

CO₂驱油与碳封存技术的集成应用探索

曾付喜

国家能源集团宁煤公司煤制油指挥部MTP项目部 宁夏 银川 750000

摘要：随着全球气候变暖问题的日益严峻，减少温室气体排放，特别是二氧化碳的排放，已成为国际社会普遍关注的重大课题。在众多减排技术中，二氧化碳捕集、利用与封存技术因其能够显著降低碳排放并促进能源行业的绿色低碳转型而备受瞩目。其中，CO₂驱油与碳封存技术的集成应用不仅能够有效提高油田的采收率，还能实现CO₂的大规模减排，具有重要的经济和环保意义。

关键词：CO₂驱油；碳封存技术；集成应用探索

引言

随着全球气候变暖问题加剧，减少温室气体排放尤其是二氧化碳排放成为国际关注的焦点。二氧化碳捕集、利用与封存技术因其能显著降低碳排放并促进能源行业绿色低碳转型而备受关注。其中，CO₂驱油与碳封存技术的集成应用不仅能提高油田采收率，还能实现大规模CO₂减排，具有重要的经济和环保意义。本文旨在探讨该技术的原理、应用及前景。

1 CO₂驱油技术概述

1.1 CO₂驱油技术原理

CO₂驱油技术是一种通过向油层中注入CO₂以提高油田采油率的方法。在适当的压力、温度和原油组分的条件下，CO₂可以与地层原油形成混相前缘，从而有效地将地层原油驱替到生产井。这一过程涉及多个物理和化学作用，包括降粘作用、膨胀作用、混相效应和溶解气驱作用等。

1.2 CO₂驱油技术的发展历程

CO₂驱油技术的研究与应用历程可追溯到20世纪中叶，标志着人类在提高油田采收率领域迈出了重要一步。前苏联作为先驱，自1953年起便开始了对注CO₂提高采收率技术的深入探索，并在图依马津油田成功实施了工业性基础试验，这一实践不仅验证了技术的可行性，也为后续的大规模应用奠定了坚实基础。随后，美国接过了技术发展的接力棒，特别是在20世纪80年代以后，美国的CO₂驱项目如雨后春笋般涌现，迅速发展成为继蒸汽驱之后的第二大提高采收率技术。这一时期的快速发展，得益于美国丰富的CO₂资源和成熟的油田开采技术体系。近年来，加拿大和土耳其等国也紧跟步伐，针对重油开采进行了大量CO₂驱的实验研究，取得了令人瞩目的成果，进一步推动了CO₂驱油技术的全球化应用。

2 碳封存技术概述

2.1 碳封存技术的定义与分类

碳封存技术，作为应对全球气候变化的重要策略之一，其核心在于将人类活动，尤其是化石燃料燃烧和工业过程中产生的碳排放物，通过一系列技术手段捕获、收集，并最终安全地存储于特定的碳库中，以减少大气中的二氧化碳浓度。这一技术的实施对于缓解温室效应、控制全球变暖具有重要意义。根据存储位置的不同，碳封存技术大致可以分为三大类：地质封存、海洋封存和陆地生态系统封存。地质封存作为目前技术最为成熟且应用最广泛的一种方式，主要通过将捕获的CO₂压缩成液态或超临界状态后，利用高压注入技术将其输送到深层地下储层、废弃矿井、盐水层等地质结构中，这些地质结构通常具有良好的封闭性，能够有效防止CO₂的泄漏^[1]。海洋封存则是将CO₂液化后通过管道或船舶运输至深海，利用海水的压力和低温条件使CO₂溶解或形成稳定的碳酸盐沉淀。而陆地生态系统封存，则侧重于通过植树造林、恢复湿地等自然过程，利用植被的光合作用吸收并固定大气中的CO₂。

2.2 碳封存技术的发展现状

碳封存技术的研究历史可以追溯到20世纪70年代，但受限于当时的技术水平和经济成本，其发展相对缓慢。进入21世纪后，随着全球对气候变化问题的关注度日益提升，碳封存技术迎来了快速发展的机遇。各国政府纷纷出台相关政策，鼓励科研机构和企业加大研发力度，推动碳封存技术的商业化应用。目前，全球范围内已有多个碳封存项目成功实施或正在规划中，如挪威的Sleipner海上钻井平台项目，通过海底管道将捕获的CO₂注入海底储层，实现了长期稳定的封存；美国的FutureGen项目则致力于开发零排放的煤炭气化与发电技术，并将产生的CO₂进行地质封存。这些项目的成功实

