

doi: 10.12029/gc20220417

范赛华, 谢辉, 李彬文, 刘媛, 李卫平, 许维娜, 赵虎, 牟蕾. 2022. 川西坳陷东坡地区沙溪庙组断裂对天然气富集的控制作用[J]. 中国地质, 49(4): 1275–1284.

Fan Saihua, Xie Hui, Li Binwen, Liu Yuan, Li Weiping, Xu Weina, Zhao Hu, Mou Lei. 2022. Controlling effect of Shaximiao Formation fault on gas accumulation in eastern slope area of Western Sichuan Depression[J]. Geology in China, 49(4): 1275–1284(in Chinese with English abstract).

川西坳陷东坡地区沙溪庙组断裂 对天然气富集的控制作用

范赛华¹, 谢辉², 李彬文¹, 刘媛², 李卫平³, 许维娜¹, 赵虎¹, 牟蕾¹

(1. 中石油新疆油田公司陆梁油田作业区, 新疆 克拉玛依 834000; 2. 新疆油田公司实验检测研究院, 新疆 克拉玛依 834000;
3. 新疆油田公司监理公司, 新疆 克拉玛依 834000)

摘要:【研究目的】川西坳陷东坡侏罗系沙溪庙组气藏常规构造优势区挖掘潜力已不大、对于勘探程度较低的复杂断裂夹持区的气藏地质认识明显滞后。【研究方法】基于近年来的勘探开发资料和数据, 运用构造控藏理论, 本文研究了断裂断面形态类型和流体势差对油气成藏的控制, 探讨了断裂夹持区内的油气分布规律, 总结了南北断裂系统油气富集的差异性。【研究结果】断裂断面形态中以坡坪式断裂所控制的河道油气充注程度高、有利于高效成藏, 低角度铲式断裂次之, 高角度平直-铲式断裂成藏性最差; 流体势差使得烃源岩天然气途径高势区向远距离砂体充注困难; 断裂夹持区虽然在较窄的两端裂缝网络发育导致油气逸散很难成藏, 但较宽的中部若由坡坪式断裂和低角度铲状断裂夹持输导则可形成相对较好的油气富集带。【结论】综合认为南部构造总体上优于北部、中部夹持区具有一定潜力, 成藏的关键因素仍然受断裂形态特征和输导能力的控制。

关键词: 川西坳陷东坡; 沙溪庙组; 断面形态; 天然气富集; 断裂夹持区; 油气资源勘查工程; 四川省

创 新 点: 针对川西坳陷东坡地区沙溪庙组不同断裂, 按照断面形态研究其对油气成藏的控制、流体势差对油气迁移的影响; 探讨了“垒式、堑式”断裂夹持区内的油气分布规律, 明确了南北断裂系统油气富集的差异性。

中图分类号: P618.13 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2022)04-1275-10

Controlling effect of Shaximiao Formation fault on gas accumulation in eastern slope area of Western Sichuan Depression

FAN Saihua¹, XIE Hui², LI Binwen¹, LIU Yuan², LI Weiping³, XU Weina¹, ZHAO Hu¹, MOU Lei¹

(1. Area of Operations of Luliang Oilfield of PetroChina Xinjiang Oil Field Company, Karamaym 834000, Xinjiang, China;
2. Research Institute of Experimental Detection, Xinjiang Oilfield Company, Karamaym 834000, Xinjiang, China; 3. Supervision Company of Xinjiang Oilfield Company, Karamaym 834000, Xinjiang, China)

Abstract: This paper is the result of oil and gas exploration engineering.

[Objective] The exploration potential of conventional structural advantage area of gas reservoir in Jurassic Shaximiao Formation in

收稿日期: 2019-01-11; 改回日期: 2020-10-27

基金项目: 国家“十三五”科技重大专项“川西凹陷斜坡带复杂致密砂岩气藏开发关键技术(2016ZX05048-004)”资助。

作者简介: 范赛华, 男, 1980年生, 硕士生, 工程师, 主要从事石油地质研究工作; E-mail: 582233422@qq.com。

the eastern slope of western Sichuan depression is not great, and the geological understanding of the gas reservoir in the complex fault clamping area with low degree of exploration is obviously lagging behind. [Methods] Based on the data in exploration and development in recent years, using the theory of structural reservoir control, this paper studies the control of fault section morphology type and fluid potential difference on oil and gas accumulation, discusses the oil and gas distribution in the fault clamping area, and summarizes the difference of oil and gas enrichment in the north-south fault system. [Results] The study shows that the river channel controlled by slope-flat fault has a high degree of oil and gas filling, which is conducive to high-efficiency reservoir formation, followed by low-angle shovel-like fault, and high-angle flat shovel-like fault has the worst reservoir formation. [Conclusions] Fluid potential difference makes it difficult for hydrocarbon source cliff gas to fill long-distance sand bodies through high potential areas. Although it is difficult to form reservoirs due to the escape of oil and gas in the development of a narrow fracture network at both ends of the fracture clamping area, a relatively good oil and gas enrichment zone can be formed in the wider middle if the slope-flat fault and low-angle shovel-like fault are clamped and transported together. Therefore, it is believed that the structure in the south is superior to that in the northern and central clamping areas and has certain potential. The key factors of reservoir formation are still controlled by the fracture morphology and transportation capability.

Key words: eastern slope area of western Sichuan depression; Shaximiao Formation; fault morphology; gas accumulation; fracture clamping area; oil and gas exploration engineering; Sichuan Province

About the first author: FAN Saihua, male, born in 1980, master candidate, associate senior researcher, mainly engaged in petroleum geology research; E-mail: 582233422@qq.com.

Fund support: Supported by the project of "Key Technologies for the Development of Complex Tight Sandstone Gas Reservoirs in the Slope Belt of Western Sichuan Depression" (No.2016ZX05048-004) of National "13th Five-Year" Major Science and Technology Projects.

1 引言

随着川西坳陷东坡侏罗系油气勘探开发的加速推进,需要进一步寻找具有开发潜力的富气区,但在传统的资源优势区以外,对于构造复杂的夹持区的气藏地质认识明显滞后于勘探开发的深入进行,对于以断裂系统为主导的成藏主控因素与油气富集规律认识不清,其增加了扩边勘探开发的风险。前人对川西坳陷沙溪庙组在构造控藏方面的理论形成了丰富的认识:曾焱(2017)明确了德阳中江气田复杂“窄”河道致密砂岩气藏有效烃源岩断层和分流河道砂的有效配置是获产的基础,这也是整个川西坳陷东坡的主要有利成藏模式;陈东霞(2012)认为川西坳陷的单井离断层距离过大或过小,均不利于天然气聚集成藏;徐敏(2018)认为川西坳陷沙溪庙组具有“构造控向、断砂控运、储层控藏、演化控调”的成藏演化模式;杨帆(2011)认为河道砂体与断层构造位置匹配较好才能形成高产区。而前人对于川西坳陷成藏方面的成果主要集中在致密砂岩储层、烃源岩、断砂配置、构造演化、天然气运移等方面,而针对非优势的断层夹持区等研究成果较少,徐永春(2017)认为断层夹持区一般

