

## 蜀南观音场地区须家河组砂岩致密化与成藏匹配关系

张翔<sup>1</sup>,田景春<sup>1</sup>,杜本强<sup>2</sup>,夏吉文<sup>2</sup>,古娜<sup>1</sup>,林小兵<sup>1</sup>,邓飞涌<sup>2</sup>,梁宇晨<sup>1</sup>

(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. 中国石油西南油气田分公司蜀南气矿勘探开发研究所,四川 泸州 646001)

**摘要:**蜀南观音场地区须家河组储层主要为一套三角洲平原分流河道砂体。对储层成岩作用的描述及致密化原因分析认为:沉积时水动力强弱决定了砂体储集性能的好坏,强烈的机械压实作用是原生孔隙大量损失的主要原因,成岩期石英次生加大是砂岩储层致密的关键因素。砂岩中石英次生加大包裹体温度分布在82.5~125.1℃,推算致密化深度介于1 725~2 864 m,发生在燕山构造活动期间。根据研究区须家河组砂岩储层致密化过程与成藏运聚期次分析,认为:初次成藏期,砂岩储层未致密,天然气可以横向长距离运移;成藏高峰期前,砂岩储层已经致密,天然气不能横向长距离运移,以河道不整合面和高压开启的微裂缝作为运移通道;喜山期定型为现今的构造-岩性复合气藏,气藏受岩性、构造共同控制,非均质性强。

**关键词:**成岩作用;构造-岩性复合气藏;致密砂岩;须家河组;观音场地区;四川盆地

中图分类号:TE121.1

文献标识码:A

## Matching between sandstone tightening and hydrocarbon accumulation of the Xujiahe Formation, Guanyinchang area in southern Sichuan Basin

Zhang Xiang<sup>1</sup>, Tian Jingchun<sup>1</sup>, Du Benqiang<sup>1</sup>, Xia Jiwen<sup>1</sup>, Gu Na<sup>1</sup>, Lin Xiaobing<sup>1</sup>, Deng Feiyong<sup>1</sup>, Liang Yuchen<sup>1</sup>

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

2. Shunan Gas Field, PetroChina Southwest Petroleum Company, Luzhou, Sichuan 646001, China)

**Abstract:** Tight sandstone reservoir of the Xujiahe Formation in Guanyinchang area mainly consists of delta plain distributary channels sandbodies. Based on analyses of reservoir diagenesis and tightening, detailed study shows that the hydrodynamic conditions during sedimentation determine the storage capacity of reservoirs. Strong compaction is the major factor causing the decrease of inter-particle primary porosity, and quartz overgrowth in diagenetic stage is the key factor causing the tightening of reservoir. The temperatures of fluid inclusions in quartz overgrowth is between 82.5–125.1℃, according to which the tightening depth is estimated to be between 1 725–2 864 m. This depth interval corresponds to the period of Yanshan movement. According to analysis of the tightening process and hydrocarbon accumulation stages in the Xujiahe Formation sandstone reservoir, the following understandings were obtained. The sandstone reservoir was not tightened at the initial phase of gas accumulation, so gas could migrate long distance laterally. Before the peak gas accumulation, the sandstone reservoir had become tight, thus the gas could not migrate laterally for a long distance, instead, they migrated along the unconformity of channel and microfractures opened by high pressure. of the composite structural and lithologic gas reservoir got finalized during Himalayan epoch, and the gas reservoir was controlled by both lithology and structures, so their heterogeneity was strong.

**Key words:** diagenesis, composite structural-lithologic reservoir, tight sandstone; Xujiahe Formation, Guanyinchang area, Sichuan Basin

观音场地区位于四川盆地川西南低缓构造区自流井凹陷的西南部,即位于四川省自贡市、宜宾市境内,面积约500 km<sup>2</sup>(图1)。区内上三叠统须家河组( $T_3x$ )

为一套陆相砂泥岩含煤组合,其中须一段—须三段( $T_3x^1—T_3x^3$ )、须五段( $T_3x^5$ )、须六<sup>2</sup>亚段( $T_3x_2^6$ )以泥质岩沉积为主,为区域性烃源岩层;须二段( $T_3x^2$ )、须

