

CCUS 在油气行业应用进展

碳捕集、利用和封存 (CCUS) 技术分为 3 个步骤, 其中封存是将二氧化碳永久地封存于多孔岩层中。埋深超过 800 m、厚度和面积适宜、孔渗性佳并有盖层防止气体逸散的地层都是潜在的二氧化碳封存目标^[1]。由于二氧化碳与油气聚集所需的条件极其相似, 当前很多 CCUS 项目都首选油气田作为封存地。油气行业在油气勘探开发过程中, 积累了丰富的地质数据, 在开展二氧化碳封存上具有天然优势。将二氧化碳存储与提高采收率 (EOR) 和压裂相结合的油气开发技术, 集二氧化碳的利用和封存于一体, 近年来更随着非常规油气开发的不断扩展而获得了极大关注。

1) CO₂-EOR

美国早在 1958 年就已成功地在俄克拉荷马州实施了 CO₂-EOR 矿场试验, 到 20 世纪 80 年代初, 实施矿场试验的油田数量已达 30 多个。2018 年, 全球用于提高采收率的大规模 CO₂ 捕集项目数量为 23 个, CO₂ 捕集能力 $4\,200 \times 10^4$ t/a。其中美国 11 个项目, 捕集能力 $2\,960 \times 10^4$ t/a, 占比 70%; 加拿大 4 个项目, 捕集能力 600×10^4 t/a, 占比 14.2%; 中国 5 个项目, 捕集能力 440×10^4 t/a, 占比 10.4%^[2]。

二氧化碳驱的研究热点之一是其超临界态的利用, 也即在一定温压下进入兼具气态低粘和液态高密度性质的稳定状态, 常用于低渗油田增产或剩余油挖潜, 但其对油藏的温度、压力和盐度等有着较高的要求, 因而拓展其适用温压区间是研究的主攻方向之一。中国 CO₂ 驱油的研究以及现场应用不宜过度强调最小混相压力 (MMP), 而应加强对 CO₂ 近混相驱的研究, 通过明确近混相概念, 确定近混相区域和近混相主控因素, 揭示近混相驱油机理^[3]。

二氧化碳泡沫驱是一种重要的驱替方式, 目前的研究重点是如何改善起泡剂的耐温耐盐性能、降低 CO₂ 流度以及提高泡沫稳定性等。美国莱斯大学与得克萨斯大学团队合作新推出了一款以二氨类阳离子表面活性剂 (Duomeen TTM) 为基础的超临界二氧化碳泡沫配方, 可很好地适应高温 (120℃)、高盐 (22% 总可溶物) 储层环境^[4]。另外, 采用聚合物和纳米颗粒提高 CO₂ 泡沫稳定性也是重要的研究方向, 例如聚合物羟丙基甲基纤维素 (HPMC)、SiO₂ 纳米颗粒和改性 Fe₃O₄ 纳米颗粒等。

2) 二氧化碳压裂

以二氧化碳取代水的无水压裂技术因契合环境保护和气候保护的双重优势而受到国内外的青睐。超临界二氧化碳压裂也以其传统压裂技术无法比拟的一些特点而成为近年来的研究对象。超临界态的二氧化碳压裂的起裂压力较水力压裂低 30%, 但起裂后压力快速下降等问题依然有待解决。超临界二氧化碳压裂所产生的裂缝网络也比水力压裂复杂, 但裂缝宽度较小, 难以保证裂缝张开, 加入支撑剂又因粘度不够无法很好地携砂, 因此超临界二氧化碳压裂的最大问题是如何保持裂缝的有效性^[5], 增粘剂和支撑剂是该领域的研发重点。

- [1] Global CCS Institute. Global CCUS status report [EB/OL]. (2020) [2021-7-30]. https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2020/11/Global-Status-of-CCS-Report-2020_FINAL.pdf.
- [2] Novak M, Gaurina-Medimurec K, Nediljka H L. Significance of enhanced oil recovery in carbon dioxide emission reduction [J]. Sustainability, 2021, 13(4), 1800. <https://doi.org/10.3390/su13041800>.
- [3] 陈浩, 刘希良, 贾宁洪, 等. CO₂ 近混相驱的关键科学问题与展望 [J]. 石油科学通报, 2020, 5 (3): 392-401.
- [4] Advances in Engineering. Smart supercritical CO₂ foam for enhanced oil recovery at high temperature and ultra high salinity conditions. [EB/OL]. [2021-7-30]. <https://advanceseng.com/smart-supercritical-co2-foam-enhanced-oil-recovery/>.
- [5] 温航, 姜兴文, 徐东华. 超临界二氧化碳压裂裂缝研究现状与展望 [J]. 科学技术与工程, 2020, 20 (17): 6703-6711.