

ICCSD 合作应对气候变化
携手推动低碳转型
Step Up
for Change



中国碳中和目标下 CCUS 发展挑战 与政策激励研究

宋伟泽、李政、孙博达

清华大学气候变化与可持续发展研究院

目录

1. 中国 CCUS 发展面临的挑战与机遇	4
2. 政策激励是降低 CCUS 成本、提高减排规模的重要驱动工具	6
3. 考虑中国国情的 CCUS 政策启示	7

中国碳中和目标下 CCUS 发展挑战与政策激励研究

宋伟泽、李政、孙博达
清华大学气候变化与可持续发展研究院

中国政府高度重视应对气候变化，积极参与全球治理。自从 2020 年 9 月 22 日在第七十五届联合国大会中提出“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”的双碳目标以来，中国政府已经颁布了以《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》为统领作用的“1+N”气候政策体系及措施。其中提出，二氧化碳捕集、利用和封存（Carbon Capture, Utilization, and Storage, CCUS）在推动绿色低碳转型中将发挥关键性作用，是中国脱碳技术领域不可或缺的重要组成部分^[1]。各机构的研究结果表明，到 2060 年中国的年碳捕集需求约为 10-25 亿吨 CO₂^[2,3,4]。科技部 21 世纪议程中心的研究表明，在碳中和的目标背景下，2030 年由 CCUS 技术实现的二氧化碳减排需求为 1 亿吨 / 年（0.58 ~ 1.47 亿吨 / 年），2060 年约为 23.5 亿吨 / 年（21.1 ~ 25.3 亿吨 / 年）^[4]。

1 国务院办公厅. 中国应对气候变化的政策与行动. 2021 [cited 2023 13th October]; Available from: https://www.gov.cn/zhengce/2021-10/27/content_5646697.htm.

2 张希良, 黄晓丹, 张达等. 碳中和目标下的能源经济转型路径与政策研究 [J]. 管理世界, 2022, 38(01): 35-66. DOI: 10.19744/j.cnki.11-1235/f.2022.0005.

3 全球能源互联网发展合作组织. 2021 年. 中国 2060 年前碳中和研究报告.

4 张贤, 杨晓亮, 鲁玺, 中国二氧化碳捕集利用与封存 (CCUS) 年度报告 (2023). 2023, 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.

1. 中国 CCUS 发展面临的挑战与机遇

过去 10 余年间，一系列政策的发布有力促进了中国 CCUS 行业的布局与发展。截至 2022 年 11 月，中国约有 100 个处于不同阶段、不同规模的 CCUS 示范项目，其中半数项目已经投产。但总体来看，中国 CCUS 项目整体处于工程试点示范阶段，二氧化碳捕集能力水平与目标需求之间存在巨大差距。根据《中国二氧化碳捕集、利用与封存 (CCUS) 2023 年度报告》，目前中国每年二氧化碳捕集能力仅为 400 万吨，规模仅相当于碳中和目标下 2060 年需求的约 0.17%^[4]。当前面临的主要挑战有：技术部署窗口期机会易错失、建设和运行成本高昂、跨部门合作机制不明确、缺乏 CCUS 相关法律法规、减排核算方法等^[5,6]：

(1) 华东、华中、华南地区碳封存面临挑战

随着中国 CCUS 项目试点及规模化的开展，设施、封存地受限和源汇匹配错位问题逐渐显露。从源汇分布情况来看，中国源汇空间错位问题凸显。中国理论封存容量约为 121-413 亿吨，其中松辽盆地 (6954 亿吨)、塔里木盆地 (5528 亿吨) 和渤海湾盆地 (4906 亿吨) 三大陆上封存区域约占总封存容量的一半^[7]。但华东大部分区域与华南地区能源消费密集，二氧化碳大量集中排放，陆上适合封存的盆地少、容量小^[6]。由于缺少陆上封存地，华东、华中、华南地区将需很大程度上依赖于近海封存。