施,不仅验证了碳封存技术的可行性和有效性,也为后续技术的优化和商业化应用积累了宝贵经验。

3 CO₂ 驱油与碳封存技术的集成应用

3.1 集成应用的基本原理

CO₂驱油与碳封存技术的集成应用是指将CO₂捕集后提纯,再注入到油田进行驱油,同时实现CO₂的地质封存。这一过程既提高了油田的采收率,又减少了CO₂的排放,具有显著的经济和环保效益。集成应用的基本原理是利用CO₂与原油之间的物理和化学作用,将CO₂注入到油层中形成混相前缘,从而有效地将地层原油驱替到生产井。同时,通过合理的封存设计,确保注入的CO₂能够长期稳定地存储在地下储层中。

3.2 集成应用的关键技术

CO₂驱油与碳封存技术的集成应用,不仅涉及复杂的工艺流程,更依赖于一系列高精尖的关键技术。这些技术主要包括CO₂捕集与提纯技术、CO₂输送与注入技术以及油藏监测与管理技术。

CO₂捕集与提纯技术,作为集成应用的基础环节,其重要性不言而喻。高效的捕集技术能够确保大量的CO₂被有效收集,而提纯技术则进一步提升了CO₂的纯度,为后续驱油和封存提供了高质量的原料^[2]。这一环节的效率和质量,直接关系到后续步骤的成败。

CO₂输送与注入技术,则是将提纯后的CO₂安全、高效地输送到油层中的关键。这要求输送管道具备良好的密封性和耐腐蚀性,同时注入技术也需要精确控制注入压力和注入量,以确保CO₂能够均匀、稳定地注入到油层中。

油藏监测与管理技术,则是保障集成应用长期稳定运行的重要支撑。通过对油藏参数的实时监测和数据分析,可以及时发现并解决问题,确保集成应用的持续、高效运行。

3.3 集成应用的案例分析

在国内外,CO₂驱油与碳封存技术的集成应用已经取得了多个成功的案例。这些案例不仅展示了技术的可行性,还体现了其在减少温室气体排放方面的巨大潜力。

中国石化“齐鲁石化—胜利油田百万吨级CCUS项目”无疑是这一领域的佼佼者。作为我国首个百万吨级的CCUS示范工程,该项目不仅规模宏大,而且效果显著。它通过先进的捕集技术,将齐鲁石化排放的CO₂进行高效收集,并经过提纯处理,最终注入到胜利油田的地下储层中。这一举措不仅有效提升了油田的采油效率,还实现了CO₂的地质封存,避免了温室气体对大气的污染。据统计,该项目每年能够减排CO₂约100万吨,这一数字相当于每年植树近900万棵,对于改善空气质量、保

护生态环境具有重要意义。

此外,美国的Petra Nova项目也是CO₂驱油与碳封存技术集成应用的典范。该项目通过捕集一家燃煤电厂排放的大量CO₂,并利用先进的提纯工艺,将处理后的CO₂注入到附近的油田中。这一创新性的做法不仅降低了燃煤电厂的碳排放,还为油田的增产提供了新的动力。据统计,该项目每年能够减排CO₂约140万吨,为全球应对气候变化贡献了重要力量。

4 CO₂ 驱油与碳封存技术集成应用的前景与挑战

4.1 集成应用的前景

随着全球对气候变化问题的日益关注,减少温室气体排放已成为国际社会的共识。CO₂驱油与碳封存技术作为一种有效的减排手段,其集成应用具有广阔的前景。一方面,随着技术的不断进步和成本的降低,CO₂捕集、提纯和封存技术将更加成熟和可靠;另一方面,随着全球能源需求的不断增长和石油资源的日益枯竭,提高油田采收率已成为石油工业的重要任务之一。因此,CO₂驱油与碳封存技术的集成应用将在未来发挥越来越重要的作用。

4.2 集成应用的挑战

尽管CO₂驱油与碳封存技术的集成应用具有广阔的前景,但其实际应用仍面临诸多挑战。首先,技术挑战方面,如何进一步提高CO₂捕集、提纯和封存的效率和质量,降低技术成本,是实现集成应用的关键^[3]。其次,政策挑战方面,需要制定和完善相关法律法规和政策措施,为集成应用提供有力的政策支持和保障。此外,市场挑战方面,需要加强对集成应用技术的宣传和推广,提高市场认知度和接受度,推动技术的商业化应用。

5 推动 CO₂ 驱油与碳封存技术集成应用的策略与建议

5.1 加强技术研发与创新

推动CO₂驱油与碳封存技术集成应用的首要策略在于持续加强技术研发与创新。这一领域涉及多学科交叉,包括地质学、化学工程、石油工程以及环境科学等,因此,跨学科的合作研究显得尤为重要。科研机构、高校以及企业应建立紧密的合作关系,共同攻克技术难题,提高CO₂捕集、提纯、输送、注入以及封存等各个环节的技术水平。在捕集技术方面,应致力于开发更高效、更低能耗的捕集方法,如化学吸收法、物理吸附法、膜分离法以及低温分离法等,以降低捕集成本并提高捕集效率。同时,针对不同类型的排放源,应研发适应性强、灵活性高的捕集系统,以满足不同场景下的应用需求。在提纯技术方面,应优化提纯工艺流程,提高提纯效率和产品质量,降低能耗和物耗。此外,还应积极探索新

