

# The Low-Permeability Reservoir Properties of Lower Submember of Member 2 of Shahejie Formation in the Third Area of Shanghe Oilfield in Huimin Depression

Zhijun Yang

Linpan Oil Production Plant of Shengli Oilfield, SINOPEC, Linyi Shandong  
Email: yangzhijun819.slyt@sinopec.com

Received: Dec. 14<sup>th</sup>, 2016; accepted: Jan. 28<sup>th</sup>, 2017; published: Apr. 15<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

Because there existed many blocks in the 3<sup>rd</sup> Area of Shanghe Oilfield, the shape of sand body was complex in  $Es_2^L$ . It belonged to a low permeability reservoir, where basic geologic study was less. By taking the sublayer as study unit, on the basis of the detailed study of sedimentary facies, fully applying the data of cores, well logging, geologic logs and chemical analysis, the reservoir characteristics of petrology, pore structures, physical property, heterogeneity, sensitivity and fractures in  $Es_2^L$  were researched in detail, and then the reservoir was evaluated comprehensively. The study showed that the rock types were dominated by lithic quartz coarse siltstone-fine sandstone; its compositional maturity was medium and the textural maturity was low; the major types of pore were intergranular pore and intergranular dissolved pore; and the pore throat radius was small; the reservoir sensitivity was weak; inner layer and areal heterogeneity was stronger; and inter-layer heterogeneity was weak. Based on the distribution of sedimentary microfacies and the data of the porosity and permeability, three types of reservoirs in the area were classified and evaluated. Physical property of Type I is the best, in which mouth bar is generally developed. Physical property of Type II is better than that of Type I, which is dominated by the distal bar and mouth bar is the next. Physical property of Type III is the poorest, which is dominated by the interbranch channel. The Type I and Type II are the major reservoirs among them, and they are mainly distributed in the sand group 1 + 2 and 3.

## Keywords

$Es_2^L$ , Low Permeability Reservoir, Reservoir Characteristics, Reservoir Evaluation

---

# 惠民凹陷商河油田商三区沙二下低渗透储层特征

杨志军

中国石化胜利油田分公司临盘采油厂, 山东 临邑

作者简介: 杨志军(1966-), 男, 高级工程师, 现主要从事石油地质勘探工作。

Email: yangzhijun819.slyt@sinopec.com

收稿日期: 2016年12月14日; 录用日期: 2017年1月28日; 发布日期: 2017年4月15日

## 摘要

惠民凹陷商河油田商三区断块较多, 沙河街组二段下亚段( $E_{s2}^1$ )砂体形态复杂, 属于低渗透储层, 基础地质研究薄弱。以小层为研究单元, 在开展沉积相精细研究的基础上, 充分利用岩心、测井、录井、化验分析等资料, 对  $E_{s2}^1$  储层的岩石学、孔隙结构、物性、非均质性、敏感性和裂缝等特征进行了详细研究及储层综合评价。研究表明, 商三区  $E_{s2}^1$  属于中孔、低渗-特低渗储层; 储层岩石类型以岩屑质石英粗粉-细砂岩为主, 成分成熟度中等, 结构成熟度较低; 储集空间以粒间孔、粒间溶孔为主, 孔喉半径较小; 具有弱敏感性; 层内和平面上具有较强的非均质性, 层间非均质性较弱。以沉积微相分布和孔、渗数据为评价依据, 对商三区  $E_{s2}^1$  储层进行分类和评价: I类储层物性最好, 以河口砂坝为主; II类储层物性较好, 主要以远砂坝为主, 河口砂坝次之; III类储层物性最差, 以发育支流间湾为主。其中I类和II类储层为主力层, 主要分布在1+2砂组和3砂组。

## 关键词

沙河街组二段下亚段, 低渗透储层, 储层特征, 储层评价

Copyright © 2017 by author, Yangtze University and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

## 1. 引言

随着我国油气勘探开发程度的不断提高, 中-高渗透储层的石油地质储量和产量逐年减少, 低渗透储层的石油地质储量和产量所占比重越来越大, 国内外研究热点也由油气勘探转为对低渗透储层的研究, 挖掘低渗透储层生产潜力, 并取得了较大进步[1]。如在低渗透储层评定标准[2] [3]、类型[4]、成因机理[5]、储层特征参数研究[6]、储层评价[7] [8]及储层模拟[9]等方面已经获得了一定的成果和认识。但是由于在动用的低渗透储层中不同油区产能差异较大, 给决策投资带来一定的不确定性[10] [11], 因此必须对低渗透储层进行更精确的特征研究并进行评价。

