

# 欧盟发布CCUS技术进展报告展望未来发展趋势

CASEnergy 中国科学院先进能源情报网 今天



近期，欧盟委员会联合研究中心在战略能源技术规划（SET-Plan）信息服务平台发布了更新版的《碳捕集、利用与封存技术发展报告》，总结了碳捕集、利用与封存（CCUS）技术的现状、发展趋势、目标和需求、技术障碍以及到2050年的技术经济预测。关键要点如下：

## 一、碳捕集技术

### 1、技术现状及目标

至今为止，碳捕集技术主要基于发电来定义。第一代碳捕集技术包括：①胺基溶剂（燃烧后捕集）；②物理溶剂如聚乙二醇二甲醚法（Selexol）、低温甲醇法（Rectisol）等（燃烧前捕集）；③富氧燃烧。这些技术已经成熟可以投入商业应用，只是成本较高，因此相关的改进研发工作正在进行中。与发电相比，工业过程中的碳排放可能并非来自燃烧，因而上述第一代碳捕集技术的分类并不适用于工业。综合来看，可分为基于溶剂的碳捕集、基于吸收剂的碳捕集、基于膜的碳捕集以及高温循环碳捕集等。第二代碳捕集技术处于研发阶段，将在稍后阶段进行示范；第三代技术正处于概念设计或早期开发阶段，两者均侧重于开发更高效、环保和经济的技术。目前碳捕集行业的开发目标如下：捕集成本低于15欧元/吨CO<sub>2</sub>；效率损失低于5%；到2050年碳捕集率

达到90%；用于溶剂再生和/或获得氧气的能耗达到最小。

当前，主要碳捕集技术的发展现状如下：

(1) 基于溶剂的碳捕集。第一代单乙醇胺 (MEA) 碳捕集技术的技术成熟度已达到7-8级，溶剂再生的热负荷已经从5吉焦/吨CO<sub>2</sub>降至1.8吉焦/吨CO<sub>2</sub>，通过溶剂优化和工艺整合，进一步的改进仍在中试和示范工厂中测试，其开发目标为：开发低成本和无腐蚀性的溶剂，提高CO<sub>2</sub>负载能力，改进反应动力学，减少废气排放，降低溶剂再生的能耗。在较高CO<sub>2</sub>浓度时，物理溶剂的应用效果更好，其技术成熟度已达到第8级。而在较低CO<sub>2</sub>浓度情况下，甲基二乙醇胺 (MDEA) 是首要选择。第一代碳捕集技术的研究重点是：提高高温下的CO<sub>2</sub>负载能力；减少吸收热量；改进溶剂再生条件以在更高压力下进行碳捕集。

(2) 基于吸附剂的碳捕集。对于固体吸附剂，通常将变压吸附或变温吸附用于吸附剂再生，气体与吸附剂的接触发生在固定床、移动床或流化床中。尤其是对于天然气电厂，可以利用碳捕集技术获得高纯度的H<sub>2</sub>。在这种情况下，通常在使用物理溶剂分离CO<sub>2</sub>后，利用活性炭变压吸附（技术成熟度为8级）获得高纯度的H<sub>2</sub>。这一策略适合煤气化电厂（如IGCC）和天然气重整工厂。

(3) 基于膜的碳捕集。此类技术利用渗透性材料选择性地从烟气中分离CO<sub>2</sub>。气体分离涉及物理或化学相互作用和/或表面反应以及选择性运输。通常，膜系统由多级和循环流组成。

(4) 高温循环技术。此类技术的成熟度在4-5级，是当前研究的重点，欧盟相关项目多集中在化学链燃烧项目（技术成熟度5级）以及煤和天然气锅炉项目（技术成熟度为6级），钙循环法的技术成熟度已达到5级。

欧盟目前资助的相关研究项目为碳捕集技术设定了如下目标：胺基溶剂碳捕集技术成熟度达到7级，为工厂规模的部署奠定基础；钙循环碳捕集技术成熟度在“地平线2020”框架计划资助期内提升至7级；化学链循环的技术成熟度达到6级，为中试工厂奠定基础；吸附强化水煤气变换和氢燃气轮机技术成熟度达到6级；“地平线2020”资助期内溶剂法、吸附剂法、化学链燃烧和钙循环法技术成熟度达到7级以后在大规模工厂中部署。

## 2、技术趋势及需求

对于适用于发电和高能耗行业的碳捕集技术，通用的技术趋势及需求如下：第一代、第二代和第三代碳捕集技术的有效集成；综合环境控制系统，如胺排放控制；全负载/部分负载下的灵活性；CO<sub>2</sub>杂质的影响。

