

鄂尔多斯盆地延长组长9油层组成藏地质条件

时保宏¹,姚泾利²,张艳²,张雷²,杨亚娟²,李慧³

(1. 西安石油大学 地球科学与工程学院,陕西 西安 710065; 2. 中国石油长庆油田分公司 勘探开发研究院,陕西 西安 710018; 3. 中国石油长庆油田分公司 第七采油厂,陕西 西安 710018)

摘要:通过对鄂尔多斯盆地长9油层组成藏地质条件的分析,认为长9油藏的油源主要来自于上覆长7油层组和其本身两套烃源岩,但志丹地区长9油藏原油来源于长9烃源岩,无长7烃源岩的混入。长9油层组含油段主要集中在长9¹亚段,储集体主要发育于辫状河三角洲平原相分流河道砂体及三角洲前缘水下分流河道砂体,部分为半深湖亚相浊积岩砂体。长9储层的岩石类型主要为岩屑长石砂岩,以粒间孔为主,孔隙度、渗透率总体较低。平面上储层物性分布差异性较大,姬塬地区砂岩粒度粗,粒间孔发育,物性最好;而发育碳酸盐胶结物的洛川地区孔隙不发育,物性最差。根据源-储关系,长9油层组主要发育上生下储、自生自储两种成藏组合类型。据综合分析,姬塬地区成藏条件较好,为下一步勘探的最有利区。

关键词:成藏条件;长9油层组;延长组;鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE121.3 **文献标识码:**A

Geologic conditions for hydrocarbon accumulation in Chang-9 oil reservoir of the Yanchang Formation, Ordos Basin

Shi Baohong¹, Yao Jingli², Zhang Yan², Zhang Lei², Yang Yajuan², Li Hui³

(1. Xi'an Shiyou University, Xi'an, Shaanxi 710065, China; 2. Institute of Exploration and Development, PetroChina Changqing Oilfield Company, Xi'an, Shaanxi 710018, China; 3. The 7th Oil Plant, PetroChina Changqing Oilfield Company, Xi'an, Shaanxi 710018, China)

Abstract: This paper analyzes the geologic conditions of hydrocarbon accumulation in the Chang-9 reservoir of Ordos Basin. The oil in the Chang-9 reservoir is mixed oil sourced from both the overlying Chang-7 and Chang-9 itself. However, oil in the Chang-9 reservoir in Zhidan area is only sourced from Chang-9 source rocks, without any contribution from the Chang-7 source rocks. The oil mainly occurs in the first segment of Chang-9 oil reservoir. Reservoirs are mainly of distributary channel sandstone of braided river delta plain facies and underwater distributary channel sand of delta front facies, with some turbidites of semi-deep lake facies. Lithology of Chang-9 reservoir is dominated by lithic arkose with well-developed primary inter-granular pores, low porosity and permeability. The physical properties of the Chang-9 oil reservoirs show great lateral variation. In Jiyuan area, the sandstone feature in coarse grain, well-developed inter-granular pores and good poroperm characteristics. In contrast, in Luochuan area, the carbonate cemented sandstone has poor poroperm characteristics due to poor development of pores. According to the relationship between source rocks and reservoirs, two source rock-reservoir combination patterns were identified in Chang-9 oil reservoirs, i. e. "upper sourcing" pattern and "indigenously sourcing" pattern. Jiyuan area is the most favorable for further exploration based on comprehensive analysis.

Key words: accumulation condition, Chang-9 oil reservoir, Yanchang Formation, Ordos Basin

鄂尔多斯盆地油气资源丰富,经过不断的努力,发现了大批油气田,形成了南油北气的勘探开发格局。随着勘探的不断深入,石油勘探中的新层系、新领域逐渐被发现。近年来,石油预探着眼全盆地,深化延长组下部层系研究,加大甩开勘探力度,长9油层勘探不断

取得新的突破,展示了长9油层良好的勘探潜力。

1 地质概况

鄂尔多斯盆地是在华北克拉通古老基底基础上发

展起来的中、新生代沉积盆地。盆地地质构造稳定,具有整体上升、持续沉降、斜坡宽缓等特征。在晚三叠世延长期早期,盆地周缘相对抬升,形成面积大、水域广的大型鄂尔多斯湖盆^[1]。上三叠统延长组是盆地内陆湖盆形成后的第一套生储油岩系,根据岩性特征将其自下而上分为5段,10个油层组^[2-4]。延长组进入长9沉积期后,湖盆快速下沉,沉积了一套广泛湖侵背景下的产物。岩性以砂岩夹泥岩为主,由灰白色中细砂岩、灰黑色泥岩、灰色粉砂岩等不等厚互层组成。在长9油层组上部一般发育灰黑色油页岩,通称为“李家畔页岩”。

近年的勘探及研究表明,长9油藏规模一般较小,其油水分布关系较为复杂。本文就油源条件、沉积条件以及储集条件等成藏地质条件方面开展分析,为长9油藏的勘探与生产提供一定的地质依据。

