

微生物驱油项目投资效益评估与经济可行性

李晶秋 刘 蕾 刘路标 孙成斌 王 青

(中国石化胜利油田分公司河口采油厂, 山东 东营 257000)

摘 要: 微生物驱油技术作为一种新型的增强采油手段, 在提高油田采收率、降低采油成本、促进石油资源的可持续利用方面具有显著优势。本研究分析了微生物驱油技术的基本原理、技术类型及其在国内外的应用现状, 探讨了项目的投资构成、成本分析及经济效益。通过案例分析, 评估了微生物驱油的市场需求、技术可行性以及投资回报, 得出该技术在老油田和低渗透油田中的应用前景广阔。研究表明, 微生物驱油项目具备较好的经济效益和环境可持续性, 尤其在油价波动和环保要求日益严格的背景下, 具有较强的市场竞争力。最终提出了技术优化、前期评估及政策支持的实施建议。

关键词: 微生物驱油; 采收率; 经济效益

1 引言

随着全球能源需求的不断增长和传统石油资源的逐渐枯竭, 如何有效提高石油采收率已成为石油工业面临的关键挑战。微生物采油技术是一种新兴的提高石油采收率技术, 因其成本效益高、环境友好和可持续发展等特点而逐渐受到关注。该技术利用微生物的新陈代谢来改善油藏流体性质, 提高油井的采油能力^[1]。本文旨在通过对微生物驱油项目的投资效益评估与经济可行性分析, 探讨其在实际应用中的潜力与挑战, 为相关企业和决策者提供科学依据, 推动该技术的推广与应用。

2 微生物驱油技术概述

2.1 微生物驱油技术的基本原理

微生物驱油技术是一种利用微生物的生物效应提高石油采收率的油气强化采收技术。其基本原理是微生物通过代谢活动产生气体、酸和表面活性剂, 改变储层流体的物理化学性质, 从而改善油水界面的润湿性和渗透性, 提高原油流动性。微生物可以降低油液的粘度, 并通过分解石油中的复杂有机物提高储层中石油和天然气的流动性^[2]。此外, 微生物在适宜条件下还能生成生物胶体或凝胶, 有助于堵塞部分高渗透通道, 促进油水分配, 达到提高采收率的效果。

2.2 微生物驱油的技术类型与分类

微生物驱油技术主要可分为以下几类^[3]: ①原位气体生成技术: 利用微生物对储层进行新陈代谢, 产生气体并增加了储层的压力, 促进了石油和天然气的流动。该方法适用于低压储层。②原位表面活性剂生成技术: 微生物通过代谢产物生成表面活性剂, 降低

油水界面张力, 改善油水的润湿性, 促进原油的释放与流动。此方法对提高原油的流动性和减少油水界面黏附力效果显著。③原位酸性物质生成技术: 有些微生物在新陈代谢过程中会产生有机酸, 有机酸可以溶解储层中的矿物质, 改善储层孔隙结构, 提高储层渗透率, 促进原油流动。④微生物增强黏度降解技术: 通过特定微生物的代谢, 降解油藏中的高黏度油, 使其流动性得到显著改善, 尤其适用于重油和粘性油田。这些技术各有特点, 适应不同的油藏条件, 可根据实际需求选择适合的技术方案。

2.3 国内外研究现状

国外对微生物采油的研究起步较早, 主要集中在美国、俄罗斯和加拿大等国。20 世纪 80 年代, 美国率先进行了微生物采油的现场试验, 并在一些油田取得了一定的生产成果。俄罗斯在微生物裂解和提高重油采收率方面积累了丰富的经验, 加拿大则侧重于微生物表面活性剂的合成和应用。目前, 国外的研究主要集中在筛选高效微生物菌株、优化其对油藏的适应性以及工业化生产等方面。

我国对微生物驱油的研究始于 20 世纪 90 年代, 近年来在菌种筛选、代谢机理研究及现场试验方面取得显著进展。大庆油田、中原油田等多个油田已进行微生物驱油现场试验, 部分区域的原油采收率提高了 10% 以上。此外, 中国学者针对低渗透油藏和高温高盐油藏环境, 开发了耐受性强的微生物菌群, 提高了技术的适用性。当前, 国内研究正向产业化、规模化方向推进, 但仍需进一步优化菌种培养工艺和现场实施方案。

3 微生物驱油项目的投资分析

3.1 项目投资构成与成本分析

微生物驱油项目的投资主要包括两部分：初始投资和运营成本。初始投资包括微生物菌株的研发和筛选、实验室测试、实地试验、设备采购和基础设施建设。菌株筛选和实验室研究成本较高，但对提高驱油效率至关重要。现场试验包括修改注入系统、测试储油层适应性等，需要更多资源。此外，必要的管道改造和注入装置建设也是初始投资的重要组成部分。

