

鄂尔多斯盆地姬塬地区延长组6段油藏差异成藏因素

时保宏^{1,2},秦馨雨¹,张才利³,刘文⁴,刘刚³,史婵媛³,张雷³,勇子树¹

(1. 西安石油大学 地球科学与工程学院,陕西 西安 710065; 2. 陕西省油气成藏地质学重点实验室,陕西 西安 710065; 3. 中国石油 长庆油田分公司 勘探开发研究院,陕西 西安 710018; 4. 中国石油 长庆油田分公司 勘探事业部,陕西 西安 710018)

摘要:延长组6段(长6段)是鄂尔多斯盆地姬塬地区石油勘探的重要目的层。其油层埋深大、油-水关系复杂,油藏在垂向和平面分布上具有明显的差异性。利用大量岩心观察、铸体薄片和试油等资料,结合包裹体和原油生物标志化合物等地化资料,对姬塬地区长6段油藏地质特征进行了对比分析,并对油藏的差异富集因素进行探讨。研究表明,油源条件、砂体类型和储层物性是控制长6段油藏差异富集的关键因素。优质烃源岩、优势砂体和相对高渗区3个有利因素的叠加效应,形成了长6段油藏的富集区。受沉积环境影响,垂向上,姬塬地区长6段的3个亚段中,长6¹亚段砂体厚度大,砂体类型以I类为主,横向分布稳定,延伸较远,储层喉道半径较大,物性较好,油气富集程度最高;平面上,东、西部砂体具有厚度大、类型好、泥质夹层少和物性好的特征,加之区内烃源岩厚度大,供烃能力强,是源-储配置有利的成藏区带。姬塬地区中部砂体厚度虽大,但单层砂体薄且层数多,泥质夹层多,储层非均质性强,区内烃源岩厚度较薄。因此,中部储层物性虽较好,但区内储层含油性较差,以产水井为主。

关键词:成藏因素;差异富集;油藏分布;长6段;延长组;姬塬地区;鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE122.3

文献标识码:A

Insights on factors causing differential enrichment of Chang 6 Member in Jiyuan area, Ordos Basin

Shi Baohong^{1,2}, Qin Xinyu¹, Zhang Caili³, Liu Wen⁴, Liu Gang³, Shi Chanyuan³, Zhang Lei³, Yong Zishu¹

(1. College of Earth Sciences & Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an, Shaanxi 710065, China;

2. Provincial Key Lab of Hydrocarbon Accumulation Geology, Xi'an, Shaanxi 710065, China;

3. Exploration and Development Research Institute of Changqing Oilfield Branch Company Ltd., PetroChina, Xi'an, Shaanxi 710018, China;

4. Exploration Department of Changqing Oilfield Co., PetroChina, Xi'an, Shaanxi 710018, China)

Abstract: The 6th Member of Yanchang Formation (Chang 6 Member) is a key target layer for petroleum exploration in Jiyuan area, Ordos Basin. The reservoirs of Chang 6 Member are characterized by large burial depth and complex oil-water contact, resulting in markedly differential distribution both vertically and laterally. In order to find out the factors causing the differential enrichment of reservoirs in the study area, we make a comparative analysis of the geological conditions based on core and casting thin section observation, formation testing, and geochemical analysis of inclusions and crude oil biomarker compounds. The results show that the key factors of differential enrichment are the source rock quality, type of sand bodies and physical properties of reservoirs. As a result, high-quality source rocks, favorable sand bodies and relatively high permeability, work in unison to generate the enriched zone of Chang 6 reservoirs. In the particular sedimentary environment, vertically speaking, the Chang 6¹ submember with the thickest sand bodies dominated by Type I and in steady lateral distribution, features larger radius of throats, better physical properties, high hydrocarbon abundance in the reservoirs; in planar view, sand bodies developed in the east and west of the study area, feature large thickness, favorable type, less argillaceous interlayers, and better physical properties. In addition, source rocks have large thickness and strong hydrocarbon generation capacity, so they are favorable play fairways with favorable source-reservoir configuration. While the sand bodies of large thickness in central Jiyuan area are characterized by multiple beds thin for

收稿日期:2020-07-06;修订日期:2021-08-30。

第一作者简介:时保宏(1970—),男,博士、教授,石油地质。E-mail: bh.sh@163.com。

基金项目:国家科技重大专项(2017ZX05039-001)。

each single, multiple argillaceous interlayers, strong reservoir heterogeneity, and the source rocks are thin, so although the reservoirs therein are of better physical properties, their oil-bearing properties are poor, with most wells producing water.

Key words: enrichment factor, differential enrichment, reservoir distribution, Chang 6 Member, Yanchang Formation, Jiyuan area, Ordos Basin

鄂尔多斯盆地延长组6段(长6段)具有优质的烃源岩条件和广泛发育的厚层储集体,是盆地中生界石油勘探的主力目的层之一^[1]。姬塬地区三叠系长6期沉积相类型以三角洲前缘沉积为主,砂体发育,目前已发现大规模油藏^[2]。但是,随着勘探的深入,发现姬塬地区长6段油藏油-水分布关系复杂,油藏富集程度差异明显。主要表现在:①纵向上长6段上部长6¹亚段油藏相对富集,而临近烃源岩的中、下部长6²亚段和长6³亚段油藏富集程度较低;②姬塬西部和东部区块油藏较为富集,而中部油藏富集程度较低,以产水井为主。针对姬塬地区长6段油藏富集控制因素,前人做了较多研究,且取得了丰硕成果。但前期研究多侧重于沉积体系、储层和地层水等单一基础地质研究^[3-6],未对长6段油藏差异富集主控因素开展综合和系统的对比分析。鉴此,本文在大量钻井岩心观察和测井资料整理基础上,结合常规地质分析、包裹体和原油生标化合物等地球化学测试资料,对姬塬地区长6段油藏地质特征进行对比分析,深入剖析了油藏差异富集影响关键因素,以期为该区下一步油气勘探提供地质理论依据。

1 区域地质概况

受印支运动影响,晚三叠世鄂尔多斯盆地在沉积上实现了由海相和海-陆过渡相向陆相的根本性转变,使盆地自晚三叠世以来发育了一套完整和典型的陆相碎屑岩沉积体系^[7]。三叠系延长组沉积是在拗陷持续发展和稳定沉降过程中堆积的以河流-湖泊相为特征的陆源碎屑岩系,根据沉积岩性旋回特征,自下而上分为长10段—长1段共10个油层组^[8]。长7段油层组沉积期,鄂尔多斯湖盆进入鼎盛时期,深湖-半深湖范围最大,沉积了中生界最好的一套生油岩^[9],为上覆长6段油藏的形成提供了良好的物质基础。长6段油层组沉积期,湖盆开始收缩,沉积作用渐趋增强,三角洲建设作用活跃,为长6段油藏的形成提供了有利场所^[10-12]。

姬塬地区位于鄂尔多斯盆地中西部,横跨伊陕斜坡和天环坳陷两大构造单元(图1),是盆地主要的油气富集区之一^[13-15]。该区长6段厚度约为120~130 m,储集体岩性以细砂岩为主。依据沉积及旋回特征,自下而上分为长6³亚段、长6²亚段和长6¹亚段共3个亚段。根

据区内300余口井长6段试油资料统计结果,长6段油藏在纵向及平面上的分布差异性较大:纵向上,3个亚段均见工业油流井,其中上部长6¹亚段含油性最好,工业油流井最多;平面上,研究区中部储集体含油性较西、东部差,只发现零星的出油井点,多为出水井。为了突出研究对象的差异性,依据平面上长6段出油井和出水井的分布趋势,本文将研究区自西向东划分为西部、中部和东部3个区块进行对比分析研究(图1)。