对于每种技术，可以确定以下趋势和需求：

(1) 基于化学/物理溶剂的吸附：优化溶剂管理，示范灵活性和可操作性，以及溶剂降解研究；降低溶剂成本以及能源消耗；开发更有效的接触面和更快的循环，以减少设备体积。

(2) 固体吸附剂吸附：开发新型吸附材料以改善性能；开发新材料的标准化测试流程；减小设备尺寸以降低成本。

(3) 膜技术：开发聚合物膜；竞争吸附、渗透以及H<sub>2</sub>与CO<sub>2</sub>之间的污染研究；膜特性（接触面积等）研究，以进行有效分离；影响分离过程的CO<sub>2</sub>浓度和压力研究；密封、稳定性、机械应力、结垢、水凝结和耐用性研究。

(4) 高温循环系统（化学链燃烧和钙循环）：第二代和第三代技术的效率提高；优化固体燃料反应器中的燃料转化过程；需要具有合理反应性和机械稳定性的材料来解决化学反应活性。

(5) 过程和系统改进：提升氧气分离效率，降低成本；开发用于高温高压燃烧系统和超临界CO<sub>2</sub>系统的材料；优化用于极端温度条件的材料，如用于高温高压下H<sub>2</sub>与CO<sub>2</sub>分离的材料；改善使用低阶煤的气化炉性能；设计和改进富氢燃气轮机组件以适应较高的燃烧温度和冷却要求。

### 3、大规模部署的障碍

影响碳捕集技术大规模部署的技术障碍主要包括：

- 改善因效率下降导致的附加损失；
- 降低溶剂再生及捕集成本；
- 针对恶劣条件进行材料优化，以提高可用性并降低成本；
- 控制除CO<sub>2</sub>以外的排放物，例如胺降解；
- 确定采用CO<sub>2</sub>捕集的锅炉和气化炉的最佳运行条件；
- 灵活集成到运行模式中；
- 改善发电循环；
- 进行全面示范，以增强潜在未来投资者和公众的认识和信心。

## 二、碳利用技术

### 1、技术现状及目标

利用CO<sub>2</sub>可以合成多种产品，各自的技术进展程度有所不同，如利用CO<sub>2</sub>生产尿素已经可以应用于市场，而生产燃料和化学品尚处于开发阶段。催化合成是最先进的碳利用途径，其中电化学和光化学转化的碳排放较低，藻类合成是用于生物燃料生产的新型技术。不同碳利用技术的成熟度如图1所示。

图1 不同碳利用技术的技术成熟度

欧盟SET-Plan设定的碳利用目标为：(1) 开发并示范将CO<sub>2</sub>转化为轻质烯烃（主要是乙烯和丙烯）的途径（技术成熟度4级以上），主要包括利用改进的费托催化剂实现CO<sub>2</sub>直接转化，以及将CO<sub>2</sub>经甲醇转化为烯烃的间接转化方法；(2) 开发和示范将CO<sub>2</sub>转化为精细化学品的途径（技术成熟度6级以上）；(3) 开发和示范将CO<sub>2</sub>转化为

聚合物的途径（技术成熟度6级以上）；（4）开发和示范利用烟气中捕集的CO<sub>2</sub>生产矿物碳酸盐及将其作为水泥添加剂的用途（技术成熟度6级以上）。

## 2、技术趋势及需求

- 设计流程和商业模式，以使基于CO<sub>2</sub>的产品具有市场竞争力。
- 对使用碳利用技术可以避免的化石燃料消耗量进行评估。
- 评估整个价值链中通过特定途径实现的净减排量。
- 通过使用标准化工具的生命周期评估模型评估整个供应链的碳排放量。
- 通过设计热集成工厂、完善的环境控制系统和灵活运行来优化流程。
- 与其他部门的协同作用，如使用可再生能源（作为零排放能源）和智能电网。
- 根据不同碳利用途径的浓度和杂质需求，确定最佳的CO<sub>2</sub>来源。
- 加强碳排放交易监管，避免将碳利用作为套利工具。
- 验证用于缓解气候变化的某些碳利用技术的效率。

## 3、大规模部署的障碍

决定碳利用市场竞争力的主要因素在于CO<sub>2</sub>原料的可用性和质量、H<sub>2</sub>原料（如果需要）的可用性和质量，以及提供H<sub>2</sub>的电力成本。一些利用工艺，如德国sunfire公司和奥迪公司的燃料合成技术已经得以部署，但其他技术水平仍较低。还需提升市场对碳基产品的认可，相关激励措施极为重要。其他一些间接影响还包括：碳价，将碳利用工厂与可再生能源资源整合，可再生能源投资者对于与碳利用工厂整合的兴趣等。

[阅读原文](#) [阅读 61](#)

在看