含油面积小、储量动用程度低;李忠平(2016)认为多断层夹持区及断层破碎带附近则主产水、不成藏。实际上夹持区附近依然具有一定勘探潜力,如港中油田在平面上形成三角状的断层夹持区是剩余油富集区(吴小斌,2013)。而本文主要从构造断裂体系的角度寻找出制约研究区现今天然气富集的主控因素及油气分布的规律,并对具有特殊性和复杂性的断裂夹持区进行了研究,构建了不同夹持体系的不同成藏模式,旨在拓展区域勘探开发思路,指导开发滚动建产。

2 区域地质特征

川西坳陷位于四川盆地西部(图1),呈“三隆两凹一斜坡”的格局。川西坳陷东坡位于龙门山冲断带和川中平缓断褶带之间的中部地区,是川西坳陷东部的次级构造单元。工区主要包括合兴场—高庙子构造、丰谷构造、知新场—石泉场构造、中江—回龙构造。现今整体上呈现为向东开口的“三隆夹一凹”格局和南高北底、西高东低的面貌(图2)。川西坳陷东坡侏罗系沙溪庙组层系划分为 J_{s1} 、 J_{s2} 、 J_{s3} 以及若干小层。总体上属于曲流河三角洲沉积体系(李国新,2012),亚相为水下分流河道沉积和小

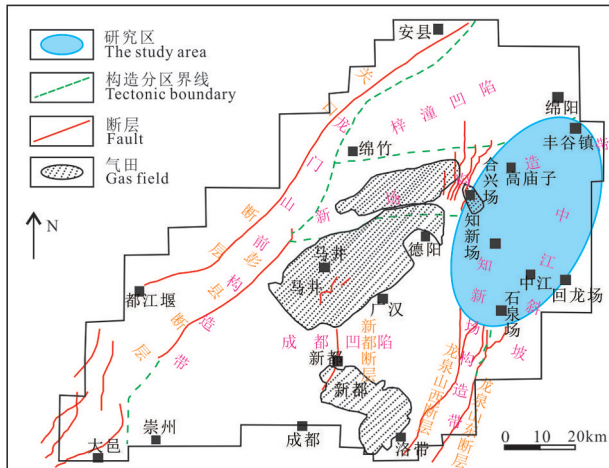


图1 川西坳陷构造背景图

Fig.1 Structural background of Western Sichuan Depression

规模水下分流间湾。物源主要来自北面米仓山,砂体总体呈北东-南西向展布,由灰、灰紫色厚层-块状粗、中粒-细粒长石石英砂岩、长石砂岩与紫红色粉砂岩、泥岩组成的数个不等厚韵律层组成。其中以分流河道相的块状中砂岩、交错层理中砂岩物性最好,渗透率接近1 mD,主要分布在Js₃段;其次为平行层理中砂岩和块状细砂岩,主要分布在Js₁、Js₂段。川西坳陷东坡侏罗系沙溪庙组气藏是典型的受断裂控制的次生远源河道砂体气藏。

目前的主要油气显示集中在工区北部的高庙子和南部的中江地区,其中高庙子地区探明的富气河道均分布在Js₃段中,但在这些砂体中的天然气显示均较差;南部以中江地区为代表的富气层位多,除Js₂段稍差,从Js₁¹至Js₃³⁻³层均存在高产的气层。而工区北部丰谷构造基本无潜力,知新场-石泉场、回龙构造处于勘探评价阶段。由于研究区砂体发育良好,成藏的关键因素仍然受断裂有效性和输导能力的控制。

3 构造演化及裂缝特征

川西坳陷东坡断裂活动期次可划分为:印支晚期、燕山早期、燕山中期、燕山晚期、喜山期。后三期断裂直接与沙溪庙组成藏有关。断裂主要集中在中西部知新场-合兴场构造带,中西部发育断开沙溪庙组烃源大断裂21条(图3),主要烃源断裂7条,分别是:F1-1、F1-2、F2、F3、F4、F5、F8。沙溪庙组沉积末为西高东低的古构造形态,总体上地

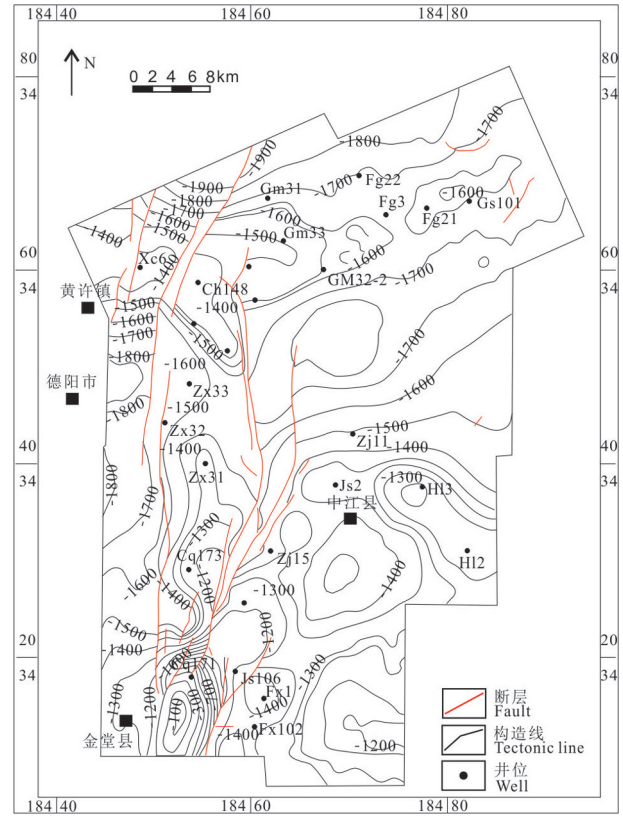


图2 川西坳陷东坡Js₁¹砂体顶面构造图

Fig.2 Map of the top surface of Js₁¹ sand body in Eastern Slope Area of Western Sichuan Depression

形较为平缓,此时西部主要构造带已经形成,在早燕山期的EW向应力作用下,区内SN走向构造已经初步成型。受断裂活动的影响,F2断裂与F3断裂之间的断凹带形成,沙溪庙组砂组内部的河道展布多位于西部构造带以东,或进入F2与F3之间的断凹带,可能是受西部构造带和这个断凹带的制约;遂宁组沉积末与沙溪庙组沉积末古构造形态有较大的变化,受燕山中期构造运动的影响,构造高部位迁移至东南部中江-回龙地区和石泉场构造带,从之前的西高东低的地形变化为整体上为西南高、东北底古构造特征;蓬莱镇组沉积末为南高北低的形态。受石泉场-知新场断裂抬升作用影响,构造高部位由中江-回龙地区迁移至区内西南部,构造高部位沿断裂带呈NNE向带状分布。研究区裂缝主要是高角度裂缝,在各个砂组中普遍发育;井点离断层越近,天然裂缝密度越高,并且与构造变形强度关系密切,位于构造强变形核部的丰谷21井裂缝发育密度高于位于变形较弱的两背斜鞍部的丰

