

文章编号:0253-9985(2012)05-0758-08

姬塬油田红井子地区延长组长9油层组石油富集规律

陈朝兵^{1,2}, 朱玉双¹, 谢辉³, 张杰⁴, 王海华⁵, 程刚⁶, 徐森²

(1. 西北大学 大陆动力学国家重点实验室, 陕西 西安 710069; 2. 中国石油 长庆油田分公司 第二采气厂, 陕西 西安 710200; 3. 中国石油 新疆油田分公司 陆梁油田作业区, 新疆 克拉玛依 834000; 4. 中国石油 长庆油田分公司 第一采油厂, 陕西 西安 710018; 5. 中国石油 长庆油田分公司 第六采油厂, 陕西 西安 710018; 6. 中国石油 长庆油田分公司 长庆油田档案馆, 陕西 西安 710018)

摘要:通过测井分析、岩心观察、“四性关系”(岩性、物性、电性、含油性)研究以及试油、试采数据分析,结合构造特征解析,总结了鄂尔多斯盆地姬塬油田红井子地区长9油层组的石油富集规律。长7烃源岩生成的油气以流体过剩压力为主要驱动力,通过孔隙和裂缝运移至长9储层;长7烃源岩排烃强度有限、动力不足,使油气无法完全充满长9储层,而长9内部普遍发育的底水进一步阻碍了油气向下运移;长9顶部稳定发育的隔层为油气聚集提供了必要的遮挡条件,少部分油气在长9内部夹层发育部位聚集;在具备有效遮挡的条件下,受岩性与物性的控制,油气优先聚集在长9¹顶部物性条件好的储层中。从砂体顶面构造与试油、试采效果关系来看,构造起伏对长9油气聚集的影响不大。

关键词:隔层; 烃源岩; 石油富集规律; 延长组; 姬塬油田; 鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE122.3

文献标识码:A

Accumulation patterns of the Chang-9 oil reservoir in the Yanchang Formation of Hongjingzi area in Jiyuan oilfield

Chen Zhaobing^{1,2}, Zhu Yushuang¹, Xie Hui³, Zhang Jie⁴, Wang Haihua⁵, Cheng Gang⁶ and Xu Sen²

(1. State Key Laboratory of Continental Dynamics, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069, China;
2. No. 2 Gas Production Plant, PetroChina Changqing Oilfield Company, Xi'an, Shaanxi 710200, China;
3. Luliang Oilfield, PetroChina Xinjiang Oilfield Company, Karamay, Xinjiang 834000, China;
4. No. 1 Oil Production Plant, PetroChina Changqing Oilfield Company, Xi'an, Shaanxi 710018, China;
5. No. 6 Oil Production Plant, PetroChina Changqing Oilfield Company, Xi'an, Shaanxi 710018, China;
6. Archives of PetroChina Changqing Oilfield Company, Xi'an, Shaanxi 710018, China)

Abstract: The paper summarized the hydrocarbon accumulation pattern in the formation based on analysis of logging and core data, relationship among lithology, physical property, electrical property and oil-bearing situation, as well as formation test and production test results from the Chang-9 reservoir in the Yanchang Formation of the Hongjingzi block in Jiyuan oilfield, Ordos Basin. It is suggested that the oil and gas generated in source rocks of the Chang-7 layer were mainly driven by the excess flow pressure inside and migrated to the Chang-9 reservoirs through pores and fractures. However, the hydrocarbon expulsion in Chang-7 was not strong enough to fully fill up the Chang-9 reservoirs. In addition the bottom water widely developed in the Chang-9 reservoirs impeded the further downward migration of hydrocarbons. The top barriers inside the Chang-9 provided the sealing conditions necessary for hydrocarbon accumulation in the reservoirs, resulting in the enrichment of some hydrocarbons in interlayers inside the Chang-9. Hydrocarbons might first accumulate in top layers of the Chang-9¹ where the physical properties were more favorable due to the dual control of lithology and physical properties. The relationship

收稿日期:2011-10-30; 修订日期:2012-07-01。

第一作者简介:陈朝兵(1984—),男,博士,石油地质与储层评价。

基金项目:国家重点基础研究发展计划(“973”计划)项目(2003CB214603)。

between structure features and formation testing as well as production testing results demonstrates that the structural relief has very little effect on oil and gas accumulations in the Chang-9 reservoirs.

