, 2022.

沈萌, 魏一鸣. 智慧能源. 北京：科学技术文献出版社, 2022.

魏一鸣. 气候工程管理：碳捕集与封存技术管理. 北京：科学出版社, 2020.

中心近年“能源经济预测与展望”报告

总期次	报告题目	总期次	报告题目
1	“十二五”中国能源和碳排放预测与展望	46	2020年国际原油价格分析与趋势预测
2	2011年国际原油价格分析与走势预测	47	二氧化碳捕集利用与封存项目进展与布局展望
3	2012年国际原油价格分析与趋势预测	48	2020年碳市场预测与展望
4	我国中长期节能潜力展望	49	我国“十四五”能源需求预测与展望
5	我国省际能源效率指数分析与展望	50	基于行业视角的能源经济指数研究
6	2013年国际原油价格分析与趋势预测	51	全球气候保护评估报告
7	2013年我国电力需求分析与趋势预测	52	全球气候治理策略及中国碳中和路径展望
8	国家能源安全指数分析与展望	53	新能源汽车产业2020年度回顾与未来展望
9	中国能源需求预测展望	54	碳中和背景下煤炭制氢的低碳发展
10	2014年国际原油价格分析与趋势预测	55	2021年国际原油价格分析与趋势预测
11	我国区域能源贫困指数	56	中国省际能源效率指数(2010-2018)
12	国家能源安全分析与展望	57	后疫情时代中国能源经济指数变化趋势
13	经济“新常态”下的中国能源展望	58	电力中断对供应链网络的影响
14	2015年国际原油价格分析与趋势预测	59	2022年国际原油价格分析与趋势预测
15	我国新能源汽车产业发展展望	60	全国碳中和目标下各省碳达峰路径展望
16	我国区域碳排放权交易的潜在收益展望	61	迈向碳中和的电力行业CCUS发展行动
17	“十三五”及2030年能源经济展望	62	中国碳市场回顾与展望(2022)
18	能源需求预测误差历史回顾与启示	63	全球变暖对我国劳动力健康影响评估
19	2016年国际原油价格分析与趋势预测	64	中国上市公司碳减排行动指数研究报告
20	2016年石油产业前景预测与展望	65	2022年中国能源经济指数研究
21	海外油气资源国投资风险评价指数	66	省级能源高质量发展指数研究(2012-2022年)
22	“十三五”北京市新能源汽车节能减排潜力分析	67	中国电力部门省际虚拟水流动模式与影响分析
23	“十三五”碳排放权交易对工业部门减排成本的影响	68	2023年国际原油价格分析与趋势预测
24	“供给侧改革”背景下中国能源经济形势展望	69	中国碳市场回顾与最优行业纳入顺序展望(2023)
25	2017年国际原油价格分析与趋势预测	70	我国CCUS运输管网布局规划与展望
26	新能源汽车推广应用:2016回顾与2017展望	71	全球变暖下区域经济影响评估
27	我国共享出行节能减排现状及潜力展望	72	迈向中国式现代化的能源发展图景
28	我国电子废弃物回收处置现状及发展趋势展望	73	2024年中国能源经济指数研究及展望
29	2017年我国碳市场预测与展望	74	低碳技术发展产业链风险评估和展望
30	新时代能源经济预测与展望	75	中国省际能源高质量协同发展测度
31	2018年国际原油价格分析与趋势预测	76	实现碳中和目标的CCUS产业发展展望
32	2018年石化产业前景预测与展望	77	2024年国际原油价格分析与趋势预测
33	新能源汽车新时代新征程:2017回顾及未来展望	78	2024年成品油价格分析与趋势预测
34	我国电动汽车动力电池回收处置现状、趋势及对策	79	2024年国际天然气市场分析与趋势预测
35	我国碳交易市场回顾与展望	80	中国碳市场建设成效与展望(2024)
36	新贸易形势下中国能源经济预测与展望	81	中国能源经济形势分析与研判(2024)
37	2019年国际原油价格分析与趋势预测	82	2025年中国能源经济指数研究及展望
38	我国农村居民生活用能现状与展望	83	2025年国际原油价格分析与趋势预测
39	高耗能行业污染的健康效应评估与展望	84	能源转型关键原材料价格指数研究报告
40	我国社会公众对雾霾关注的热点与展望	85	《欧盟新电池法》对我国锂电池产业的潜在影响评估和展望
41	我国新能源汽车行业发展水平分析及展望	86	碳捕集技术发展前沿与趋势预测
42	2019年光伏及风电产业前景预测与展望	87	数据中心综合能耗及其灵活性预测报告
43	经济承压背景下中国能源经济发展与展望	88	人工智能与气候变化治理研究进展与展望
44	2020年光伏及风电产业前景预测与展望	89	全球和中国碳市场回顾与展望(2025)
45	砥砺前行中的新能源汽车产业		