

双碳目标下碳捕集、利用与封存发展战略研究

吕李章

浙江安防职业技术学院, 中国·浙江 温州 325000

摘要: 随着全球气候治理与“双碳”目标深入推进, 碳捕集、利用与封存技术 (Carbon Capture, Utilization and Storage, 简称 CCUS) 加速化石能源低碳化利用、工业领域深度脱碳和碳中和目标顺利实现。本文系统阐释了 CCUS 技术体系构成与双碳战略价值, 通过研究发现我国 CCUS 技术已进入覆盖多行业多场景工业化示范的关键阶段。针对政策法规体系不健全、技术成本与能耗偏高、产业集群化程度偏低等现实问题, 提出从完善政策法规体系、强化关键核心技术攻关、优化产业空间布局等方面促进 CCUS 高质量发展的对策, 为我国 CCUS 技术规模化推广、产业化发展与双碳目标实现提供理论参考与实践指引。

关键词: 碳捕集利用与封存; 发展战略; 政策体系; 产业化

A Study on the Development Strategy of Carbon Capture, Utilization and Storage Under the Dual Carbon Targets

Lv Lizhang

Zhejiang College of Security Technology, China Zhejiang Wenzhou 325000

Abstract: With the in-depth advancement of global climate governance and the "Dual Carbon" goal, Carbon Capture, Utilization and Storage technology accelerates the low-carbon utilization of fossil energy, facilitates deep decarbonization in the industrial sector, and supports the successful realization of carbon neutrality targets. This paper systematically expounds the technical system composition and strategic value of CCUS under the Dual Carbon strategy. The study reveals that China's CCUS technology has entered a critical stage of industrial demonstration covering multiple industries and scenarios. In response to practical challenges including an imperfect policy and regulatory system, high technical costs and energy consumption, and a low level of industrial clustering, this paper proposes countermeasures to promote the high-quality development of CCUS from the perspectives of improving the policy and regulatory framework, strengthening research on key core technologies, and optimizing the spatial layout of the industry. It provides theoretical references and practical guidance for the large-scale promotion and industrialization of CCUS technology in China and the achievement of the Dual Carbon goals.

Keywords: Carbon capture, utilization and storage; Development strategy; Policy system; Industrialization

0 引言

随着全球气候变暖、极端天气频发、冰川加速消融、海平面持续上升等问题日益突出, 降低碳排放强度、实现温室气体净零排放已成为全球共识。据世界气象组织发布的《全球气候状况最新通报》显示, 2025 年全球平均地表温度较工业化前平均水平高出 1.47℃, 多项气候指标突破历史极值, 全球温室气体浓度和海洋热含量持续攀升。面对日益严峻的气候形势, 世界各国纷纷提出碳中和目标, 加快构建绿色低碳产业体系与能源体系^[1]。

我国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大战略决策, 为经济社会系统性绿色转型指明方向。CCUS 技术能够实现二氧化碳大规模减排与资源化循环利用, 被公认为火电、钢铁、

水泥、化工等难以电气化、难以深度脱碳行业实现低碳转型的核心技术路径, 也是实现负排放、完成碳中和目标的重要托底技术。国际社会普遍将 CCUS 纳入碳中和技术体系, 通过加大研发投入与政策支持力度推动技术从示范阶段迈向商业化应用^[2]。

我国 CCUS 技术起步相对较晚, 但在国家政策引导与科研力量持续投入下得以快速发展, 现已建成一批不同规模、不同场景的示范项目, 技术链条逐步完善。当前我国 CCUS 正处于由示范应用向规模化推广过渡的关键时期, 政策、技术、市场、安全等多方面制约因素依然突出, 系统开展发展战略研究对于破解发展瓶颈、明确发展路径具有重要现实意义。因此, 本文立足“双碳”目标的总体要求, 通过梳理国内外发展现状, 深入剖析存在问题、总结

有益经验并提出相应建议,以期为推动我国 CCUS 高质量发展提供科学支撑。

1 CCUS 技术内涵与战略价值

CCUS 技术是将碳捕获、利用和封存用于从工业排放源、能源生产环节或者大气中提取出二氧化碳,经由压缩输送的方式达到资源化再利用或者地质安全储存的目的,形成包含碳减排、循环利用全过程的技术体系,对全球气候治理、可持续发展具有重大意义。

CCUS 技术体系包含碳捕集、碳输送、碳利用、碳封存这四个主要部分。碳捕集根据排放源的不同,有燃烧前捕集、燃烧后捕集、富氧燃烧捕集、直接空气捕集等形式,广泛应用于电力、煤化工、钢铁、水泥等行业;输送环节主要依靠管道输送为主,罐车或者船舶为辅助工具,根据项目规模和地理条件灵活选择;碳利用阶段用地质注入、化工利用、化学反应、生物固定、矿化处理等方法将二氧化碳转化为资源;碳封存过程利用深层咸水层、废弃油气田等稳定的地质结构来实现 CO₂ 的安全储存。由于 CCUS 技术具有减排规模大、适用范围广、与现有工业体系兼容性强等特点,已经成为保障能源安全、促进经济发展的重要力量,也是落实绿色低碳战略的主要力量。