Key words: barrier, source rock, hydrocarbon accumulation pattern, Yanchang Formation, Jiyuan oilfield, Ordos Basin

鄂尔多斯盆地是我国第二大沉积盆地,石油资源以中生界上三叠统延长组最为丰富,具有多旋回、多层系、多套生储盖组合、多种能源共生等特点,是我国经济建设实现高速发展的重要能源保证。延长组碎屑岩沉积物为典型内陆湖盆演化的产物,其中长9期为湖盆形成初期的湖侵阶段,湖泛规模较小,盆地周边主要发育三角洲沉积体系。

近些年,关于低渗、超低渗储层石油富集规律的研究一直是石油地质学的热点话题^[1-7]。姬塬油田红井子地区位于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡西缘,靠近西缘冲断带(图1),长9地层局部发生挠曲变形。该区勘探评价始于2008年,先后在侏罗系延10、三叠系长2-长9获得油气显示,其中长4+5²、长6²、长8¹、长9¹为主力含油层系。根据钻

井资料显示,该区多数井仅钻穿长9¹小层,长9²小层多为巨厚水层,仅在个别井有油气显示。由于整个盆地的长9油藏尚处于勘探开发初期,前人对长9油藏富集规律的研究较少或不够深入,部分学者认为姬塬地区长9属于深层底水油藏,具有底水发育、物性差、油水关系复杂等特点^[8],因此开展对长9油藏富集规律的研究就显得尤为重要。

1 地质概况与开发效果

鄂尔多斯盆地长9期为湖盆形成初期的湖侵阶段,长9¹地层顶部形成了延长组第一套区域烃源岩,即“李家畔页岩”。区域钻井资料显示,该套烃源岩以黑色泥、页岩为主,分布较为局限,主要分布在盆地东部志丹地区南部,厚度及分布范围均远小于长7烃源岩^[9]。其烃源岩的生物来源相对单一、以湖生藻类为主,有机质类型为腐泥型^[10]。姬塬油田红井子地区位于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡西缘,长9油层组原油和长7油层组烃源岩具有相似的地球化学特征,长9油层组的原油主要来自上部长7烃源岩,构成典型的“上生下储型”成藏组合^[11-13]。岩心观察显示,红井子地区长9¹顶部泥岩多为粉砂含量高、呈沙泥薄互层状产出,颜色以灰色、深灰色为主,表明长9¹顶部烃源岩已在该区发生相变,湖侵范围并未波及到红井子地区,进一步验证了该区长9油层组的原油主要来自长7烃源岩。长7烃源岩中的原油主要是依靠长7烃源岩与长9油层组之间约14 MPa的流体过剩压力为主要驱动力来运移的^[11],其石油输导介质主要是孔隙型和裂隙型输导体。

研究区长9油层组沉积环境为辫状河三角洲平原亚相,发育多期叠置的分流河道砂体。根据已完钻的探井、评价井,主力含油层系长9¹油层组厚度约60 m左右,自上向下依次划分为长9^{1(1)}}、长9^{1(2)}}两个小层,厚度相当。石油主要聚集在长9^{1(1)}}中,长9^{1(2)}}与下部长9²厚层砂体往往呈叠置关系,缺少层内界限标志,仅在个别井有油气显

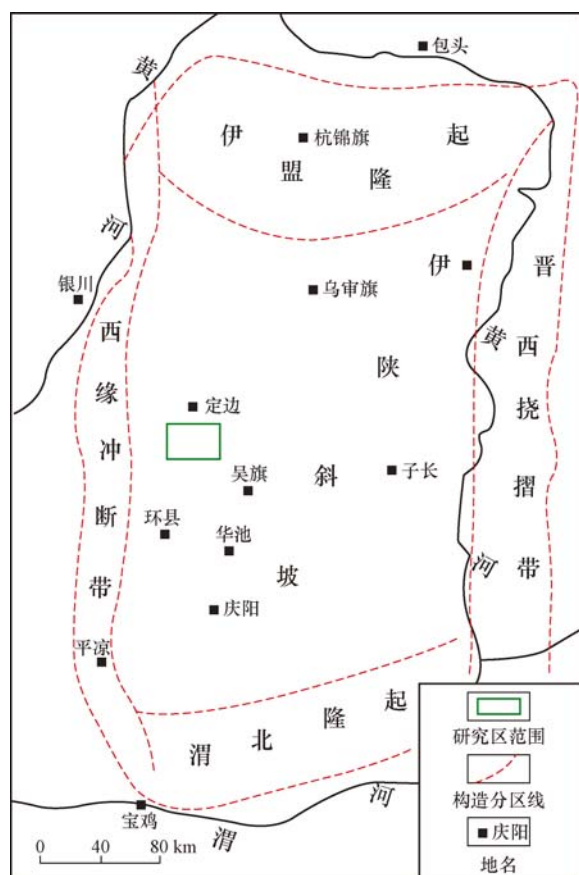


图1 研究区构造位置

Fig. 1 Tectonic location of the study area

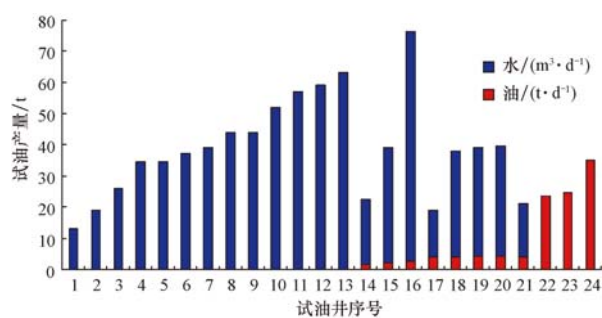


图2 红井子地区长9¹油层组试油产量分布

Fig. 2 Distribution of formation testing yields from the Chang-9¹ reservoir from the Hongjingzi block

