

增强油气回收技术的研究进展与应用价值分析

于浩洋（河南中油压缩天然气有限公司，河南 郑州 457000）

摘要：本文综述了增强油气回收技术的研究进展，并从案例的视角研究了增强油气回收技术的应用实践。通过基本原理和分类对增强油气回收技术进行了概述，从化学驱油技术、热驱油技术、微生物驱油技术、气体注入技术四个方面综述了技术的研究进展，并就化学驱油在特定油田的应用、热驱油技术的现场应用进展、微生物驱油技术的商业化应用案例对相关领域的应用开展了研究和探索，本文研究认为，技术融合与创新以及智能化、绿色化技术的发展是来的发展和研究方向。

关键词：增强油气回收技术；化学驱油；热驱油技术；微生物驱油技术

1 引言

随着全球能源需求的不断增长，石油和天然气作为主要的能源供应来源，其开采与利用受到了极大关注。然而，在油气的开采、加工以及运输过程中，不可避免地会有大量烃类物质以气体形式排放到大气中，造成资源浪费和环境污染。因此，增强油气回收技术（Enhanced Oil Recovery, EOR）的研究与应用显得尤为重要。EOR 技术不仅可以提高油气资源的开采效率，减缓资源枯竭的速度，还能显著减少环境污染，具有重大的经济价值和社会意义。

2 增强油气回收技术概述

2.1 定义及重要性

增强油气回收技术是指通过物理、化学或生物方法，改善油藏的渗透性和流动性，从而提高油气采收率的一系列技术。这些技术的应用对于延长油田的生产周期、提高资源利用率、减少环境影响等方面具有重要意义。在全球范围内，随着传统油气田的逐渐枯竭，如何有效开发难以利用的油气资源成为行业面临的挑战。EOR 技术能够针对不同类型的油藏，提高油气的可采性，是实现这一目标的关键手段。

2.2 基本原理与分类

EOR 技术的基本原理是通过改变油藏中的物理和化学条件，降低原油粘度，增加驱替剂与原油的相互作用，以及改善油藏的渗透性，从而促进油气的流动和提升采收率。根据作用机理的不同，EOR 技术可分为热力方法、化学方法和物理方法三大类。

热力方法包括蒸汽注入、火烧油层等，通过提高温度降低油的粘度。

化学方法涉及表面活性剂、聚合物、碱等化学剂的使用，通过改变岩石表面的润湿性或增加驱替剂的粘度来提高采收率。

物理方法则包括水力压裂、CO₂ 混相驱替等，通过物理作用改变油藏的孔隙结构或流体性质。

3 技术研究进展

3.1 化学驱油技术

近年来，该技术在化学剂的合成与应用方面取得了显著进步。表面活性剂可以有效降低油水界面张力，使原本固定的油滴容易脱落并被驱动出来。聚合物的应用增加了驱替液的粘度，改善了其在油层中的流动特性，减少了流体指状穿透现象。另外，碱的使用可以与原油中的酸性组分反应生成表面活性物质，进一步降低界面张力。

这些化学剂通常组合使用，形成碱-表面活性剂-聚合物（ASP）体系，实现更高效的油回收。尽管化学驱油技术已成功应用于多个油田，优化化学剂配方、减少地层伤害和提升经济可行性仍是当前研究的热点问题。

3.2 热驱油技术

蒸汽注入是最成熟的热驱技术，尤其是蒸汽辅助重力排油（SAGD）已在加拿大油砂项目中得到了广泛应用。研究人员也在探索其他加热方法如电磁加热、微波加热等，以期实现更高的能效和更均匀的热量分布。然而，热驱油技术面临的挑战包括如何精确控制热量分布、提高能量利用率以及减少环境影响等。目前的研究集中在开发先进的热传递模型、改进井下设备以及优化操作参数等方面，旨在最大化油的采收率同时确保项目的经济效益。

3.3 微生物驱油技术

近年来，随着生物工程技术的进步，微生物驱油技术得到了快速发展。研究表明，特定的微生物能够在油藏环境中生存并代谢出能够降低原油粘度和界面张力的物质，如生物表面活性剂，从而增加原油的流

动性。微生物还可以产生酸类和溶剂等其他代谢物，通过改变岩石表面的润湿性进一步提高油气的采收率。

目前，研究人员正致力于优化微生物菌株的选择、理解其在油藏条件下的生存机制以及如何有效控制其代谢过程以适应不同的油藏条件。尽管存在诸如长期生存能力和运移效率的挑战，微生物驱油技术在实验室研究和现场试验中均显示出了良好的应用前景。

