

鄂尔多斯盆地富县—甘泉地区三叠系延长组7油层组致密油富集主控因素

葛云锦¹,任来义¹,贺永红¹,马芳侠¹,王全²,杜克锋¹,李红进¹

[1. 陕西延长石油(集团)有限责任公司研究院, 陕西 西安 710075; 2. 延长油田股份有限公司 富县采油厂, 陕西 延安 727500]

摘要:根据野外露头、岩心、测井、录井与分析化验等资料,结合试油、试采等动态数据,多角度深入探讨了鄂尔多斯盆地富县—甘泉地区三叠系延长组7油层组(简称长7油层组)致密油富集成藏的主控因素。结果显示,广泛发育的长7油层组优质烃源岩厚度大,有机质丰富,类型优越,成熟度适宜,为致密油提供了丰富的油源,控制了长7油层组致密油含油边界。长7¹与长7²亚油组与下部烃源岩构成下源上储、源储紧邻的成藏组合。储层优质成岩相控制着致密油富集的区带。致密储层内存在多期原油充注,早期原油充注使储层岩石颗粒润湿性由亲水变为混合润湿,形成原油运移聚集的优势通道,控制了主力成藏期原油运聚的路径和范围,一定程度上限制了长7致密油成藏范围。不同尺度隔夹层将储层分隔为“网状”结构,结构非均质性强,导致了砂岩中差异化的流体流动以及复杂的油水关系。同时,致密层遮挡也对致密油富集成藏起到了一定控制作用。上述因素共同造成了致密油成藏范围局限,油藏内油水关系复杂,油井与水井共存。

关键词:成岩相;非均质性;多期充注;致密油;延长组;三叠系;鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE122.3

文献标识码:A

Main factors controlling the tight oil enrichment in the 7th oil layer group of the Triassic Yanchang Formation in Fuxian-Ganquan area, Ordos Basin

Ge Yunjin¹, Ren Laiyi¹, He Yonghong¹, Ma Fangxia¹, Wang Quan², Du Kefeng¹, Li Hongjin¹

[1. Research Institute of Shaanxi Yanchang Petroleum (Group) Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710075, China;

2. Fuxian Oil Production Plant, Yanchang Oilfield Company Ltd., Yan'an, Shaanxi 727500, China]

Abstract: The major factors controlling the enrichment of tight oil in the 7th oil layer group of the Triassic Yanchang Formation (Chang 7 oil layer group) in Fuxian-Ganquan area, Ordos Basin, were investigated from multiple perspectives of outcrop, core, logging and laboratory testing, combined with such dynamic data as production tests. The results show that the high-quality source rocks of Chang 7 oil layer group are developed well and widely and are characterized by large thickness, high organic richness, favorable type of kerogen and moderate maturity, thus provide an abundant oil source for tight oil enrichment and control the oil-water contact of the Chang 7 tight oil reservoirs. The Chang 7¹ and Chang 7² sub-layer groups in the Chang 7 oil layer group together with the underlying source rocks make up a source-reservoir assemblage characteristic of closeness between the underlying source rock and overlying reservoir. The analysis of diagenetic facies shows that quality diagenetic facies of reservoir controls the zones of tight oil enrichment. There is multi-phase oil charging in the tight oil reservoirs. During the early charging stages, the wettability of the reservoir rock was turned from water wet to mixed wettability with oil charging, leading to the formation of preferential channels for oil migration and accumulation, which determines the pathway and scope of oil migration and accumulation in the major pool-forming period, and to a certain extent constrains the distribution of the Chang 7 tight oil reservoirs. Baffles and barriers of various sizes compartmentalize the reservoirs into a network structure with intense heterogeneity, leading to differential fluid flow and complex oil-water contact in the sandstone. Meanwhile, the shelter of tight layers can also play a role in controlling the accumulation of Chang 7 tight oil. All the factors mentioned above collectively determine the limited distribution of tight oil,

收稿日期:2017-05-17;修订日期:2018-08-28。

第一作者简介:葛云锦(1981—),男,博士、高级工程师,石油地质。E-mail:121853731@qq.com。

基金项目:陕西省科技统筹创新工程计划项目(2012KTZB03-03);国家科技重大专项(2011ZX05003-001)。

the complexity of water-oil contact and the coexistence of oil wells and water wells.

Key words: diagenetic facies, heterogeneity, multi-phase charging, tight oil, Yanchang Formation, Triassic, Ordos Basin

随着常规油藏勘探开发程度越来越高,非常规油藏逐渐引起了业界的重视,尤其是致密油,已从勘探的热点领域逐渐转变为现实的资源接替领域。自美国成功勘探开发致密油以来^[1-4],中国也在鄂尔多斯盆地、准噶尔盆地以及四川等盆地开展了致密油勘探开发试验及研究,获得了实质性进展^[5-10]。中国诸多含油气盆地中,鄂尔多斯盆地致密油资源尤为丰富,其纵向上主要赋存于中生界三叠系延长组长6、长7油层组,平面上集中于三叠系延长组湖盆沉积中心。在非常规油气地质理论及大型压裂技术的带动下,盆地主力烃源岩层系长7油层组中致密油勘探获突破:长庆油田在合水、姬塬与新安边等地长7油层组提交了亿吨致密油探明储量;延长油田在志丹、甘泉与富县等地区相继发现延长组长7油层组致密油(长7致密油)富集区,并获得一定规模的产量^[11-18]。前人从沉积、储层特征与成藏条件等方面对长7致密油进行了研究,探讨了富集主控因素和成藏规律^[19-25],认为烃源岩、优势沉积相及储层、良好的源储组合和孔隙结构等是长7致密油富集的主控因素,但这些认识对盆地常规特低渗岩性油藏同样适用,未能体现致密油作为非常规油藏在成藏规律方面的特殊性。本文以鄂尔多斯盆地伊陕斜坡东南部富县—甘泉地区长7致密油为研究对象,基于测井、录井与分析测试等资料,结合试油试采数据,从烃源岩、储层成岩相、结构非均质性和致密层遮挡等多方面探讨长7致密油富集的主控因素,获得成藏关键认识,为盆地致密油勘探提供参考。

1 研究区地质概况

鄂尔多斯盆地是我国第二大含油气盆地,现今构造形态总体上呈东翼宽缓、西翼狭窄的不对称盆地。鄂尔多斯盆地可划分为6个构造单元(图1),伊陕斜坡是盆地内部一个平缓的西倾单斜,地层倾角一般不足1°,局部发育低幅鼻隆构造,是油气主要富集区。

盆地主要含油层系为中生界上三叠统延长组,分为长10—长1共10个油层组,长7沉积时期为湖盆鼎盛时期,沉积了盆地主力烃源岩。其自上而下可划分为3个亚油组:长7¹、长7²和长7³。长7¹顶部发育一套薄层黑色泥页岩或暗色泥质粉砂岩,长7²主要发育泥岩、粉砂质泥岩及粉砂岩,长7³主要发育一套黑色

油页岩和暗色粉砂质泥岩为代表的张家滩页岩。

研究区位于盆地伊陕斜坡东南部,主力油层是长8油层组、长7油层组与长6油层组,长7致密油富集于长7¹、长7²亚油组。储层岩性主要为灰色—浅灰色岩屑长石砂岩,孔隙度最大值为12.3%,最小值为0.80%,平均值为8.0%;渗透率最大值为4.4 × 10⁻³ μm²,最小值为0.01 × 10⁻³ μm²,平均值为0.28 × 10⁻³ μm²。