2 油藏基本地质特征

2.1 油源特征

鄂尔多斯盆地中生界主力烃源岩主要为长7段和长9段的油页岩及暗色泥岩,张文正和杨华等^[16-19]已对其特征的差异性做了较多分析,本文不在赘述。通过对姬塬地区长6段14块含油砂岩的质谱和色谱测

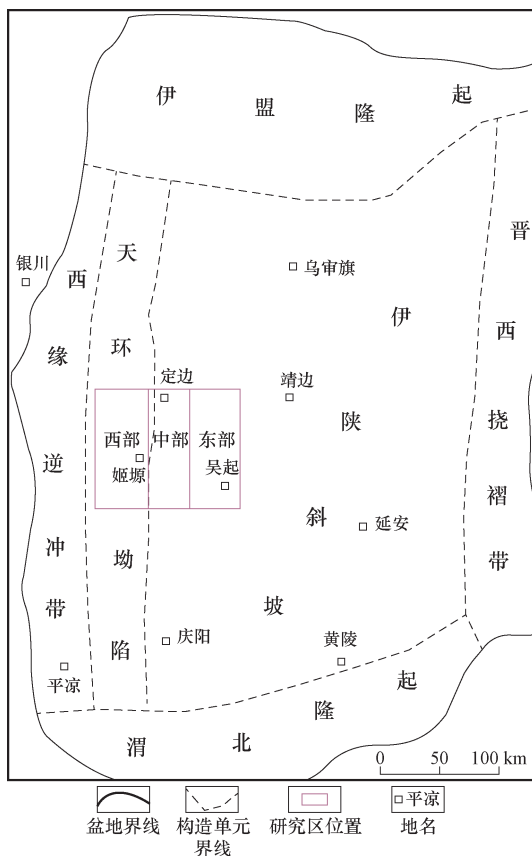


图1 鄂尔多斯盆地姬塬地区位置

Fig. 1 Tectonic location of Jiyuan area, Ordos Basin

力平均 1.37 MPa, 中值半径 0.16 μm 。储层物性总体较低, 孔隙度平均 9.8%, 渗透率平均 $0.39 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平面和垂向上差异性较大: 垂向上, 从长 6³ 亚段—长 6¹ 亚段, 喉道半径逐渐变大, 储层物性逐渐变好 (长 6³ 亚段储层平均孔隙度 8.6%, 渗透率 $0.28 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 长 6² 亚段储层平均孔隙度 10.3%, 渗透率 $0.54 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 长 6¹ 亚段储层平均孔隙度 11.2%, 渗透率 $0.71 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$); 同一层位物性在平面上也表现出一定的差异性, 长 6¹ 亚段储层物性差异最为明显。长 6¹ 亚段西部区块储层物性较好, 平均孔隙度 10.9%, 渗透率 $0.52 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。中部和东部物性最好 (中部平均孔隙度 11.4%, 渗透率 $0.92 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 东部平均孔隙度 11.6%, 渗透率 $0.78 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$); 长 6² 亚段和长 6³ 亚段储层物性在平面上的表现与长 6¹ 亚段相反, 西部物性好于东部和中部, 而中部和东部相差不大 (图 3)。

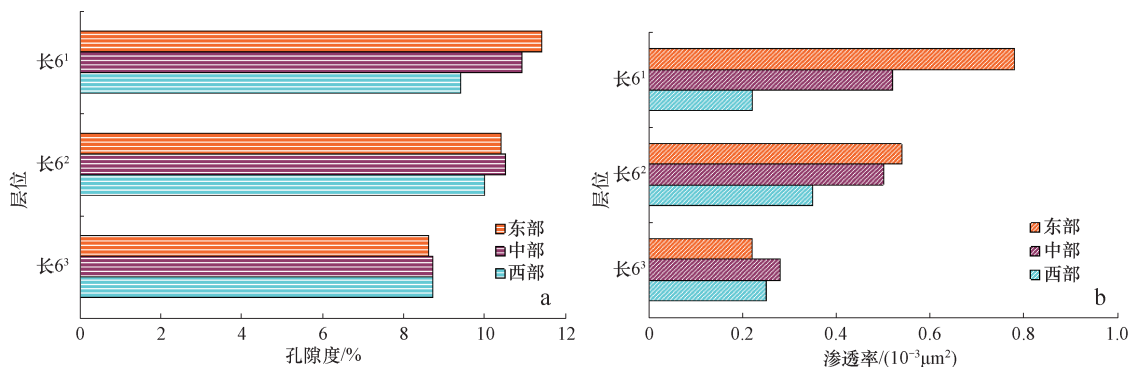


图3 鄂尔多斯盆地姬塬地区长6段储层孔隙度(a)和渗透率(b)统计

Fig. 3 Statistics of porosity (a) and permeability (b) of Chang 6 Member in Jiyuan area, Ordos Basin

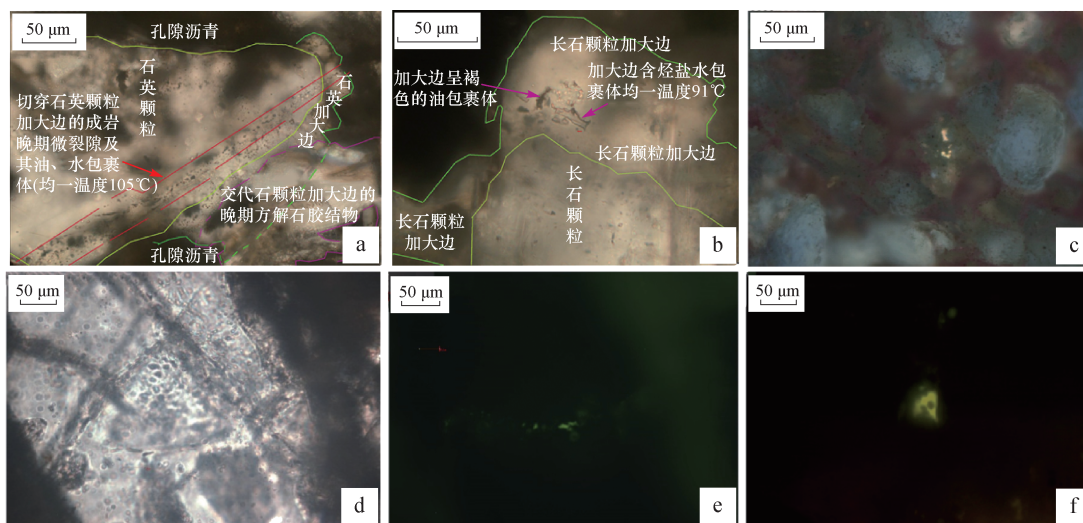


图4 鄂尔多斯盆地姬塬地区长6¹亚段储层流体包裹体特征

Fig. 4 Micrographs showing fluid inclusions of Chang 6¹ submember reservoir in Jiyuan area, Ordos Basin

a. 沿微裂隙成带分布的油和水包裹体, F7井, 埋深 2 210.7 m, 包裹体薄片, 单偏光; b. 长石加大边内侧中的褐色油包裹体, F7井, 埋深 2 210.7 m, 包裹体薄片, 单偏光; c. 石英颗粒内见发黄色荧光的单一液相的油包裹体, A104井, 埋深 1 968.0 m, 包裹体薄片, 荧光; d. 沿石英颗粒边部分布的水和烃类包裹体, Y63井, 埋深 2 024.1 m, 包裹体薄片, 单偏光; e. 石英颗粒边部显示蓝绿色荧光包裹体, 视域同 d, 包裹体薄片, 荧光; f. 沿切穿石英颗粒的微裂隙呈线状分布亮黄色液态烃类包裹体, C269井, 埋深 2 321.1 m, 包裹体薄片, 荧光

度和剥蚀发生时间等数据引自文献[32-34]。将包裹体均一温度值段投影到长6段埋藏-热演化史图(图6),从图中可看出,姬塬地区长6油藏的成藏时间约在早白垩世中、晚期。受分析样品限制,本研究未对研究区不同区块的主要充注时间进行分类统计分析。

