

鄂尔多斯盆地红河油田延长组输导体系定量表征

贾京坤^{1,2},尹伟³,邱楠生^{1,2},徐士林³,陈纯芳³,马立元³

[1. 中国石油大学(北京)油气资源与探测国家重点实验室,北京 102249; 2. 中国石油大学(北京)盆地与油藏研究中心,北京 102249; 3. 中国石化石油勘探开发研究院,北京 100083]

摘要:输导体系控制红河油田油气运聚成藏,为了更为有效地研究鄂尔多斯盆地输导体系,基于地质、录井、测井及地震解释,系统分析红河油田延长组输导体系“断-砂”组合的匹配性。利用泥岩涂抹因子(SGR)及断层紧闭指数(I_{FT})定量分析研究区断层输导性能,断层间不同的封堵特征体现了断层输导差异性。采用有效空间系数(C_m)及砂体输导系数(K_s),定量厘定主力输导层并分析其输导性能,砂体输导系数与油气显示的关系研究表明, $K_s > 2$ 的砂体具有较好的输导性能。结合成藏关键时期及现今的油藏剖面解析,发现油气运聚区域与现今油藏分布基本吻合。研究认为,现今鄂尔多斯盆地镇泾区块红河油田储层在低孔低渗的背景下,成藏关键时期的“断-砂”输导体系是油气运聚的主要通道,部分区域存在油气沿裂缝垂向运移。

关键词:泥岩涂抹因子;断层紧闭指数;有效空间系数;砂体输导系数;输导体系;红河油田;鄂尔多斯盆地
中图分类号:TE122.1 **文献标识码:**A

Quantitative characterization of migration system of Yanchang Formation in Honghe oilfield, Ordos Basin

Jia Jingkun^{1,2}, Yin Wei³, Qiu Niansheng^{1,2}, Xu Shilin³, Chen Chunfang³, Ma Liyuan³[1. State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China;
2. Basin and Reservoir Research Center, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China;
3. Petroleum Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China]

Abstract: Previous study shows that migration system is a major factor that controlled hydrocarbon migration and accumulation in Honghe oilfield in Ordos Basin. To better understand migration systems in the Yanchang Formation of this oilfield, we systematically analyzed the compatibility of the fault-sandbody assemblages in the field based on geological, mud logging and well logging, as well as seismic data of the area. A quantitative approach based on two indicators (the shale gouge ratio simplified as SGR and fault tightness index represented by I_{FT}) was employed to study the transport capacity of faults in the study area. The results indicate that differential sealing behaviors between faults represent the differences of fault transport capacity. The effective migration-space coefficient (C_m) and sand body transport coefficient (K_s) were used to identify the main carrier beds and quantitatively analyzed their transport capacity. Study on the relationship between sandbody transport coefficients and oil and gas shows in the area revealed that sandbodies with $K_s > 2$ have better transport capacity. A comparison between reservoir profiles of the key reservoiring period and present shows a good match between the area of oil and gas migration and accumulation and the distribution of nowadays reservoirs. The study indicates that the fault-sandbody assemblages were the main migration systems during the key reservoiring period of the low-porosity and permeability field (Honghe). It also points out that vertical migration along fractures was also possible in certain locations of the area.

Key words: SGR , fault tightness index, effective migration-space coefficient, sand body transport coefficient, migration system, Honghe oilfield, Ordos Basin

收稿日期:2015-09-21;修订日期:2017-08-10。

第一作者简介:贾京坤(1990—),男,博士研究生,油气成藏机理。E-mail:hzjk.2009@163.com。

通讯作者简介:邱楠生(1968—),男,教授、博士生导师,沉积盆地温压场和油气成藏机理。E-mail:qiunsh@cup.edu.cn。

基金项目:国家科技重大专项(2016ZX05002-006)。

输导体系是沟通烃源岩与圈闭之间油气运聚的枢纽,是油气成藏与分布的关键控制因素^[1-4]。近年来,鄂南石油勘探实践表明,“断-砂”组合是油气成藏时期的主要输导体系,并控制石油的分布特征^[5-8],而目前大多学者对鄂尔多斯盆地油气运移输导的研究大多以定性为主^[9-12]。

本文选取了红河油田为研究区,以长7生油层、长8油层组作为研究层段,系统恢复研究区输导格架,结合输导性能参数,定量研究“断-砂”输导体系对油气运聚成藏的影响。

1 地质概况

红河油田位于鄂尔多斯盆地天环坳陷南部镇泾区块。研究区延长组各层面构造形态基本一致,构造面貌具有较强的继承性,整体为一东高西低的西倾单斜,在燕山运动期发育 NW 向及 NEE 向两组断裂。上三叠统延长组发育多层深灰色、灰黑色湖泊相泥页岩,其中以长 7 段的暗色泥页岩为最有利的烃源岩。储层以辫状河三角洲沉积为主,沉积相带在平面上呈环带状展布,并以三角洲前缘亚相为沉积主体,砂体的发育情

况完全受控于沉积微相的展布特征。而现今储层整体具有低孔特低渗特征,长 8¹ 储层平均孔隙度为 8.22%,平均渗透率为 $0.257 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;长 8² 储层平均孔隙度为 5.38%,平均渗透率为 $0.044 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (图 1)。

2 输电体系类型与分布

通过前期钻、测井和地震资料综合分析发现,研究区目的层发育“长7生-长8储-长7盖”组合。长7段底部张家滩页岩为一套湖相泥页岩,分布稳定,总体呈北东向条带状展布,厚度变化在10~16 m,东北厚西南薄,有机碳含量为0.72%~33.01%,生烃潜力为0.56~139.86 mg/g,氯仿沥青“A”为0.33~1.81%,总烃为775.92~9 437.6 ppm,是本生储盖组合的主力烃源岩;长7段中上部以暗色泥岩沉积为主,泥岩连续性较好,厚度整体由东北部向西南方向逐渐减薄,有机碳含量为0.03%~5.78%,生烃潜力为0.05~46.88 mg/g,氯仿沥青“A”为0.01%~0.69%,总烃为 $28.37 \times 10^{-6} \sim 4\,539.09 \times 10^{-6}$,作为次级烃源岩与张家滩页岩共同作用生烃^[10,13]。

