

# 萨尔图油田表外储层特征研究

李汝斌<sup>1</sup>, 沈 璐<sup>2</sup>, 王志强<sup>1</sup>, 邢宝荣<sup>1</sup>, 宋玉婷<sup>1</sup>, 吴佳忆<sup>1</sup>

<sup>1</sup>中国石油大庆油田有限责任公司勘探开发研究院, 黑龙江 大庆

<sup>2</sup>中国石油大庆油田有限责任公司试油试采分公司, 黑龙江 大庆

收稿日期: 2026年4月9日; 录用日期: 2026年5月17日; 发布日期: 2026年5月29日

## 摘 要

萨尔图油田表外储层是大庆长垣重要的潜力储量类型, 表外储层以泥质粉砂岩为主, 油层薄、颗粒细, 平均孔隙度24.1%, 空气渗透率平均 $43.79 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 属中孔、特低渗~低渗透储层, 含油饱和度30%~50%。平面分为决口泛滥型、局部变差型等5类, 不同类型非均质性强、动用差异显著。渐变型连通性好, 水驱动用程度40%~60%, 化学驱后提升至60%~70%; 独立型夹层阻隔、连通差, 水驱动用不足10%。与表内砂体连通性、物性、沉积相带及开发方式是控制动用程度的核心因素, 化学驱可显著改善动用效果。研究成果可为萨尔图油田表外储层水驱与化学驱高效开发提供地质依据。

## 关键词

表外储层, 萨尔图油田, 低渗透储层, 储层特征, 非均质性

# Study on the Characteristics of Off-Surface Reservoirs in Saertu Oilfield

Rubin Li<sup>1</sup>, Jun Shen<sup>2</sup>, Zhiqiang Wang<sup>1</sup>, Baorong Xing<sup>1</sup>, Yuting Song<sup>1</sup>, Jiayi Wu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Exploration and Development Research Institute of PetroChina Daqing Oilfield Co., Ltd., Daqing Heilongjiang

<sup>2</sup>Well Testing and Perforating Services Sub-Company of PetroChina Daqing Oilfield Co., Ltd., Daqing Heilongjiang

Received: April 9, 2026; accepted: May 17, 2026; published: May 29, 2026

## Abstract

Off-surface reservoirs in the Sartu Oilfield represent an important potential reserve type in the Daqing Placanticline. Dominated by argillaceous siltstone, these reservoirs are characterized by thin oil layers and fine grains, with an average porosity of 24.1% and an average air permeability of  $43.79 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , classifying them as medium-porosity, extra-low to low-permeability reservoirs. Their oil saturation ranges from 30% to 50%. Laterally, they are divided into five types, including

crevasse-flooding type and local deterioration type, which feature strong heterogeneity and significant differences in development performance across types. The gradational type exhibits good connectivity, with a waterflooding recovery degree of 40%~60%, which is enhanced to 60%~70% after chemical flooding. In contrast, the isolated type is characterized by interlayer barrier and poor connectivity, resulting in a waterflooding recovery degree of less than 10%. Connectivity with in-balance-sheet sand bodies, physical properties, sedimentary facies belts, and development modes serve as core factors controlling recovery degree, and chemical flooding can considerably improve development efficiency. The research results provide a geological basis for the efficient waterflooding and chemical flooding development of off-surface reservoirs in the Saertu Oilfield.

## Keywords

Off-Surface Reservoirs, Sartu Oilfield, Low-Permeability Reservoirs, Reservoir Characteristics, Heterogeneity

Copyright © 2026 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. 前言

表外储层是指 1985 年未划入储量表内, 含油产状以油浸和油斑为主的泥质粉砂岩, 并有少量厚度小于 0.2 m 油砂、含油和粉砂油浸的储层。油层薄、颗粒细、平均孔隙度在 20%左右, 空气渗透率小于  $20 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 平均  $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 含油饱和度在 30%~50%左右[1]。从沉积空间分布来看, 表外储层与表内砂岩储层属于连续沉积形成的统一地质体, 可视为砂岩储层在空间上的自然延伸。垂向上表外储层多发育在砂岩储层的顶部、底部、边缘及内部物性变差部位, 常起到扩大含油范围与含油体系的作用; 平面上则主要集中在三角洲分流平原、内前缘与外前缘相带, 仅少量发育于泛滥平原沉积环境。该类储层具有水动力条件较弱、物源供给稳定性差、砂体厚度偏薄、空间展布规模差异显著等典型沉积特点[2]。

