

川西坳陷新场构造带下沙溪庙组气藏成藏模式及高产富集主控因素

马 森, 章顺利, 杨映涛

中国石化西南油气分公司勘探开发研究院, 四川 成都

收稿日期: 2021年11月11日; 录用日期: 2021年12月7日; 发布日期: 2021年12月14日

摘 要

中侏罗系下沙溪庙组致密砂岩储层是川西坳陷新场构造带重要的产气层, 随着中浅层陆相碎屑岩勘探开发程度不断提高, 寻找沙溪庙组潜力河道砂岩储层及明确不同河道致密砂岩储层天然气的成藏模式和富集规律对下一步的勘探开发至关重要。本次研究从烃源条件、储层特征、构造特征、断层特征等成藏地质条件分析的基础上, 通过气藏解剖、成藏差异性分析以及断砂配置关系明确了新场构造带侏罗系下沙溪庙组高效源储配置模式和气藏高产富集的主控因素。其中断砂动态配置成藏模式可分为早期成藏后期保持型、早期成藏后期调整保留型、早期未有效成藏型三类。气藏高产富集的主控因素主要受“源、相、位”三因素的控制, 成藏期持续活动的通源断层、较大的断距(>40 m); 高能水下分流河道沉积砂体; 古今构造高部位、更大的圈闭幅度、更远的运移距离, 且成藏期砂体以下倾方向与通源断层相接的早期成藏后期保持型、早期成藏后期调整保留型为其主要的断砂配置类型。

关键词

川西坳陷, 新场构造带, 下沙溪庙组, 成藏模式, 主控因素

Accumulation Models and Main Controlling Factors of High Output and Enrichment in Lower Shaximiao Formation Gas Reservoir, Xinchang Structural Belt, Western Sichuan Depression

Sen Ma, Shunli Zhang, Yingtao Yang

Sinopec Southwest Oil Gas Branch of Exploration and Development Research Institute, Chengdu Sichuan

Received: Nov. 11th, 2021; accepted: Dec. 7th, 2021; published: Dec. 14th, 2021

文章引用: 马森, 章顺利, 杨映涛. 川西坳陷新场构造带下沙溪庙组气藏成藏模式及高产富集主控因素[J]. 地球科学前沿, 2021, 11(12): 1611-1619. DOI: 10.12677/ag.2021.1112155

Abstract

The tight sandstone reservoir of lower Shaximiao formation is an important gas producer in Xinchang structural belt of Western Sichuan depression. With the continuous improvement of exploration and development in shallow continental clastic rocks, it is very important for the next exploration and development to find the potential channel sandstone reservoir and clarify the accumulation mode and enrichment law in different channel tight sandstone reservoirs. Based on the analysis of hydrocarbon source conditions, reservoir characteristics, structural characteristics, fault characteristics and other geological conditions, through the analysis of gas reservoir anatomy, accumulation differences, fault sand configuration relationship, the high-efficiency source reservoir configuration mode and the main control factors of high-output and enrichment of gas reservoir in lower Shaximiao Formation of Xinchang structural belt are clarified. The accumulation models of dynamic configuration can be divided into three types: early accumulation and late retention type, early accumulation and late adjustment retention type, and early ineffective accumulation type. The main controlling factors of high output and enrichment of gas reservoirs are controlled by “source, facies and position”, hydrocarbon source fault with continuous activity and large fault distance (>40 m) during hydrocarbon accumulation period, high energy underwater distributary channel sedimentary sandstone, the main types of fault sand configuration are the high position of ancient and modern structures, larger trap amplitude, longer migration distance, and the sand body dip direction connecting with the hydrocarbon source fault during the accumulation period.

Keywords

West Sichuan Depression, Xinchang Structural Belt, Lower Shaximiao Formation, Accumulation Model, Main Controlling Factors

