

鄂尔多斯盆地富县地区长8油层组致密油成藏主控因素分析

刘秀婵¹, 陈西泮²

(1. 延安大学石油工程与环境工程学院, 陕西 延安 716000; 2. 延长油田股份有限公司, 陕西 延安 716000)

摘要: 基于大量岩心分析数据, 从研究鄂尔多斯盆地富县地区延长组长8致密油性质、赋存空间入手, 综合分析该区致密油成藏主控因素。富县长8段细砂岩含低密度、低黏度可流动致密油, 且多聚集在微米级孔隙中。致密油成藏主要受控于广泛发育的长7、长9烃源岩, “源夹储、储内夹源”成藏模式, 水下分流河道微相环境下形成的复合叠置沉积砂体优质储层三大因素。根据上述致密油藏控制因素, 结合目前勘探实践, 预测出富县地区长8致密油6个潜力区块, 为下一步勘探提供依据。

关键词: 成藏主控因素; 致密油; 长8油层组; 富县地区; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: P512

文献标识码: A

Analysis on main controlling factors of tight oil reservoirs in Chang-8 reservoir of Fu County, Ordos Basin

Liu Xiuchan¹ and Chen Xipan²

(1. School of Petroleum Engineering and Environmental Engineering, Yan'an University, Yan'an, Shaanxi 716000, China;
2. Shaanxi Yanchang Petroleum Co., Ltd., Yan'an, Shaanxi 716000, China)

Abstract: Based on the massive analytical data of core, we comprehensively researched on the main controlling factors of the tight oil reservoir according to the property and the storage space of the tight oil formation in Chang-8 reservoir of Fu County in Ordos Basin. Fine sandstone in Chang-8 reservoir contained the movable tight oil with low density and low viscosity, and mostly concentrated in micron-sized pore throats. The accumulation of tight oil was mainly controlled by three factors that were the source rocks of Chang-7 and Chang-9 reservoirs, the main accumulation mode of "the reservoir existed in the resource, and the resource existed in the reservoir", and the high quality reservoir with composite superimposed sedimentary sand body formed in the underwater distributary channel microfacies environment. Based on the controlling factors above, and combined with the current exploration results, we predicted 6 potential blocks of Chang-8 tight oil reservoir in Fu County, and provided the basis for the further exploration.

Key words: controlling factors of reservoir formation, tight oil, Chang-8 reservoir, Fu County, Ordos Basin

近年来致密油作为非常规油藏一大类型, 成为国内外勘探和研究的热点^[1]。我国鄂尔多斯盆地三叠系延长组长6、长7、长8、长9油层组发育典型致密油藏, 具有良好的油气资源前景, 主要分布于定边—吴起—延安—富县—黄龙、环县—华池—庆城—合水—庆阳—正宁两大区域^[2,3]。目前, 众多研究者主

要集中对盆地长7致密油的地质认识、成藏特征、主控因素、微观特征及开发模式等方面^[4-6]进行研究, 并取得重要进展, 但针对盆地南部长8致密油的认识程度相对较低, 尤其对盆地南部(甘泉、富县、黄陵和旬邑地区)长8致密油藏研究仍存在致密油分布规律及主控因素和南部长8致密油与邻层长7、长9生储关

收稿日期: 2018-06-06。

第一作者简介: 刘秀婵(1985—), 女, 硕士, 讲师, 石油天然气勘探开发。

基金项目: 国家自然科学基金“陆相页岩岩性非均质性及其对油气滞留的影响”(41702136); 延安大学2015年度校级青年项目(YDK2015-66); 延安大学2018年度校级青年项目(YDK2018-27)。

系不明确等显著问题。从富县地区长8致密油地质特征出发,分析该区域长8致密油分布主控因素,以期为盆地南部致密油研究、为富县地区长8致密油下一步勘探部署提供借鉴。

1 长8油层致密油分布

富县地区位于鄂尔多斯盆地陕北斜坡东南部,呈与构造背景吻合的东高西低低角度单斜,自东向西发育3个鼻状隆起,勘探面积4 182 km²。研究区受渭北隆起、晋西挠褶带形成与演化的控制,白垩纪晚期大幅度抬升剥蚀^[7]。主力产油层有长2、长7及长8。其中长8油层厚度最大、产能最强,地层平均埋深1 030~1 550 m,根据沉积旋回和岩性、电性特征,将长8油层组自下而上分为长8²、长8¹两个亚组,地层总厚度约90~130 m,其中长8¹地层厚约38~