## 2. 表外储层地质特征

### 2.1. 储层类型划分

依据表外储层与表内砂岩储层之间有无夹层把表外层划分为独立型和渐变型(扩边型)表外。渐变型表外与表内层无夹层或夹层厚度  $\leq 0.4 \text{ m}$ , 二者呈岩性渐变过渡态, 连通性较好, 是目前动用程度最高的表外储层类型。渐变型表外储层可作为射孔层位随表内层一起开发, 水驱开发时, 表内砂体的驱替压力可有效传递至表外储层, 克服其启动压力梯度, 实现流体流动; 在化学驱开发条件下, 化学剂可随驱替流体进入表外储层, 有效提高洗油效率, 进一步提升动用程度[3]。目前研究区渐变型表外储层的水驱动用程度可达 40%~60%, 化学驱后动用程度可提升至 60%~70%, 具有较好的开发潜力。

独立型表外与表内砂体之间有  $\geq 0.4 \text{ m}$  的泥质夹层, 二者连通性差, 驱替压力难以传递, 是研究区动用程度最低的表外储层类型。一类独立表外储层为薄层状、条带状砂体, 物性略优于二类独立, 但因与表内砂体隔绝, 水驱开发时注水难以波及, 仅少数靠近注水井的区域可实现微弱动用; 二类独立表外储层形成于水动力不稳定的沉积环境, 内部发育滑塌构造和不规则块状层理, 以斑块状、透镜状为主(图 1), 物性及沉积特征最差, 孔隙结构非均质性极强, 渗流阻力大, 即使在较高的驱替压力下, 流体也难以流动, 目前几乎处于未开发状态[4]。整体来看, 研究区独立型表外储层水驱动用程度不足 10%, 且无有效

的独立开发技术手段。

## 2.2. 物性特征

渗透率决定储层内油气的产能，孔隙度可以决定储集层储存油气的数量，其微观孔隙结构是控制储层物性与渗流能力的核心因素[5]。根据研究区内 17 口密闭取心资料分析，空气渗透率分布在  $1\sim 499 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  之间(图 2)，平均值为  $43.79 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。按照不同渗透率的分类等级规律划分，独立表外储层中特低渗样品数量占 51.5%，低渗样品数量占 31.4%，中渗样品数量占比 15.3%，高渗样品数量占比 1.7%；渐变表外储层中的特低渗样品数量占 37.4%，低渗样品数量占 31.6%，中渗样品数量占比 25.9%，高渗样品数量占比 5.1%。

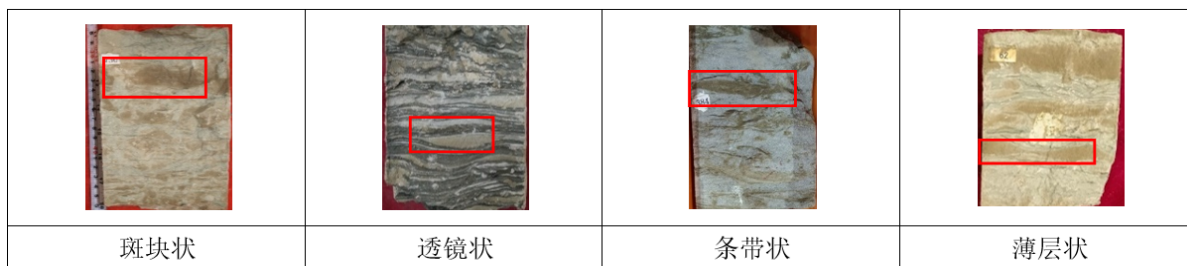


Figure 1. Oil-bearing occurrences of cores in different types of sub-marginal reservoirs