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

川西坳陷中浅层陆相碎屑岩的天然气勘探取得了显著的成效, 共发现 6 套含油气层系, 其中中侏罗统沙溪庙组是川西坳陷重要的产气层, 先后发现了新场气田、成都气田和中江气田, 为典型的致密砂岩气藏。前人对川西坳陷侏罗系开展了构造、地层、沉积、储层和成藏富集规律的研究, 取得了较多的成果认识[1] [2], 在成藏方面多位学者认为川西坳陷侏罗系具有“源、相、位”三元控藏特点及“通源断层成藏”和“幕式成藏”多种成藏模式, 但多聚焦在川西坳陷东坡勘探开发较成熟地区[3] [4], 对于新场构造带新场、孝泉和高庙子地区不同构造演化条件下, 不同断层疏导体系下的成藏模式和气藏富集主控因素还存在争议。本次在开展新场构造带侏罗系下沙溪庙组的成藏地质条件综合研究, 分析不同气藏成藏差异性, 进一步明确新场构造带侏罗系气藏高产富集规律, 对于下一步油气富集区预测、优选下步勘探目标区及气藏下步勘探开发部署具有重要意义。

2. 区域概况

川西坳陷位于四川盆地中西部区域, 其西邻龙门山造山带, 南抵峨眉、乐山, 东连川中隆起, 北东

与昆仑-秦岭构造带相接[5][6]。新场构造带位于川西坳陷中北部北东向构造带上(图 1), 包含孝泉构造、新场构造、合兴场构造和丰谷构造等构造单元。新场构造带西临龙门山前断褶带, 西南为成都凹陷, 东南为龙泉山构造带, 北部为梓潼凹陷。新场构造带靠近合兴场地区地层变形强烈, 构造复杂, 断裂发育, 部分断层断至地表。

新场地区沙溪庙组分为上沙溪庙组和下沙溪庙组两段, 岩性主要为紫红色泥页岩、粉砂质泥岩、浅绿灰色粉砂岩、浅绿灰色中-细砂岩, “叶肢介页岩”可作为上沙溪庙组(J2s)与下沙溪庙组(J2x)的分界标志, “关口砂岩”可作为下沙溪庙组与下伏千佛崖组(J2q)分界标志(图 1)。下沙溪庙组整体厚度在 140~350 m 左右, 由西向东逐渐增厚, 由北向南差异较小, 至下向上又可分为(JS₃¹⁻¹、JS₃¹⁻²、JS₃²、JS₃³⁻¹、JS₃³⁻²、JS₃³⁻³) 6 个砂组。下沙溪庙组沉积时期的物源主要来自于龙门山北段和米仓山-大巴山, 属于曲流河三角洲沉积体系, 有利沉积微相为三角洲平原-前缘分流河道沉积微相, 砂体主要呈北东-南西向展布特征[7][8]。