2 致密油富集主控因素

致密油指赋存于烃源岩或与烃源岩共生、紧邻的致密砂岩和致密碳酸盐岩等储集层中,未经过大规模长距离运移的石油聚集^[2],具4个明显标志^[26-27]:大面积分布的致密储层;广覆式分布的成熟优质生油层;

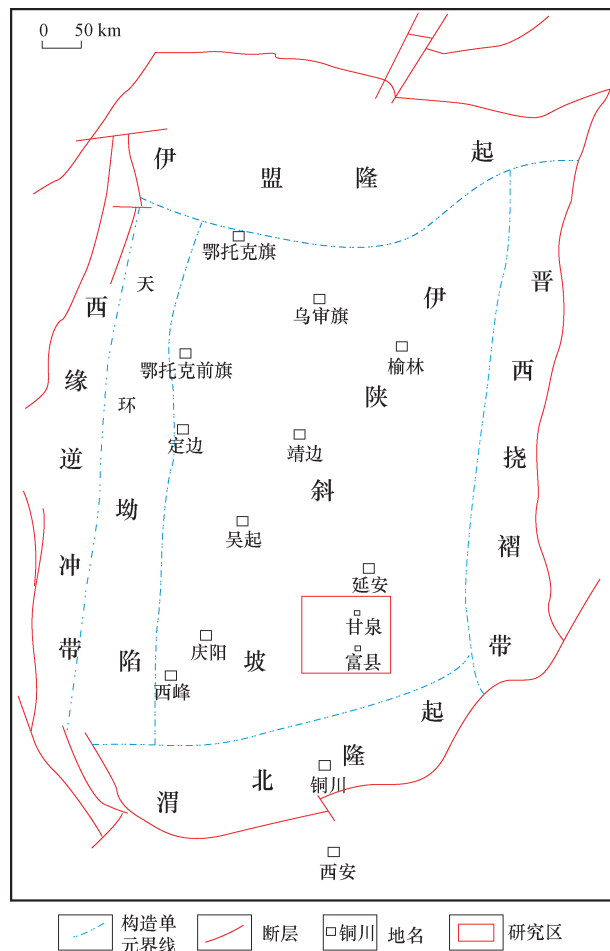


图1 鄂尔多斯盆地构造划分

Fig. 1 Structure division of Ordos Basin

连续型分布的致密储层与烃源岩紧密接触,无明显圈闭边界;致密储层内原油密度较低。烃源岩、储层和源储紧密接触是致密油富集的基本条件。

2.1 优质的烃源岩

长7油层组沉积时期,湖盆中心分布于姬塬—志丹—甘泉—富县一带,深湖相分布面积可达 $3.0 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。研究区内长7烃源岩广泛分布,厚度在30~50 m。长7³张家滩页岩最为稳定且厚度较大(10~20 m);长7¹烃源岩分布范围也较广,厚度在10 m左右,是研究区另一套重要烃源岩。

烃源岩实测数据显示,长7泥岩总有机碳(TOC)含量为1.13%~13.3%,峰值为4%~6%,为好烃源岩。长7³烃源岩TOC主要为6%~8%;长7¹烃源岩TOC主要为5%~6%,最高超过7%。干酪根显微组分观察显示,腐泥无定形体含量在0~19.68%,平均为9.8%;壳质组含量为27.87%~76.03%,平均为58.09%;镜质组主要包括富氢质镜质体和正常镜质体,其中富氢镜质体平均含量为4.45%,正常镜质体平均含量为27.26%,有机质类型主要为Ⅱ₁和Ⅱ₂型。镜质体反射率在0.8%~1.3%,平均值为1.12%,处于成熟生油阶段。2套烃源岩都具有生烃能力,提供了良好的油源条件。

烃源岩有机质类型、热成熟度的差异导致其生排烃强度有所不同,一定程度上控制着长7致密油分布。图2可见,致密油主要分布于长7³烃源岩生排烃强度大于 $40 \times 10^4 \text{ t/km}^2$,以及排烃强度高于 $20 \times 10^4 \text{ t/km}^2$ 的区域。少量出油点位于长7³烃源岩生排烃低值区,但主要受长7¹烃源岩的控制(生排烃强度大于 $40 \times 10^4 \text{ t/km}^2$)。烃源岩对长7致密油具有较强的控制作用,总体上较高的生排烃强度可以圈定长7致密油含油外边界。目前盆地内致密油富集的姬塬、志丹、甘泉和富县等地长7烃源岩条件均较好^[14-18],表明“广、厚、优”的烃源岩是致密油富集的主控因素之一。

2.2 紧邻的源岩—储层

致密油储层致密,渗流能力差,多为近源成藏,因此源储紧邻对成藏非常重要。研究区长7²亚油组与长7¹亚油组致密砂岩发育,厚度可达25 m,与下伏烃源岩直接接触,虽然储层致密,但含油性较好,渗透率小于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的致密砂岩也有一定的油气显示。甘泉地区长7²亚油组致密油富集,受长7³亚油组优质烃源岩控制明显。而富县地区长7²亚油组砂体不甚发育或长7²亚油组与长7¹亚油组砂体之间缺

少有效隔层,致密油主要集中在长7¹亚油组。此外,富县地区长7¹亚油组烃源岩相对较薄,但具有较强生排烃能力,有利于邻近的长7¹亚油组致密油富集。油藏剖面可见,研究区北部甘泉地区致密油主要富集于在长7²亚油组,东南部富县地区致密油富集于长7¹亚油组(图3)。

2.3 优质储层

在烃源岩控制的含油边界内,储层沉积微相类型和展布特征具有差异性,进而影响储层范围、厚度和物性,控制着长7致密油的分布。成岩相是储层沉积和成岩作用的综合展现^[28],是沉积物成岩作用后的最终形态,体现了成岩改造对储层的影响。根据成岩作用特征和孔隙发育特征,考虑胶结物类型,突出破坏性成岩作用与建设性成岩作用组合类型,采用主要成岩作用+物性主控因素的复合方式,将研究区储层划分为5种成岩相,从而预测有利储层(图4a—d)(表1)。

勘探结果显示,长7¹亚油组和长7²亚油组工业油流井主要集中在A+B相,个别在C相,极少数分布在D+E相,表明优质储层对致密油的分布具有较强的控制作用。在优质烃源岩控制的含油边界内,优质储层是致密油富集的主要控制因素之一,控制着致密油富集的区带(图5)。

研究区长7段广泛分布优质烃源岩,源储紧邻,优质储层面积大,理论上致密油应大面积成藏。但勘探实践显示,长7段致密油成藏范围相对局限,油藏富集范围内既有油井,也有出水井,表现出非常复杂的油水关系,表明致密油富集除受上述基础条件影响外,还受其他因素的控制。

2.4 异常压力

致密砂岩储层喉道细小,毛细管阻力大,长7段致密砂岩内石油运移成藏需要较高的驱动力。但鄂尔多斯盆地构造平缓,油水密度差产生的浮力较小,不足以驱动石油在致密储层中运移,需要其他的驱动力。随着长7段优质烃源岩生排烃转化率的不断增大,生油增压强度逐渐增大,形成了较高的源储压差,使原油可以突破致密储层的毛细管阻力,连续充注成藏^[21-25]。

鄂尔多斯盆地中生界主要成藏期为晚侏罗世—早白垩世,地层在早白垩世达到最大埋深。选取200余口资料齐全的钻井对泥岩最大埋深时期古压力进行研究。长6段以上泥岩为正常压实段,异常压力段主要出现在长7段泥页岩,对校正后的声波时差曲线进行了平衡深度、地层压力、静水压力和过剩压力的恢复。