2 成藏条件

2.1 油源条件

关于长9油藏的油源问题,前人就此也做了不少研究工作,并得出了较为一致的研究结果^[5-8]。但就盆地志丹地区长9油藏的油源存在一些争议。多数学者认为志丹地区长9油藏的油源为长9烃源岩,也有学者认为除了长9烃源岩外还有部分长7烃源岩的供给^[8]。

此次研究为了进一步明确盆地志丹地区长9油藏的油源问题,在前人研究得出的结论及成果基础上,笔者采集了长9油层组原油样品10件及含油岩心样品15块来分析生物标记化合物。

对比长9与长7生物标记化合物的特征来看,长7烃源岩中甾、萜类生物标记化合物的重排藿烷含量明显低于C₃₀藿烷,而长9烃源岩的重排藿烷含量则明显高于C₃₀藿烷;长7烃源岩中C₂₇,C₂₈,C₂₉规则甾烷呈现反“L”型分布特征,长9烃源岩则表现为接近“V”型分布特征(图1)。

长9原油(含油岩心)生物标记化合物分析结果表明:盆地志丹地区长9原油的生物标记化合物分布特征与长9烃源岩相似,17 α (H)-重排藿烷含量异常高,超过C₃₀藿烷,且Ts较Tm含量大很多,C₂₇,C₂₈,C₂₉规则甾烷呈接近“V”型分布特征。因此认为志丹地区长9原油来源于长9烃源岩,无长7烃源岩的混入。

2.2 沉积条件

长9沉积时,由于湖盆快速下沉,发生了延长组沉积过程中的第一次湖侵^[9]。受东北、西北及西南三大主要物源影响,盆地东北部主要发育曲流河相的三角洲沉积;盆地西南及西北部发育辫状河相的三角洲沉积。受湖岸线位置控制,在盆地东北部吴起、志丹等地发育湖泊浊积岩相(图2)。

岩心、测井曲线资料及试油成果资料等表明,长9油层组含油段集中在长9¹亚段,其储集体主要为辫状河三角洲平原相分流河道砂体及三角洲前缘水下分流河道砂体;部分出油井点位于长9湖盆中部即盆地志丹地区发育的半深湖相的浊积砂体。

2.2.1 分流河道砂体(辫状河三角洲平原亚相)

砂体岩性一般为粗-细粒砂岩,从下向上一般表

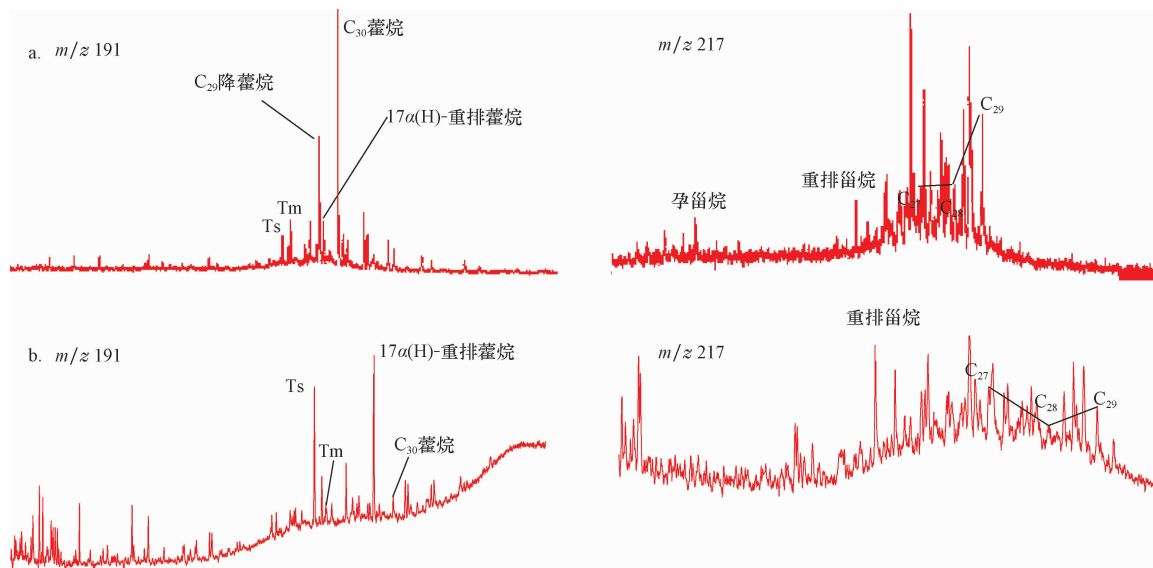


图1 鄂尔多斯盆地长7、长9烃源岩甾、萜烷生物标物分布特征对比

Fig. 1 Biomarker distribution comparison of hydrocarbon source rocks between Chang-7 and Chang-9 reservoirs in the Ordos Basin