收稿日期:2013-12-10;修订日期:2014-01-20。

第一作者简介:张翔(1978—),男,博士、讲师,沉积学与储层地质学。E-mail:zhangxiang06@cdut.cn。

基金项目:国家自然科学基金项目(41002032)。

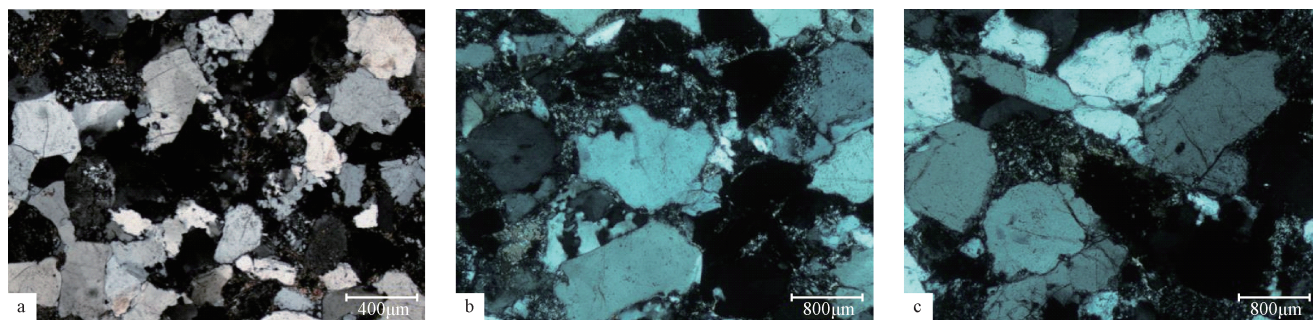


图1 观音场地区须家河组砂岩储层岩石学图版

Fig. 1 Reservoir petrology chart of the Xujiache Formation in Guanyinchang area

a. 细粒泥质长石岩屑砂岩,石英次生加大,音23井,2 232.5 m,  $T_3x^4$  (+) b. 岩屑砂岩,岩屑绢云母化,音23井,2 085.9 m,  $T_3x_1^6$  (+); c. 岩屑石英砂岩,长石高岭石化,音23井,2 309.11 m,  $T_3x^2$  (+)

四段( $T_3x^4$ )、须六<sup>1</sup>亚段( $T_3x_1^6$ )发育厚层三角洲体系的块状砂岩,为区域性储集层。观音场地区油气显示、测试成果及工业气井均集中于构造区(观音场构造中获工业气井7口,截止2012年11月累计产气 $1.63 \times 10^8 \text{ m}^3$ ),充分展示了研究区须家河组良好的天然气富集程度。

蜀南地区须家河组经过40余年的勘探,对储集砂岩的沉积相特征、储层特征和成藏条件有较为深入的认识<sup>[1-10]</sup>。对研究区须家河组致密砂岩储层致密化原因及致密化时间的研究成果比较少,现有研究成果主要集中于川西地区砂岩储层致密化成因分析<sup>[11-22]</sup>。同时,研究区以往勘探主要针对构造区,非构造岩性区钻井少,对河道砂岩致密时间与天然气成藏时间的先后关系(先致密后成藏、先成藏后致密)认识不统一,制约了研究区须家河组的勘探部署。本文对砂岩储层致密化原因、致密化时间与成藏期次匹配关系开展研究,确定致密化时间与成藏期次之间的关系。

## 1 致密砂岩岩石学特征

对观音场构造音23井、音24井、音36井须家河组岩心观察和薄片鉴定分析,观音场地区须家河组砂岩以长石岩屑砂岩、岩屑砂岩和岩屑石英砂岩为主(图1),砂岩成分成熟度和结构成熟度中等。根据音23井、音24井、音36井3口井100余张薄片鉴定、统计分析,颗粒中石英含量分布于60%~75%,石英颗粒以单晶石英为主,燧石和复石英含量少。长石一般在5%~15%之间,以正长石为主,斜长石和微斜长石含量少。岩屑含量在20%~30%之间,以泥岩、粉砂岩等沉积岩岩屑为主,变质岩岩屑为千枚岩和板岩。砂岩填隙物中硅质胶结物相对含量在0.5~12%,平均为6%。钙质胶结物在大部分薄片未见,其含量分布于0.5~2.5%之间,平均为1.4%。填隙物中泥质杂基含量高,水云母化现象明显,相对含量达5%~20%。

## 2 成岩作用类型及特征

在对研究区须家河组砂岩储层微观岩石学特征研究基础上,根据音23井、音24井、音36井3口取心井岩心观察、薄片鉴定、扫描电镜等分析,研究区须家河组砂岩经历了压实作用、胶结作用、交代作用、溶蚀作用、重结晶等多种成岩作用。

### 2.1 压实、压溶作用

观音场地区须家河组砂岩储层总体上压实中等—强,颗粒以线接触为主,接触紧密。可见到页岩、粉砂岩及千枚岩和云母等塑性颗粒变形(图2a,b),石英压溶次生加大等现象(图2c,d)。强烈的压实作用造成原生粒间孔隙的大量损失。

### 2.2 胶结作用

观察分析研究区须家河组砂岩储层的薄片和扫描电镜资料,研究区砂岩储层的胶结作用包括硅质胶结和碳酸盐岩胶结,研究区以硅质胶结为主。硅质胶结表现为Ⅱ—Ⅲ级石英次生加大作用(图2c,d)。本区石英次生加大发生时期较晚,形成的埋藏深度较大。硅质胶结物来源于石英压溶、转移、再沉淀而成。研究区钙质胶结现象不发育,60%的薄片见到钙质胶结,且胶结物含量小于2%。

### 2.3 溶蚀作用

须家河组砂岩溶蚀作用较弱,溶蚀对象主要为长石、岩屑和杂基中的易溶组分。研究区的溶蚀作用分为两期,早期受大气降水淋滤作用影响,长石溶蚀形成的一些孔隙。生排烃时期,受含煤岩系酸性流体影响,易溶组分发生溶蚀,粒内溶孔发育,为研究区主要的储集空间。