2.4 油藏特征及分布

通过对研究区现有长6段油藏精细解剖,姬塬地区长6段油藏总体表现为油藏规模小和油-水关系复杂的特征。油藏在垂向和平面分布差异性较大。

1) 垂向分布特征

长6¹亚段、长6²亚段和长6³亚段均有不同程度的油气富集,从下部长6³亚段到上部长6¹亚段,油藏规模逐渐增大。现有500多井段试油数据显示,长6¹亚段出油井段占到62%,其油气富集程度在3个亚段中最高。

2) 平面分布特征

长6段油藏主要集中分布在西部和东部,呈带状分布,单井产量相对较高。西部油藏砂体发育(5~10 m),

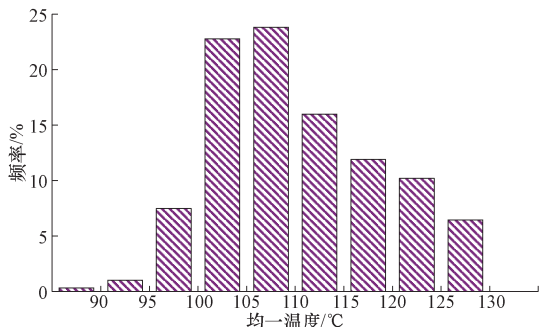


图5 鄂尔多斯盆地姬塬地区长6段储层均一温度分布

Fig. 5 Histogram showing homogeneous temperatures of Chang 6 Member, Jiyuan area, Ordos Basin

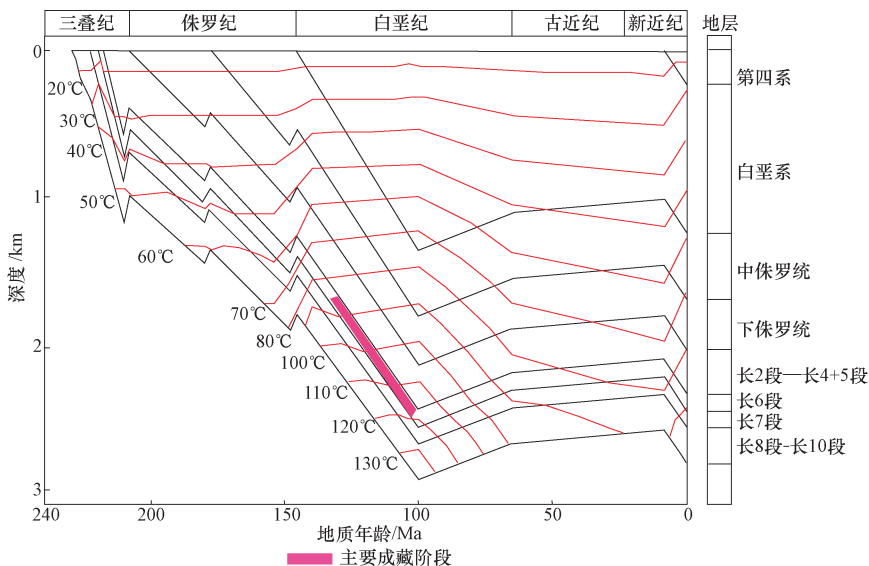


图6 鄂尔多斯盆地姬塬地区长6段储层埋藏热演化史及油气充注期次

Fig. 6 Burial-thermal evolution and hydrocarbon charging periods of the Chang 6 reservoirs in Jiyuan area, Ordos Basin

物性好,孔隙类型以次生溶蚀孔为主。油藏多为砂岩透镜体,横向上泥岩相变遮挡,试油多出纯油(图7);东部油藏砂体发育,叠加厚度大,储层物性较好,孔隙度为8.0%~14.0%,平均孔隙度为11.4%,渗透率为 $(0.10 \sim 0.90) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均渗透率为 $0.78 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,多为上倾方向泥岩相变遮挡或储层致密遮挡形成岩性油藏,试油多为油水同出(图7);中部区块为双物源交汇区,砂体总厚度较大,但纵向隔层多,连通性差,孔隙类型以粒间孔为主。油藏规模小,横向变化快,试油多为出水井(图7)。

3 油藏差异富集影响关键因素

3.1 优质烃源岩横向展布控制了油藏的平面分布

晚三叠世延长期,鄂尔多斯盆地受区域印支运动影响,湖盆快速扩张,形成了盆地中生界较大范围的深湖-半深湖相的优质暗色长7段泥岩,为盆地中生界油藏提供了丰富的烃源条件。姬塬地区位于湖盆深水区,烃源岩厚度大,有机质丰度高,平均有机碳含量(TOC)达5.79%,平均镜质体反射率(R_o)值为0.93%,有机质类型好,为I—II₁型,氯仿沥青“A”含量为 $(0.04 \sim 1.17) \times 10^{-6}$,平均 0.52×10^{-6} 。研究区烃源岩虽整体较好,但在区域分布上存在明显的差异性。西部烃源岩品质明显优于东部和中部。西部烃源岩厚度大,普遍大于40 m,TOC平均达10.80%;中部和东部烃源岩厚度薄,TOC较低(东部为2.80%,中部为3.80%)。结合目前勘探成果(图8)分析,优质烃源岩横向展布在一定程度上控制了研究区长6段油藏的平面展布。

