

## 鄂尔多斯盆地靖边油田曹峽峁区延 9 油藏富集规律

雷华伟<sup>1</sup>, 韩华峰<sup>1</sup>, 乔 力<sup>1</sup>, 王龙军<sup>1</sup>, 李 刚<sup>1</sup>, 白玉彬<sup>2</sup>

1. 延长油田股份有限公司 靖边采油厂, 陕西 榆林 718500;

2. 西安石油大学 地球科学与工程学院, 陕西 西安 710065

**摘 要:** 在对油水分布特征及油藏类型研究的基础上, 采用成藏地质条件与油藏分布叠合分析的方法, 对靖边油田曹峽峁区延 9 油藏富集规律进行了研究. 结果表明, 延 9 油藏纵向上主要分布在延 9<sub>2</sub> 层, 具有明显的边水和底水, 其油藏类型以构造油藏、构造-岩性复合油藏为主. 延 9 油藏分布和富集主要受控于曲流河边滩砂体分布和规模、储层顶面构造高点分布位置、直接盖层厚度和展布特征. 三者有效配置共同控制了延 9 油藏富集层位和地区, 东部地区砂体厚度大于 10 m 的构造高点石油最为富集.

**关键词:** 油藏分布; 延 9 油层组; 靖边油田; 鄂尔多斯盆地

## ENRICHMENT REGULARITY OF Y-9 RESERVOIR IN CAOYAOXIAN AREA OF JINGBIAN OILFIELD, ORDOS BASIN

LEI Hua-wei<sup>1</sup>, HAN Hua-feng<sup>1</sup>, QIAO Li<sup>1</sup>, WANG Long-jun<sup>1</sup>, LI Gang<sup>1</sup>, BAI Yu-bin<sup>2</sup>

1. Jingbian Oil Production Plant, Yanchang Oilfield Co., Ltd., Yulin 718500, Shaanxi Province, China;

2. School of Earth Sciences and Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, China

**Abstract:** The enrichment of Y-9 reservoir in Caoyaoxian area of Jingbian Oilfield is studied by the overlaying analysis of geological condition and reservoir distribution based on the discussion of oil-water distribution characteristics and reservoir types. The results show that the Y-9 reservoir is chiefly distributed in the Y-9<sub>2</sub> layer vertically, with obvious edge and bottom water, dominated by structural and structural-lithologic composite reservoirs in terms of types. The enriched horizons and areas are controlled by the effective combination of distribution and scale of meandering stream sand body, culmination position of reservoir top, and thickness and distribution of direct caprock as well. In the eastern region, oil is the most abundant at the structural culmination where sand body is more than 10 m thick.

**Key words:** reservoir distribution; Y-9 oil-bearing formation; Jingbian Oilfield; Ordos Basin

### 0 引言

鄂尔多斯盆地是我国油气资源均非常富集的盆地

之一, 总面积约  $25 \times 10^4 \text{ km}^2$ <sup>[1]</sup> (图 1). 其中陕北斜坡面积最大约  $11 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 油气资源最为富集. 勘探实践表

收稿日期: 2017-12-04; 修回日期: 2018-03-23. 编辑: 张哲.

基金项目: 陕西省自然科学基金基础研究计划资助项目“湖相富有机质页岩储集空间定量表征及含油性研究”(项目批准号 2017JM4014); 陕西省教育厅科研计划项目“鄂尔多斯盆地志丹地区长 9、长 10 致密油形成机理研究”(项目批准号 18JS090).

作者简介: 雷华伟(1988—), 女, 硕士, 工程师, 主要从事油田地质、注水开发工作, 通信地址 陕西省榆林市靖边县靖边采油厂地质研究所, E-mail//631847304@qq.com

通信作者: 白玉彬(1981—), 男, 博士, 副教授, 主要从事油气成藏地质学、非常规油气地质研究, 通信地址 陕西省西安市电子二路 18 号, E-mail//baiyubin@xsyu.edu.cn