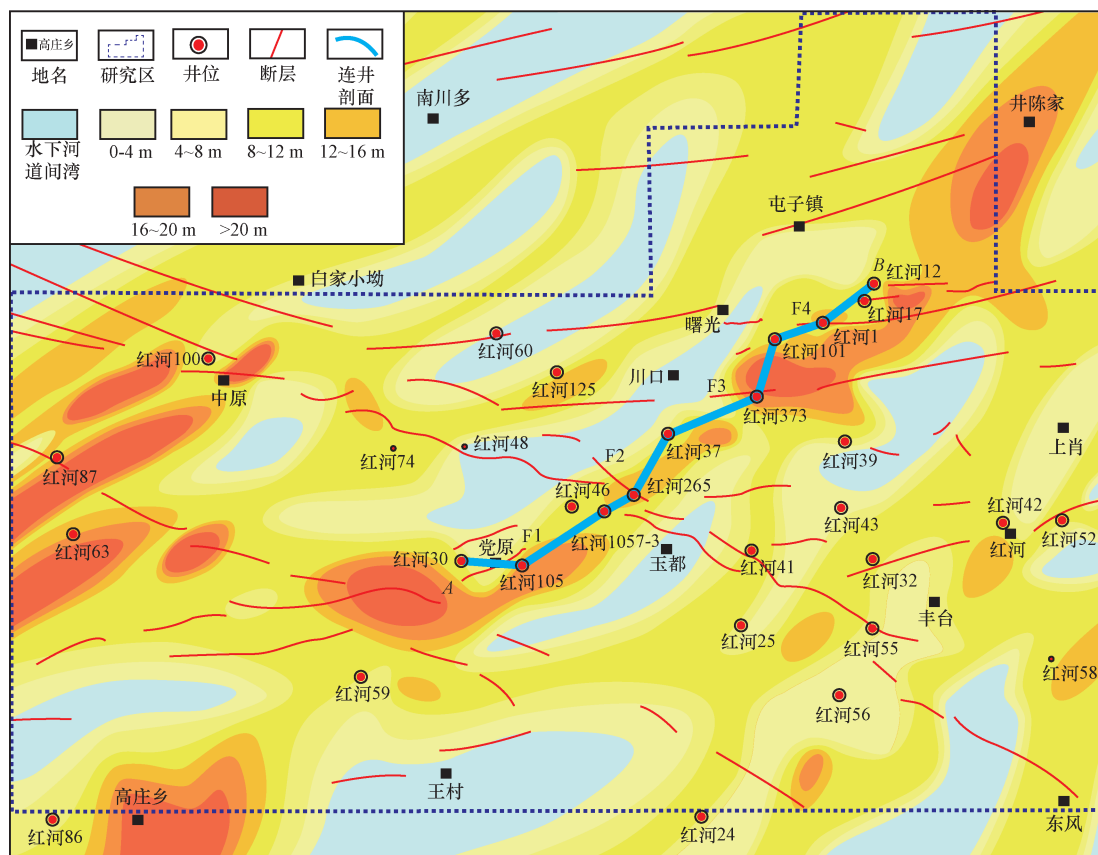


图1 鄂尔多斯盆地红河油田长8油层组砂体展布与断层分布

Fig. 1 Distribution of sandbodies and faults in the eighth member of the Yangchang Formation, Honghe oilfield, Ordos Basin

长8油层组厚度约70~90 m,砂体厚度一般在8~30 m范围内。通过电性、岩性组合和地震解释等资料自上而下划分为长8¹和长8²两段,储层主要为长8¹储层,以中-细砂岩为主,夹杂泥岩,以三角洲前缘沉积为主,自下而上呈现一个退积序列^[7-14],孔隙类型以原生孔隙、次生溶蚀孔隙及微裂缝为主。长8油层组在主要成藏时期相对于现阶段具有略好的孔渗性,且邻近优质烃源岩,处于以超压驱动为主要动力的特殊能量系统内,使得长8油层组输导层对红河油田油气分布起到了重要控制作用。

研究区驱替压力和非渗透性岩层厚度资料表明,盖层质量以长7段最优,其次是长8¹层段砂体顶部因沉积水动力变弱后而沉积的泥质粉砂岩、粉砂质泥岩和泥岩,而区域盖层长7段遮挡能力强且分布稳定,其下部输导层由多个层段构成,运移通道以微裂缝、岩石页理和连通孔隙组合为主。

红河油田在燕山期主要发育NW向及NEE向两组走滑断裂体系,断裂活动期基本与成藏期相吻合^[15-17]。以沟通长7段烃源岩的花状走滑断裂体系为主体,构成了油气垂向运移通道,并起到侧向封闭遮挡的作用。现今勘探成果显示,在以岩性圈闭为主的红河油田,断裂作为主要油源输导通道,其有效性显得尤为重要。已钻圈闭油气显示情况与断层关系统计结果揭示,圈闭含油性与距油源断层距离之间存在很强的相关性,圈闭距离油源断层越近,油气显示越好,进一步验证了研究区断层油气输导有效性研究的重要性。

平面上,断裂与长8油层组砂体呈斜交关系;剖面

上,断层与目的层砂体相邻连接。目的层砂体可构成了油气侧向运移的输导层,和断层、裂缝垂向运移通道相匹配,构成“断-砂”阶梯式输导体系(图1,图2)。“断-砂”输导体系的输导机制为油气先沿断层面或裂缝发生垂向运移,然后再在邻近断层的砂体中发生短距离侧向运移及聚集,形成构造-岩性或岩性油气藏。

3 输导体系定量表征

3.1 断层输导性能定量表征

3.1.1 垂向输导性能定量表征

前文已述,断层活动时期基本上与油气成藏时期吻合,对于断层输导性能的研究,多转换为对断层封闭性的评价^[23]。本文针对研究区的断裂性质,通过剖析断层面压力条件及断裂带物质的抗压性质对断层封闭性进行评价。据此,本文建立适用于研究区的断层紧闭指数(I_{FT})公式^[3]:

$$I_{FT} = \frac{\sigma_v + Hg(\rho_r - \rho_w)\cos\theta/1\,000}{p_L + \Delta p} \quad (1)$$

其中

$$\sigma_v = \frac{1}{2}[(\sigma_H + \sigma_h) - (\sigma_H - \sigma_h)\cos 2\alpha]\sin\theta \quad (2)$$

$$p_L = SGR \times \sigma_{CM} + (1 - SGR) \times \sigma_{CS} \quad (3)$$

式中: $I_{FT} \geq 1$ 时表明泥岩已发生塑性流动,可堵塞紧闭后残留的空间,形成较强的垂向封闭, $I_{FT} < 1$ 时断层垂向输导; σ_v 为断面所受构造压应力,MPa; Δp 为断点剩

