

CCUS 节能环保技术在综合智慧能源产业应用场景下的市场开拓

顾瑞恺

(华电科工股份有限公司, 北京 100071)

摘要 在“双碳”目标与能源安全双重要求下, 综合智慧能源被广泛用于承接高碳行业减排需求, 二氧化碳捕集、利用与封存技术 (Carbon Capture, Utilization and Storage, CCUS) 正从单一减排工具逐步转向系统治理选项。本文基于综合智慧能源的发展脉络, 梳理 CCUS 技术在产业层面的应用现状, 分析其在源网荷储协同中的价值机理, 构建“政策引导—场景嵌入—商业模式—生态共建”相衔接的市场开拓框架, 以为类似工程实践和制度设计提供有益参考。

关键词 CCUS; 环保技术; 综合智慧能源; 市场开拓

中图分类号: F407; X38

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.07.027

0 引言

综合智慧能源项目在多能互补、数字调度与区域一体化方面持续扩展, 高碳资产在新的系统架构下面临更严密的排放约束与转型压力。CCUS 被纳入国家和行业中长期规划, 角色由末端减排手段延伸到支撑深度减排的关键技术。现有研究多聚焦技术路线和单体工程, 针对综合智慧能源场景的系统嵌入、商业可行性和市场扩展机制关注不足, 有必要在统一框架下展开综合分析策略研究。

1 综合智慧能源产业发展与 CCUS 技术应用现状

在“双碳”目标与能源安全双重要求的格局下, 综合智慧能源产业被视为重塑能源供给与消费结构的重要载体。通过源网荷储协同、多能互补和数字化调控, 系统可以在同一平台上统筹电、热、气等多种形态, 为清洁能源消纳和终端减排提供条件, 并为高排放环节预留引入 CCUS 的技术接口^[1]。

从发展态势看, 综合智慧能源项目规模扩大, 参与主体多元, 目标由节能降耗延伸到经济性、灵活性与环境绩效的综合优化。相关规划和技术路线已将 CCUS 纳入深度减排工具组合, 将其视为约束存量高碳设施的关键手段。然而, 在成本水平、价格信号和制度支撑尚未充分到位的情况下, CCUS 在综合智慧能源场景中的应用力度仍然有限。碳排放约束趋严、绿色

金融扩展和环境监管强化, 为两者协同发展提供了基本框架, 相关主体可以在项目论证阶段同步考虑供能安全、资源配置与碳约束, 在统一决策体系下规划能源结构与排放管理。

2 CCUS 节能环保技术在综合智慧能源场景中的价值机理

在综合智慧能源系统中, CCUS 的作用体现在对系统约束条件与优化空间的再配置。综合智慧能源强调多能协同与柔性调节, 需要在供需平衡、成本控制与排放强度之间寻找相对稳定的运行区间。CCUS 可以作用于高排放源头, 通过集中管理和深度处理碳流, 释放部分碳约束空间, 使系统在维持供能安全的前提下提高减排水平。

从系统优化视角看, 综合智慧能源项目在配置减排技术时, 需要在多种方案之间进行组合选择。CCUS 可以与可再生能源开发、储能配置和需求侧响应构成技术组合, 使决策在总成本、减排潜力和实施周期等维度上进行权衡。项目评估可以将 CCUS 投入与节约的碳成本、减少的合规风险及可能获得的环境权益综合计量, 形成相对明确的边际贡献。通过规范监测、核算与报告, 减排量可以进入碳交易和其他环境权益交易安排, 为项目带来附加现金流, 并为金融机构识别项目绿色属性提供依据。

作者简介: 顾瑞恺 (1986-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 清洁能源。

3 面向综合智慧能源场景的CCUS市场开拓策略设计

3.1 聚焦政策导向，夯实示范基础

要推动CCUS技术在综合智慧能源中的市场开拓，必须先从政策层面入手，提供清晰的政策框架和支持。国家层面的政策可以在实现“双碳”目标的过程中发挥关键作用，尤其是在能源安全、减排责任与成本控制之间找到平衡。通过政策引导，鼓励企业在能源转型过程中逐步加大对CCUS技术的投入。为了进一步促进行业发展，应将CCUS列入长期能源规划和减排目标，确保政策支持的稳定性和连续性，消除企业在技术应用与投资决策中的不确定性^[2]。