### 2.4 自生粘土矿物充填

粘土矿物是碎屑岩中较重要的填隙物,本区粘土



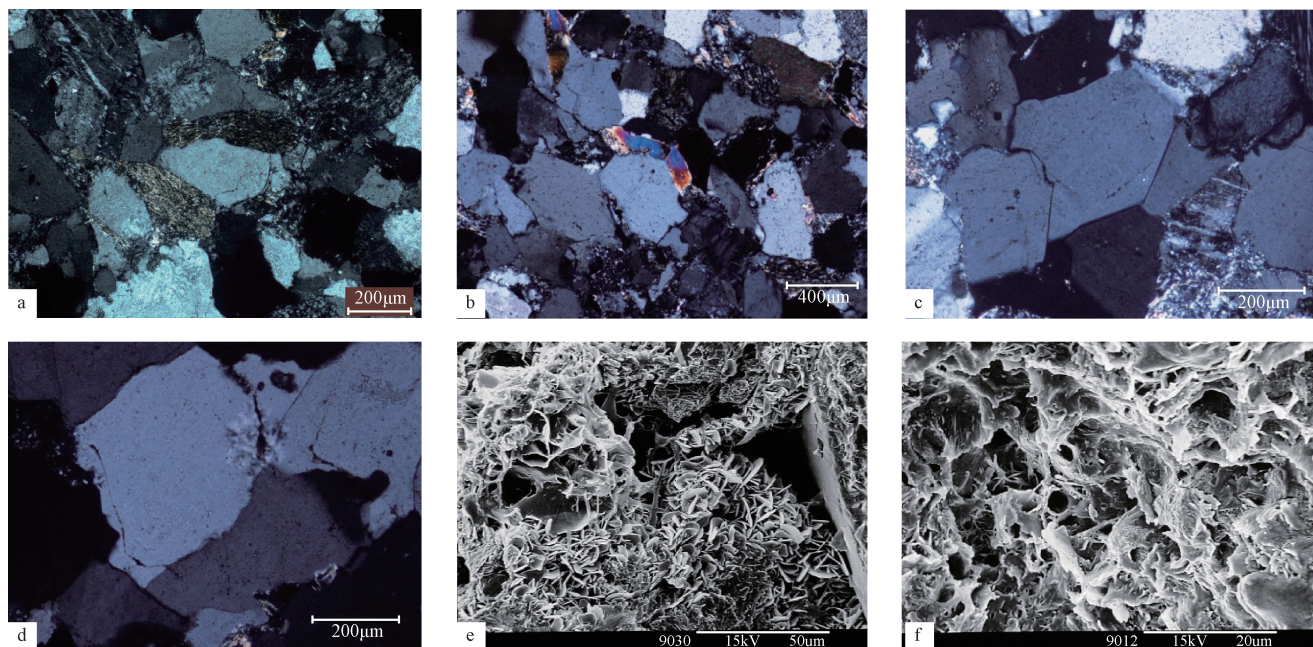


图2 观音场地区须家河组砂岩成岩作用图版

Fig. 2 Photomicrographs of diagenesis types in sandstone reservoir of Xujiache Formation in Guanyinchang area

- a. 泥岩岩屑岩石变形, 音23井, 2 330.1 m,  $T_3x_1^6$ , 硅质中-粗粒长石岩屑砂岩, 石英加大(+); b. 云母被压弯-压实作用, 音23井, 2 213.7 m,  $T_3x_1^6$ , 细-中粒泥质岩屑石英砂岩(+); c. 石英次生加大, 音23井, 2 234.1 m,  $T_3x_1^6$ , 细-中粒泥质长石岩屑砂岩, (+); d. 石英次生加大, 音23井, 2 218.4 m,  $T_3x_1^6$ , 硅质中-粗粒长石岩屑砂岩, (+); e. 绿泥石, 音23井, 2 218.4 m,  $T_3x_1^6$ , 绿泥石的晶间孔隙一般较发育; f. 被粘土矿物全充填的粒间孔形貌, 伊利石为主, 有少量绿泥石, 音23井, 2 233.93 m,  $T_3x_1^6$

矿物充填中等-弱, 以绿泥石和伊利石胶结为主(图2e,f)。绿泥石多呈颗粒包膜或孔隙衬边形式产出, 形成于早成岩A阶段。伊利石为成岩过程中由其他粘土矿物转变而来, 形成于中成岩的A阶段。

## 2.5 交代作用

研究区须家河组砂岩储层发生的交代作用包括方解石交代长石和石英、绢云母交代长石、粘土矿物交代长石以及泥质杂基水云母化等多种类型。交代作用对孔隙的改善意义不大, 主要表现为新的物质占据原有物质的空间。

## 3 砂岩致密化原因及致密化时间讨论

### 3.1 砂岩致密化原因

观音场地区须家河组沉积以来经历了压实作用、压溶作用、胶结作用、自生矿物的沉淀作用, 上述成岩作用的成岩物质不同程度地占据粒间孔隙, 均是降低砂岩储层储集性能的原因。而沉积作用、压实作用和硅质胶结作用是造成本区须家河组储层致密化最为重要的原因。

