

Research on polymer flooding and oil extraction technology

Yuwei Fan

Petroleum Engineering Technology Research Institute of Henan Oilfield Company of Sinopec, Nanyang, Henan, 473132, China

Abstract

As an important method to improve the oil recovery rate, it has been widely used and deeply studied in the oil industry in recent years. This paper systematically discusses the basic principle and application strategy under different reservoir conditions. Through a detailed analysis of the polymer solution properties, the injection mechanism, and its flow behavior in the reservoir, the key factors affecting the polymer flooding effect are revealed. In addition, this paper also evaluates the economic and environmental impact of polymer flooding technology, and points out the current technical challenges and future development direction. The results show that rational selection of polymer type and injection scheme can significantly improve oilfield recovery while reducing extraction costs and environmental burden. The research in this paper provides theoretical basis and practical guidance for further optimization of polymer flooding technology, which is of great significance for improving the efficiency of oilfield development.

Keywords

polymer flooding; oil recovery; flow behavior; economy; environmental impact

聚合物驱采油技术相关研究

范钰玮

中石化河南油田分公司石油工程技术研究院, 中国·河南 南阳 473132

摘要

聚合物驱采油技术作为提高油田采收率的重要方法, 近年来在石油工业中得到了广泛应用和深入研究。本文系统地探讨了聚合物驱技术的基本原理、应用现状及其在不同油藏条件下的优化策略。通过对聚合物溶液性质、注入机制及其在油藏中的流动行为进行详细分析, 揭示了影响聚合物驱效果的关键因素。此外, 本文还对聚合物驱技术的经济性和环境影响进行了评估, 指出了当前技术面临的挑战与未来发展方向。研究结果表明, 合理选择聚合物类型和注入方案能够显著提高油田采收率, 同时降低开采成本和环境负担。本文的研究为进一步优化聚合物驱技术提供了理论依据和实践指导, 对于提升油田开发效率具有重要意义。

关键词

聚合物驱; 采收率; 流动行为; 经济性; 环境影响

1 引言

随着全球石油资源的日益枯竭和油田开发难度的不断增加, 提升油田采收率成为石油工业面临的重要课题。聚合物驱技术作为一种有效的提高采收率的方法, 因其优越的流变性能和改进的驱油效果而备受关注。聚合物驱通过提高注入水的黏度, 改善水油界面的驱替效率, 从而增加油田的最终采收率。近年来, 随着高分子材料科学的发展, 聚合物驱技术在聚合物种类、注入方式及优化策略等方面取得了显著进展。本文旨在系统分析聚合物驱技术的基本原理、应用现状及优化策略, 探讨其在不同油藏条件下的适用性和经济性, 为油田开发提供科学依据和技术支持^[1]。

2 聚合物驱技术的基本原理与发展

2.1 聚合物溶液性质对驱油效果的影响

聚合物溶液的黏度和分子量是影响聚合物驱效果的关键因素。高分子量的聚合物能够显著提高溶液的黏度, 从而改善水驱的扫油效率。然而, 聚合物分子在高温高盐环境下容易发生降解, 导致黏度降低。因此, 选择耐温耐盐的聚合物是提高聚合物驱效果的关键。此外, 聚合物的浓度也直接影响其流变性能和驱油效果。适当提高聚合物浓度可以增强溶液的黏度, 但过高的浓度可能导致聚合物在岩石孔隙中的堵塞, 影响流动性。因此, 优化聚合物浓度是实现高效聚合物驱的必要步骤。

2.2 注入机制及其对油藏采收率的影响

聚合物驱的核心机制是通过提高注入水的黏度, 改善水油界面的驱替效率, 从而增加油田的采收率。在注入过程中, 聚合物溶液能够均匀分布于油藏中, 减少水的偏流现象,

【作者简介】范钰玮(1989-), 女, 中国河北邯郸人, 硕士, 助理研究员, 从事聚合物分注研究。

增加驱油前线的推进速度。此外，聚合物还能够在油水界面形成一层薄膜，降低界面张力，促进油滴的破碎和移动，提高油的可采性。然而，实际应用中，聚合物驱的效果受到多种因素的影响，如油藏的渗透性、孔隙结构及驱油流体的相互作用等。因此，深入研究聚合物驱的注入机制及其在不同油藏条件下的表现，对于优化驱油方案和提高采收率具有重要意义。

3 聚合物驱技术在不同油藏条件下的应用

3.1 高渗透性油藏中的聚合物驱应用

高渗透性油藏由于其较高的渗透率和良好的流动性，适合采用聚合物驱技术。在此类油藏中，聚合物溶液能够迅速流动，覆盖较大范围的油层，提高驱油效率。然而，高渗透性油藏的均质性较好，水驱的偏流现象较少，聚合物驱在此类油藏中的增效空间有限。因此，在高渗透性油藏中，聚合物驱的应用更多地依赖于优化注入方案和聚合物性质，以实现最大化的采收率提升。此外，高渗透性油藏中聚合物驱的经济性相对较高，因为较低的聚合物用量和较少的注入次数能够达到理想的驱油效果^[2]。

