

# 文33断块沙二下亚段剩余油分布规律及主控因素分析

李月凤<sup>1</sup>, 罗波波<sup>2</sup>, 郭喆<sup>1</sup>, 尹楠鑫<sup>1</sup>, 吕洋<sup>1</sup>, 毛柱毫<sup>1</sup>

<sup>1</sup>重庆科技大学石油与天然气工程学院, 重庆

<sup>2</sup>中国石化中原油田勘探开发研究院, 河南 濮阳

收稿日期: 2024年5月2日; 录用日期: 2024年6月18日; 发布日期: 2024年6月26日

## 摘要

剖析剩余油形成的主控因素以及分布规律是提高油田动用程度及采收率的关键举措, 可为油田的开发方案调整提供依据。尤其是我国东部的复杂断块油藏, 这类油藏断块小且破碎, 储层地质特征认识难度大, 长期的注水开发导致油田剩余油分布关系认识不清, 挖潜难度大。基于此, 论文以东濮凹陷文南油田文33断块沙二下亚段为研究对象, 综合利用研究区的地质、测井以及生产动态资料, 在油藏数值模拟基础之上, 刻画剩余油的分布规律, 揭示了剩余油富集的机理。结果表明: 断层遮挡、微构造控制、岩性尖灭、井网完善程度是这类油藏剩余油形成的主要控制因素。针对不同类型的剩余油, 提出了新钻井、侧钻井等措施来挖潜剩余油。研究成果为油田的效益开发提供了依据, 同时也为类似油藏的剩余油挖潜提供了方法参考。

## 关键词

文33断块, 沙二下亚段, 剩余油分布, 剩余油挖潜

## Distribution Characteristics of Residual Oil in the Lower Member of Es<sub>2</sub> of W33 Fault Block and Suggestions for Tapping Potential

Yuefeng Li<sup>1</sup>, Bobo Luo<sup>2</sup>, Zhe Guo<sup>1</sup>, Nanxin Yin<sup>1</sup>, Yang Lyu<sup>1</sup>, Zhuhao Mao<sup>1</sup>

<sup>1</sup>School of Petroleum Engineering, Chongqing University of Science & Technology, Chongqing

<sup>2</sup>Exploration and Development Research Institute, Zhongyuan Oilfield Branch Company, SINOPEC, Puyang Henan

Received: May 2<sup>nd</sup>, 2024; accepted: Jun. 18<sup>th</sup>, 2024; published: Jun. 26<sup>th</sup>, 2024

文章引用: 李月凤, 罗波波, 郭喆, 楠鑫, 吕洋, 毛柱毫. 文33断块沙二下亚段剩余油分布规律及主控因素分析[J]. 地球科学前沿, 2024, 14(6): 766-773. DOI: 10.12677/ag.2024.146071

## Abstract

Analyzing the main controlling factors and distribution patterns of residual oil formation is a key measure to improve the degree of oilfield utilization and recovery, and can provide a basis for adjusting the development plan of the oilfield. Especially in the complex fault block reservoirs in the eastern part of China, these reservoirs have small and fragmented fault blocks, making it difficult to understand the geological characteristics of the reservoir. Long term water injection development has led to unclear understanding of the distribution relationship of remaining oil in the oilfield, making it difficult to tap potential. Based on this, the paper takes the lower sub section of Sha2 in Wen33 fault block of Wennan oilfield in Dongpu depression as the research object, comprehensively utilizes geological, logging, and production performance data of the study area, and on the basis of reservoir numerical simulation, characterizes the distribution pattern of remaining oil and reveals the mechanism of remaining oil enrichment. The results indicate that fault occlusion, microstructure control, litho logical pinching, and well network perfection are the main controlling factors for the formation of remaining oil in such reservoirs. New drilling and lateral drilling measures have been proposed to tap into the potential of different types of remaining oil. The research results provide a basis for the efficient development of oil fields, and also provide a method reference for tapping the remaining oil potential of similar reservoirs.