商河油田历经 30 余年的勘探开发, 开展了一系列地质研究, 取得了一批研究成果[12] [13] [14] [15]。目前的开发和研究成果表明, 商三区主力含油层系沙河街组二段下亚段( $E_{s2}^1$ )油层埋深 2250~2480 m, 属

常规低渗透油藏。主要为三角洲沉积，储集砂体类型主要为河口砂坝和远砂坝，砂体形态复杂、储层非均质性较强。由于开发过程中受断块小、单层储量较少等条件的制约，层间、层内矛盾不断突出，开发难度不断加大。针对该问题，在小层沉积相精细研究的基础上，充分利用岩心、测井、录井、化验分析及试验测试等资料，对  $Es_2^L$  储层岩性、孔隙结构、非均质性等方面特征进行详细研究，并结合沉积微相、孔隙度、渗透率等参数对储层进行评价和分类。

## 2. 沉积特征

商三区  $Es_2^L$  为一套砂泥互层的陆源碎屑沉积。根据岩心观察， $Es_2^L$  砂岩中最为发育的沉积构造有平行层理、小型槽状交错层理和爬升波纹层理，准同生变形构造较为发育，包括砂枕构造、球枕构造、负载构造以及滑塌构造，底部常见冲刷构造。古生物化石主要是炭化植物碎屑，含有少量介形虫化石；自生矿物较少，主要为黄铁矿和菱铁矿结核。

通过小层精细划分与对比，可将商三区  $Es_2^L$  划分为 3 个砂组 39 个小层(1 + 2 砂组共 10 个小层、3 砂组共 12 个小层、4 砂组共 17 个小层)。综合研究  $Es_2^L$  取心井岩心、测井、录井及化验等资料，并结合区域地质背景，认为商三区  $Es_2^L$  有 2 种沉积相类型，即三角洲相和湖泊相(表 1)。

**Table 1.** The sedimentary type and characters of  $Es_2^L$  in the Third Area of Shanghe Oilfield

**表 1.** 商三区  $Es_2^L$  沉积类型及特征

| 相   | 亚相             | 微相      | 岩性组合                   |
|-----|----------------|---------|------------------------|
| 三角洲 | 三角洲前缘          | 河口砂坝    | 细砂岩、粗粉砂岩为主             |
|     |                | 远砂坝     | 细粉砂岩为主，少量薄层的细砂岩、灰质粉砂岩  |
|     |                | 支流间湾    | 泥岩、粉砂质泥岩、薄层粉砂岩         |
| 湖泊  | 前三角洲<br>浅湖-半深湖 | 前三角洲泥   | 泥岩、粉砂岩条带、泥质粉砂岩条带及少量泥灰岩 |
|     |                | 浅湖-半深湖泥 | 泥岩、灰质泥岩、油页岩            |

## 3. 储层特征

不同于中-高渗透储层，由于特殊的沉积环境构造作用的影响，低渗透储层有着其独特的特征[16]，从岩石学、孔隙结构、敏感性、物性、非均质性以及裂缝等特征上对商三区  $Es_2^L$  低渗透储层进行分析。

### 3.1. 岩石特征

$Es_2^L$  储层岩石类型以岩屑质石英粗粉-细砂岩为主，长石岩屑质石英细砂岩次之(图 1)。碎屑颗粒体积分数达 60%以上，一般为 84%~96%，其中石英体积分数为 41%~82%；长石体积分数为 4%~36%，以钾长石为主。颗粒大小介于 0.02~2 mm，一般为 0.08~0.15 mm，棱角-次棱角状。岩屑体积分数为 5%~27%，以燧石、黏土岩岩屑为主，也含有少量喷出岩及石英岩岩屑；填隙物体积分数为 4%~16%，杂基以泥质为主，胶结物有方解石，接触-孔隙式胶结，颗粒支撑，颗粒间为点接触-线接触。

### 3.2. 孔隙类型和结构特征

$Es_2^L$  储层孔隙类型以次生孔隙为主，包括粒间溶孔、粒内溶孔(图 2)等，其中以粒间溶孔为主。原生粒间孔也有少量发育，相比于次生孔隙，其边缘较平直，形状较为规则。根据 S67 井、S13-542 井、S13-581 井、S13-25 井 14 个岩样的压汞法毛细管压力试验数据统计， $Es_2^L$  储层孔喉平均半径 0.993~2.33  $\mu\text{m}$ ，中值为 1.755  $\mu\text{m}$ ；孔喉最大半径为 13.591  $\mu\text{m}$ ，平均为 4.016  $\mu\text{m}$ 。结合毛细管压汞曲线图(图 3)，毛细管压力曲线整体离原点(100, 0.001)较远，平缓段较短且偏离横轴，表明孔喉大小和分布的参数变化较大[17]。因此商三区  $Es_2^L$  孔喉半径较小，分布具有较强的非均质性。