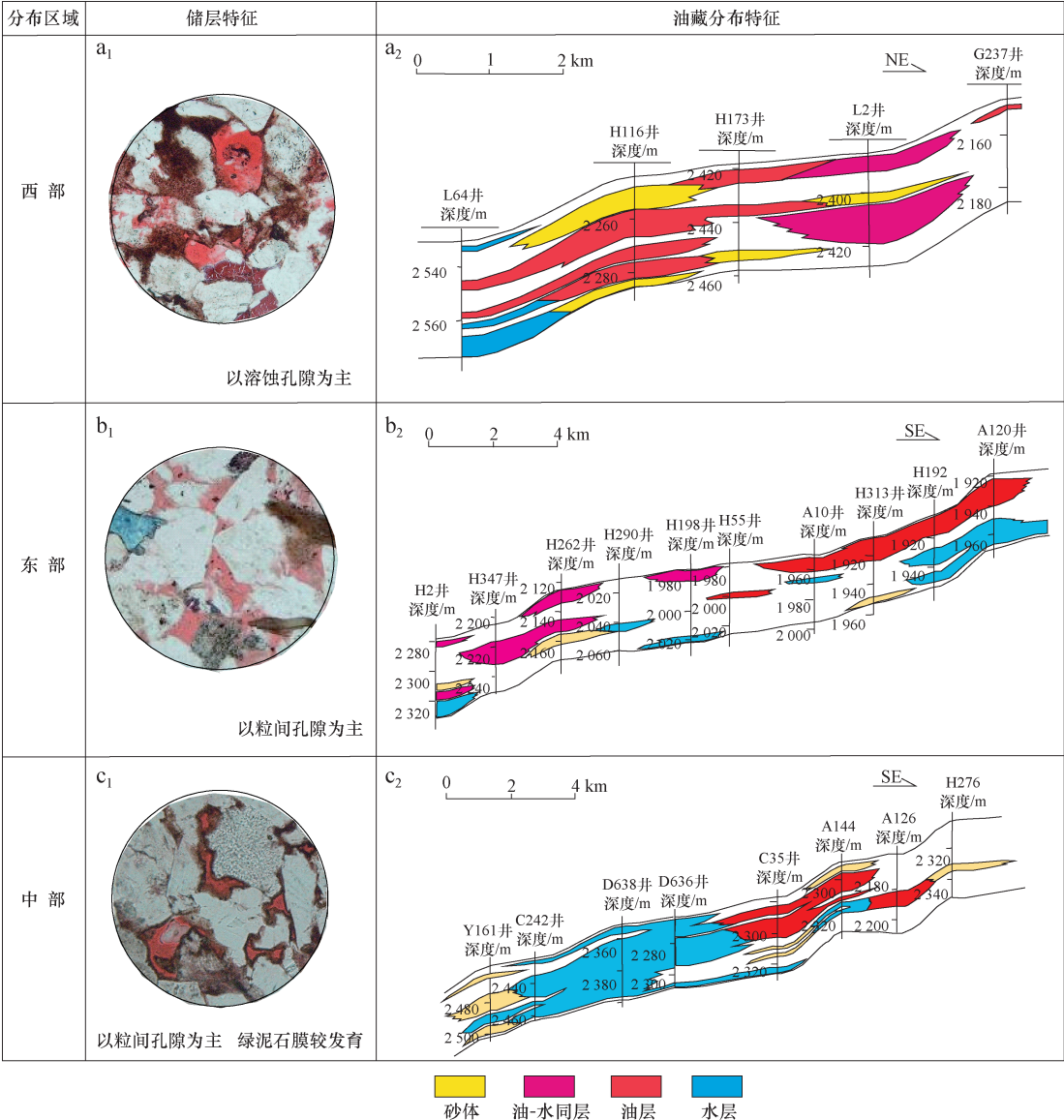


图 7 鄂尔多斯盆地姬塬地区长 6¹ 亚段油藏剖面

Fig. 7 Reservoir profile of Chang 6¹ submember in Jiyuan area, Ordos Basin

3.2 优势砂体控制了油藏的展布

通过精细砂体解剖,研究区长 6 段砂体受沉积类型控制,砂体结构呈多样组合发育特征,砂体垂向结构主要发育 3 种类型,其电性特征和砂体组合特征(图 9)。

长 6 期鄂尔多斯湖盆逐渐开始萎缩,自下部长 6³ 亚段—上部长 6¹ 亚段,深湖—半深湖范围逐渐向南退却,三角洲沉积作用逐渐增强,砂体厚度及横向分布规模逐渐增大。研究区为双物源控制区,西部区块距西部物源近,长 6 期表现为进积型沉积,下部长 6³ 亚段和长 6² 亚段主要处于三角洲前缘沉积环境,发育河口坝和水下分流河道砂体,砂体规模小,单砂体厚度 3 ~ 8 m,多期叠置厚度 10 ~ 20 m,泥质夹层较发育,砂体类型主要为 II 类,横向连通性差。至长 6¹ 亚段,湖岸

线向南推进,沉积环境为三角洲平原及三角洲前缘,水下分流河道砂体尤为发育,纵向上表现为多期砂体叠置,单砂体厚度 5 ~ 10 m,砂体类型以 I 类为主,横向分布稳定,延伸较远(图 10a);东部区块隶属于陕北复合三角洲,处于三角洲前缘亚相的中前段沉积环境,水下分流河道大面积发育,从长 6³ 亚段—长 6¹ 亚段,随着湖盆的不断缩小,三角洲不断进积,纵向砂体叠置较好,厚度较大,砂体类型主要为 I 类和 II 类,横向规模大,连片性好, I 类砂大面积发育(图 10b);中部区块为双物源沉积交汇区,河口坝和远砂坝砂体较发育,砂体总厚度虽较大,但纵向单砂体厚度薄、层数多,隔夹层发育,横向连续性差,砂体比较孤立,多为 II 类及 III 类砂(图 10c)。勘探成果证实,姬塬地区长 6 段油藏展布受优势砂体控制明显,砂体结构和油藏具有良好

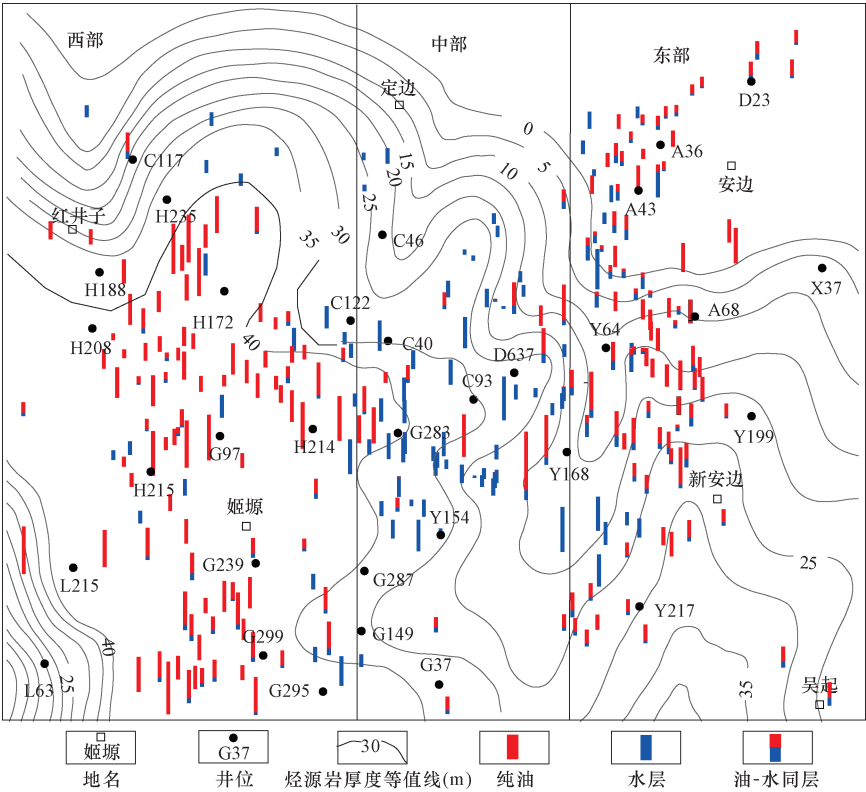


图 8 鄂尔多斯盆地姬塬地区长 6 段油井分布与长 7 段烃源岩叠合图

Fig. 8 Source rock isopach of Chang 7 Member with production test results of wells in Chang 6 Member overlaid, Jiyuan area, Ordos Basin

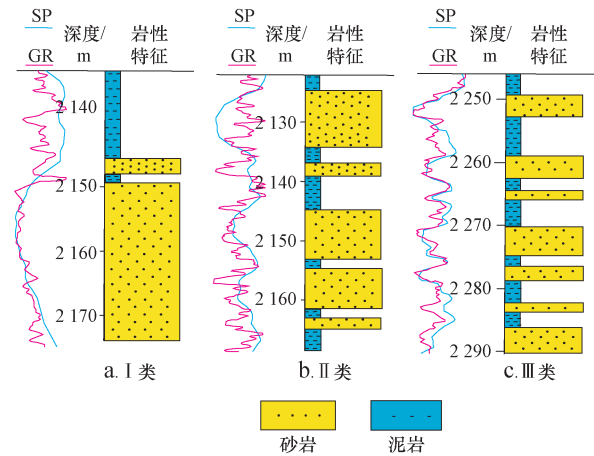


图 9 鄂尔多斯盆地姬塬地区长 6 段砂体结构

Fig. 9 Sand body structures of Chang 6 Member in Jiyuan area, Ordos Basin

(I类:多期砂叠置厚层型; II类:厚砂、薄砂与泥岩互层型; III类:薄砂与泥岩互层型。)

配置关系。I类、II类砂体厚度大,横向砂体规模大,连通性好,利于石油的富集成藏,III类砂体规模较小,连片性差,不利于石油富集成藏。

3.3 相对高渗区控制了油藏高产富集区的分布

姬塬地区长 6 段储层总体表现为低孔、低渗特征。

由于不同沉积环境形成的砂体结构不同,具有差异的孔隙结构及物性特征,在低渗背景下局部发育相对高渗区。勘探实践证明,储层物性对砂体的含油性具有一定的控制作用,石油高产富集区主要发育在相对高渗区带。