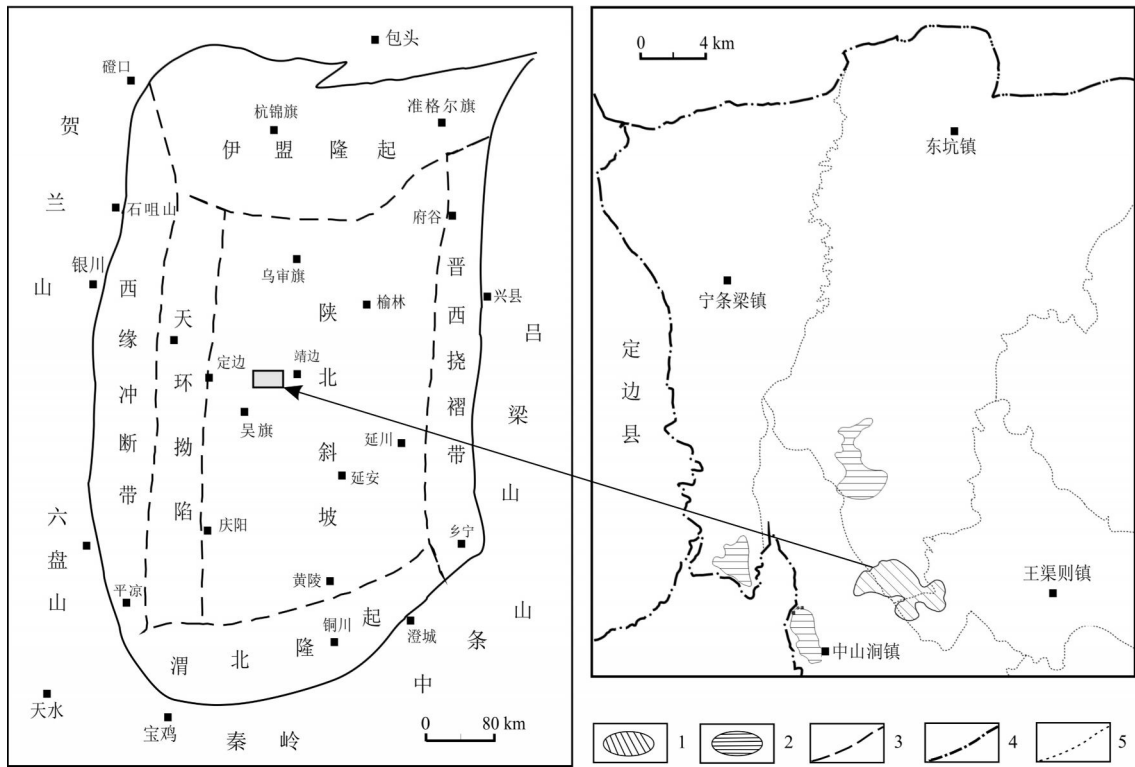


图 1 鄂尔多斯盆地构造单元划分及研究区位置图

Fig. 1 Tectonic unit division of Ordos Basin and location of the study area

1—研究区(study area); 2—含油区域(oil-bearing area); 3—构造单元界限(boundary of tectonic unit); 4—县界(county boundary); 5—乡界(village boundary)

明,三叠系延长组和侏罗系延安组是鄂尔多斯盆地主力含油层系,其中延安组油藏主要受三叠系末期古地貌控制<sup>[2]</sup>.根据岩性、煤线等特征将侏罗系延安组自下而上分为延 10—延 1 等 10 个油层组.受侏罗纪沉积末期燕山运动的影响,鄂尔多斯盆地大部分地区延安组上部延 1—延 3 剥蚀殆尽,仅保留了延 4+5 以下地层<sup>[3]</sup>,而油藏主要分布在延 9 和延 10 油层组.

曹峽峁区块位于鄂尔多斯盆地陕北斜坡中北部的陕西省靖边县东坑乡境内,主力开发区面积约 10 km<sup>2</sup>,开发层位为侏罗系延安组延 9 油层组,进一步细分为延 9<sup>1</sup>、延 9<sup>2</sup>和延 9<sup>3</sup>等 3 个小层,油藏主要分布在延 9<sup>2</sup>层.以往对研究区重点关注延 9 储层沉积相和储层特征研究<sup>[4-7]</sup>,对延 9 油藏富集规律研究薄弱.随着勘探开发的不断深入,深入认识延 9 油藏富集规律显得尤为重要和迫切.本次根据石油地质综合研究方法,通过对延 9 储层特征、油水分布特征及油藏类型的研究,总结延 9 油藏富集规律,以期为延 9 油藏精细开发提供地质依据.