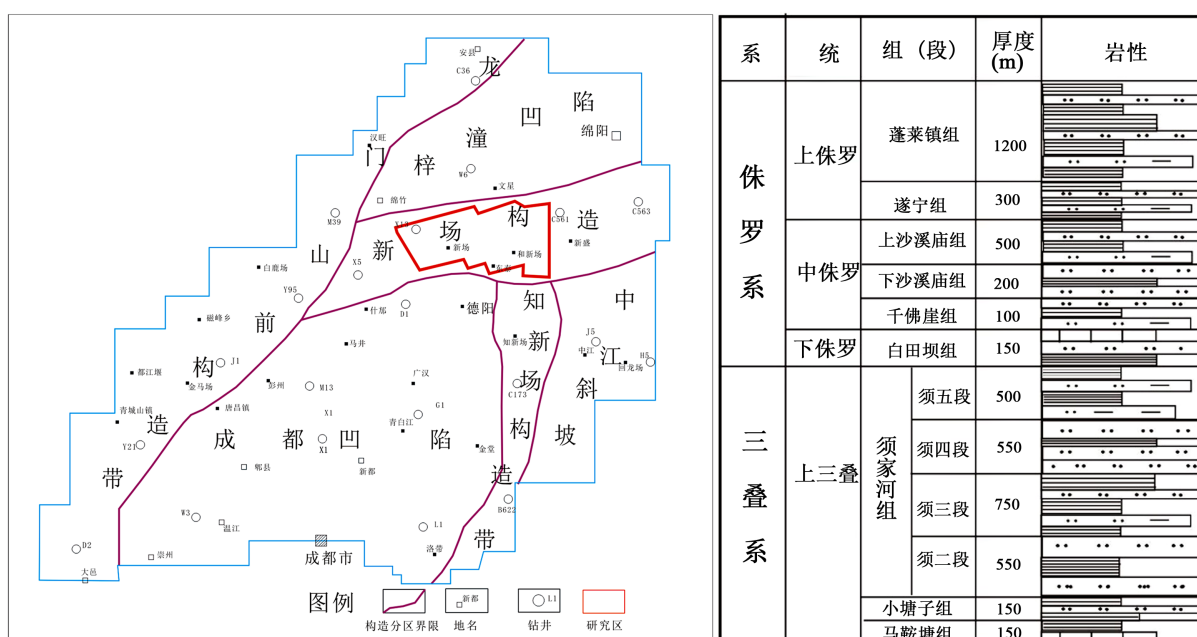


Figure 1. Unit division and columnar cross-section of the Xinchang structural belt
图 1. 新场构造带单元划分及柱状剖面图

3. 成藏地质条件

3.1. 烃源条件

研究区侏罗系气藏具有良好的烃源条件。气源对比研究表明, 侏罗系沙溪庙组天然气主要源于深部须家河组五段泥页岩、碳质页岩等暗色烃源岩[9][10]。须五段暗色泥质岩厚度多在 200 m 以上, 泥岩有机碳含量在 2.25%~4.0%之间, 有机质类型以 III 型干酪根为主, 泥岩镜质体反射率 R_o 在 1.3%~1.8% 之间, 处于高成熟演化阶段。巨厚的泥页岩是上部侏罗系气藏的气源基础, 为上部侏罗系储层提供了丰富的气源。

3.2. 储层特征

通过对 710 个样品的薄片观察发现, 研究区下沙溪庙组岩石类型以岩屑长石砂岩、长石岩屑砂岩为

主。其中，孝泉 JS₃¹ 主河道孔隙度约 6.45%~18.1%，平均值约 14.9%，渗透率 0.038~8.05 mD，平均值约 0.631 mD；新场 JS₃¹⁻² 主河道孔隙度约 9.17~17.61%，平均值约 13.80%，渗透率约 0.005~2.892 mD，平均值约 0.331 mD；新场 JS₃³ 主河道储层孔隙度约 6.02~13.66%，平均值约 10.69%，渗透率为 0.044~1.174 mD，平均值约 0.339 mD。高庙子 JS₃³ 储层孔隙度约 3%~13.26%，平均 9.55%、渗透率约 0.023~5.38mD，平均 0.327 mD。在物性方面，JS₃¹ 储层物性明显好于 JS₃³，孝泉 JS₃¹ 主河道最好，新场 JS₃¹⁻² 主河道次之，新场 JS₃³ 再次之，高庙子 JS₃³ 河道相对略差(图 2)。

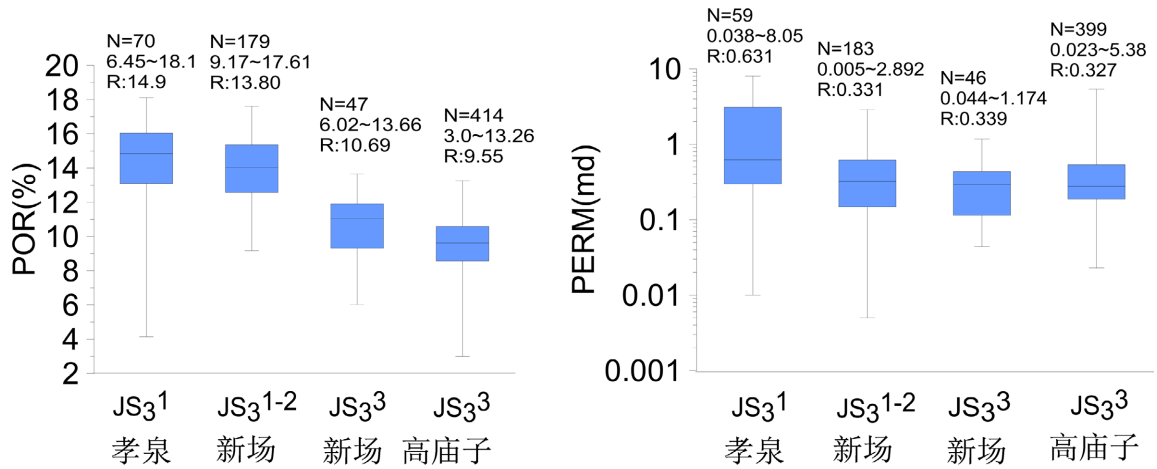
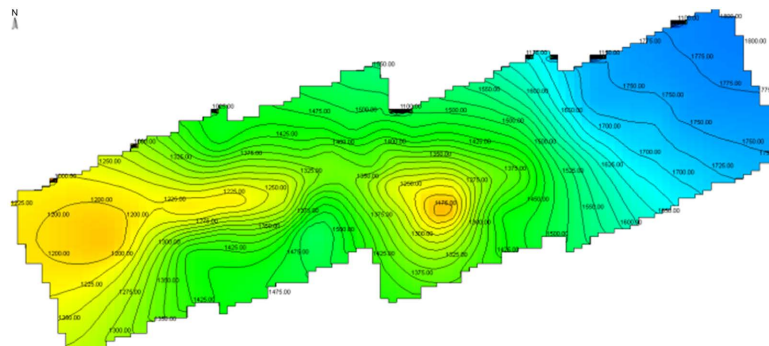


