

海上油田剩余油挖潜策略及经济效益分析

王圪文 (中国石化胜利油田分公司海洋采油厂, 山东 东营 257000)

摘要: 本文针对海上 X 油田特高含水期面临的高效开发挑战, 综合运用三维地质建模与数值模拟技术, 系统研究了多层合采条件下剩余油的分布规律。结果表明, 剩余油主要富集于砂体边部、非主流线及正韵律层顶部等区域, 其分布受储层强非均质性及层间干扰控制。基于此, 提出了以井网优化与分层调控为核心的流场调整方案。现场实施深度调剖、补孔转层及部署新井等措施后, 累计增油效果显著, 预计提高采收率 0.6%。该方案在实现可观经济效益的同时, 为同类高含水油藏提供了经济有效的开发调整借鉴。

关键词: 剩余油分布; 剩余油挖潜; 提高采收率; 经济效益

中图分类号: TE343 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 008-0091-03

Strategies for Remaining Oil Exploitation in Offshore Oilfields and Economic Benefit Analysis

Wang Yiwen (Offshore Oil Production Plant, Shengli Oilfield Branch, Sinopec, Dongying Shandong 257000, China)

Abstract: This study addresses the challenges of efficient development in the extra-high water-cut stage of offshore X Oilfield. By integrating 3D geological modeling and numerical simulation techniques, the distribution patterns of remaining oil under multi-layer commingled production conditions were systematically investigated. The results indicate that remaining oil is primarily enriched in areas such as the edges of sand bodies, non-mainstream flow paths, and the tops of positive rhythmic layers. Its distribution is controlled by strong reservoir heterogeneity and interlayer interference. Based on these findings, a flow field adjustment plan centered on well pattern optimization and layered regulation was proposed. After implementing measures such as deep profile control, reperforation and layer switching, and deployment of new wells in the field, the cumulative incremental oil production was significant, with an estimated increase in recovery factor of 0.6%. This approach not only achieves considerable economic benefits but also provides a cost-effective reference for the development and adjustment of similar high water-cut reservoirs.

Keywords: remaining oil distribution; remaining oil exploitation; enhanced oil recovery; economic benefit

海上油田开发进入中高含水期后, 尤其在多层合采条件下, 受储层非均质性、沉积微相及开发井网等因素共同影响, 剩余油分布特征愈加复杂^[1]。海上油田受平台限制, 普遍采用大井距、合注合采的开发方式, 容易形成层间干扰, 导致层间储量动用不均^[2-4]。近年来, 随着加密调整井、数值模拟及动态监测资料的积累, 对多层合采剩余油分布规律的认识不断深化^[5-6]。目前 X 油田开发即将进入特高含水期, 挖潜剩余油是综合调整的重点, 系统研究剩余油分布规律, 并制定针对性挖潜策略, 对提高采收率、实现经济效益的最大化具有重要意义。

1 油藏概况

X 油田油藏埋深 1200m~1540m, 主力含油层系馆上段, 属河流相沉积。主河道平均孔隙度 32.9%, 渗透率 $4138 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 河道边缘平均孔隙度 30.7%, 渗透率 $1502 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 天然堤平均孔隙度 28.4%, 渗透率仅 $376 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 单井渗透率变异系数 0.408~1.253, 61.5% 的井变异系数大于 0.7, 属于强非均质储层。储层发育以正韵律为主, 高渗段集中于

砂体底部, 油藏类型为常规稠油岩性构造油藏。采用定向井大段合注合采的开发方式, 综合含水已达 89.5%, 即将进入特高含水期。

2 多层合采剩余油分布规律

油田开发进入中后期, 剩余油的分布复杂多样, 除了受油藏自身的地质条件影响外, 也与开发方式和井网有着密切的关系。多个油田开发实践已证明, 在合注合采情况下, 层间干扰现象普遍存在。多层合采井中, 影响剩余油分布的主要原因可归结为储层物性非均质性、流体性质非均质性及驱动能量与井底流压的耦合作用。

①储层物性非均质性: 是制约油田开发效果的关键因素, 以 X 油田为例, 其高渗层平均渗透率达 3000~8000mD, 渗流能力强、流动阻力小, 易引发注入水单层突进与无效循环; 而低渗层因启动压力高动用困难, 导致合采合注时层间干扰严重, 驱替效率不均, 影响水驱开发效果。

②流体性质非均质性: 由于粘度差异, 生产压差相同时低粘油更容易流动并被采出, 而高粘油则流动

困难，容易形成剩余油富集区。X 油田 Ng (1+2)、Ng3 砂层地下原油粘度相对较高，Ng4、5~6 砂层地下原油粘度相对较低，合采井存在层间矛盾。

③驱动能量与井底流压的耦合作用：高渗层流动阻力小，即使生产压差较小，流体也易于流动；而低渗层需要更大的生产压差才能克服启动阻力。在相同生产条件下，常出现高渗层抑制低渗层的层间干扰现象。注水过程中，注入水优先沿高渗层突进形成无效循环，进一步加剧低渗层能量补充困难的问题。

