

川西坳陷孝泉-新场地区须家河组四段储层 控制因素及预测地质模型

孟万斌¹,吕正祥²,刘家铎¹,田景春¹,冯明石¹,李敏³

(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. 成都理工大学
能源学院,四川 成都 610059; 3. 广西壮族自治区 272 地质队,广西 南宁 530023)

摘要:利用岩石薄片、扫描电镜、阴极发光等技术方法,结合储层物性、沉积相等资料,对川西坳陷孝泉-新场地区须家河组四段储层发育的控制因素和储层预测地质模型进行了研究。结果表明,该区须四段储层岩石类型主要为岩屑砂岩、岩屑石英砂岩、钙屑砂岩等富含岩屑的砂岩,砂岩成分成熟度高,结构成熟中等;主要的储集空间为粒间溶孔、粒内溶孔和铸模孔,储层类型主要为孔隙型和裂缝-孔隙型,储层物性差,为典型的致密砂岩储层;压实作用和胶结作用是砂岩致密化的主要因素,而溶蚀作用和破裂作用是相对优质储层发育的关键;控制须四段相对优质储层形成的主要因素为沉积微相、埋藏早期和溶蚀期砂体所处的古构造位置以及(主要是下亚段)裂缝发育情况。据此建立了该区须四段储层预测地质模型:须四上亚段储层预测地质模型为三角洲前缘分流河道、河口坝微相+埋藏早期古构造高位置;须四段下亚段储层预测地质模型为砂岩含量高的辫状分流河道、河口坝微相+溶蚀期古构造高位置+裂缝发育区。

关键词:成岩作用;储层特征;地质预测模型;须家河组;孝泉-新场地区;川西坳陷

中图分类号:TE112.1

文献标识码:A

Reservoir controlling factors and geological prediction models of the 4th member of the Xujiahe Formation in Xiaoquan-Xinchang area, the western Sichuan Basin

Meng Wanbin¹, Lü Zhengxiang², Liu Jiaduo¹, Tian Jingchun¹, Feng Mingshi¹, Li Min³

(1. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China; 2. College of Energy Resources, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China; 3. No. 272 Geology Team of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning, Guangxi 530023, China)

Abstract: A study is carried out on the controlling factors and geological prediction models in the 4th member of the Xujiahe Formation in Xiaoquan-Xinchang area, western Sichuan Basin. Technical methods or tools such as thin section observation, SEM and cathodoluminescence spectroscopy had been employed and data like reservoir physical parameters, sedimentary facies and so on had been utilized. The results show that the reservoirs in the formation are mainly sandstones with high lithic content, such as litharenite, sublitharenite and calcarenaceous sandstone. These sandstones have high compositional maturity and medium textural maturity. Reservoir space is mainly intergranular dissolved pore, intragranular dissolved pore and moldic pore. The reservoir are mainly of porous type and fractured-porous type with poor reservoir quality, and are typical tight sandstone reservoirs. Compaction and cementation caused densification of the sandstone while dissolution and fracturing played key roles in the formation of reservoirs with relatively good quality. Factor as depositional microfacies, the position of sandstone in the Palestructures during early burial process and dissolution period, and fracture growth (mainly at the lower section) are considered to control the formation of reservoirs with relatively good quality in the 4th member of the Xujiahe Formation. Hence, two geological prediction models are established for the upper and lower section of the 4th member respectively; they are delta front distributary channel microfacies and/or mouth bar microfacies plus paleostructural high during early burial process, sandy braided distributary channel microfacies and/or mouth bar microfacies plus paleostructural high during dissolution period plus fracture zone.

Key words: diagenesis, reservoir characteristics, geological prediction model, Xujiahe Formation, Xiaoquan-Xinchang area, western Sichuan Basin

收稿日期:2012-08-22;修订日期:2013-07-10。

第一作者简介:孟万斌(1968—),男,副教授,沉积学与储层地质学。E-mail: mwb@cdu.edu.cn。

基金项目:国家科技重大专项(2008ZX05002-004-002);油气藏地质及开发工程国家重点实验室项目(国家科研G9)。

位于川西坳陷孝泉-新场地区的新场气田是川西坳陷中段形成于燕山期古构造背景下的多层、多类型气藏叠置的复式气田,其发现是我国致密碎屑含气领域的重大突破^[1]。须家河组超致密砂岩中发育的相对优质储层是孝泉-新场地区的主要产气层^[2~6],研究其储层特征及控制因素,并建立储层预测地质模型,对提高勘探成功率具有重要意义。

1 地质概况

孝泉-新场地区位于孝泉-丰谷北东向构造的西端,北面为梓潼凹陷,南邻成都凹陷,西接鸭子河构造(图 1)^[7]。须家河组厚 2 000 余米,自下而上分为须家河组二段一五段共 4 段,其中须二段、须四段是区域性储集层,目前发现的天然气主要分布于这两个地层段中。须四段在孝泉-新场地区厚 550~600 m,地层自西向东减薄,可分为上、中、下 3 个亚段。由于砂岩埋藏深度大,所经历的成岩作用复杂,造成现今砂岩平孔隙度普遍小于 4%,为典型的超致密砂岩^[2~8]。在这些超致密砂岩中也存在相对优质储层,它们主要发育在三角洲前缘砂体中,储集空间类型以次生孔隙为主,特别是长石等铝硅盐矿物溶解形成的次生孔隙所占比例可达 70%以上,构成了储集空间的主体。

