

川西坳陷中部须家河组五段致密砂岩储层特征及主控因素

林小兵¹, 刘莉萍², 田景春¹, 彭顺风¹, 杨辰雨¹, 苏林¹

(1. 成都理工大学 油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 四川 成都 610059;

2. 中国石化 西南油气分公司 勘探开发研究院, 四川 成都 610041)

摘要:利用岩心观察、测井资料、物性分析、薄片鉴定、扫描电镜等手段,对川西坳陷中部须家河组五段(须五段)储层特征及相对优质储层的影响因素进行探索。研究认为,须五段致密储层砂岩为赋存于烃源层系中单层厚2~25 m的三角洲前缘水下分流河道、河口坝、席状砂及浅湖砂坝砂体,为特低孔低渗储层,孔隙度平均为2.06%,渗透率平均为 $0.162 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;塑性颗粒、粘土杂基的高含量,碳酸盐矿物胶结物的大量发育,是须五段储层岩性致密化的主要因素;相对强水动力条件下沉积的中-细粒钙屑砂岩、含碳酸盐岩屑砂岩利于原生孔隙的保存及溶蚀流体交换,形成相对优质储层;易溶矿物长石含量极低,应是长石被溶蚀后的结果,并形成少量的溶蚀孔隙;烃源层系中独有的生烃增压缝利于大量有机酸进入胶结物未充满的残余粒间孔,再次发生溶蚀扩大。因此,与优质烃源岩相邻的具有一定厚度的水下分流河道及河口坝砂体是钻探的首选目标。

关键词:烃源层系;致密砂岩;须家河组;川西坳陷

中图分类号:TE121.1

文献标识码:A

Characteristics and controlling factors of tight sandstone reservoirs in the 5th member of Xujiahe Formation in the central of western Sichuan Depression

Lin Xiaobing¹, Liu Liping², Tian Jingchun¹, Peng Shunfeng¹, Yang Chenyu¹, Su Lin¹

(1. State Key Lab of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China;

2. Exploration and Development Institute of Southwest Petroleum Branch Company, SINOPEC, Chengdu, Sichuan 610041, China)

Abstract: Characteristics and dominant controlling factors of tight sandstone reservoirs in the 5th member of Xujiahe Formation in the central of western Sichuan Depression was researched through core observation, logging interpretation, physical property analysis, thin section examination and scanning electron microscope, in order to provide the basis for deployment of exploration and development of new sequences. The tight sandstone reservoirs occur in the 5th member source rocks and consist of delta front underwater distributary channels, channel bars, sheet sand and shallow lake sand bars, with single layer thickness ranging from 2 to 25 m. They belong to super-low porosity and low permeability reservoirs, with an average porosity of 2.06% and permeability of $0.162 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ respectively. High contents of plastic particles, clay matrix and carbonate cements are the principal factors that led to the densification of the 5th member reservoirs. The medium-fine grain calcarenaceous sandstones and carbonate lithic sandstone deposited in relatively stronger hydrodynamic environments are favorable for the preservation of primary pores and exchange of fluids, thus are reservoirs with relatively high quality. Dissolution of feldspar resulted in the low content of feldspar and the formation of some dissolution pores. And the unique cracks caused by hydrocarbon generation pressurization in source rocks were helpful for the organic acid to enter into the residual inter-granular pores, enlarging pre-existing dissolution pores. Therefore, the delta front underwater distributary channels and channel bars sandbodies adjacent to the source rock with a certain range of thickness are the most favorable targets for tight sandstone reservoirs exploration.

Key words: source rock, tight sandstone reservoir, Xujiahe Formation, western Sichuan Depression

致密砂岩气作为重要的非常规油气资源类型,与页岩气、水溶气、煤层气等共同占据着油气资源的重要位置。四川盆地致密砂岩气资源量较为丰富,属超深

低-特低孔渗致密砂岩气藏,致密砂岩储层的研究工作已开展多年,并取得了一系列的成果,但主要集中在须家河组二段(T_3x^2)和四段(T_3x^4)^[1-7],而对主要作

收稿日期:2013-12-01;修订日期:2014-01-20。

第一作者简介:林小兵(1980—),男,博士、讲师,沉积学与储层地质学。E-mail:linxiaobing07@cdut.cn。

基金项目:国家自然科学基金项目(41002032)。

为盖层和烃源层系的须家河组五段(T_3x^5)砂岩储层,涉及较少,研究不多。川西地区中部90余口须五段过路井,其中81口钻井钻遇气显示,且2口井中途测试获工业气流,但仍未将其作为目的层进行研究及勘探开发。尽管有研究认为四川盆地须五段储层物性较差,孔隙度主要分布在2%~5%^[8],并且气水关系复杂^[9],然而2013年新场地区有6口钻井在须五段砂岩层段获大于 $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 工业气流,显示须五段致密砂岩依然具有良好的勘探开发潜力。

随着川西坳陷中段须五段勘探开发力度加大,对储层特征的描述、相对优质储层的识别及成因研究就显得十分迫切。而目前,基于须五段储层的研究几乎处于空白阶段,本文依据现有资料,利用岩心观察、测井资料、物性分析、薄片鉴定、扫描电镜等手段对研究区须五段致密砂岩储层特征及相对优质储层的影响因素进行探索,以期为新层位的井位部署、测试选层等提供地质依据。