型提纯材料和技术,如高性能吸附剂、膜材料等,以提高提纯效果和降低成本。在输送与注入技术方面,应研发更安全、更高效的输送管道和注入设备,提高输送能力和注入精度。同时,还应加强对输送过程中CO₂泄漏风险的监测和控制,确保输送过程的安全性和可靠性。在封存技术方面,应深入研究地质封存、海洋封存以及陆地生态系统封存的机理和关键技术,提高封存效率和安全性^[4]。此外,还应加强对封存过程中CO₂迁移、转化和泄漏风险的监测和评估,确保封存效果的长期稳定。

5.2 完善政策法规体系

为推动CO₂驱油与碳封存技术集成应用,需要建立和完善相关政策法规体系。政府应出台一系列鼓励和支持政策,如税收优惠、资金补贴、技术引进和研发支持等,以激发企业和科研机构的创新活力。在法规制定方面,应明确CO₂捕集、提纯、输送、注入以及封存等各个环节的技术标准和安全规范,确保技术的合规性和安全性。同时,还应加强对技术应用的监管和评估,确保技术应用效果符合预期。此外,政府还应推动建立碳交易市场,通过市场机制激励企业减少碳排放并积极参与CO₂驱油与碳封存技术应用。通过设定碳排放配额和交易价格,引导企业优化能源结构,提高能源利用效率,降低碳排放强度。

5.3 加强国际合作与交流

CO₂驱油与碳封存技术集成应用是全球性问题,需要国际社会共同努力。因此,加强国际合作与交流是推动该技术应用的重要途径。各国政府、科研机构和企业应建立广泛的合作关系,共同分享研究成果和技术经验,推动技术创新和应用示范。在国际合作方面,可以组织国际会议、研讨会和培训班等活动,搭建交流平台,促进各国之间的技术交流和人才培养。同时,还可以开展联合研究项目,共同攻克技术难题,推动技术的快速发展和应用。此外,还应加强与国际组织的合作,争取获得更多的资金和技术支持。国际组织在推动全球气候变化应对方面发挥着重要作用,通过与国际组织合作,可以获得更多的政策指导和资金支持,推动CO₂驱油与碳封存技术的广泛应用。

5.4 提高公众认知与参与度

提高公众对CO₂驱油与碳封存技术集成应用的认知度

和参与度是推动该技术应用的重要基础。政府、科研机构和媒体应加强对该技术的宣传和推广,提高公众对气候变化问题的认识和关注度。在宣传方面,可以通过举办科普讲座、展览和宣传活动等形式,向公众普及CO₂驱油与碳封存技术的基本原理、应用效果以及环保意义。同时,还可以通过媒体渠道发布相关信息和研究成果,提高公众对该技术的知晓度和认同感。在提高参与度方面,可以鼓励公众积极参与相关技术应用的示范项目和志愿服务活动。通过参与示范项目,公众可以亲身体验技术的实际效果和环保意义;通过参与志愿服务活动,公众可以了解技术应用的各个环节,并为技术的推广和应用贡献自己的力量^[9]。此外,还可以通过建立公众参与机制,如意见征集、问卷调查等方式,收集公众对技术应用的意见和建议,为技术的优化和改进提供参考。通过提高公众的参与度和满意度,可以推动CO₂驱油与碳封存技术集成应用更加广泛和深入地发展。

结束语

CO₂驱油与碳封存技术的集成应用,作为减排领域的一种有效的减排手段,前景光明且意义重大,对经济与环保均具深远影响。通过技术研发、政策法规、国际合作及公众参与等多维度努力,可加速其发展步伐。展望未来,技术进步与政策扶持的双重驱动下,该技术将在全球舞台上扮演关键角色,为气候治理与可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1]叶航,刘琦,彭勃.基于二氧化碳驱油技术的碳封存潜力评估研究进展[J].洁净煤技术,2021,27(2):107-116.
- [2]张烈辉,熊伟,赵玉龙,等.衰竭底水气藏注CO₂提高天然气采收率与碳封存机理[J].天然气工业,2024,44(4):25-38.
- [3]尤启东,王智林,林波,等.水驱断块油藏CO₂气顶边水双向驱油封存机理及应用[J].断块油气田,2023,30(1):129-135.
- [4]杨勇.中国碳捕集、驱油与封存技术进展及发展方向[J].石油学报,2024,45(1):325-338.
- [5]肖海燕,王有朋,李雪婷,等.基于CCUS环境下烟道气驱油集成化装备及工艺研究[J].内燃机与配件,2024(10):24-26.