晚三叠世末期的印支运动是川西前陆盆地由海相沉积转为内陆湖相沉积的重要转折时期^[6],盆地周边物源丰富,龙门山古陆、康滇古陆、米仓山-大巴山古陆和江南古陆分别从西、西南、北和东南 4 个方向为盆地提供了丰富的碎屑沉积物^[8],须四段沉积期,在川西坳陷发育了冲积扇、扇三角洲、辫状河、辫状河三角洲和湖泊等沉积体系^[8~16]。研究区须四段主要发育三

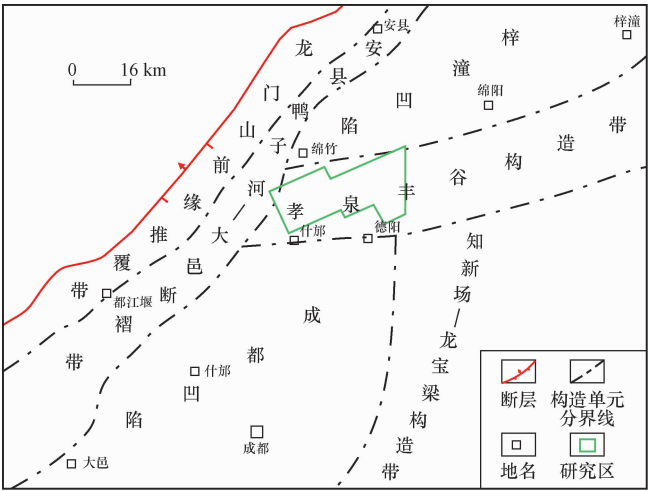


图 1 川西坳陷区域构造及研究区位置(据文献[7]修改)
Fig. 1 Map showing the regional structure and the location of the study area in the western Sichuan Depression

角洲-湖泊沉积体系,以三角洲前缘和滨浅湖亚相为主。须四上亚段发育细粒湖相三角洲前缘亚相,微相主要为三角洲前缘水下分流河道和河口坝(图 2);中亚段发育浅湖亚相;下亚段发育粗粒的辫状河三角洲相,以三角洲前缘亚相为主,微相主要为前缘分流河道和前缘砂坝(图 3)。

2 储层特征

2.1 岩石学特征

储层的岩石学特征对成岩作用和孔隙发育具有重要的影响^[17]。孝泉-新场地区须四段储层岩性主要为浅灰色岩屑砂岩、岩屑石英砂岩、钙屑砂岩等富含岩屑的砂岩。按照刘宝珺^[18]的砂岩分类标准,对区内 1 000 多个薄片样品进行统计,岩屑砂岩和岩屑石英砂

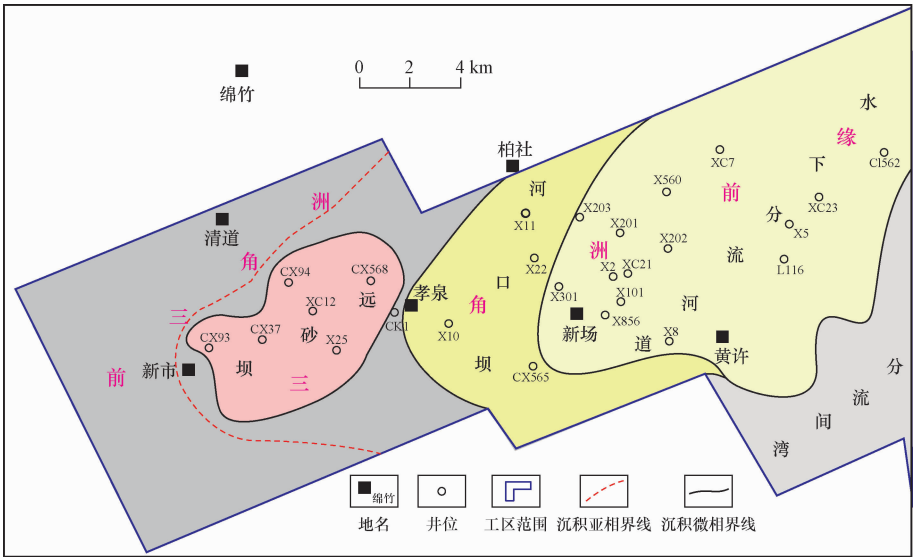


图 2 孝泉-新场地区须四上亚段沉积微相

Fig. 2 Depositional microfacies in the upper part of the 4th member of the Xujiahe Formation in Xiaoquan-Xinchang area, the western Sichuan Basin