1) 沉积时水动力强弱决定了分流河道砂体储集性能的好坏。

根据音23井、音36井须六段杂基含量与孔隙度

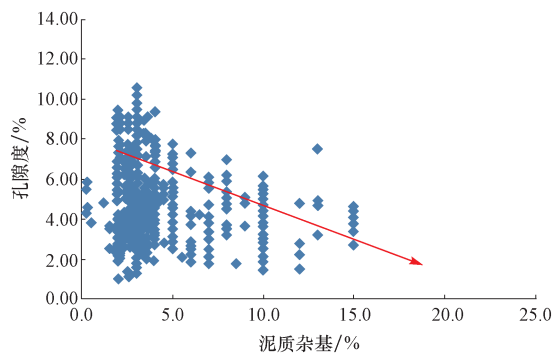


图3 观音场地区须家河组砂岩杂基含量及与孔隙度相关性

Fig. 3 Correlation between porosity and matrix content of the Xujiache Formation in Guanyinchang area

相关性分析(图3), 表明: 泥质杂基与孔隙度之间呈负相关关系。研究区杂基相对含量分布于1.2%~20%, 平均为8.5%, 占据原生粒间孔隙, 因此, 杂基是造成初始孔隙度降低的原因之一。若须家河组分流河道砂岩沉积时水动力强, 则碎屑颗粒中泥质杂基含量低, 原生粒间孔保留多; 若水动力条件弱, 碎屑颗粒与泥质杂基混杂堆积, 杂基含量高, 原生孔隙保留少, 储集空间小。因此, 须家河组砂岩沉积时的水动力强弱, 是分流河道砂体储集性能好坏的先天条件。

2) 强烈的机械压实作用是原生孔隙大量损失的主要原因。

观音场地区须家河组砂岩中页岩、粉砂岩、板岩等

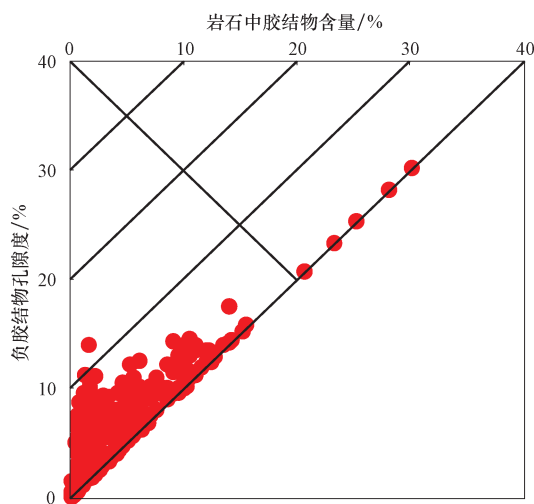


图4 观音场地区须家河组砂岩储层胶结减孔和压实减孔效应相关性

Fig. 4 Correlation of cementation-related and compaction-related porosity reduction in the Xujiache Formation in Guanyinchang area

塑性岩屑含量高,成岩阶段经历强烈的压实作用。根据负孔隙度含量与胶结物含量交会图(图4)分析,绝大多数样品点都投点左下部,表明压实作用是孔隙大量损失的主要原因。经历强烈压实作用的砂岩原生孔隙已大量损失,仅能见少量的粒间孔。

### 3) 成岩期石英次生加大是储层致密的关键因素。

随着埋藏深度的增加,虽然压实作用不断增强,但受各种胶结作用的支撑作用,压实作用对砂岩物性的影响逐渐减弱,本阶段充填孔隙的主要因素是各种胶结作用。

研究区须家河组砂岩经历压实作用后,剩余的原始孔隙又受到石英次生加大、碳酸盐矿物及部分粘土矿物的充填作用进一步损失孔隙。观音场地区须家河组储集砂岩中,硅质胶结最为明显,钙质胶结在大部分层段不发育。因此,造成本区砂岩储层致密的最主要原因是石英次生加大。根据薄片鉴定统计分析,砂岩中硅质胶结物相对含量在5%~15%,占据剩余粒间孔。因此,观音场地区须家河组砂岩储层致密的关键原因是石英次生加大形成的胶结物。

## 3.2 砂岩储层致密化时间讨论

根据沉积、成岩作用研究表明,影响研究区须家河组砂岩储层的主要因素除了沉积环境能量因素之外,压实作用是造成须家河组储层致密化的主要原因,石英次生加大是储层致密化的关键因素。因此,石英次生加大形成到结束的成岩演化阶段即为储层致密化阶段,形成时间即为砂岩致密化时间。本文主要对音36井须二段、须四段、须六<sup>1</sup>亚段砂岩中石英加大边的包裹体进行测试分析,对研究区须家河组砂岩储层致密化过程和致密时间进行讨论。