## 1 延 9 储层基本特征

### 1.1 岩石学特征

延 9 沉积时期研究区主要为曲流河沉积,物源方向来自研究区西北部<sup>[8]</sup>.延 9<sup>2</sup>时期发育边滩微相,而延 9<sup>1</sup>和延 9<sup>3</sup>时期以河漫滩沉积为主.延 9 储层主要为浅灰色、灰色粗-中粒岩屑长石砂岩,其次为长石砂岩.碎屑成分中石英含量 40%~65%,平均为 54%;长石含量一般为 15%~32%,平均为 21%;岩屑含量一般为 8%~12%,平均为 9.8%.填隙物总量为 12.7%,主要为高岭石和硅质胶结,其次为长石质和铁白云石胶结.

### 1.2 物性特征

根据 10 口井 300 余块岩心分析结果,延 9 储层孔隙度最小值 4.5%,最大值 21.6%,平均 16.2%,主要分布范围在 12%~20%之间;渗透率最小值 0.15×10<sup>-3</sup> μm<sup>2</sup>,最大值 1503.21×10<sup>-3</sup> μm<sup>2</sup>,主要渗透率分布范围在 1×10<sup>-3</sup>~200×10<sup>-3</sup> μm<sup>2</sup>之间,平均为 123.02×10<sup>-3</sup> μm<sup>2</sup>,中值为 54.52×10<sup>-3</sup> μm<sup>2</sup>(图 2).根据石油天然气储量计算规范<sup>[9]</sup>,延 9 储层总体为低-中孔隙度、低-中渗透率

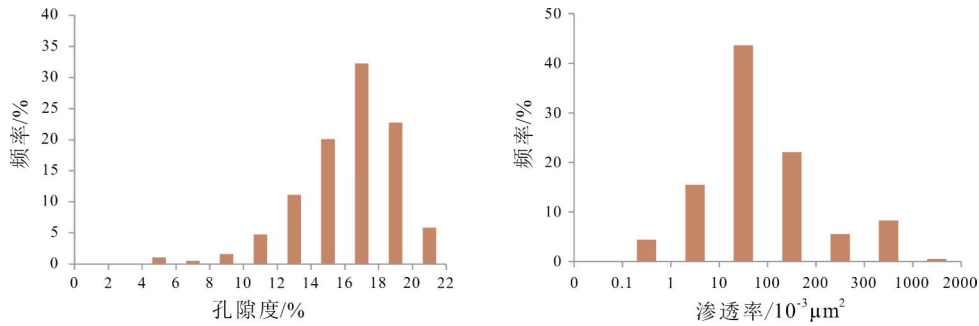


图 2 曹 峽 峽 区 延 9 储 层 孔 隙 度 与 渗 透 率 分 布 直 方 图

Fig. 2 Distribution histograms for the porosity and permeability of Y-9 reservoir in Caoyaoxian area

储层. 纵向上, 从延 9<sup>1</sup>~延 9<sup>2</sup> 小层, 储层物性逐渐变好.

### 1.3 孔 隙 结 构 特 征

通过铸体薄片及扫描电镜分析, 延 9 储层孔隙类型比较简单, 主要为粒间孔和长石溶孔, 少量的岩屑溶孔和晶间孔, 平均面孔率为 7.24%(图 3). 孔隙形态多呈三角形、四边形及不规则状, 孔隙直径变化较大, 单个样品中从小于 5 μm 到 200 μm 以上. 根据 30 块样品的图像孔隙分析结果, 延 9 油层组砂岩平均孔径变化范围在 10~60 μm 之间, 平均 32.5 μm(表 1).

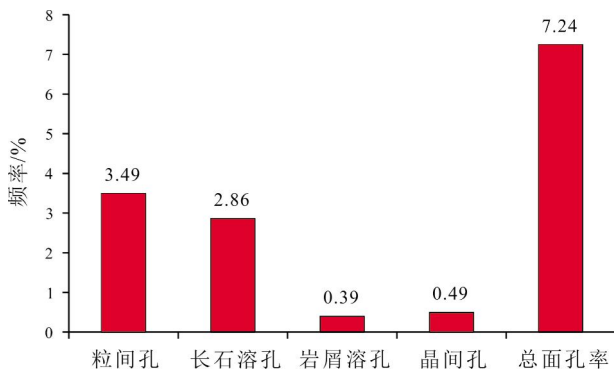


图 3 曹 峽 峽 区 延 9 储 层 孔 隙 类 型 直 方 图

Fig. 3 Histogram for pore types of Y-9 reservoir in Caoyaoxian area

铸体薄片及扫描电镜下观察统计发现, 粒间孔孔径大多分布在 60~100 μm, 最大可达 200 μm(图 4a、c、d); 溶蚀孔隙中主体为长石溶孔, 少量岩屑溶孔, 长石溶孔孔径较小, 由于大多没有完全溶蚀掉, 多形成蜂窝状. 长石溶孔对延 9 储层的物性起着非常重要的作用. 晶间孔主要发育在自生黏土矿物高岭石中(图 4b、c、e), 孔径较小, 一般小于 5 μm, 平均含量为 0.49%, 常被束缚水占据, 对总孔隙的贡献极小, 但其增强了延 9 储层微观非均质性.

