

君合专题研究报告

JUNHE

2022年9月19日

海外新能源系列（七）——碳捕集、利用与封存（CCUS）浅析

引言：

二氧化碳捕集、利用与封存（Carbon Capture, Utilization And Storage，以下简称“CCUS”）是碳减排的重要手段。“双碳”目标下中国 CCUS 减排需求至 2050 年将达 6~14.5 亿吨/年，而截至 2021 年中国已投运或建设中的 CCUS 项目捕集能力仅为 300 万吨/年。¹ 随着监管制度完善、政策激励出台、碳排放权交易市场启动、基础设施配套并集群化，CCUS 行业有着巨大的成长空间和国际合作机会。

本文将简介 CCUS 产业链及流程，梳理我国和其他国家的 CCUS 相关政策及实践，及 CCUS 的主要商业模式，并对 CCUS 项目运营商应关注的主要风险进行提示。

一、什么是 CCUS 项目？

CCUS 是指将二氧化碳（CO₂）从工业过程、能源利用或大气中捕获并分离，通过管道、船舶等运输，将其作为产品或服务的原料，或将其注入地层永久储存的过程。² CCUS 技术起源于上世纪 70 年代对 CO₂ 的驱油利用（指把二氧化碳注入油层中以提高油田采油率的技术），美国是最早实践 CCUS 技术的国家。CCUS 技术由 CO₂ 的捕集、运输、利用和封存这 4 个环节构成，按各个环节之间

不同排列组合，又包括 CS（碳捕集与封存）、CU（碳捕集与利用）、CTS（碳捕集、运输与封存）等不同子集。

- **碳捕集**：在燃烧前、富氧燃烧或燃烧后不同阶段，通过物理吸收、化学吸收、吸附法等方法捕获并分离 CO₂ 的过程。³ 碳捕集是 CCUS 最关键的技术，也是整个流程中成本和能耗最高的环节，是 CCUS 项目经济性的主要制约。
- **碳运输**：将捕集的 CO₂ 运送至碳利用场所或封存地点的过程，一般通过管道、船舶或罐车（公路或铁路）运输，各个运输方式的经济性、安全性、灵活性各有利弊。
- **碳利用**：通过工程技术手段将捕集的 CO₂ 资源化利用的过程，包括地质利用、化工利用、生物利用、电化学利用、物理利用、矿化利用等。⁴ 碳利用技术是 CCUS 创新突破的难点，目前主要应用于提高石油或天然气采收率（Enhanced Oil and Gas Recovery，以下简称“EOR/EGR”）或化肥生产。
- **碳封存**：将捕集的 CO₂ 注入于特定地质构造中，从而进行封存、实现与大气长期隔绝的技术过程，包括陆上或海上咸水层封存、枯竭油气田封存等技术。⁵ 碳封存技术不具备附带经济价值且成本较高，主要依赖碳减排政策激励。

CCUS 项目收益一是来源于 CO₂ 作为商品的价值，二是碳减排价值。早期 CCUS 商业化项目大多利用 CO₂ 的驱油特性应用于油气 EOR/EGR 项目，

¹ 蔡博峰、李琦、张贤等，《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》，生态环境部环境规划院、中国科学院武汉岩土力学研究所、中国 21 世纪议程管理中心。

² <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/carbon-capture-utilisation-and-storage>

³ 王静、龚宇阳、宋维宁、阳平坚，《碳捕获、利用和封存（CCUS）技术发展现状及应用展望》，上海伊世特科技管理有限公司、山西清洁能源经济研究院、中国环境科学研究院。

⁴ 王静、龚宇阳、宋维宁、阳平坚，《碳捕获、利用和封存（CCUS）技术发展现状及应用展望》，上海伊世特科技管理有限公司、山西清洁能源经济研究院、中国环境科学研究院。

⁵ 王静、龚宇阳、宋维宁、阳平坚，《碳捕获、利用和封存（CCUS）技术发展现状及应用展望》，上海伊世特科技管理有限公司、山西清洁能源经济研究院、中国环境科学研究院。