(2) 技术部署窗口期机会易错失

IPCC 第六次评估报告显示，为实现巴黎气候协定限制全球变暖幅度低于 2 摄氏度的目标，要实现 2°C 温控目标，需要全球二氧化碳排放在 2030 年减排 30%，21 世纪 70 年代前期实现净零排放，到 2050 年，全球对煤炭、石油和天然气使用量需在 2019 年基础上分别下降 85%、30% 和 15%。2030-2040 年是中国碳排放达峰后的关键减排时期，需在这 10 年内迅速减少化石燃料消费量，这就需要在 2040 年前大规模部署应用 CCUS 技术，解决关键技术瓶颈、源汇空间错位等关键问题，以满足 10 年窗口期目标以及未来 CCUS 逐年递增的需求。CCUS 技术部署时间越晚，减排潜力将越小。为在窗口期内实现这些目标，需要克服技术瓶颈、统筹电力管理、交易和配电系统的不兼容性和缺乏互操作性三个障碍^[8]。

(3) 建设和运行成本仍然高昂，负成本机会主要集中于化工和水泥行业

对于中国而言，煤化工行业的 CCS 应用成本最低，低于 20 美元 / 吨二氧化碳^[9]；而水泥行业因为水泥厂的规模小、分布广泛，考虑源汇匹配后会有更多低成本减排机会。预计到 2050 年，CCUS 技术在能源与工业等领域广泛部署，综合成本大幅降低，第二代捕集技术成本比目前降低 50% 以上^[11]。当基准电价低于 311 元 / 兆瓦时 (47 美元 / 兆瓦时)，负成本机会主要来自于气驱强化采油 EOR 技术^[9]。

5 Bank, A.D., Road Map Update For Carbon Capture, Utilization, And Storage Demonstration And Deployment In The People' s Republic Of China 2022. p. P4-9.

6 Lu, X.Z.X.Y.X., CCUS Progress in China- A Status Report. 2022.

7 蔡博峰; 李琦; 张贤, 中国二氧化碳捕集利用与封存 (CCUS) 年度报告 (2021) ——中国 CCUS 路径研究. 2021.

8 Hepburn, 朱 .N.S.J.E.S. 刘 . 张 . 李 .C., 拥抱绿色发展新范式: 中国碳中和政策框架研究 . 2023.

9 洛克伍德, 托 ., 通过 CCUS (碳捕集、利用与封存) 技术改造实现中国煤电碳减排 . 2019, 国家能源技术经济研究院 .

2. 政策激励是降低 CCUS 成本、提高减排规模的重要驱动工具

提高 CCUS 减排规模的激励政策工具包括合理的碳定价、税收优惠等^[15]。更多的前期投资和更大规模的商业模式证明，激励措施如投资补贴、清洁电价补贴等是 CCUS 技术及行业发展的重要推动力，加快政策部署对 CCUS 技术至关重要^[10]。当前，中国对 CCUS 相关政策、研发示范支持、税收优惠和补贴激励、能力建设等措施已进行了初步尝试，但受制于技术发展阶段、地方财政不同情况、全国适用性等原因，相关政策暂未得到大规模推广。

目前我国针对 CCUS 发布的文件绝大多数为指导性、鼓励性政策文件，尚无专门政策对 CCUS 准入、建设、运营、监管、终止等环节进行详细规划。对 CCUS 的税收优惠政策散布在环境保护、节能节水、资源综合利用等的税收优惠类目中，优惠税种包括了增值税、资源税和企业所得税（三免三减半）。地区性的财政补贴政策中，深圳、北京以赠款或奖励形式补贴 CCUS 项目投资，奖励额度分别占总投资的 20% 和 25%，最高上限分别是 1000 万元和 3000 万元^[11,12]。金融政策方面，中国人民银行的碳减排支持工具、《绿色债券支持项目目录》均明确支持 CCUS。在技术标准和导则方面，当前政府已经颁布的标准较少，工业和信息化部 2018 年颁布了二氧化碳运输管道设计标准，同年，住房和城乡建设部发布了《烟气二氧化碳捕集纯化工程设计标准》^[13]。此外一些行业协会、学术机构正在牵头制定项目环境风险评估、项目温室气体减排量的计算与核查等方面的标准。在项目全生命周期管理方面，目前有 13 个政府部门参与项目前期审批和监管流程，管理碎片化，CCUS 封存项目封井后监管责任不明确。