64 m,长8²地层厚约32~65 m,致密油多富集于长8²亚组。

富县地区长8致密油勘探获得突破地区有姜家川油区、大东沟油区、水磨沟油区、钳二油区四个有利区块,探明面积约62 km²。纵向上,长8致密油分布于覆盖盆地西南大部分区域的长7张家滩页岩与盆地中南部发育的长9李家畔页岩中间(图1),平面上,四个主力致密油区块均位于湖盆边界形成的三角洲前缘水下分流河道储集砂体中。

2 长8致密油特征

2.1 地层原油性质

依据富县地区6口长8油层原油高压物性分析结果,长8致密油地层原油性质如下(表1):长8油层温度为53.12~60.92℃,平均56.89℃,地层原油密度为0.738 8~0.802 3 g/cm³,平均0.767 4 g/cm³,地层原油黏度为0.954~6.810 mPa·s,平均3.171 mPa·s;在姜家川FX45井区,长8²地层原油黏度相对略高,为6.810 mPa·s,气油比分布为18.48~47.88 m³/m³,平均36.36 m³/m³。按照原油分类方案,属于高气油比、低黏度、低密度轻质原油,本区原油密度小于0.825 1 g/cm³,在孔隙度大于7%条件下,轻质油可以相对达西流动状态自由流动^[8]。

2.2 赋存空间及状态

低渗透储层中存在多样的孔隙类型,不同尺度孔隙中石油微观赋存状态是认识致密油特征的关键^[9]。富县油田长8油层组属典型的低—特低—超低渗透油藏类型,储层内分布着复杂多样、迂回

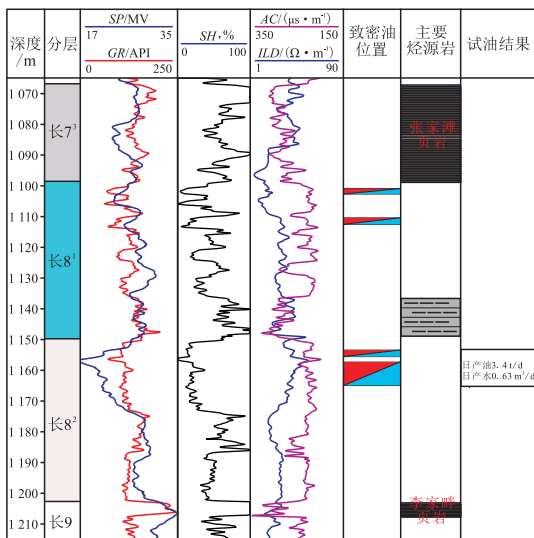


图1 富县地区FX2井长8致密油层位分布

Fig. 1 Chang-8 tight oil stratum of well-FX2 in Fu County

表1 富县地区长8地层原油高压物性分析统计

Table 1 Statistic of physical properties of crude oil under high pressure of Chang-8 formation in Fu County

井号	层位	油藏中深/ m	地层压力/ MPa	油层温度/ ℃	饱和压力/ MPa	气油比/ (m ³ ·m ⁻³)	气体平均 溶解系数/ (m ³ ·m ⁻³ ·MPa ⁻¹)	体积系数	收缩率, %	原油密度/ (g·cm ⁻³)	黏度/ (mPa·s)
L197	长8 ¹	1 535	6.617	60.46	5.809	47.88	8.242	1.232	18.83	0.738 9	0.983
FX45	长8 ²	1 333	4.650	53.12	3.539	18.48	5.248	1.095	8.29	0.801 4	6.810
L77	长8 ²	1 435	5.685	56.64	2.531	20.35	8.069	1.102	8.35	0.802 3	4.385
FX325	长8 ²	1 421	10.045	56.05	4.242	42.78	9.173	1.139	14.48	0.781 1	2.722
L147	长8 ²	1 515	8.292	60.92	5.494	45.42	8.267	1.220	18.04	0.738 8	0.954
LP163	长8 ²	1 675	3.000	54.14	2.630	43.26	19.240	1.126	11.02	0.742 0	
平均		1 486	6.382	56.89	4.041	36.36	9.707	1.152	13.17	0.767 4	3.171