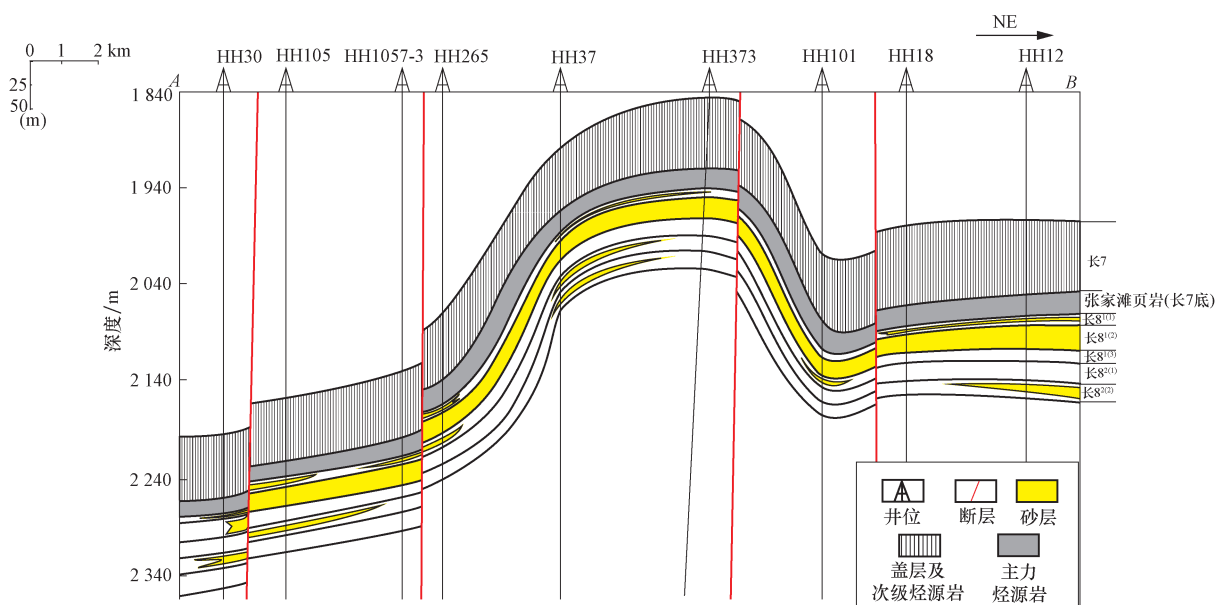


图2 鄂尔多斯盆地红河油田延长组现今“断-砂”输导组合

Fig. 2 Present fault-sandbody migration systems in the Yanchang Formation, Honghe oilfield, Ordos Basin

余流体压力,MPa; p_L 为断裂带物质的抗压强度,MPa; H 为断点埋深,m; θ 为断面倾角, $^{\circ}$; ρ_r 为上覆地层平均密度, g/cm^3 ; ρ_w 为上覆地层水密度, g/cm^3 ; α 为断层走向与最大主应力之间的夹角, $^{\circ}$; σ_H 为最大水平主应力,MPa; σ_h 为最小水平主应力,MPa; σ_{CM} 为泥岩抗压强度,取12.4 MPa; σ_{CS} 为砂岩抗压强度,取35.3 MPa。

为了研究成藏关键时期(100 Ma)的断层输导性能,式中各参数在古构造恢复成果的基础上获得;同时,假设式中断裂带内流体压力与同深度地层压力基本一致。为更加直观具体的展现成藏关键时期长8油层组砂体形态展布及断层输导性能,本文调节了剖面的横纵向比例尺。

断层紧闭指数计算结果显示,断层 F_1 目的层段断点的紧闭指数均小于1,断层垂向上为开启状态;断层 F_2 紧闭指数均大于1,断层垂向上为封闭状态;通过 F_1 与 F_2 的数据对比,构造应力对北西向断层 F_2 的正压力明显大于对北东向断层 F_1 的正压力,且断裂带内的流体压力及抗压强度均有差异,从而导致断层 F_2 封闭而断层 F_1 开启。断层 F_3 紧闭指数均大于1,断层垂向上为封闭状态;断层 F_4 紧闭指数仅在长 $8^{(1)}$ 层段大于1,即仅在长 $8^{(1)}$ 层段处断层 F_4 为封闭状态;可以看出 F_3 与 F_4 断层倾角略有不同,导致重力在断面上的分量相差较大,成为导致 F_3 封闭的主要因素。通过统计表中各断层数据对比,可以看出断点深度、断层走向、倾角、断裂带中流体剩余压力大小以及抗压强度都能

对断层垂向封闭性产生较为明显的影响(表1;图3)。

3.1.2 侧向输导性能定量表征

Yielding G等(1997)提出采用SGR从整体评价泥岩涂抹效应,在砂泥岩互层的地层中,被断地层不是单纯的泥岩或砂岩,因此完善公式为:

$$SGR = \frac{\sum_{i=1}^n (h_i \times V_{ci})}{L} \quad (4)$$

式中:SGR ≥ 0.25 时断面可以形成连续分布的泥岩涂抹带; h_i 为断距范围内某泥岩层的厚度,m; V_{ci} 为泥岩层的百分含量; i 为泥岩层数; L 为垂直断距,m。

从断层两盘地层岩性配置关系及SGR数据来看,断层 F_1 下盘长 $8^{(1)}$ 、长 $8^{(2)}$ 层与上盘长 $8^{(2)}$ 层砂体部分接触,且SGR < 0.25 ,断层侧向封闭性较差,砂体连通;断层 F_2 上、下盘长 $8^{(1)}$ 、长 $8^{(2)}$ 层砂体对接差,虽下盘SGR < 0.25 ,但侧向封闭性较好; F_3 断层上、下盘长 $8^{(2)}$ 层砂体部分接触,但SGR > 0.25 ,涂抹效果好,具有较强侧向封闭性,可以封堵早期生成的油气; F_4 断层上盘长 $8^{(2)}$ 层与下盘长 $8^{(2)}$ 层砂体稍有对接,但SGR > 0.25 ,侧向封闭性较好(图3)。

3.2 输导层输导性能定量表征

3.1.2 主力输导层厘定

前人把运载层和通道中真正发生了运移作用的空

表1 鄂尔多斯盆地红河油田延长组长8油层组断层紧闭指数(I_{FT})