示。物性统计显示,研究区长9¹储层孔隙度主要分布在8%~14%,平均孔隙度11.47%,渗透率主要分布在 $0.2 \times 10^{-3} \sim 4.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均渗透率 $2.03 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属于低孔-低渗储层。

截止2011年5月区内完钻探井、评价井52口,其中38口井钻穿长9¹,长9¹储层表现为中、低电阻率,厚度变化大,分布极不稳定,砂体纵、横向上非均质性强,油层难于识别。试油井共24口,试油开发效果差(图2),仅有3口井试油为油层,8口井试油为油水层,且含水率高,13口井试油后为水层。

2 油藏控制因素

本次在对长9石油富集规律宏观认识的基础上,利用基础地质资料并结合试油、试采动态数据,总结了红井子地区长9油藏的分布规律,即“石油主要分布在长9砂体顶部(即长9¹⁽¹⁾储层)物性相对较好的储层中”。通过分析认为,研究区长9油藏的分布格局主要受底水、油源、隔夹层发育程度及储层物性的共同影响,构造对长9油藏的分布影响不大。

2.1 底水发育与油源不足

长7烃源岩中的原油是依靠长7烃源岩与长9油层组之间约14 MPa的流体过剩压力为驱动力运移至长9油层组,那么石油为何只聚集至长9¹⁽¹⁾储层,而不能继续向下运移?分析认为长9¹⁽¹⁾下部底水发育及油源不足是导致石油聚集在长9砂体顶部的主要原因。

通过对红井子地区长9油层组的测井解释成

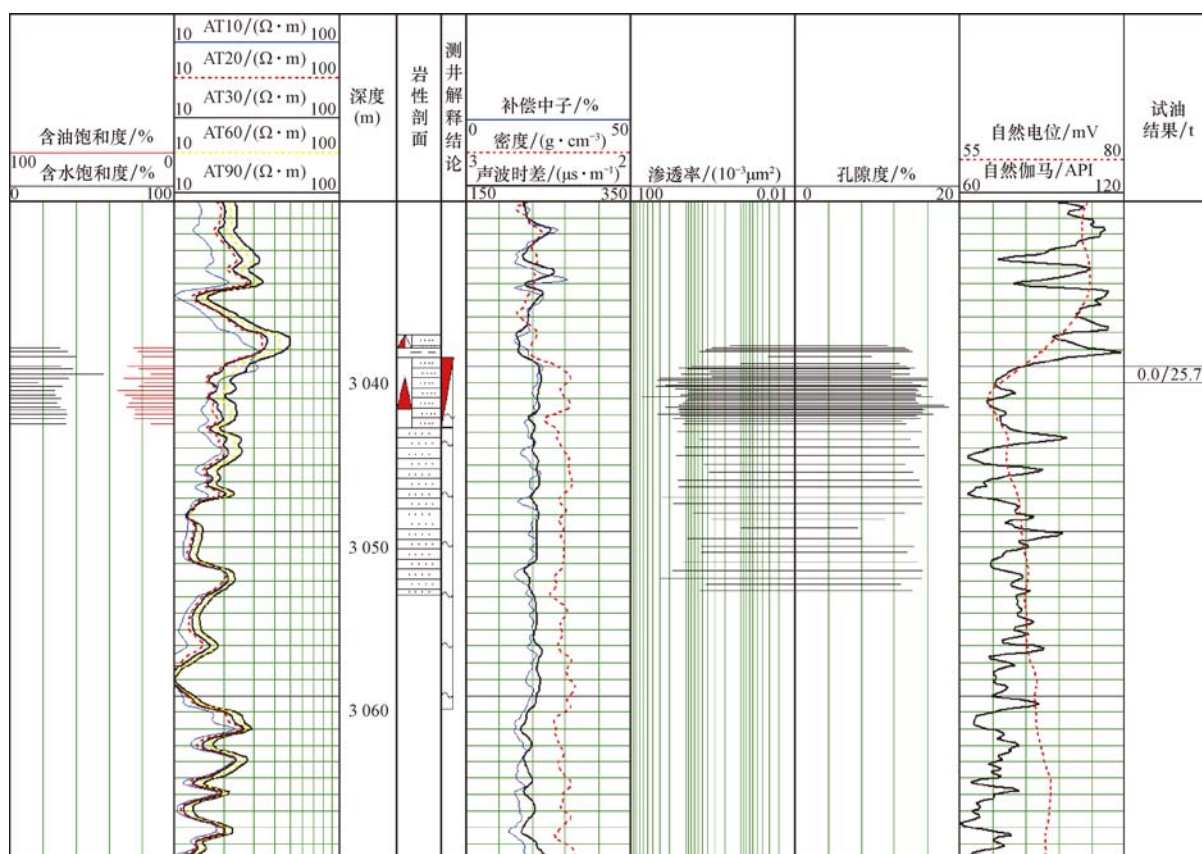
果及试油、试采数据分析,发现长9¹⁽¹⁾储层下部长9¹⁽²⁾、长9²地层几乎全为巨厚水层,平均厚度达80 m,砂体内部连通性好;物性条件优越,平均孔隙度11.64%,平均渗透率 $2.36 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,物性好于上部长9¹⁽¹⁾小层;隔夹层发育程度低且厚度较薄,具备发育活跃底水的地质条件。此外,在储层“四性关系”研究中,发现多数井长9¹⁽¹⁾的试油结果与电性曲线不符,因为无论从取心的含油性和与下部水层的对比上,都应该为油层(如图3中黄207井),但试油后13口井为水层,平均日产水达35.1 t;试采后有11口井均能达到工业油流,平均日产油1.8 t,日产水4.4吨,表明长9¹⁽¹⁾多数井射孔试油初期发生底水锥进,试采一段时间后地层压力下降,底水活动性减弱,泄流半径增大,射孔段周围原油开始流动;另外黄207、黄217井试采后仍为水层,可能与其底水活动性过强,且射孔处油相渗透率远小于水相渗透率等因素有关,使油层段的原油无法参与流动。上述现象表明底水在长9油层组中的存在具有普遍性,且不同部位底水活动性存在差异。