Figure 2. Porosity and permeability distribution map of Xiashaximiao Formation in Xiaoquan, Xinchang, and Gaomiaozi areas
图 2. 孝泉、新场、高庙子地区下沙溪庙组孔隙度、渗透率分布图

3.3. 构造特征

本次采用盆地模拟法，恢复了新场构造带在主要构造时期的古构造。在 135 Ma (燕山中期)，侏罗系各主要层位均表现为西高东低的整体特征，孝泉地区构造位置最高，向东在新场地区形成一个倾伏的鼻状构造，以及合兴场背斜构造，二者之间以鞍部相接；高庙子地区位于合兴场背斜构造的东翼斜坡部位；而更东面的丰谷地区则表现为一个低幅隆起雏形。在 100 Ma (燕山晚期)，新场构造带继续继承性发展，整体仍呈西高东低的特征，构造格局与燕山中期类似。在 65 Ma (喜山早期)，西部龙门山构造开始隆升及逆冲推覆，但仍呈西高东低的构造格局，孝泉 - 新场地区整体呈一个向西抬升，向东倾伏的鼻状构造，与合兴场背斜构造以鞍部相连；而高庙子地区整体仍位于合兴场构造的东翼斜坡上；丰谷地区为构造低部位(图 3)。



(a)

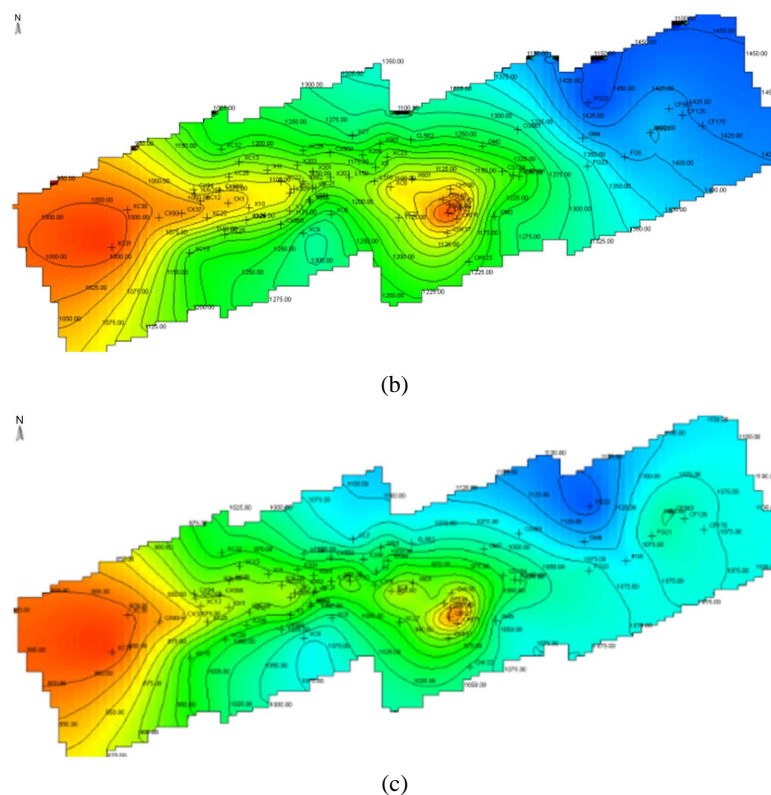


Figure 3. Paleostuctural map of the Shaximiao Formation in the Xinchang structural belt during the 65 Ma (a), 100 Ma (b) and 135Ma (c) periods

