

文章编号: 0253-2697(2009)02-0225-07

川中南河包场须家河组砂岩沉积—成岩作用

张胜斌^{1,2} 王琪^{1,2} 李小燕^{1,2} 王多云³ 陈国俊^{1,2}

(1 中国科学院地质与地球物理研究所气体地球化学重点实验室 甘肃兰州 730000;
2 中国科学院研究生院 北京 100049; 3 北京师范大学资源学院 北京 100875)

摘要: 四川盆地上三叠统须家河组砂岩是盆地内主要天然气储层,其形成与演化的影响因素较为复杂。其中,沉积作用不仅控制着主要储层的宏观分布特征,而且影响着后期的成岩作用类型和强度;成岩作用使埋藏时期储层被改造,不仅影响了储集空间的演化过程和孔隙结构特征,还最终决定了现今储层的面貌和分布规律。对大量实测物性参数的统计分析表明,河包场区块须家河组储层物性从上到下逐渐变好,下部须二段砂岩中出现大量石英溶蚀产生的次生孔隙,其物性明显好于上部须四段、须六段,是导致深部储层物性变好的主要原因。综合考虑不同沉积微相砂岩所经历的成岩改造作用类型及其储层的响应特征,根据研究区的实际地质情况,归纳出6种沉积—成岩相组合类型。对这些组合类型造成的储层效应进行了建设性和破坏性的划分,初步建立了研究区的沉积—成岩相组合类型的分布模式。

关键词: 四川盆地;上三叠统;须家河组;沉积微相;成岩作用;石英溶蚀作用;储层效应;分布模式

中图分类号: TE112.2

文献标识码: A

Depositional-diagenetic coupling complex of Xujiache sandstone in Hebaochang Block in the south part of the Central Sichuan Basin

ZHANG Shengbin^{1,2} WANG Qi^{1,2} LI Xiaoyan^{1,2} WANG Duoyun³ CHEN Guojun^{1,2}

(1 Key Laboratory for Gas Geochemistry of the Institute of Geology & Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2 Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
3 College of Resources, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: As the main reservoir of natural gas resources, the sandstone reservoirs of Xujiache Formation in the Upper Triassic of Sichuan Basin were influenced by many geological factors. The sedimentation controls the spatial distribution of reservoir framework and affects the events and intensity of the subsequential diagenesis. During burial period, diagenesis is the key factor for reservoir evolution, because it influences both the reservoir spaces and porosity structures, and finally decides the present reservoir property and their distribution law. The numerable measured data of porosity and permeability show that the reservoir property gets better gradually from top to bottom in Xujiache Formation of Hebaochang Block in the south part of the Central Sichuan Basin. The lowest sandstone in Section II of Xujiache Formation keeps the better quality than those distributed in Section IV and VI of Xujiache Formation. Pervasive occurrence of the secondary pores produced by quartz dissolution is the main reason for the better quality of Xujiache sandstones. In combination with the geological background of the study area, six types of depositional-diagenetic coupling complex in the Triassic clastic reservoirs were recognized according to the superimposition of diagenetic events of different sedimentary microfacies and the response of reservoir. The detailed information of the reservoir parameters for these coupling complexes was described. The constructive and destructive coupling types of reservoir parameters were subdivided. A distribution model of depositional-diagenetic coupling complex in the studied area was established.

Key words: Sichuan Basin; Upper Triassic; Xujiache Formation; sedimentary microfacies; diagenesis; quartz dissolution; reservoir effect; distribution mode

沉积作用和成岩作用是控制油气储层物性的两个基本因素,储层物性的好坏最终取决于这两个因素之间的组合关系,前人已对四川盆地须家河组的沉积体系和成岩作用做了大量的研究^[1-6],但从沉积—成岩组

合关系的角度来研究储层物性制约因素的报道还很少。对不同类型的沉积—成岩相组合的分布、物性及显微特征等深入的分析,不仅对油气的勘探开发具有重要的实践意义,而且对拓宽储层物性预测研究的新

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2003CB214606和2005CB422105)、中国科学院知识创新工程项目(KZCX3-SW-147)和中国科学院“西部之光”项目联合资助。

作者简介: 张胜斌,男,1978年10月生,2001年毕业于中国地质大学,现为中国科学院在读硕士研究生,主要从事油气地质和储层建模工作。

E-mail: zsb528@163.com

思路、新方法具有重要的理论价值。本文对制约须家河组储层物性的沉积—成岩因素做了探讨,同时结合大量的实测储层物性参数,弄清建设性和破坏性的沉积—成岩组合类型在纵向上的分布特征,并建立典型组合类型的分布模式。