底水对长9油藏分布格局的影响主要是对石油进入长9储层产生阻碍作用,长7烃源岩中的原油进入长9储层需要首先克服长9储层内部底水的浮力才能到达储层,这无疑对长7烃源岩与长9油层组之间流体过剩压力产生相反作用力,使原油不能最终充满长9储层。

本次研究认为长7烃源岩排烃强度不足也是影响长9油藏分布格局的因素之一。鄂尔多斯盆地长9油层组主要经历了一期油气充注,发生在早、中白垩世(130~100 Ma),局部存在较弱的二期油气充注^[14],表明长7烃源岩后续排烃强度不足,充注期次单一。另外,假设长7烃源岩排烃强度足够大,在约14 MPa流体过剩压力的驱动下,石油完全可以克服底水产生的向上浮力作用,源源不断地运移并充满长9储层,最终将进入下部长10储层中。但最新区域钻探资料显示,姬塬地区长10储层中并未获得油气显示,同样表明长7烃源岩排烃动力不足,在长9巨厚底水的作用下,原油只能聚集在长9砂体顶部。

2.2 隔夹层

研究区长9油层组主要发育辫状河三角洲平原亚相分流河道砂体,长9²期构造相对稳定,分流

图3 红井子地区黄207井长9¹油层组岩性、电性、物性及含油性的关系Fig. 3 Relations among lithology, electrical properties, physical properties and oil-bearing situation of the Chang-9¹ layer in Well Huang-207 in Hongjingzi area

河道高度发育,以沉积多期叠置的巨厚砂体为特点,测井曲线呈高幅平直箱状,缺少分流间洼地泥质沉积;长9¹期盆地基底开始下沉,湖盆扩张加剧,分流河道发育程度减弱,分流间洼地泥质沉积物逐渐增多,至长9¹顶部形成了全区稳定的泥岩隔层。

统计表明,长8底部与长9顶部砂体之间隔层厚度达11.2 m,横向稳定性好,能够对长9油藏起到良好封盖作用;长9层内夹层厚度较薄,平均厚度2.9 m,且夹层累计厚度小,仅为地层厚度的9.1%,很难形成大范围有效遮挡层,大量石油只能向封盖性能好的长9砂体顶部运移并聚集下来,只有少部分石油在长9内部夹层发育部位聚集下来。除了泥质夹层外,成岩作用形成的钙质夹层等致密层也是研究区长9石油聚集的有效遮挡层。如图4中黄39井长9¹储层泥质隔夹层厚度大,形成有效遮挡层,将石油封存在储层内部,而储层内部钙质夹层等致密层又在层内对石油形