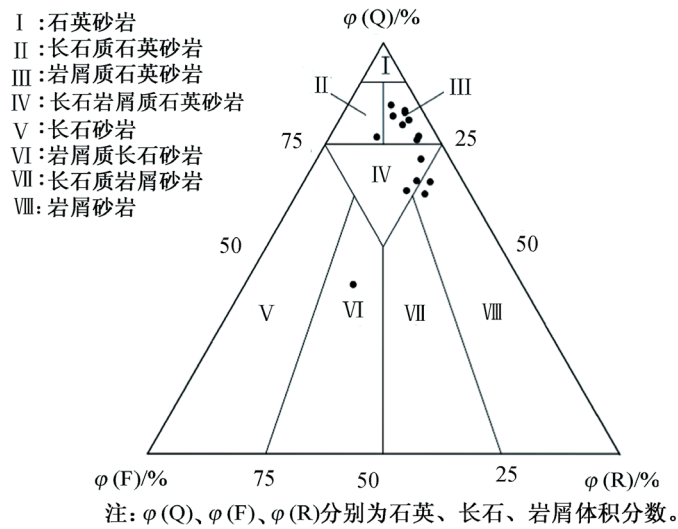


Figure 1. The triangular diagram of sandstone classification of Es<sub>2</sub><sup>L</sup> in the Third Area of Shanghe Oilfield

图 1. 商三区 Es<sub>2</sub><sup>L</sup> 砂岩分类三角图

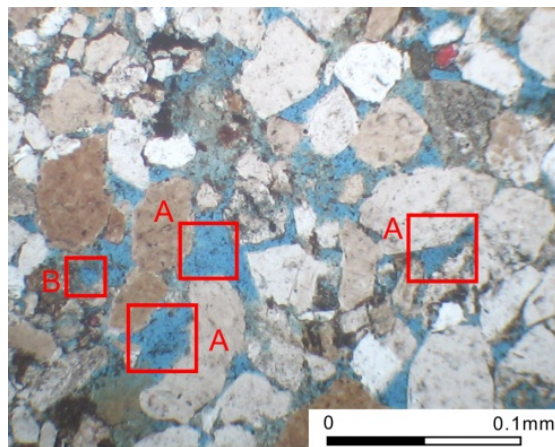


Figure 2. The photo of casting thin section (intergranular dissolved pores (A), intragranular dissolved pores (B), fine sandstone, Well S13-J58, at 2407 m)

图 2. 铸体薄片镜下照片(粒间溶孔(A)和粒内溶孔(B), 细砂岩, S13-J58 井, 2407 m)

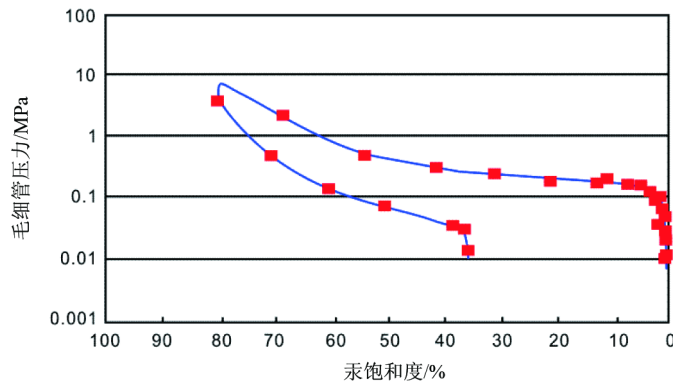


Figure 3. The intrusive mercury curve (coarse siltstone, Well S13-581, at 2276.2 m)

图 3. 压汞曲线(粗粉砂岩, S13-581 井, 2276.2 m)

### 3.3. 物性特征

7 口井 1486 个岩心样品的物性分析结果表明, 商三区  $Es_2^I$  储层孔隙度介于 3.7%~28.9% (平均值为 18.1%), 其中介于 15%~20%之间的样品占 40%, 20%~25%的样品占 36.4%, 10%~15%的样品占 18.8%; 渗透率介于 0.07~1124 mD (平均为 28.4 mD), 其中介于 1~10 mD 的样品占 40.3%, 10~100 mD 的样品占 28.2%, 小于 1 mD 的样品占 28%。研究区  $Es_2^I$  储层应属于中孔-低渗、特低渗储层。