## Keywords

W33 Fault Block, the Lower Member of Es<sub>2</sub>, Remaining Oil Distribution, Remaining Oil Tapping Potential

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

剩余油分布及挖潜是当前我国绝大部分油田首要工作任务，尤其是我国东部的复杂断块油藏。因剩余油形成的控制因素不明确，剩余油分布规律认识，严重制约了油田的开发效果，导致油田采收率低、动用程度低。为此，论文以东濮凹陷文南油田文33断块沙二下亚段油藏为研究对象，综合利用研究区的地质、测井以及生产动态资料。在油藏数值模拟基础之上，通过剩余油富集规律的现象分析，进而揭示导致形成剩余油富集的地质主控因素，并针对不同类型的剩余油提出了针对性的挖潜措施，从而为油田的下一步效益开发提供依据，以期为这类油田的剩余油挖潜提供方法及技术参考。

## 2. 研究区概况

文33断块位于东濮凹陷中央隆起带文留构造南部。属文东断层和文70断层所夹持的断阶带，内部被北北东向的文140断层和文33断层分割成三个区带[1]。剖面上，整体形态为一向东倾斜的“楼梯”状；平面上，文33主块呈一明显宽缓的鼻状构造，对油气聚集起着十分重要的控制作用。构造总的趋势是东西分带、南北分块，西北高、东南低。主力油层沙河街组沙二下亚段为一套以水下分流河道砂体为主的浅水三角洲前缘沉积，由8个砂层组组成。发育水下分流河道、席状砂、远砂坝、席状砂等微相[2]。文33断块沙二下油藏为构造-岩性油藏，含油面积7.7 km<sup>2</sup>，油层埋深2520 m~3158 m，目前分沙二下1~3、

4~5、6~8 三套层系开发。标定采收率 33.33%，平均孔隙度 19.1%，平均渗透率  $91.2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，为一中孔、中渗透油藏。由于开发过程中强注强采致使主力层含水上升速度快，水淹严重，油藏层间和平面矛盾突出，油水关系复杂，不同类型的剩余油分布零散，分布规律认识不清，油田下一步开发调整缺乏依据。

### 3. 剩余油分布特征

油藏在投入开发之前，其处于一个相对平衡的系统。随着开发进程的推进，由于生产压差的作用，地下流体不停地采出，加之低级序断层、岩性边界、微型构造、沉积相、隔夹层等地质因素的综合作用。注水开发以后，由于储层非均质性的影响，油气的采出状况具有严重的不均一性，部分地区或层段驱替程度高、油气采出程度高，而其它地区驱替程度低、油气采出程度低，从而形成剩余油的分布。而我国绝大部分油田已经进入开发中后期，剩余油挖潜俨然成为各大油田当前的首要任务[3]。如东濮凹陷的文 33 断块沙二下油藏，多年的注水开发导致油藏地下流体分布认识不清楚，想要进一步提高油藏的采收率以及动用程度，需要明确油藏剩余油分布规律及影响剩余油分布的主要控制因素，从而有针对性的提出挖潜措施，改善油田的开发效果。