3. 考虑中国国情的 CCUS 政策启示

(1) 加快建立健全技术标准

中国应加快建立健全 CCUS 相关技术标准文件，对 CCUS 各个细分领域的技术标准设置明确的日程表。同时，明确 CCUS 项目的监管部门和监管范围，界定二氧化碳所有权和产权，明确非一体化项目潜在泄露责任及获得政策激励的资格，研判火电、钢铁、水泥等重点行业的 CCUS 技术减排潜力，研究 CCUS 发展路径和空间布局^[14]。

(2) 建立系统的补贴激励措施

建立针对 CCUS 的系统性激励政策将加大有关企业与机构对 CCUS 的部署。目前对于 CCUS 的直接补贴仅集中于北京、上海、深圳、浙江省市，且直接补贴只有深圳与北京设立了最高补贴上限。此外，一个系统性的激励政策应当针对不同 CCUS 模块，给出一个整合的补贴方案。与此同时，发展多联产减排产业化路径，在传统产业链基础上，进行产业链的拓展、联合或重塑，构建新的包括碳循环和利用一体化产业模式，形成新的产业生态，推动 CCUS 产业发展。

(3) 完善项目融资渠道

为保障 CCUS 投资者相对稳定的回报，建议将 CCUS 项目减排量纳入自愿碳市场的核证自愿减排量（CCER）。当前中国 CCUS 项目投融资的主要支持政策为生态环境部的《气候投融资试点方案》，首批气候投融资试点地名单公布，共 23 个城市及地区入选，其中包括 12 个市、4 个区、7 个国家新区。但目前仅有深圳、柳州等城市完善并推进气候投融资项目库建设，其余地区推进力度不大，急需完善 CCUS 试点地区项目投融资支持措施。

10 Fan, J.-L., et al, Modelling plant-level abatement costs and effects of incentive policies for coal-fired power generation retrofitted with CCUS. Energy policy, 2022. 165: p. 112959.

11 深圳市发展和改革委员会，2023 年战略性新兴产业专项资金项目申报指南（第一批），深圳市发展和改革委员会，2023.

12 北京市经济和信息化局；北京市财政局；2022 年北京市高精尖产业发展资金实施指南，北京市经济和信息化局；北京市财政局；2022.

13 中华人民共和国住房和城乡建设部、国家市场监督管理总局，烟气二氧化碳捕集纯化工程设计标准 . 2018.

14 IEA, Legal and Regulatory Frameworks for CCUS. 2022.

附录：

表 1 CCUS 政策激励纳入中国 1+N 双碳政策体系

类型	文件名称	发布机构	发文时间	政策领域	目标与行动
顶层设计	关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见	中共中央、国务院	2021.10.25	技术 R&D	- 推动大规模 CCUS 技术的研发、示范和产业化应用
				投资	- 支持 CCUS 等低碳技术项目投融资 - 动员国有企业投资净零技术研发和应用
	2030 年前碳达峰行动方案	国务院	2021.10.26	钢铁脱碳	- 探索氢冶金、CCUS 集成等试点示范
				技术 R&D	- 推动 CCUS 等低碳技术装备研发突破 - 部署全流程、集成化、规模化的 CCUS 示范和应用试点
行业或地区代表	科技支撑碳达峰碳中和实施方案 (2022—2030 年)	科技部等九个部门	2022.06.24	技术表现	- 与 2020 年相比，到 2025 年将单位二氧化碳捕获的能耗降低 20%，到 2030 年将减少 30%
	浙江省碳达峰碳中和科技创新行动方案	浙江省委	2021.06.08	技术表现	- 力争到 2025 年，二氧化碳捕集率 $\geq 90\%$ ，二氧化碳转化率 $\geq 90\%$ ，碳捕集能耗下降 35% 以上