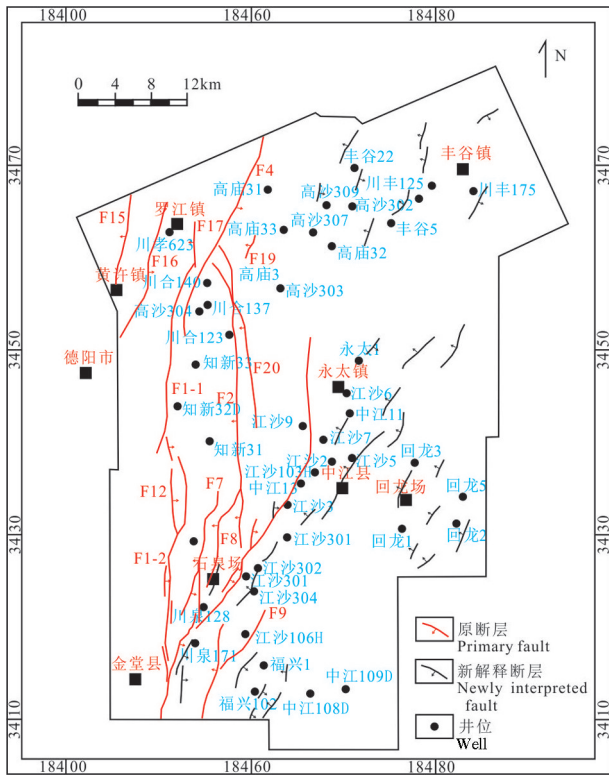


图3 川西拗陷东坡沙溪庙组主要断裂分布图
Fig.3 Main fracture profiles in Shaximiao Formation of Eastern Slope Area of Western Sichuan Depression

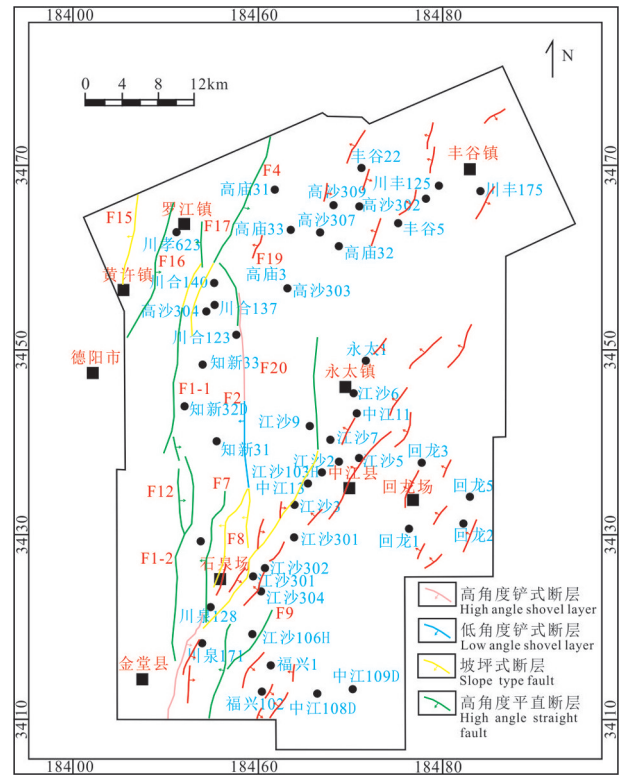


图4 川西拗陷东坡断裂形态分段图
Fig.4 Segment diagram of fracture pattern in Shaximiao Formation of Eastern Slope Area of Western Sichuan Depression

谷3井和丰谷5井。

4 断面形态对油气成藏的控制

工区主要含气区的分布于主要集中在高庙子、中江地区,知新场地区、回龙地区和南部福兴地区的F2、F3、F4、F6、F8和F9断层附近,这些断层均为多期活动断层,形成活跃于燕山晚期—喜山早期。研究区断裂主要有NE走向、NNE走向和近SN走向,平面延伸长度多为10~40 km,主要在上三叠统及其以上地层发育。断裂断距变化较大,从几十米到上千米不等,总体南部断距大、北部断距小。受雷口坡组滑脱层的影响,断裂多为上陡下缓的铲式断裂,此外还发育与高角度逆冲断裂有关的断裂样式。研究区断裂基本断裂样式可划分为:坡坪式断裂、高角度铲式断裂、低角度铲式断裂、高角度平直断裂(图4)。其中高角度铲式断裂规模较小、数量较多,分布在工区北部的高庙—丰谷、中部的中江—回龙以及南部的福兴一带;低角度铲式断裂工区仅一条,为F2中段;F4、F3北段、F8北段、F6、F9为

高角度铲式—高角度平直断裂(图5a、b);主要烃源断裂F3南段、F2南段、F8南段为坡坪式断裂(图5c)。

断面倾角越大、弯度越小,油气进入圈闭的分力越小,断裂延伸末端近距离成藏,充注程度较低;断裂断面倾角越小、越平缓,油气进入圈闭的分力越大,可顺断裂远距离多个圈闭成藏,充注程度较高。又通过对与铲式、高角度平直、坡坪式等不同断面形态的断裂相接触的河道砂体上油气运移的最远距离统计及累积产量统计(图6),表明顺河道油气横向运移距离最大的是铲式断裂,其次为高角度平直断裂,坡坪式断裂输导下的横向运移距离最短;坡坪式断裂的累积产量最高,其次为铲式断裂,高角度平直断裂的累积产量低;通过对不同断面形态的断裂对接的每条河道砂体上油气的平均日产量的统计(图7),坡坪式断裂控制的河道整体上平均日产气量高,而高角度平直断裂所对接的河道的平均日产气量相较于坡坪式断裂所对接的河道整

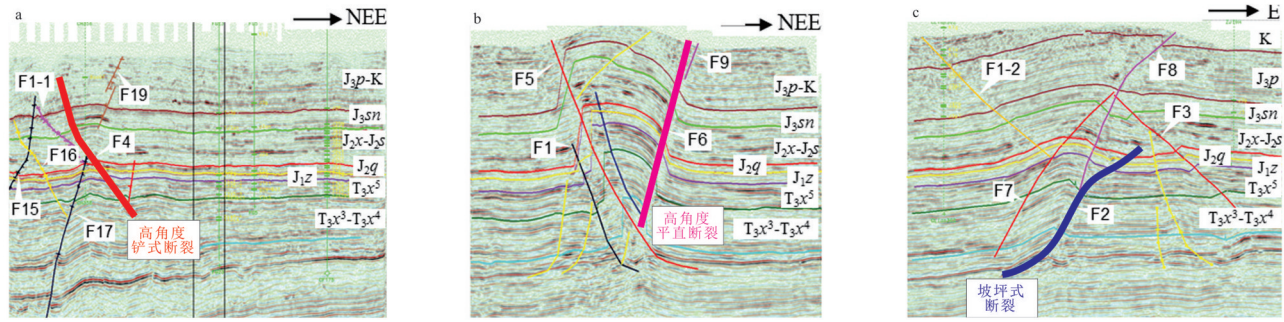


图5 川西坳陷东坡典型断裂样式图

a—高角度铲式断裂(合兴场段);b—高角度平直断裂(石泉场段);c—坡坪式断裂(知新场南段); T_3x^3 —上三叠统须家河组3段; T_3x^4 —上三叠统须家河组4段; T_3x^5 —上三叠统须家河组5段; J_2z —下侏罗统珍珠冲组; J_2q —中侏罗统千佛岩组; J_2x —中侏罗统新田沟组; J_2s —中侏罗统沙溪庙组; J_2sn —上侏罗统遂宁组; J_2p —上侏罗统蓬莱镇组;K—白垩系

