

# The application and challenges of carbon capture, utilization and storage technology in industrial emission reduction

Shuangshuang Li

Yangzhou Zhongdi Enterprise Consulting Co., Ltd., Yangzhou, Jiangsu, 225200, China

## Abstract

In order to deeply explore the application of carbon capture, utilization and storage technology (CCUS) in industrial emission reduction and its challenges. This paper analyzes the principle and application status of CCUS technology, and discusses the process of capture, utilization and storage. The results show that CCUS technology can reduce industrial carbon dioxide emissions to a certain extent and has the potential to reduce emissions, but there are many challenges in cost, energy consumption, technology maturity and environmental safety. By increasing policy support, strengthening technology research and development, and improving environmental impact assessment measures, it is expected to promote the application of CCUS technology in industrial emission reduction, and contribute to the realization of China's carbon neutral goals. Therefore, CCUS technology plays an important role in industrial emission reduction, but it requires joint efforts to overcome technical problems and reduce costs to ensure that it can be widely used in future emission reduction strategies.

## Keywords

carbon capture; utilization; storage technology; application practice of industrial emission reduction

## 碳捕集、利用与封存技术在工业减排中的应用与挑战

李双双

扬州中迪企业咨询有限公司, 中国·江苏 扬州 225200

## 摘要

为深入探讨碳捕集、利用与封存技术 (CCUS) 在工业减排中的应用及其面临的挑战。本文分析了CCUS技术的原理和应用现状, 探讨了其捕捉、利用与封存各个阶段的工艺流程。结果显示, CCUS技术能够在一定程度上减少工业二氧化碳排放, 具有减排潜力, 但在成本、能耗、技术成熟度和环境安全性等方面存在诸多挑战。通过加大政策支持、加强技术研发、完善环境影响评估等措施, 有望推动CCUS技术在工业减排中的应用, 为实现我国碳中和目标贡献力量。由此可见, CCUS技术在工业减排中具有重要作用, 但需要多方共同努力, 攻克技术难题, 降低成本, 以确保其在未来的减排战略中得到广泛应用。

## 关键词

碳捕获; 利用; 封存技术; 工业减排应用实践

## 1 引言

随着全球气候变化问题的日益严峻, 减少温室气体排放成为全球共识。工业生产作为温室气体排放的重要来源, 其减排任务尤为艰巨。碳捕集、利用与封存技术 (CCUS) 技术作为一种有效的减排手段, 近年来受到广泛关注。该技术通过捕获工业生产过程中排放的二氧化碳, 将其转化为有价值的化学品或封存于地下, 从而实现减排目标。然而, CCUS 技术在工业减排中的应用仍面临诸多挑战, 如技术成本高、经济效益低、环境影响评估等。本文旨在探讨碳捕集、利用与封存技术在工业减排中的应用与挑战。

【作者简介】李双双 (1984-), 女, 中国山东平原人, 硕士, 中级, 从事环境影响评价研究。

## 2 碳捕集、利用与封存技术的原理与分类

### 2.1 碳捕获技术的原理

#### 2.1.1 燃烧后捕获

燃烧后捕获技术是指在燃料燃烧后, 通过物理或化学方法将二氧化碳从烟气中分离出来。首先对烟气进行预处理, 去除灰尘、硫化物等杂质。将净化后的烟气通入吸收剂中, 如氨水、醇类等, 使二氧化碳与吸收剂发生化学反应, 形成碳酸氢盐或碳酸盐。将吸收剂进行加热或加压, 使二氧化碳释放出来, 得到富集的二氧化碳气体。

#### 2.1.2 燃烧前捕获

燃烧前捕获技术是在燃料燃烧前将其转化为氢气和一氧化碳的混合气体, 然后通过化学反应将二氧化碳分离出来。将煤炭、石油焦或生物质等燃料进行气化处理, 得到以氢气和一氧化碳为主的合成气。利用水煤气变换反应将一氧

化碳转化为二氧化碳和更多的氢气。通过物理或化学吸附等方法将二氧化碳从混合气体中分离并捕获。

## 2.2 碳封存技术的分类

### 2.2.1 地质封存

地质封存是将捕获的二氧化碳注入地下岩层中，通过物理和化学作用将其封存起来。将二氧化碳注入已枯竭的油田或天然气田，使其与地层中的油或气混合，形成稳定的混合物。将二氧化碳注入地下盐水层，利用盐水层的高压力和低渗透性来封存二氧化碳。将二氧化碳注入深层页岩气藏，通过物理和化学作用将其封存。

### 2.2.2 海洋封存

海洋封存是将捕获的二氧化碳注入海洋深处，利用海洋的巨大容量和自然循环来封存二氧化碳。将二氧化碳注入海底沉积物中，使其与沉积物中的矿物质发生反应，形成稳定的碳酸盐。将二氧化碳注入海洋深层，使其溶解于海水中，形成碳酸氢盐。

### 2.2.3 矿物碳化封存利用

矿物碳化封存技术是将捕获的 CO<sub>2</sub> 注入地下岩层或矿物孔隙中，使其与矿物反应生成稳定的碳酸盐矿物，从而实现 CO<sub>2</sub> 的封存。