3.2 低渗透性油藏中的聚合物驱应用

与高渗透性油藏不同，低渗透性油藏由于其复杂的孔隙结构和低渗透率，导致聚合物溶液在油藏中的流动性较差，容易发生堵塞和吸附现象，影响驱油效果。因此，在低渗透性油藏中应用聚合物驱技术需要克服诸多技术难题，如选择低吸附性的聚合物、优化注入流量和压力，以及采用分阶段注入策略等。此外，低渗透性油藏中的聚合物驱效果通常需要较长的注入时间和较高的聚合物浓度才能显现，这也增加了技术实施的复杂性和成本。因此，针对低渗透性油藏的聚合物驱技术研究，重点在于提高聚合物溶液的流动性和稳定性，减少聚合物在油藏中的损失，以实现高效的驱油效果。

3.3 高温高盐油藏中的聚合物驱应用

高温高盐油藏由于其苛刻的地质条件，对聚合物驱技术提出了更高的要求。高温会加速聚合物的降解，降低其黏度和流变性能，而高盐环境则可能引发聚合物的沉淀和析出，影响驱油效果。因此，在高温高盐油藏中应用聚合物驱技术，需要选择具有优异耐温耐盐性能的聚合物，如某些改性聚丙烯酰胺和天然高分子聚合物。此外，还需优化注入方案，如采用缓慢注入和分阶段注入策略，以减少聚合物在高温高盐环境中的损失。近年来，随着新型高分子材料的研发和聚合物改性技术的进步，高温高盐油藏中的聚合物驱效果得到了显著提升。然而，如何进一步提高聚合物在极端条件下的稳定性和流动性，仍然是未来研究的重点方向。

4 聚合物驱技术的优化策略与数值模拟分析

4.1 聚合物浓度与注入方案的优化

聚合物浓度是影响聚合物驱效果的重要参数。适当提高聚合物浓度能够显著提高注入水的黏度，改善水驱的扫油

效率。然而，过高的聚合物浓度可能导致聚合物在孔隙中的堵塞和吸附，降低其流动性和驱油效果。因此，优化聚合物浓度需要在提高黏度和保证流动性之间找到平衡点。数值模拟分析表明，在典型高渗透性油藏中，聚合物浓度在 0.5% 至 1.5% 之间时，采收率提升效果最佳，超过 1.5% 浓度后，增效效果趋于平缓，且可能引发聚合物堵塞问题。通过建立多物理场耦合模型，研究不同浓度聚合物溶液在油藏中的流动行为，可以指导实际注入方案的设计和优化，提高聚合物驱的经济性和效率，图 1 为优化的聚合物驱替机理。

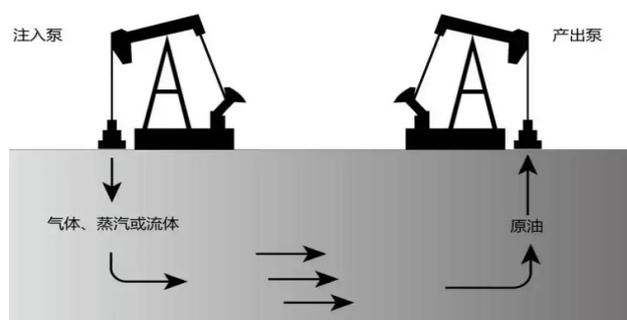


图 1 优化的聚合物驱替机理

4.2 聚合物注入速率与压力的优化

聚合物注入速率和压力是影响聚合物驱效果的另一个关键因素。适当的注入速率能够确保聚合物溶液在油藏中的均匀分布，减少水偏流现象，提高驱油效率。数值模拟结果表明，在不同渗透性油藏中，聚合物注入速率应控制在 1 至 3 立方米/天/油井的范围内，以确保聚合物溶液能够充分覆盖油藏，提高驱油效果。此外，注入压力的控制也至关重要，过高的注入压力可能导致聚合物溶液在油藏中产生湍流，增加聚合物的剪切降解，降低其黏度和驱油效果。通过建立注入压力与聚物流动性的关系模型，可以优化聚合物注入压力，提高聚合物驱的稳定性和有效性^[3]。

4.3 聚合物种类与改性技术的优化

不同种类的聚合物具有不同的流变性能和稳定性，选择适合特定油藏条件的聚合物种类是优化聚合物驱效果的关键。数值模拟分析显示，改性聚丙烯酰胺（HPAM）在高温高盐条件下表现出较好的稳定性和流动性，而天然高分子聚合物如黄原胶则在低温低盐条件下具有更优的驱油效果。通过改性技术，如引入耐温耐盐基团和提高聚合物分子量，可以显著提升聚合物在极端条件下的性能。数值模拟结果表明，改性后的 HPAM 在高温高盐油藏中的黏度保持率可达 80% 以上，而未改性的 HPAM 则仅为 50%。因此，针对不同油藏条件选择和优化聚合物种类，是实现高效聚合物驱的关键策略之一。