1 地质概况

研究区构造位置跨越两个二级构造单元,西南端为川中古隆中斜平缓带,南接川南古坳中隆低陡穹形带,东部为川东古斜中隆高陡断褶带(图1)。

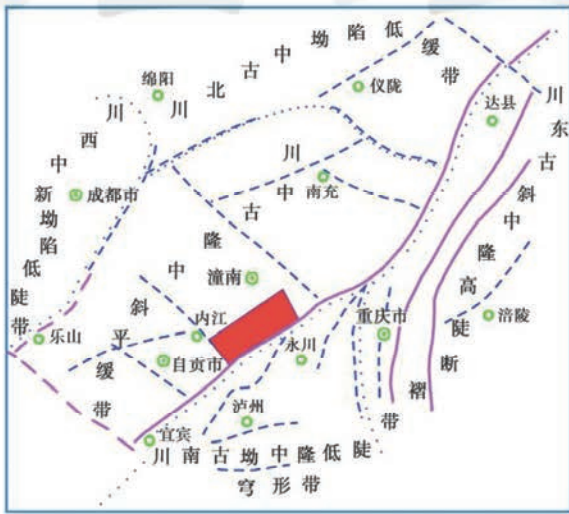


图1 四川盆地构造分区及研究区位置

Fig. 1 Location of the study area and structural division of Sichuan Basin

河包场区块须家河组为一套砂、泥(页)岩地层,厚为510~630 m。自下而上分为6段,其中须一、须三和须五段处于湖侵时期,大范围为湖泊沉积,水动力能量低,储集砂体不发育,砂岩粒度细,杂基含量高,储层物性差,以灰、黑色泥(页)岩为主夹薄层灰色砂岩及煤层;须二、须四和须六段则处于湖退时期,大范围为三角洲沉积,水动力能量高,储集砂体发育,砂岩粒度较粗,杂基含量少,储层物性好,为浅灰、灰白色砂岩夹薄层黑色泥(页)岩,须二段砂岩厚度为50~70 m,须四段与须六段砂岩厚度为100~130 m,砂地比高,一般在70%以上,为研究区主要储集层。

储层岩石类型分为:石英砂岩、岩屑砂岩、岩屑石英砂岩、长石石英砂岩以及长石岩屑砂岩。其中,须二段以细粒、细—中粒长石石英砂岩或细粒岩屑长石砂岩为主。须四段以中—粗粒、分选中等的石英砂岩或岩屑石英砂岩为主。须六段多为中、粗粒级长石石英砂岩或岩屑石英砂岩,当粒级变细时多以岩屑砂岩或岩屑石英砂岩为主。胶结物以方解石和白云石为主,

其次为石英次生加大、长石类胶结物和黏土矿物胶结物;胶结物含量变化较大,一般为2%~18%。杂基含量一般为2%~8%,成分为黏土矿物和云母碎片。储层孔隙类型以残余原生粒间孔隙和次生溶蚀孔隙(粒间溶孔、粒内溶孔、铸模孔、贴粒溶缝、杂基溶孔、粒内解理缝)为主,另外可见少量的微裂缝。

2 沉积微相类型及其物性特征

研究区须家河组属于三角洲—湖相沉积环境,根据测井和岩心剖面资料,结合水动力条件,可以将研究区的沉积相划分为三角洲前缘、前三三角洲以及半深湖—深湖相。须家河组前三三角洲、半深湖—深湖相以暗色泥岩为主,夹薄层粉砂岩,可见滑塌浊积岩透镜砂体,在研究区属非储集体。三角洲前缘是须家河组储层的主体,由水下分流河道、河口坝、远砂坝以及前缘席状砂等沉积微相组成,其中以水下分流河道和河口坝为主。

根据水动力条件的不同,水下分流河道又分为高位进积型分流河道、水进积型分流河道、低位下切型分流河道、高位下切水道、下切分流河道5种类型。水下分流河道区别于三角洲平原分流河道,是三角洲平原分流河道向湖内的延伸部分。岩性以砂、粉砂为主,泥质含量低,为多层小正韵律砂岩叠置而成。发育交错层理、波状层理及冲刷—充填构造,并可见层内变形构造。主要发育在须二、须四、须六段,以包浅001-16井为例,分流河道砂体厚度分别占到须二、须四、须六段地层厚度的42%、49.1%和45.7%。自然伽马和自然电位曲线在强能量河道时表现为箱形,随着河道能量减弱逐渐演变为带锯齿的箱形或钟形。

须家河组河口坝包括完整河口坝和残余河口坝(上残)两种类型。岩性为细—粉砂岩,分选好,发育交错层理、流水及浪成波痕。可见气胀构造和底辟构造,具有向上变粗的反韵律层序。主要发育于须二段和须四段,约占须二段和须四段地层厚度的20%。测井曲线自然伽马和自然电位则主要以漏斗形为主,反映物源供应充足,水动力逐渐加强的沉积过程。