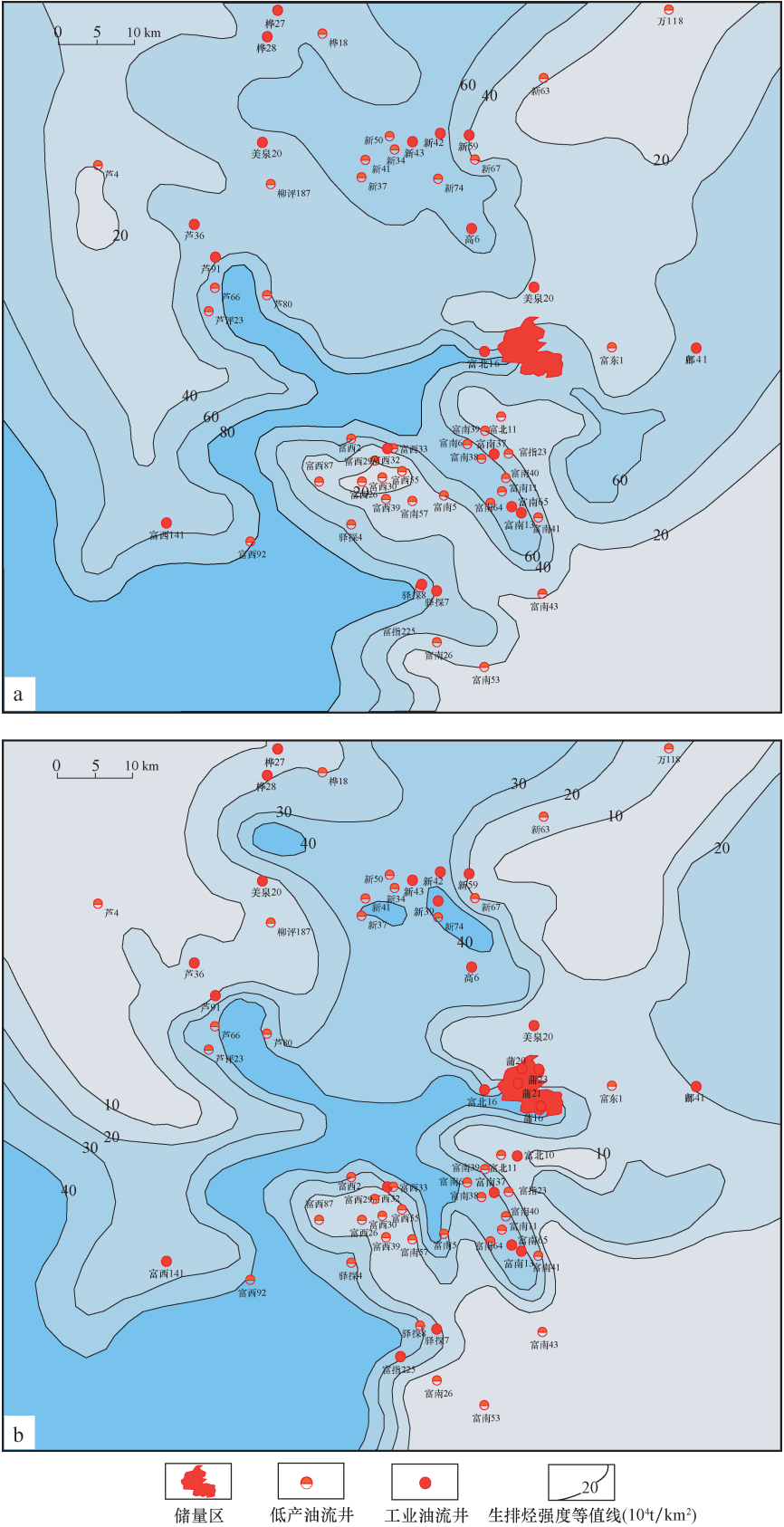


图2 鄂尔多斯盆地富县—甘泉地区长7油层组致密油与长7³亚段烃源岩生排烃强度关系
Fig.2 Correlation between the Chang 7 tight oil and the intensity of hydrocarbon generation-expulsion of Chang 7³ source rocks in Fuxian-Ganquan area, Ordos Basin
a. 生烃强度, b. 排烃强度

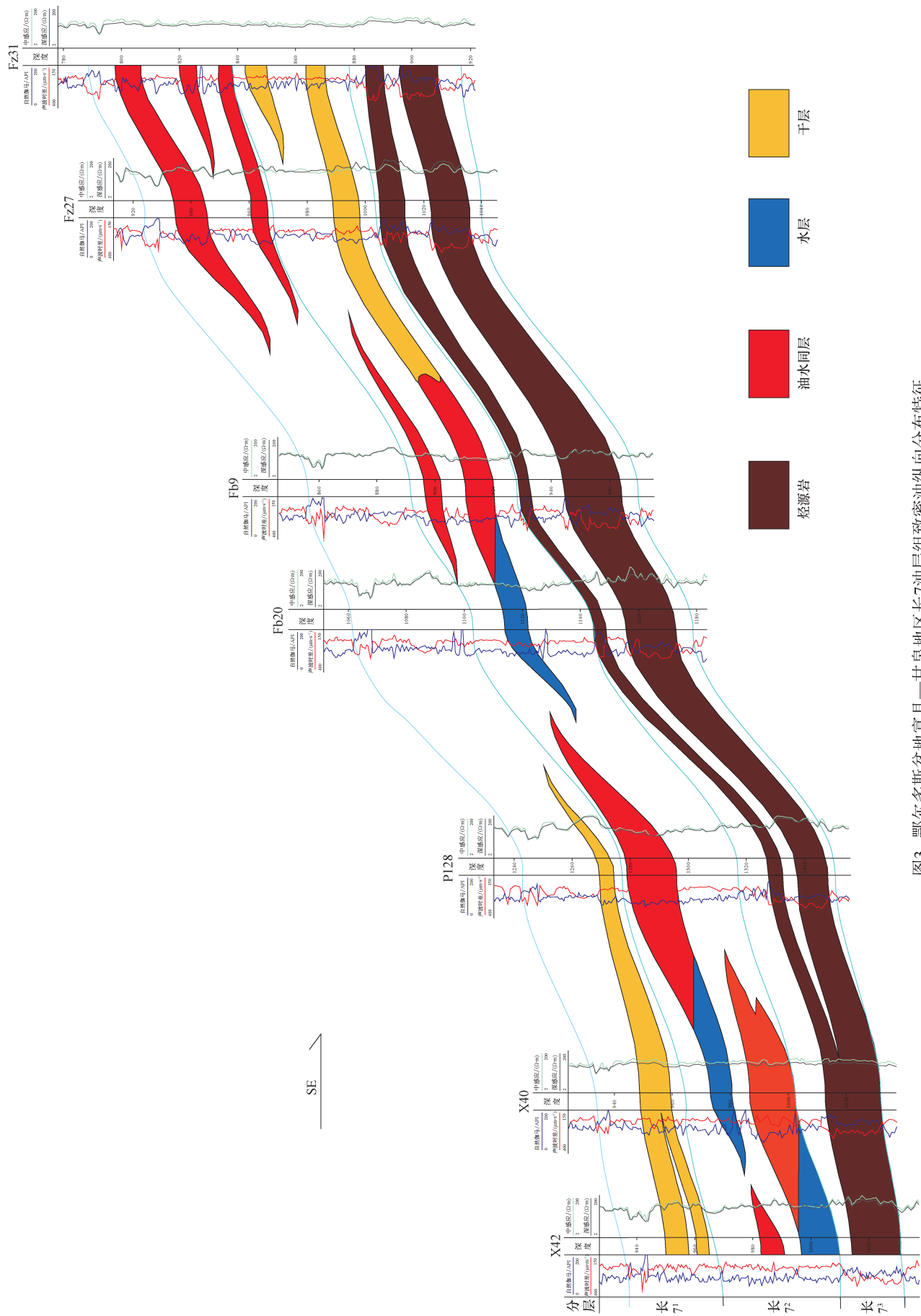


图3 鄂尔多斯盆地富县—甘泉地区长7油层组致密油纵向分布特征
Fig. 3 Vertical distribution of the Chang 7 tight oil in Fuxian-Ganquan area, Ordos Basin