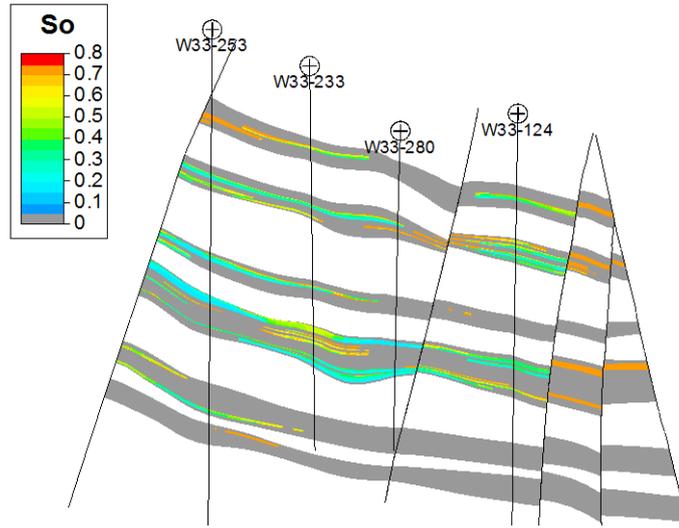
#### 3.1. 断层遮挡形成的剩余油

开发实践已证实，封闭性断层是开发过程中流体运动的边界。具体来说，断层延伸方向、多条断层之间的组合关系等制约了油水运动规律，进而影响了剩余油富集方式[4]。文 38 块沙二下亚段是典型的复杂断块油藏，油藏内发育北东南西向和近南北向两组断层共 22 条，断层性质均为正断层。整个构造因断层的切割变得破碎而复杂，加之不规则井网条件下，封闭性断层的遮挡，使得文 38 块沙二下亚段油藏内部流体分布认识不清楚，剩余油挖潜缺乏有效的地质依据。为此，论文在研究区沙二下段储层三维地质模型建立以后，通过油藏数值模拟手段，剖析了油藏的剩余油饱和度特征。如图 1(a)所示，该剖面为一北东南西向的过井剩余油剖面，在 W33-124 井东侧的两个小断块内，由于没有开发并钻遇。两个断块内油藏基本上处于一个基本未动用状态，剩余油饱和度在 75% 以上。这主要是由于工区断层均为封闭性正断层，断层交叉部位往往形成水动力滞留区而形成剩余油相对富集区。平面上，剩余油主要富集在研究区东部 3 条北东 - 南西走向的小断层与边界断层所挟持的小断块内，其中 W33-404 井所在的小断块，由于只有这一口生产井，没有其他采油井或者注水井，因封闭性断层的遮挡，断层北部的注水井注入水无法对该断块内的原油进行驱替，由此导致大剩余油富集在该断块内(图 1(b))。位于 W33-404 井南部的 2 个小段块以及 W133-35 井西部的小断块目前还没有部署生产井，以至于这些部位的剩余油富集程度高，今本上还处于未动用状态，是油田下一步开发调整的潜力目标区。

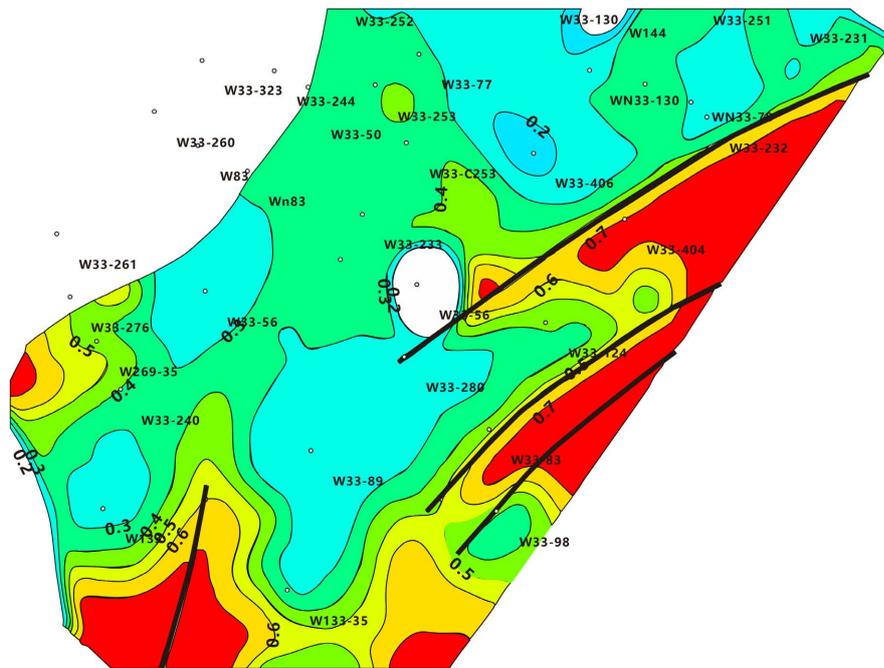
#### 3.2. 微构造控制的剩余油

所谓微构造，是指在油气藏构造背景上，储层本身由于重力和差异压实作用引起的局部细微起伏变化而显示的局部构造的总称。微构造的规模较小，幅度一般小于 10 m。微构造属于油藏的开发地质特征，在油田开发中后期，微构造对剩余油的分布具有重要的影响[5] [6]。微构造可分为正向构造和负向构造两类。文 33 断块发育的微构造主要有正向微构造(鼻状构造、小断鼻)，负向微构造(小沟槽、小断沟)。在分析微构造与剩余油分布和油井生产的关系时，特别强调砂体顶部和底部形态的组合模式，而不是简单地依据砂体顶部或底部形态分析对剩余油和油井生产的控制作用。砂体顶底组合形态一般包括顶底双凸、顶底双凹、顶平底凸、顶平底凹、顶凸底平、顶凸底凹、顶凹底平、顶凹底凸 8 种类型。研究区单砂体微构造形态主要发育顶底双凸型和顶底双凹两种类型。通常情况下顶底双凸型剩余油饱和度及剩余油储量丰度相对较高，油井生产状况良好、累计水油比低。图 2(a)中的 W144 井以及图 2(b)中的 W33-189 井、