图 1. 不同类型表外的岩心含油产状

对 6157 个样本的孔隙度进行统计发现：孔隙度分布在 7.6%~32.8%之间(图 3)，平均为 24.1%。独立表外储层砂岩的特低孔样品占 0.1%，低孔占 0.8%，中孔占 62.6%，高孔占 35.3%，特高孔占 1.3%；渐变表外储层中特低孔样品占 0.1%，低孔占 0.6%，中孔占 54.1%，高孔占 40.7%，特高孔占 4.4%。按照碎屑岩储层物性分级标准，研究区表外储层为中孔、特低渗~低渗透储层[6]。

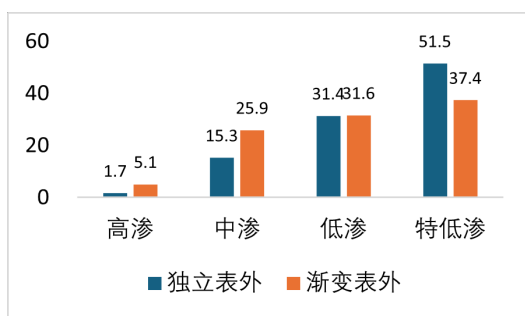


Figure 2. Permeability distribution map

图 2. 渗透率分布图

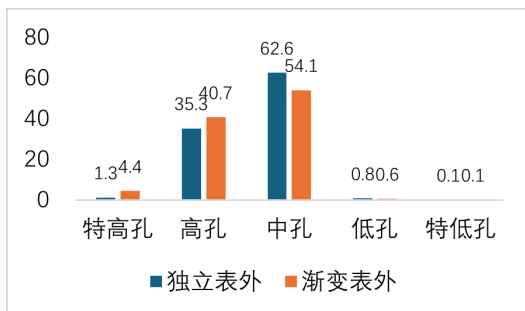


Figure 3. Porosity distribution map

图 3. 孔隙度分布图

## 2.3. 微观空隙特征

萨尔图油田表外储层为中孔、特低渗~低渗透储层，其微观孔隙结构是控制储层物性与渗流能力的核心因素，通过对密闭取心样品的铸体薄片、压汞实验分析，研究区表外储层孔隙类型以原生粒间孔为主，次为粒间溶蚀孔，少量微孔及晶间孔，孔隙整体呈现“孔径小、喉道细、孔隙结构非均质性强”的特征。

原生粒间孔是储层的主要储集空间，孔径主要分布在 20~50  $\mu\text{m}$ ，占总孔隙体积的 60%~70%，但由于泥质填隙物含量较高(平均 15%~25%)，部分粒间孔被泥质充填，有效孔隙空间减少；粒间溶蚀孔主要为长石、岩屑颗粒边缘溶蚀形成，孔径 5~20  $\mu\text{m}$ ，占总孔隙体积的 20%~30%，是改善储层渗透性的重要孔隙类型，其发育程度直接影响储层的渗流能力；微孔及晶间孔孔径小于 5  $\mu\text{m}$ ，占比不足 10%，储集能力弱，且无有效喉道连通，对产能无贡献。

## 3. 表外储层平面分布特征

### 3.1. 平面类型与沉积特征

通过对储层的精细地质解剖——垂向上细分单元、平面上细分沉积微相。以岩心、测井定单井相、等时对比连剖面、砂岩有效厚度、按浅水三角洲模式勾平面、密井网约束边界，遵循沉积水动力规律刻画沉积相带图。不同平面类型的表外储层对应不同的沉积成因与相带位置，经过平面组合后，按照分布形态及规模大小，将表外储层分为 5 种类型：决口泛滥型、局部变差型、充填连片型、稳定砂席型、和零散透镜型 5 种类型[7]。具体沉积特征与相带对应关系如表 1 所示：