为实现这一目标，政府可以通过设定明确的技术路径和实施标准，帮助企业厘清技术应用的边界及具体操作细则。这不仅有助于明确产业链条的各个环节，还能为后续项目的推广提供可复制的成功案例。同时，政策的明确性和导向性将有助于引导资本和技术资源的有效配置，避免在技术研发和产业化过程中遭遇瓶颈。此外，在具体的政策工具方面，政府还可以通过财政补贴、税收减免、绿色债券等方式减轻企业负担，尤其是在项目初期的高成本阶段。例如：在项目启动阶段，政府可以对那些在综合智慧能源系统中应用CCUS的项目提供资金支持，尤其是在具有重要示范意义的区域或重点行业，通过补贴、奖励等形式激励更多企业参与到这一领域中来。政策的持续性和对市场的长期预期将大大提升企业的投资信心，促进CCUS技术的广泛应用。

政策层面的稳定支持，也需要与地方政府的协同作用相结合。各地区可以根据本地能源结构和产业特点，制定差异化的实施方案，并以地方政府为纽带，推动当地企业和科研机构共同参与到技术研发和商业化应用的过程中。通过地方政府的政策推动，不仅可以为企业提供更多定制化的支持，还能在区域层面形成示范效应，进一步促进技术的快速普及与应用。

3.2 嵌入多元场景，拓展协同空间

在综合智慧能源体系中，CCUS应用可以作为贯穿源、网、荷、储各环节的关键纽带，通过多场景嵌入与协同运行，构建兼顾减排绩效、系统效率与经济性的整体方案。多元场景的有机布局，可以打通能源流与碳流，形成长期稳定的市场空间^[3]。

在场景识别层面，规划部门需要结合区域能源禀赋、产业结构和负荷特征，对适宜纳入CCUS的环节进行系统梳理。综合能源服务主体可以从电力、热力、

制氢、工业用汽等不同需求出发，构建若干具有内在关联的应用子场景，将分散的排放源与潜在利用或封存单元进行成组匹配。通过这样的梳理过程，可以明确各类场景的减排潜力、边际成本和技术条件，为后续项目组合和路径选择提供依据。在系统集成层面，工程技术团队需要从整体架构出发设计耦合方案，将CCUS环节与综合智慧能源系统中的调度、储能与需求响应有机结合。运营主体可以利用数字孪生、实时监测和预测模型，对不同场景下的负荷波动和碳流动进行动态分析，合理安排捕集装置启停和运行负荷，减少对基准能源系统的扰动。通过将碳捕集、输送、利用与封存嵌入统一的调控平台，可以在保障供能安全的前提下提高减排强度。

在多能协同层面，综合能源项目可以围绕园区、城市群或产业带构建跨行业协作网络，引导电力、热力、化工、建材等主体共享基础设施和减排成果。通过共用管道、压缩、监测等设施，可以摊薄单个项目的固定成本，提升利用率。区域内不同企业之间可以通过协议安排和市场机制，对碳源与碳汇进行统筹配置，实现减排责任和经济收益的合理分担，增强各方参与意愿。在模式创新层面，相关主体需要把多元场景视作测试和迭代应用路径的重要载体，主动探索“综合能源服务+CCUS技术服务”的复合供给形态。项目开发单位可以通过分阶段实施、分场景落地的方式，逐步扩展技术边界，积累运行数据和工程经验，为后续标准制定、成本测算和风险评估提供支撑。

3.3 优化商业模式，健全投融资链

在综合智慧能源框架下拓展CCUS市场，需要通过商业模式重构，将减排效益、系统灵活性和环境价值转化为可计量、可交易的收益项。项目方可以在成本、价格和风险三者之间重塑关系，使技术价值通过稳定现金流得以体现，由此为资本投入提供清晰的回报预期，为长期运营提供相对可靠的制度基础^[4]。

在收益结构设计上，项目开发与运营主体可以将CCUS嵌入综合能源服务体系之中，将传统能源产品销售与减排服务、环境权益打包配置。企业可以通过“能源供应+碳减排承诺+环境绩效”一揽子方案，将碳捕集量、减排贡献度与服务价格相联系，形成多元收入来源。综合能源运营平台需要在合同条款中明确信息披露和绩效考核方式，使收益分配与减排结果、系统调节作用相匹配，增强商业模式的解释性与可复制性。在风险分担机制方面，项目方需要对建设期、技术、市场与政策等不同类型风险加以拆分，通过多方参与的项目结构实现分级承担。政府部门可以通过长期稳

定的政策信号、适度的财政与税收工具，承担一部分制度不确定性带来的风险；能源企业可以承担工程建设和运营管理方面的责任；金融机构可以在可控范围内承接收益波动带来的金融风险。通过长期购售电（热）协议、服务期内保底条款等安排，项目可以获得相对可预见的现金流曲线，降低外部资本进入门槛。