W33-248 井以及 W33-194 井均处于负向微构造部位, 生产动态资料证实, 这些井普遍含水率较高, 累计水油比高, 累计产量低, 而位于正向微构造的 W33-222 井、W33-223 井、W33-231 井、W33-79 井、W33-150 井以及 W33-193 井含水率较低, 生产状况好。上述现象说, 负向构造位置的油井水驱效果好, 采收率高。正向构造位置的油井剩余油富集程度高。形成剩余油富集的主要原因是因为在油藏注水开发过程中, 油水重力分异原理, 油由于密度小往往向上运移, 而注入水由于自身重力作用优先向下驱替, 这就是的负向构造储层内的原油容易被驱替, 而正向构造内注入水无法向上驱替, 导致正向构造高部位往往会成为剩余油的富集区。

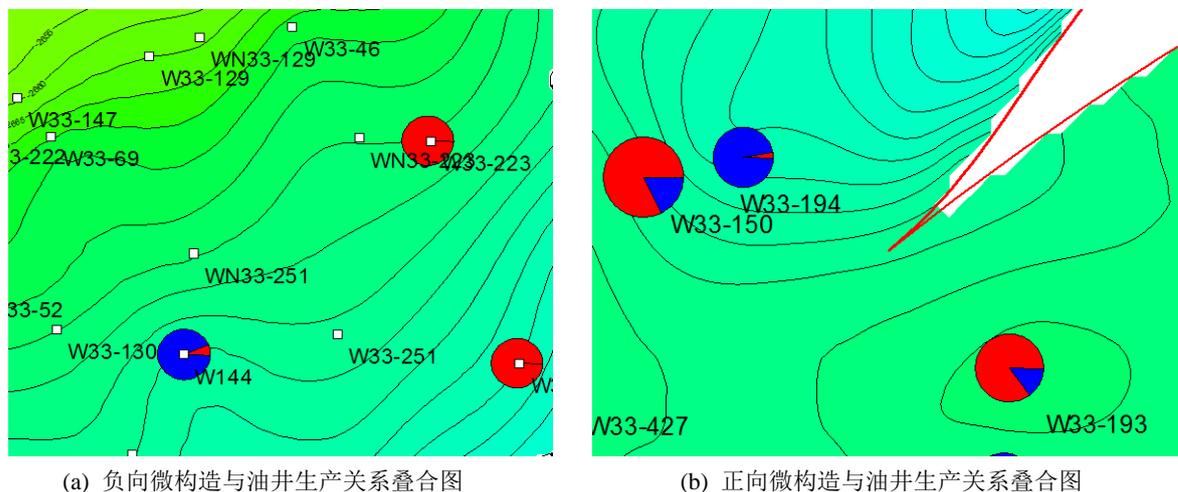


(a) 北东南西向剩余油饱和度剖面



(b) 断层遮挡形成的剩余油平面分布图

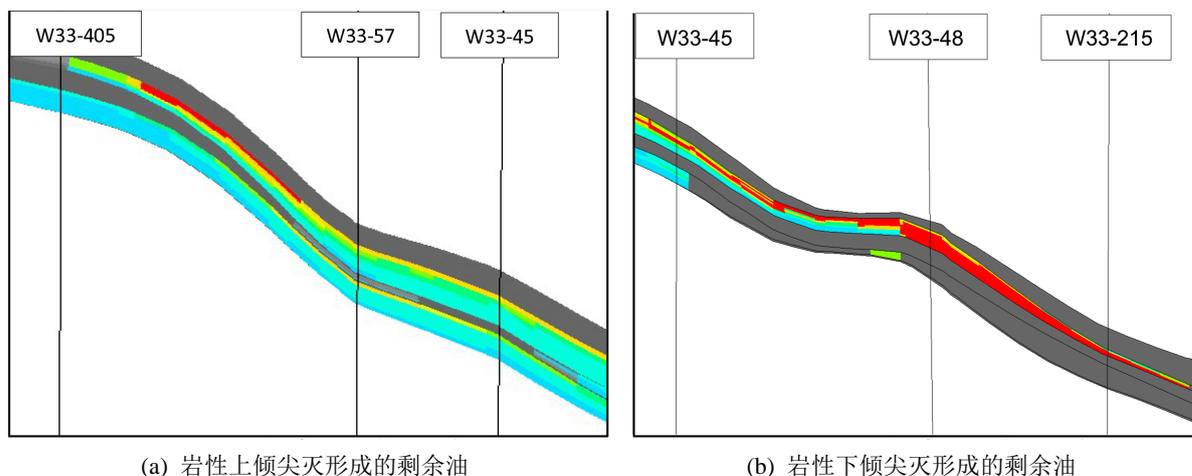
**Figure 1.** Wen 33 residual oil distribution formed by fault shielding of fault block  
**图 1.** 文 33 断块断层遮挡形成的剩余油分布