图 3. 新场构造带沙溪庙组在 65 Ma (a)、100 Ma (b)、135 Ma (c)时期古构造图

3.4. 断层特征

新场构造带孝泉地区缺乏通源断层，其通源断层主要为成都凹陷马井构造的 F5 断层，新场地区通源断层主要为青冈嘴断层，而高庙子地区主要为 F2、F4、F8 断层。

马井 F5 断层呈 NE 走向，NW 倾，在侏罗系的延伸长度约 3~8.4 km，断距多在 25~65 m，该断层从燕山中晚期、喜山期都有活动。青冈嘴断层呈 NNE 走向，向西倾，延伸长度约 25 km，断开层位马鞍塘组 - 蓬莱镇组，断距 10~65 m，从印支晚期开始活动，形成于燕山中期，在燕山晚期 - 喜山早期有持续活动。高庙子 F2、F8 断层近 SN 走向，向西倾，延伸较远，断开层位分别为马鞍塘组 - 地表、须四段 - 地表，断距较大，喜山期构造运动使断层活动；F4 断层为 NE 走向，断层倾角较缓，倾向 SEE，延伸长度较长最长达 25.06 km，断开须四段 - 蓬莱镇组，断距 40~80 m，形成于喜山期(表 1)。

Table 1. Main source fault elements of Xiashaximiao Formation in Xiaoquan, Xinchang, and Gaomiaozi areas

表 1. 孝泉、新场、高庙子地区下沙溪庙组主要通源断层要素表

地区	断层	断开层位	断距(m)	走向	倾向	倾角(°)	形成时间
孝泉	F5	马鞍塘 - 白垩系	25~65	NE	NW	60~70	燕山中晚期、喜山期
新场	青冈嘴	马鞍塘 - 蓬莱镇组	10~65	NNE	W	60~70	燕山中期、燕山晚期 - 喜山早期
高庙子	F2	马鞍塘 - 地表	50~260	NS	W	70~80	燕山中晚期、喜山期
	F8	须四段 - 地表	50~80	NS	W	60~70	喜山期
	F4	须四段 - 地表	40~80	NE	SEE	50~60	喜山期

4. 成藏模式

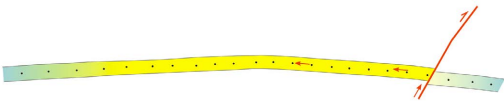
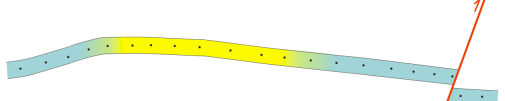
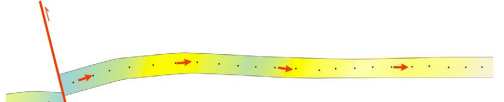
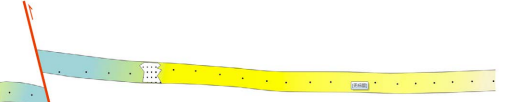
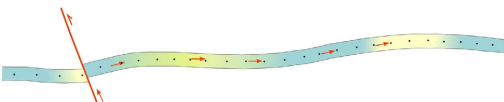
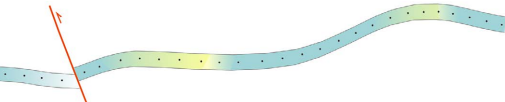
在成藏地质条件分析研究基础上,开展了重点砂组成藏期形态恢复,主要从砂体与通源断层古、今配置关系出发,建立了新场构造带侏罗系重点层系的断砂动态配置成藏模式:早期成藏后期保持型、早期成藏后期调整保留型、早期未有效成藏型三类(表 2)。

1) 早期成藏后期保持型:古、今断砂配置均以砂体下倾方向与通源断层相接,在成藏期,砂体下倾方向与通源断层相接,形成有效圈闭,有利于油气的有效充注,现今砂体也为下倾方向与通源断层相接,气富集在圈闭内,低部位逐渐过渡为水。

2) 早期成藏后期调整保留型:成藏期砂体下倾方向与通源断层相接,有利于油气有效充注,而现今砂体却以上倾方向与通源断层相接,但砂体内部发育岩性、物性隔挡,形成岩性圈闭,可以阻止内部油气通过上倾砂体侧向逸散,使成藏期形成的油气藏得以保留。

