

# 断块油藏动态监测与剩余油挖潜路径的经济性对比研究

于在洋 (胜利油田东辛采油厂地质研究所, 山东 东营 257000)

**摘要:** 断块油藏作为油气资源开发中的重要类型, 其地质构造复杂性和储层非均质性会让整个开发过程中在成本与效益上面临双重挑战。本文系统分析了断块油藏的地质特征与开发难点, 分类阐述了动态监测技术体系与剩余油挖潜路径的技术关键。并由此, 构建了二者的经济性对比框架。研究表明, 动态监测技术的精准性可以直接影响挖潜措施的成功率, 而挖潜路径的经济效益则取决于其与油藏地质条件的匹配度, 二者有相辅相成的实用功效。

**关键词:** 断块油藏; 动态监测; 剩余油挖潜; 经济性对比; 技术优化

**中图分类号:** TE3

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1674-5167 (2025) 032-0085-03

## A Comparative Study on the Economics of Dynamic Monitoring and Remaining Oil Potential Tapping Pathways in Fault-Block Reservoirs

Yu Zaiyang (Geological Research Institute, Dongxin Oil Production Plant, Shengli Oilfield, Dongying Shandong 257000, China)

**Abstract:** As an important type of oil and gas resource development, fault-block reservoirs present dual challenges in terms of cost and benefit throughout the development process due to their complex geological structures and reservoir heterogeneity. This paper systematically analyzes the geological characteristics and development difficulties of fault-block reservoirs, and elaborates on the technical keys of the dynamic monitoring technology system and the classification of remaining oil potential tapping pathways. Based on this, an economic comparison framework for both is constructed. Research indicates that the accuracy of dynamic monitoring technology directly affects the success rate of potential tapping measures, while the economic benefits of potential tapping pathways depend on their alignment with reservoir geological conditions. The two have complementary practical effects.

**Keywords:** Fault-block reservoir; Dynamic monitoring; Remaining oil potential tapping; Economic comparison; Technical optimization

断块油藏是我国油气开发的重要组成部分, 这一类油藏的地质相对来说构造更加复杂、储层非均质性也比较强, 开发难度要明显高于常规油藏的。随着开发推进, 许多断块油藏已经是进入了高含水期, 剩余油或多或少分散在断裂带、低渗段和被绕流区附件<sup>[1]</sup>。而挖潜的目标越是隐蔽、越是难以识别的话, 项目的开发效益往往也就是越加下滑, 因为这种项目的开发成本与风险一般都会比较高, 效益就不好保证。所以, 如何在经济约束前提下, 选择合适的动态监测技术与挖潜路径, 是当前相关工程决策的核心问题。

### 1 断块油藏地质特征与开发难点

断块油藏是一种被断层切割、呈现破碎化储集现象的油气体系, 地质特点非常特殊。这种油藏的构造是破碎的, 内部比较复杂, 储层连续性也比较差。所以, 一般来说, 这类油藏主要发育在河流相、三角洲相等沉积环境, 而且油藏的纵横变化比较快, 非均质性也比较强<sup>[2]</sup>。以济阳坳陷为例, 362个自然断块总体像摔碎的镜子, 每个单块平均只有0.225km<sup>2</sup>。这些条件特征使得整个开发过程, 或多或少会带有一些技术复杂性和高成本特点。

而在这些复杂挑战里面, 断层是最显著的因素, 也是开发中最先遇到的技术难点。断层不仅控制着构造形态, 还会直接影响到注采系统的有效性。要是断层是封闭的, 就容易在附近形成剩余油富集; 要是断层是开放的, 则可能会成为重要的窜流通道, 让注入水白白外溢。所以对断层封闭性的判断, 其实就是开发方案能不能做好的前提<sup>[3]</sup>。除此之外, 断层密度对开发的影响也是不容忽视的, 比如冀东油田平均每平方公里就有7.5条断层, 而且构造高点还会发生偏移, 所以开发难度自然就更大了。储层的非均质性也是开发过程中的另一主要挑战。因为沉积微相多变的影响, 渗透率级差有时候可达5倍以上, 注入水就会先走高渗通道, 而低渗段就会被绕过。所以纵向上, 不同小层动用程度差别就会很明显, 强水淹层的厚度占比有时可达70%, 弱水淹层就仅有约10%。而平面上, 砂体展布方向与点坝、决口扇等微相会让流体路径变得更加复杂, 比如, 塔木察格油田就是典型案例, 此油田的剩余油分布就是零零散散的, 很难定位。而且, 越是进入高含水期, 剩余油的分布就会越是零散、越是难以识别。

## 2 断块油藏动态监测技术体系

动态监测技术是认识油藏动态演化的核心手段。它的目标很明确，就是要弄清楚流体运移、压力变化和饱和度分布这些关键问题，从而为剩余油挖潜提供可靠的数据支撑。通常来说，动态监测技术可以分为三类：地球物理监测、化学监测和生产动态监测等。这三类方法各有特点，也分别对应着不同的适用场景。