Fig.5 Typical interpretation of fracture style in eastern slope area of Western Sichuan Depression

a—High angle shovel-fracture (Hexingchang); b—High angle straight fracture(Shiquanchang); c—Slope fracture(Zhixinchang); T_3x^3 —Upper Triassic Xujiahe Formation 3 member; T_3x^4 —Upper Triassic Xujiahe formation 4 member; T_3x^5 —Upper Triassic Xujiahe Formation 5 member; J_2z —Lower Jurassic Zhenzhuchong Formation; J_2q — Middle Jurassic Qianfuyan Formation; J_2x — Middle Jurassic Xintiangou Formation; J_2s — Middle Jurassic Shaximiao Formation; J_2sn —Upper Jurassic Suining Formation; J_2p —Upper Jurassic Penglaizhen Formation; K—Cretaceous

体产气量要低。说明坡坪式断裂所控制的河道油气充注程度高,有利于高效成藏(图8a),高角度平直—高角度铲式断裂所控制的河道油气充注程度相对较低,成藏效率低(图8c)。中—低角度铲式断裂介于二者之间(图8b)。

5 流体势差对油气运移的影响

受构造形态引起的势能变化控制,烃源岩天然气途径高势区(向斜区)向远距离砂体充注困难。根据勘探开发的实践表明,富气区分布在工区的5个局部构造上,即高庙子、中江、知新场、回龙、石泉场构造(图9)。沙溪庙组沉积以来构造格局总体上为继承性的演化发展,因此成藏期的构造格局与现今构造格局有继承性和相似性。天然气的运移距离受充注时期充注压力能够达到的最

大势能的控制,根据距离烃源断层较远的回龙和丰谷地区的对比,丰谷的气显示较差,回龙尚具有相对较好的气显示,两个构造之间的含气差异主要与烃源断层之间高程差异有关。天然气如果从F4断层或F2断层途径中间构造与高庙子构造之间的向斜高势区运移到丰谷构造需要克服的势能高程差可达到250 m,并且两构造之间近发育一些零散分布的高角度铲式断裂,不利于油气运移;而天然气从F6或F9断层途径福兴与石泉场之间的向斜运移至回龙地区需要克服的势能高程差最大为175 m,如果河道能够绕过回龙地区与石泉场之间的洼陷,这种势能高程差则能降低到50 m内。而从南部的烃源断层运移至丰谷构造要跨越与中江—回龙构造之间的向斜,势能高能差可高达300 m;因此从烃源断层为起点,天然气如果要向

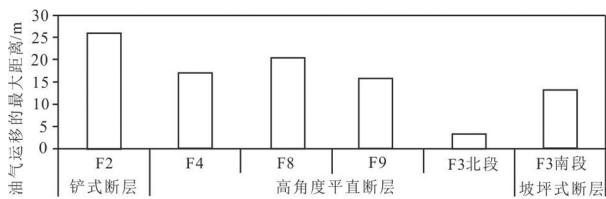
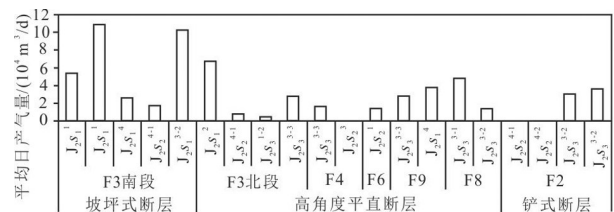


图6 与不同断面形态断裂相接的河道砂体油气运移的最大距离统计图

Fig.6 Statistical chart of the maximum distance of oil and gas migration of the channel connected with the morphological faults of different sections



J_2s^{3-1} 中三叠统沙溪庙组3段3-1小层
Middle Triassic Shaximiao Formation 3 section 3-1 sublayer

图7 与不同断面形态断裂相接的河道平均日产量统计图
Fig.7 Average daily production statistics of the channel connected with the morphological faults of different sections

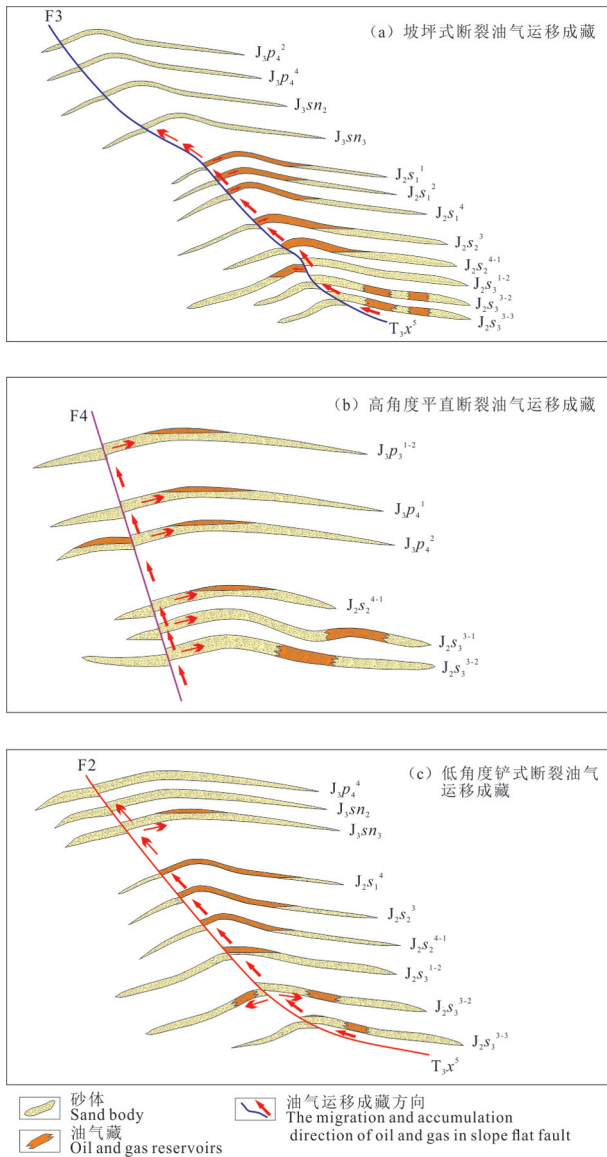


图8 不同断面形态断裂的成藏模式图
 a—F3南段坡坪式断裂侧向运移高效成藏；b—F4高角度平直断裂侧向运移中—低效成藏；c—F2中段低角度铲式断裂侧向运移中—高效成藏；
 T_3x^5 —上三叠统须家河组5段； J_3sn^1 、 J_3sn^2 —上侏罗统遂宁组3段、2段； $J_2s_3^{3-3}$ 、 $J_2s_3^{3-2}$ 、 $J_2s_3^{1-2}$ 、 $J_2s_2^{4-1}$ 、 $J_2s_2^3$ 、 $J_2s_1^4$ 、 $J_2s_1^1$ —中三叠统沙溪庙组3段3-3小层、3-2小层、1-2小层，2段4-1小层、3小层，1段4小层、1小层； $J_3p_4^4$ 、 $J_3p_4^2$ 、 $J_3p_3^1$ 、 $J_3p_3^{1-2}$ —上侏罗统蓬莱镇组4段4小层、4段2小层、4段1小层、3段1-2小层