表 1 曹 峽 峽 区 延 9 储 层 平 均 孔 隙 直 径 分 析 数 据 表

Table 1 Average pore diameter of Y-9 reservoir in Caoyaoxian area

面孔率/ %	平均比 表面	平均孔 喉比	均质 系数	平均孔 隙直 径/μm	分选 系数	平均 配位 数	样品 数
2.8-14.4	0.2-0.8	1.5-5.9	0.1-0.6	10.3-60.3	6.5-167.5	0.3-1.4	30
7.2	0.4	3.5	0.3	32.5	88.2	1.0	

横线上为最小值—最大值, 横线下为平均值.

根据研究区 3 口井 20 块样品高压压汞分析结果(表 2), 延 9 储层砂岩排驱压力分布于 0.05~0.73 MPa, 平均为 0.29 MPa; 中值压力分布于 0.82~4.51 MPa, 平均为 1.99 MPa; 最大连通孔喉半径可达 15.81 μm, 平均为 7.32 μm; 中值半径小于 1 μm, 平均为 0.57 μm; 分选系数平均为 2.57. 压汞数据反映出延 9 储层孔喉连通性好, 孔隙结构较为简单.

表 2 曹 峽 峽 区 延 9 储 层 孔 喉 半 径 统 计 表

Table 2 Pore throat radius of Y-9 reservoir in Caoyaoxian area

孔 隙 度/ %	渗 透 率/ 10 <sup>-3</sup> m <sup>2</sup>	排 驱 压 力/MPa	中 值 压 力/MPa	最 大 孔 喉 半 径/μm	中 值 半 径/ μm	分 选 系 数
11.4-16.0	0.57-20.4	0.05-0.73	0.82-4.51	1.0-15.81	0.16-0.89	1.96-3.19
13.8	6.2	0.29	1.99	7.32	0.57	2.57

横线上为最小值—最大值, 横线下为平均值.

## 2 延 9 储 层 油 水 分 布 及 油 藏

### 2.1 油 水 分 布 特 征

曹 峽 峽 区 延 9 油 藏 纵 向 上 主 要 分 布 在 延 9<sup>2</sup> 层, 油 层 连 续 性 好, 平 面 上 油 藏 连 片 分 布; 其 次 为 延 9<sup>1</sup> 和 延 9<sub>1</sub>, 油 层 连 续 性 差, 油 藏 平 面 分 布 不 连 片, 孤 立 分 布. 延 9 油 藏 为 典 型 的 常 规 油 藏, 油 水 界 面 清 晰, 上 油 下 水,