曲折的孔喉类型,是制约油气运移、充注、成藏的一大因素。

2.2.1 赋存状态

因石油具有荧光特性,在荧光薄片下可直观石油在储层中的赋存状态。选取富县地区三口井(HT1井、L136井、L199井)131个长8荧光薄片观察发现,富县长8油层组中致密油主要的赋存状态表现为以下两种:1)原油以零星状或不规则形状赋存在残余粒间孔、长石/岩屑溶孔、碳酸盐岩晶间孔中(图2a);2)部分岩屑被原油浸染,呈薄膜状表现出荧光(图2b)。整体上裂缝不发育,致密油荧光性表现为弱—中等。

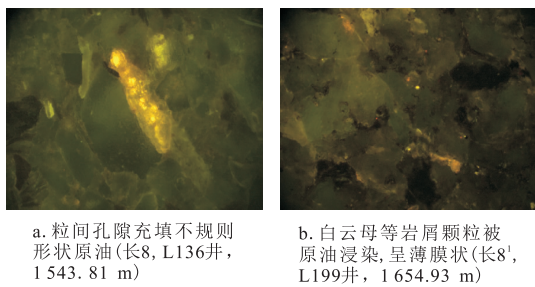


图2 富县地区长8致密油储层荧光薄片
Fig. 2 Fluorescent sheet photos of Chang-8 tight oil reservoir in Fu County

2.2.2 赋存空间

多角度、多种技术可共同验证致密储层微观孔隙、喉道的定量、定性表现,富县地区长8致密储层孔喉研究主要采用常规高压压汞、岩心核磁共振T₂谱分析和CT扫描技术来反应孔隙喉道大小及连通性。

1) 高压压汞反映孔隙结构

通过铸体薄片和扫描电镜观察发现,富县长8油层组主要发育原生残余粒间孔、次生粒内溶孔、粒间溶孔、晶间孔。通过5口井、109个样品高压压汞法测定的孔隙结构特征参数表现为:孔隙度为3.1%~15.0%,平均10.1%;渗透率为(0.01~2.62)×10⁻³μm²,

平均0.32×10⁻³μm²;排驱压力为0.30~22.13 MPa,平均4.69 MPa;毛管中值压力为3.59~58.05 MPa,平均15.2 MPa;中值半径为0.01~0.20 μm,平均0.05 μm;平均喉道半径为0.01~0.55 μm,平均0.12 μm;孔喉分选系数为0.06~1.96,平均0.92;退汞效率为19.74%~43.67%,平均29.06%(表2)。结果表明较高的排驱压力和中值压力,反映储层的渗透性较差,孔隙喉道均偏细,以小孔隙微细喉道为主。

2) 岩心核磁共振T₂谱分析孔径分布

致密油储层中仍大量存在毛细管孔隙,常规分析方法无法对这类孔隙结构特征进行分析,核磁共振T₂谱信息能够较为有效的定量反映该类孔隙结构特征参数^[10]。对富县地区长8致密油主要分布区域—姜家川,采样进行核磁共振T₂谱分析。

分析结果表明,富县地区长8致密储层中T₂谱饱和度和流体分量分布曲线有两种形态,即单峰型和双峰型(图3)。表明孔径分布范围较广,即研究区孔隙尺

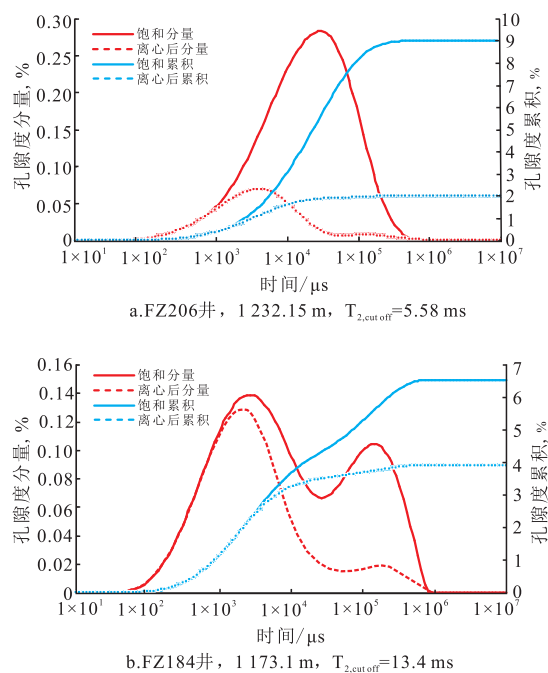


图3 富县地区长8致密油储层岩心核磁共振T₂谱曲线特征
Fig. 3 Characteristics of T₂ spectrum curves of NMR of of Chang-8 tight oil reservoirs in Fu County