表 1 鄂尔多斯盆地富县—甘泉地区成岩相划分类型

Table 1 Classification of diagenetic facies in Fuxian-Ganquan area, Ordos Basin

编号	成岩相类型	成岩特征	孔隙特征	胶结物含量/%				孔隙度/%
				绿泥石	伊利石	碳酸盐	硅质	
A	中压实绿泥石薄膜胶结原生粒间孔相	长石与部分岩屑颗粒溶蚀作用较强	粒内孔、铸模孔、溶蚀扩大孔、残余粒间孔	≥1				10 ~ 12
B	中压实不稳定组分溶蚀溶孔相	火山岩屑、沉积岩屑含量高,压实作用中等,溶蚀作用弱	粒间溶孔、粒内溶孔、杂基微孔	<1	≥4	<5	<2	8 ~ 10
C	强压实弱溶蚀微孔相	塑性岩屑压实强烈,颗粒凹凸接触	少量粒间溶孔、井间微孔、杂基微孔	<1	≥5	<6	<2	6 ~ 8
D	强压实伊利石胶结微孔相	压实强烈、颗粒凹凸接触、伊利石胶结作用发育	微小残余粒间孔为主	<1	≥7	<7	>2	<6
E	强压实钙质胶结致密相	压实强烈,碳酸盐胶结物连晶—基底式胶结	孔隙极少	<1		≥7		<6

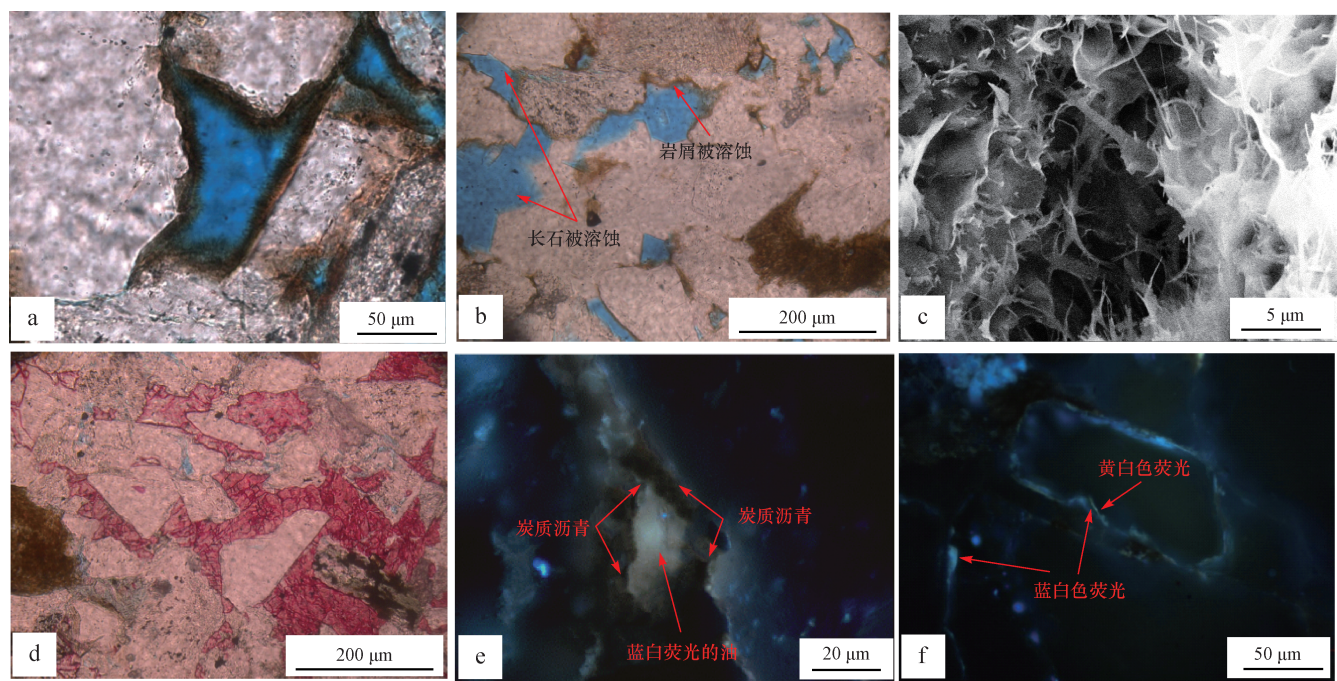


图 4 鄂尔多斯盆富县—甘泉地区地长 7 段致密储层成岩相特征及烃类充注

Fig. 4 Diagenetic facies characteristics and hydrocarbon charging of Chang 7 tight reservoir in Fuxian-Ganquan area, Ordos Basin

a. FZ32 井,长 7 段,埋深 891 m,单偏光,绿泥石环边保护粒间孔隙(成岩 A 相);b. LP131 井,长 7 段,埋深 1 759 m,单偏光,长石及岩屑被溶蚀(成岩 B 相);c. L131 井,长 7 段,埋深 1 754 m,扫描电镜,伊利石晶间微孔(成岩 D 相);d. LP18 井,长 7 段,埋深 1 547 m,单偏光,方解石连晶式胶结,孔隙不发育(成岩 E 相);e. Fz32 井,长 7 段,埋深 904 m,荧光,孔隙边缘充填碳质沥青,而后中间又充注黄色荧光烃类;f. FX89 井,长 7 段,埋深 1 240 m,荧光,颗粒边缘先捕获黄色荧光,后充注蓝白色荧光

结果显示长 7 泥页岩段整体具有相对较高的过剩压力,一般在 8 MPa 以上,最高可达 10 ~ 14 MPa。代入毛细管力公式:

$$p_c = 2\sigma\cos\theta/\gamma \tag{1}$$

式中: p_c 为异常压力,MPa; σ 为油水界面张力,N/m; θ 为润湿角,°; γ 为孔喉半径,nm。

取石油运聚时期油水界面张力为 0.367 N/m,设

定石油运聚初始阶段储层完全亲水, θ 取值为 0°,得到地质条件下 8 MPa 异常压力可突破的孔喉半径为 91 nm,14 MPa 异常压力可突破的孔喉半径为 52 nm,即生烃增压可突破的孔喉半径下限为 52 ~ 91 nm。高压压汞实验得到研究区长 7 段储层平均突破压力为 2.7 MPa,中值压力为 9 ~ 40 MPa,主要分布在 10 ~ 14 MPa,喉道半径分布在 75 ~ 170 nm。表明异常高压

