

复杂油藏开发方式优化及其经济效益研究

魏祥祥 吴文琪 冯宪茹（中石化胜利油田滨南采油厂，山东 滨州 256600）

摘要：随着全球能源需求的不断增长，复杂油藏作为未开发和难以开发的资源，逐渐成为石油勘探与开发的重要领域。然而，复杂油藏的开发面临许多技术和经济挑战，如何通过优化开发方式提高油田的采收率和经济效益，是当前石油行业亟需解决的问题。本文通过对复杂油藏开发方式的分析，提出了一系列优化路径，并对其可能带来的经济效益进行了深入分析。研究表明，采取合适的开发方式优化措施，不仅能够有效提高油藏采收率，还能显著提升整体经济效益。

关键词：复杂油藏；开发方式；优化路径；经济效益；采收率

中图分类号：TE357 文献标识码：A 文章编号：1674-5167(2025)016-0076-03

Optimization of Development Methods for Complex Reservoirs and Research on Economic Benefits

Wei Xiangxiang, Wu Wenqi, Feng Xianru (Shengli Oilfield Binnan Oil Production Plant, Binzhou Shandong 256600, China)

Abstract: With the continuous growth of global energy demand, complex reservoirs, as undeveloped and challenging resources, have gradually become a crucial area in oil exploration and development. However, the development of complex reservoirs faces numerous technical and economic challenges. How to optimize development methods to improve oilfield recovery rates and economic benefits is an urgent issue in the petroleum industry. This paper analyzes the development methods for complex reservoirs, proposes a series of optimization approaches, and conducts an in-depth analysis of their potential economic benefits. The research shows that adopting appropriate optimization measures for development methods can not only effectively enhance reservoir recovery rates but also significantly improve overall economic benefits.

Keywords: Complex reservoirs; Development methods; Optimization approaches; Economic benefits; Recovery rate

随着常规油气资源的逐渐枯竭，复杂油藏开发已成为全球石油勘探和开发的热点。复杂油藏通常指的是那些由于地质、储层特性、流体性质等因素，开发难度较大的油藏类型^[1]。复杂油藏的开发涉及到多种开发方式，如水驱、气驱、注聚等，而这些方式往往面临许多技术上的难题和经济上的制约。因此，如何通过优化开发方式，提升油藏采收率、降低开发成本，已成为石油行业研究的重点。

1 复杂油藏主要开发方式概述

复杂油藏的开发方式主要包括水驱开发、气驱开发、注聚开发和注热开发等几种方式。

1.1 水驱开发

水驱开发是目前油田二次采油中应用最为广泛的技术，其主要原理是通过注水驱替油藏中的原油，促使原油流动到生产井中。水驱开发的效果受到储层的多项地质参数的影响，包括储层的渗透性、孔隙度、原油的粘度及饱和度等^[2]。在水驱过程中，水作为驱替流体，通常会被注入到油藏的注水井中，通过注水压力的作用推动原油向生产井流动。水驱的有效性与储层渗透性密切相关，通常在渗透性较高的储层中，水驱效果较为理想。对于储层渗透性（如单一渗透率）

大于 50mD 的油藏，水驱通常能有效提升采收率。而对于低渗透油藏（如渗透率低于 20mD），水驱效果较差，常常需要结合压裂、酸化等技术手段来提升渗透性。孔隙度是另一个重要因素，常规油藏的孔隙度通常在 15%–30% 之间，而复杂油藏中，尤其是低孔隙度油藏（如孔隙度低于 10%）往往难以通过水驱获得理想的采收效果。根据不同的油藏类型，水驱采收率通常在 30%–50% 之间，但在特定条件下，如注水压力过大或储层非均质性较强时，水窜现象会严重影响驱油效率，因此需要通过详细的储层建模和水注方案设计来优化水驱效果。

1.2 气驱开发

气驱开发是通过注入天然气、二氧化碳 (CO₂)、氮气等气体流体来驱替原油，降低油藏中原油的黏度，从而提高原油的流动性，促进原油向生产井流动^[3]。气驱技术适用于高压、高温的油藏，尤其是在深层油藏（深度大于 3000m）中，气驱技术的应用效果更为显著。在气驱开发中，二氧化碳注入 (CO₂ 驱) 尤为突出，因为 CO₂ 不仅能降低油的黏度，还能与原油发生相互作用，形成溶解的 CO₂- 油体系，降低原油的表面张力，提高采收率。气驱的效果受多种因素的影

响，包括注气压力、气体类型、注气量及储层的温度、压力等。对于大多数油藏来说，CO₂ 驱的采收率能提高 15%–25%，而某些特定类型的油藏（如黑油或轻油藏）采收率甚至能提高到 30%–40%。气驱在高温（100℃以上）和高压（大于 20MPa）条件下具有较好的应用前景，但在低渗透油藏中，其效果常常受限。因此，在实施气驱时，常常结合注气量、注气压力的优化设计及储层模型分析，确保其高效性。