Table 1 Fault tightness index (I_{FT}) of the eighth member of the Yangchang Formation, Honghe Oilfield, Ordos Basin

断层名	层位	古构造断点深度/m	$\theta/(^{\circ})$	$\alpha/(^{\circ})$	重力压力断面分量/MPa	燕山期构造应力断面分量/MPa	p_L /MPa	成藏关键时期剩余压力/MPa	I_{FT}
F_1	长 $8^{(1)}$	2 990.20	87	7	2.285	30.25	28.43	8.85	0.87
	长 $8^{(2)}$	3 000.00	87	7	2.293	30.25	33.70	8.61	0.77
	长 $8^{(3)}$	3 021.30	87	7	2.309	30.25	30.95	8.33	0.83
	长 $8^{(2)(1)}$	3 035.78	87	7	2.320	30.25	31.64	7.20	0.84
	长 $8^{(2)(2)}$	3 055.90	87	7	2.335	30.25	30.95	6.01	0.88
F_2	长 $8^{(1)}$	2 863.52	85	62	3.644	42.73	18.81	3.70	2.06
	长 $8^{(2)}$	2 871.03	85	62	3.654	42.73	25.45	3.63	1.59
	长 $8^{(3)}$	2 906.90	85	62	3.699	42.73	33.70	3.66	1.32
	长 $8^{(2)(1)}$	2 910.00	85	62	3.703	42.73	31.41	3.67	1.35
F_3	长 $8^{(1)}$	2 888.30	82	23	5.870	32.25	19.04	9.23	1.35
	长 $8^{(2)}$	2 896.85	82	23	5.887	32.25	26.14	9.12	1.08
	长 $8^{(3)}$	2 921.35	82	23	5.937	32.25	28.20	8.91	1.03
	长 $8^{(2)(1)}$	2 948.73	82	23	5.992	32.25	28.89	7.99	1.04
	长 $8^{(2)(2)}$	2 966.35	82	23	6.028	32.25	31.64	6.43	1.01
F_4	长 $8^{(1)}$	2 886.50	89	21	0.736	31.16	22.02	6.58	1.15
	长 $8^{(2)}$	2 895.13	89	21	0.738	31.16	34.84	5.69	0.81
	长 $8^{(3)}$	2 913.63	89	21	0.743	31.16	34.38	5.01	0.84
	长 $8^{(2)(1)}$	2 927.38	89	21	0.746	31.16	34.16	4.55	0.85

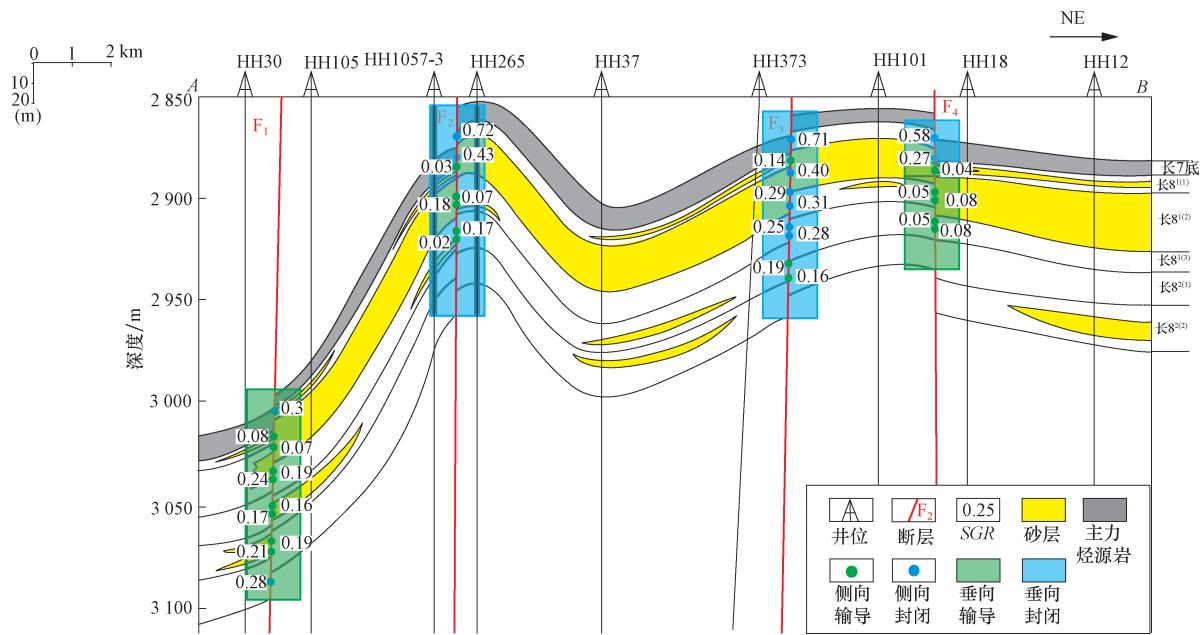


图 3 鄂尔多斯盆地红河油田成藏关键时期断层输导性能分布

Fig. 3 Transport capacity of faults during key reservoiring period in Honghe oilfield, Ordos Basin

间称之为二次运移的有效空间,有效运移空间概念的提出不仅可以进一步认识油气在地下运移所遵循的规律,同时对二次运移和油气运聚的定量研究也具有很大意义^[18]。前人根据单井的油气录井资料统计剖面上除生油层以外各运载层中的油气显示段,得到每口井各层中油气显示段所占的厚度比。因为运载层中的油气显示段肯定是发生了二次运移的空间,所以该比值即为该层的有效运移空间系数^[18],本文用 C_m 表示。

根据红河油田各井录井油气显示数据,计算了长 8 油层组各小层的有效空间系数(表 1)。长 8¹⁽¹⁾ 为 0.44,长 8¹⁽²⁾ 为 0.63,长 8¹⁽³⁾ 为 0.11,长 8²⁽¹⁾ 为 0.05,长 8²⁽²⁾ 为 0.01。结合数据分布特征,表明油气运移主要发生在长 8¹⁽¹⁾ 和长 8¹⁽²⁾ 小层中,其中长 8¹⁽²⁾ 砂体连片发育,横向相对分布稳定,砂体展布整体呈 SW - NE 向,并分成多支分流河道,因此既是长 8 油层组主力产油层,又是较好的侧向运移砂体输导层;而长 8¹⁽¹⁾ 小层虽和烃源岩距离最小,但局部地区砂体不发育,砂体厚度较薄,储层质量相对较差,油气运移效果差;长 8¹⁽³⁾ 小层整体砂体不发育,无法进行油气运移;长 8²⁽¹⁾ 及长 8²⁽²⁾ 小层中虽存在较好砂层,但源储压差动力有限,部分地区油气无法到达(表 2)。