Table 1. Five classification criteria for off-reservoir types

表 1. 表外储层 5 种类型划分标准

| 表外储层平面类型 | 主要沉积相带            | 沉积成因                        | 砂体展布特征                     |
|----------|-------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 决口泛滥型    | 泛滥平原、分流平原         | 河道决口后弱水动力漫溢沉积，砂体随水流扩散       | 片状、条带状薄层砂，面积小、分布零散，呈镶边/搭桥状 |
| 局部变差型    | 三角洲内前缘            | 大面积席状砂受水动力减弱、泥质混入影响，局部物性变差  | 土豆状、小条带状，被表内砂包围，规模小且孤立     |
| 充填连片型    | 三角洲内前缘远端          | 弱水动力下薄层砂充填于表内砂体间隙，物源供给较稳定   | 面积较大，形态/方向复杂，与表内砂相间连片分布    |
| 稳定砂席型    | 三角洲外前缘            | 河口坝远端弱水动力席状化沉积，物源供给稳定且水动力均一 | 大面积连续薄层席状砂，展布稳定，为表外砂主体     |
| 零散透镜型    | 泥岩区(三角洲前缘间湾、泛滥平原) | 洪水/风暴浪短暂改造，砂体快速堆积后被泥岩包围     | 透镜状、土豆状，相互孤立，表内储层不发育       |

#### 1) 决口泛滥型

该类砂体多发育于表内砂体边缘或起连通作用的薄层砂体，整体呈片状、条带状产出，分布范围有限且展布零散，主要对表内砂体起到边缘镶边、井间搭桥的作用。形成于泛滥平原与分流平原沉积背景，由河道决口后弱动力漫溢沉积而成，砂体沿水流方向逐渐扩散(图 4)。

#### 2) 局部变差型

发育于大规模表内席状砂内部物性变差区段，以孤立土豆状、窄条带状产出，平面规模较小，整体被表内砂体包裹；该类型主要集中在三角洲内前缘沉积区域(图 5)。

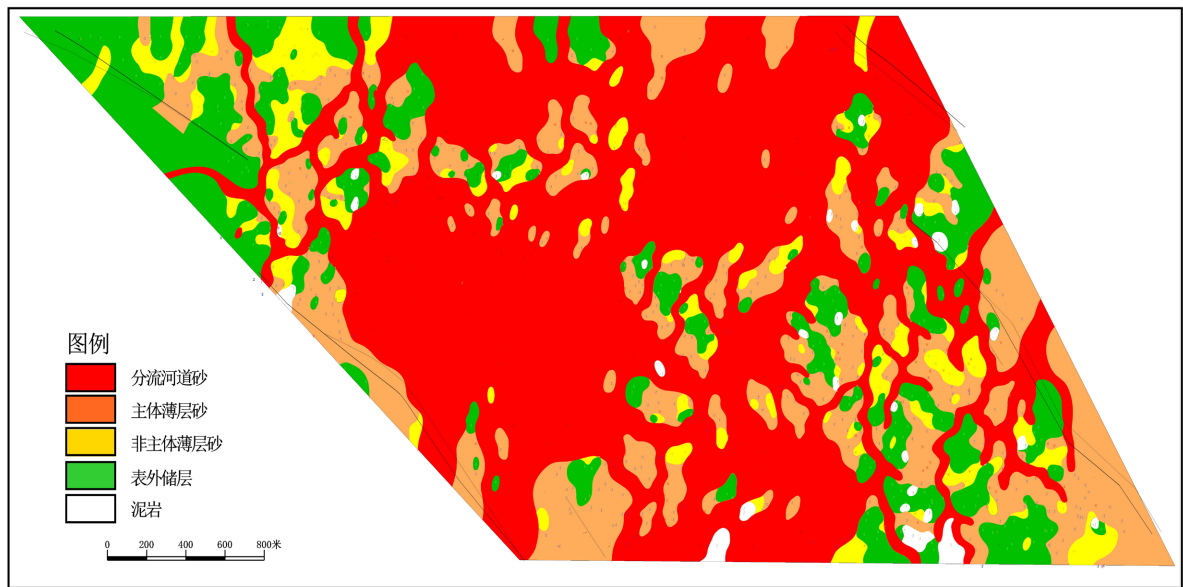


Figure 4. Sedimentary facies map of P15 unit, block A, Central Sa Oilfield  
图 4. 萨中油田 A 区块 P15 单元沉积相带图