3) 早期未有效成藏型:成藏期砂体下倾方向与通源断层相接,但通源断层远,断距小,气充注度低,或者砂体下倾方向与通源断层相接,但砂体内部未有效连通,导致成藏期河道整体含气性较差,而现今砂体下倾方向与通源断层相接,砂体内部储层非均质性较强。

Table 2. Dynamic accumulation model of Jurassic Lower Shaximiao Formation in Xinchang structural belt
表 2. 新场构造带侏罗系下沙溪庙组动态成藏模式

断砂配置类型	成藏期断砂配置	现今断砂配置
早期成藏后期保持型	 砂体下倾方向与通源断层相接	 砂体下倾方向与通源断层相接
早期成藏后期调整保留型	 砂体下倾方向与通源断层相接	 砂体上倾方向与通源断层相接(发育岩性、物性封隔)
早期未有效成藏型	 砂体下倾方向与通源断层相接,通源断层远,充注度低;或砂体内部未高效连通	 砂体下倾方向与通源断层相接

5. 成藏主控因素

在经济评价分析的基础上,通过气藏解剖、成藏差异性分析,以及成藏模式的总结,新场构造带气藏高产富集的主控因素主要受“源、相、位”三因素的控制。即通源断层、断距、高能水下分流河道沉积砂体、古今构造位置、圈闭幅度、天然气运移距离、断砂配置关系等。

5.1. 正文

川西坳陷沙溪庙组气藏为远源次生气藏,气源主要来自下伏须五段烃源岩。因此主要从烃源通道条件、通源断层活动型等方面分析“源”。孝泉、新场、高庙子地区下沙溪庙组气藏具有不同的烃源通道条件。

通源断层在成藏期持续活动,且在供烃处断距相对较大,易于形成高产富集带[11]。如高庙子地区与F2断层相接的高庙A井河道、高庙B井河道断距分别为240 m、60 m,后者通道条件相对较差,高产富集范围明显小于前者(图4,表3)。新场地区与青冈嘴断层相接的新场JS₃³主河道断距约50 m,断层持续活动时间长,形成了高产富集带;而孝泉JS₃¹主河道的供烃断层-马井F5断层,供烃处的断距很小(约<10 m),烃源通道条件差,未有效成藏(表3)。

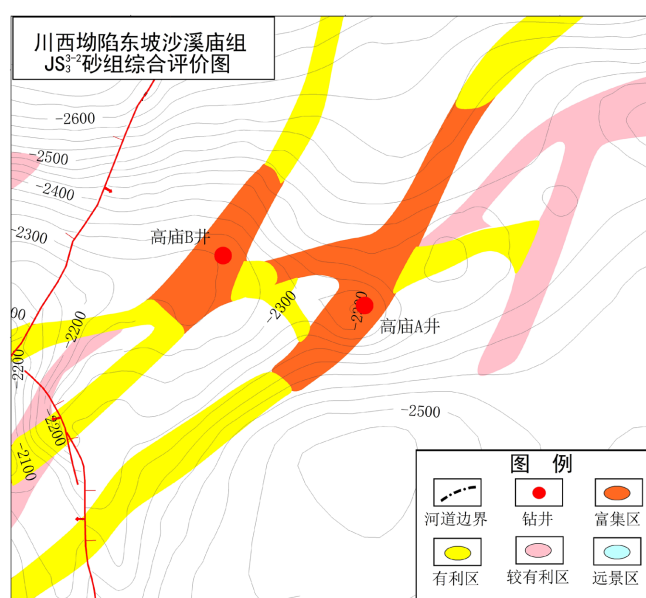


Figure 4. Comprehensive evaluation map of JS₃³ sand formation of Xiashaximiao Formation in Gaomiaozi area
图 4. 高庙子地区下沙溪庙组 JS₃³ 砂组综合评价图

Table 3. Comparison of different factors in the formation of gas reservoirs in the lower Shaximiao Formation of the Xinchang structural belt