3.2.2 砂体输导性能定量表征

砂体输导系数是基于油藏解剖统计学及流体动力学成因原理所构建的砂体输导性能评价模型,这一指标能够综合考虑油气运移过程中受力情况,表达方法

表 2 鄂尔多斯盆地红河油田油气运移有效运移空间系数 (C_m)

Table 2 Effective migration-space coefficients (C_m) of Honghe oilfield, Ordos Basin (data from some wells)

井号	长 8 ¹⁽¹⁾	长 8 ¹⁽²⁾	长 8 ¹⁽³⁾	长 8 ²⁽¹⁾	长 8 ²⁽²⁾
HH12	0	0.64	0	0	0
HH59	0.75	0.56	0	0	0
HH361	0	0.45	0	0	0
HH105	0.75	0.82	0.10	0.14	0
HH46	0.35	0.55	0	0	0
HH265	0	0.65	0	0	0
HH37	0.62	0.65	0	0	0
HH112	0.27	0.68	0	0	0
HH103	0.96	0.57	0	0	0
ZJ23	0.93	0.87	0	0	0
HH158	0.36	0.97	0.80	0.30	0.23
HH26	0	0.4	0	0	0
HH43	0	0.55	0	0	0
HH41	0.96	0.91	0	0	0
HH42	0.93	0.73	0	0	0
HH25	0.71	0.86	0	0	0
HH55	0.4	0.81	0	0.41	0
HH58	0.38	0.96	0.19	0	0
HH91	0.66	0.89	0.1	0	0
HH100	0	0.88	0	0	0
HH74	0	0.61	0	0	0
HH44	0	0.6	0.55	0	0
HH48	0.29	0	0	0	0
HH88	0.71	0.09	0	0	0
HH73	0.99	0	0.94	0.35	0
平均值	0.44	0.62	0.11	0.05	0.01

更为直观,能够很好表征砂体的输导能力^[19]。在不同盆地和不同输导体系中,油气受力的类型及大小皆不相同。在超压盆地中,剩余压力是油气运移的重要动力,对油气运聚过程具有关键作用,其大小能直接影响成藏动力的强弱^[20]。长8油层组中的砂体在成藏关键时期处于超压范围,且研究区地层倾角不足1°,浮力作为动力的效果微弱,主要驱动力应为地层超压,且从高压区向低压区发生侧向运移^[21]。输导侧向动力主要为地层剩余压力 Δp ,尽管浮力 $F_{\text{浮力}}$ 在地层倾向上的分量甚微,可其仍为侧向运移的动力之一;输导阻力为毛细管阻力 p_c 。因此将前人建立的砂体输导系数进行修正,以适用于超压盆地情况,砂体输导系数表达式为:

$$K_s = \frac{F_{\text{动力}}}{F_{\text{阻力}}} = \frac{F_{\text{浮力}} \sin \alpha + \Delta p}{p_c} = \frac{gh(\rho_w - \rho_o) \sin \alpha + \Delta p}{2\sigma \cos \theta / r} \quad (5)$$

式中: K_s 为砂体输导系数,无量纲; ρ_w 为地下水的密度, g/cm^3 ; ρ_o 为地下石油的密度, g/cm^3 ; h 为该点在以地表为基准面以下的高度,m; Δp 为该点的地层剩余压力,MPa; α 为地层倾角,(°); σ 为油水界面张力, mN/m ; θ 为润湿角,(°); r 为毛细管半径, μm 。研究区长8油层组的 ρ_o 取 $0.83 \text{ g}/\text{cm}^3$, σ 和 θ 分别取 $20 \text{ mN}/\text{m}$ 和 30° 。

从砂体输导系数与油气显示的关系可以看出,输导系数 $K_s > 2$ 的砂体具有较好的输导性能,可供油气持续运移,因此本文将输导系数 $K_s > 2$ 作为“砂体连通、可供油气输导”的标准; $K_s < 2$ 的砂体连通性差,邻近岩性圈闭可聚集成藏(图4)。通过关系图发现,存在 $K_s > 2$ 的砂体仍可能是干层,说明砂体虽具有较好的连通性,但可能附近无沟通油源的断裂或足够的古动力为其提供油气,再次证明“断-砂”输导组合配置关系及超压驱动的重要性。

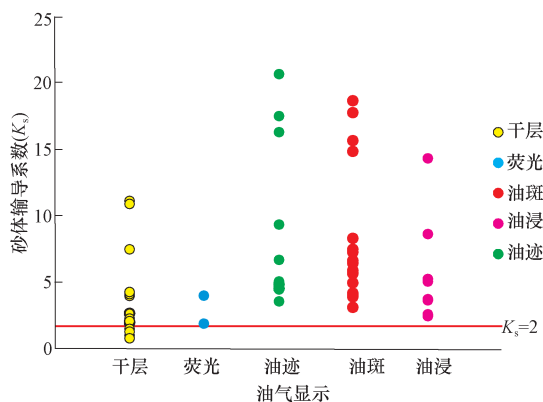


图4 鄂尔多斯盆地红河油田砂体输导系数与油气显示关系
Fig. 4 Relationship between sand body transport coefficients and oil or gas shows in Honghe oilfield, Ordos Basin

统计结果表明,有效空间运移系数(C_m)和砂体输导系数(K_s)与含油饱和度之间皆存在相对较好的正相关关系。一般认为,具有高含油饱和度的井,该井的砂体输导性能较佳,因此 C_m 和 K_s 两者可以有效地表现砂体的输导性能,即输导性能较好的砂体其有效空间运移系数(C_m)和砂体输导系数(K_s)值均较高(图5)。

将连井剖面 AB 各点恢复到成藏关键时期的最大古埋深及该时期的古孔隙度,本文调节了剖面横纵向比例尺,以便更为直观准确的表现长8油层组砂体形态展布及输导性能。通过计算得出,砂体输导系数皆大于2,说明长8⁽¹²⁾段输导层在成藏关键时期具有较好的油气输导性能,虽此时古孔隙度已接近低孔低渗的特征^[22,24],但受超压差异发育的影响,长8⁽¹²⁾段油气运移动力大大增强,输导层油气输导能力得到显著改善(图6)。