## 2.3 碳利用技术的分类

### 2.3.1 直接物理利用

工业直接应用：用于饮料碳酸化、焊接保护气或制冷剂。

提高采收率 (EOR/EGR)：注入油田 / 气田以提升化石燃料开采效率。

### 2.3.2 化学转化利用

燃料合成：通过加氢反应生产合成燃料（如甲醇、甲烷）。

化学品生产：制取尿素、聚碳酸酯、甲酸等高附加值化学品。

电催化转化：利用可再生能源电解 CO<sub>2</sub> 生成 CO、乙烯等。

### 2.3.3 生物转化利用

微藻固碳：通过光合作用将 CO<sub>2</sub> 转化为生物质，用于燃料或饲料。

生物发酵：利用微生物合成有机酸、生物塑料（如 PHA）。

### 2.3.4 矿化利用（工业结合）

建筑材料：CO<sub>2</sub> 养护混凝土或生产碳酸钙建材，替代传统工艺。

工业固废处理：如磷石膏、红泥等废弃物矿化固碳。

## 3 碳捕集、利用与封存技术在工业减排中的应用

### 3.1 能源工业中的应用

#### 3.1.1 燃煤电厂

燃煤电厂是我国能源消费的重要组成部分，同时也是

碳排放的主要来源。为了降低燃煤电厂的碳排放，碳捕集、利用与封存技术得到了广泛应用。在燃煤电厂的烟气中，二氧化碳浓度较高。通过烟气脱碳技术，可以将烟气中的二氧化碳分离出来，实现减排<sup>[1]</sup>。目前，烟气脱碳技术主要有化学吸收法、物理吸附法、化学吸收-解吸法等几种。化学吸收法利用化学溶剂吸收烟气中的二氧化碳，如氨水、碱液等。物理吸附法利用活性炭、沸石等吸附剂吸附烟气中的二氧化碳。化学吸收-解吸法结合化学吸收和物理吸附的优点，提高二氧化碳的捕集效率。

#### 3.1.2 石油和天然气行业

石油和天然气行业在开采、加工和运输过程中，也会产生大量的二氧化碳排放。在天然气加工过程中，通过碳捕集、利用与封存技术，降低天然气加工过程中的碳排放。在油气田开发过程中，利用碳捕集、利用与封存技术，将开采过程中产生的二氧化碳注入地层，提高油气田的采收率。在炼油厂中，通过碳捕集、利用与封存技术，降低炼油过程中的碳排放。

## 3.2 钢铁、水泥等重工业中的应用

### 3.2.1 钢铁行业应用

在炼钢过程中，采用富氧燃烧技术，降低炼钢过程中的碳排放<sup>[2]</sup>。同时，通过 CCUS 技术捕集产生的 CO<sub>2</sub>，并将其封存。钢铁企业可以充分利用炼铁、炼钢过程中的余热，通过 CCUS 技术捕集余热发电过程中的 CO<sub>2</sub>，实现减排。

### 3.2.2 水泥行业应用

水泥生产过程中，煅烧石灰石产生大量的二氧化碳。在煅烧过程中，采用富氧燃烧技术，降低煅烧过程中的碳排放。同时，通过 CCUS 技术捕集产生的 CO<sub>2</sub>，并将其封存。水泥企业可以充分利用煅烧过程中的余热，通过 CCUS 技术捕集余热发电过程中的 CO<sub>2</sub>，实现减排。水泥企业可以利用 CCUS 技术捕集的 CO<sub>2</sub>，与氢气等替代燃料进行合成，生成可利用的化学品，实现减排。

## 3.3 化工行业中的应用

在合成氨的生产过程中，CCUS 技术可以捕集并利用排放的二氧化碳，用于生产尿素等高附加值产品。在甲醇生产过程中，捕集二氧化碳并用于生产甲醇，不仅可以减少碳排放，还能提高甲醇的产量。在水泥生产过程中，二氧化碳可以作为原料参与化学反应，减少水泥生产过程中的碳排放。在炼油与化工一体化生产中，CCUS 技术可以捕集炼油过程中产生的二氧化碳，用于化工产品的生产。在生物化工领域，CCUS 技术可以捕集生物质能转化过程中的二氧化碳，促进生物燃料和生物基化学品的开发。

## 4 碳捕集、利用与封存技术在工业减排中的优势

### 4.1 显著减少碳排放

碳捕集、利用与封存技术通过捕捉工业生产过程中产

生的二氧化碳,将其从排放源中分离出来,然后将其储存或利用。这一过程可以大幅降低工业排放的二氧化碳量,有助于实现我国碳达峰、碳中和的目标<sup>[3]</sup>。

#### 4.2 为工业可持续发展提供支持

随着全球对环境保护和可持续发展的关注度不断提高,工业领域也面临着转型升级的压力。碳捕集、利用与封存技术可以为工业可持续发展提供有力支持。通过减少碳排放,企业可以降低生产成本,提高市场竞争力。

#### 4.3 潜在的经济效益

碳捕集、利用与封存技术不仅具有环保效益,还具有显著的经济效益。首先,CCUS技术可以降低企业生产成本,提高产品附加值。随着全球碳交易市场的逐步完善,企业可以通过碳减排获得碳交易收益。