表 3. 新场构造带下沙溪庙组气藏成藏差异因素对比表

气藏	河道	源		相		位			
		断层通道条件	通源断层形成时间	沉积微相	物性	断砂配置	富集范围	圈闭幅度	气藏丰度
孝泉 J ₂ X	JS ₃ ¹	断距小于 10 m, 低速通道	燕山中晚期、喜山期	分流河道	好	古今: 砂体下倾与断层上盘相接	无	1000 m	低
新场 J ₂ X	JS ₃ ¹⁻² 主河道	断距 44 m, 中速通道	燕山晚期-喜山早期	分流河道	好	古今: 砂体下倾与断层上盘相接	10~19 km	300 m	高
	JS ₃ ³ 主河道	断距 50 m, 中速通道							
高庙子 J ₂ X	高庙 A 井河道	断距 240 m, 高速通道	燕山中晚期	分流河道	中等-好	古今: 砂体下倾与断层下盘相接	8~23 km	70 m	高
	高庙 B 井河道	断距 60 m, 中速通道							

5.2. 相

沉积相控制河道砂体的发育程度,断砂配置关系、砂体物性决定成藏差异[12][13][14]。研究区下沙溪庙组发育曲流河三角洲沉积,沉积微相主要为水下分流河道、分流间湾、天然堤、决口扇。已有效开发的气藏全部赋存在三角洲前缘的主水下分流河道中,呈条带状展布特征,明显受沉积相的控制(图4)。水下分流河道砂岩孔隙度一般大于10%,渗透率大于0.1 mD(图2),表现为沉积厚度大、砂岩粒度粗、泥质杂基少物性好的特征,明显优于分流间湾、天然堤、决口扇和席状砂,具有“相控带”的规律。

5.3. 位

1) 古今构造部位

古今构造位置高、圈闭幅度大、天然气运移距离远等因素利于水溶气的脱溶,更易于形成高产富集区。根据该区关键地质时期古构造恢复研究成果,孝泉、新场、高庙子三地区下沙溪庙组在成藏期即具有一定的构造幅度,现今构造为在古构造基础上的继承性隆起(图3)。从燕山晚期至现今,孝泉地区构造位置最高,但距通源断层远,且断距很小(<10 m),烃源通道条件差,故天然气充注程度最低;而新场地区构造位置始终较高庙子地区高,且在圈闭幅度上要明显大得多,导致新场下沙溪庙组较高庙子地区更利于水溶气的脱溶成藏,气丰度更高,含水更少(图5,表3)。

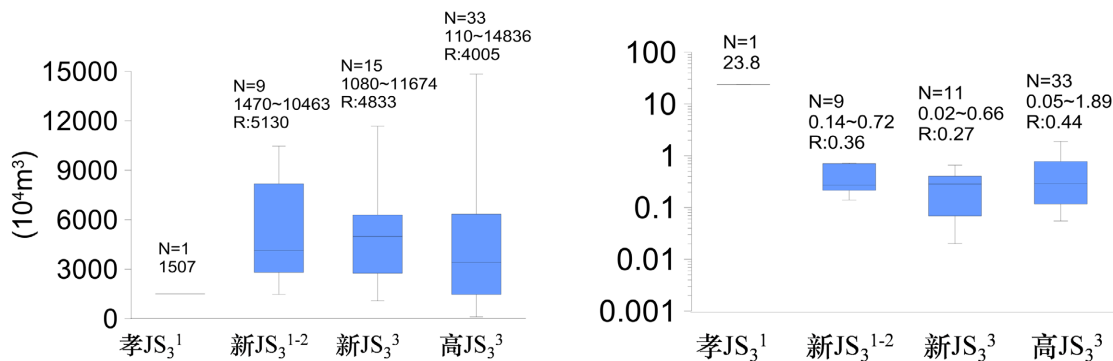


Figure 5. The cumulative gas production and water-gas ratio distribution of a single well in the Shaximiao Formation gas reservoir in the Xinchang structural belt

图 5. 新场构造带下沙溪庙组气藏单井累产气、水气比分布图

2) 砂体与通源断层的古今配置关系

断砂配置好的正向构造高部位河道是油气高产富集的重要因素[15]。研究区沙溪庙组高效源储配置模式为早期成藏后期保持型、早期成藏后期调整保留型,而早期未有效成藏型为较差源储配置模式(表2)。

I) 早期成藏后期保持型:成藏期沿河道砂体的下倾方向与通源断层相接,通源断层有效沟通下伏烃源层系与储层,天然气沿通源断层向上运移至沙溪庙组储层中,再通过储层中的横向运移聚集成藏,通源断层与储层的配置关系在后期仍未调整,利于形成高产富集带。