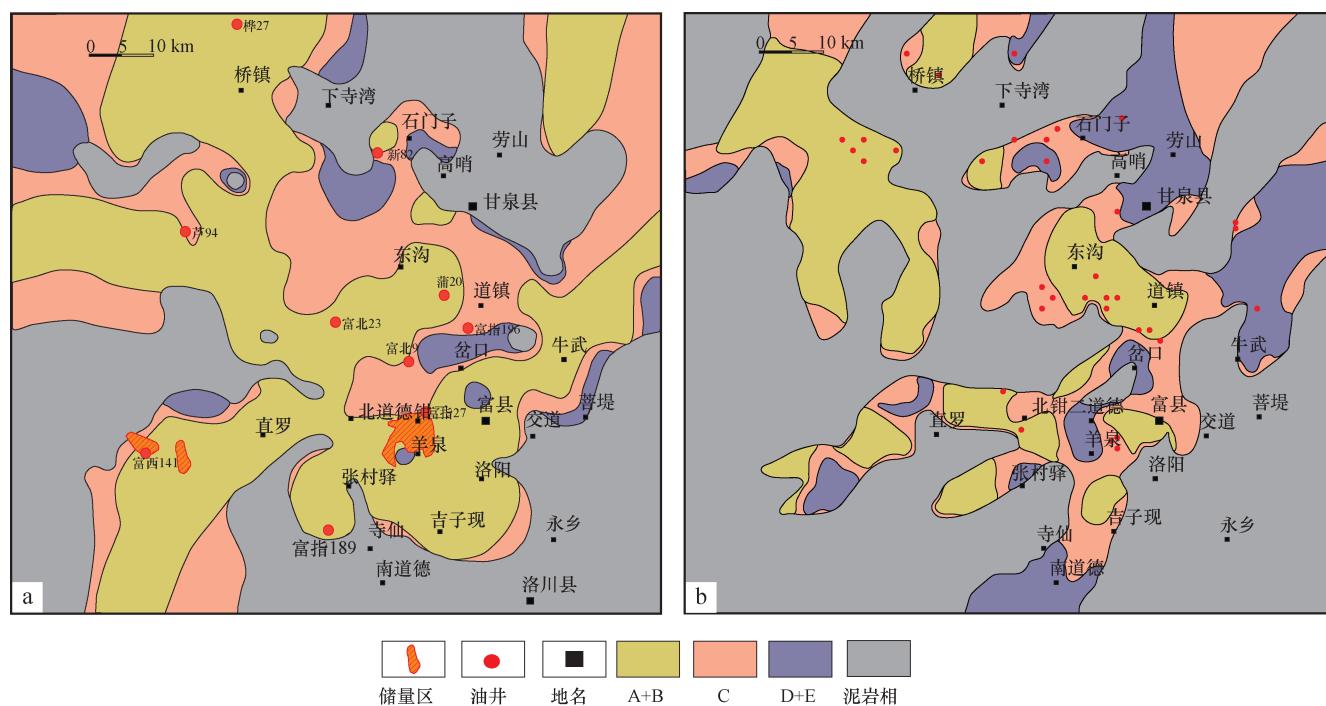


图5 鄂尔多斯盆地富县—甘泉地区长7油层组致密油分布与成岩相叠合图

Fig. 5 Distribution map of the Chang 7 tight oil with diagenetic facies overlapped in Fuxian-Ganquan area, Ordos Basin

a. 长7¹亚油组; b. 长7²亚油组

能够克服致密储层的突破压力,驱动原油进入储层;但是部分致密储层中值压力较高,异常压力无法使原油持续充注达到较高的含油饱和度并最终成为工业价值油藏,导致油藏内出现水井。动力和阻力的相互耦合是油水混储重要原因之一。

2.5 早期烃类充注

显微镜下观察发现,长7段中存在3种颜色荧光的烃类物质:黑色碳质沥青、黄色—淡黄色荧光烃类和蓝色—蓝白色荧光烃类。碳质沥青多残留于孔隙边缘,部分赋存于层理缝和绿泥石膜中;黄色荧光的烃类主要赋存于粒间孔隙和部分长石、方解石的解理缝和绿泥石膜中;蓝色—蓝白色荧光烃类主要赋存于粒间孔、粘土矿物晶间孔和绿泥石膜中。由3种颜色烃类物质和矿物之间的共生接触关系判断其形成期次为:黑色沥青—黄色荧光烃类—蓝白色荧光烃类(图4e,f)。与3种颜色烃类包裹体共生的盐水包裹体均一温度也分为3期,分别为65~75, 90~100和110~120℃。结合埋藏史、热史与烃源岩排油史,3期油气充注时间分别为侏罗纪晚期、早白垩世早期和洛河组沉积时期。大量岩石薄片观察发现,晚期发蓝色—蓝白色荧光烃类一般和早期的碳质沥青、黄色—黄白色荧光烃类共存,有蓝色—蓝白色荧光烃类的区域一般存在早期碳质沥青或黄色—黄白色荧光烃类物质,

而炭质沥青或黄色—黄白色荧光烃类存在的区域晚期蓝色—蓝白色荧光烃类物质不一定发育;即早期原油充注发生的地方才有晚期原油充注,未经历早期原油充注的区域没有晚期原油充注,早期原油充注限制了晚期原油充注的范围。其原因是早期原油改变了储层颗粒表面润湿性,形成混合润湿通道,晚期原油充注时阻力较小,运移相对容易。由于早期烃类充注的路径一定程度上限制了晚期原油运聚成藏范围,造成了长7段致密油没有大面积成藏,而是集中在某些区域。

2.6 储层非均质性

致密油成藏范围局限,油水关系复杂的另一关键因素是储层结构的非均质性。结构非均质性主要由储层内广泛分布的隔夹层导致^[29-30],其不仅控制了储层的成岩作用,对油气运聚成藏也有明显的影响,使原油运移通道或油藏内部结构复杂化,形成复杂的油水关系。

研究区砂岩中隔夹层类型众多,分布各异,主要为细粒沉积隔夹层,如泥岩、钙质胶结隔夹层与软岩屑隔夹层。根据野外露头与岩心观察,隔夹层分布方式主要分为3类(图6):①平板式泥岩隔夹层,隔夹层与储层产状基本一致,隔夹层之间倾角也大致相同,一般延伸较远;②斜列式,隔夹层与储层呈一定夹角,隔夹层倾向相同、倾角相近,通常成系列出现在侧积和前积作用形成的砂体内,对含油流体的分隔作用较强,可能形

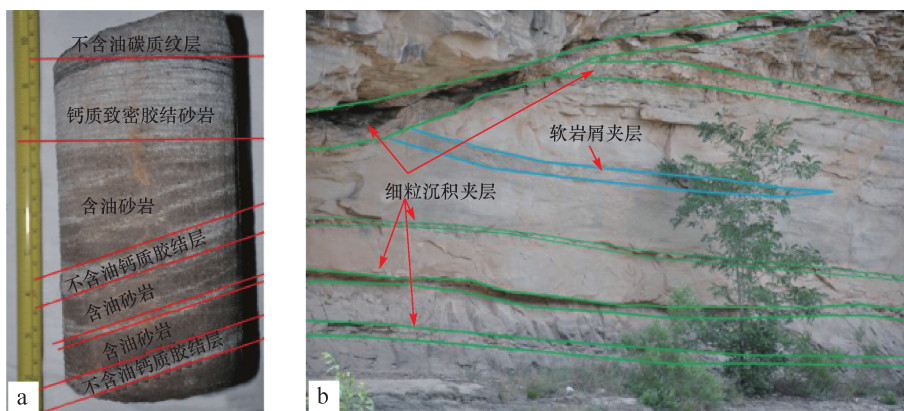


图6 鄂尔多斯盆地富县—甘泉地区岩心及野外露头中隔夹层分布样式

Fig. 6 Distribution patterns of baffles and barriers in cores and outcrop in Fuxian-Ganquan area, Ordos Basin

a. D233井,长7段,埋深1 823 m,钙质胶结层水平及斜列式分布;b. 延长县张家滩镇长7段地层细粒沉积和软岩屑夹层分布样式

成小规模岩性油藏;③杂乱式,隔夹层倾向和倾角变化无规律,沉积方式比较复杂,主要在滑塌浊积砂中出现,成岩流体在储层孔隙中的不规则运动及水—岩反应也会造成钙质胶结砂岩不规则分布。