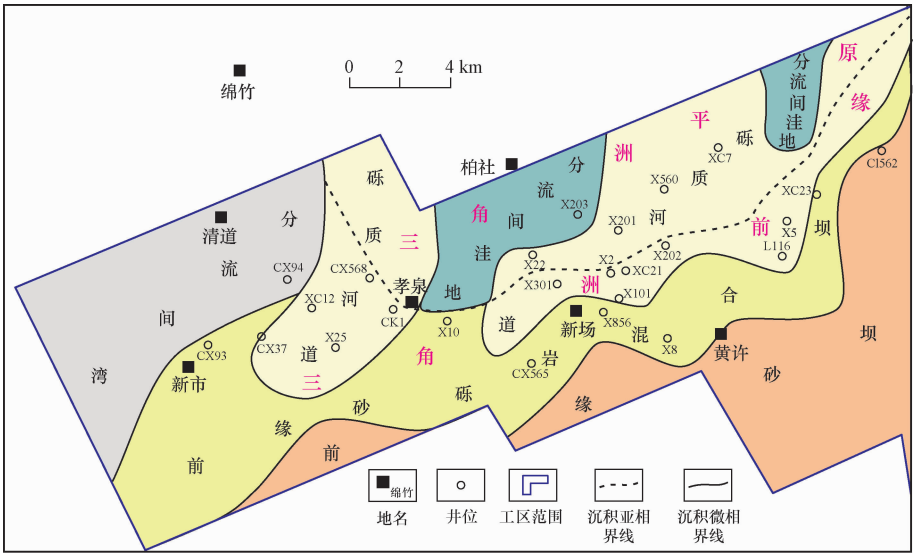


图 3 孝泉 - 新场地区须四下亚段沉积微相

Fig. 3 Depositional microfacies in the lower part of the 4th member of the Xujiahe Formation in Xiaoquan-Xinchang area, the western Sichuan Basin

岩占全部样品的 97.96%，石英砂岩和长石岩屑砂岩分别仅占 1.39% 和 0.65%。因此，极其富含岩屑和贫长石是该区须四段砂岩骨架颗粒构成的主要特征。需要指出的是，虽然研究区须四段现存长石平均含量不足 1%，但有研究表明，在含煤地层的砂岩中，至少有 10%~20% 的长石在埋藏成岩过程中被煤系地层的酸性流体所溶解^[19]，它们对储层的发育具有重要意义。砂岩粒度以中粒为主，占 57.91%，其次为细粒砂岩，占 28.37%，极粗粒和不等粒砂岩分别占 0.70% 和 0.58%。颗粒磨圆度中等 - 较差，以次棱状为主，分选较好 - 中等。胶结类型多为孔隙式、压结式和孔隙 - 压结式，填隙物主要为碳酸盐胶结物和粘土矿物，另外见硅质、少量铁泥质和有机质泥。

2.2 成岩作用特征

2.2.1 成岩作用类型及特征

通过薄片观察、扫描电镜、阴极发光等分析手段，得出研究区须四段储集砂岩所经历的成岩作用主要包括压实压溶作用、胶结作用、溶蚀作用和破裂作用等。

压实压溶作用主要表现为具长轴的碎屑颗粒大致定向排列，千枚岩、泥岩、片岩等塑性岩屑拉长、变形，云母等片状矿物的弯曲变形以及刚性碎屑产生裂纹、破碎等(图 4a)。在软性颗粒较发育的层段表现出较强的压实作用，而在软性颗粒较不发育层段以及长石、碳酸盐岩岩屑(钙屑)、碳酸盐胶结物相对发育层段压实作用则相对较弱，原始孔隙在这些层段有一定程度的保存。

胶结作用主要包括碳酸盐矿物、粘土矿物和硅质的胶结作用(图 4b—d)。常见的自生粘土矿物主要有伊利石、高岭石和绿泥石，局部可见蒙脱石。据全岩和

粘土矿物 X - 射线衍射分析，须四段粘粒中伊利石占 52.33%，是主要的粘土矿物，它们呈碎屑颗粒包膜、充填于次生粒内溶孔中的网状集合体和充填于粒间的非网状集合体 3 种方式产出。这些自生伊利石的形成对致密砂岩中相对优质储层的发育具有双重影响：一方面，它能降低储层的渗透率，影响储层质量；另一方面，颗粒包膜伊利石可以阻止石英次生加大的形成，从而保护原生孔隙^[20]。埋藏成岩过程中，蒙皂石 - 伊利石的转化反应以及钾长石和高岭石的伊利石化作用，能促进钾长石的溶解形成次生孔隙。因此，自生伊利石的形成对于砂岩原生孔隙的保存和次生孔隙的发育具有积极作用，因而有利于相对优质储层的形成^[4]。高岭石含量虽然不高，但它是钾长石伊利石化并形成次生孔隙的必要反应物，因而其存在对储层的发育具有重要意义。自生石英以次生加大和充填孔隙两种形式存在，前者较为普遍，含量多小于 2%。碳酸盐胶结物的平均含量高达 6.07%，占胶结物总量的 83.23%，可分为早期碳酸盐胶结及晚期碳酸盐胶结。早期碳酸盐胶结物以充填原生孔隙的泥晶及亮晶无铁方解石为主，晚期方解石多为充填孔隙或交代碎屑的细 - 中晶含铁方解石，常与自生石英及白云石相伴生。总体上讲，除早期形成的碳酸盐矿物对提高岩石抗压实能力有一定积极意义外，其余的碳酸盐胶结作用是造成研究区须四段砂岩储集空间变小、储层物性变差的重要因素之一，对储层质量的影响以破坏性作用为主^[21-22]。

溶蚀作用在须四段砂岩中普遍发育，绝大部分骨架颗粒有被溶蚀的现象，其中长石的溶蚀最为明显，主要沿颗粒边缘和解理溶蚀，在部分层段长石被溶蚀成蜂窝状，甚至形成铸模孔(图 4e)。岩屑的溶蚀则主要为其中的易溶矿物(如长石等)遭受选择性溶蚀形成