5 聚合物驱技术的经济性分析与环境影响评估

5.1 聚合物驱的成本效益分析

聚合物驱技术的经济性在油田开发中占据关键地位，

其成本效益比 (CER) 直接影响项目的可行性。以某大型油田为例, 聚合物驱项目的初期投资约为 5000 万美元, 其中聚合物材料成本占 40%, 注入设备和基础设施投资占 30%, 其余 30% 为运营维护费用。根据统计数据, 实施聚合物驱后, 油田的采收率从 20% 提升至 35%, 年增产约 50 万桶原油。按当前油价每桶 60 美元计算, 年增收为 3 亿美元, 相较于初期投资, CER 达到 6:1, 显示出显著的经济效益。综合来看, 聚合物驱技术在大多数油田中展现出较高的经济效益, 但其实际应用效果仍需结合具体油藏条件进行详细评估和优化设计, 以确保投资回报的最大化。

5.2 聚合物驱的环境影响评估

聚合物驱技术在提升油田采收率的同时, 对环境的影响不可忽视。主要环境影响包括聚合物残留、注入水的消耗及其排放。以某油田为例, 实施聚合物驱后, 每年注入聚合物约 10 万吨, 预计其中约 5% 残留在油藏中, 剩余部分通过产出水排放。根据环境监测数据, 残留聚合物对地下水质量的影响有限, 主要通过生物降解过程减少其浓度。此外, 注入水量增加约 20%, 对水资源的需求显著上升, 每年需额外使用约 5000 万立方米水。通过采用循环水注入技术, 水资源消耗量可以降低至原来的 70%, 即每年节约约 1500 万立方米水资源。排放方面, 经过处理的产出水中聚合物浓度控制在 5 毫克/升以下, 符合国家排放标准, 不会对地表水体造成显著污染。总体而言, 聚合物驱技术在环境影响方面具有可控性, 通过优化注入方案和加强环境管理, 可以有效减少其对环境的负面影响, 实现油田开发与环境保护的协调发展^[4]。

5.3 聚合物驱技术的可持续发展策略

实现聚合物驱技术的可持续发展, 需要从材料创新、成本控制和环境保护等多方面入手。首先, 材料创新是关键。当前市场上高性能聚合物的研发投入逐年增加, 预计到 2025 年, 耐温耐盐聚合物的研发成本将降低 20%, 同时性能提升 30%。通过引入新型高分子基团和改性技术, 聚合

物的稳定性和流变性能得到显著增强。例如, 改性聚丙烯酰胺 (HPAM) 的分子量提高至 15 万道尔顿, 黏度保持率提高至 85% 以上, 显著延长了聚合物在高温高盐油藏中的使用寿命。其次, 成本控制方面, 通过规模化生产和技术优化, 聚合物价格预计在未来三年内下降 15%, 从而提升经济性。此外, 优化注入方案, 如分阶段注入和智能注入控制技术的应用, 可以减少聚合物用量约 10%, 进一步降低运营成本。在环境保护方面, 推广绿色聚合物和循环水注入技术, 每年可减少约 3000 吨聚合物残留和 1500 万立方米水资源消耗, 制定严格的环保标准和操作规范, 确保聚合物驱过程中的环境影响最小化^[5]。

6 结语

聚合物驱采油技术作为一种有效的提高油田采收率的方法, 在全球油田开发中发挥了重要作用。本文通过系统分析聚合物驱的基本原理、应用现状及优化策略, 揭示了影响聚合物驱效果的关键因素, 并通过数值模拟和经济性分析, 评估了聚合物驱技术在不同油藏条件下的适用性和经济性。未来, 随着高分子材料科学的发展和聚合物驱技术的不断优化, 聚合物驱将继续在油田开发中发挥重要作用, 为石油资源的高效利用和可持续发展提供坚实保障。

参考文献

- [1] 李华,王磊.聚合物驱油技术的研究进展[J].石油勘探与开发,2024,51(3):45-52.
- [2] 张建国,刘洋.高分子聚合物在油田采收率提高中的应用分析[J].石油化工,2023,52(4):123-130.
- [3] 陈明,赵刚.聚合物驱油技术的经济性分析与优化策略[J].石油工程,2024,26(2):89-95.
- [4] 孙丽,周强.高温高盐条件下聚合物驱油性能的实验研究[J].高分子学报,2025,36(1):67-74.
- [5] 朱晓东,黄蕾.聚合物驱油技术的环境影响与可持续发展研究[J].环境科学与技术,2024,47(5):112-118.