研究区须二段、须四段、须六<sup>1</sup>亚段砂岩中石英加大现象极为普遍,加大边厚度为0.05~0.3 mm,可见到两期自生石英发育。石英次生加大中包裹体的形态多呈不规则状,包裹体大小在0.1~15 μm,一般为5~10 μm。包裹体以气液两相包裹体为主,少见纯液相包裹体。对音36井砂岩中石英次生加大胶结物中的包裹体进行测温,确定石英次生加大的时间:音36井须六<sup>1</sup>亚段2个砂岩石英胶结物包裹体温度为82.5~123.5℃,主要集中在90~113℃;须四段3个样品中数十个灰色中粒砂岩石英胶结物包裹体温度集中在98.5~123.7℃,主要集中在105~120℃。须二段3个砂岩石英胶结物包裹体温度集中在90.7~125.1℃,主要集中在100~115℃。

上述须家河组砂岩样品石英次生加大边包裹体温度分布在82.5~125.1℃,集中在90~120℃,表明在这一温度区间是石英次生加大主要生长期。最低温度对应于致密化开始时间,最高温度代表致密化结束时间。在此温度之后,石英次生加大不再明显发育(图5)。

观音场地区须家河组古地温梯度为 $3.74 \times 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}/\text{m}$ ,地表年平均气温为18℃,按此推算,石英次生加大的最低温度在82.5℃,则石英胶结物出现的起始深度为1725 m,硅质胶结物出现的最高温度为125.1℃,须家河组砂岩硅质胶结物出现的最大深度为2864 m(图6),发生在燕山构造活动期间。

## 4 储层致密化过程与成藏匹配关系讨论

### 4.1 储层致密化过程

将研究区须家河组砂岩成岩演化过程与致密砂岩致密化时间相结合,讨论须家河组砂岩的致密化过程。观音场地区须家河组砂岩成岩作用强度大,经历了同生成岩阶段、早成岩阶段(A期和B期)和中成岩阶段(A期),目前主要处于中成岩阶段A期(图5)。

1) 同生期:须家河组沉积不久,埋藏深度浅,成岩作用不明显。

2) 早成岩A-B阶段:随着上覆侏罗系不断沉积,本阶段须家河组砂岩经历强烈的机械压实作用,孔隙度迅速降低,碎屑颗粒之间主要呈点接触,纤状绿泥石开始在孔隙中呈环边状定向生长,形成孔隙衬里(有利于孔隙保存),粘土矿物主要为伊/蒙混层矿物。此阶段压实作用表现最为强烈,为压实作用减孔阶段,未经明显的胶结作用,颗粒间原生粒间孔隙依然可以保留。