1 须五段致密砂岩储层砂体赋存状态

须五段沉积期,四川盆地沉降—沉积中心的主体由川西坳陷带迁移到川东北坳陷^[10],川西地区的物源供应远不如须四时期充足,以发育滨—浅湖和沼泽相的杂色泥岩、暗色炭质泥岩夹薄煤层、粉砂岩的互层组合为主,其中广泛发育的大套泥页岩构成了区域性的烃源岩和盖层,为侏罗系远源气藏的主力烃源岩^[11-12]。

在这样的沉积格局下,川西坳陷中段主要发育三角洲前缘—滨浅湖沉积^[13]的泥页岩夹砂岩。运用井、震结合精细砂体对比技术^[14],将孝泉—新场地区须五段共划分3个亚段,11个砂层组(Tx_5^1 — Tx_5^{11}),单层砂组厚度为40~60 m(图1a)。

致密砂岩储层为砂层组内部测井曲线形态呈箱型、齿化箱型、钟形的水下分流河道及漏斗形、指形的河口坝、席状砂及浅湖砂坝砂体。单层砂体厚2~25 m,纵向上主要发育于上、下亚段,中亚段局部地区发育; Tx_5^{9+10} 、 Tx_5^{4+5} 砂组单层厚度大于4 m砂岩累积厚度等值线图形态总体上表现为三角洲前缘朵叶体特征(图1b,c),水动力较强的主河道呈鸟足状、由北向南延伸,河道宽2~3 km,横向展布范围有限。

2 须五段致密砂岩储层特征

2.1 致密砂岩储层岩性特征

根据390余块薄片鉴定资料统计表明,须五段主要发育的岩石类型包括砂砾岩、岩屑砂岩、石英砂岩、粉砂岩和泥岩等(图2a)。粒度以细粒为主,也发育中、粗

粒,其次为粉砂及泥。碎屑矿物成分以沉积岩岩屑、石英为主,偶见长石。胶结物以方解石、白云石为主,见少量硅质、菱铁矿胶结。其中作为致密储层的岩石类型主要为岩屑砂岩,包括钙屑砂岩及含碳酸盐岩屑砂岩。

钙屑砂岩为碳酸盐岩屑大于50%的岩屑砂岩,碎屑矿物成分以碳酸盐岩屑为主,石英含量低,几乎不含长石(图2b)。含碳酸盐岩屑砂岩碎屑矿物成分复杂,石英含量最高,平均为57%,岩屑含量平均为42%,其中以沉积岩岩屑的碳酸盐岩屑为主,少量长石(图2c)。

2.2 致密砂岩储层物性特征

须五段砂岩层段298个物性数据统计表明(图3),砂岩孔隙度分布在0.89%~6.65%,平均为2.06%,渗透率分布在 $(0.002 \sim 12.528) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均为 $0.162 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,孔渗相关性较差。

从孔渗关系图上可以看出,孔隙度主要集中在两个区间:①大部分样品孔隙度为1%~2%,渗透率小于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;②另一部分样品集中分布在2.5%~4%,渗透率为 $(0.01 \sim 1) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,认为这一部分储层品质相对较好,是须五段致密砂岩中的相对优质储层,为研究的主要目的层。

2.3 致密砂岩储集空间特征

铸体薄片、扫描电镜观察可见,须五段主要砂岩储层,碳酸盐岩屑、石英颗粒之间被方解石、白云石胶结(图4a,b)、粘土矿物充填(图4c,d),仅在岩屑石英砂岩中,粒间孔充填硅质胶结(图4e),呈压结—孔隙式、基底式胶结,岩性致密。但是,在岩性普遍致密的背景下,仍可见一定的储集空间发育,其类型主要包括:粒间次生溶孔(图4f—h)、长石粒内(铸模)孔(图4i)、残余粒间孔(图4j)及微裂缝(图4k,l)等,微裂缝顺颗粒边缘发育,沟通孔隙。溶蚀孔隙周围及裂缝内多见有机质浸染或充填。

3 须五段相对优质储层发育控制因素

3.1 相对优质致密砂岩储层识别

通过物性数据、普通岩石及铸体薄片观察,在单井上可以识别出物性较好或微观孔隙发育带,即相对优质储层段。对现有资料统计表明(表1),相对优质储层主要发育于厚度大于4m、测井曲线为“箱形”、“钟形”、“漏斗形”的中—细粒钙屑砂岩及碳酸盐岩屑砂岩段的内部,其中“平直箱形”河道砂体储层品质最好。在典型的X884井中,发育一套厚度约8米的总体上呈箱形特征的河道砂体,从测井曲线形态、碎屑矿物组分含量均可以看出该砂体由多期河道及河口坝砂体叠加而成,砂体内部可以识别出3层厚1~2m的相对