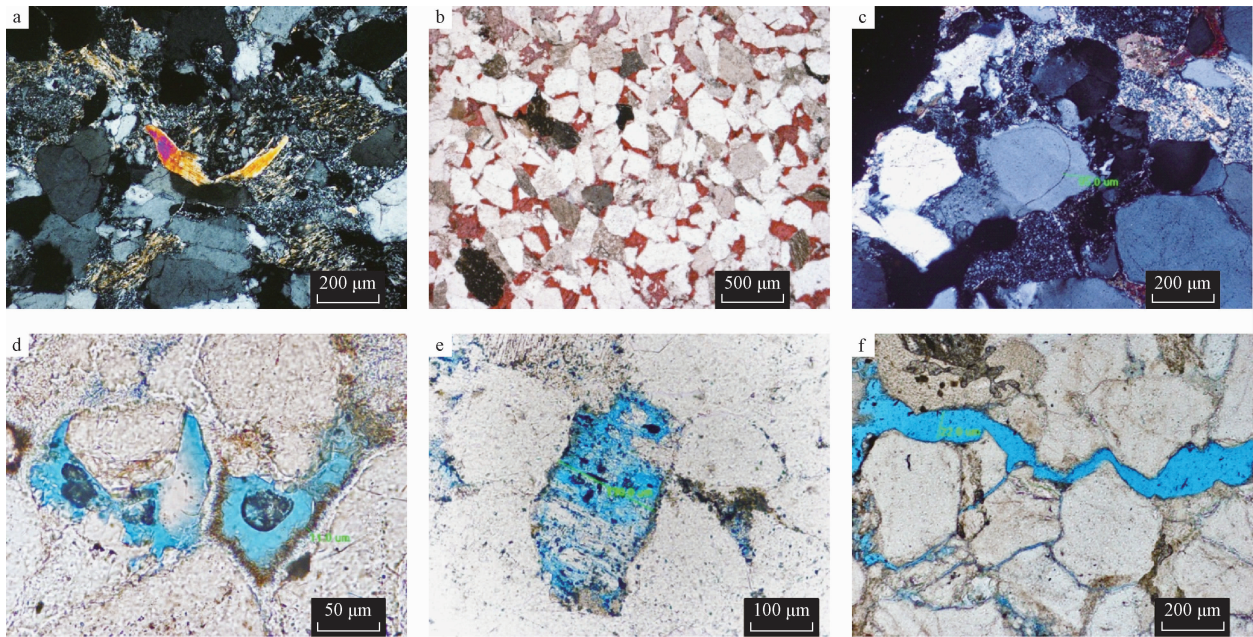


图 4 孝泉 - 新场地区须四段砂岩成岩作用显微照片

Fig. 4 Photomicrographs showing the diagenesis in the 4th member of the Xujiahe Formation in Xiaoquan-Xinchang area, the western Sichuan Basin

a. 塑性岩屑受压变形呈假杂基, 云母受压变形破碎, 压实作用强, XC 场 27 井, 3 589. 91 m; b. 中粒岩屑砂岩中方解石 (红色) 基底式胶结, XC15 井, 3 636. 57 m; c. 中粒岩屑砂岩的石英次生加大, XC25 井, 3 775. 25m; d. 中粒岩屑砂岩中的伊利石薄膜, XC27 井, 3 670. 64 m; e. 中粒长石英砂岩中的长石蜂窝状溶孔, GM4 井, 3 788. 92 m; f. 中粒岩屑砂岩中的溶蚀扩大裂缝, XC15 井, 3 962. 66 m。
(图片中蓝色为铸体; a, c 为正交偏光, b, d, e, f 为单偏光。)

粒内溶孔, 其中火山碎屑的溶蚀最为重要^[23]。溶蚀作用对本区须四段砂岩储层的改善起着重要的作用, 可以有效地增加砂岩的孔隙空间, 形成较好的储集层段, 是研究区须四段相对优质储层发育的主要成因机制。

研究区须四段, 尤其是须四下亚段砂砾岩中裂缝相对较为发育, 薄片观察到的微裂缝宽度以 0. 01 ~ 0. 02 mm 为主。通常表现为刚性颗粒受压破裂、延伸较长的扭性裂缝以及部分张性裂缝, 它们对改善砂岩的渗透性十分重要^[24-25]。部分缝段见有溶蚀扩大现象 (图 4f), 表明破裂缝对次生溶孔的形成也有一定的贡献。

2. 2. 2 成岩作用序列及孔隙演化

按照自生矿物或成岩事件首次出现的相对顺序, 总结出研究区须四段砂岩成岩作用序列: 机械压实—早期硅质胶结—无铁方解石和环边伊利石胶结—长石早期溶蚀及高岭石胶结—压溶作用—硅质次生加大胶结作用—长石、岩屑及粘土杂基溶解—伊利石充填孔隙—晚期石英次生加大胶结—含铁碳酸盐胶结—岩石破裂。它们与储层的孔隙演化密切相关 (图 5)。

压实作用是早成岩阶段 A 期孔隙度降低的最主要因素, 在与局部环境中发生的早期方解石胶结作用的共同影响下, 砂岩的孔隙度损失了约 20% ~ 25%。在须四上亚段, 受泥岩地层酸性流体以及部分大气淡水和煤系地层产生的酸性水的作用, 砂质沉积物中的

易溶骨架颗粒 (如钾长石) 发生溶解, 形成第一次生孔隙发育期。虽然这些次生孔隙在后续埋藏过程中难以保存, 但这种早成岩阶段长石的溶解伴随高岭石的沉淀和 H⁺ 的有效储备, 它们为后期高岭石与钾长石反应致使钾长石溶解形成次生溶蚀孔隙提供了条件。到该成岩阶段末期, 砂岩的孔隙度大致降至 25% 左右。