Fig.8 Patterns of reservoir formation in different fracture configurations

a— High effect accumulation by Lateral migration through slope-fracture in south of F3; b— Low effect accumulation through Straight fracture at high Angle in F4; c— Middle-high effect accumulation by Lateral migration through shovel- fracture in middle of F2; T_3x^5 — Upper Triassic Xujiahe Formation 5 section; J_3sn^1 、 J_3sn^2 — Upper Jurassic Suining Formation 3 section and 2 section; $J_2s_3^{3-3}$ 、 $J_2s_3^{3-2}$ 、 $J_2s_3^{1-2}$ 、 $J_2s_2^{4-1}$ 、 $J_2s_2^3$ 、 $J_2s_1^4$ 、 $J_2s_1^1$ — Middle Triassic Shaximiao Formation 3 section 3-3 sublayer, 3-2 sublayer, 1-2 sublayer, and 2 section 4-1 sublayer, 3 sublayer, and 1 section 4 sublayer, 1 sublayer; $J_3p_4^4$ 、 $J_3p_4^2$ 、 $J_3p_3^1$ 、 $J_3p_3^{1-2}$ — Upper Jurassic Penglaizhen Formation 4 section 4 sublayer, 2 sublayer, 1 sublayer, and 3 section 1-2 sublayer

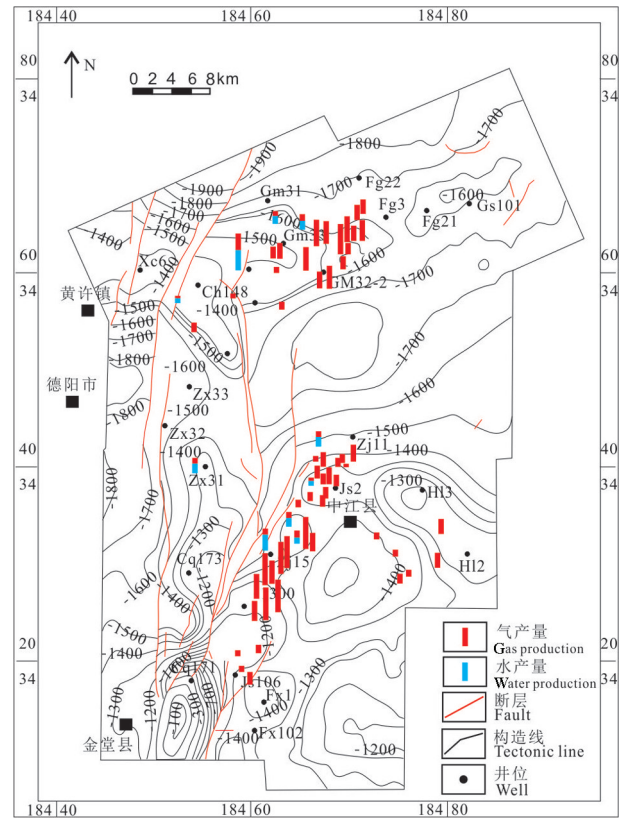


图9 川西坳陷东坡地区沙溪庙组气水分布与现今构造叠合图

Fig.9 The overlay between distribution of gas and water with present structure in Shaximiao Formation of eastern slope area of Western Sichuan Depression

丰谷构造运移不仅要经历20 km以上的远距离运移,且需要克服极大的势能差,从而导致丰谷地区油气显示极差。

6 断裂夹持区内油气分布规律

断裂夹持区是指在成藏期受构造应力作用下被一定规模断裂带切割所夹持的地质块体。研究区的断裂夹持区主要分布在构造较高的中部—西南部的知新场—石泉场、在F1(F1-1, F1-2)与F2(F8, F19)之间, F2(F8)与F3之间的交汇区。成藏过程受到断裂活动派生的大量裂缝的影响(表1),虽然夹持区所钻探的井普遍含水,产水量最大的知新33井日产水达28 m³/d,但也同时测试产气2.5716×10³ m³/d,最高的隆兴1井获得了5.538×10³ m³/d的测试产量。这表明夹持区的两侧断层的输导油气的能力是有效的,根据研究,相对较窄的断裂夹持区内天然气富集

表1 断层夹持区内钻井测试产量

Table1 Well test production in Fault entrapment area

井名	层位	夹持区类型	日产气/(10 ³ m ³ /d)	日产水/(m ³ /d)
川合140	J ₂ ³	垒式	0.0155	4.04
知新31	J ₂ ³	垒式	2.425	7.2
知新32D	J ₃ ³⁻¹	垒式	0.1059	0
知新32D	J ₂ ³	垒式	0.0087	2.25
高沙304	J ₃ ³⁻²	垒式	0.0558	5.46
知新33	J ₃ ³⁻²	垒式	2.5716	28
川合111	J ₂ ³	垒式	0.1775	0
高沙304	J ₃ ³⁻³	垒式	0.0558	5.46
中江105	J ₃ ³⁻²	堑式	0.2531	0
隆兴1	J ₃ ²	堑式	5.538	0

弱,而较宽的断裂夹持区中间非断裂破坏作用的区域天然气富集相对高,裂缝的发育程度与天然气富集呈反比关系。

6.1 “垒式”夹持区

“垒式”夹持区指F1(F1-1, F1-2)与F2(F8, F19)之间的夹持区,“垒式”夹持区分为知新场南段和北段,发育向西逆冲的F1-2段、向SEE逆冲的F2南段(NNE走向段)。F2(或F7)该段发育程度高,二者向下断入雷口坡组滑脱层,向上均断入遂宁组,共同组成铲式对冲样式。在两组铲式对

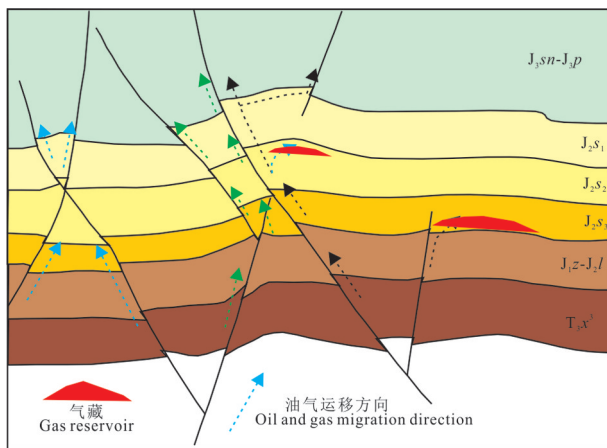


图10 断裂网络区油气发散式充注砂体模式(示意图)