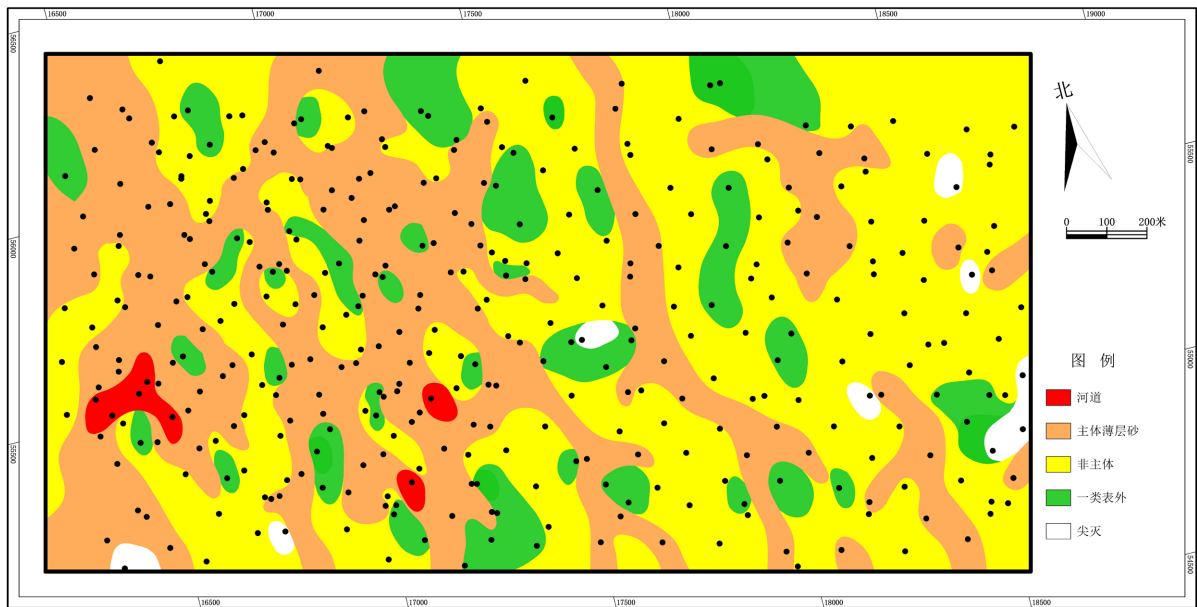


Figure 5. Sedimentary facies map of GII10 unit, block A, Central Sa Oilfield  
图 5. 萨中油田 A 区块 GII10 单元沉积相带图

### 3) 充填连片型

以大面积薄层席状砂形态充填于表内砂体间隙，使分散砂体横向连片，整体展布面积较大，形态与延伸方向复杂，受表内砂体空间展布控制，与表内砂体呈带状、片状互层分布[8]；主要发育在三角洲内前缘远端位置(图 6)。