在“双碳”战略的背景之下,CCUS 技术有着不可取代的价值。CCUS 技术是深度脱碳的有效途径,对于钢铁、水泥、化工等行业来说,在生产过程中伴随着工艺碳排放,不能只用可再生能源替代来达到完全脱碳的目的,因此 CCUS 技术是唯一可以大规模应用的一种减排技术途径。CCUS 技术有利于推进能源系统的安全转型,我国以煤为主的资源禀赋决定了化石能源在较长时间内仍会作为能源系统的基石,此技术可以达成化石能源的清洁、低碳、高效利用,在能源转型的过程中达到供应安全和低碳限制的目的。CCUS 技术属于碳中和达成的关键托底技术,经由直接空气捕集、生物质耦合 CCUS 等负排放手段,能够从大气当中移除聚集起来的二氧化碳,从而弥补其它减排途径的欠缺。CCUS 产业的发展可以促进高端装备制造、新材料、碳监测、碳服务等新兴产业的发展,形成新的经济增长点,有利于产业结构的调整升级^[3]。

2 国际 CCUS 发展战略与经验借鉴

全球主要经济体把碳中和目标作为国家战略,把 CCUS 发展提到了政策推动、技术推动、产业集聚、市场推动的发展模式,形成了可以借鉴的成功经验^[4]。

美国在 CCUS 方面一直居于世界前沿,创建起技术研发,政策扶持,项目示范三者互相支撑的推进机制^[5]。以

45Q 税收抵免政策为 CCUS 项目提供稳定的收益预期,使地质封存和二氧化碳驱油项目能够获得较高的税收减免额度,同时在两党基础设施法案和通胀削减法案中投入大量资金用于技术研发、示范工程和管网建设,技术布局覆盖全链条并且重点突破碳去除技术。

欧盟坚持法规约束和市场推动并行推进,把 CCUS 作为《欧洲绿色协议》与《净零工业法案》的重要核心技术,规定有约束性的碳封存规模目标,推动跨境基础设施共享和产业集群发展,依靠地平线欧洲、创新基金等资助关键技术研发,用碳市场机制把碳定价同 CCUS 收益联系起来,重点发展海上封存、工业脱碳、高值化利用技术。

英国以产业集群为依托,提出 CCUS 集群建设的目标和时间表,把多个行业的排放源集中捕集、集中输送、集中封存起来,用合同差价的办法来保证项目的收益,形成稳定的商业模式,技术研发侧重于低成本捕集、直接空气捕集、碳转化利用等方向,努力创建全球 CCUS 产业的中心。

日本以碳循环发展理念,把 CCUS 作为绿色增长的战略手段,在二氧化碳制燃料、制化学品、制混凝土固化等资源化利用技术上重点部署,设定成本下降目标和产业化路径,依靠大规模的资金投入促使技术同传统产业深度融合,塑造出独具特色的碳循环技术架构。

结合国际上 CCUS 高质量发展的实践,要从顶层设计、政策协同、发展模式、技术方向、运营机制等各方面来推进。因此要将 CCUS 纳入国家碳中和顶层设计,确定其战略地位,创建税收、补贴和碳市场联动的政策体系,达成协同激励,推进集群化发展,坚持低成本、低能耗、高安全的技术路线,加强核心竞争力,并且建立市场化收益机制,给可持续运营赋予有力支撑。

3 我国 CCUS 发展现状与主要挑战

我国 CCUS 技术经过多年的研发,已经由最初的探索研究、先导试验发展为工业化示范,并进入规模化推广阶段,整体发展成效明显。

政策体系不断健全,国家把 CCUS 纳入到“十五五”规划、碳达峰碳中和“1+N”政策体系当中,发布技术路线图和示范推广指导文件,同时地方配套政策相继出台,形成了多层次的政策支持体系。技术研发不断取得突破,燃烧后捕集、二氧化碳驱油、咸水层封存等技术实现了工程化应用,百万吨级全链条项目建成投运,关键材料和装备的国产化水平也有所提高。示范工程初具规模,到 2025 年我国建成投运和在建的 CCUS 示范项目已经超过 120