3 X 油田剩余油分布特征

剩余油研究的方法多样，油藏数值模拟方法是精细油藏描述中剩余油研究应用最广泛的方法之一^[7]。基于数值模拟建立了 X 油田的数值模型，历史拟合验证后，计算值与实际误差小于 4.5%。

3.1 平面剩余油分布特征

数值模拟明确了地下剩余油的分布特征。分析表明，主力层砂体连片分布，剩余油主要富集在井组内相邻采油井间的滞流区及井网控制程度较低的区域，反映出储层强非均质性严重制约了水驱波及效率。主力井区沿注采流线已普遍水淹，油水井间形成高渗流通道；而在砂体边部、非主流线区域及井网不完善部位，注入水难以有效波及，形成剩余油富集区。非主力层砂体多呈条带状发育，井网控制程度低，累注采量小，流场强度较弱，注采对应关系不完善，在砂体边部及断层附近剩余油高度富集。

3.2 层间剩余油分布特征

在合注合采过程中，高渗透层表现出采油强度高、累采累注量大的特征，水窜快、含水上升迅速；而低渗透层则采油强度低、注水见效差，剩余油高度富集。数值模拟结果显示，X 油田馆陶组油藏全区平均含油饱和度为 0.438，其中上层系为 0.487，下层系为 0.415。主力砂层内部层间饱和度差异在 0.03% - 0.07% 之间，剩余油主要富集在沉积相带边缘及井间未有效动用区域。

3.3 层内剩余油分布特征

X 油田油层以正韵律沉积为主，受韵律结构控制，次生底水流场主导层内剩余油的分布特征。由于高渗段多集中于砂体底部，导致底部水驱效率高、强水淹，而顶部水驱效率低、弱水淹，形成“上油下水”的特征。同时，层内受非均质性与长期注水冲刷共同形成的局部强流场影响，注入水无效循环，导致水驱波及系数降低，剩余油主要富集在与注采主流线呈一定角度的未波及区，呈条带状分布。

4 剩余油挖潜对策及经济效益分析

海上油田受平台规模及成本限制，井网调整成本高。海上油田井网调整的核心经济困境源于其资本结

构的刚性与边际成本的陡增。平台作为数十亿级的沉没成本，其空间、井槽和处理能力在设计后即被锁定，任何物理调整都面临难以逾越的硬约束。海上施工受海况限制作业窗口窄，效率低下，这导致单井调整的边际成本极高。正因为投资成本高，海上油田的开发人员在制定调整方案或方案设计时必须依托高精度油藏数值模拟，将地质不确定性、油藏动态、工程参数进行全方位、长周期的预测推演。同时，基于现有井网实施措施改造、流场调整，降本增效，改善开发效果，提高油藏最终采收率，实现经济效益的最大化。因此本文根据区块剩余油分布规律的研究，提出以平面完善扩波及和纵向调整促均衡为方向的调整方案。通过部署新井、补孔分采、调剖等方式，改善水驱开发效果，达到“提质降本”的经济目标。

4.1 深度调剖挖潜剩余油

注水井调剖的核心油藏机理是改善水驱波及效率。注入的调剖剂（如凝胶、颗粒）优先封堵高渗条带或大孔道，迫使后续注入水转向未波及或低渗的含油区域，从而扩大水驱洗油面积，提高微观及宏观驱油效率，最终提升原油采收率。在高含水、非均质性强、存在明显无效水循环的成熟水驱油田中，调剖通常具有较好的经济性，是低成本提高采收率的重要技术。从经济方面考虑，调剖的核心优势在于其“杠杆效应”和“系统效益”，能以相对较低的单点投资，撬动整个井组乃至区块的产量提升，从而拥有更优的投入产出比。在海上油田，油水井措施作业需要平台移位，设备动迁和日费高昂，作业复杂且风险更高，而调剖主要成本为调剖剂材料费和注入作业费，通常不需要动用大型、昂贵的设备，在投资成本方面具有显著的效率优势。2025 年 X 油田实施 3 井次调剖，受效油井 8 口，初步见效油井 6 口，见效率 75%，平均含水下降 2.6%，日增油 6.7t，已累积增油 835t，创收约 130 万元（见图 1）。