### 4) 稳定砂席型

形成于弱动力、物源供给稳定、水动力条件均一的沉积环境，以表外席状砂为主体，呈大面积、稳定连片分布的薄层砂体；主要发育于三角洲外前缘沉积带(图 7)。

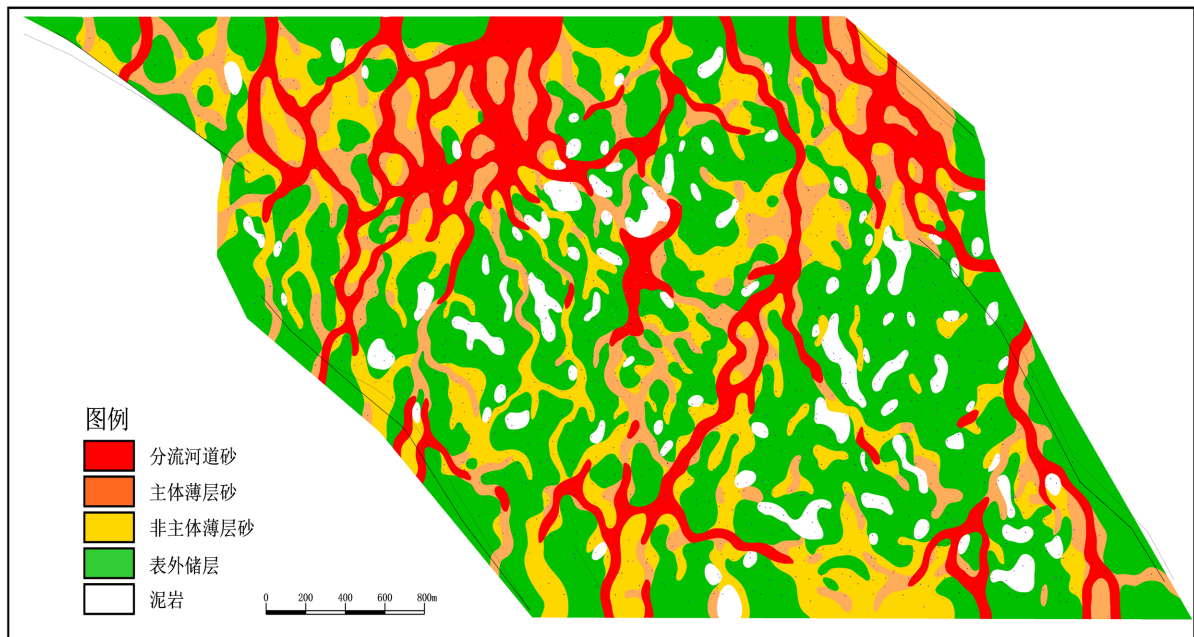


Figure 6. Sedimentary facies map of SIII4 unit, block A, Central Sa Oilfield

图 6. 萨中油田 A 区块 SIII4 单元沉积相带图

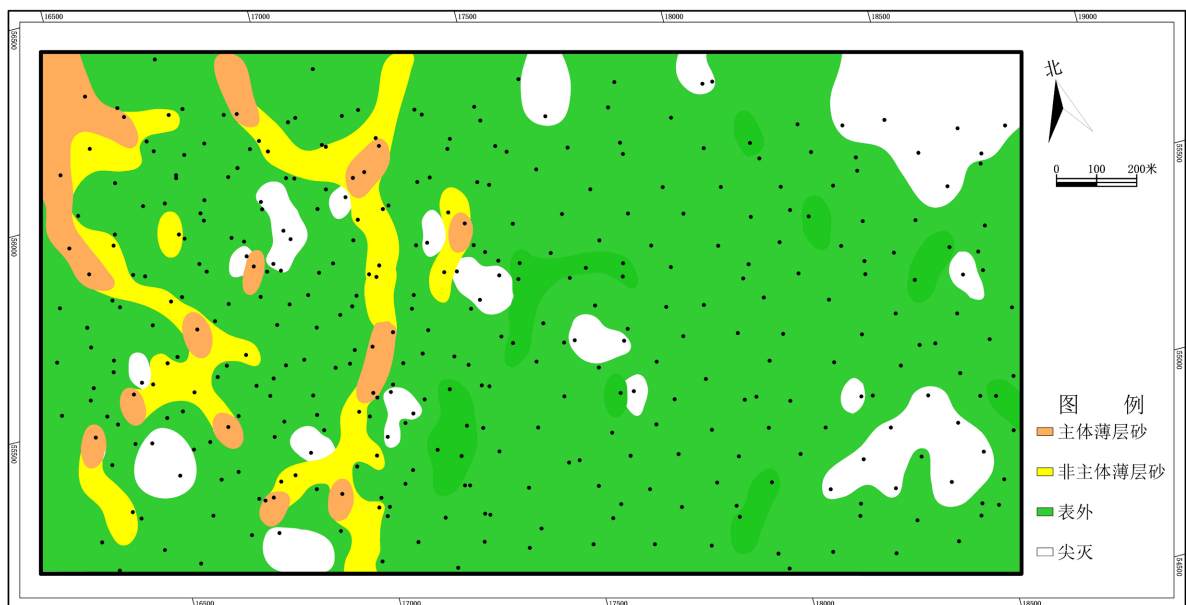


Figure 7. Sedimentary facies map of GII7 unit, block A, Central Sa Oilfield

图 7. 萨中油田 A 区块 GII7 单元沉积相带图

### 5) 零散透镜型

赋存于泥岩背景中，以孤立透镜体、土豆状、小片状、窄条带状零散分布，单砂体规模小、展布离散，表内储层基本不发育；由洪水期或风暴期波浪改造沉积形成，砂体延伸无显著方向性(图 8)。