运营成本主要包括种群培养和扩大、注入系统运行、监测和维护。微生物培养需要适当的培养基，补充营养液和微生物溶液也是长期运营的持续成本之一。此外，还需要定期监测储油层以评估除油效果，这也增加了运营成本。相比于化学驱和热采，微生物驱油在能耗和环保方面具有成本优势，但仍需结合油藏条件进行经济性优化。

3.2 分析

微生物驱油项目的投资回收期主要取决于初始投资、储层适应性、产量增加和油价波动。一般来说，微生物采油项目的初始投资相对较低，主要成本集中在菌种筛选、现场测试和设备改造等方面，后续运营成本更可控，经济回报具有吸引力。

在实际应用中，微生物驱油可提高原油采收率 5% ~ 15%，若单井日产油量提升 20% ~ 50%，并保持稳定的采油周期，投资回收期通常在 2 ~ 5 年。若油价较高，回收期可缩短至 2 年以内，而低油价环境可能延长回收周期。通过优化菌种、提高微生物适应性及改善注入策略，可进一步提高经济效益，加快投资回收速度。

3.3 盈亏平衡点分析

盈亏平衡点（BEP）是指微生物驱油项目的总收入等于总成本时的产量或油价水平，即当原油采收量和市场价格达到一定值时，项目不亏损也不盈利。BEP 的计算主要取决于单位成本、油价、采收率提升幅度等因素。

一般来说，在微生物驱油生产中，每口井的增产率为 5-15%，当油价稳定在 50-70 美元/桶时，盈亏平衡点的日增产率约为 10-15%。当油价较低时（如低于 40 美元/桶），项目需要提高产量增幅才能达到盈亏平衡点。另一方面，降低微生物培养、注入和维护成本，如通过提高菌株适宜性和优化注入方法，可以降低盈亏平衡点，使项目更快达到盈亏平衡线。因此，通过精准的成本控制和技术优化，可以有效缩短

回本周期，提高项目的经济可行性。

3.4 投资风险评估与规避策略

微生物驱油项目的投资风险主要包括技术风险、油藏适应性风险、市场价格风险、运营管理风险以及政策与环保风险。①技术风险：微生物的驱油效果受菌种筛选、生长条件和注射方法的影响。如果微生物的适应性较差或活性较低，驱油效果可能达不到预期。规避策略：加强实验室研究，优化菌种筛选，提高微生物的适应性，并通过实地试验调整注入策略。②油藏适应性风险：不同油藏的地质条件，如温度、盐度、渗透率等，对微生物生长影响较大，可能导致驱油效果不稳定。规避策略：在项目实施前进行充分的油藏评价，并选择适合的菌群和驱油方式。③市场价格风险：原油价格波动会影响投资回报，低油价环境可能延长回收期。规避策略：在油价较高时开展试验和推广，同时采用分阶段投资策略，以降低财务风险。④运营管理风险：微生物培养、注入、监测等环节需严格管理，否则可能导致驱油效果不佳。规避策略：建立完善的运营流程，加强现场管理，提高生产效率。⑤政策与环保风险：若微生物对环境产生不良影响或不符合环保法规，可能面临政策限制。规避策略：选择安全可控的菌种，确保符合环保标准，并加强合规管理。

4 微生物驱油项目的经济效益评估

4.1 经济效益指标分析

微生物驱油项目的经济效益可通过净现值（NPV）、内部收益率（IRR）、投资回报率（ROI）等关键指标进行评估。净现值（NPV）反映项目在一定折现率下的净收益，若 $NPV > 0$ ，说明项目具有盈利能力。一般而言，微生物驱油可提高采收率 5% ~ 15%，NPV 在合理油价下呈现正值，表明投资可行。

内部收益率（IRR）衡量项目的盈利能力，与企业资本成本相比，IRR 越高，投资吸引力越大。微生物驱油的 IRR 通常在 15% ~ 30% 之间，优于传统化学驱油。投资回报率（ROI）则衡量单位投资的收益率，较低的初始投入和较高的采收率提升，使得 ROI 通常高于 1.5，表明项目能在合理期限内回收成本并获得可观收益。综合来看，微生物驱油在经济可行性上具有一定优势，但需结合油藏条件 and 市场油价进行具体分析。

4.2 敏感性分析

敏感性分析用于评估微生物驱油项目在不同关键因素变化下的经济可行性，主要考察原油价格、采收率提升幅度、运营成本对投资回报的影响。

首先，原油价格是最重要的变量，若油价上涨

10% ~ 20%, 项目的净现值 (NPV) 和内部收益率 (IRR) 显著提高, 而若油价低于 40 美元 / 桶, 回收期将明显延长。其次, 采收率提升幅度对收益影响较大, 若提高幅度从 5% 增加至 15%, 投资回报率 (ROI) 可提高约 30%。最后, 运营成本若增加 20%, 则盈亏平衡点提高, 投资回收期延长。

