

# 断块油藏剩余油挖潜技术优化及其经济效益研究

朱 玮 侯贵峰 张雯靖 马 腾 徐明慧 (中国石化胜利油田滨南采油厂, 山东 滨州 256600)

**摘要:** 断块油藏进入高含水期后, 剩余油挖潜工作, 会面临一系列挑战。其地质结构会愈加复杂。剩余油分布预测也会更为困难。技术实施的风险会更高。研究认为, 挖潜应集成高精度描述与动态监测技术, 在此基础上, 需要构建多信息融合表征方法, 形成一套差异化的精准挖潜工艺体系。该优化技术体系, 能显著提高措施成功率, 同时提升原油采收率, 具有显著的直接经济效益与间接经济效益, 具有一定的实践推广意义。

**关键词:** 断块油藏; 剩余油挖潜; 技术优化; 精细表征; 经济效益

**中图分类号:** TE3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 010-0109-03

## Optimization of Remaining Oil Recovery Technologies in Fault-Block Reservoirs and Research on Their Economic Benefits

ZHU Wei, Hou Guifeng, Zhang Wenjing, Ma Teng, Xu Minghui (SINOPEC Shengli Oilfield, Binnan Oil Production Plant, Binzhou Shandong 256600, China)

**Abstract:** As fault-block reservoirs enter the high water-cut stage, the remaining oil recovery efforts face a series of challenges: increasingly complex geological structures, greater difficulty in predicting remaining oil distribution, and higher risks in technology implementation. This study suggests that recovery efforts should integrate high-precision description and dynamic monitoring technologies. On this basis, it is necessary to construct a multi-information fusion characterization method and form a differentiated precision recovery technology system. This optimized system can significantly improve the success rate of measures and enhance crude oil recovery efficiency. It demonstrates notable direct and indirect economic benefits and holds practical significance for broader application.

**Keywords:** Fault-block reservoir; Remaining oil recovery; Technology optimization; Fine characterization; Economic benefit

随着油气勘探开发的持续深入, 我国许多断块油藏, 已陆续进入了新的开发阶段。部分需要面对高含水, 乃至特高含水问题。在这一背景下, 原油产量递减的压力, 日益凸显。同时, 稳产增产与效益提升的任务, 也变得愈发紧迫。断块油藏自身的地质构造较为复杂。加之其开发历史较长, 剩余油的分布呈现出高度零散的特点<sup>[1]</sup>。同时, 剩余油的分布本身也极具隐蔽性。因而, 传统技术手段, 在识别此类剩余油时, 往往面临“看不清”的实际困境。在确定其位置时, 又常常面临“找不准”的实际难题。而即使找到, 在挖潜时也可能出现“采不出”的技术壁垒。因此, 系统的梳理当前挖潜过程中的核心难点, 找到对应的优化路径, 就十分必要。

### 1 断块油藏剩余油挖潜难点

断块油藏的剩余油挖潜工作, 是在复杂环境下展开的。此前, 项目已经进行了长期的注水开发。因此, 挖潜工作的难点具有多层次、系统性的特征。

#### 1.1 地质与开发特征形成的复杂性难点

断块油藏的地质本质, 决定了剩余油挖潜具有先天困难。储层具有强烈的非均质性。其内部物性在纵向上的变化, 十分剧烈。同时, 受多期构造运动影响, 断层也极其发育。这些断层会将油藏切割成若干

独立单元。这些单元规模不等、形态各异<sup>[2]</sup>。多呈封闭或半封闭状态。这种“碎片化”结构, 会导致油水关系错综复杂。每个断块几乎都可视为一个独立的开发单元。在上述复杂格架下, 又经过长期的注水冲刷, 地下流体分布自然就变得高度零散。其规律性, 也难以把握。