## 3.2. 钻遇率与动用程度关系

储层钻遇率是表征表外储层平面发育程度与井网控制能力的关键指标，直接反映砂体展布规模与连

续性，进而控制储量动用潜力。不同类型表外储层因沉积成因、砂体形态与分布范围差异，钻遇率呈现明显分异，与动用程度呈显著正相关。为量化表征钻遇率与动用程度的对应关系，对研究区不同类型表外储层钻遇率进行统计，见表 2：

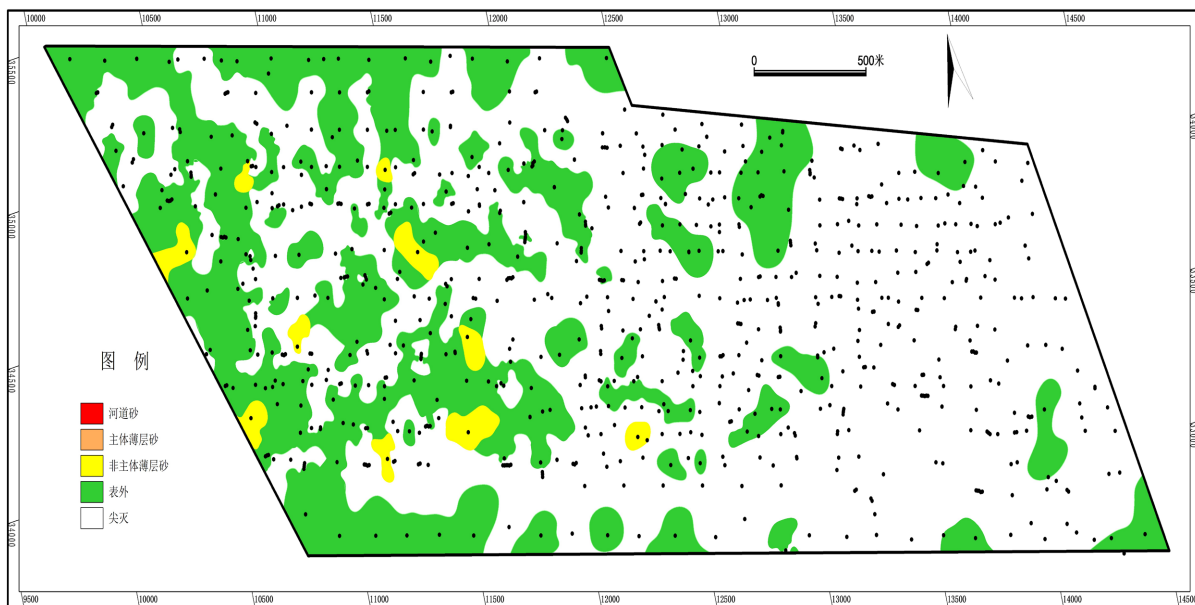


Figure 8. Sedimentary Facies Map of G18 unit, block A, Central Sa Oilfield

图 8. 萨中油田 A 区块 G18 单元沉积相带图

Table 2. Drilling encounter rate and producing degree of different types of off-surface reservoirs in Sartu Oilfield

表 2. 萨尔图油田不同类型表外储层钻遇率与动用程度统计

| 表外类型  | 河道       | 主体席状砂    | 非主体席状砂    | 表外        |
|-------|----------|----------|-----------|-----------|
| 决口泛滥型 | 9.5~35.4 | 6.2~30.7 | 3.5~27.8  | 3.7~37.5  |
| 局部变差型 | 0.5~27.5 | 9.3~65.4 | 3.1~48.9  | 0.3~37.4  |
| 充填连片型 | 0.8~15.3 | 9.9~32.8 | 12.1~37.9 | 24.5~59.9 |
| 稳定砂席型 | 0~2.5    | 0.3~20.2 | 1.8~28.6  | 48.3~85.5 |
| 零散透镜型 |          |          | 0.1       | 11.7      |