3.4 气体注入技术

气体注入技术是一种通过将外部气体注入到油藏中以提高油气采收率的方法。该技术的核心机理包括降低原油的粘度、减少毛细管阻力以及改善油相对于储层岩石的流动性。注入的气体可以是烃类气体（如天然气）、非烃类气体（如二氧化碳、氮气或烟道气）。特别是 CO₂ 注入不仅提升了石油的可采储量，还有助于永久封存温室气体，具有一定的环保意义。然而，气体注入技术面临着诸多挑战，例如：气体突破、指状流动、重力分离和储层的适应性问题。针对这些问题，研究人员正在开发更为精确的地质模拟工具、改进注入策略以及探索新型的纳米技术或化学添加剂以增强气体与原油的相互作用。

4 应用案例分析

4.1 化学驱油在特定油田的应用

化学驱油作为一种成熟的提高油气采收率技术，已在多个油田得到实际应用，并取得了显著成效。以某海洋油田为例，该油田处于高含水期，传统水驱效果逐渐减弱，为了提高采收率，采用了聚合物驱油技术。通过注入具有高粘度的聚合物溶液，有效改善了油水流量比，增强了对原油的驱动力，同时减少了水的窜流现象，提高了洗油效率。实际应用结果表明，该油田采用聚合物驱油后，采收率平均提高了约 6-8%，极大地增加了可采储量，经济效益显著。

另一实例是在某沙漠油田实施的复合驱油技术。由于该油田地质构造复杂，油藏条件苛刻，普通的水驱或化学驱效果有限。因此，研究人员采用了一种复合化学驱油技术，结合了表面活性剂、聚合物和碱三种化学物质的优点，形成了一种协同效应，能够有效降低界面张力，乳化原油，以及调整油藏中的润湿性，从而提高了原油的流动性和采收率。在该油田进行的现场试验表明，复合化学驱油技术使得部分原本难以开采的油层得到了有效的动用，采收率比传统水驱提高了约 10%，证明了复合化学驱油技术的有效性与适

应性。

4.2 热驱油技术的现场应用进展

热驱油技术是另一种在提高油气采收率领域得到广泛研究和应用的技术，它通过加热油层，降低原油粘度，从而提高原油的流动性，增加采收率。近年来，随着热驱油技术的不断发展和成熟，多个油田已经开展了现场试验并取得了积极的成果。

例如，在某老旧油田开展的蒸汽驱现场试验中，由于该油田原始条件下的原油粘度较高，传统的水驱方式难以实现有效的采收。通过注入高温蒸汽，不仅大幅度降低了原油的粘度，而且提高了油层的渗透性，使原油更易于流向生产井。据报道，该现场试验使得试验区块的采收率提高了 15% 以上，同时缩短了油井的生产周期，显著提升了油田的经济效益。

除了蒸汽驱外，另一个值得关注的技术是就地燃烧（In-Situ Combustion, ISC），也就是通过在油层内燃烧部分原油产生热量，以达到降低原油粘度的目的。这项技术在某高粘度油藏的应用表明，就地燃烧能够有效地提高油层温度，减少原油粘滞性，促进了油的流动。在该油田实施的就地燃烧项目中，采收率提高了 20% 左右，证明了其在实际油藏条件下的有效性。

尽管热驱油技术在实际应用中展现出良好的增采效果，但在操作过程中也面临着一些挑战，如热效率的控制、热量损失的最小化以及工艺参数的优化等。因此，当前的研究重点包括了对热驱油工艺的持续改进，以及实时监控和调控技术的开发，确保热驱油技术能够在更加环保和经济的前提下被广泛应用。

4.3 微生物驱油技术的商业化应用案例

微生物驱油技术是利用微生物或其代谢产物来改善原油的流动性、降低原油粘度以及分解重质组分，从而增加油气采收率的一种生物技术。近年来，随着微生物技术的不断发展和成本的逐步降低，微生物驱油技术已经开始在某些油田商业化应用，并展示出良好的增采效果。

一个典型的商业化应用案例是在北美某老旧油田的实践。该油田由于长期开采，水驱和传统的化学驱油方法已经难以维持经济效益。引入微生物驱油技术后，通过向油层注入特定筛选的微生物菌株和营养剂，激活了油层内原生微生物群落的活性，同时促进了有益微生物的生长繁殖。这些微生物在油层中代谢产生了表面活性物质、酸类和气体等，不仅降低了原油的