**Figure 2.** Distribution of remaining oil under the influence of microstructures  
**图 2.** 微构造影响下的剩余油分布

### 3.3. 岩性尖灭控制的剩余油

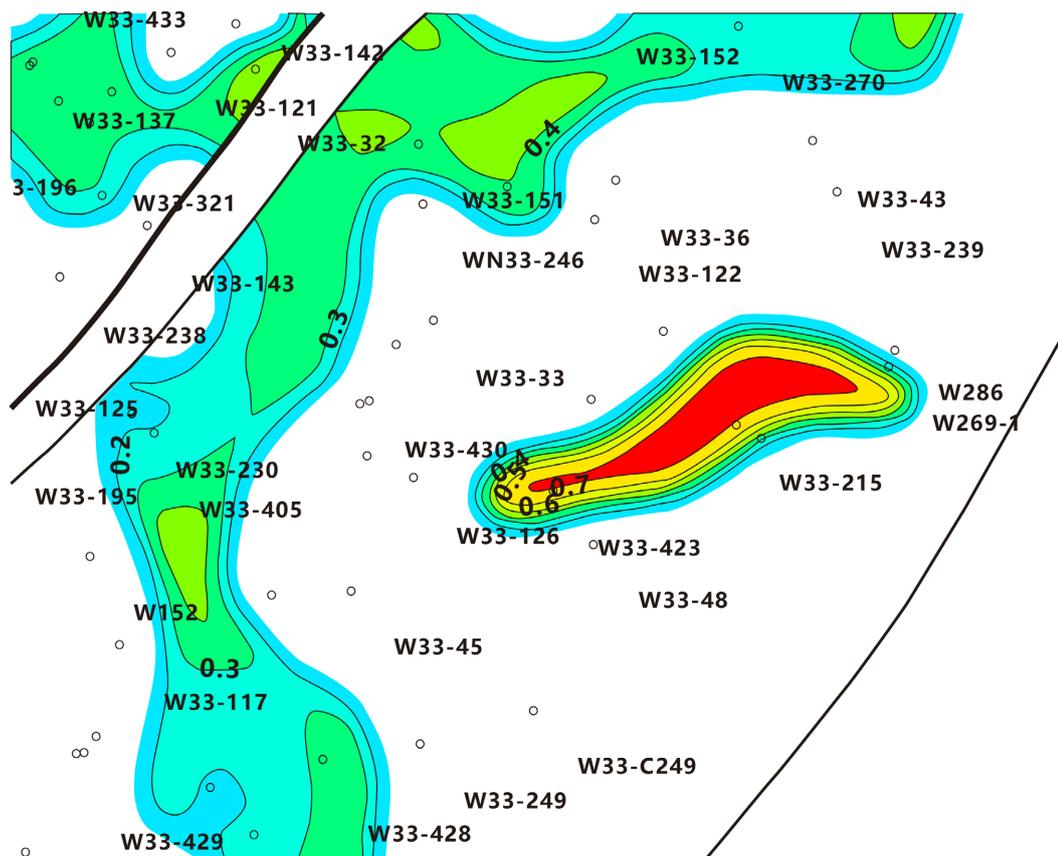
岩性边界控制的剩余油与封闭性断层控制的剩余油形成机理较为相似，均为流体运动边界形成的水动力滞留区，主要包括岩性上倾尖灭形成的剩余油和岩性下倾尖灭形成剩余油两种类型[7]。在文 33 断块油藏数值模拟基础之上，结合研究区内各生产井的生产动态数据的综合分析发现：往往在砂体边部尖灭部位剩余油饱和度较高。如图 3(a)所示，W33-57 井钻遇了 2 套厚层砂体，顶部砂体向 W33-405 井方向逐渐尖灭。W33-57 井的注入水由于重力作用向 W33-45 井进行驱替，从而使得 W33-45 井开发效果较好。而上倾砂体尖灭部位由于没有受到 W33-57 井注入水的影响，从而形成了剩余油富集区。如图 3(b)所示 W33-48 和 W33-215 井剩余油饱和度较高，这主要是由于 2 口井钻遇的砂体下倾尖灭，尖灭砂体外围被非渗透泥岩所包围，由此形成了水动力滞留区，注入水没有泄流通道，导致大量的剩余油富集于该部位。综合上述分析可知，岩性上倾尖灭，无论采油井还是注水井，在侧向上未形成有效泄流通道时，均在岩性界面的高部位形成剩余油相对富集区；岩性下倾尖灭则一般由岩性边界和较高部位的注水井形成的水动力封堵共同形成水动力滞留区，而导致剩余油相对富集。