前缘席状砂是三角洲前缘的河口坝、远砂坝经海水冲刷作用使之再分布于其侧翼而形成的薄而大的砂层。砂层分选好,砂质纯,见平行层理和浪成砂纹交错层理,化石少,形成于波能较高的环境,是一类较理想的储层。须二、须四、须六段均有发育,但单层厚度比较薄,一般在5~10 m。

储层物性明显受沉积相带的控制,尤其与渗透率的相关性更明显。通过对比不同微相储层物性数据可

以发现, 分流河道由于具有相对较粗的粒度, 泥质等细组分含量少, 刚性组分含量高, 物性明显好于河道间沉积, 以包浅 004-16 井为例, 水下分流河道孔隙度大于 10%, 渗透率为 $0.37 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; 河口坝、前缘席状砂、水进积型分流河道、高位进积型分流河道、高位下切水

道、下切分流河道以及低位下切型分流河道等砂体次之, 孔隙度一般为 5% ~ 10%, 渗透率为 $(0.1 \sim 0.24) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; 决口扇、前三角洲微相及前缘末端微相砂体物性最差, 孔隙度一般小于 5%, 渗透率小于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (表 1 和图 2)。

表 1 须家河组不同沉积微相物性分段统计

Table 1 Physical properties of different depositional microfacies in Xujiache Formation

层位	沉积微相	孔隙度 / %				渗透率 / $10^{-3} \mu\text{m}^2$			
		最小值	最大值	平均值	样品块数	最小值	最大值	平均值	样品块数
须六段	决口扇	0.35	6.22	1.73	14	0.001	0.007	0.002	11
	高位进积型分流河道	0.61	17.28	7.12	128	0.003	45.700	0.17	110
	水进积型分流河道	1.03	8.26	5.43	152	0.009	5.260	0.15	149
	低位下切型分流河道	1.27	9.51	6.99	73	0.003	2.500	0.17	71
	前缘席状砂	4.93	7.38	6.07	9	0.060	0.330	0.15	9
须四段	下切分流河道	2.33	9.96	6.34	78	0.027	3.420	0.25	76
	高位下切水道	1.57	7.18	5.50	115	0.024	10.200	0.20	113
	河口坝	1.05	13.66	7.90	142	0.008	9.300	0.23	141
	前缘席状砂	2.01	3.61	3.00	12	0.027	0.458	0.07	12
	前三角洲砂泥岩	1.22	2.39	1.94	15	0.009	0.808	0.04	14
	分流河道	4.57	13.66	9.10	76	0.056	9.300	0.40	76
	水进积型分流河道	2.47	6.70	4.52	71	0.029	0.307	0.09	70
须三段	前三角洲砂泥岩	0.58	4.86	3.38	11	0.006	0.212	0.04	11
须二段	下切分流河道	0.80	19.42	9.92	27	0.005	312	0.18	26
	分流河道	0.80	19.42	11.24	169	0.003	312	0.35	167
	河口坝	0.62	19.42	10.23	327	0.003	91.400	0.25	320
	前缘席状砂	0.76	11.32	7.05	79	0.004	0.575	0.08	77
	前缘末端砂泥岩	0.86	6.09	3.44	18	0.007	0.110	0.05	17
	下切河道	1.04	13.28	9.21	30	0.003	0.397	0.12	30

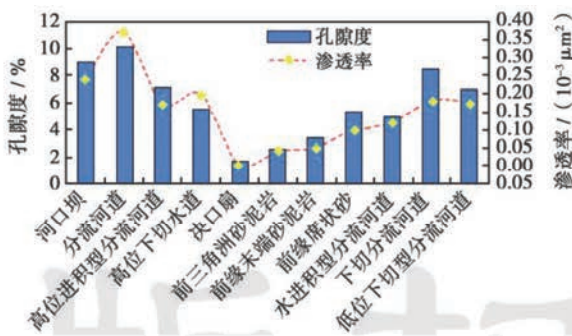


图 2 河包场区块须家河组沉积微相与物性相关图

Fig. 2 Correlationship between depositional microfacies and physical properties of Xujiache Formation in Hebaochang Block

3 成岩相类型及典型成岩现象

镜下薄片观察发现研究区的成岩作用类型较多, 但具有代表性和普遍意义的主要有压实作用、晚期碳酸盐岩胶结交代作用、绿泥石黏土膜沉淀作用和石英溶蚀作用 4 类。由此划分出强压实相、晚期碳酸盐胶结交代相、绿泥石胶结相和石英溶蚀相 4 种典型的成

岩相。其中前两种为破坏性成岩作用, 后两种为建设性成岩作用。其与不同沉积相的组合关系, 决定了现今储层物性特征分布的面貌和格局。

3.1 压实作用

埋深引起的压实作用是储层与输导砂体物性的主导因素, 砂岩的岩石结构特征及胶结物含量与压实作用的强弱有密切关系。薄片上可见云母强烈弯曲变形、颗粒呈定向排列、泥屑或岩屑被压碎或压扁、刚性颗粒产生压裂缝、碎屑颗粒接触紧密、石英波状消光普遍等现象 [图 3(a) 和图 3(b)]。镜下薄片观察显示, 须家河组砂岩碎屑颗粒间接触关系呈紧密的线接触、凹凸接触乃至缝合接触。压实作用对原生孔隙产生不可逆的破坏, 经薄片统计表明, 包浅 004-16 井三叠系储层由于压实作用而损失的原生孔隙为 14% ~ 26%。