镜下荧光薄片和物性分析,物性差的砂岩含油性差,荧光强度弱(图 11e,f)。反之,物性相对较好的储集体含油性好,镜下观察荧光显示好,呈较强的黄绿色分布在孔隙中(图 11g)。

以试油井段较多的长 6¹ 亚段为例,长 6¹ 亚段储集体物性与试油产量具有较好的正相关性,物性好的储层含油饱和度较高,高产井段的物性较低产井段的物性好,产油井的物性好于产水井(表 1)。

为了更详细的说明储层物性与含油性的关系,本研究以西部区块 H116 井区及 H55 井为实例进行说明。H116 井区中 H116 和 H196 井试油井段为同一层砂,砂厚及砂体结构差异不大,试油结果却存在明显的差异。试油产量低的井段物性相对较差(H196 井,孔隙度为 13.1%,渗透率为 $0.78 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$),而产量高的井段物性相对较好(H116 井孔隙度为 14.8%,渗透率为 $0.82 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)(图 12)。

H55 井位于姬塬地区西部,其长 6¹ 亚段 2 333.0 ~ 2 343.0 m 井段和长 6² 亚段 2 364.2 ~ 2 371.5 m 井段

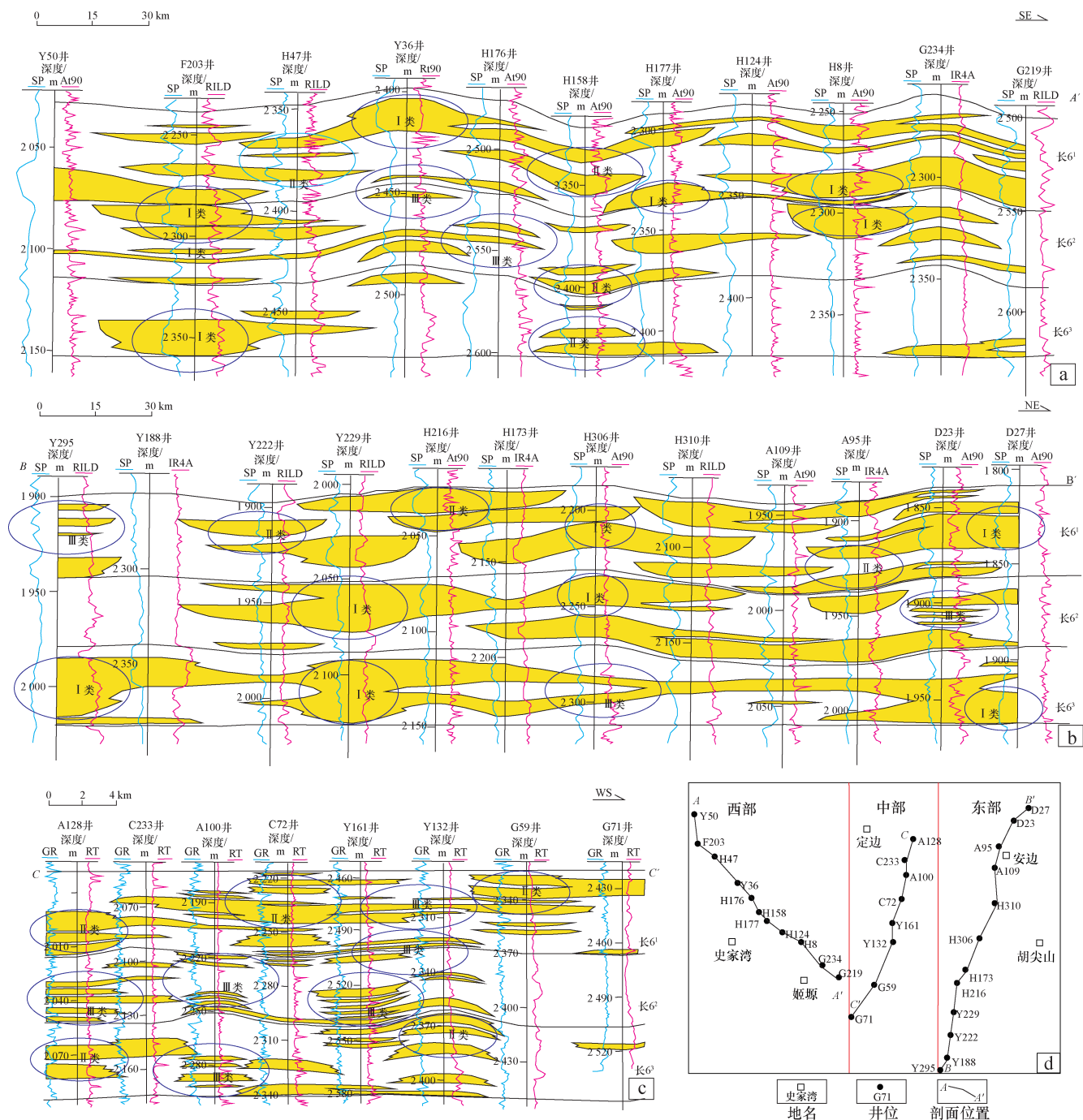


图 10 鄂尔多斯盆地姬塬地区长 6 段砂体剖面

Fig. 10 Sand body profiles of Chang 6 Member in Jiyuan area, Ordos Basin

a. Y50 井—G219 井长 6 段砂体剖面; b. Y295 井—D27 井长 6 段砂体剖面; c. A128 井—G71 井长 6 段砂体剖面; d. 剖面位置
(I 类: 多期砂叠置厚层型; II 类: 厚砂、薄砂与泥岩互层型; III 类: 薄砂与泥岩互层型。)

砂体结构及规模差别不大,都为 I 类砂,测井解释均为油层,但长 6¹ 亚段试油产量为 26.44 t/d,长 6² 亚段试油产量为 16.15 t/d,差异较大。对这两个井段的物性统计分析,长 6¹ 亚段试油段物性(平均孔隙度 11.1%,渗透率 $0.62 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)较长 6² 亚段试油段(平均孔隙度 10.2%,渗透率 $0.42 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)好。长 6¹ 亚段

和长 6² 亚段内含油性好的砂岩物性好于不含油砂岩。依据目前勘探成果(图 13)分析,储层物性好的区域为有利成藏区带,物性在一定程度上控制油藏展布。需要说明一点,研究区中部区块物性虽较好,但受烃源条件及砂体条件影响,其含油性较东部、西部区块差。

表 1 鄂尔多斯盆地姬塬地区长 6¹ 亚段各类油井与物性、含油饱和度对比
Table 1 Comparison of various oil wells in terms of oil saturation and physical property in Chang 6¹ submember in Jiyuan Area, Ordos Basin

试油井产量类别/t	孔隙度/%	渗透率/(10 ⁻³ μm ²)	含油饱和度/%	含水饱和度/%	产油量/(t·d ⁻¹)	产水量/(m ³ ·d ⁻¹)
>20	12.47	1.04	33.24	32.09	23.37	0
10~20	12.00	0.83	29.29	38.35	11.60	1.22
4~10	11.93	0.79	24.57	40.10	5.59	5.22
0~4	11.83	0.59	22.40	43.70	1.17	9.67
产水井	11.71	0.55	21.54	44.79	0.03	16.35