个, 涉及电力、煤化工、石化、水泥、钢铁等重点行业, 年捕集能力达到 600 万吨, 工程实践经验不断积累。

与此同时, 我国 CCUS 规模化、商业化发展还存在着许多问题。政策法规体系不健全, 缺少专门立法支持, 项目审批、安全监管、减排核算、责任认定等制度不健全, 稳定的财税激励机制还没有建立起来。技术经济性瓶颈明显, 捕集成本一般在 200~600 元/吨之间, 能耗占比较大, 项目投资大、回收期长, 市场化盈利模式还没有形成。核心技术装备存在短板, 新型捕集材料、高效催化剂、长距离输送管道、智能监测系统等同国际先进水平存在差距, 系统集成能力不够。安全风险防控体系薄弱, 二氧化碳输送和封存泄漏风险评估、监测预警、应急处置机制不健全, 环境影响评价标准不完善。碳源与碳汇的空间分布不均衡, 东部排放集中而西部封存潜力大, 跨区域输送成本高, 全国性输送管网建设滞后。市场机制和产学研协同的不足导致 CCUS 减排价值不能得到充分的实现, 创新链和产业链的融合不紧密, 成果转化效率低^[6]。

4 双碳目标下我国 CCUS 高质量发展对策

立足于我国发展实际, 借鉴国际上的成熟经验, 本文从顶层设计、创新驱动、政策保障、市场导向、安全优先五个方面提出我国 CCUS 高质量发展的原则, 并提出我国 CCUS 高质量发展的途径。

加快政策法规及标准体系的建设工作。推动 CCUS 专项立法, 明确监管职责、许可制度、安全责任和生态补偿机制, 建立全流程技术标准、环境风险评估、监测核查体系, 形成规范化发展局面。加强政策激励, 采用税收减免、运营补贴、绿色信贷等方式来扶持 CCUS 的发展, 把 CCUS 纳入国家核证自愿减排体系当中, 畅通减排价值的变现途径, 稳定市场预期。

加强关键核心技术的攻坚克难。围绕低成本、低能耗、高安全方向, 突破新型吸收剂、吸附材料、膜分离、高效转化利用、长输管道、智能监测等关键技术, 加强前沿负排放技术布局, 提高核心装备自主化水平和系统集成能力。

改善产业空间分布状况。开展全国碳源碳汇普查和匹配评价, 形成东部工业脱碳、中部能源转型、西部规模封存的差异化格局, 推进 CCUS 产业集群建设, 实现捕集、输送、利用、封存一体化布局, 加快跨省输送管网建设, 破解源汇不匹配瓶颈。

完善市场化的运作机制。完善碳市场和 CCUS 的衔接机制, 创建减排量核算、核证、交易体系, 革新合同减碳、

收益共享、第三方服务等商业模式, 拓宽投融资途径, 吸引社会资本加入, 调动产业发展内部动力。

筑牢安全风险防控底线。创建起包含场地挑选、经营监视、风险预估、应急处理、后期治理在内的全部安全体系, 制订严格的安全标准和环境评价准则, 健全责任判定及保险制度, 保证 CCUS 的安全、绿色、可持续发展。

5 结语

CCUS 技术是实现我国碳达峰、碳中和目标不可缺少的技术支撑, 在工业深度脱碳、能源安全转型、负排放技术供给等各方面都具有不可替代的战略意义。我国 CCUS 技术正处在工业化示范的关键时期, 政策、技术、工程建设都取得了明显进步, 但是法规体系、技术经济、安全管控、基础设施、市场机制等各方面的制约仍然存在。推进 CCUS 技术高质量发展要以顶层设计为引领、科技创新为动力、政策市场相结合、安全绿色发展为主线, 加快完善法规标准、攻克关键技术、优化产业布局、培育市场机制、加强风险防控, 构建起全链条、规模化、商业化发展的格局。随着政策体系不断完善、技术水平不断进步、市场机制逐步健全, CCUS 技术在我国能源低碳转型和生态文明建设中将会发挥更加重要的作用, 给我国实现双碳目标提供强有力的技术支撑, 也为全球气候治理贡献出中国方案和中国智慧。

参考文献:

- [1] 瞿明洋, 周长波, 张永波等. 二氧化碳捕集利用与封存项目纳入碳市场的现状、挑战与对策[J]. 中国环境管理, 2023,15(06):87-93.
 - [2] Rais A. 碳捕集、利用和封存 (CCUS) 技术引领全球碳中和新潮流[J]. 流程工业, 2025,(01):42-43.
 - [3] 周小凯, 陈欣怡, 曾凡刚. 全球碳中和目标下 CCUS 产业化与碳市场的融合发展研究[J]. 中国商论, 2025, 34(10): 150-153.
 - [4] 王大伟, 孟雨, 隗筱琦等. 全球 CCUS 技术专利布局与发展态势分析[J]. 科技通报, 2024,40(07):107-113.
 - [5] 李丹妮, 庄珺. 中美 CCUS 技术政策体系与工程化比较: 差异化特征、驱动因素及政策启示[J]. 现代化工, 2026,46(02):1-6.
 - [6] 贺常乐, 贾佳, 秦建春等. CCUS 技术在中国实现双碳目标中的应用潜力评估[J]. 能源与节能, 2025, (03): 22-24.
- 基金项目: 浙江安防职业技术学院校级一般科研项目“双碳背景下的碳捕集、利用与封存 (CCUS) 发展战略研究”(编号: AF2024PTYB23), 主持人: 吕李章。