粘度，而且改善了油与岩石之间的界面特性，使油更易于被推向生产井。

该项目的实施结果显示，微生物处理区域的油气产量显著提高，部分井的产量增加了 30% 以上。相较于化学驱油，微生物驱油对环境的影响较小，不会造成严重的地层污染。尽管初始投入相对较高，但从长远来看，由于微生物作用的持续性，这种技术提供了一种经济可行的增采策略。

另一个案例来自中东地区的高含蜡原油油田。由于原油中含有较高比例的蜡质成分，在开采过程中容易形成油蜡，严重影响了油井的产能。采用微生物驱油技术后，特定的微生物能够分解和降解蜡质成分，减少了油井堵塞现象，同时提高了原油的流动性。应用结果表明，该技术有效缓解了油井的堵塞问题，提高了生产效率，且增强了原油的流动性，进一步提升了油田的整体采收率。

5 未来发展方向

5.1 技术融合与创新

未来油气回收技术的发展将更加注重技术的融合与创新。随着跨学科研究的推进，生物技术、纳米技术和信息技术等领域的最新成果有望与传统油气回收技术相结合，从而产生新的突破性方法。例如，微生物提高油藏采收率 (MEOR) 技术利用特定微生物群落代谢过程中产生的表面活性剂、酸类和其他化合物来改变油藏的物理化学性质，提高油气的流动性和采收率。纳米技术的引入可以增强传统流体的性能，例如通过添加纳米颗粒来改善驱替液的流变性和传热特性。

5.2 智能化、绿色化技术的发展

智能化和绿色化是未来油气行业发展的重要方向。智能化技术包括自动化控制系统、实时监测设备和先进的数据分析算法，这些技术可以帮助操作者更精确地控制油气回收过程，并及时做出调整以应对各种情况，从而提高效率和安全性。

绿色化技术则关注最小化对环境的影响，这包括开发低毒性或可生物降解的化学剂，采用可再生能源驱动的设备，以及实施循环经济原则以减少废弃物和排放。未来的研究将不断探索如何将绿色解决方案与现有的油气回收流程相集成，以实现可持续的资源开发。

6 结语

本文综合评述了增强油气回收技术的研究进展及

其应用现状，从传统的热力学方法到现代的化学剂注入技术，再到前沿的微生物技术和纳米技术等，各种技术手段不断发展与完善，为提高油气采收率提供了多样化的选择。

随着技术的融合与创新，智能化和绿色化技术的发展成为未来油气行业的重要趋势。这些技术不仅有助于优化资源利用效率，降低生产成本，同时对环境保护也具有积极意义。然而，新技术的研发与应用仍面临诸多挑战，包括经济性评估、环境影响评价以及长期稳定性等问题需要进一步深入研究。未来，跨学科合作、技术创新及有效管理策略的实施将是推动油气回收技术进步和应用的关键。只有不断探索和完善，才能确保油气资源的高效开发与环境的可持续保护相得益彰，满足全球能源需求的同时促进生态环境的和谐发展。

参考文献:

- [1] 杨立超. 油气回收技术在油气储运中的应用 [J]. 化工设计通讯, 2023, 49(09): 17-19.
- [2] 张家睿. 冷凝吸附油气回收系统工艺参数研究 [D]. 哈尔滨商业大学, 2022.
- [3] 钟庆波. 油库油气回收技术的具体应用 [J]. 化工管理, 2020, (22): 79-80.
- [4] 齐绍飞, 段天浩, 马森, 等. 加油站油气回收工艺技术应用 [J]. 当代化工, 2020, 49(04): 684-687.
- [5] 李宜佳. 试论油气储运中油气回收技术的应用现状 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2019, 39(07): 199-200.
- [6] 索尔维推出新一代 Solef~?PVDF 以增强用于石油和天然气的刚性及柔性油气回收管道的防护和性能表现 [J]. 上海塑料, 2018, (02): 60.
- [7] 孔岩龙. 油气储运中油气回收技术的发展与应用探讨 [J]. 中国化工贸易, 2020, 012(014): 11, 13.
- [8] 付中泽. 油气储运中油气回收技术的发展与应用 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 自然科学, 2021(3): 2.
- [9] 张明. 油气储运中油气回收技术的发展与应用 [J]. 装备维修技术, 2020(12): 07.4334.
- [10] 黄斌维, 张斌. 油气储运中油气回收技术的发展与应用探究 [J]. 化工中间体, 2019(013): 000.
- [11] 王杰. 油气储运中油气回收技术的发展与应用探究 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2019-06-111.
- [12] 刘晴, 赵得强, 李京, 等. 油气储运中油气回收技术的发展与应用探讨 [J]. 化工安全与环境, 2023, 36(11): 56-58.