### 3.4. 非均质性特征

目前, 在我国各个油田中广泛使用的碎屑岩储层非均质性概念模型是裘怿楠的分类, 即微观非均质性、层内非均质性、层间非均质性和平面非均质性 4 类。结合测井二次解释成果(表 2), 初步对  $Es_2^I$  进行储层层内非均质性、层间非均质性和平面非均质性研究。

#### 3.4.1. 层内非均质性

由于不同的沉积环境、沉积方式, 水动力特征也各有差异, 垂向韵律特征及层内非均质性也不相同, 而不同的韵律性直接影响着储层物性的纵向差异[18]。

通过对商三区 7 口取心井的岩性观察, 结合覆盖全区的 33 口井的测井曲线特征和储层非均质性评价表(表 3), 区内  $Es_2^I$  的砂体主要属于河口砂坝微相、远砂坝微相和支流间湾微相(表 1), 层内垂向上非均质性也各有所特点(表 4)。

**Table 2.** The physical statistical table of 1 + 2 sand group of  $Es_2^I$  (results from the 2<sup>nd</sup> logging interpretation)

**表 2.**  $Es_2^I$  储层 1 + 2 砂组物性统计表(测井二次解释结果)

| 小层号 | 砂体厚度平均值/m | 渗透率平均值/mD | 孔隙度平均值/% | 变异系数/1 | 突进系数/1 | 级差/1 |
|-----|-----------|-----------|----------|--------|--------|------|
| 1   | 1.2       | 18.9      | 19.2     | 0.7    | 3.0    | 17.8 |
| 2   | 1.8       | 34.1      | 20.9     | 0.6    | 2.9    | 13.1 |
| 3   | 2.0       | 33.1      | 20.0     | 0.6    | 2.5    | 17.0 |
| 4   | 1.9       | 19.9      | 19.2     | 0.6    | 2.9    | 17.2 |
| 5   | 1.8       | 29.9      | 20.0     | 0.6    | 2.4    | 13.6 |
| 6   | 2.0       | 32.8      | 20.2     | 0.6    | 2.6    | 11.8 |
| 7   | 2.0       | 34.2      | 20.4     | 0.5    | 2.5    | 8.9  |
| 8   | 1.8       | 31.3      | 20.0     | 0.6    | 2.6    | 15.1 |
| 9   | 1.8       | 30.9      | 20.3     | 0.6    | 2.3    | 15.3 |
| 10  | 1.5       | 18.8      | 18.6     | 0.8    | 3.5    | 23.8 |

**Table 3.** The evaluation standard of reservoir heterogeneity of  $Es_2^I$  in the Third Area of Shanghe Oilfield

**表 3.** 商三区  $Es_2^I$  储层非均质性评价标准

| 非均质性标准 | 级差/1  | 突进系数/1 | 变异系数/1  | 相对分选系数/1 |
|--------|-------|--------|---------|----------|
| 弱      | <10   | <1     | <0.5    | 0        |
| 中      | 10~20 | 1~2    | 0.5~0.6 | 0~1      |
| 强      | >20   | >2     | >0.6    | 1        |

**Table 4.** The vertical heterogeneity parameters of different sedimentary types in  $Es_2^L$  (results from the 2<sup>nd</sup> logging interpretation)  
**表 4.**  $Es_2^L$  层内不同沉积类型垂向非均质性参数统计表(据测井二次解释结果)

| 微相   | 孔隙度/% |      |       | 渗透率/mD |      |       | 级差/1  |       | 突进系数/1 |      | 变异系数/1 |      |
|------|-------|------|-------|--------|------|-------|-------|-------|--------|------|--------|------|
|      | 最大值   | 最小值  | 平均值   | 最大值    | 最小值  | 平均值   | 最大值   | 平均值   | 最大值    | 平均值  | 最大值    | 平均值  |
| 河口砂坝 | 26.2  | 12.6 | 20.62 | 1030   | 0.86 | 23.84 | 21.79 | 14.6  | 3.31   | 2.59 | 0.62   | 0.54 |
| 远砂坝  | 23.5  | 10.1 | 20.14 | 241    | 0.62 | 22.77 | 23.53 | 20.17 | 3.52   | 3.23 | 0.69   | 0.6  |
| 支流间湾 | 20.7  | 4.8  | 19.7  | 67     | 0.56 | 19.64 | 25.31 | 20.53 | 4.42   | 3.71 | 0.81   | 0.65 |

1) 河口砂坝微相 砂体厚度普遍大于 2.0 m, 多为单期沉积物, 呈大型连片状, 粒度较粗, 垂向分布具有明显的反韵律; 孔隙度均值为 20.62%, 最大为 26.2%, 渗透率均值为 23.84 mD, 最大为 1030 mD, 渗透率垂向上大部分呈现反韵律, 层内最大渗透率分布在单个河口砂坝砂体的中上部。从表 4 中可以看出河口砂坝垂向上非均质性为中等。