项目经济性对油价、气价较为敏感。随着各国碳中和政策、碳交易市场、碳税制度的渐趋成熟，CCUS 的碳减排价值将越发凸显。未来 CCUS 项目的目标客户也可能由传统的油气企业逐渐转变为电力、钢铁、水泥等高耗能行业企业，甚至向广义上所有 CO₂排放主体提供减排服务。

二、我国 CCUS 政策及实践

2007 年以来，国务院及相关部委牵头发布了一系列国家政策和发展规划（其中主要政策文件梳理见表 1：我国 CCUS 相关政策），提出要鼓励和支持发展 CCUS 产业，将 CCUS 列为国家重点推广的低碳技术和能源技术革命重点，提出加强 CCUS 战略规划和标准制定，积极开展 CCUS 技术研究和示范。环境评价方面，2016 年原环境保护部（现生态环境部）发布的《二氧化碳捕集、利用与封存环境风险评估技术指南（试行）》为 CCUS 项目环评提供了切实的规范和指导；技术标准方面，2018 年住房和城乡建设部发布的《烟气二氧化碳捕集纯化工程设计标准》是目前我国仅有的技术标准文件。总体而言，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，尚无专门立法对 CCUS 准入、建设、运营、监管、终止等环节进行详细规制。

表 1：我国 CCUS 相关政策

年份	部门	政策	内容
2007	科学技术部、发改委等	国科发社字（2007）407 号 关于发布《中国应对气候变化科技专项行动》的通知	CCUS 被列为应对气候变化重点任务
2013	发改委	发改气候（2013）849 号 关于推动碳捕集、利用和封存试验示范的通知	推动 CCUS 试验示范，探索激励机制，加强战略规划和标准规范制定
2013	环境保护部（已撤销）	环办（2013）101 号 关于加强碳捕集、利用和封存试验示范项目环境保护工作的通知	加强 CCUS 环境影响评价、监测，建立环境风险防控体系，推动环境标准规范制定，加

			强基础研究和 技术示范
2014	国务院办公厅	国办发（2014）23 号 关于印发《2014-2015 年节能减排低碳发展行动方案》的通知	实施碳捕集、 利用和封存 示范工程
2016	国务院	国发（2016）43 号 关于印发《“十三五”国家科技创新规划》的通知	加 快 CCUS 技术研发、大 力发展 CCUS
2016	国务院	国发（2016）61 号 关于印发《“十三五”控制温室气体排放工作方案》的通知	制 定 CCUS 标准；在煤基 行业和油气 开采行业开 展 CCUS 示 范；推进工业 领域试点并 做好环境风 险评价
2016	国务院	国发（2016）67 号 关于印发《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》的通知	支持碳捕集、 利用和封存 技术研发与 应用，发展碳 循环产业
2016	发改委、国家能源局	发改能源（2016）513 号 关于印发《能源技术革命创新行动计划（2016-2030 年）》的通知	CCUS 被列为 能源技术革 命重点，提出 CCUS 战略方 向及 2020、 2030、2050 发 展目标
2017	发改委	国家发展和改革委员会公告 2017 年第 1 号 关于发布《战略性新兴产业重点产品和服务指导目录（2016 版）》的公告	CCUS 技术及 利用系统被 列入战略性 新兴产业重 点产品和服务 指导目录
2017	科学技术部，环境保护部（已撤销），中国气象局	国科发社（2017）120 号 《“十三五”应对气候变化科技创新专项规划》	继续推进大 规模低成本 CCUS 技术与 低碳减排技 术研发与应 用示范
2018	住房和城乡建设部	关于发布国家标准《烟气二氧化碳捕集纯化工程设计标准》（GB/T51316-	发布烟气 CO ₂ 捕集纯化工 程设计标准