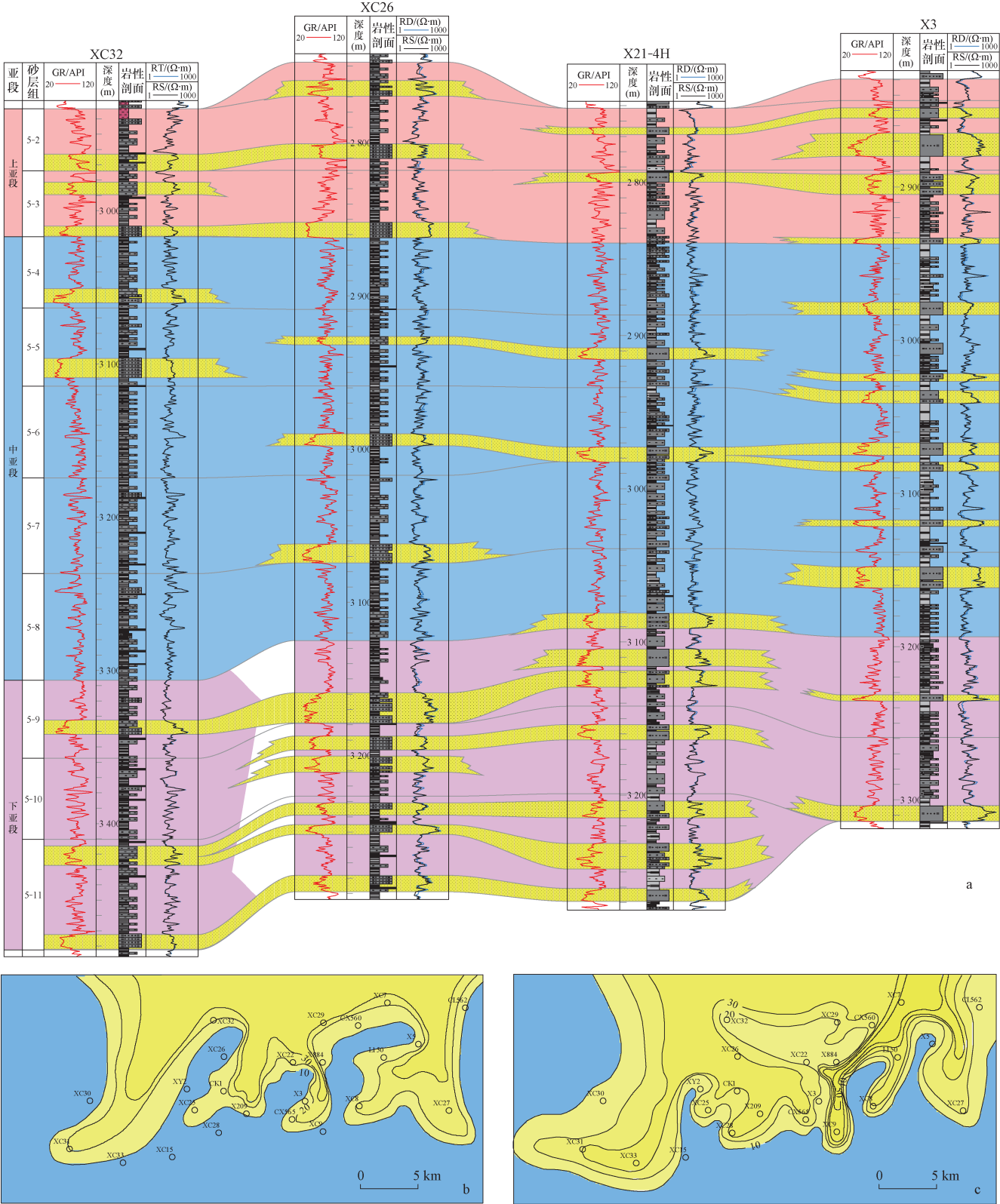


图 1 孝泉-新场地区须五段砂体纵、横向分布特征

Fig. 1 Sandbodies correlation and distribution of T^3x^5 in Xiaquan-Xinchang area

a. 砂体对比; b. Tx_5^{4+5} 砂组单层厚度大于 4 m 砂岩累积厚度等值线(m); c. Tx_5^{9+10} 砂组单层厚度大于 4 m 砂岩累积厚度等值线(m)

优质储层,共厚 5.4 m(图 5)。

3.2 致密砂岩相对优质储层发育控制因素

致密砂岩储层发育到目前的状态,首先是不同组

合的矿物组分经过不同水动力条件的搬运堆积,再通过埋藏成岩演化,包括破坏性及建设性成岩作用的改造而最终定型,而相对优质储层应是在建设性成岩作用主导下发育形成。因此分析致密砂岩发育主控因