a. Y153井,长7(2 215.00 m),烃源岩;b. D45井,长9(1 410.89 m),烃源岩

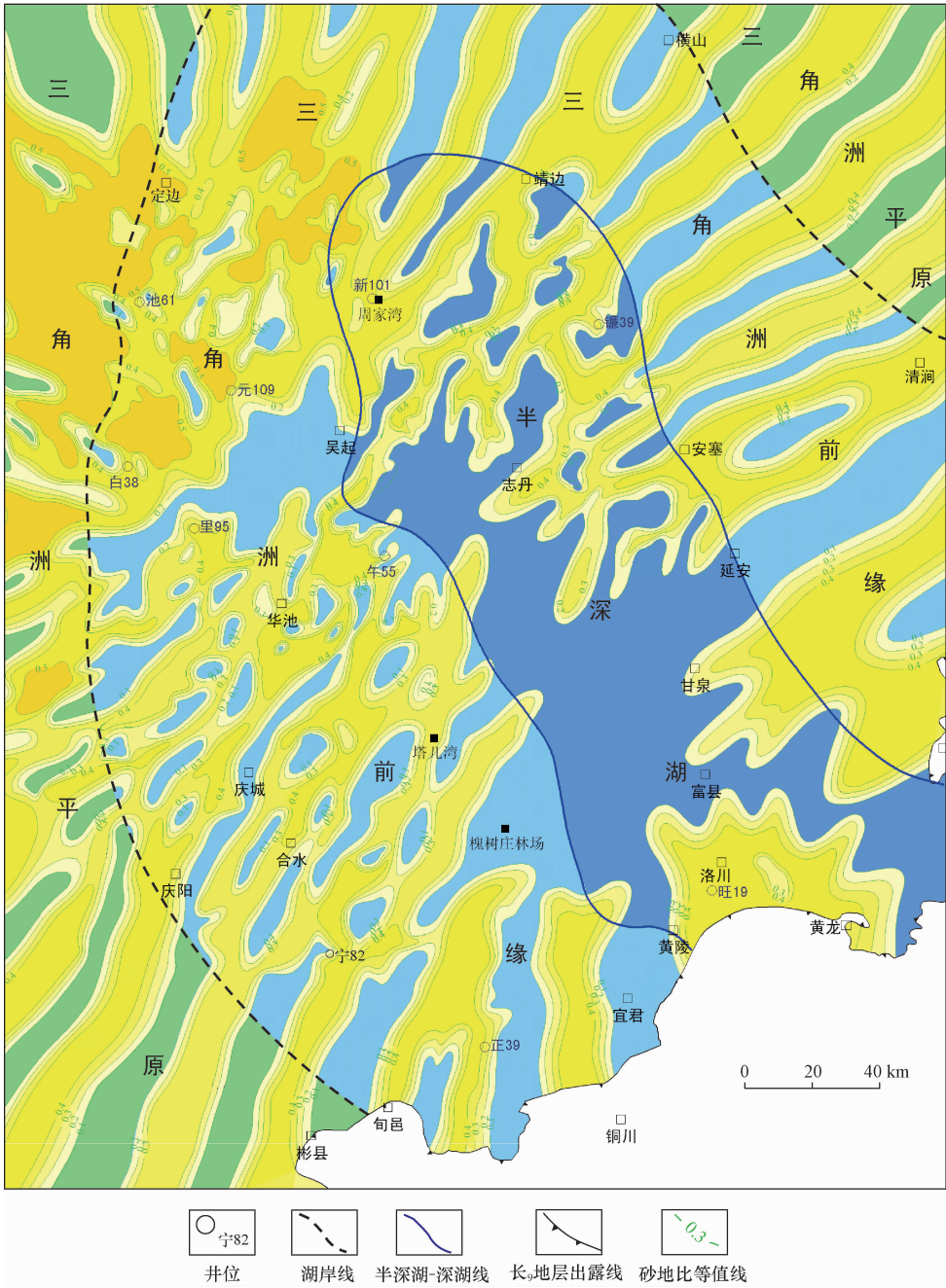


图 2 鄂尔多斯盆地延安组长 9¹ 沉积相

Fig. 2 Sedimentary facies of the Chang-9¹ oil reservoir in Yangchang Formation, the Ordos Basin

现为从粗变细,甚至粉砂级砂岩正韵律沉积序列(图 3)。单砂体厚度一般为 2~3 m,其成分成熟度及结构成熟度较低,电测曲线特征为中-高幅的箱型或钟形。砂体底部常发育冲刷面,见泥砾,发育块状、槽状板状交错层理等,反映较强水动力条件下沉积。

2.2.2 水下分流河道砂体(辫状河三角洲前缘亚相)

砂体岩性主要为灰、灰褐色、浅灰色中-细粒砂岩。纵向剖面具有下粗上细的正旋回特点(图 4),沉积构造自下而上有块状层理、板状交错层理、斜层理、沙纹层理及平行层理,底部有大量的泥砾,与分流间湾细粒沉积物冲刷接触。

2.2.3 浊积岩砂体(半深湖亚相)

前已述及,鄂尔多斯盆地进入长 9 期,下沉速度加快,出现了以“李家畔”页岩为代表的长 9 湖相沉积,但湖盆面积有限,主要分布于盆地东北部地区。相应的半深湖中发育浊积岩砂体,多形成滑塌浊积岩。纵向剖面上表现为其上下都被湖相泥岩孤立,呈透镜状分布。砂岩沉积构造以块状为主,常见包卷层理、变形层理等同生变形构造,局部发育不完整鲍玛层序(图 5)。总体来说,浊积砂体在平面上分布规模较小,呈零星分布,纵向上表现为透镜状,砂体厚度较薄,5~20 m 不等。