3) 中成岩A阶段:该阶段早中期压实作用不断增



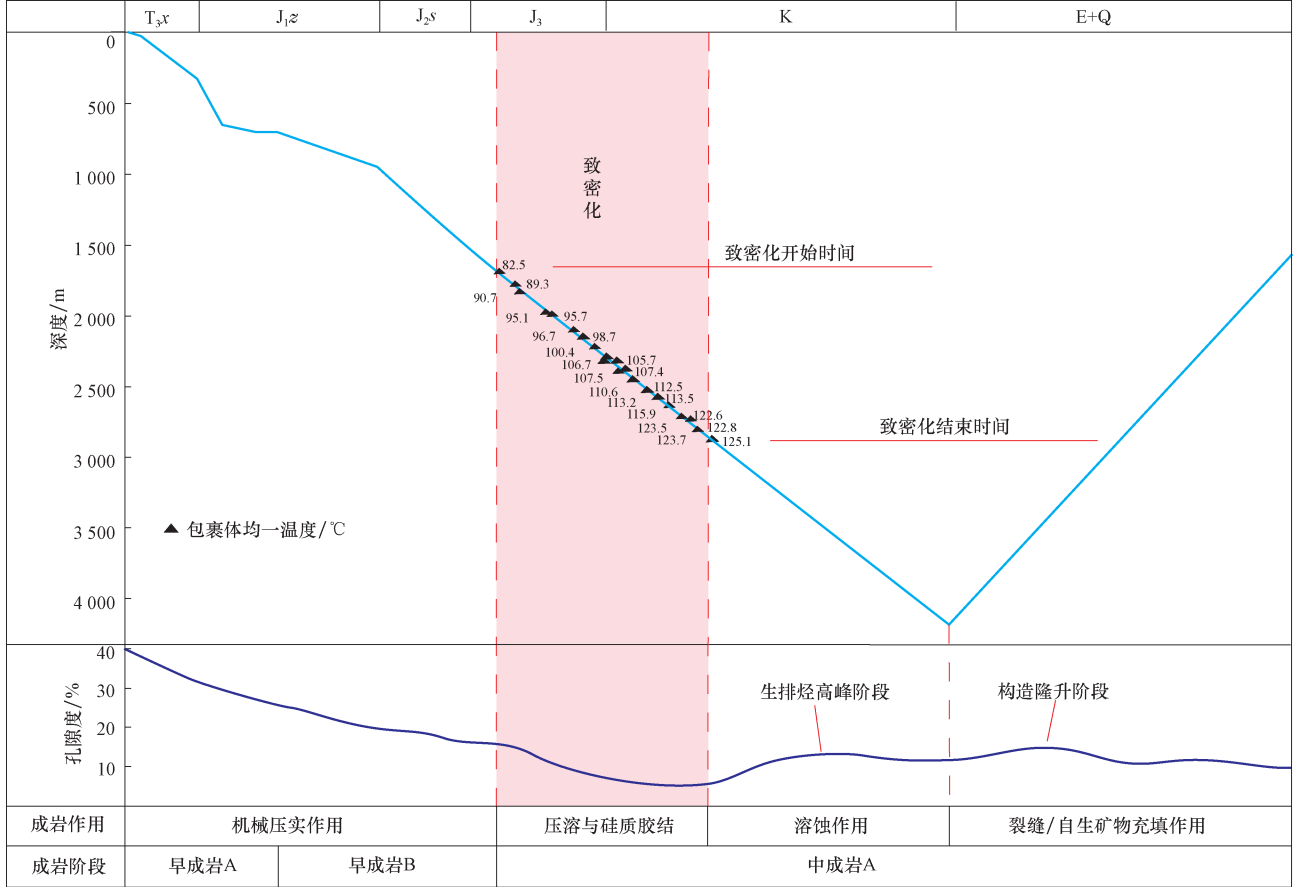


图 5 观音场地区须家河组砂岩储层致密化阶段演化

Fig. 5 Staged evolution of tight sandstone reservoir of the Xujiahe Formation in Guanyinchang area

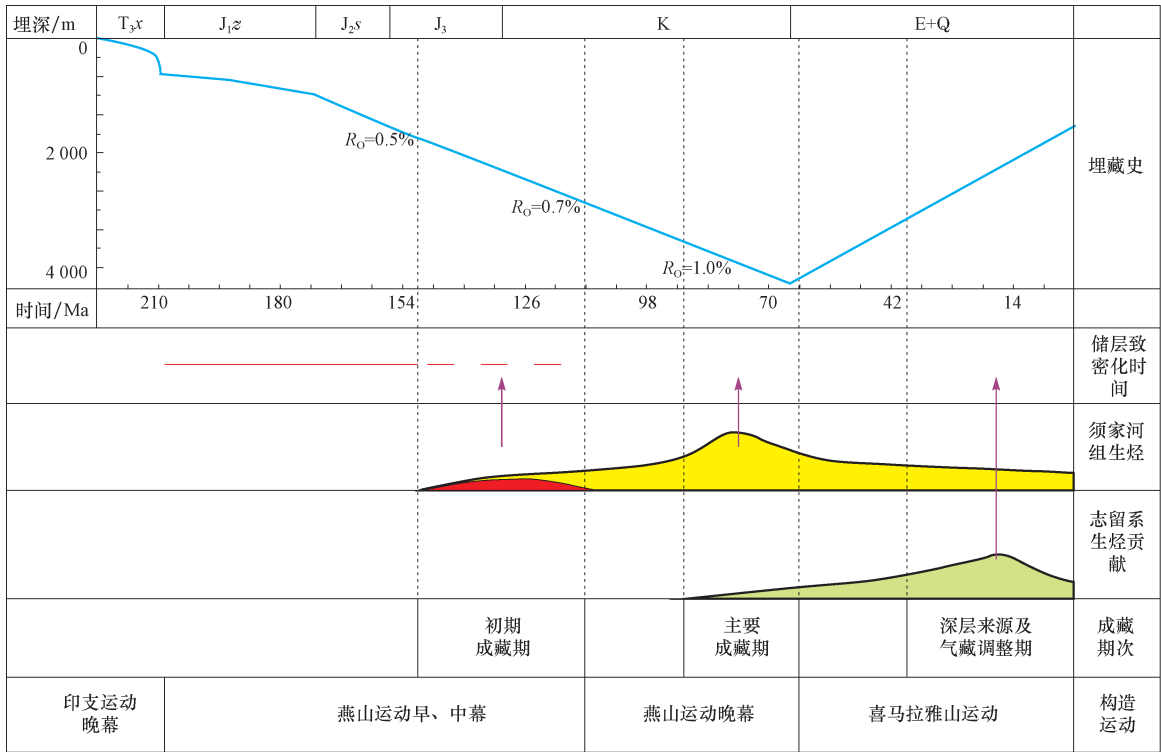


图 6 观音场地区须家河组砂岩储层致密化过程与烃源岩生烃演化匹配关系

Fig. 6 Matching between sandstone tightening with hydrocarbon generating of Xujiahe Formation in Guanyinchang area

强,颗粒之间呈线接触,石英颗粒压溶,硅质胶结物充填在颗粒间,占据原生粒间孔,孔隙度降低。埋深 3 000 m左右,受刚性颗粒支撑及胶结物支撑,压实、压溶作用减弱,至此受硅质胶结物影响的储层致密化阶

段结束。该时期剩余粒间孔进一步减小,砂岩储层致密。硅质胶结物占据残余粒间孔,为储层致密化的关键时期。后期-晚期,随着埋藏深度进一步加大,煤系烃源岩进入大量生排烃阶段,酸性流体对储集砂岩中可溶组分溶蚀,粒间、粒内次生溶孔发育,储集空间增大,加上喜山期构造裂缝的沟通,河道砂体储集性能得以改善。