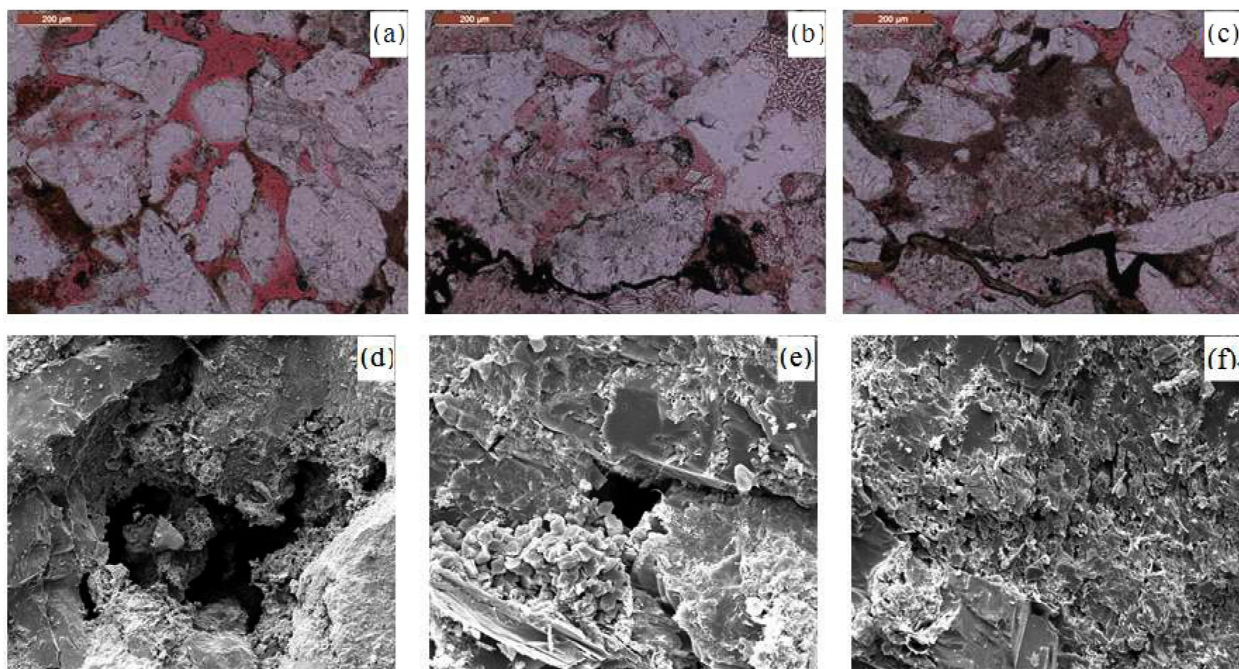


图4 曹峽峽区延9储层孔隙镜下分布特征

Fig. 4 Microphotographs showing the pore distribution characteristics of Y-9 reservoir in Caoyaoxian area

a—JT403, 1260.37 m, 粒间孔发育, 红色铸体(developed intergranular pore with red cast); b—JT217, 1255.59 m, 长石溶孔及高岭石晶间孔, 红色铸体(dissolved pore in feldspar and intercrystalline pore in Kaolinite, with red cast); c—JT403, 1256.75 m, 长石高岭石化, 晶间孔发育, 红色铸体(kaolinized feldspar with developed intercrystalline pore, red cast); d—JT403, 1263.83m, 残余粒间孔, 扫描电镜(residual intergranular pore observed by SEM); e—JT403, 1257.66 m, 残余粒间孔, 扫描电镜(residual intergranular pore observed by SEM); f—JT403, 1263.38 m, 长石粒内溶孔, 扫描电镜(intragranular dissolved pore of feldspar observed by SEM)

油层和水层在电阻率曲线上差异明显, 相对水层来讲油层具有高阻的特征(图5)。

## 2.2 油藏类型

曹峽峽延9油藏分布受构造和岩性双重控制, 其油藏类型主要表现为构造油藏、岩性-构造复合油藏, 其次为岩性尖灭油藏。研究区总体构造特征表现为中东部高, 东部开口, 北部、西部和南部低的特征。油层分布总体受构造背景控制, 但单个油藏的分布同时受构造和岩性共同控制。油藏边界既有岩性边界, 亦有构造边界。受构造控制的油藏边界不同井区油水界面海拔高程不一致, 主体分布在310~340 m(图6), 形成多个独立的油水系统和多个油藏群, 油藏分布同时受岩性控制。

## 3 延9油藏富集规律

以往的研究表明, 鄂尔多斯盆地侏罗系延安组油藏分布和富集主要受古地貌背景控制<sup>[2,8]</sup>, 油藏主要

富集在主砂体带与构造高点的叠合区域<sup>[10-12]</sup>, 同时油源断层组成垂向优势输导通道<sup>[13]</sup>, 油气在浮力作用下向构造高点聚集成藏。曹峽峽地区延9油藏富集规律研究表明, 砂体分布、构造高点和直接盖层共同控制了延9油藏分布和富集。

### 3.1 沉积相及砂体展布控制油藏分布规模

以研究区主力油藏延9<sub>2</sub>小层为例。从延9<sub>2</sub>油藏含油面积、有效厚度与砂体展布叠合图(图7)可以看出, 油藏的分布明显受到曲流河边滩微相厚层砂体展布的控制。已发现的油藏基本上都发育在边滩砂体之上, 吻合度非常高, 砂体厚度为5~30 m, 砂地比值为0.50~1.0。这是由于在河道边滩位置, 砂体发育规模大, 并有较大的厚度, 岩性相对均匀, 储层物性好, 因而含油性好。而在河道间部位, 砂体减薄甚至尖灭, 岩性变细, 物性变差, 非均质增强, 泥质成分增多, 因而含油性变差, 从而成为有效的侧向封闭层。由此可见, 沉积相及砂体分布对延9<sub>2</sub>油藏分布和富集具有非常重要



