

# 川西坳陷中段侏罗系气藏特征与富集主控因素

陈迎宾, 王彦青, 胡 焯

(中国石化石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214126)

**摘要:**川西坳陷中段侏罗系发育大面积低丰度岩性、构造—岩性气藏。气藏普遍具有多层叠置、局部富集高产、无明显气水边界、低温、超压的特征。结合各构造单元侏罗系具体成藏条件研究认为,侏罗系整体为“下生上储”式成藏组合,天然气主要来源于下伏须家河组四、五段烃源岩。因此,具备良好的沟通源、储层垂向运移输导体系是天然气富集成藏的关键因素。侏罗系各组段砂岩储层物性纵、横向变化较大,受渗透率级差影响,相对优质储层的发育程度是天然气富集高产的主要控制因素。龙门山前及龙泉山两侧发育大量直通地表的断裂,不仅直接破坏了断裂带附近的盖层条件,同时破坏了与之相接的斜坡区侏罗系砂体上倾方向的封闭性,有效的圈闭是侏罗系富集高产的重要因素。

**关键词:**气藏特征;气藏保存;输导体系;侏罗系;川西坳陷;四川盆地

中图分类号:TE122.3

文献标志码:A

## Characteristics and main factors controlling the Jurassic gas reservoirs in the middle section of the Western Sichuan Depression

Chen Yingbin, Wang Yanqing, Hu Ye

(Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214126, China)

**Abstract:** In the middle section of the Western Sichuan Depression, lithologic and tectonic-lithologic gas reservoirs are widespread in the Jurassic. These reservoirs feature multiple layers, local enrichment, no obvious gas/water boundary, low temperature and overpressure. Accumulation conditions in the Jurassic indicate that gases were mainly sourced from the Lower Jurassic and preserved in the Upper Jurassic. The fourth and fifth members of the Xujiahe Formation provided important source rocks for natural gases. Vertical pathways connections between source rocks and reservoirs were the factors controlling natural gas accumulations. The physical properties of the Jurassic sandstones varied both horizontally and vertically. The development of favorable reservoirs also influenced the enrichment of natural gases. A large amount of vertical fractures which extended directly to the earth surface were found in the front of the Longmen Mountain and on both sides of the Longquan Mountain. They destroyed the neighboring cap formations, and damaged the sealing capacity of the Jurassic sand bodies in the adjacent slope area. Effective traps were necessary for natural gas enrichment in Jurassic.

**Key words:** gas reservoir characteristics; gas preservation; migration system; Jurassic; Western Sichuan Depression; Sichuan Basin

川西坳陷中段指龙门山推覆构造带以东、川中平缓断褶带以西的四川盆地西部坳陷中部地区,是四川盆地主要的天然气产区之一。近年来,该区侏罗系天然气勘探取得重大进展,相继发现了一批储量丰富的气藏,并展现出广阔的勘探前景<sup>[1-2]</sup>(图1)。本文系统总结了该区气藏特征,分析富集主控因素,为该区侏罗系天然气下一步高效勘探及开发提供参考。

## 1 基本地质特征

川西坳陷中段按现今构造格局可划分为大邑—安县构造带、梓潼凹陷、新场构造带、成都凹陷、知新场构造带及中江—回龙构造带6个次级构造单元(图1)。各构造单元侏罗系均非常发育,地层总厚度可达2 000~4 400 m。受燕山运动早期川西坳陷缓慢隆升影响<sup>[3]</sup>,侏罗纪整体经历了一个

收稿日期:2014-07-30;修订日期:2015-08-03。

作者简介:陈迎宾(1975—),男,博士,高级工程师,从事油气地质综合研究。E-mail:chenyb.syky@sinopec.com。

基金项目:国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”之“中西部四大盆地构造演化对碎屑岩层系成藏富集的控制作用”专题(2011ZX05002-006-001)资助。