须家河组砂岩孔渗参数随埋深增加总体呈下降趋势, 但均有较宽分布范围, 说明储层非均质性较强, 这与研究区在晚三叠纪盆地的演化过程中, 处于浅海台地转变为内陆湖盆的阶段, 具有碎屑成分复杂、物源丰富、横向变化大的特征有关。

3.2 胶结作用

须家河组胶结物以碳酸盐岩胶结物为主,矿物组成主要为方解石、(含)铁方解石及铁白云石等;在产状上主要呈粒间孔隙充填物或交代物,按结晶程度可分为泥晶、亮晶粒状和微晶集合体状胶结物[图3(c)]。硅质胶结物分布较普遍,但含量低($\pm 1\% \sim 3\%$),主要以石英次生加大和自形石英晶体产出在碎屑石英颗粒表面、粒间孔壁和粒内溶孔中[图3(d)]。

对研究区须家河组中出现的碳酸盐岩胶结物类型统计分析结果表明,研究区主要以晚期成岩阶段碱性成岩环境中的含(亚)铁方解石或铁方解石为主,同时可观察到少量铁白云石,结晶程度以代表晚期的细晶、亮晶为主。晚期碳酸盐胶结物在须四段砂岩中比较常见[图3(c)],而代表早期碱性环境下形成的早期方解石胶结物含量较低,在须二、须四和须六段中均不发育,仅在个别薄片中可以观察到(表2)。

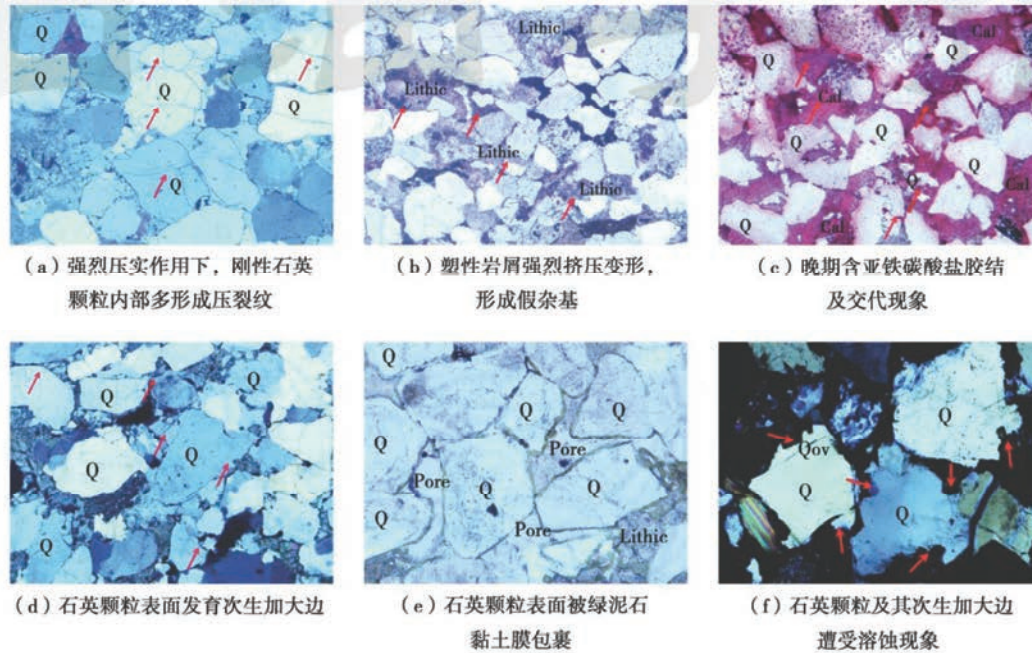


图3 须家河组典型成岩现象

Fig. 3 Typical diagenetic events in Xujiache Formation sandstones

表2 须家河组砂岩中不同类型碳酸盐胶结物特征

Table 2 Characteristics of different types of carbonate cements in Xujiache sandstones

主要特征	成岩阶段	
	早期	晚期
形成时期	主要压实期之前	主要压实期之后
矿物种类	方解石、菱铁矿、白云石	(含)铁方解石、白云石
晶形	泥晶、微晶	粉、细晶、亮晶、嵌晶
形成方式	孔隙水沉淀	埋藏溶解—重结晶