T_{3x}³—上三叠统须家河组3段;J_{2s}—中侏罗统沙溪庙组1段;J_{3sn}-J_{3p}—上侏罗统遂宁组—蓬莱镇组;J_{1z}-J_{1l}—下侏罗统珍珠冲组—中侏罗统凉高山组

Fig.10 Oil and gas spread filling sand body model in Fracture network region(Schematic diagram)

T_{3x}³-Upper Triassic Xujiahe Formation 3 member; J_{1z}-J_{1l}- Lower Jurassic Zhenzhuchong Formation- Lianggaoshan Formation of Middle Jurassic;J_{2s}-Middle Jurassic Member 1 of Shaximiao Formation; J_{3sn}-J_{3p}-Upper jurassic Suining-Penglaizhen Formation;

冲断层的作用下,“垒式”夹持区的构造幅度可达300 m。夹持区越靠近南部的石泉场和北部合兴场越窄,越易形成断裂网络区(图10),造成供烃方向分散,不利于油气成藏。例如,靠近合兴场断层网络区的川合140,高沙304、川合111等井的测试产气量均较低。日产超过2×10³ m³/d较高产的知新33井和知新31井则均处于夹持区南北两端的中部,夹持区宽度最大处,宽度约为8 km。纵向上而言,越靠沙溪庙组上部层位的油气成藏条件越好。由于“垒式”夹持区形成的背斜构造在挤压应力下造成背斜核部的下部地层处于应力集中区,比上部地层更易产生派生裂缝。通过对全区不同层位不同砂组中裂缝发育条数的对比,可见在J_{2s}³段中的裂缝发育条数明显多于其他层位。从而,间接证实了这种对冲作用形成背斜具有下部层位裂缝更加发育的特征。基于以上分析,建立了夹持区I的油气富集模式(图11)。

6.2 “堑式”夹持区

“堑式”夹持区发育在F2断层与F3断层之间。F2(或F8)和F3在知新场段发育程度高,二者向下断入雷口坡组滑脱层,向上均断入遂宁组,共同组

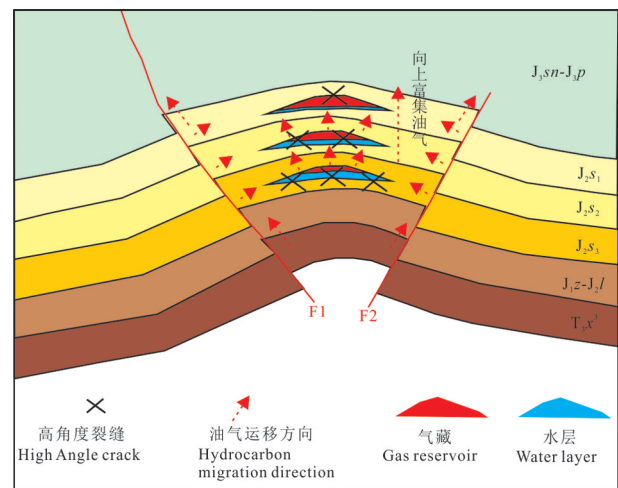


图11 F1断层与F2断层之间夹持区油气富集模式

T_{3x}³—上三叠统须家河组3段;J_{1z}-J_{1l}—下侏罗统珍珠冲组—中侏罗统凉高山组;J_{2s}—中侏罗统沙溪庙组1段;J_{3sn}-J_{3p}—上侏罗统遂宁组—蓬莱镇组

Fig.11 Oil and gas enrichment model of Fault entrapment area between F1 and F2

T_{3x}³-Upper Triassic Xujiahe Formation 3 member; J_{1z}-J_{1l}- Lower Jurassic Zhenzhuchong Formation - Lianggaoshan Formation of Middle Jurassic;J_{2s}-Middle Jurassic 1 member of Shaximiao Formation; J_{3sn}-J_{3p}-upper jurassic Suining -Penglaizhen Formation;

成铲式对冲样式,F3断距可达845 m。在知新场北段发育向东逆冲的F2北段(SN走向段)、向西逆冲的F3北段(SN走向段)。该段中F3发育变弱,向下断入须5段,向上断入蓬莱镇组;F2为主断裂,断距可达497 m。F3断层与F2断层的夹持区平面上具有向北开口的形态,从石泉场两条断层交叉点开始向北最远逐渐变宽至6 km。F3断距和断面形态分为南北两段变化。F3南段为坡坪式断层,北段为高角度平直断层,坡坪式断层具有更好的油气输导能力。F3断层的北段的断距明显小于南段。另外,F2的分段性也表明在F2的南段为低角度铲式断层,北段是高角度铲式断层,因此,也具有南段输导能力更好的特征。从油气充注方面看,“堑式”夹持区中的地层从成藏期以来均具有东高西低的特征,油气的理论输导断层应为F2,从西向东充注。因此,从整体输导能力上而言,“堑式”夹持区的南段均具有较好的成藏条件。从成藏层位来看,F2和F3对冲作用形成的背斜具有下宽上窄的特点。这种应力模式下会造成上部地层的挤压变形量更强,从而造

成更多的破裂,即形成更多的裂缝。这种夹持区的油气成藏模式示意图见图12。

7 南北断裂系统油气富集的差异性

不同构造期的断裂活动造成的工区南北的成藏过程出现了差异性。中西部烃源断裂体系呈现自南向北活动发育特征,F2、F3、F4控藏断裂活跃于排烃高峰期,为工区高庙子、中江、知新场构造带的气藏形成提供了良好优势通道;而南段的F6、F9发育时间更晚,为福兴和回龙地区提供了良好通道。依据包裹体对成藏时间的分析,高庙—丰谷地区 J_3^{3-2} 油气成藏时间主要集中在135~128 Ma和105~68 Ma;由西往东油气成藏时间有变晚的趋势;中江—回龙地区 J_2^2 油气成藏时间为141~135 Ma; J_2^1 油气成藏时间为100~88 Ma; J_1^4 成藏时间为73~68 Ma;该结果也同时表明了工区的油气成藏具有由下往上、由南往北成藏时间有变晚的趋势,与断裂活动演化特征一致。总体来说,断裂的发育特征导致了南北油气输导体系存在明显差异,具有南部优于北部的特征。目前,根据研究工区内须、五段和下侏罗统富有机质泥页岩厚度的统计,烃源岩的厚度从西南至东北依次减薄,即石泉场—知新场南段(480~510 m)、中江—回龙—合兴场(390~470 m)、高庙(300~380 m)、丰谷(270~290 m)。丰谷地区由于靠近工区东部远离烃源大断裂,普遍克服流体势差大、以高角度平直断裂为主、成藏难、烃源岩较薄,基本无潜力,高庙子地区探明的富气河道均分布在 J_2^3 段和少量 J_2^2 段中,但在这些砂体中的天然气显示均较差;南部断裂具有克服流体势差小、以坡坪式断裂和铲式断裂为主、烃源岩厚度大等特征,以中江地区为代表的富气层位多,除 J_2^2 段稍差,从 J_1^1 至 J_3^{3-3} 层均存在高产的气层;在中部知新场—西南部石泉场地区,烃源岩厚度较大,虽然受大断裂控制发育的夹持区,在较窄的两端裂缝网络发育,很难成藏,但较宽的中部夹持区可形成“垒式”和“堑式”两类低裂缝区,若由坡坪式断面和低角度铲状断裂夹持则可形成相对较好的油气富集带,具有一定的勘探潜力。由于研究区砂体发育良好,成藏的关键因素仍然受断裂形态特征和输导能力的控制。因此,南北断裂体系差异造成的成藏富集差异是形成北部富气程度相对较差的主要原因。