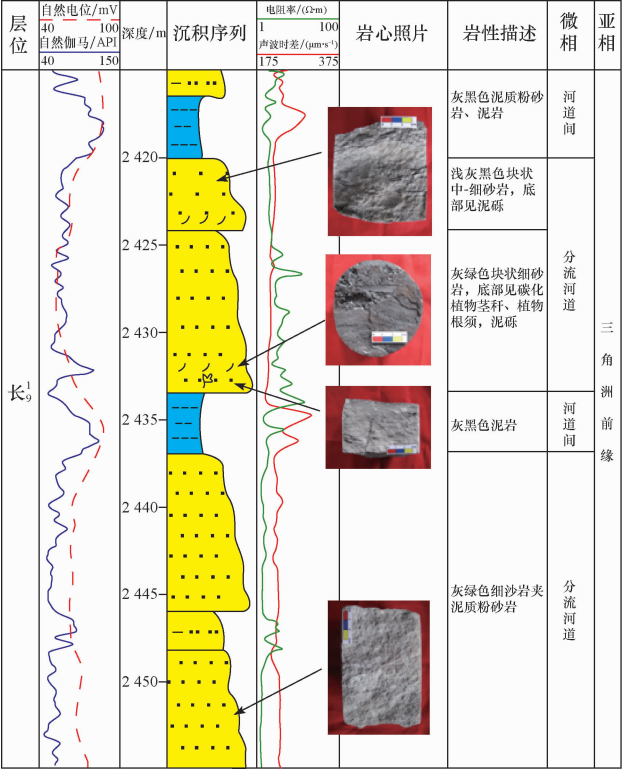


图 3 鄂尔多斯盆地长 9¹ 三角洲平原
分流河道垂向剖面 (C70 井)

Fig. 3 Vertical sequences of the delta plain distributary channel in Chang-91 reservoir, the Ordos Basin (Well C70)

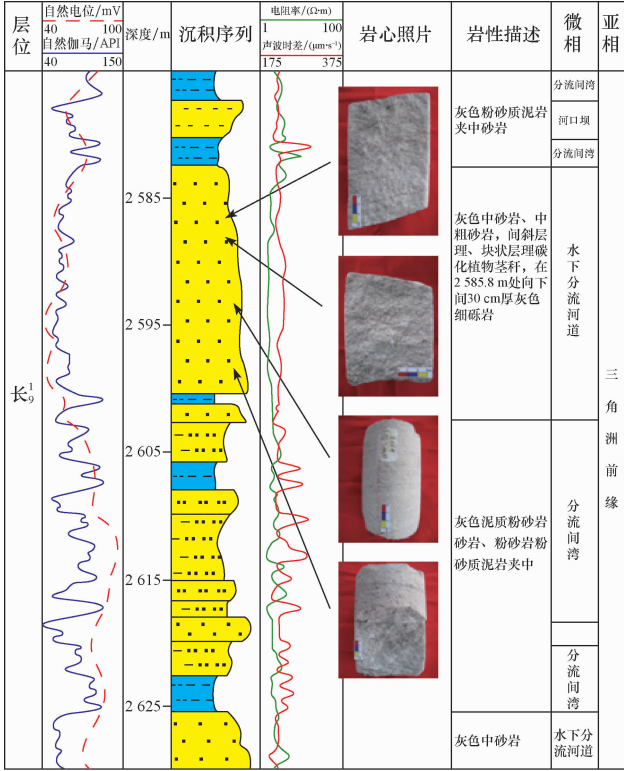


图 4 鄂尔多斯盆地长 9¹ 三角洲前缘
水下分流河道垂向剖面 (A46 井)

Fig. 4 Vertical sequences of the delta front underwater distributary channel in Chang-91 reservoir, the Ordos Basin (Well A46)



图 5 鄂尔多斯盆地长 9 半深湖亚相浊积砂体沉积构造特征

Fig. 5 Sedimentary structures of subordinate lacustrine turbidite sandstone in Chang-9 oil reservoir, the Ordos Basin
a. W5 井, 长 9², 622.56 m, 浊积砂岩中的包卷层理, 岩心照片; b. Q52 井, 长 9¹, 1 261.70 m, 浊积砂岩中的变形层理, 岩心照片;
c. Q52 井, 长 9¹, 1 260.80 m, 浊积砂岩中的鲍玛序列的 A 段, 岩心照片

2.3 储层岩石学及物性

据长 9 油层组 215 口井 567 块岩心样品的薄片资料分析,长 9 储层的岩石类型主要为岩屑长石砂岩,次为长石砂岩及长石岩屑砂岩,未见岩屑砂岩。砂岩粒度中值一般为 0.17~0.44 mm,属细粒砂岩。砂岩磨圆度较差,分选一般,结构成熟度差。储层填隙物以绿泥石、碳酸盐岩、浊沸石为主,胶结类型以薄膜-孔隙接触为主。孔隙类型以粒间孔为主,长石溶孔次之。