早成岩阶段 B 期, 随着埋深加大, 石英颗粒压溶作用开始发育, 同时开始出现与埋藏成岩作用有关的自生石英、碳酸盐和 (含) 铁碳酸盐矿物的沉淀, 原生孔隙度大大降低, 大部分细砂岩和粉砂岩已变为致密储层。到该成岩阶段末期, 有机质逐渐成熟, 孔隙介质 pH 值降低, 砂岩中长石等易溶组分溶解, 但与该机理有关的主要溶解作用发生在后面的中成岩阶段早期。该阶段除与粘土矿物转化有关的胶结作用以外, 同时伴生与长石等铝硅酸盐溶解相关的碳酸盐和石英的胶结作用, 该阶段末的平均孔隙度大致在 20% 左右。

酸性水的溶蚀作用是中成岩阶段 A 期最主要的建设性成岩作用, 有机质脱羧作用形成的富含有机酸的酸性水进入储层, 溶蚀长石、火山岩屑颗粒, 产生次生溶孔, 形成第二次生孔隙发育期。随着长石不断地被溶解和石英压溶作用的继续发生, 成岩流体中 SiO₂ 成分过饱和, 形成了较发育的第 II 期石英加大边和第 III 期石英胶结物, 使原本致密的砂岩孔隙度更小。该

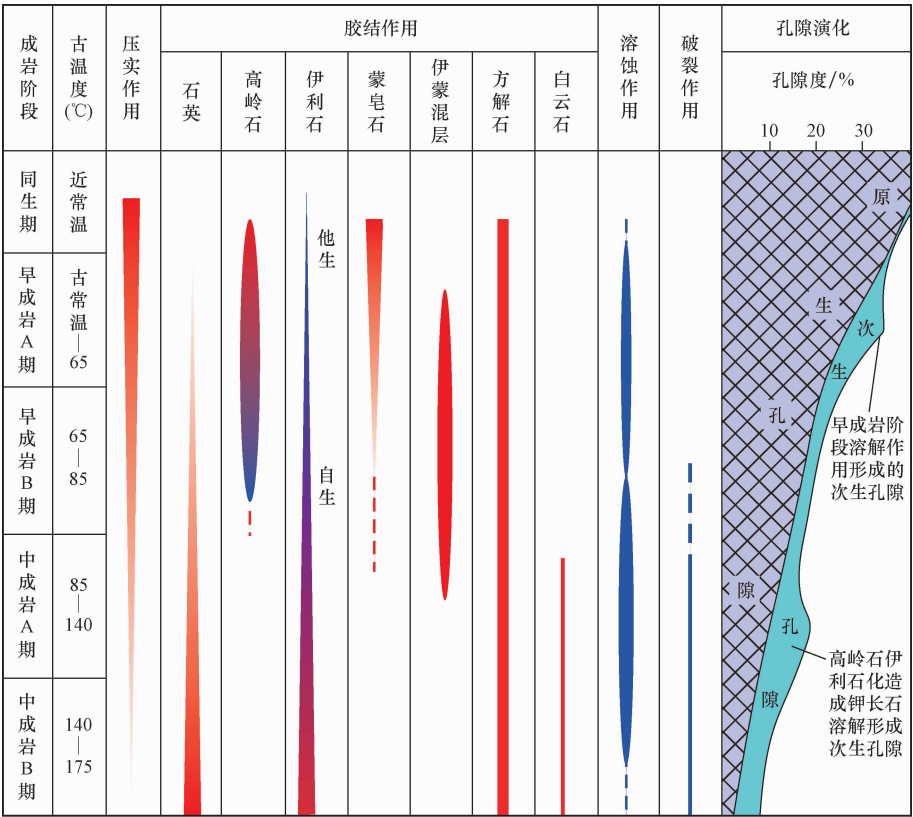


图 5 孝泉 – 新场地区须四段砂岩成岩序列及孔隙演化

Fig. 5 Diagenesis sequences and pore evolution of the sandstone in the 4th member of the Xujiahe Formation in Xiaoquan-Xinchang area, the western Sichuan Basin

阶段最重要的建设性成岩作用即钾长石的溶解作用，为深埋藏条件下的砂岩提供一定数量的次生孔隙。在须四段上亚段,由于较多高岭石的伊利石化,使该亚段地层的钾长石几乎完全溶解,岩石的最终(现今)孔隙度大致在 10%左右或更高,最高可达 20%以上,而早成岩阶段酸性流体不活跃的下亚段岩石的最终孔隙度平均值只有 5%左右,最大值不超过 13%。

中成岩阶段 B 期,有机质演化进入凝析油和生气阶段,孔隙流体中很少含有机酸,孔隙水呈弱碱性、碱性,成岩流体处于过饱和状态,这时长石已不再溶解,(含铁)方解石、(含铁)白云石沉沉并交代长石,储层的孔隙度和渗透率进一步降低,储集性能变差,储层的最终孔隙度大致在 10%左右。