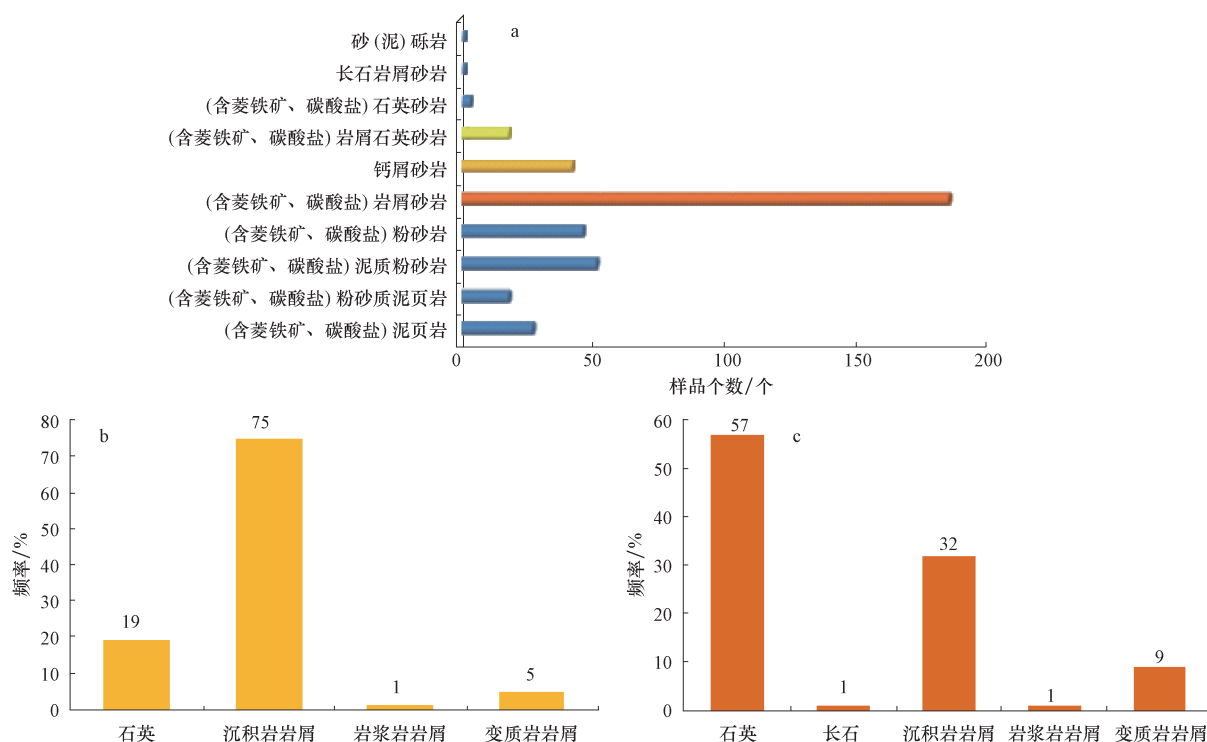


图2 川西坳陷中段须五段岩石类型及成分统计

Fig. 2 Statistics of rock types and composition of T3x5 in the central of Western Sichuan Depression

a. 岩石类型统计; b. 钙屑砂岩中碎屑成分; c. 含碳酸盐岩屑砂岩中碎屑成分

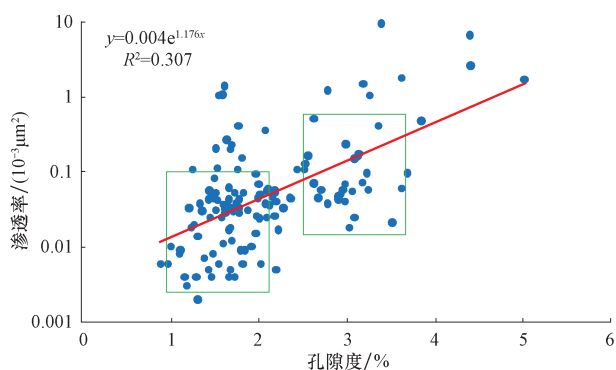


图3 川西坳陷中部须五段孔-渗相关性

Fig. 3 Relationship between porosity and permeability of T3x5 in the central of Western Sichuan Depression

素,即是基于砂体沉积背景和沉积特征条件下,对有利于建设性成岩作用发生的控制因素的剖析。

1) 沉积水动力条件

沉积水动力条件决定了沉积物的颗粒大小和杂基含量等特征。对于须五段砂岩来说,相对低能水动力条件下,塑性颗粒(泥岩岩屑、变质岩岩屑)、粘土杂基等含量高,相对缺乏早期胶结支撑而呈强压实状态,其对压实、压溶作用的抵抗能力较差,最终形成堆积紧密的致密砂体,是导致须家河组砂岩致密化的重要因素(图4c,d)。

同时,须五段亦发育水动力条件较强的三角洲前缘水下分流河道及河口坝砂体。(水下)分流河道砂体测井曲线主要呈“箱形”和“钟形”特征(图1a,

图5),其中“箱形”曲线砂体沉积时水动力条件表现为持续较强,物质受到的冲刷、淘洗充分,粘土填隙物较少,利于原生孔隙的保存及溶蚀流体交换,形成相对优质储层(图4g)。“钟形”曲线砂体,其沉积特征表明河道砂体沉积时水动力条件为从强变弱的过程,较粗粒砂先沉积,向上逐渐变细,同时泥质含量也逐渐增多。相对“箱型”曲线砂体而言,“钟形”曲线砂体非均质性更强,有相对优质储层发育,但单层厚度不大。

“箱形”河道砂体从测井曲线形态上看还有“平直箱形”和“齿化箱形”的区别,“平直箱形”曲线砂体的物质成分更均一,储层品质更好。XC32井上部测试层段含有一套单层厚度大于10 m的“平直箱形”河道砂(图1a, Tx₅⁵),是其获得较高工业产能的物质保证。

2) 岩石组分差异

前已述及,具有一定厚度的单层致密砂岩均是由多期河道叠加而成,即使是同一期河道由于水动力条件的改变也使得岩石组分包括碎屑矿物含量、胶结物类型及含量等出现较大差异。对致密砂岩储层品质的影响主要体现在两方面,一方面胶结物发育使储层变得致密,另一方面不稳定矿物发育有利于溶蚀孔隙发育而形成相对优质储层。