长 9 储层孔隙度、渗透率总体较低。平均孔隙度为 10%, 主要集中分布在 8%~12% 左右, 渗透率为 $2.97 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 集中分布在小于 $0.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 和 $(0.5 \sim 5)$

$\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 两个区间内。由于不同地区的填隙物含量及种类不同,导致储层物性在平面上具有分区性。其中姬塬地区砂岩粒度相对较粗,填隙物含量最低,粒间孔多见,以薄膜孔隙式胶结为主,其物性最好,排驱压力较低,孔喉分选较差;相对而言,洛川地区砂岩粒度最细,以碳酸盐胶结为主,孔隙不发育,储层致密,物性最差。

2.4 运移方向

长 9 原油源岩为延长组长 7 和长 9 两套烃源岩。生排烃研究表明,早白垩世晚期盆地进入了深埋成岩环境,此时,烃源岩热演化达到生烃高峰阶段,形成大量的油气^[10-12]。同时烃源岩由于欠压实作用和

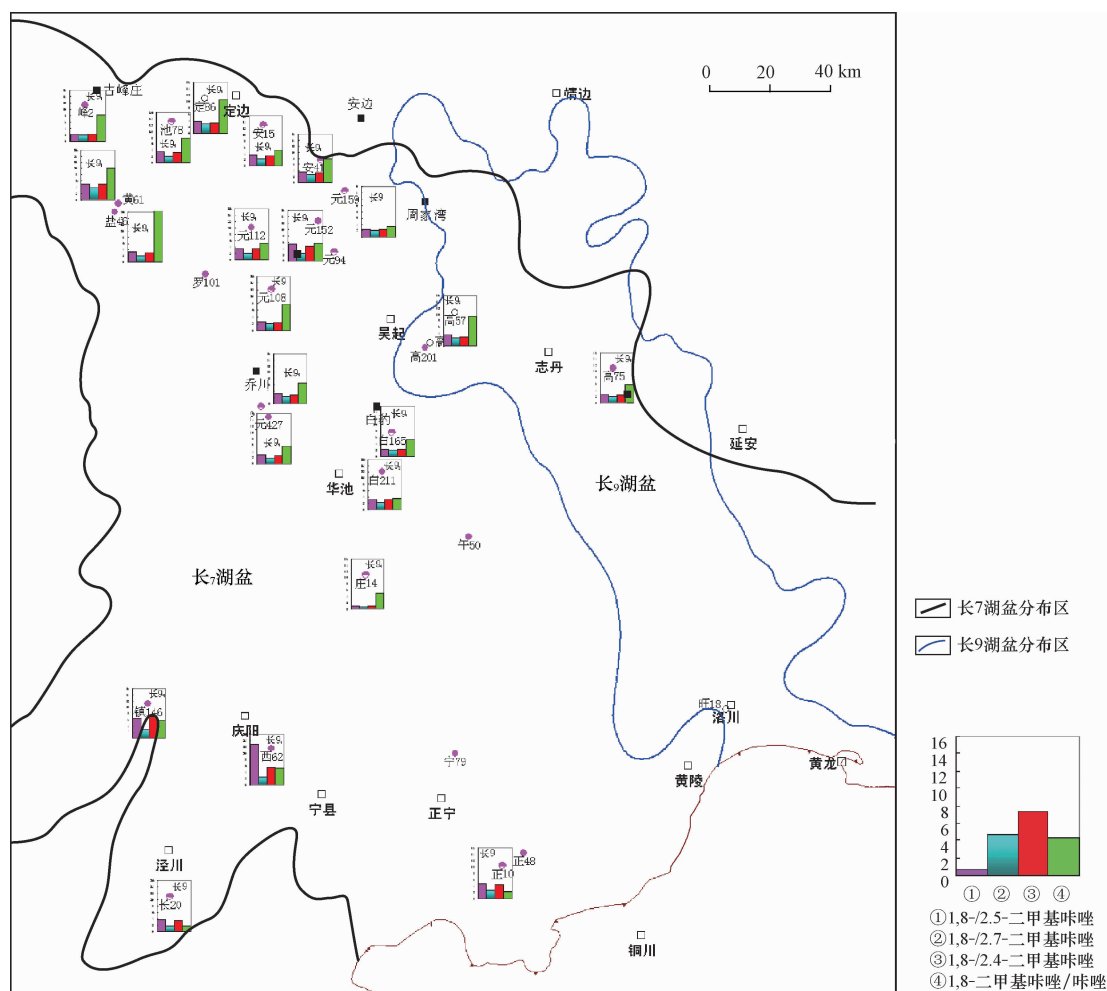


图6 鄂尔多斯盆地原油含氮化合物异构体参数分布

Fig. 6 Distribution of isomer parameters of nitrogen-containing compounds crude oils in the Ordos Basin

烃类的大量生成,致使源岩中孔隙流体增多^[13],烃源岩中形成异常高压,在压差作用下,油气克服浮力和毛细管力的阻力作用,自高剩余压力区向低剩余压力区流动^[14-15]。长9原油咪唑类化合物的分析结果也证实了这种认识。