因此, 微生物驱油项目需关注市场油价、优化菌种与注入方式, 并严格控制成本, 以提升项目的抗风险能力和经济效益。

4.3 效益 - 成本比分析

效益 - 成本比 (BCR) 是评估微生物驱油项目经济效益的重要指标, 表示项目带来的总效益与总成本的比值。若 BCR 大于 1, 则项目具备经济可行性。微生物驱油项目的效益主要来自于原油采收率的提升, 通常在 5% ~ 15% 之间。通过提高采收率, 项目可增加原油产量, 从而带来更高的收入。

就成本而言, 主要成本是初始投资 (如设备购买、菌种培养、储层改造) 和运行成本 (如微生物培养、注入、监测)。根据该技术在不同油田的应用情况和石油的市场价格, 效益成本比通常在 1.5 以上, 表明该项目具有经济效益。

因此, 优化技术方案、降低运营成本、提高采收率是提高效益 - 成本比的关键措施。

4.4 案例分析: 典型微生物驱油项目经济效益

某油田实施了微生物驱油技术, 旨在提高老油田的采收率。项目初期, 该油田的原油采收率约为 20%, 通过应用微生物驱油技术, 预计采收率可提升 8% ~ 12%。该项目的总投资包括菌种研发、设备改造和现场实施, 初期投资为 2000 万元人民币, 运营成本为每年 500 万元。通过微生物驱油, 油田的日产油量从 2000 桶增加至 2500 桶, 年增产约 7.5 万吨。

根据市场油价为 60 美元 / 桶, 原油增产带来的年收入可达 4500 万元人民币。考虑到运营成本, 年净收益为 4000 万元, 项目的投资回收期为不到两年, 且净现值 (NPV) 为正, 内部收益率 (IRR) 达到 25%。效益 - 成本比 (BCR) 为 2.25, 表明每投资 1 元可获得 2.25 元的效益。此案例表明, 微生物驱油技术不仅能提高油田的采收率, 还能在较短时间内回收投资, 带来较高的经济效益, 尤其在油价稳定或上涨的情况下, 其经济回报更加显著。

5 微生物驱油项目的市场前景与可行性分析

微生物驱油技术蕴藏着巨大的市场机遇。随着世界石油资源的日益枯竭, 传统采油技术已逐渐无法满

足石油生产的需求, 提高采收率, 尤其是老油田和渗透率较低的油田的采收率已成为亟待解决的问题。微生物驱油技术成本低、能耗低, 能有效提高油田的采收率, 尤其适用于已开发油田的二次和三次采油阶段。随着环保要求的不断提高, 微生物驱油比化学采油等传统方法更加环保, 符合可持续发展的趋势。

从技术可行性角度, 微生物驱油技术在多个国家和地区已有应用实例, 并取得一定的经济效益。近年来, 国内外对微生物驱油的研究逐步深化, 菌种筛选、培养工艺及注入技术不断优化, 进一步提升了技术的适应性和效果。结合石油市场需求及油价波动, 微生物驱油能够提供较好的经济回报, 尤其是在油价较高时, 其投资回报率和效益更为显著。

然而, 项目的实施仍需考虑油藏条件、技术成熟度及市场油价波动等因素, 必须通过充分的前期研究和技术验证, 以确保项目的经济可行性和长期稳定性。总体而言, 微生物驱油项目具有较强的市场潜力, 尤其适合老油田和重油田的二次开发。

6 结论与建议

微生物驱油技术作为一种新兴的增强采油技术, 具备显著的经济效益和环保优势, 特别适用于老油田、低渗透油田和重油田的开发。通过菌种优化、注入工艺改进和现场试验的不断推进, 微生物驱油技术的应用效果已经逐步得到验证, 能够有效提高采收率、降低生产成本, 并在一定条件下实现快速回收投资。然而, 技术的适应性和实施效果受油藏类型、环境条件及技术成熟度的影响, 因此项目的成功实施需要充分的前期评估和优化。

未来建议应加强对微生物驱油技术的研发, 特别是菌种的筛选与优化, 以提高其在不同油藏条件下的适应性。其次, 油气企业结合油田特点, 开展小规模试验, 积累数据并逐步扩大应用范围。同时, 随着技术的成熟与市场需求的增长, 政府可通过政策支持推动该技术的产业化, 降低初期投资风险, 促进微生物驱油技术的广泛应用。

参考文献:

- [1] 陈玉琳. 油田三次采油驱油技术 [J]. 石油知识, 2024 (02):16-17.
- [2] 刘晓丽, 李阳, 白雷, 等. 薄层砂岩边底水油藏空气辅助内源微生物驱油技术 [J]. 特种油气藏, 2024, 31 (02):103-111.
- [3] 杨伟, 李善建, 丁倩. 微生物协同纳米颗粒驱油的研究进展 [J]. 化工技术与开发, 2024, 53(06):35-40.