#### 4.2 须家河组成藏期次

根据研究区须家河组热演化特征,恢复须家河组生烃演化史,总体具3期生排烃期(图6),①晚侏罗世-早白垩世进入生烃门限:燕山早中期须家河组烃源岩进入生烃门限(地温接近65℃,  $R_o$  接近0.5%),在燕山运动中晚期开始排烃,此时  $R_o$  小于0.8%,该阶段主要为早期煤系烃类,伴生的天然气相对较湿。②中晚白垩世(100 Ma左右)进入主生气期:燕山末期至喜山早期大量生烃(地温接近120℃,  $R_o$  接近0.8%),于晚白垩世末期达到最高热演化程度( $R_o$  介于1%~1.2%)。③晚白垩世末期油气调整期:燕山-喜山期构造抬升,上覆地层经历剥蚀作用,地层温度逐渐降低,须家河组煤系有机质生烃作用减弱,该时期主要是已经成藏的油气通过断层垂向运移再分配。

#### 4.3 砂岩储层致密化过程与成藏匹配关系

根据研究区须家河组砂岩致密演化与成藏运聚期次分析,研究了两者之间的匹配关系(图6)。

1) 初次成藏期为中上侏罗统-白垩系沉积早期阶段,砂体受硅质胶结作用开始致密,但还未完全致密,初次成藏期生成的天然气能够在砂岩中横向运移,由于烃源岩排烃强度弱、丰度低,不能大面积成藏。

2) 晚白垩世开始,砂体经历压实、压溶、硅质胶结作用,在生排烃高峰期前砂体已致密,横向非均质性强,储集砂体受成岩作用和岩性共同控制。进入生烃高峰期,天然气不能在致密、非均质性强的砂体中横向大规模运移。此阶段受有机酸溶蚀次生孔隙发育,河道不整合面及高压开启的微裂缝是天然气主要运移通道,运移至岩性圈闭中成藏。

3) 喜马拉雅期构造隆升,构造-岩性复合圈闭形成,构造断裂发育,联通下伏气藏或烃源层,下伏干气向须家河组圈闭运移成藏。

总体上,须家河组在生排烃高峰期前砂体已经致密化,为受成岩作用控制的岩性圈闭,油气不能在河道砂体内大规模横向运移。天然气主要以河道不整合面及高压开启的微裂缝作为运移通道,运移至岩性圈闭中成藏;经历喜山期天然气调整阶段后,定型为现今的构造-岩性复合气藏,气藏受岩性、构造共同控制,非均质性强。

## 5 结论

1) 影响研究区须家河组致密砂岩储层发育的主要因素为:沉积时水动力强弱决定了砂体储集性能的好坏、强烈的机械压实作用是原生孔隙大量损失的主要原因、成岩期石英次生加大是储层致密的关键因素。

2) 对须家河组砂岩硅质胶结物中包裹体分析,确定了砂岩储层致密的深度开始于1 725 m,终止于2 864 m,发生在燕山构造活动期间。

3) 研究区须家河组砂岩储层致密前,为初次成藏期,天然气在砂体中横向长距离运移,但丰度低,不能大面积成藏;天然气进入生烃高峰期前砂岩储层已经致密,受差异成岩作用影响,为成岩-岩性圈闭,圈闭非均质性强,天然气横向运移受阻挡,以河道不整合面和高压开启的微裂缝作为有效运移通道,形成岩性气藏。喜马拉雅期构造抬升作用,定型为现今岩性-构造复合气藏,气藏受岩性、构造共同控制,非均质性强。

## 参 考 文 献

- [1] 李其荣,杜本强,隆辉,等. 蜀南地区天然气地质特征及勘探方向[J]. 天然气工业,2009,29(10):21-27.  
Li Qirong, Du Benqiang, Long Hui, et al. Geologic characteristics of gas reservoirs and exploration direction in southern Sichuan Basin, NATURAL GAS INDUSTRY, 2009, 29(10): 21-27.
- [2] 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):46-56.  
Zhu Rukai, Zhao Xia, Liu Lihong, et al. Depositional system and favorable reservoir distribution of Xujiahe Formation in Sichuan Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2009, 36(1): 46-56.
- [3] 王文之,田景春,张翔,等. 川南观音场-瓦市地区须家河组六段储层特征及其控制因素[J]. 沉积与特提斯地质,2012,32(1):38-43.  
Wang Wenzhi, Tian Jingchun, Zhang Xiang, et al. Reservoir characteristics and controlling factors of the 6th member of the Xujiahe Formation in the Guanyinchang-Washi region, southern Sichuan [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2012, 32(1): 38-43.
- [4] Tad Smith, Colin M. Sayers, Chris Liner. Introduction to this special section: Tight gas sands [J]. The Leading Edge, 2010, 29(12): 1463.
- [5] Mike Miller, Keith Shanley. Petrophysics in tight gas reservoirs-key challenges still remain [J]. The Leading Edge, 2010, 29(12): 1464-1469.
- [6] Bohacs Kevin M, Suter John. Sequence stratigraphic distribution of coal rocks: Fundamental controls and examples [J]. AAPG Bulletin, 1997, 81(10): 1612-1639.
- [7] 祝海华,钟大康,李其荣,等. 四川盆地蜀南地区上三叠统须家河组低孔低渗储层特征及形成机理[J]. 沉积学报,2013,31(1): 167-175.  
Zhu Haihua, Zhong Dakang, Li Qirong, et al. Characteristics and Controlling Factors of Upper Triassic Xujiahe Tight Sandstone Reservoir