3.3 “断-砂”组合输导性能综合分析

综上所述,研究区成藏关键时期的断砂空间配置关系和输导性能在不同井区有所不同。为更好观测长8油层组油气输导格架配置及油气运移特征,本文调节了剖面的横纵向比例尺。断层 F_1 附近,油源断裂与

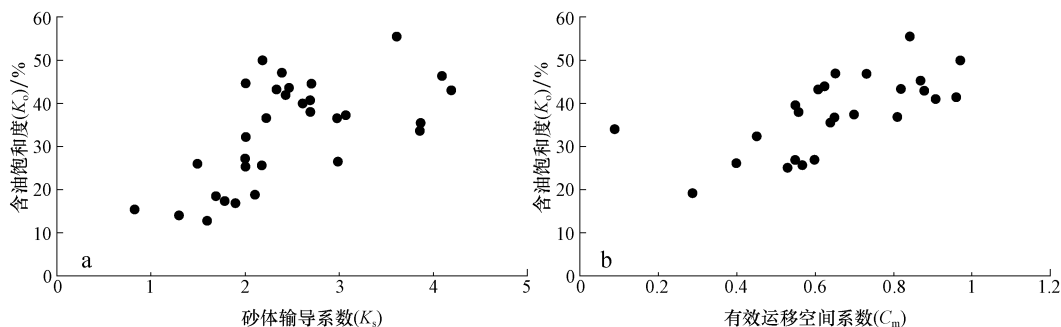


图5 鄂尔多斯盆地红河油田砂体输导性能参数与含油饱和度关系

Fig. 5 Relationship between transport capacity parameters (K_s & C_m) and oil saturation (S_o) of sandbody samples from Honghe oilfield, Ordos Basin

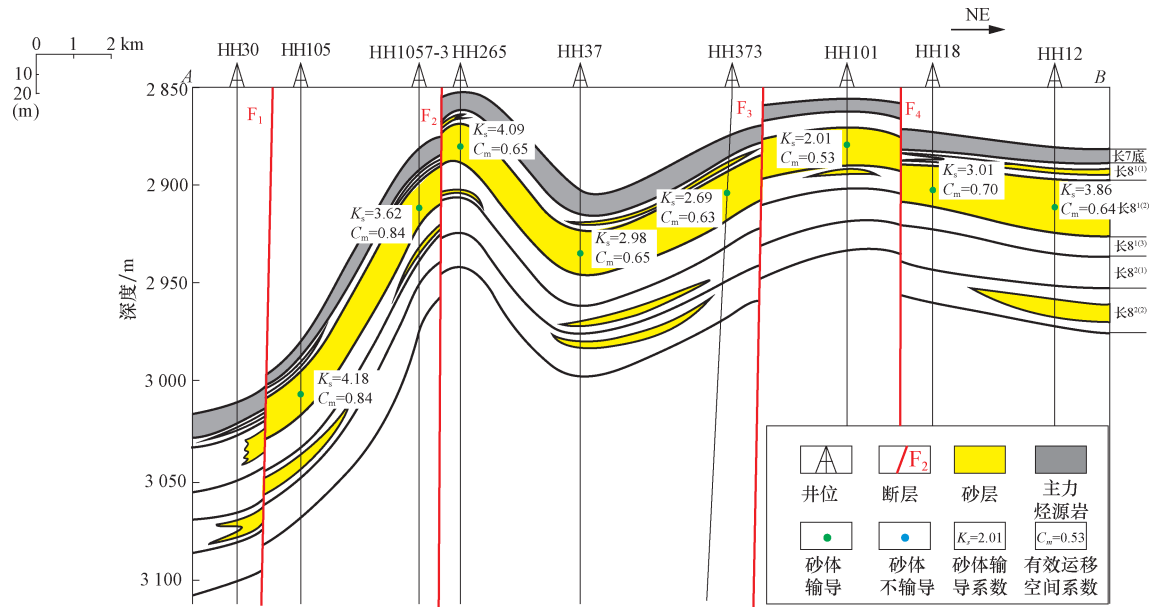


图 6 鄂尔多斯盆地红河油田成藏关键时期剖面砂体输导性能分布

Fig. 6 Diagram showing transport capacity of sandbodies in profile during key reservoiring period of Honghe oilfield, Ordos Basin

输导层直接沟通,且 F_1 在垂向上处于开启状态,油气主要沿断层进行垂向运移,断层的侧向封闭性差导致下盘砂体与上盘连通,油气进入主要输导层长 $8^{(2)}$ 层段后,油气沿输导层侧向运移;断层 F_2 附近,油源断裂虽与输导层直接沟通,但却处于垂向封闭状态,油气垂向输导可能主要沿超压或构造应力“诱导”成因的裂缝进行,侧向上断层封闭性较好,使油气聚集;断层 F_3 附近,油源断裂处于封闭状态,因此油气亦可能是通过裂缝进行垂向运移,由于断层在输导层附近侧向封堵,油气在断层附近富集并沿输导层向低势区 HH37 井区运移;断层 F_4 附近,油源断裂在近源处封闭、在输导层处开启,因此油气可能先通过裂缝垂向运移后,再通过断层运移实现“油气运移接力”,之后油气沿输导层向低势区 HH12 井区侧向运移(表 3;图 7)。早白垩世晚期地层开始发生抬升后,经输导格架解剖与油气运移分析表明,油气可能沿古油气运移通道再次发生油气运移调整,HH105,HH373,HH18 井附近可能成为有利聚集富集区,继而发现预测的油气运聚区域与现今油藏分布特征基本吻合。

表 3 鄂尔多斯盆地红河油田长 8 油层组成藏关键时期流体势 (部分井数据)

Talbe 3 Fluid potential during key reservoiring period of the eighth member of the Yangchang Formation in Honghe oilfield, Ordos Basin (data from some wells)								
	HH105	HH1057-3	HH265	HH37	HH373	HH101	HH18	HH12
流体势/ MPa	63.18	62.03	60.21	59.41	62.31	56.21	59.62	57.94