与须二段、须四段发育绿泥石(须二段发育于早期、须四段为晚期)、硅质矿物、碳酸盐矿物胶结不同,须五段主要发育碳酸盐矿物胶结作用(图4a),充填了大量的孔隙空间。硅质胶结主要在岩屑石英砂

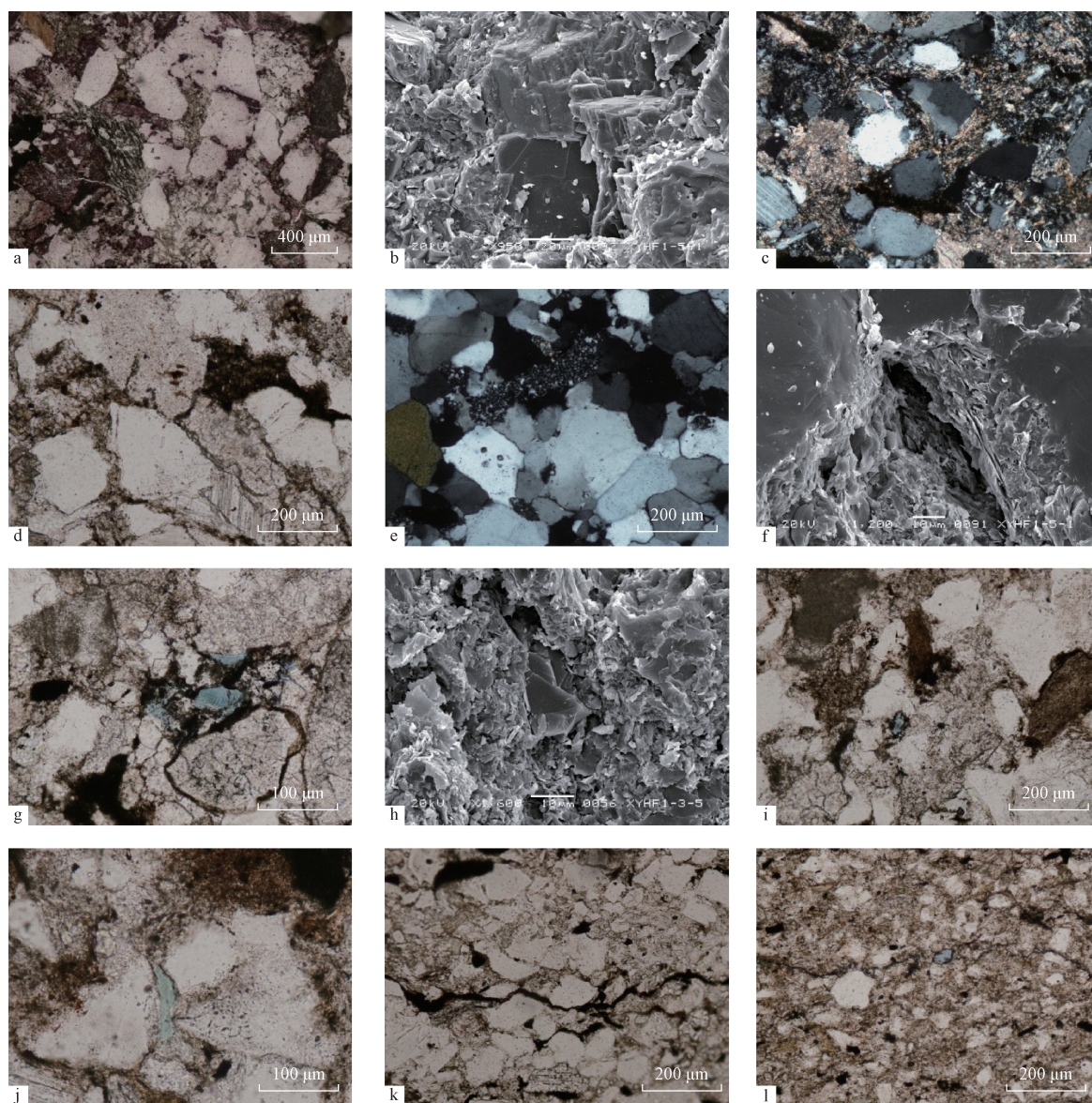


图4 川西坳陷中部须五段储层微观及储集空间特征

Fig. 4 Microscopic and reservoir space characteristics of T3x5 in the central of Western Sichuan Depression

- a. 方解石、白云石胶结,CG561,3 539 m,染色片;b. 方解石晶体充填粒间孔隙,XYHF-1,3 048.76 m;c. 粘土矿物充填,长石颗粒偶见,X884,3 101.4 m;
d. 含碳酸盐岩屑砂岩,具次生加大的再旋回石英,粘土杂基填隙,X884,3 108 m;e. 岩屑石英砂岩,见硅质次生加大胶结,CG561,3 267 m;f. 灰色岩屑石英砂岩,粒间次生溶蚀孔隙,新页 HF-1,3 065.94 m;g. 粒间溶孔,有机质浸染,X884,3 104.38 m,蓝色铸体片;h. 粘土矿物与方解石晶间次生溶孔,XYHF-1,3 048.76 m;i. 长石铸模孔,X884,3 103.2 m,蓝色铸体片;j. 残余粒间孔,X884,3 107 m,蓝色铸体片;
k. 裂缝被有机质充填,X884,3 097.78 m;l. 裂缝沟通铸模孔,X884,3 095.84 m,蓝色铸体片