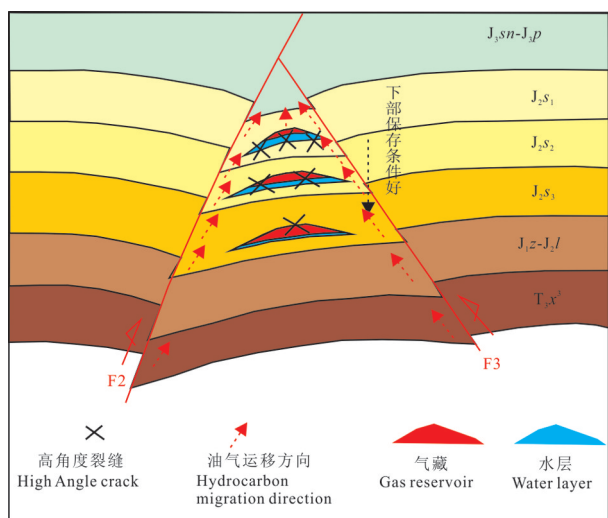


图12 F2断层与F3断层之间夹持区油气富集模式
 T_3x^3 —上三叠统须家河组3段; $J_{1z}-J_{1l}$ —下侏罗统珍珠冲组—中侏罗统凉高山组; J_{2s} —中侏罗统沙溪庙组1段; $J_{3sn}-J_{3p}$ —上侏罗统遂宁组—蓬莱镇组;

Fig.12 Oil and gas enrichment model of Fault entrapment area between F2 and F3

T_3x^3 —Upper Triassic Xujiahe Formation 3 member; $J_{1z}-J_{1l}$ —Lower Jurassic Zhenzhuchong Formation—Middle Jurassic Lianggaoshan Formation; J_{2s} —Middle Jurassic 1 member of Shaximiao Formation; $J_{3sn}-J_{3p}$ —Upper Jurassic Suining—Penglaizhen Formation

8 结 论

(1)断裂结构及形态对油气富集起明显的控制作用。坡坪式断裂输导下的横向运移距离最短,所控制的河道油气充注程度高,有利于高效成藏;低角度铲式断裂次之;高角度平直—铲式断裂不利于高效成藏。现今构造与烃源断层之间流体势差有关,天然气运移需克服的势能高程差越小,则含气程度越高。

(2)断裂夹持区断裂系统,在断裂系统作用范围内天然气易于逸散,但同时也是天然气疏导的有利路径,该区油气富集区应该是断裂夹持区内断裂作用带范围之外的砂体才有天然气富集的可能,因此相对较窄的断裂夹持区内天然气富集弱,而较宽的断裂夹持区中间非断裂破坏作用的区域天然气富集相对高。

References

- Chen Dongxia, Wang Lei, Pang Xiongqi, Guo Yingchun, Luo Xiao, Xie Mingxian, Wang Congwei. 2013. The controlling of fault on the tight sandstone gas migration and accumulation in West Sichuan Depression[J]. *Geoscience*, 27(5): 1137–1146(in Chinese with English abstract)
- Childs C S, Moriya S, Morewood N.2009. Calibrating fault seal using hydrocarbon migration model of the Osebergsyd area, Viking graben[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 26: 764–774
- Leng Jigao, Li Shubing, Yang Changping.2011. Determination of the time of gas accumulation in the Xujiache Formation of Xiaoquan–Fenggu structural belt western Sichuan depression through fluid inclusion analysis[J]. *Natural Gas Industry*, 3(18): 38–42(in Chinese with English abstract).
- Li Guoxin, Xu Shenglin, Chen Hongde. 2012. Sedimentary facies and sand body distribution of the Middle Jurassic Upper Shaximiao Formation in the middle segment of western Sichuan depression[J]. *Geology in China*, 39(1): 96–102(in Chinese with English abstract).
- Li Zhongping, Ran Lingbo, Li Huaji, Liu Feng, Zhou Wenya, Xiang Yu. 2016. Fault features and enrichment laws of narrow–channel distal tight sandstone gas reservoirs: A case study of the Jurassic Shaximiao Fm gas reservoir in the Zhongjiang Gas Field, Sichuan Basin [J]. *Natural Gas Industry*, 36(7): 1–7(in Chinese with English abstract)
- Liu Shugen, Luo Zhili, Zhao Xikui, Xu Guosheng, Wang Guozhi, Zhang Chengjiang. 2003. Coupling relationships of sedimentary basin–orogenic belt system sand their dynamic models in West China—A case study of the Longmenshan orogenic belt in West Sichuan foreland basin system[J]. *Geological Journal*, 77(2): 177–186(in Chinese with English abstract)
- Lu Zhengxiang, Ye Sujuan, Qing Chun, Yang Kaizheng. 2000. Characteristics and evaluation of the upper reservoir of Shaximiao Formation in Xiaoquan gas field in West Sichuan[J]. *Natural Gas Industry*,5(20):15–17(in Chinese with English abstract).
- Luo Xiaoquan, Chen Lan.2004. Relationship between distribution characteristic of faults fractures and oil–gas reservoirs in west Sichuan[J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*,1(11):16–19(in Chinese with English abstract).
- Nan Hongli, Cai Limei, Ye Sujuan, Yan Lini, Zhang Shihua, Yang Yingtao. 2018. Coupling relationship between reservoir densification and natural gas accumulation in Shaximiao Formation in Western Sichuan Depression[J].*Xinjiang Petroleum Geology*,39(4):439–445 (in Chinese with English abstract)
- Qian Lijun, Zhang Chenggong, Chen Hongde. 2013. Jurassic sedimentary transformation event recorded by detrital components in the middle part of western Sichuan[J]. *Geology in China*,40(2): 517–526(in Chinese with English abstract).
- Tang Dahai, Chen Hongbin, Xie Jirong, Luo Yuanping, Cao Shichang. 2005. Reservoir forming conditions of Jurassic Shaximiao Formation, West Sichuan Basin[J]. *Gas Exploration & Development*, 3(28):14–19(in Chinese with English abstract).
- Wang Jinqi. 2001. Early accumulation and late seal—the basic character of gas reservoirs in west Sichuan depression[J]. *Natural Gas Industry*,1(21):5–12(in Chinese with English abstract).
- Wang Shuaicheng, Wang Duoyi, Chen Min, Liu Dengli, Chen Wei, Cheng Liu. 2010. Natural gas reservoir–formation condition of Shaximiao Formation in mid–band of western Sichuan depression[J]. *Offshore Oil*, 3(30):42–46(in Chinese with English abstract).
- Wang Wei, Xu Guosheng, Cui Jianwei, Liao Yisha. 2007. Gas reservoirs forming character in Shaximiao Formation, Luodai gas field, Chuanxi depression[J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*,5(14):39–41(in Chinese with English abstract).
- Xu Min, Liu Jian, Lin Xiaoyun, Xiong Shan, Niu Binli. 2018. Evolution model for the gas reservoirs in the Shaximiao Formation eastern slope of the Western Sichuan Depression[J]. *Geoscience*, 32(5): 953–962(in Chinese with English abstract)
- Yang Fan, Sun Zhun, Zhao Shuang. 2011. Accumulation conditions and controlling factors of Shaximiao Formation, Huilong area, western Sichuan depression[J]. *Experimental Petroleum Geology*, 6(33):569–573(in Chinese with English abstract).
- Yang Keming, Ye Jun, Lu Zhengxiang. 2005. Chronological characteristics of Upper Triassic reservoirs in western Sichuan depression[J]. *Oil & Gas Geology*, 2(26): 208–213(in Chinese with English abstract).
- Ye Jun, Zhu Tong, Zhao Zejiang. 1998. A study of gas reservoirs of Upper Shaximiao Formation (J_{3s}) and its origin in Xinchang gas Field, West Sichuan[J]. *Experimental Petroleum Geology*, 4(20):