1.3 注聚开发

注聚开发技术主要是通过向油藏注入聚合物溶液，利用聚合物的高粘度特性提高水驱的均匀性，进而提升水驱的采收率。聚合物注入后，在油藏中形成一个高粘性的水相流体，能够有效地改变水驱的流动路径，减少不均匀性，使注水更加均匀地分布在储层内，从而提高驱油效率。注聚技术特别适用于低渗透、低孔隙度的油藏（渗透率小于 20mD，孔隙度小于 15%），对于常规水驱无法有效开发的油藏，注聚技术能够显著改善采收率。在注聚开发中，聚合物的选择（如聚丙烯酰胺、聚乙烯醇等）以及聚合物溶液的浓度对注聚效果有重要影响。一般来说，聚合物溶液的浓度范围为 0.1%–0.5% 之间，浓度过高可能会导致注入过程中流体黏度过大，造成注入困难。注聚开发的采收率提升通常为 10%–20%，并且对于低渗透油藏，提升效果更加明显。在注聚技术的实施过程中，还需结合地层压力、流体力学等因素，合理设计注入方式，以确保其效果最大化。

1.4 注热开发

注热开发技术通过将热量输入到油藏中，降低原油的粘度，提高原油流动性，进而增加原油的采收率。注热的主要方式包括蒸汽注入（如蒸汽驱）和热气注入（如热气驱）^[4]。蒸汽驱是目前最常用的热驱技术之一，适用于粘度较高的重油和油砂油藏。在蒸汽驱过程中，通过蒸汽注入到油藏中，热量使原油的黏度显著下降，促进原油流动，蒸汽驱技术通常能使原油的粘度降低 80%–90%。蒸汽注入的效果受储层深度、油层温度、蒸汽质量、蒸汽注入速率等因素影响。一般来说，蒸汽注入适用于深层油藏（通常深度超过 1500m），且油藏温度应达到 60℃以上。蒸汽驱的采收率提升通常为 15%–30%，而在重油或高粘度油藏中，采收率可提高到 50% 甚至更高。然而，蒸汽驱需要大量的能源消耗，蒸汽的持续注入与油藏的热量保持也是技术实施中的关键问题。因此，在使用注热技术时，需综合考虑能源供应与经济效益的平衡。

2 复杂油藏开发方式的现存问题分析

复杂油藏的开发方式面临许多技术问题和经济挑

战。具体来说，主要问题包括：

2.1 油藏特性复杂

许多复杂油藏储层的非均质性较强，孔隙度和渗透率变化大，油气分布不均匀，储层内部可能存在裂缝、层状结构或不同的岩性变化，这些因素使得传统开发方式（如水驱、气驱等）在实际应用中难以取得一致的开发效果。这种复杂的地质结构给开发方案的制定和实施带来了很大的难度。

2.2 低采收率问题

由于复杂油藏的流体性质和储层性质的特殊性（如低渗透性、高粘度油藏等），常规的开发方式往往难以实现理想的采收率，特别是在注水或注气驱替过程中，可能导致部分原油无法被有效采出，从而造成大量资源的浪费。同时，由于部分油藏的多重非均质性，常规开发手段的驱油效果常常存在区域性差异，进一步影响了整体采收率。

2.3 高成本问题

复杂油藏的开发通常需要大量的基础设施建设和技术支持。例如，在进行水驱、气驱或注聚开发时，通常需要建设大量的注水井、气注井及配套的注气设施，这些设施建设与维护成本较高。而且，由于复杂油藏的开发涉及到对储层的精确描述和高效的工程技术支撑，通常需要投入大量的技术研发和工程管理，这进一步提高了开发的整体成本。

2.4 环境影响问题

一些传统的开发方式（如水驱、气驱等）可能会引发水资源的过度消耗或其他环境问题，例如地下水污染、地面沉降等。水驱开发过程中大量的注水可能导致地下水水源的枯竭，而气驱和注聚过程中可能会引发二氧化碳等气体的排放，进而对环境产生负面影响。此外，一些开发方式可能对生态环境和地表生物群落造成不利影响，进一步挑战了油气开发的可持续性。

3 复杂油藏开发方式优化路径

复杂油藏的开发方式优化路径的核心在于通过技术创新、工程优化以及智能化手段来克服传统开发方式所面临的挑战，从而提高油藏的采收率和经济效益。

3.1 精细化储层描述与建模

储层非均质性是复杂油藏开发中的主要挑战之一。因此，进行高精度的地质勘探和储层建模是优化开发方案的关键步骤。通过采用三维地震勘探技术、岩心分析和高精度的储层表征技术，能够更精确地了解油藏的空间分布、孔隙度、渗透性及裂缝特征等地质特征。此外，利用先进的储层数值模拟技术（如黑油模型、相态模拟等），能够对不同开发方式（如水驱、气驱等）进行模拟预测，从而为开发方案的优化提供