表2 富县地区长8储层砂岩压汞参数统计

Table 2 Statistics of mercury intrusion parameters of sand shale of Chang-8 reservoir in Fu County

特征参数	孔隙度,%	渗透率/10 ⁻³ μm ²	排驱压力/MPa	中值压力/MPa	中值半径/μm	平均喉道半径/μm	分选系数	退汞率,%
最小值	3.1	0.01	0.30	3.59	0.01	0.01	0.06	19.74
最大值	15.0	2.62	22.13	58.05	0.20	0.55	1.96	43.67
平均值	10.1	0.32	4.69	15.20	0.05	0.12	0.92	29.06

度由大中孔—微纳米—纳米孔中均能赋存石油。

2.2.3 场发射扫描电镜、CT扫描测量孔喉大小

富县长8致密储层中粒内溶孔、粒间孔场发射扫描电镜观察与测量分析认为(图4),孔隙以微米级—亚微米级为主,分别占总孔隙的68%、54%,其余晶间孔、微孔隙均为纳米级孔隙类型。

CT扫描技术进行喉道观察显示,微喉型主要集中在粒间溶孔和粒内溶孔中,为研究区主要的石油聚集场所,特致密型喉道不发育。孔隙与喉道在三维空间上分布不均匀,无固定性;孔隙间靠喉道连通,连通性一般,三维上构成超微观空间体系,石油充注在内,形成致密储层。

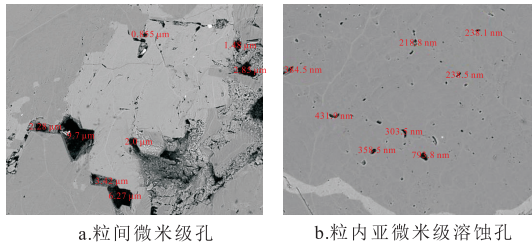


图4 富县地区长8致密油储层L206井场发射扫描电镜(1 520.7 m)

Fig. 4 Field emission scanning electron microscopy of well-L206 of Chang-8 tight reservoirs in Fu County (1 520.7 m)

3 致密油成藏控制因素与潜力预测

3.1 烃源岩特征

之前的研究认为,盆地延长组优质烃源岩纵向上主要分布在长7(尤其是长7³)、长9油层组^[11];平面上广泛分布于湖盆扩张、充填过程中深湖相、湖相三角洲前缘或浊流相中泥岩、油页岩覆盖区域^[12],该区域多集中在靖边以南部位,如长7烃源岩广泛发育在定边、延安、旬邑、环县包围的区域;长9烃源岩分布范围有所缩小,多集中在靖边、延安、富县、吴起所包围的区域。

富县地区长7烃源岩岩石类型为深灰色—灰黑色页岩、暗色泥岩,纵向上,发育三套油页岩,尤以最底部长7³最为发育,累计油页岩厚度20~90 m。平面上,整体呈现出厚度区间大、覆盖范围广、中部厚两边薄的分布特征(图5)。生烃强度高值区(烃源岩厚度>50 m)分布在张家湾—直罗—北道德—张村驿—寺仙区域,外围区域逐渐变薄。长9烃源岩岩石类型与长7相似,纵向上多集中在顶部李家畔页岩,平面上分布厚度较长7明显变薄、面积缩小,厚度4~15 m,呈现北厚南薄趋势(图6)。较厚区域(烃源岩