2.3 物性特征

新场地区须四段的储集类型较为复杂,上亚段主要为裂缝相对不发育的孔隙型储层,下亚段既有孔隙型储层,也有裂缝型储层和裂缝 – 孔隙型储层,后两者主要发育在砾岩和含砂质砾岩中。据统计,须四段薄片面孔率普遍较小,上、下亚段总面孔率平均值分别为 4.52%和 3.51%。孔隙类型主要以粒内溶蚀孔隙为主(包括铸模孔),其次为次生粒间孔隙,原生孔很少。上、下亚段 3 类孔隙对总面孔率的贡献率分别为:粒内溶蚀孔 46.46%, 53.32%; 次生粒间孔 39.15%, 32.47%; 原生孔 14.39%, 14.21%。次生孔隙对面孔率的贡献远大于原生孔(表 1)。

表 1 孝泉 – 新场地区须四段孔隙类型及其贡献率统计

Table 1 Statistics of pore types and their contribution to the formation of reservoirs for the 4th member of the Xujiahe Formation in Xiaoquan-Xinchang area, the western Sichuan Basin

层位	井号	井段/m	原生孔		次生粒间孔		次生粒内孔		总面孔率/%
			面孔率/%	贡献率/%	面孔率/%	贡献率/%	面孔率/%	贡献率/%	
须四 上亚段	X11	3 460.0 ~ 3 489.5	0.47	14.20	1.33	40.18	1.51	45.62	3.31
	XC21	3 424.0 ~ 3 465.5	0.89	17.18	2.11	40.73	2.18	42.08	5.18
	XC23	3 452.4 ~ 3 707.6	0.38	11.91	0.81	25.39	2.00	62.70	3.19
	平均值		0.66	14.60	1.87	41.37	1.99	44.03	4.52
须四 下亚段	X202	3 833.1 ~ 3 841.4	0.54	14.96	1.29	35.73	1.77	49.03	3.60
	XC23	4 007.0 ~ 4 013.0	0.46	12.92	0.75	21.07	2.35	66.01	3.56
	平均值		0.50	14.25	1.17	33.33	1.83	52.14	3.50

表 2 孝泉－新场地区须四段物性统计

Table 2 Statistics of porosity and permeability for the 4th member of the Xujiahe Formation in Xiaoquan-Xinchang area, the western Sichuan Basin

层位	孔隙度/%				渗透率/(10 ⁻³ μm ²)			
	最大值	最小值	平均值	样品数/个	最大值	最小值	平均值	样品数/个
须四上亚段	12. 71	0. 60	6. 75	1 496	30. 55	0. 001	0. 18	1 496
须四下亚段	13. 56	0. 44	5. 02	355	29. 15	0. 000 69	0. 39	340
须四段	13. 56	0. 27	6. 01	2 065	78. 15	0. 000 69	0. 33	2 065

注:由于中亚段储层不发育,表中未列出中亚段数据。

根据岩心测试孔隙度和渗透率统计(表 2),孝泉－新场地区须四上亚段孔隙度平均值为 6. 75%,峰值位于 5%~10%;渗透率平均值为 0. 18×10⁻³ μm²,主要分布于 0. 01×10⁻³~1×10⁻³ μm²。下亚段孔隙度的平均值为 5. 02%,主要分布 4%~9%,且砂岩的孔隙度明显好于砾岩;渗透率的平均值为 0. 39×10⁻³ μm²,主要分布区间为 0. 01×10⁻³~0. 1×10⁻³ μm²,部分样品由于裂缝原因(主要是砂砾岩),渗透率大于 10×10⁻³ μm²。砂岩的渗透率分布较为集中,而砾岩的渗透率分布则比较分散,这表明下亚段砂砾岩比砂岩有更多的裂缝,裂缝对砂砾岩的渗透率有更重要的影响。

3 储层主控因素及预测地质模型

3.1 储层主控因素

3.1.1 沉积微相

沉积微相宏观上控制着砂体的空间展布与层间非均质性,微观上决定着岩石的原始储集性能,同时也奠定了成岩作用对储层改造的基础。当后生作用和构造作用影响较小时,储层物性主要受沉积作用的控制,沉积相的横向变化是造成储层非均质性的直接原因。孝泉－新场地区须四段储层砂体成因类型主要为三角洲前缘水下分流河道及河口砂坝,它们形成于水动力能量相对较高的环境,砂岩分选好、杂基含量低,因此岩石初始孔隙度高,是有利的储层砂体类型。

3.1.2 成岩作用

成岩作用对深层致密砂岩储层的改造直接导致了现今的储层微观孔隙结构格局,是储层致密、低孔特低渗的一个重要原因。一般来说,压实作用和胶结作用导致了储层的致密化,而溶蚀作用和破裂作用则是形成相对优质储层的主要因素。研究区须四段砂岩以软质岩屑含量较高的富岩屑砂岩为主,其抗压实能力弱,压实作用导致的孔隙度损失量平均可达 23. 2%,是造成须四段储层孔隙度低的最主要因素。碳酸盐矿物的胶结作用是储层致密化的另一重要原因。溶蚀作用是改善储层储集性的关键因素,是本区须四段砂岩在普

遍致密化背景上形成相对优质储层的主要成岩作用。破裂作用对须四下亚段储层的改善具有重要影响^[26]。川西地区须家河组砂岩发育由构造作用、超压和成岩作用所形成的各种裂缝,其中构造成因缝是主要裂缝类型,对天然气产能具有重要影响;与超压有关的张性微裂缝较短且连续性差,大多已被沥青和方解石充填,对产能影响很小;成岩缝多不连续,在周围压力作用下会闭合,对产能影响也很小^[27]。