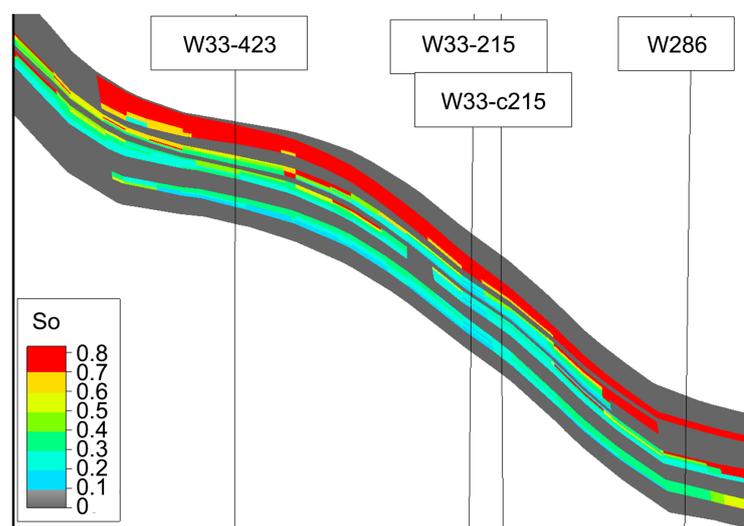
**Figure 3.** The remaining oil accumulation area formed by the lithologic pinching of fault block Wen 33  
**图 3.** 文 33 断块岩性尖灭形成的剩余油富集区

### 3.4. 注采井网控制不住形成的剩余油

复杂断块区存在三种注采不完善的情况：第一种是油水井井况恶化，破坏了原有的注采关系，采出程度低，形成剩余油；第二种是无法建立注采关系的小透镜砂体，形成剩余油，由于砂体规模较小，现有井网控制程度低，无法动用的孤立砂体内部有大量的剩余油富集[8]；第三种是局部注采不完善，有的只有注水井而没有采油井，有的只有采油井而没有注水井，靠天然能量采出少部分，造成油层基本未动用，形成剩余油。开发井网配置是控制剩余油分布的外因，通常与开发地质因素联合作用形成剩余油富集区，主要包括层系组合、井网布置、射孔位置、注采强度等。厚油层内部细分韵律层后，砂体对比连通关系有了较大变化，井网布置和注采对应程度(射孔位置)等成为影响剩余油分布的主要开发因素。这部分剩余油主要在条带状水下分流河道砂体边部和孤立分布的席状砂体内部，这类砂体分布零散，由于隔夹层的遮挡作用，往往形成完整的未动用或动用程度很低的剩余油。如图 4(a)所示，W33-215 井钻遇的孤立砂体，该砂体整体呈北东南西向条带状展布。而北东部位的 W268 采油井和西南部位的 W33-423 采油井均钻遇在该孤立砂体尖灭处，井距较大。由于该孤立的条状砂体与其他砂体不连通，且又没有与周围邻近形成对应的注采关系从而导致该砂体的井控程度低、注采井网不完善。油藏数值模拟显示该砂体内剩余油饱和度超过了 80%，是典型的剩余油富集区。如图 4(b)为过 W33-423 井~W33-215 井~W286 井的剩余油饱和度剖面图，模拟结果显示，三口井顶部的砂体向两侧尖灭，由于没有注水井形成注采井网，三口井钻遇顶部的孤立砂体剩余油饱和度均超过了 80%，这一现象进一步说明，注采井网不完善的孤立砂体是油田下一步剩余油挖潜的重要目标。