2) 远砂坝微相 大体特征与河口砂坝微相类似。砂体厚度普遍小于 2.0 m, 多为椭圆形、小型连片状, 粒度分布上多为反韵律, 或可见正韵律; 孔隙度均值为 20.14%, 最大为 23.5%, 渗透率均值为 22.77 mD, 最大为 241 mD, 渗透率垂向上大多为反韵律, 层内最大渗透率分布在单个远砂坝砂体中上部。从表 4 中可以看出远砂坝垂向上非均质性为较强。

3) 支流间湾微相 砂体厚度一般为 0~1.0 m, 主要发育于砂坝间凹陷部位, 孔隙度均值为 19.7%, 最大为 20.7%, 渗透率均值为 19.64 mD, 最大为 67 mD, 由于频繁的砂泥互层, 渗透率数值垂向上变化较大且分布不规律。从表 4 中可以看出支流间湾垂向上非均质性为最强。

### 3.4.2. 层间非均质性

测井二次解释结果表明,  $Es_2^L$  储层的平均渗透率最大 51.4 mD, 最小 24.4 mD, 平均 32.4 mD; 层间渗透率变异系数 0.46; 渗透率级差 2.33; 突进系数 1.5; 层间渗透率相对分选系数 0.175。因此,  $Es_2^L$  层间渗透率差异较小, 非均质性较弱。

### 3.4.3. 平面非均质性

商三区  $Es_2^L$  储层沉积类型以河口砂坝、远砂坝以及支流间湾为主, 平面上呈连片状、椭圆状和条带状等, 总体上由西北至东南方向展布, 具有西北厚东南薄的特点; 据全区 211 口井砂体钻遇率统计表明,  $Es_2^L$  各小层钻遇率差异较大, 且数值较低, 大部分小于 80%, 结合小层平面图(图 4)表明, 随着沉积相的变化, 平面单层砂体厚度、规模、几何形态以及孔、渗值变化都较大, 即  $Es_2^L$  储层平面非均质性较强, 渗透率和孔隙度变化剧烈, 明显受沉积相的控制。

## 3.5. 储层敏感性特征

通过对商三区南块  $Es_2^L$  的 4 块岩心进行敏感性试验分析表明, 速敏指数仅为 0.2 左右(渗透率降低 20%), 即储层流速敏感性反应并不严重, 属于弱速敏感; 平均水敏和盐敏指数仅为 0.1 左右, 属于弱水敏和盐敏; 注入水的 pH 值一般在 8 以下, 渗透率降低平均约为 10%, 属于弱碱敏; 注入 1 倍孔隙体积的酸液(12%HCl + 3%HF), 平均酸敏指数仅为 0.1 左右, 表明储层对土酸的敏感性并不强, 属于弱酸敏。因此, 上述 5 种敏感性对研究区  $Es_2^L$  储层的伤害均不严重, 总体表现为敏感性较低[19]。

## 3.6. 裂缝发育特征

由于应力场的作用, 裂缝常常和低渗透储层相伴生, 形成裂缝性低渗透储层, 微裂缝尤为发育, 而伴随有微裂缝的低渗透储层, 其渗透性也会得到大大改善[20]。但是商三区  $Es_2^L$  开采初期通过注水开发,