成有效遮挡,从而形成多套含油层系。另外,多数井岩心中亦可观察到成岩作用形成的碳酸盐胶结致密层对石油产生有效遮挡作用(图5)。

因此,长9¹顶部厚层泥岩隔层和长9¹层内夹层、致密层是油藏得以聚集的保证,隔夹层发育部位是长9石油聚集优势带。

2.3 物性

长9¹储层四性关系研究表明,高阻出油、低阻出水特征不明显,只是在一定的区域内,储层的电性才能有效地反映含油性,而储层岩性、物性、含油性之间存在较好的对应关系。有效储层以长石砂岩、岩屑长石砂岩为主,渗透率和孔隙结构对含油饱和度在侧向和纵向上有明显的控制作用。储层岩性变细或泥质杂基组分含量增高是储层物性变差的主要因素,也控制着储层的含油性,如图6中黄48井长9¹储层物性好的层段,含油性好;物性差的层段,含油性明显变差。

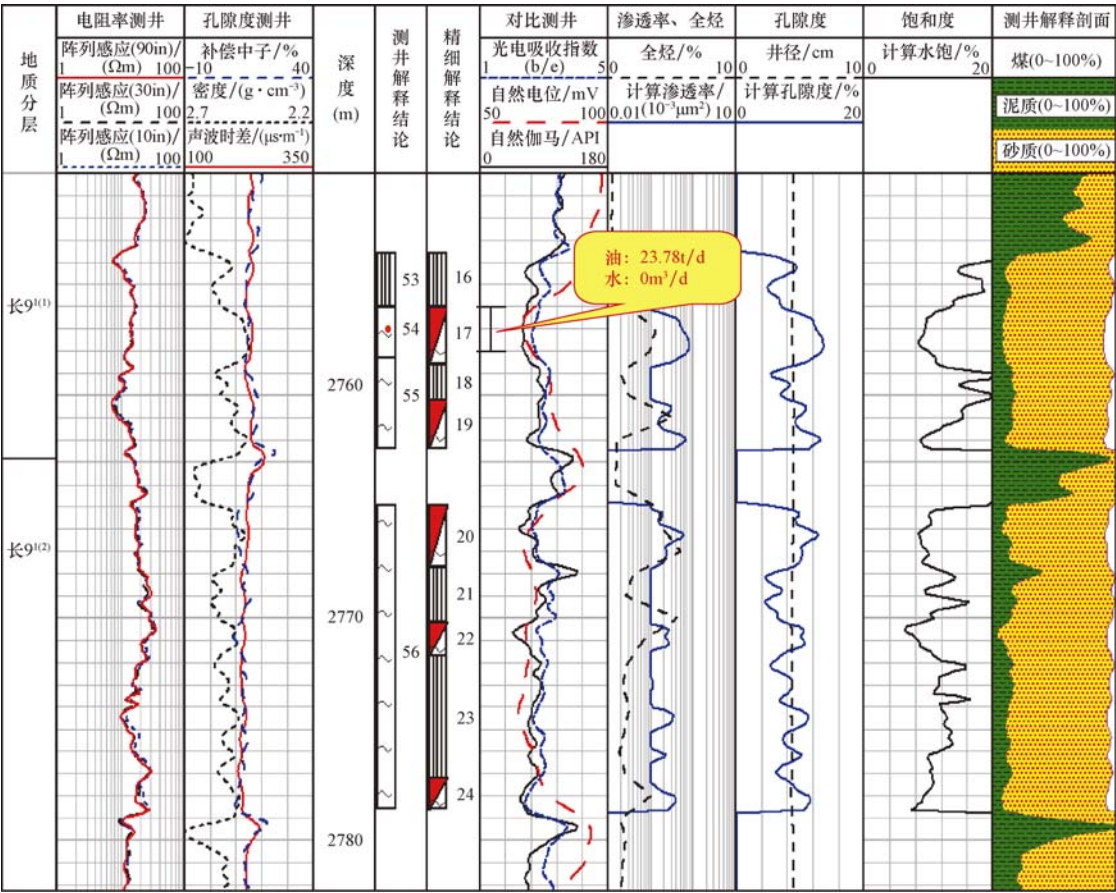


图 4 红井子地区黄 39 井长 9¹ 油层组测井解释成果

Fig. 4 Log interpretations of the Chang-9¹ layer in Well Huang-39 in Hongjingzi area