### 2.1 地球物理监测技术

这一类技术主要依托地震勘探与测井手段。以高精度三维地震勘探为例，数据经过重新采集和处理之后，对小断层和微构造的识别能力就会明显提升。除了地震勘探，剩余油饱和度测井也是重要方法<sup>[4]</sup>。常用的包括碳氧比能谱测井和中子寿命测井，它们通过元素含量比例来反映油层饱和度。其优势是对水矿化度不敏感，特别适合长期注淡水的区块；不足之处主要是探测半径比较小（一般不超过 350mm），且受岩性影响较大，在低孔低渗储层中效果往往欠佳。

### 2.2 化学监测技术

化学监测的思路就相对更为直接，它主要是通过流体的化学特征，来判断井间连通性和水流运移规律的。示踪剂监测是典型方法，可以将化学示踪剂注入注水井，再在生产井中观测其出现时间和浓度，从而分析断层封闭性和水流通道。这种方法不仅能判断连通性，还能识别窜水通道。另一类常用技术，是地球化学色谱指纹分析，它可以比较断层两侧原油的全烃指纹和生物标志物，来推测是否连通了。这种方法操作更加简便、成本也更低廉，但偶尔会出现“相关性好但并不真正连通”的情况，因此往往需要与其他方法结合着来使用。

### 2.3 生产动态监测技术

生产动态监测的主要数据来源，有日常生产数据，如压力、产量和含水率等。其中，流线分析是比较先进的方法，它可以基于数值模拟和历史拟合来描绘剩余油分布。如果在修改断层传导率之后，井间依然是有流线通过的，就说明断层是连通的。而通过流线的密度高低，基本就能反映出局部饱和度的差别。另一种常见方法是井间干扰试井。当一口井停注或关井时，如果邻井的压力曲线出现规律性响应，也能直接证明两井之间存在水力联系。这类方法对仪器和测试时长要求是比较高的，但所能提供的证据也是最为直接。

### 2.4 集成化动态监测技术

在实际应用中，不同类型的油藏，往往是需要不同技术组合和集成的。对于那些构造比较简单的断块，生产动态监测和示踪剂监测往往是足够的。但在一些构造复杂的断块中，则需要结合高精度三维地震勘

探和饱和度测井等技术来一起处理。越是复杂的油藏，往往就越需要多种技术的协同。比如，示踪剂监测技术与色谱指纹分析技术结合在一起，可以实现互相验证；碳氧比测井技术与流线分析技术叠加在一起，也能显著提升剩余油描述的可靠性。虽然集成方法对短期成本的影响会比较大，毕竟每种技术都要投入技术成本，但集成方法可以提高决策精度，能够在长期内有效降低开发风险，总体效益也是比较高的，因此目前也已经被常态化使用了。

目前，实时监测技术的效益也越来越明显了，在集成方法体系中，加入实时监测技术，能更好的持续采集数据，动态跟踪储层特征，避免因信息滞后造成的开发误差。比如，脉冲中子氧活化测井就是代表性比较强的方法，它可以通过伽马射线检测含氧流体的流动情况，几乎不受岩性影响。虽然初始投资较高，但从全生命周期来看，其带来的预防效益往往足以抵消成本，特别是在油田进入中后期阶段，这一优势也会更加明显。

## 3 剩余油挖潜技术路径

### 3.1 井网优化技术

井网优化，其实就是要通过井位的调整来把储量控制得更好。最常见的办法是加密钻井、侧钻井，还有井位重排。其中，侧钻井一直是比较突出的，因为它是依托老井来开窗侧钻的，所以能省下大约 40% 的钻井成本，而且施工周期还短。要是能准确圈定剩余油富集带，往往会在一开始就有一个比较可观的产量。关键点在于井位轨迹怎么确定，这就需要沉积相分析、地震解释和动态监测一起配合，特别是在断层附近，更得避免钻到破碎带里<sup>[5]</sup>。对于面积小于 0.1km<sup>2</sup> 的复杂断块来说，不规则三角形井网往往比规则井网更好用。总体来看，井网优化的投入是偏高的，但它带来的产能更稳定，也更持久，尤其适合地质认识已经比较清楚、剩余油又比较集中的区块。

### 3.2 流场调整技术

流场调整，其实就是在现有井网里，把注水方式改变一下，让流体运移的路径调整变化，把滞留油推向生产井。常见的做法有变强度注水、周期注水，还有分层注水。它的好处是灵活、见效快，而且不需要大规模新井投入。平面上，可以通过周期性强注强采，让流线改变方向；纵向上，则是利用压力的周期变化来激活低渗层潜力。不过层间干扰偶尔会很麻烦，所以一般来说在渗透率级差比较大的油藏里，更要配合分层注水来处理。