油气在红河油田长 8 油层组内运聚普遍遵循如下规律:油气在断层垂向输导状态的区域主要沿断层垂向运移至输导层长 $8^{(2)}$ 层段,在断层封闭状态的区域可能沿裂缝发生垂向输导^[25,26];在垂向运移过程中,少量油气运移至长 $8^{(1)}$ 层段零星薄砂体中发生成藏;当超压达到一定程度,油气将继续垂向运移进入长 8^2 储层中;在输导层长 $8^{(2)}$ 层段中油气沿输导层向低势区侧向运移,随着储层致密化的进行,油气在向有效低势区运移过程中,遇到“甜点”或侧向封堵断层富集成藏。

4 结论

1) 红河油田延长组长 8 油层组主力输导层为长 $8^{(2)}$ 层段;尽管随着储层致密化过程进行,砂体输导性能变差,但关键成藏期生烃超压的发育明显增强油气运移动力,促使输导层油气输导性能显著提高;且 $K_s > 2$ 的砂体连通性较好,可供油气持续运移。

2) 断层紧闭指数(I_{FT})可有效定量评价走滑断层垂向输导性能,断层紧闭指数 $I_{FT} \geq 1$ 时断层垂向封闭,该指数可反映不同断层和同一断层不同部位的垂向输导性能变化;不同断层两种参数的变化特征说明了断层封闭性的差异性及动态性。

3) 研究区的输导体系以“断-砂”运移通道组合为主,部分区域垂向上也可沿因构造应力或水力破裂形成裂缝进行运移。油气输导体系对油气藏的形成与分布具有明显控制作用,长 $8^{(2)}$ 层段的断层及砂体发育匹配性远远优于长 8 油层组其他小层,成为油气运

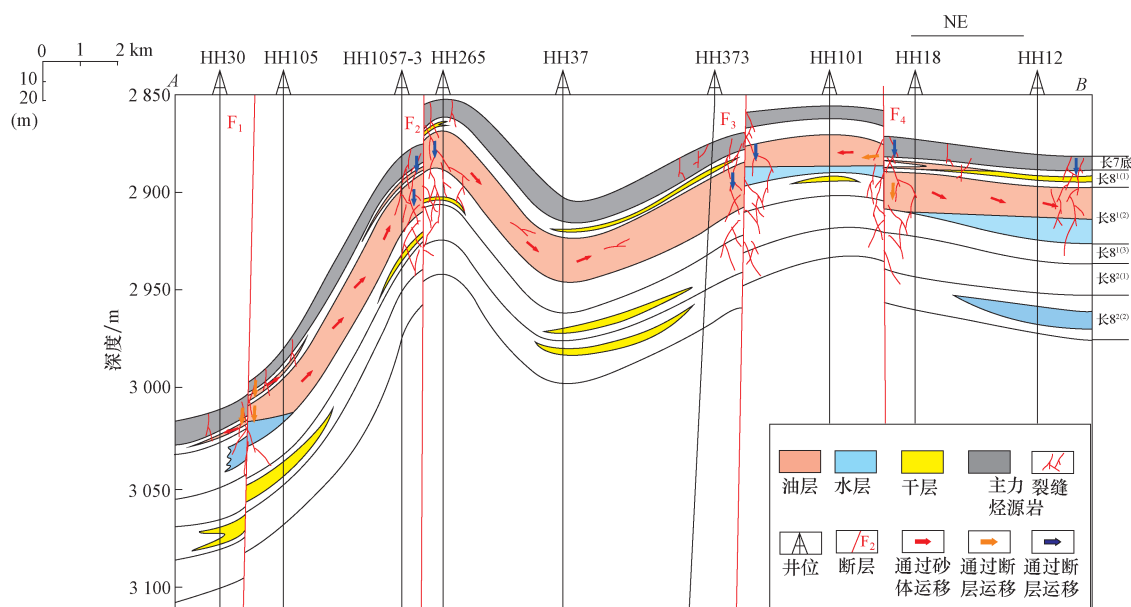


图7 鄂尔多斯盆地红河油田延长组长8油层组成藏关键时期输导体系格架及运聚模式

Fig.7 Framework of carrier system and hydrocarbon migration and accumulation patterns during key reservoiring period in the eighth member of the Yanchang Formation in Honghe oilfield, Ordos Basin

聚的有利层段。红河油田长8段有利的勘探目标为:

①断裂系统开启区域与输导层发育叠合区;②物性“甜点”的岩性圈闭及局部良好侧向封闭条件的岩性-构造圈闭;③超压带中剩余压力低值区与相对低势区的可成藏区域。

参 考 文 献

- [1] W A England, A S Mackenzie, D M Mann, et al. The movement and entrapment of petroleum fluids in the surface[J]. Geological Society, London, 1986, 144: 327-347.
- [2] 张照录, 王华, 杨红. 含油气盆地的输导体系研究[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(2): 133-135.
Zhang Zhaolu, Wang Hua, Yang Hong. Study on passage system of petroliferous basin[J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(2): 133-135.
- [3] 查明, 吴孔友, 曲江秀, 等. 断陷盆地油气输导体系与成藏作用[M]. 山东东营: 中国石油大学出版社, 2008.
Zha Ming, Wu Kongyou, Qu Jiangxiu, et al. Migration Pathway and Entrapment of Hydrocarbons in Faulted Basins [M]. Shandong Dongying: China University of Petroleum Press, 2008.
- [4] 姜振学, 庞雄奇, 曾溅辉等. 油气优势运移通道的类型及其物理模拟实验研究[J]. 地学前缘, 2005, (4): 507-516.
Jiang Zhenxue, Pang Xiongqi, Zeng Jianhui, et al. Research on types of the dominant migration pathways and their physical simulation experiments[J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(4): 507-516.
- [5] 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.
- [6] 曾联波, 李忠兴, 史成恩, 等. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组特低渗透砂岩储层裂缝特征及成因[J]. 地质学报, 2007, 81(2): 174-178.
Zeng Lianbo, Li Zhongxing, Shi Chengen, et al. Characteristics and Origin of Fractures in the Extra Low-Permeability Sandstone Reservoirs of the Upper Triassic Yanchang Formation in the Ordos Basin [J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81(2): 174-178.
- [7] 李文厚, 庞军刚, 曹红霞, 等. 鄂尔多斯盆地晚三叠世延长期沉积体系及岩相古地理演化[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2009, 39(3): 501-506.
Li Wenhui, Pang Jungang, Cao Hongxia, et al. Depositional system and paleogeographic evolution of the late Triassic Yanchang Stage in Ordos Basin[J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2009, 39(3): 501-506.
- [8] 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. Mesozoic petroleum accumulation systems and play fairways in southern Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(4): 591-598.
- [9] 刘震, 姚星, 胡晓丹, 等. 鄂尔多斯盆地中生界断层的发现及其对成藏的意义[J]. 地球科学与环境学报, 2013, 35(2): 56-65.
Liu Zhen, Yao Xing, Hu Xiaodan, et al. Discovery of the Mesozoic Fault and Its Implication on the Hydrocarbon Accumulation in Ordos Basin[J]. Journal of Earth Science and Environment, 2013, 35(2): 56-65.
- [10] 丁晓琪, 张哨楠, 易超, 等. 鄂尔多斯盆地镇泾地区中生界油气二次运移动力研究[J]. 天然气地球科学, 2011, 22(1): 66-72.
Ding Xiaoqi, Zhang Shao, Xie Shiwen, et al. Hydrocarbon accumulation system of the Mesozoic in Zhenjing oilfield, the Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(2): 157-164.