泥质隔夹层主要分为前三三角洲泥岩,分流间湾泥岩和下水分流河道砂体顶部的泥岩披盖,是级别较大基准面旋回的顶部,代表一次相对稳定的湖平面上升阶段的沉积物。软岩屑隔夹层塑性岩屑和云母等含量相对偏高,压实过程中这些颗粒容易发生挠曲变形,造成岩石骨架颗粒滑动和重新排列,加剧压实作用,其经常位于低级别基准面旋回的上部或顶部,沿层理方向延伸发展,可能代表一次洪泛落淤沉积物。钙质胶结隔夹层是碳酸盐胶结物致密胶结而使得储层孔隙度和渗透率变得很低,即“物性夹层”。在陆相沉积环境中,横切物源方向砂体为多期河道叠置,顺物源方向河道在频繁迁移中相互截切,伴随河道的产生和消失,在河道间和河道砂体的顶部与底部沉积了泥岩和粉砂岩^[31]。受沉积及成岩的影响,这些细粒沉积物与钙质隔夹层、软岩屑隔夹层在空间上呈平板式、斜交式以及杂乱式等多种样式相互交接和截切。隔夹层及其组合以不同尺度、不同形式分割储层,将砂体分隔为“网状”迷宫式格局,在流体动力学上具有隔而不断、封而不闭的特征,导致砂岩中差异化的流体流动、成岩过程和油气运聚。储层彼此不连通或不完全连通,造成致密油成藏范围局限,油水关系复杂化,油井与水井共存。

2.7 致密层遮挡

致密储层内油气不发生长距离运移,理论上成藏不需要盖层封堵。但富县地区长7段致密油勘探实践表明,致密油主要富集在7¹亚油组,且主要分布在长

7¹油组顶部砂岩中,上覆泥岩或钙质夹层(图7a),而顶部没有泥岩或钙质夹层的砂岩即使油气显示和物性都较好,试油也只出水(图7b),表明砂岩顶部致密层的封堵也是致密油成藏的关键因素。由于早期优势运移通道的存在,长7段致密储层中原油可以垂向或侧向运移,如果没有致密遮挡层的存在,即使有良好的油气显示,也很难形成油藏;致密层遮挡下的相对高孔高渗带是致密油富集的最有利部位。

综上所述,优质烃源岩、优质储层和源储紧邻是研究区致密油富集的基本控制因素,广泛发育的优质烃源岩控制长7段致密油含油边界,优质储层控制了致密油富集区带,是致密油勘探的有利区。在有利区中,早期原油充注、相对较弱的非均质性、有利的致密遮挡层控制着致密油的富集位置,即“甜点”。勘探中应加强控制因素研究,识别“甜点”,提高致密油勘探成功率。

3 结论

1) 鄂尔多斯盆地东南部富县—甘泉地区长7段沉积时期位于湖盆中心,烃源岩条件好,发育下源上储、上源下储的源储紧邻成藏组合,具有良好的致密油勘探潜力;致密油主要富集于长7¹与长7²亚油组。储层岩性主要为灰色—浅灰色岩屑长石砂岩,渗透率平均值为 $0.28 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

2) 优质烃源岩、优质储层、优质源储组合是研究区致密油富集的基本控制因素。广泛发育的长7优质烃源岩厚度大、有机质丰富、处于生油高峰期,为致密油提供了丰富的油源,控制长7段致密油含油边界;长7²亚油组与长7¹亚油组储层紧邻烃源岩,发育面积广,形成良好源储配置关系,控制了致密油富集的区带。

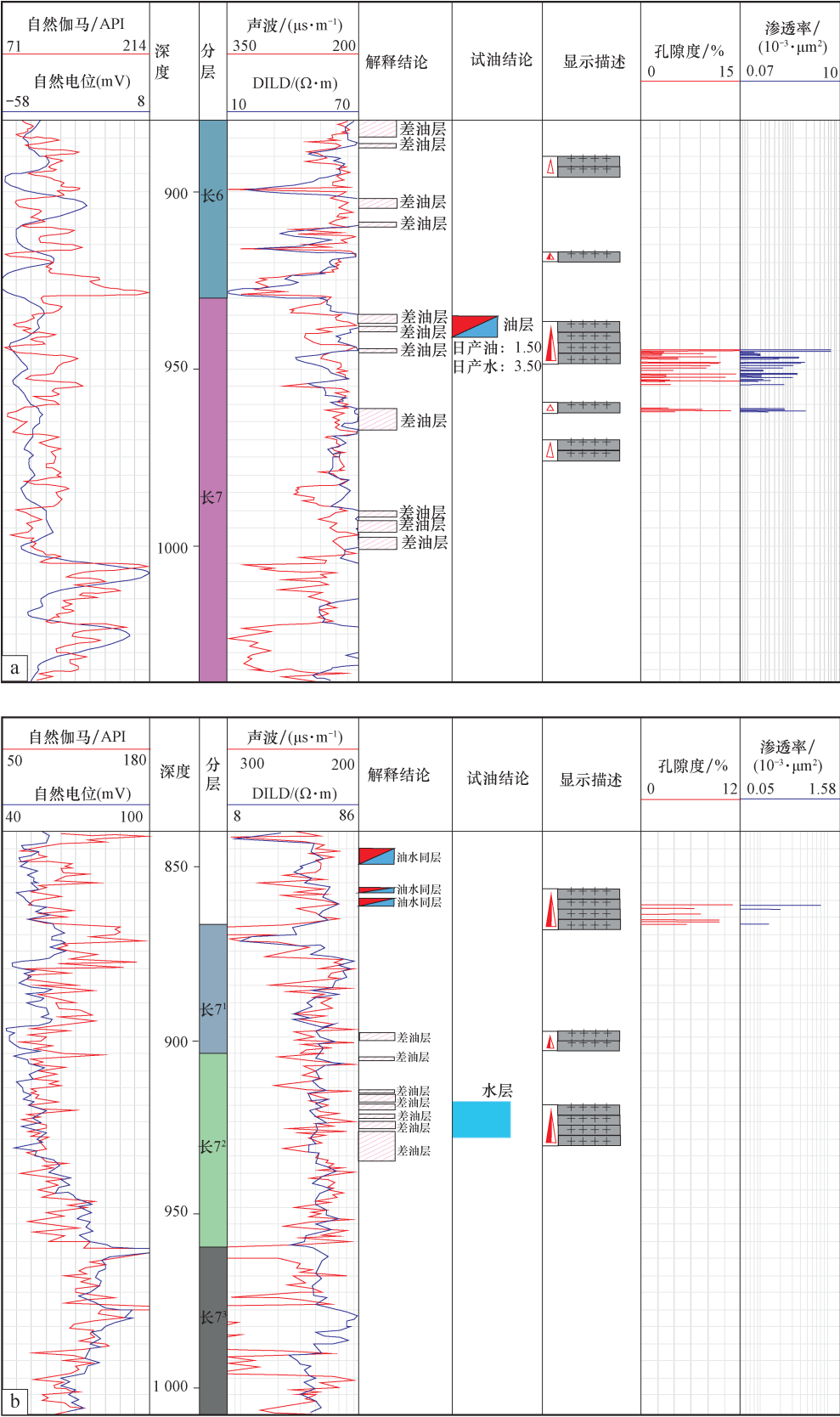


图 7 鄂尔多斯盆地富县—甘泉地区长 7 油层组致密油典型测井曲线及试油结果

Fig. 7 Typical logging curve and production testing of Chang 7 tight oil in Fuxian-Ganquan area, Ordos Basin