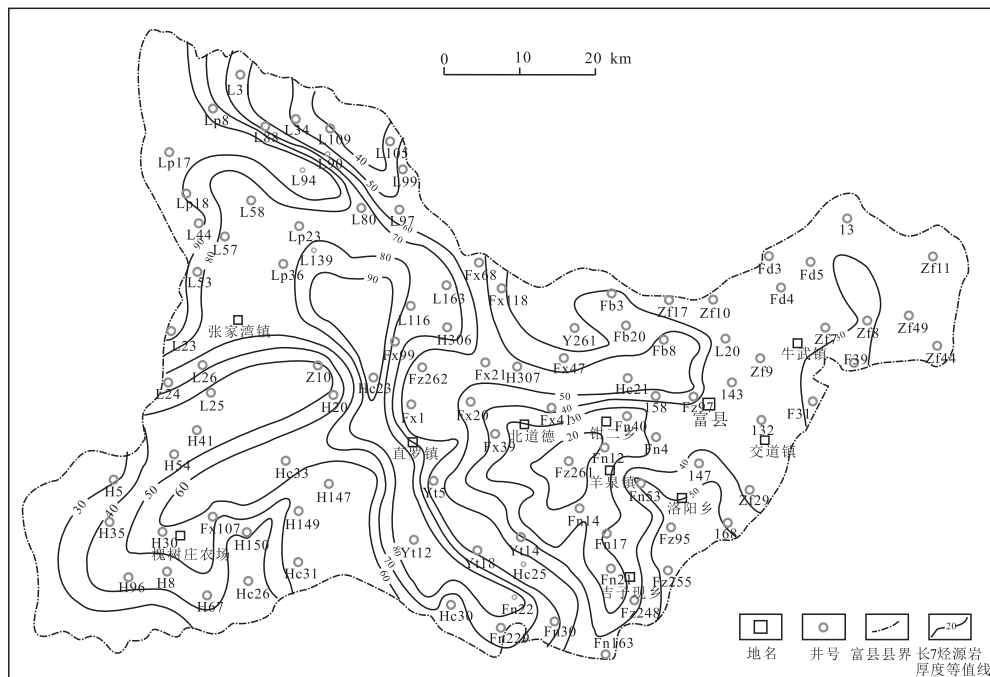
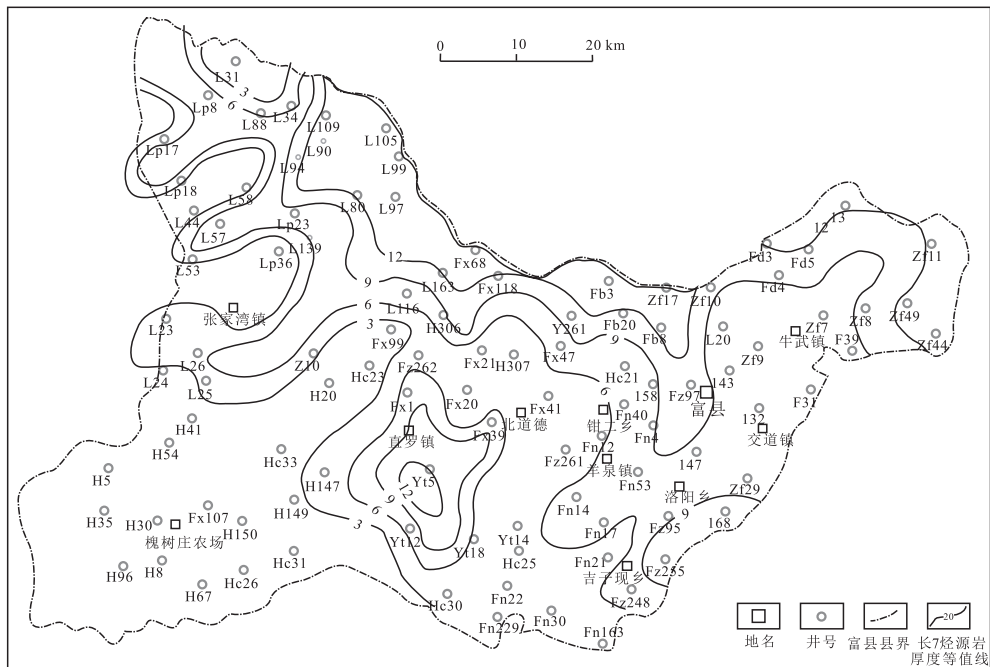


图5 富县地区长7烃源岩厚度分布

Fig. 5 Distribution thickness of hydrocarbon source rock of Chang-7 reservoir in Fu County