		2018)的公告	
2021	全国人民代表大会	《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》	实施CCUS重大项目示范
2021	中共中央,国务院	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	推进规模化CCUS技术研发、示范和产业化应用,加大投资政策支持力度
2021	国务院	国发〔2021〕4号 关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见	推动能源体系绿色低碳转型,开展CO ₂ 捕集、利用和封存试验示范
2021	国务院	国发〔2021〕23号 国务院关于印发《2030年前碳达峰行动方案》的通知	深化CCUS基础研究、加快技术创新、推动科研合作和技术交流
2021	发改委	发改办环资〔2021〕496号 关于请报送二氧化碳捕集利用与封存(CCUS)项目有关情况的通知	CCUS项目信息收集,评估现状,有力组织后续工程
2022	工业和信息化部,国家发展和改革委员会,生态环境部	工信部联节〔2022〕88号 关于印发《工业领域碳达峰实施方案》的通知	布局CCUS技术,在钢铁、建材、石化化工重点行业加快CCUS应用和示范
2022	国家市场监督管理总局、发改委、科学技术部等	国市监标技发〔2022〕64号 关于印发贯彻实施《国家标准化发展纲要》行动计划的通知	研究制定CCUS标准
2022	生态环境部	环综合〔2022〕42	推动CCUS

	境部,国家发展和改革委员会,工业和信息化部等	号 关于印发《减污降碳协同增效实施方案》的通知	在工业领域应用、技术试点应用
--	------------------------	----------------------------	----------------

我国CCUS实践起步较晚,2006年左右学术界和工业界首次提出“CCS+U”(即CCUS)的概念。目前我国CCUS技术仍处于研发与示范阶段,已投运和建设中的CCUS示范项目约40个,多以石油、煤化工、电力行业小规模捕集驱油示范为主,缺乏大规模或全流程工业化项目。⁶我国试点示范项目的投资主要来源于重点国有企业,民营资本参与度较低。2022年6月27日,中国海油、广东省发展改革委、壳牌集团、埃克森美孚签署《大亚湾工业园区二氧化碳捕集利用及封存集群研究项目谅解备忘录》,该项目将是我国首个千万吨级海上CCUS集群项目。⁷8月29日,中国石化宣布,我国最大的碳捕集利用与封存全产业链示范基地、国内首个百万吨级CCUS项目——“齐鲁石化-胜利油田百万吨级CCUS项目”正式注气运行,标志着我国CCUS产业开始进入技术示范中后段——成熟的商业化运营。⁸

三、世界其他国家CCUS政策及实践

据Global CCS Institute 2021年度报告⁹,截至2021年9月,全球共有135个正在运营、建设、开发或暂停的商业化CCUS项目¹⁰,分布于全球25个国家,其中美国占70个、欧盟占35个、加拿大占8个,处于全球领先地位,我国有6个CCUS项目达到Global CCS Institute界定的商业化标准。

CCUS产业主要国家/经济体对CCUS的鼓励政策主要包括两类,一类是直接资金支持,如美国是CCUS的领跑者,得益于有力的优惠政策对行业和

⁶ 蔡博峰、李琦、张贤等,《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》,生态环境部环境规划院、中国科学院武汉岩土力学研究所、中国21世纪议程管理中心。

⁷ http://drc.gd.gov.cn/gkmlpt/content/3/3959/post_3959724.html#870

⁸ <http://www.xinhuanet.com/energy/20220829/4eb0b315fec54133b218b1501480af43/c.html>

⁹ <https://www.globalccsinstitute.com/resources/global-status-report/>

¹⁰ 根据Global CCS Institute数据库定义,项目需满足以下条件才被视为商业化项目:包含商业化运作的捕集、运输、利用或封存全链条设施;一般具备较长的经济寿命期;在满足监管要求的前提下,能够产生一定的经济回报。

投资的引导，如2020年12月美国出台的《2020能源法案》大幅提高CCUS研发支持力度，计划在2021—2025年提供超60亿美元的研发资金支持；2021年11月通过《基础设施投资法案》，计划提供近50亿美元用于支持CO₂运输和储存基础设施和场地的开发和融资。¹¹其他CCUS产业领先的主要国家也普遍对CCUS发展提供直接的资金支持。