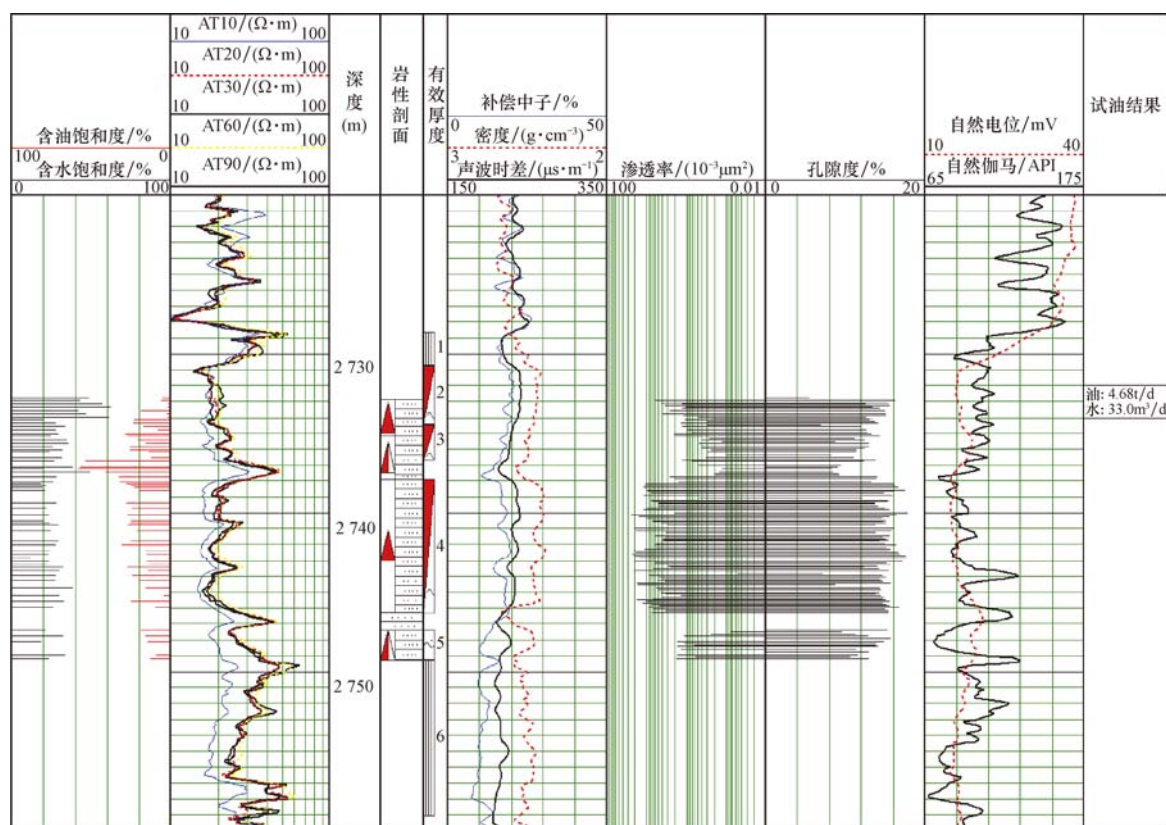
图 5 红井子地区钙质夹层对石油的遮挡作用
Fig. 5 Sealing effects of calcareous interlayers on hydrocarbon accumulation in Hongjingzi area

通过分析沉积相与油藏剖面同样发现,在具备有效遮挡的条件下,含油性主要受岩性、物性控

制,石油往往优先聚集在长 9¹ 顶部物性条件好的储层中,形成砂体上倾尖灭油藏和砂岩透镜体油藏,而长 9 顶部物性差的储层则往往形成干层。因此,长 9 顶部砂体中的高孔高渗带是石油聚集的主要场所,是石油富集成藏的基础。

2.4 构造

鄂尔多斯盆地是中、新生代以来形成的克拉通内盆地,伊陕斜坡是盆地内相对稳定的沉积区,呈西低东高的单斜状展布,斜坡内发育多条近东西向鼻状隆起构造带。长期以来,普遍认为在构造相对稳定的伊陕斜坡内部,鼻状隆起带对油气聚集起到一定控制作用,是油气聚集的有利场所^[15]。这是因为,鼻状隆起带往往是沉积物的差异压实和晚三叠世末期扬子板块向华北板块俯冲产生的南北向构造应力所致,油气沿相互叠置的砂体高渗通道,经过“爬楼梯式”的垂向运移后,到达鼻状隆起带并聚集下来。但对于盆地周边地

图6 红井子地区黄48井长9¹油层组岩性、电性、物性及含油性的关系Fig. 6 Relations among lithology, electrical properties, physical properties and oil-bearing situation of the Chang-9¹ layer in Well Huang-48 in Hongjingzi area

区,由于受到中、新生代以来的强烈改造,各种断裂及褶皱构造发育。研究区位于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡西缘,受中、新生代以来盆地西部逆冲推覆构造带东西向构造应力的影响,长9地层局部发生构造变形(图7,图8),变形机制区别于伊陕斜坡中部鼻状隆起带。

目前关于长9油藏富集规律还存在一定争议的是本区构造对长9油藏的分布是否产生影响。本次研究将长9¹砂体顶面构造及试油、试采数据进行整合(图7,图8),研究区东北部砂体海拔较高,但从整体试油、试采效果来看,东北部并未明显好于其他地区,仅在个别井,如黄219井试油获得高产,日产纯油达34.34 t;而东南部未在砂体构造高点的黄39井试油日产纯油也可达23.8 t,试采后仍达7.72 t。本区西南部是砂体构造低势区,但从试油、试采数据来看,效果并不差。故本次研究认为,构造对长9¹油藏分布影响不大。综上所述,本次研究将长9油藏类型定义为“受隔夹层遮