### 5 碳捕集、利用与封存技术在工业减排中面临的挑战

#### 5.1 技术成本高昂

碳捕集、利用与封存技术涉及大量的设备,如碳捕集设备、压缩设备、运输设备和封存设备等。这些设备的研发、生产和安装都需要巨大的资金投入。碳捕集、利用与封存技术的运营成本较高,包括能耗、维护、人力资源和运输等费用。这些成本使得CCUS技术的经济效益受到影响<sup>[4]</sup>。政府对于碳捕集、利用与封存技术的政策支持力度不足,企业难以承担高昂的技术成本。

#### 5.2 能源消耗较大

碳捕获设备在运行过程中需要消耗大量的能源,如电力、燃料等。这导致CCUS技术的整体能耗较高。将捕获的二氧化碳运输至封存地点也需要消耗大量的能源。特别是在长距离运输过程中,能耗问题尤为突出。封存二氧化碳的过程也需要消耗一定的能源,如泵送、注入和监测等环节。

#### 5.3 安全性和环境风险

碳捕集、利用与封存技术(CCUS)在工业减排中的应用仍处于发展阶段,技术尚不成熟,存在一定的技术风险。如碳捕获过程中可能产生的腐蚀、泄漏等问题,以及碳封存过程中可能出现的地质结构不稳定、二氧化碳泄漏等风险<sup>[5]</sup>。CCUS技术涉及大规模的二氧化碳捕获、运输和封存,可能会对环境产生一定的影响。例如,二氧化碳的捕获和运输过程中可能对生态系统造成破坏,碳封存过程中对地下水资源、土壤等环境要素产生影响。

### 6 解决碳捕集、利用与封存技术在工业减排中挑战的策略

#### 6.1 技术研发和创新

针对现有碳捕获技术,通过优化工艺流程、提高催化性能、改进吸附剂材料等方式,提高碳捕获效率。研究新型碳捕获技术,如生物炭捕获、电化学捕获等,以适应不同

工业排放源的特点。加强碳封存技术研究,提高地质封存、海洋封存等技术的安全性,降低泄漏风险。将碳捕集、利用与封存技术与其他减排技术相结合,如能源回收、生物质能利用等,提高整体减排效果。

#### 6.2 降低成本的措施

政府制定相关政策,如税收优惠、补贴等,鼓励企业投资碳捕集、利用与封存技术。推动碳捕获与封存产业链的整合,实现资源共享,降低整体成本。鼓励碳捕集、利用与封存技术的市场化运作,通过市场机制降低成本,提高企业参与积极性。通过国际合作与交流,引进国外先进技术和管理经验,降低碳捕集、利用与封存技术的成本。

#### 6.3 加强安全管理和环境监测

制定严格的碳捕集、利用与封存技术操作规程,确保各个环节的安全性和可靠性。对相关设备进行定期检查和维护,确保其在正常工作状态下运行。建立健全的环境监测体系,对碳捕获与封存过程中的气体排放、地下水污染、土壤污染等环境风险进行实时监测。一旦发现问题,立即采取措施进行处理。加强与科研机构的合作,开展碳捕集、利用与封存技术的风险评估研究,为政策制定提供科学依据。建立健全的应急预案,针对可能出现的意外情况,如泄漏、事故等,制定相应的应对措施,降低风险。

### 7 结论

CCUS技术在工业减排中的应用前景广阔,通过捕获工业生产过程中排放的二氧化碳,CCUS技术有助于实现工业减排目标,降低温室气体排放。在我国,CCUS技术已在火电、钢铁、水泥等行业得到初步应用,为工业减排提供了有力支持。CCUS技术在工业减排中面临诸多挑战,针对CCUS技术在工业减排中面临的挑战,建议加大政策支持力度,降低企业应用成本,推动CCUS技术产业化发展。加强技术研发,提高CCUS技术效率,降低能耗和成本。完善环境影响评估体系,确保CCUS技术对生态环境的影响降至最低,推动CCUS技术在全球范围内的应用。

#### 参考文献

- [1] 赵艺芳,白洋.碳捕获、利用与封存技术纳入碳市场的可行性与制度设计[J].环境生态学,2024,6(12):79-85.
- [2] 毛荐其,陆高潮,刘娜,等.面向创新全链条的碳捕获、利用与封存领域技术机会预测[J/OL].情报杂志,1-13[2024-03-03].
- [3] 闫晶,薄明会.燃煤电厂碳捕获、利用与封存项目综合效益核算研究[J].现代工业经济和信息化,2024,14(02):187-188+191.
- [4] 陈曦,黄新,郭本帅,等.碳捕获、利用与封存未来发展趋势与挑战[J].中国投资(中英文),2023,(Z7):85-86.
- [5] 李莹.碳中和背景下CO<sub>2</sub>的捕获、利用和封存技术的研究进展[C]//中国环境科学学会环境工程分会.中国环境科学学会2022年科学技术年会——环境工程技术创新与应用分会场论文集(三).华北电力大学控制与计算机学院,2022:14.