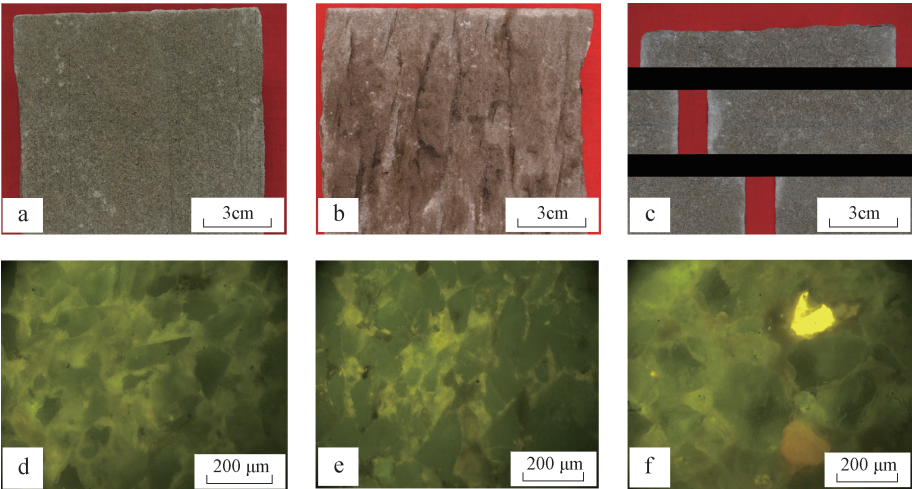


图 11 鄂尔多斯盆地姬塬地区长 6¹ 亚段储集体含油性 with 荧光特征

Fig. 11 Oil-bearing property and fluorescence of Chang 6¹ submember, reservoirs in Jiyuan area, Ordos Basin
a. G271 井, 孔隙度 13.2%, 渗透率 0.16 × 10⁻³ μm², 含油性: 油斑, 埋深 2 271.48 m, 岩心; b. H246 井, 孔隙度 12.3%, 渗透率 0.47 × 10⁻³ μm², 含油性: 灰褐色原油侵染, 不均匀状含油, 埋深 2 085.30 m, 岩心; c. C136 井, 孔隙度 13.7%, 渗透率 0.64 × 10⁻³ μm², 含油性: 灰褐色原油侵染, 斑块状含油, 埋深 2 505.07 m, 岩心; d. 视域 a, 中等强度黄绿色荧光薄片, 荧光; e. 视域 b, 中等强度黄绿色荧光薄片, 荧光; f. 视域 c, 较强的黄色荧光薄片, 荧光

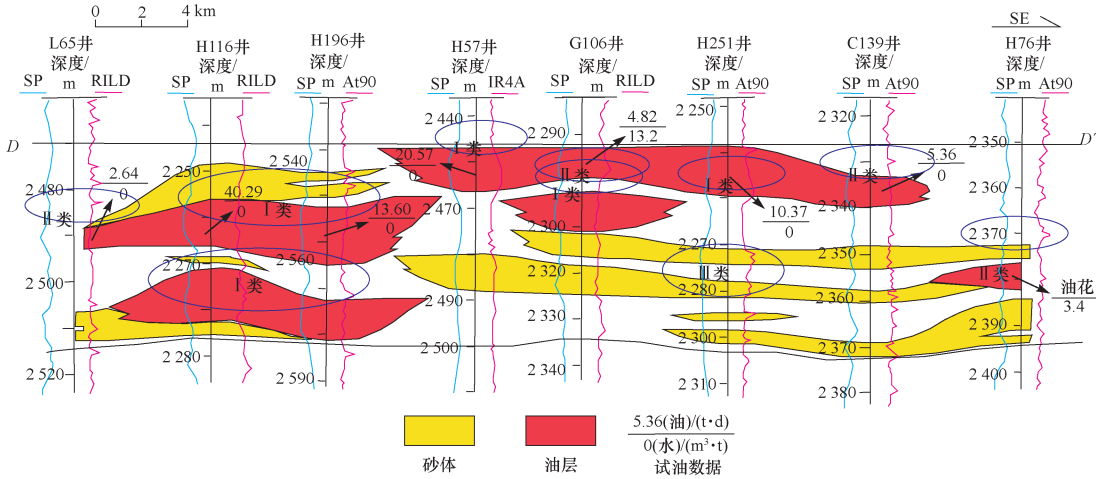


图 12 鄂尔多斯盆地姬塬地区 L65—H76 井长 6¹ 亚段油藏剖面(剖面位置见图 13a)

Fig. 12 Reservoir section of Chang 6¹ submember across Well L65 to Well H76 in Jiyuan area, Ordos Basin (see Fig. 13a for the section location)
(I 类:多期砂叠置厚层型; II 类:厚砂、薄砂与泥岩互层型; III 类:薄砂与泥岩互层型。)

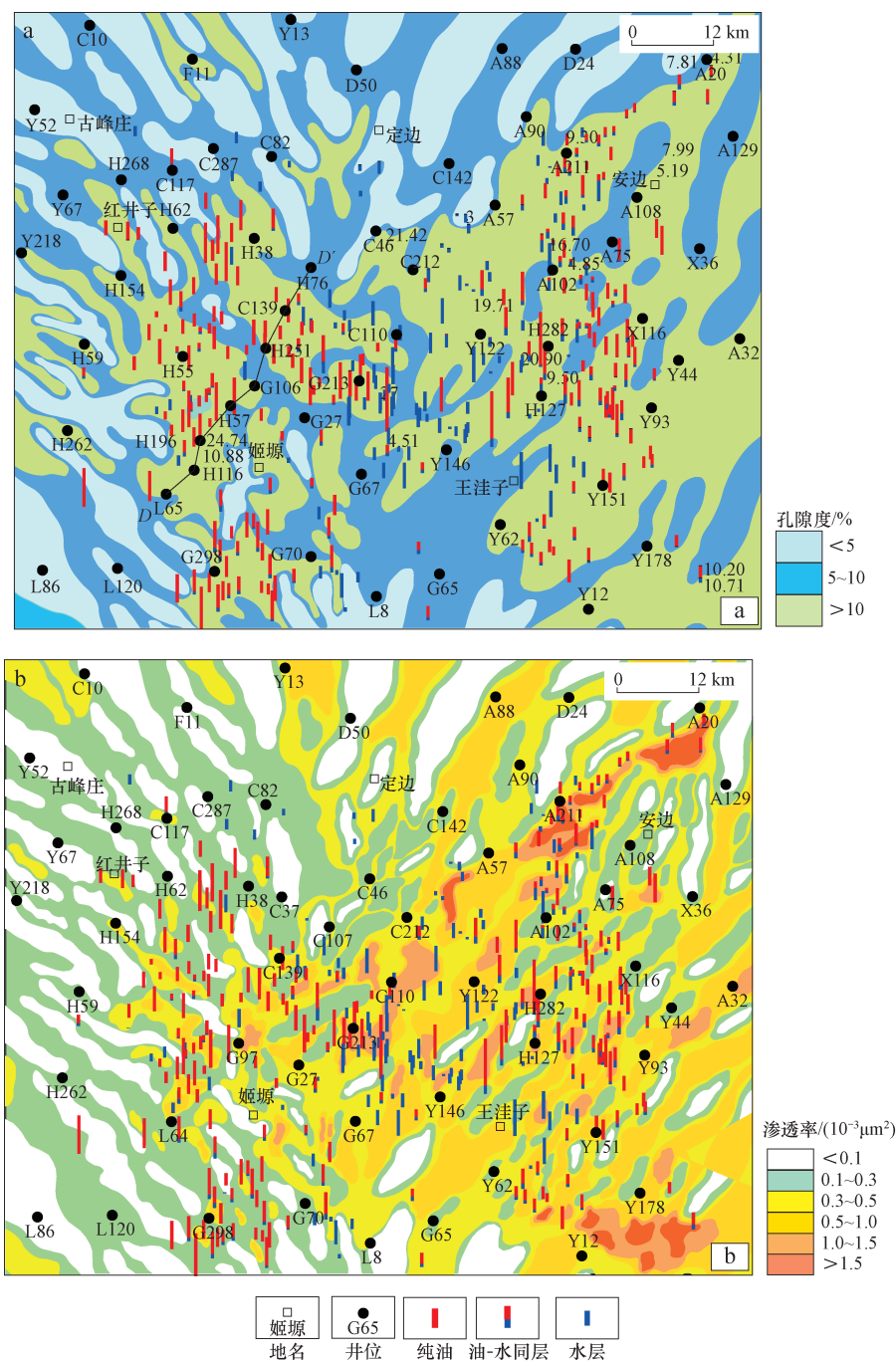


图13 鄂尔多斯盆地姬塬地区长6¹亚段孔隙度(a)、渗透率(b)与试油柱叠合图

Fig. 13 Porosity (a) and permeability (b) maps with production test results overlaid of Chang 6¹ submember in Jiyuan area, Ordos Basin