3.2 预测评价地质模型及评价标准

综上所述,控制研究区须四段相对优质储层发育的地质因素主要有:第一,必须要有有利的沉积环境,研究区主要是三角洲平原主河道及三角洲前缘分流河道和河口坝;第二,要有与建设性成岩作用相关的地质要素,这里主要是指溶蚀作用和破裂作用。自生高岭石的形成和低的碳酸盐胶结物含量也有利于储层发育,而自生高岭石与溶蚀作用有关,碳酸盐胶结物含量受沉积环境和埋藏早期砂岩所处的构造位置的影响,沉积于高能量环境并在埋藏早期处于相对高部位的砂岩中碳酸盐胶结物含量低。此外,对于须四下亚段来说,裂缝也是有利于优质储层形成的重要因素。据此可建立如下预测研究区须四段相对优质储层的基本地质模型。

1) 须四上亚段:三角洲前缘分流河道、河口坝微相+埋藏早期古构造高位置。

2) 须四下亚段:砂岩含量高的辫状分流河道、河口坝微相+溶蚀期古构造高位置+裂缝发育区。

据此模型,提出表 3 和表 4 所示的相对优质储层预测评价标准。

表 3 孝泉－新场地区须四上亚段储层预测评价标准

Table 3 Criteria for predicting reservoirs in the upper part of the 4th member of the Xujiahe Formation in Xiaoquan-Xinchang area, the western Sichuan Basin

沉积微相	古构造位置	相对优质储层发育情况
(叠置)分流河道、河口坝	高	好
	低	较好
河口坝前缘坝缘	高	较好
	低	差
滨湖砂坝	高	差
	低	差

表4 孝泉-新场地区须四下亚段储层预测评价标准

Table 4 Criteria for predicting reservoirs in the lower part of the 4th member of the Xujiahe Formation in Xiaoquan-Xinchang area, the western Sichuan Basin

沉积微相	裂缝发育情况	溶蚀期古构造位置	相对优质储层发育情况
(砾质)分流河道、砾质坝、砾质河口坝	发育	高/低	差
	较发育	高/低	差
	不发育	高/低	差
砂砾质河口坝、砂砾质坝	发育	高	好
		低	较好
	较发育	高	较好
		低	差
	不发育	高	差
砂质河口坝、河道砂坝、砂质坝、侧缘砂坝	发育	低	差
		高	较好
	较发育	高	好
		低	较好
	不发育	高	较好
		低	差
决口扇	发育	高/低	差
	较发育	高/低	差
	不发育	高/低	差

4 结论

1) 孝泉-新场地区须四段发育三角洲-湖泊沉积体系,主要发育三角洲前缘亚相和滨浅湖亚相,砂体成因类型主要有三角洲前缘水下分流河道、河口坝和浅湖砂坝,其中水下分流河道砂体和河口坝砂体是最有利的储层砂体类型。

2) 须四段储层岩石类型主要为岩屑砂岩、岩屑石英砂岩、钙屑砂岩等富含岩屑的砂岩。岩石经历了压实压溶作用、胶结作用、溶蚀作用和破裂作用等复杂的成岩作用。储集空间以次生的粒间溶孔、粒内溶孔和铸模孔为主,次生孔隙对面孔率的贡献远大于原生孔隙。储层物性普遍较差,属特低孔超低渗储层。

3) 须四上亚段相对优质储层的发育主要受沉积微相和埋藏早期的古构造控制,预测地质模型为三角洲前缘分流河道、河口坝微相+埋藏早期古构造高位置;须四下亚段相对优质储层发育主要受沉积微相和埋藏早期的古构造控制,同时受裂缝的影响,预测地质模型为砂岩含量高的辫状分流河道、河口坝微相+溶蚀期古构造高位置+裂缝发育区。

参 考 文 献

[1] 叶军,陈昭国. 川西新场大型气田地质特征与预测关键技术[J]. 石油与天然气地质,2006,27(3):384-391.

[2] 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.

[3] 张鼎,田作基,吴胜华,等. 川西须家河组储层成岩演化[J]. 岩石学报,2008,24(9):2179-2184.

[4] 孟万斌,吕正祥,冯明石,等. 致密砂岩中自生伊利石的成因及其对相对优质储层发育的影响——以川西地区须四段储层为例[J]. 石油学报,2011,32(5):783-790.

[5] 蔡希源. 深层致密砂岩气藏天然气富集规律与勘探关键技术——以四川盆地川西坳陷须家河组天然气勘探为例[J]. 石油与天然气地质,2010,31(4):707-714.

[6] 李士祥,胡明毅,李浮萍. 川西前陆盆地上三叠统须家河组砂岩成岩作用及孔隙演化[J]. 天然气地球科学,2007,18(4):535-539.

[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] 陈效华,高明健,陈德华. 普光地区须家河组储层控制因素研究[J]. 断块油气田,2011,18(2):169-172.

[9] 姜在兴,田继军,陈桂菊,等. 川西前陆盆地上三叠统沉积特征[J]. 古地理学报,2007,9(2):143-154.