挡及底水控制下的岩性油藏,构造对油藏分布的影响不大”。

3 结论

1) 姬塬油田红井子地区长9油层组主力含油层系为长9¹,储层含油性较差,多数井试油为水层和油水层,且油水层含水率高。底水在长9油层组中的存在具有普遍性,且不同部位底水活动性存在差异。

2) 长9¹储层物性较好,油层主要分布在长9砂体顶部物性相对较好的储层中。长9油藏的分布格局主要受底水、油源、隔夹层发育程度及储层物性的共同影响,构造对长9¹油藏分布的影响不大。

3) 将长9油藏类型定义为“受隔夹层遮挡及底水控制下的岩性油藏”,故寻找长9顶部隔夹层发育部位及高孔高渗带是下步勘探重点。

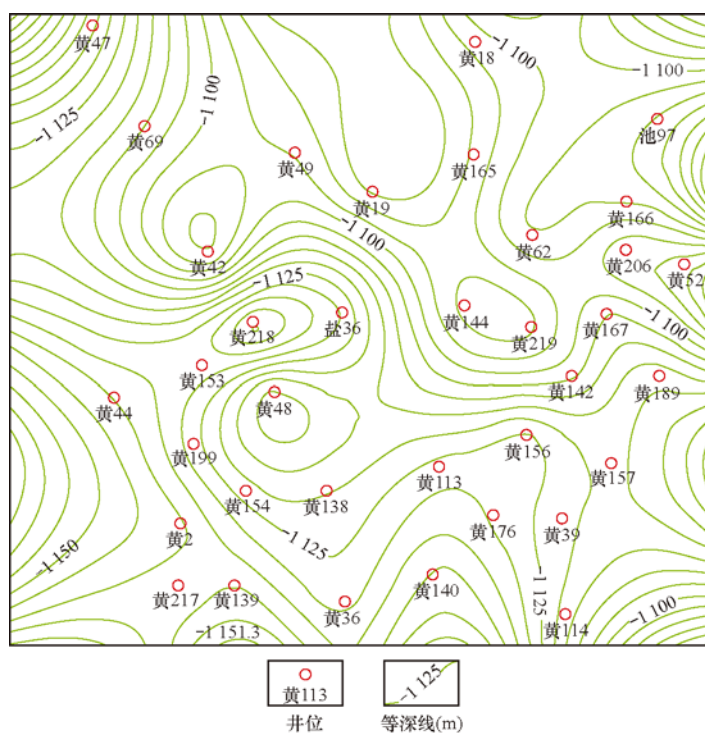


图7 红井子地区长9¹油层组砂体顶面构造等深线

Fig. 7 Contour map showing the top structure of the sandbody in the Chang-9¹ reservoirs in Hongjingzi area

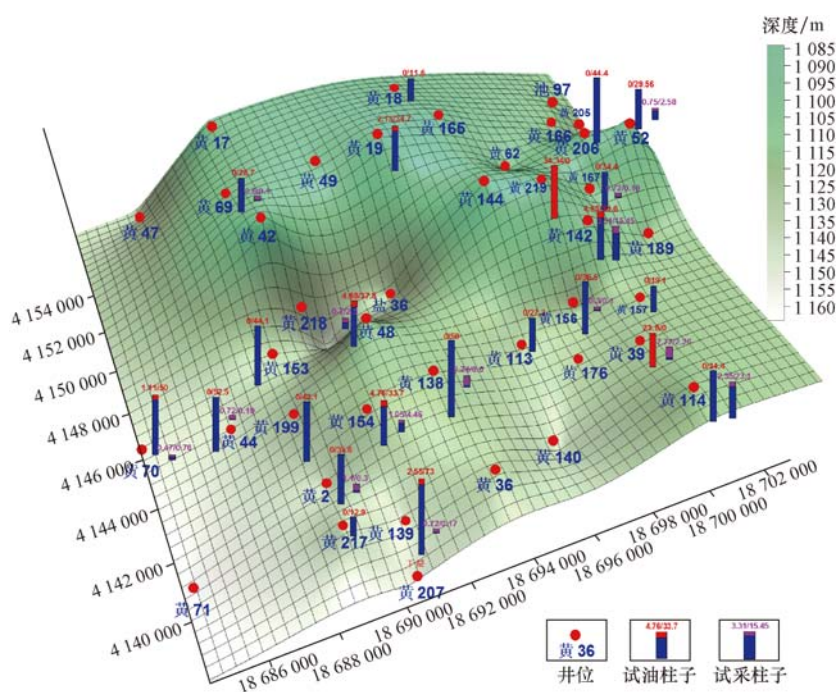


图8 红井子地区长9¹油层组试油试采与砂体顶面构造关系

Fig. 8 Diagram showing the relationship between the top structure of sandbody and formation testing and production testing results from the Chang-9¹ reservoir in Hongjingzi area