所以, 剩余油所在区域往往处于微幅构造高点, 或者是断层遮挡侧缘、储层物性变差区域等。其整体分布, 会呈现出“整体分散、局部富集”的鲜明特点。而长期的注水开发下, 地下原始流场严重紊乱。注入水易沿高渗带突进, 形成优势渗流通道。而低渗区则波及程度较低。这种流场的不均衡性, 会导致大量原油被“圈闭”在低渗区, 或复杂构造部位, 难以被有效驱动。

#### 1.2 剩余油精准表征与预测难点

复杂的地质与开发特征, 会直接给剩余油的精准表征与预测, 带来巨大挑战。在宏观层面, 现有测井、测试手段对剩余油饱和度的定量解释精度相对有限。在薄层、低阻油层中, 其误差还会较为明显。而在微观层面, 当前于孔隙尺度下, 对剩余油的赋存形态与动用机理的研究, 还尚不深入。因此, 宏观与微观剩余油分布的量化精度, 均有待提高。此外, 关键地质

因素对剩余油分布的控制作用,也很难说可以精确刻画出来。如,断层的封堵性,在开发后期可能会发生动态变化。其侧向遮挡形成的剩余油富集区边界,往往会有模糊不清的问题。边水或底水的侵入能量与方向,现实中也往往难以准确预测<sup>[3]</sup>。这就会容易发生部署失误的问题。要么无法有效驱动剩余油,要么就容易引发暴性水淹问题,开采难度可谓直线上升。

### 1.3 有效挖潜技术实施难点

即便明确了剩余油潜力区,但若想将其转化为实际产量,在技术实施上还是充满了各种挑战。常规增产措施方面,如普适性的补孔、调剖等,在复杂断块环境中,适应性显然是会下降的。措施的有效率就会偏低。投入产出比会不理想。有时甚至会出现加速油井水淹的问题,产生负面效果<sup>[4]</sup>。而针对复杂断块的高级挖潜技术,如,深部调驱、高效加密调整等,理论上虽然会更具针对性,但实际上,各种工艺要求会更高,实施风险也会更大。如,深部调驱的药剂体系,需与地层流体及岩石配伍性,要达到良好水平,而且,注入工艺非常复杂,成本高昂。而如果是在破碎的断块中,部署新井或复杂结构井的话,钻井工程风险又会比较大,储层精准导向要求也会变得极高,开采难度极大。

## 2 断块油藏剩余油挖潜技术优化路径

面对上述挑战,断块油藏的剩余油挖潜工作,必须继续技术优化。要从粗放转向精细。要从经验转向科学。要从单一技术应用,转向系统技术集成的模式。其核心优化路径,就在于必须要构建一套一体化的技术体系。即,“精细描述-精准预测-差异挖潜”,三者要融为一体。

### 2.1 面向复杂断块油藏的精细描述与流场动态监测技术集成

实现高效挖潜的前提,是对地下情况要有清晰认识。而这个过程,需要有更高精度的技术集成进来,才能更好的进行精细描述,也才能做好动态监测的实际需求。这其中,首要的任务,就是要开展高精度构造建模,完成对于流动单元的精细刻画。技术上,应综合利用三维地震资料,进行精细解释。其中,可以结合井震联合反演等技术。厘清微幅构造与小断层的空间展布,进而,将断层识别精度,提升至米级。在此基础上,要依据沉积微相、成岩作用及动态响应特征,划分流动单元。精细刻画储层内部渗流屏障,分清优势通道的分布情况<sup>[5]</sup>。从而,建立高精度的地质模型。以此,反映出流体流动的实际差异。静态的地质描述,在实践中,还必须要与动态监测紧密结合起来使用。技术上,需要通过井-震结合技术,进行生

产动态实时监测。如,井间示踪剂监测、四维地震监测、生产测井等等。其中的目标,是要实时或周期性地追踪变化。如,追踪流体前缘推进、优势通道发育及剩余油分布的动态变化情况。要将动态监测数据,持续反馈回去。并且,用它来修正静态地质模型。这样,地质模型才能始终保持“鲜活”,才能更贴近地下的实际情况。