a. Fn14 井,长 7 段,砂体顶部发育致密遮挡层,试油获工业油流; b. Fn65 井,长 7 段,砂体及油气显示好,但顶部无遮挡层,试油结果为水层

3) 致密储层内存在多期原油充注,早期原油运移改变了储层岩石润湿性,形成了原油运移聚集的优势通道。早期烃类充注的路径及范围决定了晚期大规模成藏期原油运聚的路径和范围,限制了致密油成藏范围,使得长7段致密油未形成理论上的大面积成藏。

4) 不同尺度隔夹层以不同形式将砂体分隔为“网状”格局,强烈的非均质性导致了砂岩中差异化的流体流动、成岩过程和油气运聚。储层彼此不连通或不完全连通,造成致密油油藏范围局限,油水关系复杂化,油井与水井共存。

参考文献

- [1] Sonnenberg S A, Aris P. Petroleum geology of the giant Elm Coulee field, Williston Basin [J]. AAPG Bulletin, 2009, 93 (9): 1127 - 1153.
- [2] 贾承造, 邹才能, 李建忠, 等. 中国致密油评价标准、主要类型、基本特征及资源前景 [J]. 石油学报, 2012, 33 (3): 343 - 350.
- Jia Chengzao, Zou Caineng, Li Jianzhong, et al. Assessment criteria, main types, basic features and resource prospects of the tight oil in China [J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33 (3): 343 - 350.
- [3] 贾承造, 郑民, 张永峰. 中国非常规油气资源与勘探开发前景 [J]. 石油勘探与开发, 2012, 39 (2): 129 - 136.
- Jia Chengzao, Zheng Min, Zhang Yongfeng. Unconventional hydrocarbon resources in China and the prospect of exploration and development [J]. Petroleum Exploration and Development, 2012, 39 (2): 129 - 136.
- [4] 林森虎, 邹才能, 袁选俊, 等. 美国致密油开发现状及启示 [J]. 岩性油气藏, 2011, 23 (4): 25 - 30.
- Lin Senhu, Zou Caineng, Yuan Xuanjun, et al. Status quo of tight oil exploitation in the United States and its implication [J]. Lithologic Reservoirs, 2011, 23 (4): 25 - 30.
- [5] 梁狄刚, 冉隆辉, 戴弹申, 等. 四川盆地中北部侏罗系大面积非常规石油勘探潜力的再认识 [J]. 石油学报, 2011, 32 (1): 8 - 17.
- Liang Digang, Ran Longhui, Dai Danshen, et al. A re-recognition of the prospecting potential of Jurassic large-area and non-conventional oils in the central-northern Sichuan Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32 (1): 8 - 17.
- [6] 黄薇, 梁江平, 赵波松, 等. 辽盆地北部白垩系泉头组扶余油层致密油成藏主控因素 [J]. 古地理学报, 2013, 15 (5): 635 - 644.
- Huang Wei, Liang Jiangping, Zhao Bo, et al. Main controlling factors of tight oil accumulations in the Fuyu Layer of Cretaceous Quantou Formation in northern Songliao Basin [J]. Journal of palaeogeography, 2013, 15 (5): 635 - 644.
- [7] 蒲秀刚, 周立宏, 韩文中, 等. 细粒相沉积地质特征与致密油勘探——以渤海湾盆地沧东凹陷孔店组二段为例 [J]. 石油勘探与开发, 2016, 43 (1): 1 - 10.
- Pu Xiugang, Zhou Lihong, Han Wenzhong, et al. Geological features of fine-grained facies sedimentation and tight oil exploration: A case from the second Member of Paleogene Kongdian Formation of Cangdong sag, Bohai Bay Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2016, 43 (1): 1 - 10.
- [8] 匡立春, 唐勇, 雷德文, 等. 准噶尔盆地二叠系咸化湖相云质岩致密油形成条件与勘探潜力 [J]. 石油勘探与开发, 2012, 39 (6): 657 - 667.
- Kuang Lichun, Tang Yong, Lei Dewen, et al. Formation conditions and exploration potential of tight oil in the Permian saline lacustrine dolomitic rock, Junggar Basin, NW China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2012, 39 (6): 657 - 667.
- [9] 梁浩, 李新宁, 马强, 等. 三塘湖盆地条湖组致密油地质特征及勘探潜力 [J]. 石油勘探与开发, 2014, 41 (5): 563 - 572.
- Liang Hao, Li Xinning, Ma Qiang, et al. Geological features and exploration potential of Permian Tiaohu Formation tight oil, Santanghu Basin, NW China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2014, 41 (5): 563 - 572.
- [10] 杨华, 李士祥, 刘显阳. 鄂尔多斯盆地致密油、页岩油特征及资源潜力 [J]. 石油学报, 2013, 34 (1): 1 - 10.
- Yang Hua, Li Shixiang, Liu Xianyang. Characteristics and resource prospects of tight oil and shale oil in Ordos Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2013, 34 (1): 1 - 10.
- [11] 白玉彬, 赵靖舟, 赵子龙, 等. 鄂尔多斯盆地志丹地区延长组长7致密油成藏条件与成藏特征 [J]. 石油与天然气地质, 2013, 34 (5): 631 - 639.
- Bai Yubin, Zhao Jingzhou, Zhao Zilong, et al. Accumulation conditions and characteristics of the Chang 7 tight oil reservoir of the Yanchang Formation in Zhidan area, Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34 (5): 631 - 639.
- [12] 任战利, 李文厚, 梁宇, 等. 鄂尔多斯盆地东南部延长组致密油成藏条件及主控因素 [J]. 石油与天然气地质, 2014, 35 (2): 190 - 197.
- Ren Zhanli, Li Wenhui, Liang Yu, et al. Tight oil reservoir formation conditions and main controlling factors of Yanchang Formation in southeastern Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35 (2): 190 - 197.
- [13] 姚泾利, 邓秀芹, 赵彦德, 等. 鄂尔多斯盆地延长组致密油特征 [J]. 石油勘探与开发, 2013, 40 (2): 150 - 158.
- Yao Jingli, Deng Xiuqin, Zhao Yande, et al. Characteristics of tight oil in Triassic Yanchang Formation, Ordos Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2013, 40 (2): 150 - 158.
- [14] 白玉彬, 罗静兰, 王少飞, 等. 鄂尔多斯盆地吴堡地区延长组长8致密砂岩油藏成藏主控因素 [J]. 中国地质, 2013, 40 (4): 1159 - 1168.
- Bai Yubin, Luo Jinglan, Wang Shaofei, et al. The distribution of Chang-8 tight sandstone oil reservoir of Yanchang Formation in Wubao area, central-south of Ordos Basin [J]. Geology in China, 2013, 40 (4): 1159 - 1168.
- [15] 白玉彬, 赵子龙, 赵靖舟, 等. 鄂尔多斯盆地安塞地区长9致密油成藏机理与主控因素 [J]. 中南大学学报 (自然科学版), 2014, 45 (9): 3127 - 3135.
- Bai Yubin, Zhao Zilong, Zhao Jingzhou, et al. Oil reservoir forming mechanisms and main controlling factors of tight oil of Chang-9 member in Ansai area, Ordos Basin [J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2014, 45 (9): 3127 - 3135.
- [16] 白玉彬, 赵靖舟, 赵子龙, 等. 鄂尔多斯盆地志丹地区延长组长7