第二类是与CCUS碳减排价值相关的激励政策，主要包括碳中和政策、碳交易市场、碳税反向激励、税收抵免等等，下表将主要国家/经济体与碳价值相关的激励政策及实践归纳如下：

国家/经济体	激励政策	具体说明
美国	税收抵免 + 碳交易	• 联邦45Q税收抵免政策：该政策是针对CCUS的企业所得税优惠政策，按照捕获与封存的CO₂数量计算抵免额，允许纳税人从企业所得税应纳税额中进行抵免。45Q采用递进式补贴价格，地质封存补贴价格由2018年的25.70美元/吨递增至2026年的50.00美元/吨，EOR项目的补贴价格由2018年的15.29美元/吨递增至2026年的35.00美元/吨。实现碳减排的企业在设施投入使用后12年有效期内直接获得税收抵免。 • 碳交易：1997年，美国成立了低碳项目减排量核证的碳注册登记系统（American Carbon Registry, ACR），核证的减排量可以用于美国加州低碳燃料标准体系（California Low Carbon Fuel Standard, LCFS）和华盛顿州清洁空气法案。截至2020年初，ACR核证减排量中CCUS项目占43.2%。LCFS体系下碳信用交易价格约为200美元/吨，可与45Q税收抵免叠加适用。
加拿大	碳交易 + 交易量补贴 + 碳税反向激励	• 碳交易：加拿大已建立包括阿尔伯塔省（主要油气生产省份）在内的13个地方碳市场，阿尔伯塔碳市场是纳入CCUS项目最多的碳市场，CCUS项目可通过阿尔伯塔排放抵消体系（Albert Emission Offset System, AEOS）进行认证。

		截至2020年初，AEOS总计签发核证减排量5600万吨CO₂当量，其中CCUS项目占9.2%。 • 交易量补贴机制：例如，加拿大阿尔伯塔省碳抵消机制规定，非EOR的CCUS项目每减排1吨CO₂可获得2吨的碳减排额。 • 碳税反向激励：2021年加拿大最高法院通过《2018年温室气体污染定价法》，将碳税从2021年40加元/吨提高到2030年170加元/吨。高昂的碳税和严苛的环保政策驱动企业（尤其是油气企业）发展CCUS项目。
欧盟	碳交易	• 碳交易：欧洲CCUS项目主要依靠欧盟碳交易市场（European Union Emissions Trading System, EU ETS）实现减排价值。不过欧洲碳交易价格较低，对CCUS项目的支持力度有限。总体而言，欧盟对CCUS的支持政策相对谨慎和保守。
挪威	碳税反向激励	• 碳税反向激励：挪威自1991年起对石油、天然气、矿物油、焦炭企业征收碳税，2021年宣布将从当前590挪威克朗/吨进一步提高至2030年的2000挪威克朗/吨。挪威的CCUS项目受到了碳税政策的间接激励，企业通过碳捕集避免高昂的碳税。
澳大利亚	碳交易	• 碳交易：澳大利亚将CCUS项目纳入减排基金（Emission Reduction Fund, ERF），允许符合条件的CCUS项目获得澳大利亚碳信用单位（Australian Carbon Credit Units, ACCU），可按合同出售给政府或通过二级市场出售给私人实体。这是亚太地区第一个针对CCUS的CO₂减排财政激励计划。

四、CCUS 项目主要商业模式

传统CCUS项目主要依赖油气EOR/EGR手段实现收益，碳税逐步走高、碳市场的建立和完善促使更多CCUS项目上马，CCUS逐渐商业化的过程中不断涌现和探索出新的可持续的商业盈利模式。

我们总结目前CCUS领域主要的商业模式包

¹¹ 秦阿宁、吴晓燕、李娜娜、孙玉玲、陈方，《国际碳捕集、利用与封存（CCUS）技术发展战略与技术布局分

析》，载于《科学观察》，2022年5月16日。

括：

- **传统模式：**提高石油或天然气采收率（EOR/EGR）。
- **碳交易：**如第三部分介绍，美国、加拿大、欧洲、澳大利亚等国均将CCUS项目纳入碳交易框架内，就CCUS项目签发核证减排量并允许参与碳交易。
- **税收抵免：**如第三部分介绍，美国对CCUS的激励措施还包括税收抵免，实践中，税收抵免模式往往与其他商业模式结合使用。
- **差价合约：**与电力行业差价合约类似，投资人与政府通过合约设定执行价作为碳市场背景下的价格保证机制。执行价可基于碳捕集设施投资运营成本或工业产品价格（可平价或一定溢价），为投资者提供了相对稳定的回报。