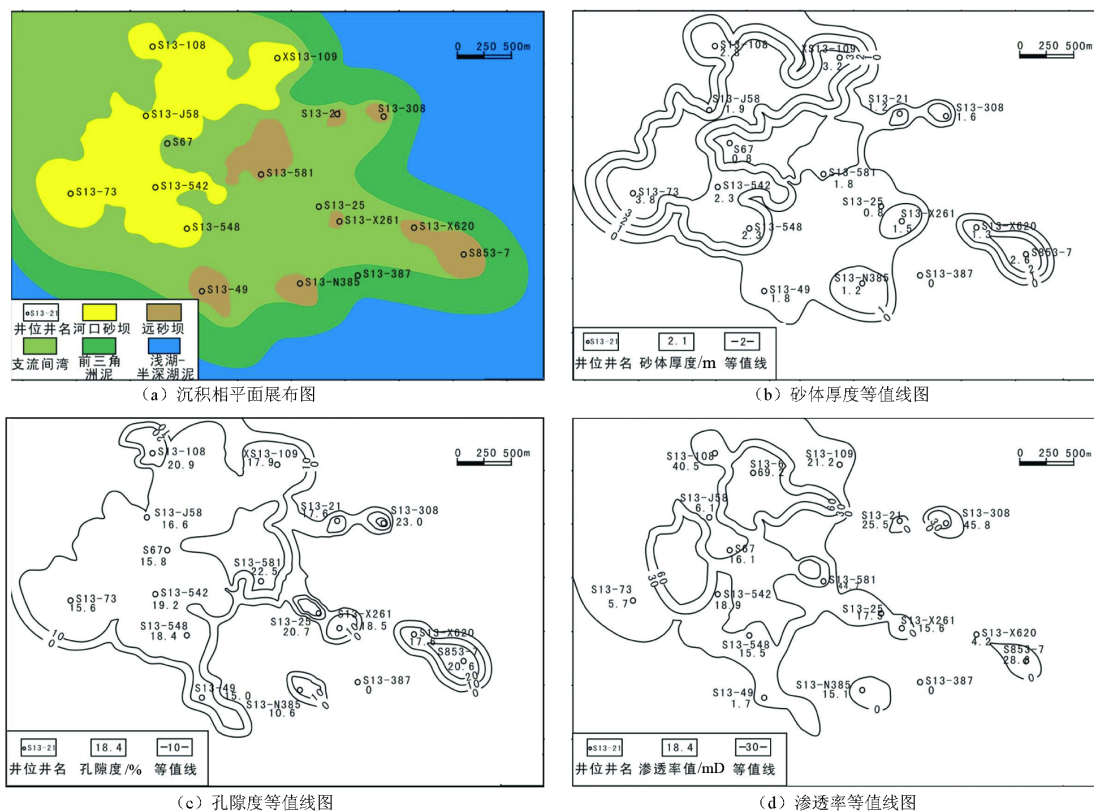


Figure 4. Planar diagram of 4-4 sublayer of  $Es_2^1$  in the Third Area of Shanghe Oilfield

图 4. 商三区  $Es_2^1$  4 砂组 4 小层平面图

大多数注水井需压裂后才能正常注水，如 1977~1978 年投转注的 11 口水井中，压裂 6 口 12 井次；并且商三区  $Es_2^1$  南块在 300 m 左右的注采井距下，平均见效时间为 447d，注入水平均推进速度为 1.6 m/d，注水开发后油井见效、见水慢。因此，商三区  $Es_2^1$  储层裂缝发育不明显，不具有改善储层渗透性的作用。

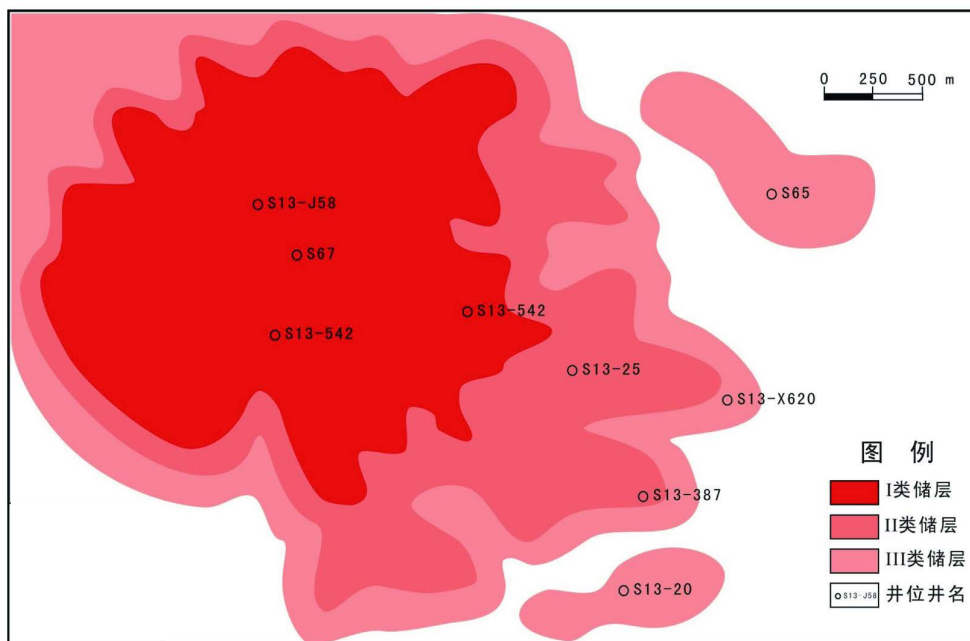
#### 4. 储层分类与评价

我国常规储层评价参数以孔隙度和渗透率为评价依据[21]。因此，结合  $Es_2^1$  实际情况，从平面上和垂向上对低渗透储层进行评价，并对 39 个小层分类；平面上评价选择的参数为河口砂坝和远砂坝微相覆盖整个研究区的比例以及它们的砂体厚度均值，垂向上选择的参数有孔隙度和渗透率均值以及非均质性参数。由此可将商三区  $Es_2^1$  储层分为 3 类(表 5)，其平面展布如图 5 所示。