表 2 中国 CCUS 技术发展相关的部分技术标准政策

环节	名称	标准类型	牵头机构	状态	年份
捕集	炼油行业碳捕集指标体系评价技术指南	团体标准	生态环境部环境工程评估中心、中国石油与化学工业联合会	编制中	2023
	现代煤化工行业碳捕集指标体系评价技术指南	设计标准	工业和信息化部	已发布	2018
运输	二氧化碳输送管道工程设计标准	团体标准			
封存	无				
全流程	二氧化碳捕集利用与封存术语	团体标准	生态环境部环境规划院	已发布	2021
	碳捕集利用与封存 (CCUS) 项目减排量核算方法学	团体标准	中国环境科学学会碳捕集利用与封存专委会	编制中	2023
	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	国家标准	中国石油大学 (北京)、中国标准化研究院等	编制中	2022
	二氧化碳捕集、利用与封存环境风险评估技术指南 (试行)	技术指南	环境保护部科技标准司等	已发布	2016

表 3 中国 CCUS 技术发展相关的税收激励政策

环节	税收类型	适用领域	条件要求	优惠方式	优惠内容	
捕集	增值税	废渣、废水(液)、废气综合利用	高纯度二氧化碳符合《高纯二氧化碳》(GB/T 23938-2009)	即征即退	退税比例 :70%	
				计算应纳税所得额时减计收入	减按 90% 计入收入总额	
利用	资源税	地质利用	页岩气开采	因安全生产需要抽采的煤层(成)气	免征	免征资源税
				页岩气开采	减征	自 2018 年 4 月 1 日至 2023 年 12 月 31 日,页岩气源税将从规定的 6% 税率下调 30%。
封存	企业所得税	节能减排技术改造	碳封存量不低于 10 万吨 / 年	定期减免	从第一年到第三年,免征企业所得税,从第四年到第六年,企业所得税减半	
				按一定比例减免	节能节水专用设备投资额的 10% 可从企业当年应纳税额中扣除。如果当年抵免额不足,抵免额可以结转至随后的 5 个纳税年度。	

表 4 中国 CCUS 技术发展相关的部分补贴政策

发展阶段	一级类型	二级分类	补贴方式	适用地区	发布年份
研发	研发	补贴	- 对新认定的高新技术企业给予 20-50 万元补助; - 对审查企业给予 50-100 万元补助;	全国	2022
试点示范	投资	奖励	- 年减少 300 吨二氧化碳当量的 CCUS 项目,奖励总投资的 25%,最高 3000 万元	北京	2022
		补贴	- 煤电 CCUS、海上 CCUS 示范项目建设,新建的高效、低能耗 CCUS 项目,补助金为总投资额的 20%,最高可达 1000 万元。	深圳	2022
		补贴	支持 CCUS 项目持续高效运营,项目投产后,补助金为每吨二氧化碳 20 元。	深圳	2022
		贷款	减碳支持工具:按贷款本金的 60% 提供金融支持,利率为 1.75%,期限为 1 年,可续期两次	全国	2021
	债券	符合规定条件的绿色产业、绿色项目或绿色经济活动,将 CCUS 纳入支持目录	全国	2021	
	封存	补贴	无		
	电价	补贴	无		
商业化			无		

机构介绍

清华大学气候变化与可持续发展研究院成立于 2017 年 10 月。气候院致力于打造跨学科研究、人才培养和政策交流协同创新平台，整合国内外优质资源，为应对全球气候变化与实现可持续发展提供智慧和方案。气候院的工作内容包括对话与交流、战略研究、教育与培训三大板块，已经成功打造“气候变化大讲堂”、“巴黎协定之友”、“世界大学气候变化联盟”等品牌旗舰项目，开展了“中国低碳发展及转型路径”、“气候与环境协同治理”等战略研究，搭建了“甲烷减排合作平台”和“应对气候变化的基于自然解决方案”合作平台，并组织了两期南南气候合作培训班。目前已经形成了国际品牌影响力、国内外资源整合能力和专业研究实力三大优势，成长为领域内知名智库。