研究结果表明,平面上,盆地长7湖盆中心和长9湖盆中心为异构体参数低值区,以这些地区为中心,咪唑类化合物异构体参数比值向盆地西北、西南及南部方向增加,盆地志丹地区表现为自西河口向吴起方向增加(图6),反映了盆地长9原油运移方向主要由湖盆中心(包括长7和长9)向盆地周缘方向运移。

2.5 成岩相特征

不同学者对成岩相概念的理解不尽相同,根据研究对象的不同,划分出的成岩相类型也具有差异性^[16-18]。本次研究在铸体薄片、扫描电镜、阴极发光等大量分析的基础上,结合长9主要建设性和破坏性成岩事件,根据胶结作用的不同来划分成岩相类型。因储层的性质与埋藏后的成岩变化有极大关系,因此通过此次成岩相研究,能更进一步确定有利成岩储集

体,从而更有效指导油气勘探。通过研究,最终将长9成岩相划分为碳酸盐胶结相、绿泥石膜胶结相和孔隙相3种单因素成岩相类型及粒间孔-绿泥石膜、长石溶孔-绿泥石膜和碳酸盐胶结3种综合成岩相类型。综合分析认为,盆地姬塬、陇东地区主要为粒间孔-绿泥石膜成岩相,陕北地区为长石溶孔-绿泥石膜成岩相,洛川地区为碳酸盐胶结相。因此结合前述的沉积条件、储集条件综合判断盆地姬塬地区为长9下一步勘探的最有利区。

2.6 成藏组合特征

上述油源分析认为,盆地大部分地区长9油藏的原油来源于长7烃源岩,只志丹地区长9油藏的原油来自长9烃源岩,这两套生烃岩与长9砂岩储层构成了上生下储、自生自储成藏组合类型。

2.6.1 上生下储类型

以长7烃源岩发育长9烃源岩不发育的姬塬、陇东及洛川地区油藏最为代表。该组合以长9上覆地层长7暗色泥岩或油页岩为烃源岩,其生成的油气在异

常高压的作用下,向下通过裂缝和连通砂体运移至长₈、长₉储集层中^[19-20]。储集体主要为三角洲前缘的水下分流河道和三角洲平原的分流河道砂体。油藏的油水分布总体上受构造、岩性的双重控制,构造低部位出水,向高部位逐渐过渡为纯油藏,最为典型的为姬塬地区(图7)。如图所示,H199井处于构造低部位,长₉¹试油为纯水层,向构造高部位,H48和H255井为油水同出,H219井则产纯油。

2.6.2 自生自储类型

上述长₉半深湖相主要发育在志丹地区,油源分析对比研究表明,志丹地区的长₉油藏油源来自于长₉烃源岩,因此志丹地区长₉油层组中生成的油气运移聚集在长₉储集层中,构成自生自储油藏类型。储集体主要为分布在生烃凹陷周围的半深湖相的浊积砂

体,其与湖相泥页岩相伴生,常形成指状尖灭砂体,烃源岩既是生油层同时又是良好的盖层(图8)。源岩层中生成的油气通过裂缝和孔隙型砂体运移聚集^[19-20]。

3 结语

1) 油源对比结果表明,鄂尔多斯盆地长₉油藏的原油大部分来自上覆长₇烃源岩,只有志丹地区的原油来自于长₉烃源岩。

2) 长₉油藏储集类型主要为三角洲平原的分流河道和前缘的水下分流河道砂体,志丹地区的储集体为半深湖相的浊积砂。储层孔隙类型主要为粒间孔,储层物性总体较低,平面上具有一定的分区性。综合分析认为,以粒间孔-绿泥石膜成岩相为主的姬塬地区物性最好,是下一步勘探有利区。