Table 5. The reservoir evaluation of  $Es_2^1$  in the third area of Shanghe Oilfield

表 5. 商三区  $Es_2^1$  储层评价表

| 储层分类  | 平面     |         |        |         | 平均渗透率 /mD | 平均有效孔隙度/% | 变异系数 /1  | 突进系数 /1 | 级差 /1     | 综合评价 |
|-------|--------|---------|--------|---------|-----------|-----------|----------|---------|-----------|------|
|       | 河口砂坝   |         | 远砂坝    |         |           |           |          |         |           |      |
|       | 覆盖率 /% | 砂体厚度/m  | 覆盖率 /% | 砂体厚度/m  |           |           |          |         |           |      |
| I 类   | >18    | >2.0    | <2     | >1.5    | >25.0     | >20.2     | <0.6     | <3.0    | <20.0     | 好储层  |
| II 类  | 15~18  | 1.5~2.0 | 2~4    | 0.8~1.5 | 22.0~25.0 | 19.8~20.2 | 0.6~0.65 | 3.0~3.5 | 20.0~22.0 | 中等储层 |
| III 类 | <15    | <1.5    | >4     | <0.8    | <22.0     | <19.8     | >0.65    | >3.5    | >22.0     | 差储层  |



**Figure 5.** The planar distribution of reservoir evaluation of  $Es_2^L$  in the Third Area of Shanghe Oilfield  
**图 5.** 商三区  $Es_2^L$  储层评价平面展布图

I 类储层主要集中在研究区的西北部，岩性以细砂岩为主，粗粉砂岩次之。平面上，以发育河口砂坝为主，远砂坝次之；河口砂坝沉积覆盖率大于 18%，砂体厚度均值大于 2.0 m，最厚可达 6.4 m，以大型连片状为主，由西北向东南方向展布；远砂坝沉积覆盖率小于 2%，砂体厚度均值小于 2%，以分散的小型连片状为主。垂向上，其有效孔隙度均值大于 20.2%，渗透率均值大于 25.0 mD，变异系数小于 0.6，突进系数小于 3.0，级差小于 20.0。因此 I 类储层属于研究区内最优的储层，主要层位为 1+2 砂组的 2、3、5~9 小层，3 砂组的 1~11 小层，4 砂组的 1~6、10、11、16 小层。

II 类储层岩性以粗粉砂岩和细粉砂岩为主。平面上，以发育远砂坝为主，支流间湾次之，河口砂坝发育比较普遍；河口砂坝沉积覆盖率 15%~18%，砂体厚度均值 1.5~2.0 m，以分散的小型条带状和连片状为主，分多期次沉积，由西北向东南方向展布；远砂坝沉积覆盖率 2%~4%，砂体厚度均值 0.8~1.5 m，以分散的椭圆状和小型连片状为主。垂向上，其有效孔隙度均值 19.8%~20.2%，渗透率均值 22.0~25.0 mD，变异系数 0.6~0.65，突进系数 3.0~3.5，级差 20.0~22.0。因此 II 类储层属于中等储层，主要层位为 3 砂组的 7 小层，4 砂组的 7、13、15 小层。

III 类储层岩性以细粉砂岩为主，含有少量粗粉砂岩。平面上，以发育支流间湾为主，远砂坝次之，偶见河口砂坝；河口砂坝沉积覆盖率小于 15%，砂体厚度均值小于 1.5 m，以分散的小型条带状为主，由西北向东南方向展布；远砂坝沉积覆盖率大于 4%，砂体厚度均值小于 0.8 m，以分散的小型椭圆状为主。垂向上，其有效孔隙度均值小于 19.8%，渗透率均值小于 22.0 mD，变异系数大于 0.65，突进系数大于 3.5，级差大于 22.0。因此，III 类储层属于差储层，主要层位为 1+2 砂组的 1、4、10 小层，3 砂组的 12 小层，4 砂组的 8、9、12、14、17 小层。

## 5. 结论

1) 商三区  $Es_2^L$  储层岩石类型以岩屑质石英粗粉-细砂岩为主，成分成熟度中等，结构成熟度较低；孔隙以粒间孔、粒间溶孔为主，孔喉较小，形状以点状、管束状、片状为主，其分布具有较强的非均质性。