- in Southern Sichuan Basin[J]. ACTA SEDIMENTOLOGICA SINICA, 2013, 31(1): 167-175.
- [8] 施振生, 杨威, 金惠, 等. 川中-川南地区上三叠统沉积相研究[J]. 沉积学报, 2008, 26(2): 211-221.
- Shi Zhensheng, Yang Wei, Jin Hui, et al. Study on sedimentary facies of the Upper Triassic in central and south Sichuan Province[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2008, 26(2): 211-221.
- [9] 谢武仁, 李熙喆, 张满郎, 等. 川西南地区上三叠统须家河组砂岩储层综合评价[J]. 天然气地球科学, 2008, 19(1): 94-99.
- Xie Wuren, Li Xizhe, Zhang Manlang, et al. Reservoir evaluation of Upper Triassic Xujiahe Formation in southwest Sichuan Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2008, 19(1): 94-99.
- [10] 张健, 李国辉, 谢继容, 等. 四川盆地上三叠统划分对比研究[J]. 天然气工业, 2006, 26(1): 12-16.
- Zhang Jian, Li Guohui, Xie Jirong, et al. Stratigraphic division and correlation of Upper Triassic in Sichuan basin[J]. Natural Gas Industry, 2006, 26(1): 12-16.
- [11] 谢继容, 李国辉, 唐大海. 四川盆地上三叠统须家河组物源供给体系分析[J]. 天然气勘探与开发, 2006, 29(4): 1-4.
- Xie Jirong, Li Guohui, Tang Dahai. Analysis on provenance supply system of Upper Triassic Xujiahe formation, Sichuan basin[J]. Natural Gas Exploration and Development, 2006, 29(4): 1-4.
- [12] 曾小英, 张娟, 刘远洋, 等. 沉积期火山作用对川西拗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.
- [13] 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.
- [14] 杨威, 魏国齐, 李跃纲, 等. 川西地区须家河组二段储层发育的主控因素和致密化时间探讨[J]. 天然气地球科学, 2008, 19(6): 796-800.
- Yang Wei, Wei Guoqi, Li Yuegang, et al. Main Controlling Factors and Densification Periods of the Reservoir Development of Xujiahe Formation Second Member, Western Sichuan[J]. Natural Gas Geoscience, 2008, 19(6): 796-800.
- [15] 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.
- [16] 郝国丽, 柳广弟, 谢增业, 等. 川中-川南地区上三叠统须家河组气藏异常压力分布及成因[J]. 世界地质, 2010, 29(2): 298-304.
- HAO Guoli, Liu Guangdi, Xie Zengye, et al. Distribution and origin of abnormal pressure in Upper Triassic Xujiahe Formation reservoir in central and southern Sichuan[J]. GLOBAL GEOLOGY, 2010, 29(2): 298-304.
- [17] 孟万斌, 吕正祥, 刘家铎, 等. 川西拗陷孝泉-新场地区须家河组四段储层控制因素及预测地质模型[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(4): 483-490.
- Meng Wanbin, Lü Zhengxiang, Liu Jiaduo, et al. Reservoir controlling factors and geological prediction models of the 4th member of the Xujiahe Formation in Xiaoquan-Xinchang area, the western Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(4): 483-490.
- [18] 杨晓萍, 邹才能, 李伟, 等. 四川盆地中部三叠系香溪群储层特征及成岩孔隙演化[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2006, 25(1): 55-59.
- Yang Xiaoping, Zou Caineng, Li Wei, et al. The characteristics and the evolution of the diagenetic porosity in the oil-gas reservoir of the Upper Triassic Xiangxi formation in the central Sichuan basin[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2006, 25(1): 55-59.
- [19] 罗文军, 彭军, 杜敬安, 等. 川西拗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 Jing'an 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.
- [20] 孙全力, 孙晗森, 贾跃, 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.
- 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.
- [21] 白斌, 邹才能, 朱如凯, 等. 四川盆地九龙山构造须二段致密砂岩储层裂缝特征、形成时期与主控因素[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(4): 526-535.
- Bai Bin, Zou Caineng, Zhu Rukai, et al. Characteristics, timing and controlling factors of structural fractures in tight sandstones of the 2nd member of Xujiahe Formation in Jiulong Mountain structure, Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(4): 526-535.
- [22] 张玺华, 陈洪德, 侯明才, 等. 四川盆地西部新场地区须家河组四段9砂组地震沉积学[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(1): 95-101.
- Zhang Xihua, Chen Hongde, Hou Mingcai, et al. Seismic sedimentology of the 9th sand group in the 4th member of the Triassic Xujiahe Formation in Xinchang area of the western Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(1): 95-101.

(编辑 董立)