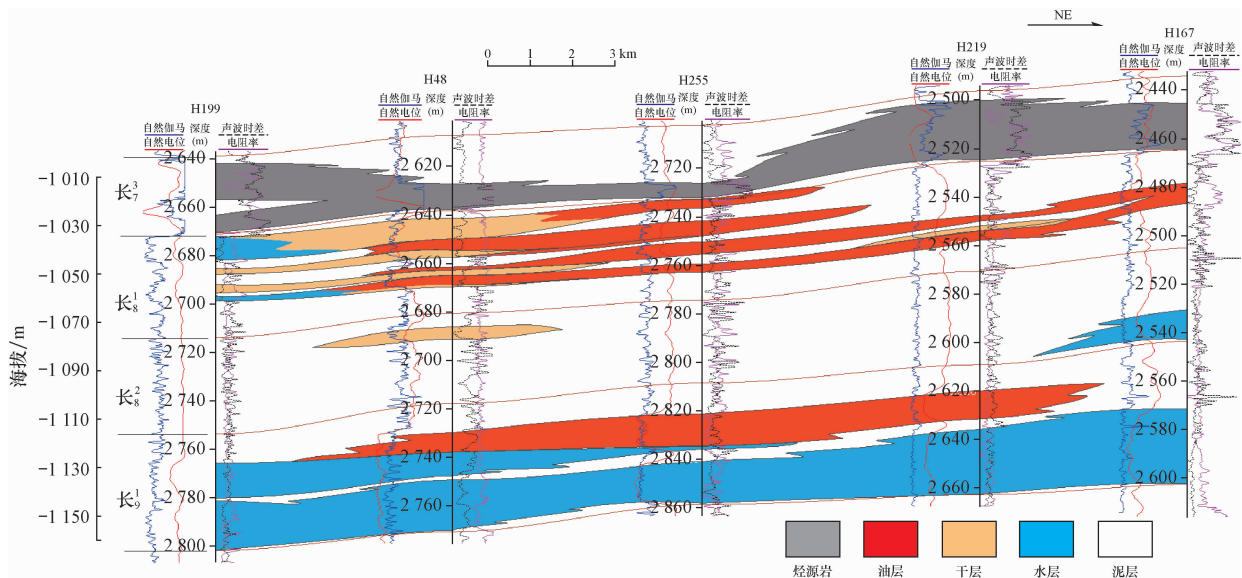


图7 鄂尔多斯盆地长₉上生下储油藏成藏组合

Fig. 7 "Upper sourcing" pattern of Chang-9 reservoir in the Ordos Basin

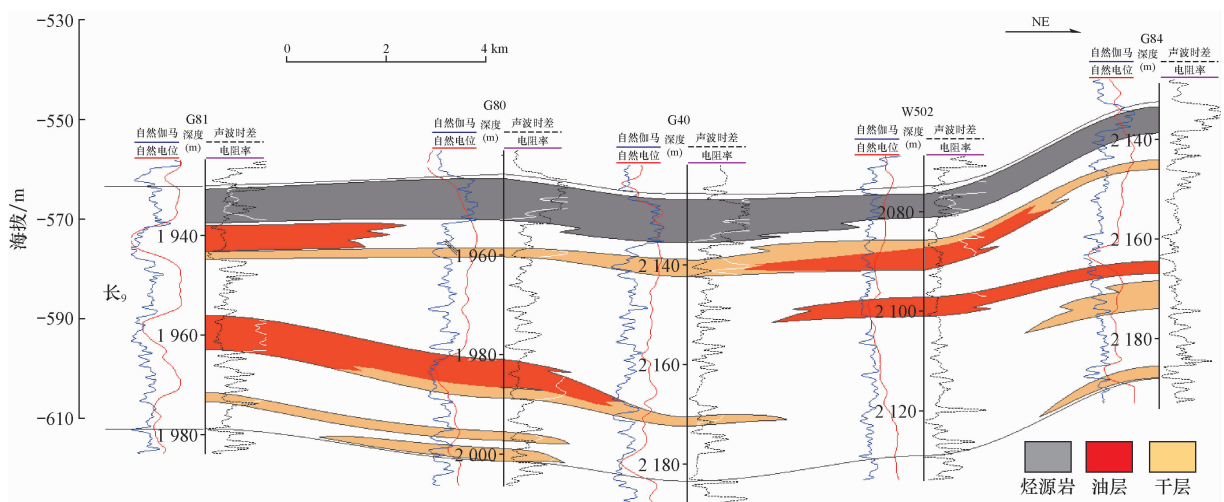


图8 鄂尔多斯盆地志丹地区长₉自生自储油藏成藏组合

Fig. 8 "Indigenously sourcing" pattern of Chang-9 reservoir in Zhidan area, the Ordos Basin