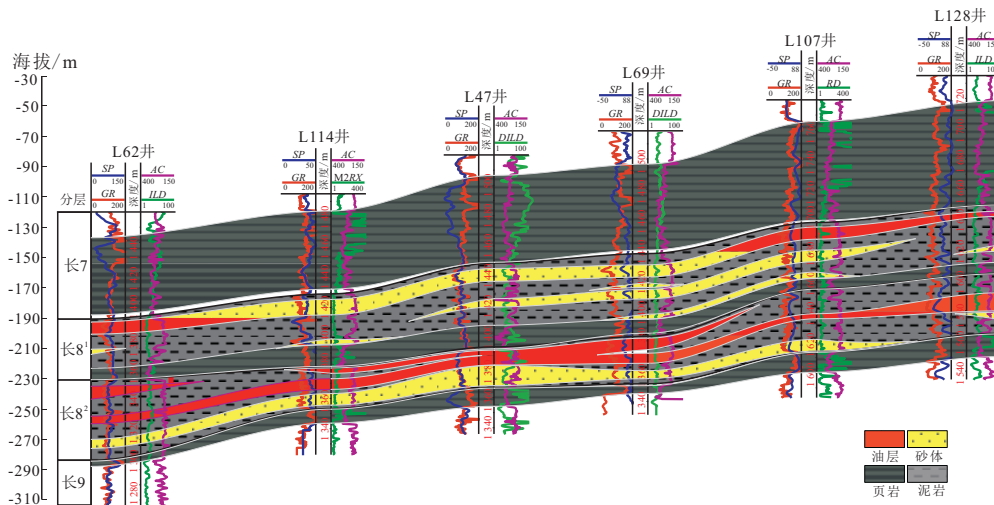


图7 富县地区长8致密油成藏组合

Fig.7 Reservoir assemblage of Chang-8 tight oil reservoir in Fu County

3.3 沉积体系

古构造恢复表明,晚三叠世时期构造活动导致富县地区形成东高西低的古地理格局,受古气候、湖盆古水体演化影响,该期富县地区受北东向物源影响下,处于湖泊与河流交接部位形成湖泊—三角洲相、湖泊浊积扇沉积环境^[17-20]。长8期本身作为湖盆演化鼎盛期,此时形成沉积砂体亦为致密油提供储集条件。

富县长8期较厚沉积砂体横向上沉积于三角洲前缘环境下形成的水下分流河道微相及部分河口坝微相中;纵向上,具有透镜状单体分布,或相互叠加厚度加大的特点,为该期致密油集中形成提供了储集空间。该套砂体岩性特征表现为:粒度细,以细砂岩为主,磨圆差,分选好,碎屑颗粒间多填隙物,以方解石胶结多见,表现出压实作用弱。砂体在平面上延伸距离长约86.43 km,宽约58.5 km。砂体较厚(砂厚>25 m)处位于富县西北部张家湾镇,以及北道德乡、羊泉镇、茶坊镇、牛武镇区域(图8)。

3.4 试油情况

区域总体上以长8²砂体发育更广,见油效果好。富县油田长8油层出油点在平面上分布位置差异明显,大多集中在区域靠西北部,构造影响不明显,出油多表现为油水同出,纯油层较少。达工业油流井主要位于水下分流河道的砂体厚度大、储层物

性相对好,且烃源岩较发育的区带。

3.5 潜力预测

本次研究考虑文中提到的长7、长9烃源岩,长8致密储层砂岩分布厚度与分布区域,结合油田试油情况三大因素,进行综合考虑,划分出6个富县油田长8致密油潜力区域(图8)。大部分区域位于研究区西北部,其余分别位于水磨沟油区西侧、直罗镇南部、洛阳乡东南部及牛武镇东北部区域。未来长8致密油油藏“甜点”区域应优先考虑上述区域。

4 结论

富县地区长8致密油特征表现为低密度、低黏度轻质原油,具有流动性,以零星状、薄膜状赋存在微孔中,孔喉结构复杂,发育纳米级喉道,孔喉连通性一般。富县地区长7烃源岩分布较长9烃源岩广泛、厚度较厚,两者有机质丰度都属于好烃源岩,有机质类型属I型、II型干酪根,具备充足烃源岩条件。

富县地区延长组长8致密油富集的主要控制因素为:1)发育较厚的长7、长9优质烃源岩,且长8储集层紧邻其中,为致密油提供充足油源;2)有利的“源夹储、储内夹源”配置关系,是形成致密油藏重要条件;3)三角洲水下分流河道环境下形成的沉积砂体为致密油有利运移通道和储集体。利用三大主控因素,结合试油结果,划分出富县地区长8致密油潜