2) 商三区  $Es_2^L$  储层属于中孔-低渗、特低渗储层, 层间非均质性较弱; 层内和平面上具有较强的非均质性, 其孔、渗分布受到沉积相的控制。

3) 速敏、酸敏和盐敏等敏感性分析试验表明  $Es_2^L$  储层敏感性较弱。裂缝发育不明显, 不具有改善储层渗透性的作用。

4) 从平面和垂向上对商三区  $Es_2^L$  储层进行评价, 分为了 3 类: I 类储层物性最好, 普遍发育河口砂坝, 有利区带呈大型连片状, 在研究区内分布广泛; II 类储层物性较好, 河口砂坝较为发育, 主要以远砂坝为主, 有利区带主要位于研究区的西北部和中部, 面积更大; III 类储层物性最差, 以发育支流间湾为主。其中 I 和 II 类储层为主力层, 主要分布在 1+2 砂组和 3 砂组。

## 参考文献 (References)

- [1] 杨希濮, 孙卫, 高辉, 等. 三塘湖油田牛圈湖区块低渗透储层评价[J]. 断块油气田, 2009, 12(2): 5-8.
- [2] 李道品. 低渗透油田开发概论[J]. 大庆石油地质与开发, 1997, 16(3): 33-37.
- [3] Law, A., Megson, J. and Pye, M. (2001) Low Permeability Reservoirs: Introduction. *Petroleum Geoscience*, 7, 2-3. <https://doi.org/10.1144/petgeo.7.1.2>
- [4] 曾大乾, 李淑贞. 中国低渗透砂岩储层类型及地质特征[J]. 石油学报, 1994, 15(1): 38-46.
- [5] 杨晓萍, 赵文智, 邹才能, 等. 低渗透储层成因机理及优质储层形成与分布[J]. 石油学报, 2007, 28(4): 57-61.
- [6] 杨百全, 黄华梁, 李玉华, 等. 低渗透储层特征参数研究与应用[J]. 天然气工业, 2001, 21(2): 32-35.
- [7] 杨正明, 张英芝, 郝明强, 等. 低渗透油田储层综合评价方法[J]. 石油学报, 2006, 27(2): 64-67.
- [8] Dou, Q. and Huang, S. (2002) Evaluating Low-Permeability Reservoirs of Hongliuquan Lithological Trap. *Petroleum Exploration and Development*, 29, 87-89.
- [9] Li, Y. (2004) Modeling of Low Permeability Sandstone Reservoirs. *Petroleum Exploration and Development*, 31, 99-105.
- [10] 熊伟, 刘华勋, 高树生. 低渗透储层特征研究[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2009, 5(31): 89-92+200-201.
- [11] Haldorsen, H.H. and Damsleth, E. (1993) Challenges in Reservoir Characterization. *AAPG Bulletin*, 77, 541-551.
- [12] 邱隆伟, 姜在兴, 操应长. 惠民凹陷临盘油田沙二下亚段储层成岩演化[J]. 石油大学学报(自然科学版), 1997, 21(4): 6-8.
- [13] 华晓琴. 商三区沙二下亚段地层精细划分与沉积特征研究[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2011.
- [14] 王青春, 何幼斌. 商河油田商三区沙二下亚段储层沉积微相研究[J]. 石油天然气学报, 2005, 27(6): 851-853.
- [15] 曲占庆, 何利敏, 战永平, 等. 商三区注入水储层伤害判断及解堵实验[J]. 断块油气田, 2014, 21(2): 232-235.
- [16] 蒋凌志, 顾家裕, 郭彬程. 中国含油气盆地碎屑岩低渗透储层的特征及形成机理[J]. 沉积学报, 2004, 22(1): 13-18.
- [17] 马文国, 王影, 海明月, 等. 压汞法研究岩心孔隙结构特征[J]. 实验技术与管理, 2013, 30(1): 66-69.
- [18] 吴朝东, 刘建民, 王军, 等. 河流沉积单元分析与储层宏观非均质性[J]. 地质科学, 2003, 38(1): 60-73.
- [19] 陈永红. 商三区沙二下储层敏感性研究[J]. 江汉石油学院学报, 2004, 26(1): 74-76.
- [20] 刘洪涛, 曾联波, 房宝才, 等. 裂缝对大庆台肇地区低渗透砂岩储层注水的影响[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2005, 29(4): 68-72.
- [21] 赵加凡, 陈小宏, 张勤. 灰关联分析在储层评价中的应用[J]. 勘探地球物理进展, 2003, 26(4): 282-286.

[编辑] 邓磊

**期刊投稿者将享受如下服务：**

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[jogt@hanspub.org](mailto:jogt@hanspub.org)