4 结论

1) 鄂尔多斯盆地姬塬地区长6段岩石类型以细粒长石砂岩和岩屑长石砂岩为主。储层填隙物含量高,孔喉结构好,孔隙类型以原生粒间孔及次生溶孔为主。储层物性总体较低,在平面和垂向上表现出较大的差异性:垂向上,长6¹亚段喉道半径较大,储层物性最好;平面上东部、西部和中部整体物性差别不大,但

同一亚段储层物性在平面上的差异性较大。

2) 鄂尔多斯盆地姬塬地区长6段原油来自下伏长7段烃源岩,但东部和西部原油甾烷质谱图分布特征存在细微差异,原油母质组成不同。具有C₂₇甾烷优势的西部原油的油源主要以低等水生藻类为主,而具有C₂₉甾烷优势的东部原油的油源中高等植物的贡献较多,说明原油在平面上未发生大规模的运移。西部烃源厚度和TOC值明显优于中部和东部。

3) 鄂尔多斯盆地长6期为鄂尔多斯湖盆萎缩期,

从长6³亚段—长6¹亚段沉积期,深湖—半深湖范围逐渐向南退却,三角洲沉积作用逐渐增强,砂体厚度及横向分布规模逐渐增大,储层物性逐渐变好,其含油性也随之变好。研究区东部和西部单砂层厚度大,砂体类型好,泥质夹层少,纵向及横向连通性好,是利成藏区块;中部砂体总厚度较大,但单砂层厚度小且多,砂体类型较差,泥质夹层较多,储层非均质性差,不利于油气聚集成藏。

参 考 文 献

- [1] 国吉安,庞军刚,王桂成,等.鄂尔多斯盆地晚三叠世延长组湖盆演化及石油聚集规律[J].世界地质,2010,29(2):277-283.
Guo Jian, Pang Jungang, Wang Guicheng, et al. Lake basin evolution and petroleum accumulation of Late Triassic Yanchang Formation in Ordos Basin[J]. Global Geology, 2010, 29(2): 277-283.
- [2] 任大忠,孙卫,黄海,等.鄂尔多斯盆地姬塬油田长6致密砂岩储层成因机理[J].地球科学,2016,41(10):1735-1739.
Ren Dazhong, Sun Wei, Huang Hai, et al. Formation mechanism of Chang 6 tight sandstone reservoir in Jiyuan Oilfield, Ordos Basin[J]. Earth Science, 2016, 41(10): 1735-1739.
- [3] 公繁浩,鲍志东,季汉成,等.鄂尔多斯盆地姬塬地区上三叠统长6段储层成岩非均质性[J].吉林大学学报(地球科学版),2011,41(3):639-646.
Gong Fanhao, Bao Zhidong, Ji Hancheng, et al. Study on the reservoir diagenesis heterogeneity of Chang 6 Member of Upper Triassic in Jiyuan area of Ordos Basin[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2011, 41(3): 639-646.
- [4] 李阳,李树同,牟伟卫,等.鄂尔多斯盆地姬塬地区长6段致密砂岩中黏土矿物对储层物性的影响[J].天然气地球科学,2017,28(7):1043-1053.
Li Yang, Li Shutong, Mou Weiwei, et al. Influences of clay minerals on physical properties of Chang 6 tight sandstone reservoir in Jiyuan area, Ordos Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2017, 28(7): 1043-1053.
- [5] 李士祥,楚美娟,王腾飞,等.鄂尔多斯盆地姬塬地区延长组长6油层组地层水特征与油藏聚集关系[J].中国石油勘探,2017,22(5):43-53.
Li Shixiang, Chu Meijuan, Wang Tengfei, et al. Features of formation water and implications for hydrocarbon accumulation in Chang 6 pay zone, Jiyuan area, Ordos Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2017, 22(5): 43-53.
- [6] 王西强,舒成龙,高雪,等.对鄂尔多斯盆地三叠系延长组传统地层划分方案的反思:以姬塬油田罗38区、罗211区为例[J].大庆石油地质与开发,2020,39(6):21-30.
Wang Xiqiang, Shu Chenglong, Gao Xue, et al. Reflection on the traditional stratigraphic division program for Triassic Yanchang Formation in Ordos Basin: A case of Block Luo-38 and Luo-211 of Jiyuan Oilfield[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2020, 39(6): 21-30.
- [7] 范柏江,梅启亮,王小军,等.泥岩与页岩地化特征对比——以鄂尔多斯盆地安塞地区延长组7段为例[J].石油与天然气地质,2020,41(6):1119-1128.
Fan Bojiang, Mei Qiliang, Wang Xiaojun, et al. Geochemical comparison of mudstone and shale——A case study of the 7th member of Yanchang Formation in Ansai area, Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2020, 41(6): 1119-1128.
- [8] 鞠玮,尤源,冯胜斌,等.鄂尔多斯盆地延长组长7油层组致密砂岩储层层理缝特征及成因[J].石油与天然气地质,2020,41(3):596-605.
Ju Wei, You Yuan, Feng Shengbin, et al. Characteristics and genesis of bedding-parallel fractures in tight sandstone reservoirs of Chang 7 oil layer, Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2020, 41(3): 596-605.
- [9] 张文正,杨华,杨奕华,等.鄂尔多斯盆地长7优质烃源岩的岩石学、元素地球化学特征及发育环境[J].地球化学,2008,37(1):59-64.
Zhang Wenzheng, Yang Hua, Yang Yihua, et al. Petrology and element geochemistry and development environment of Yanchang Formation Chang-7 high quality source rocks in Ordos Basin[J]. Geochimica, 2008, 37(1): 59-64.
- [10] 席胜利,刘新社,王涛.鄂尔多斯盆地中生界石油运移特征分析[J].石油实验地质,2004,26(3):229-235.
Xi Shengli, Liu Xinshe, Wang Tao. Analysis on the migration characteristics of the Mesozoic petroleum in the Ordos Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2004, 26(3): 229-235.
- [11] 付锁堂,姚泾利,李士祥,等.鄂尔多斯盆地中生界延长组陆相页岩油富集特征与资源潜力[J].石油实验地质,2020,42(5):698-710.
Fu Suotang, Yao Jingli, Li Shixiang, et al. Enrichment characteristics and resource potential of continental shale oil in Mesozoic Yanchang Formation, Ordos Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2020, 42(5): 698-710.
- [12] 高辉,朱耿博,王泓懿,等.鄂尔多斯盆地延长组长6致密砂岩储层微观孔喉特征差异及其成因[J].石油与天然气地质,2019,40(2):302-312.
Gao Hui, Zhugeng Bolun, Wang Xuanyi, et al. Differences and origin of micro-pore throat characteristics for tight sandstone reservoir of Yanchang Formation, Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2019, 40(2): 302-312.
- [13] 于波,吴起,定边地区上三叠统延长组长7—长9储层特征研究[J].岩性油气藏,2011,23(5):16-20.
Yu Bo. Characteristics of Chang 7- Chang 9 reservoir group of Triassic in Wuqi and Dingbian area[J]. Lithologic Reservoirs, 2011, 23(5): 16-20.
- [14] 桑轼轍,邓宝康,马振宇,等.鄂尔多斯盆地吴起油田长6³储层非均质性研究[J].石油地质与工程,2020,34(2):86-89.
Sang Shizhe, Deng Baokang, Ma Zhenyu, et al. Study on heterogeneity of Chang 6³ reservoir in Wuqi oilfield in Ordos Basin[J]. Petroleum Geology & Engineering, 2020, 34(2): 86-89.
- [15] 姚泾利,李勇,陈世加,等.定边—吴起地区长6₁储层特征及其对含油性的控制[J].岩性油气藏,2018,30(4):1-9.
Yao Jingli, Li Yong, Chen Shijia, et al. Reservoir characteristics of Chang 6₁ and its control on oil-bearing ability in Dingbian-Wuqi area, Ordos Basin[J]. Lithologic Reservoirs, 2018, 30(4): 1-9.
- [16] 张文正,杨华,候林慧,等.鄂尔多斯盆地延长组不同烃源岩17 α (H)-重排藿烷的分布及其地质意义[J].中国科学D辑:地球