参 考 文 献

- [1] 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.
- [2] 尹伟,郑和荣,胡宗全,等. 鄂南镇泾地区延长组油气富集主控因素及勘探方向[J]. 石油与天然气地质,2012,33(2):159-165.
Yin Wei, Zheng Herong, Hu Zongquan, et al. Main factors controlling hydrocarbon accumulation and favorable exploration targets for the Yanchang Formation in Zhenjing area, south Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(2):159-165.
- [3] 罗晓容,张刘平,杨华,等. 鄂尔多斯盆地陇东地区长8¹段低渗油藏成藏过程[J]. 石油与天然气地质,2010,31(6):770-778,837.
Luo Xiaorong, Zhang Liuping, Yang Hua, et al. Oil accumulation process in the low-permeability Chang8¹ member of Longdong area, the Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(6):770-778,837.
- [4] 焦里力. 苏北盆地张家垛油田阜三段油气富集规律[J]. 石油与天然气地质,2012,33(2):166-173.
Jiao Lili. Hydrocarbon enrichment patterns of the 3rd member of Funing Formation in Zhangjiaduo oilfield, Subei Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(2):166-173.
- [5] 张迎朝,陈志宏,李绪深,等. 珠江口盆地西部油气成藏组合和成藏模式[J]. 石油与天然气地质,2011,32(1):108-117.
Zhang Yingchao, Chen Zhihong, Li Xushen, et al. Hydrocarbon plays and pool forming patterns in the western part of the Pearl River Mouth Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(1):108-117.
- [6] 苏永进,唐跃刚,张世华,等. 川西坳陷上三叠统天然气成藏主控因素及形成模式[J]. 石油与天然气地质,2010,31(1):107-113.
Su Yongjin, Tang Yuegang, Zhang Shihua, et al. Main controlling factors and patterns of gas accumulation in the Upper Triassic of the western Sichuan Depression[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(1):107-113.
- [7] 郑和荣,尹伟,胡宗全,等. 中国中西部碎屑岩领域油气富集主控因素与勘探方向[J]. 石油与天然气地质,2010,31(6):753-762.
Zheng Herong, Yin Wei, Hu Zongquan, et al. Main controlling factors for hydrocarbon accumulation and potential exploration targets in clastic sequences in western-central China[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(6):753-762.
- [8] 刘哲,屈乐,李向平,等. 姬塬油田长9深层底水油藏增产措施研究[J]. 科技创新导报,2010,NO.05:9-11.
Liu Zhe, Qu Le, Li Xiangping, et al. Stimulation of deep basal water reservoir from Chang-9 in the Ordos Basin[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2010, NO.05:9-11.
- [9] 张文正,杨华,李善鹏,等. 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, et al. 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.
- [10] 张文正,杨华,傅锁堂,等. 鄂尔多斯盆地长9¹湖相优质烃源岩的发育机制探讨[J]. 中国科学(D辑),2007,37(增刊I):33-38.
Zhang Wenzheng, Yang Hua, Fu Suotang, Zan Chuanli, et al. Investigation of developmental mechanisms about Chang-9¹ high-quality lacustrine source rocks of Yanchang Formation, Ordos Basin[J]. Science in China (Series D), 2007, 37(supplement I):33-38.
- [11] 吴保祥,段毅,郑朝阳,等. 鄂尔多斯盆地古峰庄-王洼子地区长9油层组流体过剩压力与油气运移研究[J]. 地质学报,2008,82(5):844-849.
Wu Baoxiang, Duan Yi, Zheng Zhaoyang, et al. Fluid overpressure and migration of Oil and Gas from Chang 9 Member in Gufengzhuang-Wangwazi Area, Ordos Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82(5):844-849.
- [12] 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.
- [13] 周进高,姚根顺,邓红婴,等. 鄂尔多斯盆地延长组长9油层组勘探潜力分析[J]. 石油勘探与开发,2008,35(3):289-293.
Zhou Jingao, Yao Genshun, Deng Hongying, et al. Exploration potential of Chang-9 member, Yanchang Formation, Ordos Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(3):289-293.
- [14] 王传远,段毅,杜建国,等. 鄂尔多斯盆地长9油层组流体包裹体特征与油气成藏期次分析[J]. 地质科技情报,2009,28(4):47-50.
Wang Chuanyuan, Duan Yi, Du Jianguo, et al. Hydrocarbon migration stages in Chang-9 Formation in Ordos Basin by fluid inclusion analysis[J]. Geological Science and Technology Information, 2009, 28(4):47-50.
- [15] Yang Yongtai, Li Wei, Ma Long, et al. Tectonic and stratigraphic controls of hydrocarbon systems in the Ordos Basin: a multicycle cratonic basin in Central China[J]. AAPG, 2005, 89(2):255-266.

(编辑 董立)