3.3 绿泥石黏土膜形成作用

绿泥石黏土膜的形成对须家河组储层原生孔隙的保存起到了积极的作用。它主要通过增加岩石成岩强度来有效抵抗上覆岩层造成的机械压实作用,其次通过抑制石英在颗粒表面成核的数量,来抑制硅质胶结物在孔隙内的生长[图3(e)]。须家河组早期自生绿泥石物质来源主要有同沉积的富铁沉积物的溶解、河流溶解铁的絮凝沉淀以及相邻泥岩压释水的贯入,主

要以新生沉淀形式集中形成于同生期至早成岩早期。成岩中后期,由于下覆富镁流体沿裂缝系统的持续进入,须二段的自生绿泥石的继续生长得到了充足的物质来源,其MgO的含量随地层深度明显增加,而须四段后期再生现象不明显。如果绿泥石黏土膜生长过盛也会对储层孔隙,特别是孔隙喉道造成损害,通过统计发现绿泥石膜的合适厚度保持在 $5 \sim 8 \mu\text{m}$ 时,对储层的保护最有效。

3.4 石英颗粒溶蚀作用

须家河组砂岩中石英颗粒和石英次生加大边溶蚀现象非常普遍,主要表现在石英颗粒边缘呈溶蚀港湾状[图3(f)]。同时晚期铁方解石也强烈交代石英颗粒,使其形成残骸状或孤岛状分布特征。这种现象普遍出现说明砂岩目前主要处于碱性成岩环境中,因为碱性环境下常见各种含亚铁碳酸盐岩胶结和交代物,如铁方解石和铁白云石。这种溶蚀作用在须六、须四、须三段砂岩中普遍出现,但未对储层形成有效的改造,砂岩中颗粒还是呈紧密的线接触,晚期碳酸盐充填了

部分早期粒间孔和长石溶蚀孔隙。而在须二段砂岩中石英颗粒普遍发生溶蚀, 形成大量连通性极好的特大溶蚀孔隙, 颗粒之间多呈点接触或未接触状, 从而对须二段砂岩储层的物性改造起到了决定性的意义, 须二段砂岩平均孔隙度为 9.28%, 平均渗透率为 $0.21 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 分别高于上覆须六、须四段的 5.8%、 $0.15 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 和 6.08%、 $0.18 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。该段砂岩中可普遍观察到石英溶蚀残骸、港湾状溶蚀边缘、石英次生加大边不发育等现象, 晚期铁方解石和铁白云石共生的事实说明碱性流体对储层进行了强烈的改造。目前有关石英溶蚀现象已经引起了研究人员的广泛关注^[7-9], 在 20 世纪 80~90 年代, 国内外学者发表了一系列有关石英溶蚀作用机理方面的论文^[10-13], 从中可

以看出石英溶蚀作用在自然界中是普遍存在的, 如在熔融的玄武岩浆中、碱性热液交代过程中、页岩成岩过程中、构造剪切带中以及海绵生命过程中等等, 但针对油气储层石英溶蚀作用的研究成果报道较少。王顺玉等人对须二段流体地球化学特征及流通性方面做了较深入的研究^[14], 但对须二段砂岩中石英溶蚀作用发生的特定地质条件、溶蚀流体成分、温度和对流循环机制等基础问题还有待深入探讨。

通过大量的岩石薄片显微观察, 结合其他成岩阶段划分的标志, 发现目前须家河组砂岩储层整体处于晚成岩阶段 B 期的碱性成岩环境中(图 4), 压实强度大、晚期碳酸盐交代物发育是造成该区储层特低孔特低渗面貌的重要原因。