岩中发育(图4e),在钙屑砂岩段或者含碳酸盐岩屑砂岩段,可见具硅质胶结的再旋回石英,而不是沉积后发育的次生加大(图4d)。

须五段岩石组分中长石含量极低($<1\%$),因此相对缺乏与须二段、须四段长石溶孔类似的储集空间类型。尽管目前统计须二段、须四段长石含量也不高,分别为 $8\% \sim 10\%$ 和 $1\% \sim 3\%$,但阴极发光分析表明大多数的碎屑长石是在埋藏成岩过程中溶解消失的,并最终形成了长石粒内溶孔、铸模孔等^[15]。因此,目前观察到的须五的低长石特征,应该也是长石被溶蚀后的结果,并且形成了少量的溶蚀孔隙,孔径在 $0.08 \sim$

0.3 mm 之间(图4i)。

3) 生烃增压作用

烃类侵位在储层成岩演化的过程中具有重要作用^[16]。镜下薄片可以观察到孔隙发育带多见有机质浸染(图4g),微裂缝中多被有机质充填(图4i)。须五段泥页岩作为优质烃源岩,其生烃强度大,烃类成熟大量排烃时必将产生巨大的压力,使得烃源岩周围的砂岩顺着颗粒边缘产生微裂缝,大量有机酸进入胶结物未充满的残余粒间孔,再次发生溶蚀扩大。

并且生烃增压缝将孤立的溶蚀孔隙连通(图4l),虽然多数被有机质充填,但在储层改造过程中易于被

表 1 川西坳陷须五段相对优质储层特征

Table 1 Statistics of relatively favorable reservoir characteristics of T3x5 in the central of Western Sichuan Depression

井号	井深/m	岩石名称	主要碎屑矿物及胶结物含量/%						孔洞含量/ %	测井特征		录井解释
			石英	长石	岩屑		方解石	白云石		GR/API	形态	
					沉积岩	变质岩						
CL562	3 249 ~ 3 254	细粒含碳酸盐	16	少量	71	13	3	—	1 ~ 2	44 ~ 58	弱齿化箱形	含气层
	3 342. 4 ~ 3 349	岩屑砂岩	28	—	64	8	3	2	少量	37 ~ 58	钟形	裂缝性气层
	3 535 ~ 3 537. 5	中粒钙屑砂岩	9	—	87	4	2	4	2	37 ~ 47	平直箱形	裂缝性气层
CG561	3 264 ~ 3 270	中粒岩屑石英砂岩	78	少量	5	12	少量	少量	偶见	35 ~ 55	齿化箱形	裂缝性气层
	3 272. 5 ~ 3 277	中粒岩屑砂岩	60	—	10	23	少量	偶见	少量	32 ~ 40	平直箱形	
	3 537. 5 ~ 3 543	中粒含碳酸盐岩屑砂岩	20	—	79		6	—	偶见	35 ~ 43	平直箱形	裂缝性气层
CX93	2 835 ~ 2 839	细粒含碳酸盐 岩屑砂岩	65	2	16	10	2	5	1 ~ 2	41 ~ 51	平直箱形	—
	3 060. 5 ~ 3 065. 8	中 - 细粒含碳酸 盐岩屑砂岩	45	1	40	10	7	5	1 ~ 2	23 ~ 68	漏斗形	含气层
X884	3 100. 6 ~ 3 102. 4	细粒含碳酸盐岩 屑砂岩	38	偶见	52	8	6	1	少量	33 ~ 44	钟形、漏斗 形叠置	裂缝性 气层
	3 103. 5 ~ 3 105	中 - 细粒钙屑砂岩	20	偶见	71	9	2	少量	偶见	35 ~ 43	箱形、漏斗 形叠置	
	3 105. 9 ~ 3 108	中 - 细粒含碳酸 盐岩屑砂岩	33	少量	59	8	4	少量	少量	42 ~ 47	平直箱形	