实践发现，河道砂体区的效果最好，而席状砂体区就差一些。从经济上看，单井调整的成本可能只是



新钻井的 10%—20%，但阶段性增油能有上千吨，是进入中后期的老油田里最划算的选择之一。

### 3.3 精细构造挖潜技术

精细构造挖潜需要“看得更细”，本质上，它是通过高精度构造解释、沉积微相研究，再加上动态验证三步走，来锁定剩余油富集区。拓频处理和波阻抗反演能让小断层和微构造识别更清晰；沉积微相研究能让砂体展布和河道边界更加明了；最后用生产动态数据来验证，构造到底对油气分布起没起作用。实践中发现，在微背斜、断鼻等高部位布井，初期日产往往能做到 10—20t，含水率还不到一半。和新钻井相比，这种方法投入少得多，要是识别到了新的富集区，产出效益往往会远远超过成本。也就是说，这是一种典型的“低投入、高回报”的办法。

### 3.4 异步注采技术

异步注采的特别之处，是它跳出了传统同步注采的框架，用“调、堵、解、驱”四步来做。调，是调整驱替方向，让窜水通道被封住；堵，是把无效水井或者高含水井封掉；解，是用表面活性剂等手段，把污染带解开；驱，就是重新激活驱动体系，把剩余油动用起来。要说效果，异步注采确实是能延长油井的经济寿命的。不过，它对井间连通性和压力传播的认识要求很高，要是没有足够的动态监测数据支撑，可能就做不到位。经济上看，它的特点是短期内产量可能会有下降，但因为注水利用率提高了、无效循环少了，长期最终采收率往往会提升得更明显。

### 3.5 复合驱替技术

复合驱替，就是把几种办法叠加起来，用协同效应来突破传统水驱的瓶颈。常见的组合是物理和化学一起，比如化学驱和流场调整叠加，用来改善流度比、同时提高洗油效率；又比如水力喷射和酸化解堵联用，或者和减氧空气驱配合，都能让采收率显著增加。关键点在于匹配。

要是中高渗透油藏，那么化学驱和流场调整的耦合最合适；要是低渗透油藏，那么压裂改造加气体驱的组合会更见效。它的短板是化学剂和工艺投入前期比较大，但好处是能把难采储量动用出来，所以在特高含水期仍是经济可行的。也就是说，越是水驱效果差的区块，越是能体现出复合驱替的优势。

## 4 断块油藏动态监测与剩余油挖潜路径的经济性对比

动态监测技术与剩余油挖潜路径在经济性上有本质区别，前者是一种信息投资，其价值是可以降低地质的不确定性影响。而后者是生产投资，本质的效益是直接体现在增产量上。监测的成本是设备与解释，

投入虽然偏高但长期有用。而挖潜的成本是钻井与作业，井网优化的投入相对更大，而流场调整和异步注采就相对更为经济一些。监测的作用是以间接效益为主的，比如能提升挖潜成功率 20% 以上，能避免无效投资等。而挖潜技术的作用则是直接关系到产出的，比如侧钻井日产可达 5—12t，流场调整可阶段增油上千吨等。

除了效益对比，二者在风险控制上也有所区别，其中，监测是事前预防，而挖潜则是事中纠错。两者结合的话，可以形成一种“数据驱动—决策指导”循环，投资回报率也可以更高。其实，不同开发阶段，是需匹配不同技术的。早期开发的话，可以用低成本监测为主，中高含水期的话，则可以增加高精度监测的技术。挖潜方面，低含水期的话，就要偏向井网优化和流场调整的方向，而高含水期是要转向精细构造挖潜和复合驱替等技术方向。

因此，经济评价决不能只算短期产量，重点还要放到全生命周期里来衡量和分析。这其中，动态监测的成果可持续发挥作用，挖潜措施也会有延迟效益。最终，才能真正看清成本症结所在，只有综合分析成本、产出、风险和时机，才能真正在断块油藏开发中找到技术与经济的最佳平衡。

## 5 结语

断块油藏的开发，说到底是个技术和经济都要兼顾的问题。动态监测和剩余油挖潜，并不是孤立存在的，一个是让开发团队看清楚油藏“在哪里、还剩多少”，另一个则可以负责把这些剩余油真正动用出来的。监测做得准，挖潜的成功率才会更高。而挖潜做得巧，最终采收率才会更加稳定。这两者之间，是互相依赖的，也是互相补充的。未来，随着监测手段更加精细化发展、挖潜技术更为高效进步，断块油藏开发也会走向更加精准、绿色、稳健的发展新阶段。

### 参考文献：

- [1] 杨翠, 张磊, 杨宽, 贾兰, 李竹青. 提高断块油藏上倾区储量动用程度挖潜技术 [J]. 石化技术, 2025, 32(09): 289-291.
- [2] 张顺康, 刘炳官, 尤启东, 林波, 孙东升, 金勇. 复杂断块油藏剩余油再富集实验及评价研究 [J]. 复杂油气藏, 2024, 17(03): 309-316.
- [3] 李娜. 复杂断块油藏开发调整技术研究 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2023, 43(20): 193-195.
- [4] 王联果. 断块油藏高含水期剩余油分布特征及分区控水技术研究 [J]. 石化技术, 2021, 28(08): 67-68.
- [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.