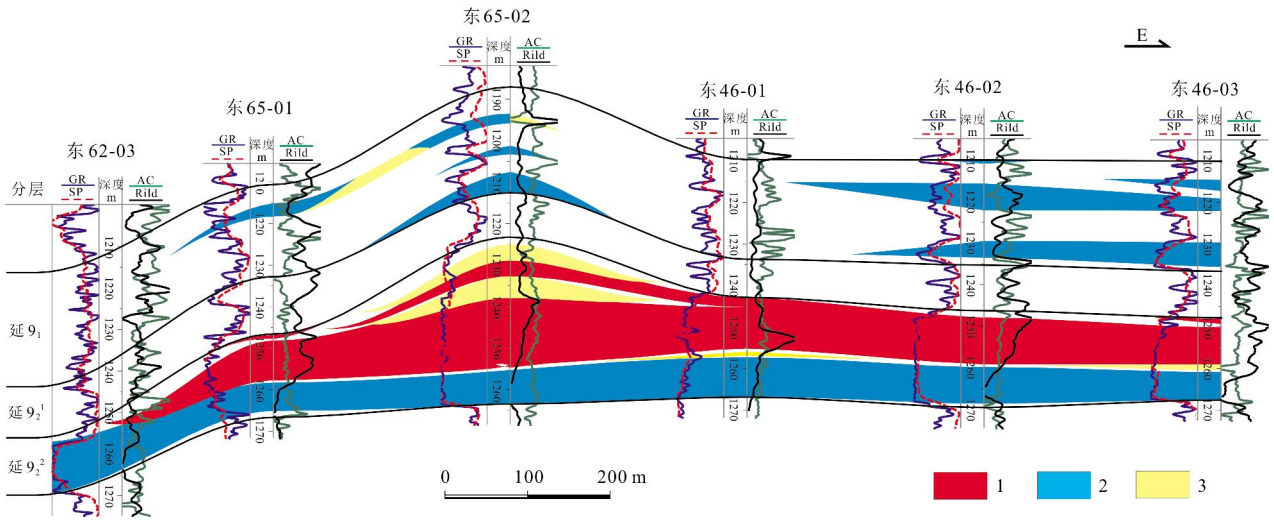


图5 曹峽峽区延9油藏剖面图

Fig. 5 Profile of Y-9 reservoir in Caoyaoxian area

1—油水同层(oil-water layer); 2—水层(water layer); 3—干层(dry layer)

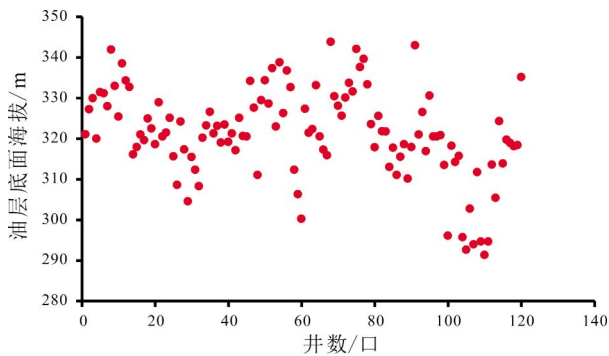


图6 曹峽峽延9油藏油层底界面海拔分布

Fig. 6 Bottom elevation distribution of Y-9 reservoir in Caoyaoxian area

的控制作用. 含油面积内砂体厚度大于 10 m 的东部地区, 油层有效厚度亦非常大, 最大厚度可达 25 m, 与砂体分布规模一致. 但研究同时发现, 在研究区东部和南部也发育边滩厚砂岩沉积, 但试油结果为水层. 因此, 沉积相及砂体展布仅是控制延 9<sub>2</sub> 油藏分布的重要因素之一, 延 9<sub>2</sub> 油藏分布必然还受其他因素控制.

### 3.2 油藏顶面小高点控制石油富集

鄂尔多斯盆地发育由于差异压实作用形成的鼻状构造<sup>[14-15]</sup>. 通过大比例尺绘制延 9<sub>2</sub> 储层顶面构造图, 发现研究区发育 1 个较大型的鼻状隆起构造, 其轴向近东西向, 除了东部开口外, 其余 3 个方向均向四周倾伏, 延 9 油藏总体分布受研究区构造背景控制(图 7).