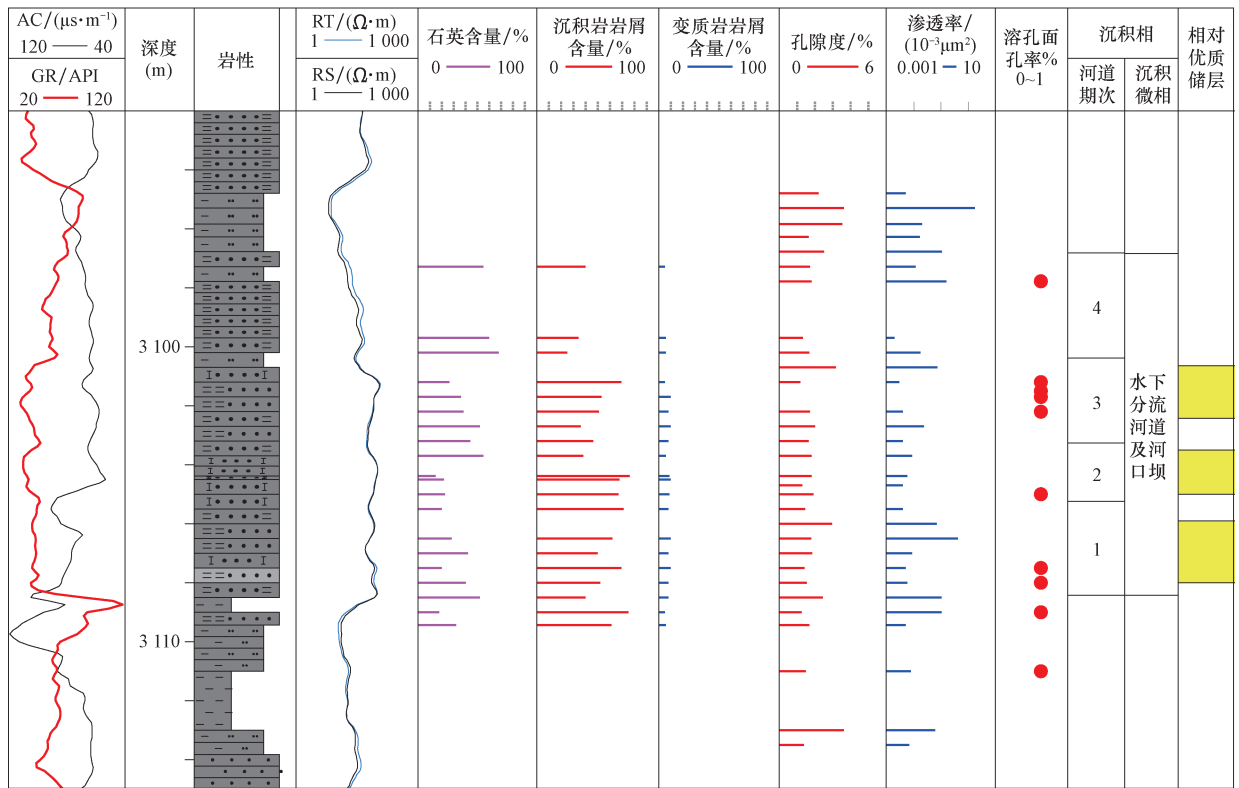


图 5 X884 井须五段相对优质储层段综合柱状图

Fig. 5 Composite histogram of relatively favorable reservoir of T3x5 in X884 well

压开,有助于改善储层的渗透能力。

4 结论

1) 川西坳陷须家河组五段烃源层系中发育单层厚 2 ~ 25 m 的三角洲前缘水下分流河道、河口坝砂体,纵向上主要发育于上、下亚段,中亚段局部地区发育;

在孝泉 - 新场地区平面上呈三角洲前缘朵叶体特征,水动力较强的主河道呈鸟足状、由北向南延伸,河道宽 2 ~ 3 km,横向展布范围有限。

2) 作为致密储层的岩石类型主要为岩屑砂岩,包括钙屑砂岩及含碳酸盐岩屑砂岩。为特低孔低渗储层,孔隙度平均为 2.06%,渗透率平均为 $0.162 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,孔渗相关性较差。塑性颗粒(泥岩岩屑、变质岩岩屑)、

粘土杂基的高含量,碳酸盐矿物胶结物的大量发育,是须五储层岩性致密主要因素。在岩性普遍致密的背景下,仍可见一定的粒间次生溶孔、长石粒内(铸模)孔、残余粒间孔及微裂缝等发育。

3) 相对强水动力条件沉积的中-细粒钙屑砂岩、含碳酸盐岩屑砂岩利于原生孔隙的保存及溶蚀流体交换,形成相对优质储层;易溶矿物长石含量极低,应是长石被溶蚀后的结果,并形成少量的溶蚀孔隙;烃源层系中独有的生烃增压缝利于大量有机酸进入胶结物未充满的残余粒间孔,再次发生溶蚀扩大。

4) 从储集性能的角度考虑,与生气强度大的优质烃源相邻的具有一定厚度的三角洲前缘水下分流河道及河口坝砂体更有利于相对优质储层发育,即是川西坳陷中段须五段钻探的首选目标。