五、CCUS 项目风险关注要点

1、与碳市场衔接和减排量核算风险

需要关注东道国碳市场相关政策与实践是否与CCUS项目衔接。将CCUS纳入碳市场、运营方通过核证减排量获益对助推CCUS行业发展至关重要，在衔接的过程中需要明确减排量核算机制，以及核算减排量可能的双重计算等问题。

2、封存后责任转移风险

CCUS项目生命周期长，在运输、注入和封存过程中存在泄漏风险，CO₂长期地下封存也有较大的潜在环境风险，因此运营方应关注封存后的监测义务和责任转移制度，涉及政府、运营方与第三方（如评估机构）的责任分摊。目前国际上CCUS项目关闭均未超过30年，尚无成熟的法律规范或监管框架，欧盟和加拿大提供了立法示范，均规定一定期限的“关闭保证期”，保证期内运营方仍有持续监测义务，须设立泄漏风险方案、定期向主管部门

汇报，保证期满并经主管部门审核后，监测责任转移至政府主管部门。

3、产业链涉及的权属风险

CCUS项目不仅时间跨度长而且涉及空间范围广，从运输阶段管道占地到封存阶段厂址占有使用等都会涉及到所有权或使用权问题，尤其是地下存储空间使用权、注入到存储空间的CO₂所有权等；海上CCUS项目还需考虑到用海相关问题。运营商应对CCUS产业链涉及的所有权或使用权权属清晰界定，从而厘清自身应承担的责任。

4、碳价或油价等价格风险

现有CCUS项目大多通过EOR/EGR实现收益，盈利性受油价、气价的影响。未来CCUS项目将很大程度上依赖碳交易市场实现盈利，碳价或碳税稳定性对收益有较大影响。运营商需关注原油、天然气、碳价等价格风险。

5、项目融资渠道

目前国内项目基本为示范类项目，主要资金来源为企业自有资金，除个别项目有地方政府政策、资金支持或国内外研发赠款外，几乎没有金融机构参与。国外CCUS项目融资方式更为多样，从企业自筹到政府资助、企业联合投资或成立合资公司、绿色基金、多边银行或国际金融机构、商业贷款等。CCUS项目建设运营成本高、环境责任和风险较高，运营商需关注项目可融资性风险以及融资渠道问题。

六、结语

全球范围内碳减排政策渐趋明确、各国碳交易市场的逐渐完善，为CCUS产业进一步发展带来了良好契机。我国未来CCUS产业商业化，需要首先解决CCUS项目与碳交易市场的衔接问题，实现CCUS的碳减排价值。企业需要在政策框架下密切关注CCUS相关政策动向与技术进展，积极探索新

商业模式，并在此过程中关注减排核算风险、封存后责任、产业链权属、碳价价格等多重风险。我国CCUS实践尚处于起步阶段，国际CCUS实践也处

于动态变化中，尚无成熟的法律规范或监管框架，以上浅析谨供对CCUS产业有兴趣者参考。

周显峰 合伙人 电话：86 10 8519 1768 邮箱地址：zhouxf@junhe.com
杜丽婧 合伙人 电话：86 10 8553 7684 邮箱地址：dulj@junhe.com
万伟伟 律 师 电话：86 10 8519 1253 邮箱地址：wanww@junhe.com

本文仅为分享信息之目的提供。本文的任何内容均不构成君合律师事务所的任何法律意见或建议。如您想获得更多讯息，敬请关注君合官方网站“www.junhe.com”或君合微信公众号“君合法律评论”/微信号“JUNHE_LegalUpdates”。