最终,开发团队要突破思维局限。不能总以单井或井组为单元。而是要转向以断块为单元,进行流场系统分析。应综合分析断块内的多类数据。如,注入、采出、压力及流体性质等。必须真实的诊断出流场失衡的根本原因。在此基础上,才能更好的设计出整体性的流场调控方案。例如,改变液流方向、均衡驱替压力场等。由此,才能为后续的针对性挖潜,创造一个更有利的驱替环境。

### 2.2 多信息融合的剩余油定量表征与预测技术

在拥有了精细地质模型与动态监测的基础之后,接下来就需要进一步发展相应的定量表征技术。而核心目标,就是要从以往的“定性判断”,彻底跨越到“定量预测”的新阶段。这个跨越的实现,核心方法,就在于要开展多源信息的融合评价。具体就是要将地质研究成果、生产动态历史数据等各种资料,融合在一起。用统计学、人工智能等数据分析手段,对剩余油富集区,进行概率性识别与分级评价。从而,提高预测的可靠度。这其中,三维地质建模与数值模拟的一体化,是一个关键的工具性平台。需要将前期建立的高精度地质模型,无缝导入数值模拟器。然后,通过反复的历史拟合过程,不断修正模型中的关键参数。目标是使这个模型能够准确复现油田的开发历史。因为,模型经过了可靠的历史拟合,对未来剩余油分布的预测,才会有更大的可信度。

在此基础上,用它来设置不同的挖潜方案并进行模拟预测,就可以量化评估各项措施的效果。这可对方案优化工作产生帮助,也能提前预判潜在风险。针对断层封堵性,以及边底水能量这两个难点。技术上,还需要通过地质力学分析、断层岩性配置研究,结合生产动态资料进行反演,从而,定量或半定量地评价断层在不同位置、不同时期的封堵能力。

同时,利用数值模拟,结合物质平衡等方法,定量评估边底水能量的大小,及其入侵速度。这些量化的分析,可以更精确地圈定出剩余油的富集范围与规模,对于那些受断层遮挡,或者边水绕流控制的剩余油,更更清楚的识别出来。从而,为后续具体的挖潜井位部署,以及相应的方案设计,提供最坚实的决策依据。

### 2.3 面向高风险断块油藏的差异化精准挖潜工艺技术体系

基于前面精准的潜力定位,接下来就需要构建一套与之匹配的工艺技术体系。这套体系,必须是高度差异化的,也必须是足够精准化的。其根本目的,就是为了有效降低现场实施的风险。从而,实实在在提高开发的总体效益。针对储层的具体分类与剩余油的不同类型,需要进行措施的优化选配。要优先选择那些低风险、高适应性的成熟措施,降低开采过程的意外性。例如,针对典型的断层遮挡型剩余油,可以优选定向侧钻或者精准压裂技术,这样沟通这些孤立的油团,效率会更高一些。针对因井网不完善而未控制到的剩余油,则可考虑部署高效加密井,或者复杂的结构井,而如果是层间干扰导致的动用不均情况,则可选择精细分层注采,或者选择性堵水技术,效果可能会更好一点。这其中,开发团队要逐步建立和完善一个技术对策库。针对不同储层条件与剩余油类型,可以分别给出推荐的技术菜单。最终,向着“一类型一策”,甚至是“一断块一策”的精准应对模式,去发展和优化。对于那些条件特别复杂、必须采用深部调驱的断块,则应重点优化调驱体系,同时,要加强注入过程的智能化改革。团队要研发适配性更强、具有逐级调控功能的深部调驱剂体系。如,预交联凝胶颗粒、柔性转向剂等等。