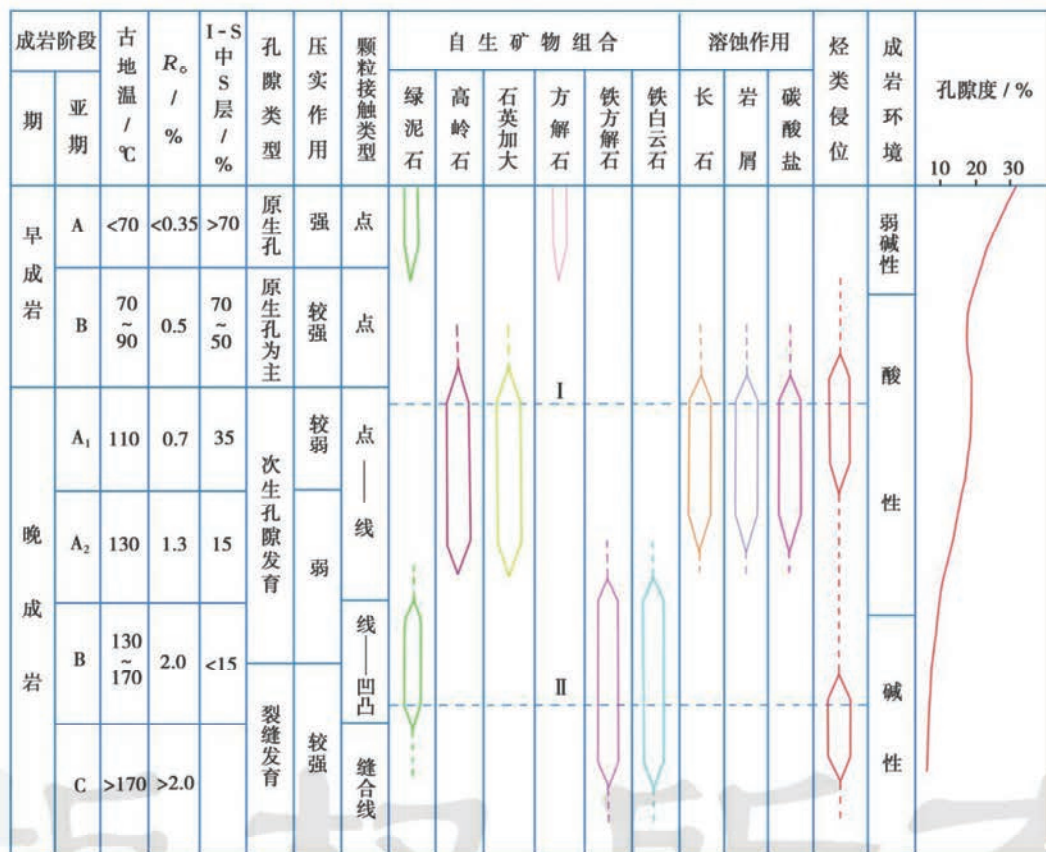


图 4 须家河组砂岩成岩演化及孔隙演化趋势

Fig. 4 Diagenetic evolution and porosity tendency of Xujiahe sandstones

4 沉积—成岩作用关系分析

将有利沉积相带与有利成岩相带结合起来划分有利的沉积—成岩相带, 可以将控制有利储集层形成的主要因素均考虑进去, 以便更加客观地评价和预测优质储层^[15]。通过对研究区须家河组砂岩储层主要沉积微相和典型成岩作用类型的研究, 结合对不同类型砂岩储层物性的实测资料, 可以概括出建设性和破坏性

的沉积—成岩相组合类型。一般情况下, 高能环境下, 水动力条件强, 床沙经过强烈的筛选、磨蚀和搬运, 形成结构成熟度和成分成熟度均较高的砂岩, 这类砂岩通常黏土杂基含量低、不稳定组分含量少, 磨圆程度高、分选好, 多形成中—细粒砂岩, 因此, 这类砂岩的初始孔隙度比较高, 通常为 40%。在研究区这类高能环境主要为不同类型的分流河道微相, 如高位下切河道、水进积型河道和下切分流河道以及河口坝等。而低能

环境如决口扇、前缘席状砂等环境,水动力条件相对较弱,沉积物颗粒细小,悬浮搬运的黏土、云母类成分含量相对较高,一般为粉砂岩或泥质粉砂岩,因此砂岩初始物性一般较低,孔隙度通常在30%。这类砂岩在研究区分布相对较少。一般来说,初始物性比较好的砂岩一般在埋藏成岩改造后,也具有相对较高的物性参数,即具有继承性,除非遇到特殊的成岩改造作用,如

强烈的晚期碳酸盐充填作用。而初始物性本来就差的粉砂岩,经过成岩改造后,物性相对也比较差,同样具有继承性,除非遇到强烈的溶蚀改造。

通过综合考虑不同沉积微相砂岩所经历的成岩改造作用类型及其储层的响应效应,根据研究区的实际地质情况,归纳出6种沉积-成岩相组合类型(图5),为了直观识别和便于应用,可以用沉积微相和成岩作


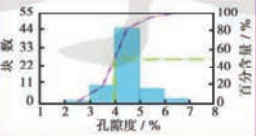

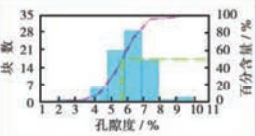
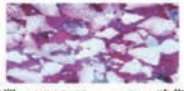
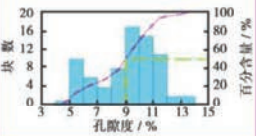