- 科学,2009,39(10):1438-1445.
- Zhang Wenzheng, Yang Hu, Hou Linhui, et al. Distribution and geological significance of $17\alpha(\text{H})$ -diahopanes from different hydrocarbon source rocks of Yanchang Formation in Ordos Basin[J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2009, 39(10): 1438-1445.
- [17] 时保宏,姚泾利,张艳,等.鄂尔多斯盆地延长组长9油层组成藏地质条件[J].石油与天然气地质,2013,34(3):294-300.
- Shi Baohong, Yao Jingli, Zhang Yan, et al. Geologic conditions for hydrocarbon accumulation in Chang-9 oil reservoir of the Yanchang Formation, Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(3): 294-300.
- [18] 刘学珍,杨迎春,周翔.鄂尔多斯盆地代家坪地区延长组原油成因及成藏期次[J].新疆石油地质,2019,40(4):414-421.
- Liu Xuezhen, Yang Yingchun, Zhou Xiang. Genesis and accumulation periods of oil in Yanchang Formation of Daijiaping area, Ordos Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2019, 40(4): 414-421.
- [19] 张文正,杨华,李善鹏.鄂尔多斯盆地长9¹湖相优质烃源岩成藏意义[J].石油勘探与开发,2008,35(5):557-562.
- Zhang Wenzheng, Yang Hua, Li Shanpeng. Hydrocarbon accumulation significance of Chang 9¹ high-quality lacustrine source rocks of Yanchang Formation, Ordos Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(5): 557-562.
- [20] 罗丽荣,咎川莉,吴凯,等.姬塬地区延长组原油地球化学特征及油源分析[J].石油化工应用,2013,32(7):76-82.
- Luo Lirong, Zan Chuanli, Wu Kai, et al. Geochemistry and origin of crude oils of the Yanchang Formation in Jiuyan area[J]. Petrochemical Industry Application, 2013, 32(7): 76-82.
- [21] 陆骋.鄂尔多斯盆地彬长区块延长组原油地球化学特征及成因分析[J].石油地质与工程,2020,34(5):25-29.
- Lu Cheng. Geochemical characteristics and cause analysis of crude oil from Yanchang Formation in Binchang Block, Ordos Basin[J]. Petroleum Geology & Engineering, 2020, 34(5): 25-29.
- [22] 王志峰,包建平.柴北缘冷湖构造带与马北油田原油地球化学特征对比[J].地球科学与环境学报,2017,39(5):683-694.
- Wang Zhifeng, Bao Jianping. Comparisons of geochemical characteristics of crude oils from Lenghu structure zone and Mabei oil field in the northern Qaidam Basin[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2017, 39(5): 683-694.
- [23] 黄彦杰,耿继坤,白玉彬,等.鄂尔多斯盆地富县地区延长组长6、长7段原油地球化学特征及油源对比[J].石油实验地质,2020,42(2):281-288.
- Huang Yanjie, Geng Jikun, Bai Yubin, et al. Geochemical characteristics and oil-source correlation of crude oils in 6th and 7th members of Yanchang Formation, Fuxian area, Ordos Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2020, 42(2): 281-288.
- [24] 包建平,朱翠山,倪春华.北部湾盆地不同凹陷原油生物标志物分布与组成特征[J].沉积学报,2007,25(4):646-652.
- Bao Jianping, Zhu Cuishan, Ni Chunhua. Distribution and composition of biomarkers in crude oils from different sags of Beibuwan Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25(4): 646-652.
- [25] 程鹏,肖贤明,田辉,等.成熟度对陆相烃源岩可溶有机质 Pr/Ph 比值的影响[J].沉积学报,2014,32(1):182-188.
- Cheng Peng, Xiao Xianming, Tian Hui, et al. Effects of maturity on the Pr/Ph ratio of the soluble organic matters in the Terrestrial source rocks[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2014, 32(1): 182-188.
- [26] 付金华,邓秀芹,楚美娟,等.鄂尔多斯盆地延长组深水岩相发育特征及其石油地质意义[J].沉积学报,2013,31(5):928-938.
- Fu Jinhua, Deng Xiuqin, Chu Meijuan, et al. Features of deepwater lithofacies, Yanchang Formation in Ordos Basin and its petroleum significance[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2013, 31(5): 928-938.
- [27] 付金华,高振中,牛小兵,等.鄂尔多斯盆地环县地区上三叠统延长组长6₃砂层组沉积微相特征及新认识[J].古地理学报,2012,14(6):695-706.
- Fu Jinhua, Gao Zhenzhong, Niu Xiaobing, et al. Sedimentary microfacies characteristics and new understandings of the Upper Triassic Yanchang Formation Chang 6₃ interval in Huanxian area in Ordos Basin[J]. Journal of Palaeogeography, 2012, 14(6): 695-706.
- [28] 时保宏,李荣堃,田雯,等.鄂尔多斯盆地姬塬地区延长组长9₁段储层差异性特征及成因[J].中国石油大学学报(自然科学版),2019,43(4):1-10.
- Shi Baohong, Li Rongkun, Tian Wen, et al. Differences of characteristics and genetic of reservoirs in Chang 9₁ of Yanchang Formation in Jiuyan[J]. Journal of China University of Petroleum, 2019, 43(4): 1-10.
- [29] 王昌勇,郑荣才,王海红,等.鄂尔多斯盆地姬塬地区长6油层组物源区分析[J].沉积学报,2008,26(6):933-938.
- Wang Changyong, Zheng Rongcai, Wang Haihong, et al. Provenance analysis of Chang-6 oil reservoir set in Jiuyan region in Ordos Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2008, 26(6): 933-938.
- [30] 欧光习,李林强,孙玉梅.沉积盆地流体包裹体研究的理论与实践[J].矿物岩石地球化学通报,2006,25(1):1-10.
- Ou Guangxi, Li Linqiang, Sun Yumei. Theory and application of the fluid inclusion research on the sedimentary basins[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2006, 25(1): 1-10.
- [31] 陈红汉.油气成藏年代学研究进展[J].石油与天然气地质,2007,28(2):143-150.
- Chen Honghan. Advances in geochronology of hydrocarbon accumulation[J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(2): 143-150.
- [32] 柳少波,顾家裕.包裹体在石油地质研究中的应用与问题讨论[J].石油与天然气地质,1997,18(4):326-331.
- Liu Shaobao, Gu Jiayu. Application of fluid inclusions to petroleum geological study and discussion[J]. Oil & Gas Geology, 1997, 18(4): 326-331.
- [33] 陈瑞银,罗晓容,赵文智,等.鄂尔多斯盆地中生代热异常及烃源岩热演化特征[J].石油勘探与开发,2007,34(6):658-663.
- Chen Ruiyin, Luo Xiaorong, Zhao Wenzhi, et al. Thermal anomaly and thermal evolution of source rocks in Mesozoic, Ordos Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2007, 34(6): 658-663.
- [34] 任战利,赵重远,张军,等.鄂尔多斯盆地古地温研究[J].沉积学报,1994,12(1):56-65.
- Ren Zhanli, Zhao Chongyuan, Zhang Jun, et al. Research on paleotemperature in the Ordos Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1994, 12(1): 56-65.