在投融资工具配置方面，项目筹划阶段需要与绿色金融体系进行深入对接，形成覆盖研发、中试、示范和商业化各阶段的资金供给链条。金融机构可以依据项目的减排效益和环境绩效，设计与之匹配的绿色信贷、绿色债券以及中长期专项贷款工具；产业基金和引导基金可以在早期阶段提供股权或准股权支持，缓解前期投入集中、回收周期长的问题。项目运营一段时间后，还可以在符合条件的前提下，探索以资产证券化、基础设施类公募产品等方式进行再融资，使沉淀资产重新转化为可投入的新资本。在价格机制与市场平台衔接方面，项目方需要构建规范的监测、报告与核查体系，为减排量进入碳市场和相关环境权益交易提供基础数据。综合能源服务企业可以将通过交易获得的碳收益，与终端用户的绿色采购需求相结合，设计多层次的低碳服务产品，强化 CCUS 在综合智慧能源场景中的“增值服务”属性。监管与行业组织可以在实践基础上不断完善计量标准和交易规则，使商业模式与投融资链条在制度层面实现良性互动，从而为 CCUS 节能环保技术在综合智慧能源产业中的持续扩展提供较为稳固的金融支撑结构。

3.4 强化生态共建，提升品牌价值

在综合智慧能源产业中推进 CCUS 应用，生态共建理念可以作为支点，通过重塑合作关系和认知结构，将技术优势与长期品牌建设联系起来。围绕“协同、透明、责任”构建运行框架，行业主体可以在减排绩效、市场声誉与社会认同之间形成联动，使节能环保技术由单一工程项目转化为较为稳定的价值符号^[5]。

在生态架构层面，综合能源企业需要从孤立项目思维转向网络化协同视角，将设备供应商、园区运营方、高排放用户、科研机构等纳入开放合作网络。企业可以搭建常态化沟通机制和共享数据平台，对减排目标、技术路线与运维标准进行协同研判，引导各方在统一规则下分工合作。随着参与主体的增多，资源配置弹性和风险缓冲能力会提升，CCUS 相关项目的议价能力与抗波动能力也会同步增强。在协同治理层面，行业骨干企业和专业机构可以联合推动联盟化运作，对综合智慧能源场景下 CCUS 应用的边界、责任与权利进行制度化表达，并通过技术规范、信息披露准则和环境

绩效评价办法形成具有约束力的行业共识。政府部门可以在政策设计中预留空间，把符合联盟标准的项目纳入重点支持范围，以认证和评价结果引导资源流向治理能力较强、合作基础较稳的主体。

在品牌塑造层面，综合能源服务商需要把 CCUS 实践嵌入整体品牌叙事，将节能减排成果、供应链管理和客户服务方案一体呈现。企业可以建立环境信息披露机制，用连续数据和可核查指标展现减排路径和管理改进，把“低碳可信度”转化为面向政府、资本市场和客户的共同信号。随着披露质量的提升，企业在参与公共项目遴选、资本合作和重点客户开发时，可以获得更高的信任溢价。在社会互动层面，项目实施主体需要加强与地方政府、社区与社会组织的沟通，将 CCUS 在综合智慧能源体系中的作用解释清晰，把安全管理、环境监测等关切点前置回应。通过听取反馈、优化方案和适度开放现场，项目可以缓解信息不对称引发的阻力，降低由认知偏差带来的社会风险。从长期看，强化生态共建可以为 CCUS 节能环保技术形成较为稳固的品牌支撑结构。行业主体在技术创新、治理能力、信息透明度和社会责任等维度持续积累，有条件把单个示范项目升格为区域或行业层面的“低碳名片”，在综合智慧能源产业的竞合格局中获得更优发展位置。

4 结束语

综合智慧能源为 CCUS 提供了集中排放管理和协同调度平台，CCUS 为高碳资产保留一定运行弹性的同时也增强了减排强度，二者在系统层面具有较强的互补性。本文围绕产业基础、价值机理与市场路径，对 CCUS 在综合智慧能源场景中的功能定位与扩展方向进行了梳理，提出以政策导向、多元场景嵌入、商业模式优化和生态共建为重点的开拓策略，为后续分阶段推进与区域化布局提供可借鉴的分析框架。

参考文献：

- [1] 李永辉. 工业节能环保技术在环境能源领域的应用研究[J]. 石化技术, 2024,31(10):151-153.
- [2] 程飞, 景晓栋, 田泽. 节能环保产业政策对企业技术创新的影响研究[J]. 科研管理, 2024,45(10):102-111.
- [3] 安栋. 节能环保技术在供暖通风系统中的应用研究[J]. 黑龙江环境通报, 2024,37(08):136-138.
- [4] 谭红妍, 田鸿业. 环保节能技术在给排水系统中的应用[J]. 清洗世界, 2024,40(08):45-47.
- [5] 李晓艳. 浅析燃煤锅炉的节能环保改造技术[J]. 能源与节能, 2024(04):79-82.