- [11] 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.
- [12] 刘显阳,惠潇,李士祥.鄂尔多斯盆地中生界低渗透岩性油藏形成规律综述[J].沉积学报,2012,30(5):964-973.
Liu Xianyang, Hui Xiao, Li Shixiang. Summary of Formation Rule for Low Permeability Lithologic Reservoir of Mesozoic in Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2012, 30(5): 964-973.
- [13] 尹伟,胡宗全,李松,等.鄂尔多斯盆地南部镇泾地区典型油藏动态解剖及成藏过程恢复[J].石油实验地质,2011,33(6):592-596.
Yin Wei, Hu Zongquan, Li Song, et al. Dynamic analysis and accumulation process recovery of typical reservoirs in Zhenjing region, south of Ordos Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(6): 592-596.
- [14] 张峭楠,胡江奈,沙文武,等.鄂尔多斯盆地南部镇泾地区延长组的沉积特征[J].矿物岩石,2000,20(4):25-30.
Zhang Shaonan, Hu Jiangnai, Sha Wenwu, et al. The sedimentary characteristics of Yanchang Formation in the Zhenyuan and Jingchuan Districts, southern part of Ordos Basin [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2000, 20(4): 25-30.
- [15] 李士祥,邓秀芹,庞锦莲,等.鄂尔多斯盆地中生界油气成藏与构造运动的关系[J].沉积学报,2010,28(4):798-807.
Li Shixiang, Deng Xiuqin, Pang Jinlian, et al. Relationship between petroleum accumulation of Mesozoic and tectonic movement in Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 28(4): 798-807.
- [16] 徐黎明,周立发,张义楷,等.鄂尔多斯盆地构造应力场特征及其构造背景[J].大地构造与成矿学,2006,30(4):455-462.
Xu Liming, Zhou Lifa, Zhang Yikai, et al. Characteristics and Tectonic Setting of Tectono-Stress Field of Ordos Basin [J]. Geotectonica Et Metallogenia, 2006, 30(4): 455-462.
- [17] 刘岩.低渗透层裂缝特征及其对油气富集的控制作用——以红河油田长8为例[D].成都:成都理工大学,2013.
Liu Yan. Fracture Characteristics of Low Permeability Reservoirs and the Control Action of the Accumulation of Oil and Gas—A Case Study of Member Chang 8 in the Red River Oilfield [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2013.
- [18] 李明诚.石油与天然气运移(第四版)[M].北京:石油工业出版社,2013:161-164.
Li Mingcheng. Petroleum Migration (4th Edition) [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2013: 161-164.
- [19] 宋明水,赵乐强,宫亚军,等.准噶尔盆地西北缘超剥带圈闭含油性量化评价[J].石油学报,2016,37(1):64-72.
Song Mingshui, Zhao Leqiang, Gong Yajun, et al. Quantitative assessment on trap oil bearing property in ultra-denudation zones at the north western margin of Junggar Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2016, 37(1): 64-72.
- [20] 柳广弟,孙明亮.剩余压力差在超压盆地天然气高效成藏中的意义[J].石油与天然气地质,2007,28(2):203-208.
Liu Guangdi, Sun Mingliang. Significance of excess differential pressure in highly efficient gas accumulation in over-pressured basins [J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(2): 203-208.
- [21] 贾京坤,尹伟,邱楠生,等.红河油田延长组长8段油气输导体系及运聚模式[J].油气地质与采收率,2016,23(2):9-15.
Jia Jingkun, Yin Wei, Qiu Nansheng, et al. Petroleum carrier systems and migration and accumulation patterns in Chang 8 member of Yanchang Formation in Honghe Oilfield [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2016, 23(2): 9-15.
- [22] 陈占坤,吴亚生,罗晓容等.鄂尔多斯盆地陇东地区长8油层组古输导格架恢复[J].地质学报,2006,80(5):718-723.
Chen Zhankun, Wu Yasheng, Luo Xiaorong, et al. Reconstruction of Paleo-Passage System of Chang 8 Formation in Longdong Area, Ordos Basin [J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(5): 718-723.
- [23] 任森林,刘琳,徐雷.断层封闭性研究方法[J].岩性油气藏,2011,23(5):101-105.
Ren Senlin, Liu Lin, Xu Lei. Research methods of fault sealing [J]. Lithologic Reservoirs, 2011, 23(5): 101-105.
- [24] 邓秀芹,刘新社,李士祥.鄂尔多斯盆地三叠系延长组超低渗透储层致密性与油藏成藏史[J].石油与天然气地质,2009,30(2):156-161.
Deng Xiuqin, Liu Xinshe, Li Shixiang. The relationship between compacting history and hydrocarbon accumulating history of the super-low permeability reservoirs in the Triassic Yanchang Formation in the Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(2): 156-161.
- [25] 曾联波,高春宇,漆家福,等.鄂尔多斯盆地陇东地区特低渗透砂岩储层裂缝分布规律及其渗流作用[J].中国科学:D辑:地球科学,2008,38(增刊I):41-47.
Zeng Lianbo, Gao Chunyu, Qi Jiafu, et al. Distribution and permeability of reservoir fractures, Longdong area of south Ordos Basin [J]. Science in China: Series D: Earth Sciences, 2008, 38(S1): 41-47.
- [26] 郝芳.超压盆地生烃作用动力学与油气成藏机理[M].北京:科学出版社,2005.
Hao Fang. Kinetics of Hydrocarbon Generation and Mechanisms of Petroleum Accumulation in Overpressured Basins [M]. Beijing: Science Press, 2005.

(编辑 董立)