[10] 罗启后,王世谦. 四川盆地中西部三叠系重点含气层系天然气富

- 集条件研究[J]. 天然气工业, 1996, 16(增刊): 40–55.
- Luo Qihou, Wang Shiqian. Research on natural gas enrichment conditions of the main coal-bearing strata of Triassic in the center-west part of Sichuan basin[J]. Natural Gas Industry, 1996, 16(S0): 40–55.
- [11] 朱如凯, 赵霞, 刘柳红, 等. 四川盆地须家河组沉积体系与有利储集层分布[J]. 石油勘探与开发, 2009, 36(1): 46–55.
- Zhu Rukai, Zhao Xia, Liu Lihong, et al. Depositional system and favorable reservoir distribution of Xujiahe Formation in Sichuan Basin[J]. Petroleum Exploration & Development, 2009, 36(1): 46–55.
- [12] 郑荣才, 叶泰然, 翟文亮, 等. 川西坳陷上三叠统须家河组砂体分布预测[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(3): 405–411.
- Zheng Rongcai, Ye Tairan, Zhai Wenliang, et al. Prediction of sand-body distribution in the Upper Triassic Xujiahe Formation, the West Sichuan Depression[J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(3): 405–411.
- [13] 郭旭升. 川西地区中、晚三叠世岩相古地理演化及勘探意义[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(5): 610–619.
- Guo Xusheng. Litho-paleogeographic evolution in the Middle-Late Triassic in western Sichuan Province and its significance for petroleum exploration[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(5): 610–619.
- [14] 林良彪, 陈洪德, 姜平, 等. 川西前陆盆地须家河组沉积相及岩相古地理演化[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2006, 33(4): 376–383.
- Lin Liangbiao, Chen Hongde, Jiang Ping, et al. Sedimentary facies and litho-paleogeographic evolution of the Upper Triassic Xujiahe Formation in West Sichuan foreland basin[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2006, 33(4): 376–383.
- [15] 高红灿. 四川盆地上三叠统须家河组层序-岩相古地理及砂体分布研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2007.
- Gao Hongcan. Study on sequence-paleogeography and sand body Distribution of the Xujiahe Formation of Upper Triassic in Sichuan Basin[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2007.
- [16] 林煜, 徐樟有, 吴胜和, 等. 川西坳陷丰谷构造须四段沉积微相及沉积演化[J]. 断块油气田, 2011, 18(6): 718–721.
- Lin Yu, Xu Zhangyou, Wu Shenghe, et al. Sedimentary microfacies and sedimentary evolution of the fourth section of Xujiahe Formation in Fenggu Structure, West Sichuan Depression[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2011, 18(6): 718–721.
- [17] 钟大康, 周立建, 孙海涛, 等. 储层岩石学特征对成岩作用及孔隙发育的影响——以鄂尔多斯盆地陇东地区三叠系延长组为例[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(6): 890–899.
- Zhong Dakang, Zhou Lijian, Sun Haitao, et al. Influences of petrologic features on diagenesis and pore development: an example from the Triassic Yanchang Formation in Longdong area, Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(6): 890–899.
- [18] 刘宝珺. 沉积岩石学[M]. 北京: 地质出版社, 1980: 123–127.
- Liu Baojun. Sedimentary petrology[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1980: 123–127.
- [19] 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.
- [20] Storvolla V, Bjølykke K, Karlsen D, et al. Porosity preservation in reservoir sandstones due to grain-coating illite: a study of the Jurassic Garn Formation from the Kristin and Lavrans fields, offshore Mid-Norway[J]. Marine and Petroleum Geology, 2002, 19: 767–781.
- [21] 林小兵, 刘莉萍, 田景春, 等. 川西坳陷合兴场原丰谷地区须家河组致密砂岩气藏精细勘探[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(1): 77–84.
- Lin Xiaobing, Liu Liping, Tian Jingchun, et al. Fine exploration of tight sandstone gas reservoirs in the Xujiahe Formation, Hepingchang-Fenggu area, the western Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(1): 77–84.
- [22] 李嵘, 张娣, 朱丽霞. 四川盆地川西坳陷须家河组砂岩致密化研究[J]. 石油实验地质, 2011, 33(3): 274–281.
- Li Rong, Zhang Di, Zhu Lixia. Densification of Upper Triassic Xujiahe tight sandstones, Western Sichuan, China[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(3): 274–281.
- [23] 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.
- [24] 尚玲, 秦启荣, 贾丽, 等. 川西大邑构造须3段气藏裂缝预测[J]. 石油地质与工程, 2011, 25(5): 23–26.
- Shang Ling, Qin Qirong, Jia Li, et al. Prediction on west Sichuan Dayi Xu3 member gas reservoir[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2011, 25(5): 23–26.
- [25] 王志萍, 秦启荣, 王保全. 川西DY地区致密砂岩储层裂缝特征及其成藏意义[J]. 断块油气田, 2012, 19(5): 572–576.
- Wang Zhiping, Qin Qirong, Wang Baoquan. Fracture characteristics and its hydrocarbon accumulation significance of tight sandstone reservoir in DY region of west Sichuan[J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2012, 19(5): 572–576.
- [26] 冷济高, 杨克明, 杨宇. 川西坳陷孝泉-丰谷构造带须家河组超压与天然气成藏关系研究[J]. 石油实验地质, 2011, 33(6): 574–579.
- Leng Jigao, Yang Keming, Yang Yu. Relationship between natural gas accumulation and overpressure in Xujiahe Formation, Xiaoquan-Fenggu structural belt, Western Sichuan Depression[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(6): 574–579.
- [27] Lian Bozeng. Microfracturing in the Upper Triassic Sichuan Basin tight-gas sandstones: tectonic, overpressure, and diagenetic origins[J]. AAPG Bulletin, 2010, 94(12): 1811–1825.