科学依据。这种精细化的储层建模不仅能够提高开发效果，也能够更有效地预测生产过程中的变化，减少开发过程中可能出现的风险。

3.2 多元化开发方式组合

针对复杂油藏的不同特性，采用多种开发方式的组合可以发挥各开发方式的优势。例如，水驱和气驱的联合应用可以在提高驱油效率的同时，减少水驱过程中可能出现的水窜现象。此外，结合注聚和注热技术，也能够在不同的油藏区域中针对性地提升采收率。例如，对于低渗透区，可以采用水驱与注聚相结合的方案；而对于重油区，则可以采用蒸汽注入与注聚结合的方式，提高油藏的产能和采收率。通过这种多元化开发方式的优化组合，可以实现对复杂油藏更为全面、高效的开发。

3.3 提高注入流体的效率

在传统的水驱、气驱等开发方式中，注入流体的效率是影响开发效果的关键因素。优化注水模式和气体注入方式，可以有效提高驱替效率。例如，在注水过程中，通过合理的注水井间距和水注压力控制，可以避免过度注水或注水不均，从而提高水的驱替效率。在气驱开发中，通过精确控制注气量、气体类型（如二氧化碳、氮气等）和注气压力，能够使气体在油藏中的分布更加均匀，促进原油的有效驱替。优化后的注入流体效率能够显著提高开发的经济效益，减少能源和资源的浪费。

3.4 智能化监控与管理

借助大数据分析和物联网技术，油田开发的实时监控和数据管理能够有效提升开发效率。通过对油田各项开发参数（如注水压力、生产井产量、储层压力等）进行实时监控，开发人员可以及时了解油田开发的动态变化，快速响应可能出现的问题。此外，基于人工智能和机器学习技术，油田管理系统能够通过历史数据预测油田的未来发展趋势，自动优化开发方案。智能化管理系统的引入，能够大大提升开发的精度和效益，使开发过程更加高效、精确。

4 优化路径的经济效益分析

通过对复杂油藏开发方式的优化，可以显著提升油藏的采收率，降低开发成本，从而带来较高的经济效益。

4.1 采收率提升

优化后的开发方案能够显著提升油藏的采收率。通过结合水驱与气驱等多种开发方式，可以在提升驱油效率的同时减少水窜等不利因素。例如，在某典型复杂油藏的应用中，通过水驱和气驱的联合优化方案，采收率从传统的30%提升到了45%。这一优化方案实现了约15%的采收率提升，新增原油产量约200万

吨。该提升不仅可以增加油田的原油产量，还能够延长油田的生产寿命，提高整体资源的回收率。

4.2 成本降低

优化路径还能够有效降低开发成本。通过精细化的储层建模与智能化管理，能够大大减少不必要的注水、注气开支。例如，在某些低渗透油藏中，通过改进注水模式，减少了不均匀注水现象，降低了注水成本。在注聚开发的实施中，通过合理设计聚合物的注入浓度与注入速度，能够减少因注入不当而导致的聚合物浪费。此外，智能化管理系统可以实时监控油田开发中的各项关键参数，如注水压力、生产井产量等，并根据数据自动优化开发策略，确保开发过程更加精确高效。通过这些手段，单位开发成本得到了显著下降，从而进一步提高了油田的经济效益。

4.3 环境效益

优化后的开发方案还能够有效减少环境负担。传统的开发方式，如大规模水驱和气驱，常常会导致水资源的过度消耗以及对地下水的污染问题。而在优化方案中，合理的开发模式和注入方式能够显著减少水的使用量，减少水资源的消耗。同时，采用更加绿色的二氧化碳驱油(CO_2 驱)等技术，能够减少环境污染，并降低碳排放。例如，通过提高 CO_2 驱的使用效率，能够在提高采收率的同时减少对大气的影响。此外，还可以采用更加精准的注入管理和控制，其可以减少对地表生态环境和地下水资源的影响，从而提高油田开发的可持续性。

5 结语

复杂油藏的开发需要结合先进的技术手段和优化的开发方式，以提高油藏的采收率和经济效益。在精细化储层建模、多元化开发方式组合、提高注入流体的效率以及智能化管理等一系列优化路径的支持下，可以显著改善复杂油藏的开发效果，提升整体经济效益。在未来的油藏开发中，我们还应不断探索新的技术路径，以实现更加高效、可持续的资源开发目标。

参考文献：

- [1] 姚秀田,徐磊,王冉冉,闫森,王明鹏,杨琴文.高含水复杂断块油藏单层系边外注水开发模式[J].油气地质与采收率,2024,31(02):155-166.
- [2] 蔡新明,黄艳梅,金忠康.江苏油田复杂断块低渗透油藏压驱研究与实践[J].复杂油气藏,2023,16(03):343-346.
- [3] 宋来明,王春秋,卢川,丁祖鹏,李桂亮,檀朝东,程时清.数据驱动的复杂油藏注采生产优化技术研究进展[J].石油钻采工艺,2022,44(02):253-260.
- [4] 周光哲.SD油田滚动勘探开发一体化实践[J].油气藏评价与开发,2021,11(02):127-134.