参考文献

- [1] 苏复义,周文,金文辉,等.鄂尔多斯盆地中生界成藏组合划分与分布评价[J].石油与天然气地质,2012,33(4):582-590.
Su Fuyi,Zhou Wen,Jin Wenhui,et al. Identification and distribution of the Mesozoic plays in Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology,2012,33(4):582-590.
- [2] 何自新.鄂尔多斯盆地演化与油气[M].北京:石油工业出版社,2003.
He Zixin. The evolution and oil-gas of Ordos Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press,2003.
- [3] 杨俊杰.鄂尔多斯盆地构造演化与油气分布规律[M].北京:石油工业出版社,2002.
Yang Junjie. The tectonic evolution and oil-gas distribution of Ordos Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press,2003.
- [4] 刘池洋,赵红格,桂小军,等.鄂尔多斯盆地演化-改造的时空坐标及其成藏(矿)响应[J].地质学报,2006,80(5):617-633.
Liu Chiyang,Zhao Hongge,Gui Xiaojun,et al. Space-time coordinate of the evolution and reformation and mineralization response in Ordos Basin[J]. Acta Geologica Sinica,2006,80(5):617-633.
- [5] 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):557-568.
Zhang Wenzheng, Yang Hua, Li Shanpeng. Hydrocarbon accumulation significance of Chang₉₋₁ high-quality lacustrine source rocks of Yanchang Formation, Ordos Basin[J]. Petroleum Exploration and Development,2008,35(5):557-568.
- [6] 张文正,杨华,侯林慧,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,2009,39(10):1438-1445.
Zhang Wenzheng, Yang Hua, Hou Lihui, et al. Distribution and geological significance of 17 α (H)-diahopanes from different hydrocarbon source rocks of Yanchang Formation in Ordos Basin[J]. Science in China,2009,39(10):1438-1445.
- [7] 杨华,张文正,蔺宏斌,等.鄂尔多斯盆地陕北地区长₁₀油源及成藏条件分析[J].地球化学,2010,39(3):274-279.
Yang Hua,Zhang Wenzheng,Lin Hongbing,et al. Origin of Chang 10 oil reservoir in Northern Shaanxi region of Ordos Basin[J]. Geochimica,2010,39(3):274-279.
- [8] 段毅,于文修,刘显阳,等.鄂尔多斯盆地长9油层组石油运聚规律研究[J].地质学报,2009,83(6):855-860.
Duan Yi,Yu Wenxiu,Liu Xianyang,et al. Oil migration and accumulation rules of Chang 9 oil bearing formation in the Ordos Basin[J]. Acta Geologica Sinica,2009,83(6):855-860.
- [9] 邓秀芹,付金华,姚涇利,等.鄂尔多斯盆地中及上三叠统延长组沉积相与油气勘探的突破[J].古地理学报,2011,13(4):443-445.
Deng Xiuqin,Fu Jinhua,Yao Jingli,et al. Sedimentary facies of the Middle-Upper Triassic Yanchang Formation in Ordos Basin breakthrough in petroleum exploration[J]. Journal of Palaeogeography,2011,13(4):443-445.
- [10] 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):56-64.
Ren Zhanli,Zhao Zhongyuan,Zhang Jun,et al. Research on Paleotemperature in the Ordos Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica,1994,12(1):56-64.
- [11] 赵孟为.鄂尔多斯盆地油气形成与运移时间和运移方向的确定与勘探方向[J].石油实验地质,1996,18(4):341-347.
Zhao Mengwei. Timing of hydrocarbon generation and migration and determination of migration direction as well as exploration direction in the Ordos Basin[J]. Experimental Petroleum Geology,1996,18(4):341-347.
- [12] 任战利.鄂尔多斯盆地热演化史与油气关系的研究[J].石油学报,1996,17(1):17-24.
Ren Zhanli. Research on the relations between geothermal history and oil-gas accumulation in the Ordos Basin[J]. Acta Petrolei Sinica,1996,17(1):17-24.
- [13] 英亚歌,王震亮,范昌育.鄂尔多斯盆地陇东地区延长组流体动力作用下的石油运移与聚集特征[J].石油与天然气地质,2011,32(1):118-123.
Ying Yage,Wang Zhenliang,Fan Changyu. Oil migration and accumulation under the influence of fluid dynamics in the Yanchang Formation, eastern Gansu Province, the Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology,2011,32(1):118-123.
- [14] Hunt J M. Generation and migration of petroleum from abnormally pressured fluid compartment[J]. AAPG Bulletin,1990,74(1):1-12.
- [15] 刘小琦,邓宏文,李青斌.鄂尔多斯盆地延长组剩余压力分布及油气运聚条件[J].新疆石油地质,2007,28(2):143-145.
Liu Xiaoqi,Deng Hongwen,Li Qingbin. Distribution of residual pressure and oil-gas migration and accumulation conditions of Yanchang Formation in Ordos Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology,2007,28(2):143-145.
- [16] 张琴,朱筱敏,陈祥,等.南华北盆地谭庄凹陷下白垩统成岩相分布及优质储层预测[J].石油与天然气地质,2010,31(4):472-480.
Zhang Qin,Zhu Xiaomin,Chen Xiang,et al. Distribution of diagenetic facies and prediction of high-quality reservoirs in the Lower Cretaceous of the Tanzhuang Sag, the southern North China Basin[J]. Oil & Gas Geology,2010,31(4):472-480.
- [17] 杜业波,季汉成,朱筱敏.川西前陆盆地上三叠统须家河组成岩相研究[J].吉林大学学报(地球科学版),2006,36(3):358-364.
Du Yebo, Ji Hancheng, Zhu Xiaomin. Research on the diagenetic facies of the Upper Triassic Xujiahe Formation in the Western Sichuan Foreland Basin[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition),2006,36(3):358-364.
- [18] 杨小萍,陈丽华.陕北斜坡延长统低渗透储集层成岩相研究[J].石油勘探与开发,2001,28(4):38-40.
Yang Xiaoping, Chen Lihua. Diagenesis and diagenetic facies studies for Yanchang Formation of the Triassic in Ordos basin[J]. Petroleum Exploration and Development,2001,28(4):38-40.
- [19] 姚涇利,王克,庞锦莲,等.鄂尔多斯盆地姬塬地区延长组石油运聚规律研究[J].岩性油气藏,2007,19(3):32-37.
Yao Jingli,Wang Ke,Pang Jinlian,et al. Petroleum migration and accumulation of Yanchang Formation in Jiuyan area, Ordos Basin[J]. Lithologic Reservoirs,2007,19(3):32-37.
- [20] 赵文智,胡素云,汪泽成,等.鄂尔多斯盆地基底断裂在上三叠统延长组石油聚集中的控制作用[J].石油勘探与开发,2003,30(5):1-5.
Zhao Wenzhi,Hu Suyun,Wang Zecheng,et al. Key role of basement fault control on oil accumulation of Yanchang Formation, Upper Triassic, Ordos Basin[J]. Petroleum Exploration and Development,2003,30(5):1-5.