II) 早期成藏后期调整保留型:成藏期沿河道砂体的下倾方向与通源断层相接,烃源层系天然气向上运移聚集成藏,后期通源断层与储层的配置关系得到调整,现今储层的上倾方向与通源断层相接,由于后期储层致密化形成岩性、物性封堵,也有利于气藏的保存,形成高产富集带。

6. 结论

新场构造带侏罗系下沙溪庙组断砂动态成藏模式可分为早期成藏后期保持型、早期成藏后期调整保留型、早期未有效成藏型三类。

新场构造带侏罗系下沙溪庙组气藏高产富集的主控因素主要受“源、相、位”三因素的控制。高产富集带地质特征表现为存在高能水下分流河道沉积砂体，成藏期持续活动的烃源断层、较大的断距(>40 m)，古今都位于构造高部位。高效源储配置模式为早期成藏后期保持型、早期成藏后期调整保留型两种类型。

参考文献

- [1] 朱志军, 陈洪德, 胡晓强, 林良彪, 徐胜林. 川西前陆盆地侏罗纪层序地层格架、沉积体系配置及演化[J]. 沉积学报, 2010, 28(3): 451-460.
- [2] 杨克明, 朱宏权. 川西叠覆型致密砂岩气区地质特征[J]. 石油实验地质, 2013, 35(1): 1-8.
- [3] 曾焱, 黎华继, 周文雅, 陈俊, 吴东胜. 川西坳陷东坡中江气田沙溪庙组复杂“窄”河道致密砂岩气藏高产富集规律[J]. 天然气勘探与开发, 2017, 40(4): 1-8.
- [4] 叶素娟, 吕正祥. 川西新场气田下沙溪庙组致密储层特征及储集性影响因素[J]. 矿物岩石, 2010, 30(3): 96-104.
- [5] 童崇光. 四川盆地构造演化与油气聚集[M]. 北京: 地质出版社, 1985: 19-28.
- [6] 郭正吾, 邓康龄, 韩永辉, 等. 四川盆地形成与演化[M]. 北京: 地质出版社, 1996: 72-88.
- [7] 何政权. 四川盆地中西部中侏罗统沉积相带展布及天然气勘探选区[J]. 四川地质学报, 2009, 29(2): 127-131.
- [8] 安红艳, 时志强, 张慧娟, 曾德勇, 张华. 川西坳陷中段中侏罗统沙溪庙组储层砂岩物源分析[J]. 四川地质学报, 2011, 31(1): 29-33.
- [9] 王玲辉, 赵虎, 沈忠民, 袁东山, 田军. 四川中江气田沙溪庙组天然气成因类型及气源对比[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2017, 44(2): 158-163.
- [10] 叶素娟, 朱宏权, 李嵘, 杨映涛, 黎青. 天然气运移有机-无机地球化学示踪指标——以四川盆地川西坳陷侏罗系气藏为例[J]. 石油勘探与开发, 2017, 44(4): 549-560.
- [11] 李忠平, 冉令波, 黎华继, 刘凤, 周文雅, 向宇. 窄河道远源致密砂岩气藏断层特征及天然气富集规律——以四川盆地中江气田侏罗系沙溪庙组气藏为例[J]. 天然气工业, 2016, 36(7): 1-7.
- [12] 黎青, 牟志政. 川西坳陷高庙子地区下沙溪庙组 JS33-2 气藏成藏差异性分析[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2017, 37(4): 93-95.
- [13] 谢刚平, 叶素娟, 田苗. 川西坳陷致密砂岩气藏勘探开发实践新认识[J]. 天然气工业, 2014, 34(1): 44-53.
- [14] 肖富森, 黄东, 张本健, 唐大海, 冉崎, 唐青松, 尹宏. 四川盆地侏罗系沙溪庙组天然气地球化学特征及地质意义[J]. 石油学报, 2019, 40(5): 568-576+586.
- [15] 南红丽, 蔡李梅, 叶素娟, 阎丽妮, 张世华, 杨映涛. 川西坳陷沙溪庙组储集层致密化与天然气成藏耦合关系[J]. 新疆石油地质, 2018, 39(4): 439-445.