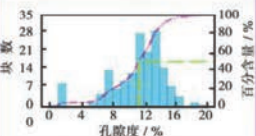

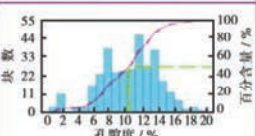
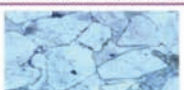
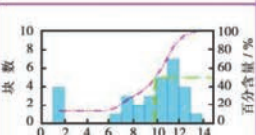
分类	沉积微相	成岩相	物性特征	综合分析	组合类型
进积型分流河道-强压实相	包括高位进积型和水进积型两类分流河道。	 须四段, 1686.08 m, ×50, 刚性颗粒之间紧密接触和凸凹接触, 塑性颗粒压实变形, 形成假杂基。		主要分布在须六段中上部, 少量在须四段底部。强烈压实导致物性变差	破坏性组合类型
下切型分流河道-强压实相	包括低位下切型和下切型分流河道两种类型。	 须四段, 1743.05 m, ×50, 刚性颗粒与塑性颗粒相间分布的砂岩容易被强烈压实, 粒间孔隙破坏严重。		在须四段、须二段和须六段均有分布。强烈压实导致物性变差, 塑性岩屑变成润滑剂	
分流河道-晚期碳酸盐胶结交代相	包括不同类型的下切河道和分流河道以及部分河口坝、前缘席状砂。	 须四段, 1748.62 m, ×50, 晚期铁方解石强烈胶结、交代碎屑石英颗粒, 形成“悬浮沙”构造。		主要分布在须四段不同类型的河道相砂岩中。强烈的晚期碳酸盐胶结交代作用导致物性变差	
分流河道-石英溶蚀相	包括不同类型的下切河道、下切分流河道、分流河道。	 须二段, 1875.86 m, ×100, 石英颗粒表面溶蚀现象, 多形成港湾状边界, 并与零星晚期碳酸盐共生。		主要分布在须二段不同类型的河道相砂岩中。石英颗粒强烈溶蚀作用导致储层物性变好	建设性组合类型
河口坝-石英溶蚀相	包括不同类型的下切河道、下切分流河道、分流河道。	 须二段, 1904.67 m, ×100, 石英颗粒强烈溶蚀形成连通性极好的粒间孔隙, 颗粒间疏松排列, 粒间体积大。		主要分布在须二段不同类型的河道相砂岩中。石英颗粒强烈溶蚀作用导致储层物性变好	
分流河道-绿泥石胶结相	包括不同类型的下切河道、前缘分流河道和河口坝。	 须四段, ×200, 含岩屑石英砂岩中颗粒表面发育有5μm的绿泥石黏土膜, 有效地保护了原生粒间孔隙。颗粒多呈点接触, 粒间体积大。		主要分布在须二段、须四段不同类型的河道相砂岩和河口坝砂岩中, 绿泥石黏土膜保护作用导致储层物性变好	

图5 须家河组砂岩沉积-成岩作用综合分析

Fig. 5 Integrated analysis of depositional-diagenetic coupling complex in Xujiahe sandstones

用类型命名组合类型, 并对这些组合类型的储层效应加以分析, 这些沉积-成岩相组合类型包括: ①进积型分流河道-强压实相, 平均孔隙度4.52%, 平均渗透率为 $0.09 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。②下切型分流河道-强压实相, 平均孔隙度为6.34%, 平均渗透率为 $0.25 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。③分流河道-晚期碳酸盐胶结交代相, 平均孔隙度为4.52%, 平均渗透率为 $0.09 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。④分流河道-石英溶蚀相, 平均孔隙度为11.24%, 平均渗透率为 $0.18 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。⑤河口坝-石英溶蚀相, 平均孔隙度为10.23%, 平均渗透率为 $0.25 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。⑥分流河道-绿泥石胶结相, 平均孔隙度为9.21%,

平均渗透率为 $0.12 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。其中前3种组合类型多构成不利储层的主体, 为破坏性的组合类型, 一般均为特低孔隙度和特低渗透率储层, 主要分布在须家河组的中上部砂岩中。而后3种组合类型为研究区比较有利的储层, 属于建设性的组合类型, 实测到的最大孔隙度为11.32%~19.42%, 最大渗透率为 $(91.4 \sim 312) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 对储层改善起决定性作用的是较强的碱性流体溶蚀石英颗粒, 形成了大量连通性较好的粒间溶蚀孔隙, 从而有效地改善了深部储层物性。被溶蚀改造的地层主要集中在须家河组底部的须二段砂岩中。

上述6种沉积—成岩相组合类型在研究区具有显著的代表性,能够反映沉积作用和成岩改造作用对须家河组砂岩物性影响的共同结果。

5 结 论

(1) 目前须家河组砂岩储层整体处于晚成岩阶段B期的碱性成岩环境中,压实强度大、晚期碳酸盐交代物发育是造成该区储层特低孔隙度特低渗透率面貌的重要原因。

(2) 通过石英颗粒溶蚀作用,须二段不同沉积微相砂岩的平均孔隙度和渗透率值显著高于其上覆地层(如须六段、须四段)相同沉积微相砂岩的物性。

(3) 研究区可以归纳出6种沉积—成岩相组合类型:①进积型分流河道—强压实相;②下切型分流河道—强压实相;③分流河道—晚期碳酸盐胶结交代相;④分流河道—石英溶蚀相;⑤河口坝—石英溶蚀相;⑥分流河道—绿泥石胶结相。其中前3种组合类型多构成不利储层的主体,一般均为特低孔隙度特低渗透率储层,主要分布在须家河组的中上部砂岩中。而后3种组合类型为研究区比较有利的储层,对储层改善起决定性作用的是较强的碱性流体溶蚀石英颗粒形成了大量连通性较好的粒间溶蚀孔隙,从而有效地改善了深部储层物性。