可见钻遇率越高，砂体连续性越好、与表内砂体连通越稳定，动用程度越高；钻遇率低则砂体孤立分散、渗流路径不畅，难以有效驱替动用。钻遇率可作为快速判断表外储层动用潜力的关键指标，其高低直接受控于砂体发育规模、连续性以及与表内砂体的连通状况，进而从平面展布角度控制表外储层整体动用效果。

#### 4. 表外储层动用的主要影响因素

影响表外储层动用程度的核心因素可分为地质因素和开发因素两大类，其中地质因素是基础，决定了储层的可动用性，开发因素是关键，影响了储层动用的实际效果[9]：

- 1) 地质因素：与表内砂体的连通性是最核心的地质因素，连通性越好，动用程度越高；其次为储层

物性(渗透率、孔隙结构)、砂体展布形态,渗透率越高、砂体展布越稳定,越有利于流体渗流和驱替流体波及;此外,沉积相带位置也间接影响储层动用,三角洲外前缘的稳定砂席型表外储层物性更均匀,动用潜力优于其他相带的储层。

2) 开发因素:开发方式直接影响表外储层动用效果,化学驱对表外储层的动用提升效果显著优于水驱,这与化学剂降低油水界面张力、改善流度比的作用相关;注采参数(注水井压力、注采井距)也影响储层动用,较高的注水井压力可有效克服表外储层的启动压力梯度,缩小注采井距可提高水驱波及效率,均有利于提升表外储层动用程度。

## 5. 结论

1、表外储层可按与表内砂体的夹层厚度分为独立型和渐变型,细分为四类亚型;平面上可分为决口泛滥型、局部变差型、充填连片型、稳定砂席型、零散透镜型 5 种类型,不同类型储层的沉积相带、砂体展布、物性特征具有明显分异性,其中稳定砂席型、充填连片型储层展布规模大,物性相对均匀。

2、表外储层依附于三角洲沉积体系,主要发育于分流平原、内前缘、外前缘相带,沉积动力条件弱,砂体形成与河道漫溢、席状化、决口扇堆积等弱水动力事件相关,岩性组合以单层薄砂体为主。

3、不同类型表外储层动用程度差异显著,渐变型表外储层与表内砂体连通性好,动用程度可达 40%~60%,化学驱后可进一步提升;独立型表外储层与表内砂体隔绝,动用程度不足 10%,连通性、物性、砂体展布是影响储层动用的核心地质因素。

## 基金项目

国家科技重大专项“整装特高含水油藏提高采收率技术与集成示范”(2025ZD1407000)课题《三类油层弱碱复合驱提高采收率技术与示范》(2025ZD1407004)。

## 参考文献

- [1] 赵永胜, 兰玉波, 邵军, 等. 喇萨杏油田表外储层动用机制分析[J]. 大庆石油地质与开发, 2001, 20(3): 31-33.
- [2] 于兴河, 李胜利, 李顺利. 三角洲沉积的结构——成因分类与编图方法[J]. 沉积学报, 2013, 31(5): 782-797.
- [3] 张晓芹. 三类油层分期化学驱开采实验与应用[J]. 油气地质与采收率, 2022, 29(3): 137-145.
- [4] 崔悦, 石京平. 大庆油田表外储层渗流特征实验[J]. 大庆石油地质与开发, 2017, 36(2): 69-72.
- [5] 纪友亮. 油气储层地质学[M]. 北京: 中国石油大学出版社, 2009.
- [6] 王军杰, 卢双舫, 林子智, 等. 致密砂砾岩成储界限及分级评价标准——以松辽盆地徐家围子断陷白垩系沙河子组为例[J]. 石油实验地质, 2024, 46(3): 553-564.
- [7] 刘丽园, 丛琳, 李欣欣, 等. 大庆长垣表外储层分类评价[J]. 矿产勘查, 2019, 10(8): 1980-1985.
- [8] 杨会东, 刘晨旭, 王阳, 等. 大庆长垣油田三角洲前缘小地质体的精细刻画及高效挖潜方式[J]. 大庆石油地质与开发, 2025, 44(5): 162-170.
- [9] 王军磊, 周明旺, 罗二辉, 等. 低渗透油藏七点井网的有效动用程度[J]. 东北石油大学学报, 2013, 37(1): 79-84.