在此鼻状隆起背景之上, 发育了多个交互分布的小高点和低洼地, 东部地区小高点更为发育. 这些小高点往往砂体厚度大, 圈闭闭合高度一般为 10~30 m, 油藏充满度最大可达 100%, 试油平均日产油可达 10 t/d. 而小洼地往往油层厚度较薄, 试油平均日产油 3~5 t/d, 因此油藏富集主要受小高点控制.

### 3.3 直接盖层发育程度控制石油分布层位

盖层对常规油藏分布具有重要的控制作用<sup>[16-19]</sup>. 延 9 各个小层油藏分布规模差异大, 油藏主要分布在延 9<sub>2</sub>. 研究认为, 盖层分布对延 9 油藏分布和富集具有重要的控制作用. 之所以延 9 油藏主要分布在延 9<sub>2</sub>, 不仅由于其储层和顶面正向微构造均发育, 同时延 9<sub>2</sub> 顶面分布了一套平均厚度在 10 m 以上的直接盖层(图 5), 有效阻止了石油向上部延 9<sub>1</sub> 和延 9<sub>1</sub> 运移. 因此, 直接盖层控制了延 9 油藏分布和富集.

综合以上研究认为, 砂体厚度、构造小高点和直接盖层三者共同控制了延 9 油藏分布和富集, 其中有效砂体展布是基础, 构造是石油富集的重要保证, 而直接盖层则控制了延 9 油藏垂向分布层位和规模.

## 4 结论

(1) 曹峽峽区延 9 油藏纵向上主要分布在延 9<sub>2</sub> 层, 平面上全区分布, 油层东部厚而西部薄, 油藏类型以构造油藏、构造-岩性复合油藏为主.