参 考 文 献

- [1] 邵彦蕊,胡明毅,胡忠贵,等.川西北部上三叠统须家河组储层成岩作用研究[J].石油地质与工程,2006,20(5):13-16.
Shao Yanrui, Hu Mingyi, Hu Zhonggui, et al. Research on reservoir diagenesis in Upper Triassic Xujiahe Formation of northwest Sichuan[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2006, 20(5): 13-16.
- [2] 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 and Technology Edition, 2006, 33(4): 376-383.
- [3] 孙红杰,刘树根,朱平,等.川中上三叠统须家河组二段和四段成岩作用对孔隙发育的控制作用[J].中国西部油气地质,2006,2(3):302-305.
Sun Hongjie, Liu Shugen, Zhu Ping, et al. Controlling of diagenesis on the pore development in the second and fourth members of the Upper Triassic Xujiahe Formation in the central area of Sichuan Basin[J]. West China Petroleum Geosciences, 2006, 2(3): 302-305.
- [4] 罗锋.四川西部罗江构造须家河组四段储层特征与成岩作用[J].华南地质与矿产,2006,1:47-53.
Luo Feng. Reservoir characteristics and diagenesis of T_{3x}⁴ of Luojiang Structure in West Sichuan[J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2006, 1: 47-53.
- [5] 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.
Li Shixiang, Hu Mingyi, Li Fuping. Diagenesis and porosity evolution of the Upper Triassic Xujiahe Formation in West Sichuan foreland basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2007, 18(4): 535-539.
- [6] 杜业波,季汉成,吴因业,等.前陆层序致密储层的单因素成岩相分析[J].石油学报,2006,27(2):48-52.
Du Yebao, Ji Hancheng, Wu Yinye, et al. Single factor diagenetic facies analysis of tight reservoir in western Sichuan foreland basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(2): 48-52.
- [7] 钱一雄,陈跃,陈强路,等.塔中西北部奥陶系碳酸盐岩埋藏溶蚀作用[J].石油学报,2006,27(3):47-52.
Qian Yixiong, Chen Yue, Chen Qianglu, et al. General characteristics of burial dissolution for Ordovician carbonate reservoirs in the northwest of Tazhong area[J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(3): 47-52.
- [8] 邱隆伟,姜在兴,陈文学,等.一种新的储层孔隙成因类型——石英溶解型次生孔隙[J].沉积学报,2002,20(4):621-622.
Qiu Longwei, Jiang Zaixing, Chen Wenxue, et al. A new type of secondary porosity: Quartz dissolution porosity[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20(4): 621-622.
- [9] 邱隆伟,姜在兴,操应长,等.泌阳凹陷碱性成岩作用及其对储层的影响[J].中国科学:D辑,2001,31(9):752-758.
Qiu Longwei, Jiang Zaixing, Cao Yingchang, et al. Alkaline diagenesis and the influence on reservoir property in Biyang Depression[J]. Science in China: Series D, 2001, 31(9): 752-758.
- [10] Cathelineau M. The hydrothermal alkali metasomatism effects on granitic rocks: Quartz dissolution and related subsolidus changes[J]. Journal of Petrology, 1986, 27(4): 945-965.
- [11] Evans J. Quartz dissolution during shale diagenesis: Implications for quartz cementation in sandstones[J]. Chemical Geology, 1990, 84(1/4): 239-240.
- [12] Hippert J F. Microstructures and G-axis fabrics indicative of quartz dissolution in sheared quartzites and phyllonites[J]. Tectonophysics, 1994, 229(3/4): 141-163.
- [13] Baverstrello G. Quartz dissolution by the sponge Chondrosia reniformis (Porifera, Demospongiae) [J]. Nature, 1995, 378(6555): 374-376.
- [14] 王顺玉,明巧,黄玲,等.鄂西地区鄂西构造须二气藏流体地球化学特征及流通性研究[J].天然气地球科学,2007,18(6):789-792.
Wang Shunyu, Ming Qiao, Huang Ling, et al. Study on geochemical and connection characteristics of fluid flow in Xu2 gas pool in Qiongxian structure, Qiongxian area[J]. Natural Gas Geoscience, 2007, 18(6): 789-792.
- [15] 王琪,崔喜准,陈国俊,等.鄂尔多斯西部部长6砂岩成岩演化与优质储层[J].石油学报,2005,26(5):21-23.
Wang Qi, Zhuo Xizhun, Chen Guojun, et al. Diagenetic evolution and high-quality reservoir in Chang 6 sandstone in the western Ordos Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26(5): 21-23.