- 致密油成藏条件与成藏特征[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(5): 631–639.
- Bai Yubin, Zhao Jingzhou, Zhao Zilong, et al. Accumulation conditions and characteristics of the Chang 7 tight oil reservoir of the Yanchang Formation in Zhidan area, Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(5): 631–639.
- [17] 张凤奇, 张凤博, 钟红利, 等. 鄂尔多斯盆地甘泉南部地区延长组长7致密油富集主控因素[J]. 岩性油气藏, 2016, 28(3): 12–19.
- Zhang Fengqi, Zhang Fengbo, Zhong Hongli, et al. Main controlling factors of the enrichment of Chang 7 tight oil of Yanchang Formation in southern Ganquan area, Ordos Basin[J]. Lithologic Reservoirs, 2016, 28(3): 12–19.
- [18] 赵卫卫, 杨云祥, 宋和平, 等. 鄂尔多斯盆地地下寺湾地区长7致密油地质特征及成藏主控因素[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2014, 45(12): 4267–4276.
- Zhao Weiwei, Yang Yunxiang, Song Heping, et al. Geological characteristics and main controlling factors of hydrocarbon accumulation in Chang 7 tight oil of Yanchang Formation of Xiasiwan area, Ordos Basin[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2014, 45(12): 4267–4276.
- [19] 杨华, 梁晓伟, 牛小兵, 等. 陆相致密油形成地质条件及富集主控因素——以鄂尔多斯盆地三叠系延长组7段为例[J]. 石油勘探与开发, 2017, 44(1): 12–20.
- Yang Hua, Liang Xiaowei, Niu Xiaobing, et al. Geological conditions for continental tight oil formation and the main controlling factors for the enrichment: A case of Chang 7 Member, Triassic Yanchang Formation, Ordos Basin, NW China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2017, 44(1): 12–20.
- [20] 杨智, 侯连华, 陶士振, 等. 致密油与页岩油形成条件与“甜点区”评价[J]. 石油勘探与开发, 2015, 42(5): 555–565.
- Yang Zhi, Hou Lianhua, Tao Shizhen, et al. Formation conditions and “sweet spot” evaluation of tight oil and shale oil[J]. Petroleum Exploration and Development, 2015, 42(5): 555–565.
- [21] 付金华, 喻建, 徐黎明, 等. 鄂尔多斯盆地致密油勘探开发新进展及规模富集可开发主控因素[J]. 中国石油勘探, 2015, 20(5): 9–18.
- Fu Jinhua, Yu Jian, Xu Liming, et al. New progress in exploration and development of tight oil in Ordos Basin and main controlling factors of large-scale enrichment and exploitable capacity[J]. China Petroleum Exploration, 2015, 20(5): 9–18.
- [22] 张忠义, 陈世加, 杨华, 等. 鄂尔多斯盆地三叠系长7段致密油成藏机理[J]. 石油勘探与开发, 2016, 43(4): 590–599.
- Zhang Zhongyi, Chen Shijia, Yang Hua, et al. Tight oil accumulation mechanisms of Triassic Yanchang Formation Chang 7 Member, Ordos Basin, China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2016, 43(4): 590–599.
- [23] 白斌, 朱如凯, 吴松涛, 等. 利用多尺度CT成像表征致密砂岩微观孔喉结构[J]. 石油勘探与开发, 2013, 40(3): 329–333.
- Bai Bin, Zhu Rukai, Wu Songtao, et al. Multi-scale method of Nano (Micro)-CT study on microscopic pore structure of tight sandstone of Yanchang Formation, Ordos Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2013, 40(3): 329–4333.
- [24] 郭彦如, 刘俊榜, 杨华, 等. 鄂尔多斯盆地延长组低渗透致密岩性油藏成藏机理[J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(4): 417–425.
- Guo Yanru, Liu Junbang, Yang Hua, et al. Hydrocarbon accumulation mechanism of low permeable tight lithologic oil reservoirs in the Yanchang Formation, Ordos Basin, China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2012, 39(4): 417–425.
- [25] 姚泾利, 赵彦德, 邓秀芹, 等. 鄂尔多斯盆地延长组致密油成藏控制因素[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2015, 45(4): 983–992.
- Yao Jingli, Zhao Yande, Deng Xiuqin, et al. Controlling Factors of tight oil reservoir in Triassic Yanchang Formation in Ordos Basin[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2015, 45(4): 983–992.
- [26] 邹才能, 张国生, 杨智, 等. 非常规油气概念、特征、潜力及技术: 兼论非常规油气地质学[J]. 石油勘探与开发, 2013, 40(4): 385–399.
- Zou Caineng, Zhang Guosheng, Yang Zhi, et al. Geological concepts, characteristics, resource potential and key techniques of unconventional hydrocarbon: On unconventional petroleum geology[J]. Petroleum Exploration and Development, 2013, 40(4): 385–399.
- [27] 邹才能, 朱如凯, 吴松涛, 等. 常规与非常规油气聚集类型、特征、机理及展望: 以中国致密油和致密气为例[J]. 石油学报, 2012, 33(2): 173–187.
- Zou Caineng, Zhu Rukai, Wu Songtao, et al. Types, characteristics, genesis and prospects of conventional and unconventional hydrocarbon accumulations: Taking tight oil and tight gas in China as an instance[J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(2): 173–187.
- [28] 冯旭, 刘洛夫, 窦文超, 等. 鄂尔多斯盆地西南部长7和长6–3致密砂岩成岩作用与成岩相[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2016, 43(4): 476–486.
- Feng Xu, Liu Luofu, Dou Wenchao, et al. Diagenesis and diagenetic facies of the Chang 7 and Chang 6–3 tight sandstone reservoirs in southwestern Ordos Basin, China[J]. Journal of ChengDu of Technology (Science and Technology Edition), 2016, 43(4): 476–486.
- [29] 罗晓容, 张立宽, 雷裕红, 等. 储层结构非均质性及其在深层油气成藏中的意义[J]. 中国石油勘探, 2016, 21(1): 28–36.
- Luo Xiaorong, Zhang Likuan, Lei Yuhong, et al. Structural heterogeneity of reservoirs and its implication on hydrocarbon accumulation in deep zones[J]. China Petroleum Exploration, 2016, 21(1): 28–36.
- [30] 罗晓容, 王忠楠, 雷裕红, 等. 特超低渗砂岩油藏储层非均质性特征与成藏模式——以鄂尔多斯盆地西部延长组下组合为例[J]. 石油学报, 2016, 37(增刊1): 87–98.
- Luo Xiaorong, Wang Zhongnan, Lei Yuhong, et al. Heterogeneity characteristics and accumulation model of ultra-low permeability sandstone reservoirs: a case study of the lower part of Yanchang Formation in the western Ordos Basin, China[J]. Acta Petrolei Sinica, 2016, 37(S1): 87–98.
- [30] Donselaar M E, Overreem I. Connectivity of fluvial point-bar deposits: an example from the Miocene Huesca fluvial fan, Ebro Basin, Spain[J]. AAPG Bulletin, 2008, 92(9): 1109–1129.