- 332-338(in Chinese with English abstract).
- Ye Sujuan, Li Rong, Zhang Shihua. 2014. Chemical characteristics of Jurassic formation water and its relationship with hydrocarbon migration and accumulation in middle part of western Sichuan Depression[J]. *Experimental Petroleum Geology*, 36(4): 487-489 (in Chinese with English abstract).
- Yue Dongming, Wang Xin. 1999. Simple analysis on the effectiveness of the Middle and Late Yanshanian tectonic traps in the west Sichuan depression[J]. *Experimental Petroleum Geology*, 2(2):128-131(in Chinese with English abstract).
- Zeng Yan, Li Huaji, Zhou Wenya, Chen Jun, Wu Dongsheng. 2017. High-yield enrichment laws of Shaximiao Formation tight sandstone gas reservoir of complex "narrow" channel in Zhongjiang Gas Field, in the eastern slope of West Sichuan Depression[J]. *Gas Exploration & Development*, 40(4): 1-8(in Chinese with English abstract)
- Zheng Rongcai, Peng Jun, Gao Hongcan, Ke Guangming. 2003. Analysis of fracture active stages, heat fluid nature and the process of forming reservoir in western Sichuan sag[J]. *Journal of Chengdu University of Technology*, 6(30):551-557 (in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 陈冬霞, 王雷, 庞雄奇, 郭迎春, 罗潇, 谢明贤, 王从玮. 2013. 断裂对川西坳陷致密砂岩气藏天然气运聚的控制作用[J]. *现代地质*, 27(5):1137-1146.
- 冷济高, 李书兵, 杨长清. 2011. 利用流体包裹体确定川西坳陷孝泉—丰谷构造带须家河组天然气成藏期[J]. *天然气工业*, 3(18):38-42.
- 李国新, 徐胜林, 陈洪德. 2012. 川西坳陷中段中侏罗统上沙溪庙组层序岩相古地理及砂体展布特征[J]. *中国地质*, 39(1):96-102
- 李忠平, 冉令波, 黎华继, 刘凤, 周文雅, 向宇. 2016. 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*, 36(7): 1-7.
- 刘树根, 罗志立, 赵锡奎, 徐国盛, 王国芝, 张成江. 2003. 中国西部盆山系统的耦合关系及其动力学模式——以龙门山造山带—川西前陆盆地系统为例[J]. *地质学报*, 77(2): 177-186.
- 罗啸泉, 陈兰. 2004. 川西坳陷形成演化及其与油气的关系[J]. *油气地质与采收率*, 1(11): 16-19
- 吕正祥, 叶素娟, 卿淳, 杨开珍. 2000. 川西孝泉气田沙溪庙组上部储层特征及评价[J]. *天然气工业*, 5(20): 15-17.
- 南红丽, 蔡李梅, 叶素娟, 阎丽妮, 张世华, 杨映涛. 2018. 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*, 39(4): 439-445.
- 钱利军, 张成弓, 陈洪德. 2013. 川西中段地区砂岩碎屑组分变化记录的沉积转型事件[J]. *中国地质*, 40(2): 517-526.
- 唐大海, 陈洪斌, 谢继荣, 罗远平, 曹世昌. 2005. 四川盆地西部侏罗系沙溪庙组气藏成藏条件[J]. *天然气勘探与开发*, 3(28): 14-19.
- 王金琪. 2001. 早聚晚藏——川西坳陷天然气基本特征[J]. *天然气工业*, 1(21): 5-12.
- 王帅成, 王多义, 陈敏, 刘登丽, 陈伟, 程留. 2010. 川西坳陷中段沙溪庙组天然气成藏条件分析[J]. *海洋石油*, 3(30): 42-46.
- 王威, 徐国盛, 崔建伟, 廖义沙. 2007. 川西坳陷洛带气田沙溪庙组天然气成藏规律[J]. *油气地质与采收率*, 5(14): 39-41.
- 徐敏, 刘建, 林小云, 熊山, 牛斌莉. 2018. 川西坳陷东坡沙溪庙组气藏成藏演化模式[J]. *现代地质*, 32(5): 953-962.
- 杨帆, 孙准, 赵爽. 2011. 川西坳陷回龙地区沙溪庙组成藏条件及主控因素分析[J]. *石油实验地质*. 6(33): 569-573.
- 杨克明, 叶军, 吕正祥. 2005. 川西坳陷上三叠统成藏年代学特征[J]. *石油与天然气地质*, 2(26): 208-213.
- 叶军, 朱彤, 赵泽江. 1998. 川西新场气田上沙溪庙组(J₂S)气藏储集体特征及形成机理研究[J]. *石油实验地质*, 4(20): 332-338.
- 叶素娟, 李嵘, 张世华. 2014. 川西坳陷中段侏罗系次生气藏地层水化学特征及与油气运聚关系[J]. *石油实验地质*, 36(4): 487-489.
- 岳东明, 王信. 1999. 浅析川西坳陷燕山中、晚期构造圈闭的有效性[J]. *石油实验地质*, 2(2): 128-131.
- 曾焱, 黎华继, 周文雅, 陈俊, 吴东胜. 2017. 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*, 40(4):1-8.
- 郑荣才, 彭军, 高红灿, 柯光明. 2003. 川西坳陷断裂活动期次、热流体性质和油气成藏过程分析[J]. *成都理工大学学报*, 6(30): 551-557.