同时,要大力发展智能注入技术。根据实时监测到的井底压力,与吸液剖面变化,系统要能够动态调整注入的参数和剂型浓度。从而,实现一种“自适应”的调驱过程。只有这样,才能显著提高波及体积。最终,提升整个洗油效率。在工程工艺的具体执行层面,则要大力发展两项关键支撑技术。一是适应复杂结构井的钻井技术。二是针对剩余油富集区的精准改造技术。要广泛应用高精度的地质导向与随钻测量技术,确保井眼轨迹能够在复杂储层中,做到精准穿行,命中目标。同时,诸如限流压裂、暂堵转向压裂、靶向酸化等技术,也要同步发展起来。如此,才能更好的精细控制改造的范围与方向,确保措施能量能够精确作用于剩余油富集区,保证施工的安全与有效性。

### 3 技术优化的经济效益分析

对断块油藏剩余油挖潜技术,进行系统优化,其根本目的,是要实现经济有效的开发目标。而技术优化的过程,不仅会带来产量的增长,更会在整体经济效益上得到全面提升。

#### 3.1 直接经济效益

这其中,直接经济效益是最为直观的。首先,技术优化能显著提高措施的成功率与有效率。精准的剩

余油预测,可以降低部署失误风险。而差异化的工艺,则可提升措施的针对性,从而,使单井增油量增加。无效或低效作业也会相对减少。吨油操作成本中,作业费用分摊这部分也会显著降低。其次,技术优化可以提高水驱波及系数,以及相应的洗油效率,从而,便可有效提升区块的最终采收率。这意味着,在相同地质储量基础上,可采出的原油总量会有所增加,由此产生的边际收益也会跟着增大。而且,系统性的技术应用,还可延长油田的经济开采寿命,产量递减趋势也会得到缓解,油田稳产会更有保障,而如此优化之后,其所带来的时间价值,亦会非常显著。

#### 3.2 间接经济效益

间接经济效益方面,技术优化过程中,会形成的精细的地质模型、剩余油分布图、技术对策库等各种技术成果,这些都是油田宝贵的知识资产,是可重复利用的。后续的调整挖潜中,用上这些成果,也能有效减少重复研究投入,还可提升整体的决策效率。而且,成功的技术实践,还可提升企业应对复杂油气藏开发的技术能力与信心,可以积累更多的宝贵经验,专业人才也能获得更多提升,从而增强企业的核心竞争力。

### 4 结语

断块油藏剩余油挖潜中,地下情况的极端复杂性,与现有技术能力有限性之间,目前仍有较大差距。而要破解这一矛盾,就必须坚持走技术集成优化道路。要尽量做到精准化开发,就必须构建“精细描述-精准预测-差异挖潜”的闭环技术体系。而研究亦表明,技术优化所带来的直接与间接经济效益,确是十分显著的,可为油田开发后期,实现降本增效、稳定发展,提供巨大助力。未来,随着人工智能、大数据、智能工程等新技术不断融入,断块油藏剩余油挖潜工作,需要进一步向智能化、实时化方向演进。如此,才能持续为老油田,焕发新生机,提供新动力。

#### 参考文献:

- [1] 王恩博. 复杂断块油藏高含水期剩余油分布规律研究 [J]. 石化技术, 2024, 31(03): 208-210.
- [2] 孙秀会, 黄飞. 断层精细描述在老油田剩余油挖潜中的应用 [J]. 复杂油气藏, 2021, 14(01): 45-50.
- [3] 李雪, 张进. 高含水高采出程度开发单元剩余油识别与评价 [J]. 复杂油气藏, 2023, 16(01): 82-88.
- [4] 陈善斌, 郑华, 姜永, 宋俊亭, 宋新飞. 渤海海域浅水三角洲复杂断块油田滚动挖潜及实践——以BZ油田为例 [J]. 当代化工研究, 2023, (22): 116-118.
- [5] 程亮. 断块油藏精细挖潜技术研究及实施效果 [J]. 内蒙古石油化工, 2021, 47(06): 100-101.