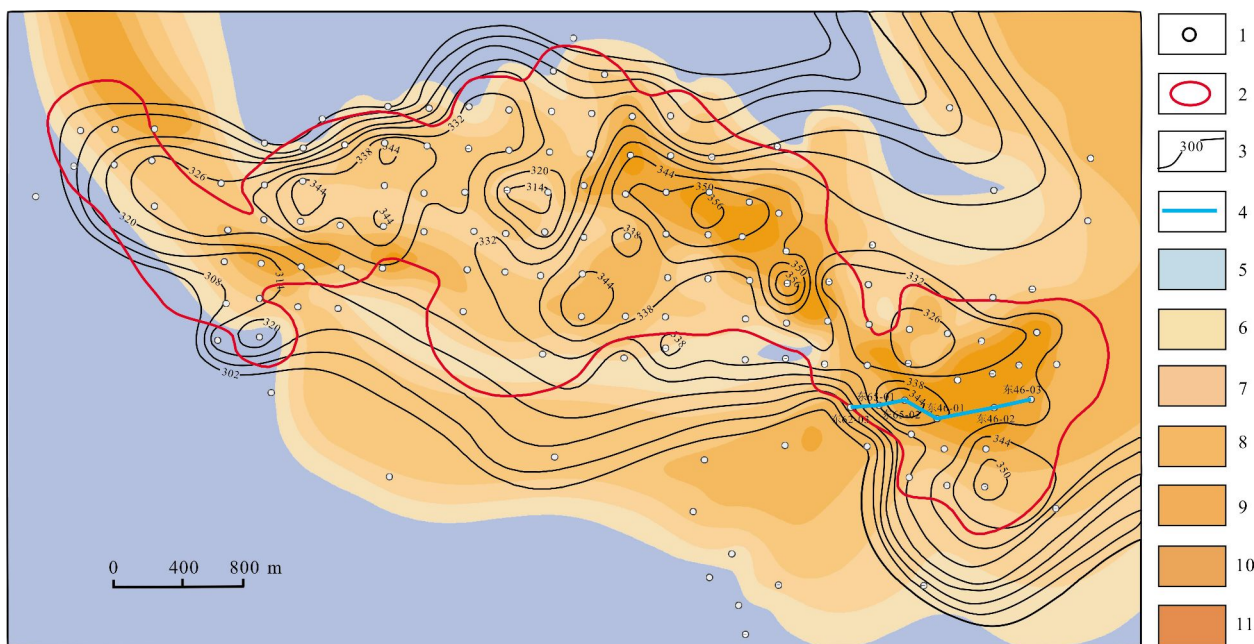


图7 曹峽峁区延9油藏含油面积、有效厚度、顶面构造及砂体分布叠合图

Fig. 7 Composite map of oil area, effective thickness, top structure and sand body distribution of Y-9 reservoir in Caoyaoxian area  
 1—井位(well); 2—含油面积(oil-bearing area); 3—构造等高线(structure contour); 4—油藏剖面位置线(reservoir section); 5—砂厚0 m (sandstone thickness of 0 m); 6—砂厚0~4 m (sandstone thickness of 0~4 m); 7—砂厚4~8 m (sandstone thickness of 4~8 m); 8—砂厚8~12 m (sandstone thickness of 8~12 m); 9—砂厚12~16 m (sandstone thickness of 12~16 m); 10—砂厚16~20 m (sandstone thickness of 16~20 m); 11—砂厚>20 m (sandstone thickness more than 20 m)

(2)延9油藏分布和富集主要受砂体分布规模、构造高点及直接盖层三者共同控制,其中砂体厚度大于10 m的构造高点石油最为富集。

#### 参考文献:

[1]何自新,等.鄂尔多斯盆地演化与油气[M].北京:石油工业出版社,2003:3-4.  
 [2]于雷,王维斌,车飞,等.鄂尔多斯盆地吴旗油区下侏罗统古地貌特征与油气富集关系[J].断块油气田,2014,21(2):147-151.  
 [3]长庆油田石油地质志编写组.中国石油地质志·卷十二,长庆油田[M].北京:石油工业出版社,1992:1-83.  
 [4]白远,闫晓飞,景阳,等.靖边油田曹峽峁地区延9油藏储层特征及物性研究[J].辽宁化工,2011,40(9):991-994.  
 [5]白美丽,朱维.靖边油田曹峽峁地区延9油层组沉积相研究[J].辽宁化工,2011,40(5):493-495.  
 [6]张永,李刚,刘永卫.靖边油田曹峽峁区延9储层特征研究[J].石化技术,2017(9):120-120.  
 [7]张海.关于靖边曹峽峁油区地质评价[J].中国石油和化工标准与质量,2013(1):185-185.  
 [8]郭正权,张立荣,楚美娟,等.鄂尔多斯盆地南部前侏罗纪古地貌对延安组下部油藏的控制作用[J].古地学报,2008,10(1):63-71.  
 [9]DZ/T0217-2005,石油天然气储量计算规范[S].北京:中国标准出版

社,2005.

[10]邢蓝田,徐丽,赵阳,等.鄂尔多斯盆地林镇地区延安组油气成藏规律[J].特种油气藏,2016,23(2):14-17.  
 [11]刘联群,刘建平,李勇,等.鄂尔多斯盆地彭阳地区侏罗系延安组油气成藏主控因素分析[J].地球科学与环境学报,2010,32(3):263-267.  
 [12]许璟,董丽红,杜延军,等.志丹地区延安组沉积微相与油藏控制因素分析[J].西安科技大学学报,2016,36(5):657-663.  
 [13]许艳争,杜箫笙,毕明柱,等.低幅度构造油藏富集主控因素及成藏模式——以红河油田延安组油藏为例[J].断块油气田,2015,22(5):556-560.  
 [14]赵靖舟,杨县超,武富礼,等.论隆起背景对鄂尔多斯盆地陕北斜坡区三叠系油藏形成和分布的控制作用[J].地质学报,2006,80(5):648-655.  
 [15]白玉彬,赵靖舟,章爱成,等.蟠龙油田三叠系长2油组油气富集规律[J].西南石油大学学报:自然科学版,2010,32(4):67-71.  
 [16]赵靖舟,武富礼,闫世可,等.陕北斜坡东部三叠系油气富集规律研究[J].石油学报,2006,27(5):24-27.  
 [17]赵靖舟,王永东,孟祥振,等.鄂尔多斯盆地陕北斜坡东部三叠系长2油藏分布规律[J].石油勘探与开发,2007,34(1):23-27.  
 [18]武富礼,赵靖舟,闫世可,等.陕北地区中生界石油补偿成藏规律研究[J].石油学报,2007,28(3):23-26.  
 [19]荀兆杰,钟建华,李勇,等.鄂尔多斯盆地靖边油田马宁区长2油层组储层特征研究[J].地质与资源,2016,25(6):550-557.