参 考 文 献

- [1] 董贞环. 四川盆地西部须家河组致密砂岩成岩作用与孔隙演化模式[J]. 岩相古地理, 1994, 14(2): 33-41.
Dong Zhenhuan. Model for diagenesis and porosity evolution of the dense sandstones from the Xujiahe Formation in western Sichuan basin[J]. Journal Article. 1994, 14(2): 33-41.
- [2] 张哨楠. 四川盆地西部须家河组砂岩储层成岩作用及致密时间讨论[J]. 矿物岩石, 2009, 29(4): 33-38.
Zhang Shaonan. discussion on the diagenesis and timing of tight sandstone reservoir in Xujiahe Formation, western Sichuan basin[J]. Journal of Mineralogy and Petrology. 2009, 29(4): 33-38.
- [3] 吕正祥, 刘四兵. 川西须家河组超致密砂岩成岩作用与相对优质储层形成机制[J], 岩石学报, 2009, 25(10): 2373-2383.
Lü Zhengxiang, Liu Sibing. Ultra-tight sandstone diagenesis and mechanism for the formation of relatively high-quality reservoir of Xujiahe Group in western Sichuan[J]. Acta Petrologica Sinica. 2009, 25(10): 2373-2383.
- [4] 曾小英, 张小青, 钟玉梅. 川西坳陷中段须家河组四段钙屑砂岩气层的成因[J], 沉积学报, 2007, 26(6): 896-901.
Zeng Xiaoying, Zhang Xiaoqing, Zhong Yumei, et al. Origin of Calcareneous Sandstone Gas Formation of the 4th Member of Xujiahe Formation in the Middle Part of Western Sichuan Depression[J]. Acta Sedimentologica Sinica. 2007, 26(6): 896-901.
- [5] 曾小英, 张娟, 刘远洋, 等. 沉积期火山作用对川西坳陷须家河组优质储层的意义[J], 石油与天然气地质, 2012, 33(1): 50-60.
Zeng Xiaoying, Zhang Juan, Liu Yuanyang, et al. Significance of syn-depositional volcanism to high quality reservoirs in the Xujiahe Formation, the western Sichuan Depression[J] Oil & Gas Geology, 2012, 33(1): 50-60.
- [6] 罗文军, 彭军, 杜敬安, 等. 川西坳陷须家河组二段致密砂岩储层成岩作用与孔隙演化——以大邑地区为例[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(2): 287-295.
Luo Wenjun, Peng Jun, Du Jingan, et al. Diagenesis and porosity evolution of tight sand reservoirs in the 2nd member of Xujiahe Formation, western Sichuan Depression: an example from Dayi region[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(2): 287-295.
- [7] 孙全力, 孙晗森, 贾昀, 等. 川西须家河组致密砂岩储层绿泥石成因及其与优质储层关系[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(5): 751-757.
- [8] Sun Quanli, Sun Hansen, Jia Bao, et al. Genesis of chlorites and its relationship with high-quality reservoirs in the Xujiahe Formation tight sandstones, western Sichuan depression[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(5): 751-757.
- [9] 刘莉萍, 林小兵, 李丽平. 四川盆地孝泉-丰谷构造带须家河组气藏气水分布控制因素及勘探潜力[J]. 天然气工业, 2013, 33(6): 16-22.
Liu Liping, Lin Xiaobing, Li Liping. Factors controlling gas water contact and the exploration potential of the Xujiahe Fm gas reservoirs in the Xiaoquan-Fenggu structural zone, Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry. 2013, 33(6): 16-22.
- [10] 郑荣才, 戴朝成, 朱如凯等. 四川类前陆盆地须家河组层序-岩相古地理特征[J]. 地质论评, 2012, 55(4): 484-495.
Zheng Rongcai, Dai Caocheng, Zhu Rukai, et al. Sequence based Lithofacies and Paleogeographic Characteristics of Upper Triassic Xujiahe Formation in Sichuan Basin[J]. Geological Review. 2012, 55(4): 484-495.
- [11] 王君泽, 刘四兵, 陈婷等. 川西坳陷孝-新-合地区须家河组烃源岩地化特征对比及评价[J]. 四川文理学院学报, 2011, 21(5): 67-69.
Wang Junze, Liu Sibing, Chen Ting, et al. Comparison and Evaluation on the Characteristics of Geochemistry on Xujiahe Formation Hydrocarbon Source Rocks in Xiao-Xin-He Region of Western Sichuan Depression[J] Sichuan University of Arts and Science Journal. 2011, 21(5): 67-69.
- [12] 马立元, 周总瑛. 川西坳陷中段上三叠统须家河组天然气资源潜力分析[J]. 天然气地球科学, 2009, 20(5): 730-737.
Ma Liyuan, Zhou Zongying. Analysis of Natural Gas Resource Potentiality for Upper Tertiary Xujiahe Formation in the Middle Part of West Sichuan Depression[J]. Natural Gas Geoscience. 2009, 20(5): 730-737.
- [13] 付冠, 张良华, 袁志华等. 四川盆地上三叠统须家河组沉积环境分析[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2010, 12(6): 17-21.
Fu Guan, Zhang Lianghua, Yuan Zhihua, et al. Sedimentary Environment Research for Xujiahe Formation of the Upper Triassic Series in Sichuan Basin[J]. Journal Of Chongqing University of Science And Technology (Natural Sciences Edition). 2010, 12(6): 17-21.
- [14] 林小兵, 田景春, 刘莉萍等. 等时格架及地震反演双重约束的精细砂体对比研究[J]. 中国矿业大学学报, 2011, 40(3): 417-423.
Lin Xiaobing, Tian Jingchun, Liu Liping, et al. Research on fine sand-body correlation method under the double constraints of isochronous framework and seismic inversion[J]. Journal of China University of Mining & Technology. 2011, 40(3): 417-423.
- [15] 黄思静, 佟宏鹏, 黄可可等. 阴极发光分析在恢复砂岩碎屑长石含量中的应用——鄂尔多斯盆地上古生界和川西凹陷三叠系须家河组的研究[J]. 地球科学进展, 2008, 23(10): 1013-1019.
Huang Sijing, Tong Hongpeng, Huang Keke, et al. Application of Cathodoluminescence Analyse to the Recovery of Feldspar Content in Sandstone—A Case Study of Upper Paleozoic of Ordos Basin and Xujiahe Formation of Western Sichuan Depression, Sichuan Basin[J]. Advances In Earth Science. 2008, 23(10): 1013-1019.
- [16] Wilkinson M, Haszeldine R S, Ellam R M, et al. Hydrocarbon filling history from diagenesis evidence: Brent Group, UK North Sea[J]. Marine and Petroleum Geology, 2004, 21: 443-455.