(a) 孤立条带状砂体形成的平面剩余油



(b) 孤立条带状砂体形成的剖面剩余油

Figure 4. Uncontrolled remaining oil in the well pattern

图 4. 井网未控制住的剩余油

## 4. 剩余油挖潜措施及效果

### 4.1. 剩余油挖潜措施建议

基于 W33 断开沙二下亚段油藏的剩余油分布规律及主控因素，提出了相应的挖潜措施。断层遮挡型剩余油：在长期的注水开发过程中，由于封闭性断层的遮挡，注入水无泄流通道，在断层边部形成局部滞留区，造成大量的剩余油富集。需采取新钻井、侧钻井进行挖潜。微构造控制的剩余油：这种类型剩余油往往储层发育，砂体分布稳定，可通过新钻井或者侧钻井进行挖潜。砂体尖灭形成的剩余油：在这些含油砂体的尖灭区，难以形成有效的注采对应关系，无注入水的外泄通道，水洗程度低，易形成剩余油滞留区。可采用侧钻或者加密井网来提供剩余油的开发效果。注采不完善造成的剩余油：可通过加密完善井网来提高这类剩余油动用程度。

### 4.2. 剩余油挖潜效果

针对剩余油分布特征，后期部署在构造高部位 1 口、新井钻遇沙二下 2~4 砂组油层 12.6 米，7 层，低级别水淹层 10.7 米，6 层，初期日产液 15.7 t，日产油 11.6 t，含水 26.1%。新井钻遇效果进一步证实了研究成果的可靠性。也为油田下一步剩余油挖潜提供了直接证据。

## 5. 结论

在文 33 断块沙二下亚段油藏数值模拟的基础之上，明确了 4 种剩余油分布类型，即断层遮挡型剩余油、微构造控制型剩余油、岩性尖灭剩余油、井网不完善造成的剩余油。基于剩余油分布规律，明确了油藏下一步挖潜的有利目标。针对受断层、微构造、岩性边界影响，注入水未控制区形成的滞留型剩余油，可考虑采用径向钻井或侧向钻井方式进行井网加密开发，进而提高油藏的动用程度及挖潜效果。

## 基金项目

重庆市教育委员会科学技术研究项目(编号: KJQN202101546), 重庆科技大学研究生创新计划项目(项目批准号: YKJCX2320129)支助。

## 参考文献

- [1] 汪庆玲, 母丽雅, 田军, 等. 文 33 块沙二下西部复杂带构造研究[J]. 内蒙古石油化工, 2012, 38(24): 144-145.
- [2] 尹楠鑫, 罗波波, 向守洪, 等. 文南油田文 33 断块沙二下亚段储层构型建模研究[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2020, 22(4): 1-5+64.
- [3] 尹楠鑫, 徐怀民, 李明映, 等. 鄂尔多斯盆地五里湾油藏剩余油分布主控地质因素分析[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2014, 44(2): 256-263. <https://doi.org/10.16152/j.cnki.xdxbzr.2014.02.013>
- [4] 张岳. 港东一区复杂断块低级序断层识别及微构造精细解释[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国石油大学, 2020.
- [5] 谭龙. 孔店油田河流相砂岩油藏剩余油分布研究[D]: [硕士学位论文]. 东营: 中国石油大学(华东), 2016.
- [6] 罗贺元. 南翼山油田 A 油组储层微构造特征研究[J]. 地球科学前沿, 2021, 11(11): 1377-1386. <https://doi.org/10.12677/AG.2021.1111133>
- [7] 刘玉娟, 张静, 张倩萍, 等. 渤海 A 油田厚油层剩余油地质主控因素研究及应用[J]. 石油化工应用, 2021, 40(7): 79-83.
- [8] 董省委, 周振乾, 安继岭, 等. W13 东块剩余油分布与分类评价[J]. 科技视界, 2014(4): 298+304. <https://doi.org/10.19694/j.cnki.issn2095-2457.2014.04.235>