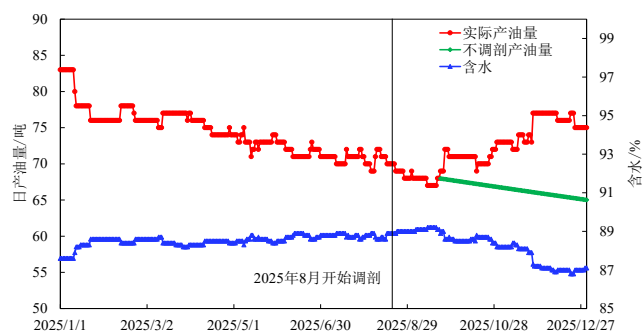


图 1 X 油田深度调剖效果

4.2 流场调整挖潜剩余油

油藏的静态非均质性与长期水驱形成的动态非均

表 1 X 油田 2024-2025 年增油效果统计

类型	井数 / 口	有效井数 / 口	有效率 / %	平均单井日增油 / t	年增油 / (10 ⁴ t)
补孔	2	2	100	75	0.94
转层	3	3	100	198	5.8
酸化解堵	1	1	100	11	0.35
水平井控水	4	4	100	26.4	0.85
新井	3	3	100	89.6	1.17
合计	13	13	100	310.4	9.11

质性（如高渗条带、水淹通道）相互叠加，使得单一的流体转向技术有时难以触及并有效动用那些未被水驱波及的、相对低渗的剩余油富集区。根据剩余油在平面、层间和层内的分布规律，结合生产动态分析，对研究区的剩余油潜力重新摸排，优选补孔、转层、酸化解堵、水平井控水、部署新井等方案，多措并举挖潜剩余油。2024 年至 2025 年共计实施各类措施井 10 口，措施有效率 100%，累积增油 7.94 万 t，部署新井 3 口，新增产能 1.17 万 t，提高采收率 0.6%（见表 1）。

4.3 经济效益分析

剩余油挖潜方案的实施，不仅显著提升了油田开发效果，也带来了明显的经济效益。通过以井网优化与分层调控为核心的综合调整，在控制投入的前提下，有效提高了区块整体收益。老井通过补孔、转层、酸化解堵及水平井控水等方式，以较低成本激活存量资产；新井则针对剩余油富集区部署，进一步扩大波及体积。总体投资规模处于海上油田调整典型区内，具备较好的成本可控性。

剩余油挖潜方案的实施，不仅旨在提升油田开发效果，其核心价值更体现在通过精细化技术决策，实现了在高成本约束下的投资效益最大化。经济效益主要体现在三个层面：一是成本结构优化与投资效率提升，方案严格遵循海上油田“降本增效”的核心原则，通过措施组合优化了成本结构。以调剖为代表的低成本干预措施，以较低的药剂与作业成本撬动了井组的整体增油，其投入产出比显著优于单一油井的高成本措施。同时，老井补孔、转层等措施充分利用了现有井槽资源，避免了新井所需的数亿元级巨额投资及漫长的建设周期，实现了存量资产的高效再利用。二是风险可控与收益确定性增强，方案基于高精度油藏描述与动态模拟，使调整措施更具靶向性，降低了“无效作业”的风险。先导试验（调剖）取得的良好效果，为后续措施的规模实施提供了数据支持和信心保障。措施实施、动态优化的策略，进一步控制了整体投资风险。从实施结果看，措施有效率达 100%，这表明

投入转化为确定性产量，保障了资金的快速回收。三是全生命周期价值拓展，措施实现的含水率下降、降低了递减率，预计提高的 0.6% 采收率，意味着在平台寿命期内可采储量的转化。总体而言，本次调整以技术优化驱动储量有效动用，实现了开发效益与经济效益的统一，为同类高含水油田的挖潜提供了可借鉴的提质增效范例。

5 结语

提出的以平面完善扩波及和纵向调整促均衡为方向的流场调整方案，经过实践证明该对策能有效挖掘剩余油，为即将进入特高含水期的同类油藏提供借鉴意义。

剩余油挖潜方案通过井网优化与分层调控，在控制投资的同时实现显著增油与采收率提升，具备良好的短期回收能力与长期效益。该技术路径为同类高含水油田提供了经济有效的开发调整范例。

参考文献：

- [1] 俞启泰. 关于剩余油研究的探讨 [J]. 石油勘探与开发, 1997, (02): 46-50+99.
- [2] 郑金定, 侯亚伟, 周海燕, 等. 海上油田断层附近剩余油影响因素与挖潜策略 [J]. 复杂油气藏, 2025, 18(01): 78-82+96.
- [3] 金宝强, 舒晓, 邓猛. 渤海特高含水期油田剩余油分布规律及挖潜策略 [J]. 科学技术与工程, 2020, 20(15): 6033-6040.
- [4] 何贤科, 涂齐催, 宋春华. 海上特高含水油田剩余油分布规律研究 [J]. 石油天然气学报, 2013, 35(10): 1-6.
- [5] 周军良, 何康, 舒晓, 等. 渤海 Q 油田特高含水期水淹特征与剩余油挖潜 [J]. 天然气与石油, 2021, 39(02): 54-61.
- [6] 罗宪波, 刘斌, 康凯, 等. 强边水油藏双高阶段剩余油分布研究与挖潜 [J]. 天然气与石油, 2022, 40(04): 108-113.
- [7] 陈欢庆. 中国石油精细油藏描述进展与展望 [J]. 中国地质, 2021, 48(02): 424-446.