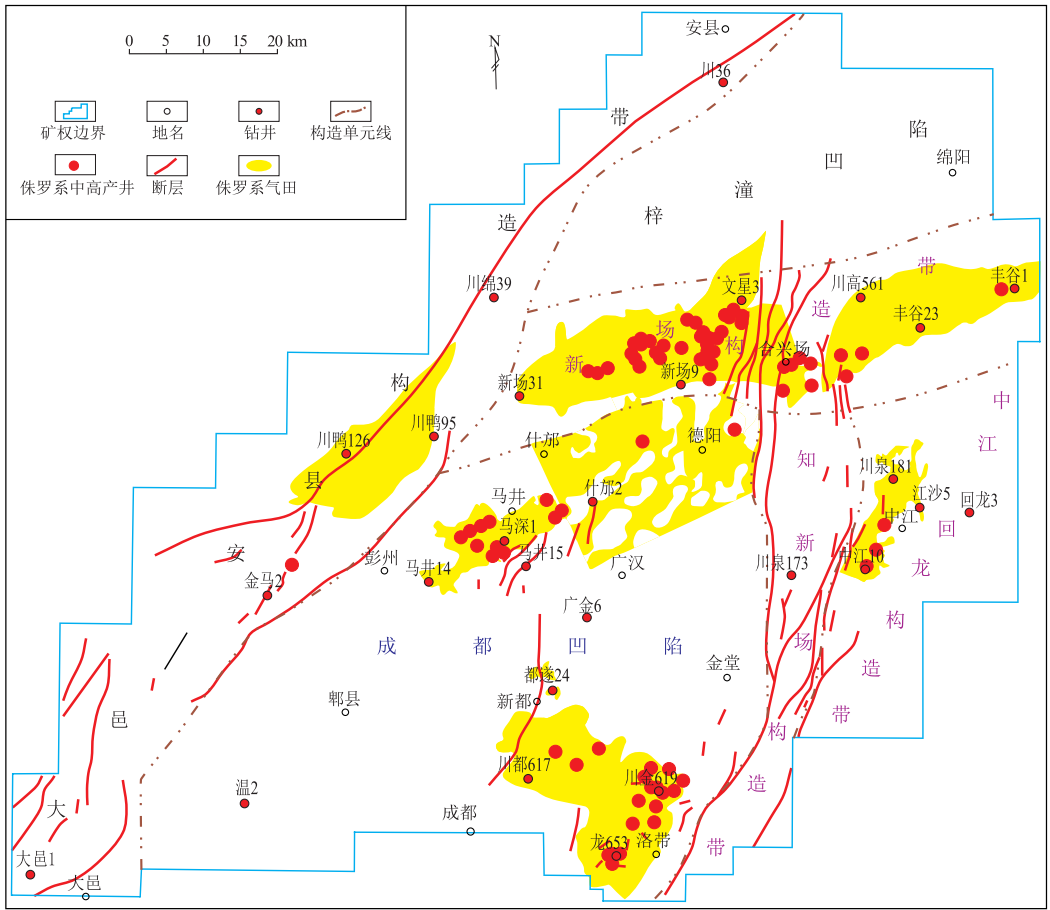


图 1 川西坳陷中段构造单元划分与侏罗系气田及高产井分布

Fig.1 Tectonic units, Jurassic gas fields and high-yielding wells in the middle section of the Western Sichuan Depression

水退旋回,形成了来自于龙门山及大巴山、米仓山物源的冲积扇—河流—三角洲—滨浅湖沉积体系。大邑—安县构造带以冲积扇—河流相沉积为主,广泛发育砾岩、粗砂岩等粗碎屑岩。其他地区以三角洲平原沉积为主。多期发育的三角洲平原分支河道纵向叠置,横向连片,侏罗系各组段碎屑岩储层均十分发育<sup>[4-5]</sup>。除中侏罗统沙溪庙组、上侏罗统蓬莱镇组储层物性相对较好,为中、低孔—中、低渗储层外,其他各组段储层物性较差,均为低孔、特低孔—低渗、特低渗储层。

川西坳陷中段侏罗系天然气主要来源于下伏的上三叠统须家河组四、五段烃源岩<sup>[6-8]</sup>。梓潼凹陷、成都凹陷东斜坡、知新场构造带及中江—回龙构造带发育下侏罗统自流井组湖相烃源岩,可为这些地区侏罗系成藏提供部分天然气来源。白垩系、上侏罗统蓬莱镇组、遂宁组部分岩性段发育厚度较大、分布广泛的泥岩,是该区侏罗系气藏的区域盖层。其他各组段中发育的三角洲平原分支河道间湾等可作为良好的直接盖层。根据构造变形及断裂发育程度,除大邑—安县构造带以及知新场构造

带局部地区由于侏罗系或断裂出露地表导致油气保存条件相对较差外,其余大部分地区均具有良好的保存条件。

## 2 气藏特征

川西坳陷中段侏罗系勘探程度相对较高。钻至侏罗系的各类探井有 1 000 余口,针对侏罗系气藏的专层井也有 500 余口,分布于各个构造单元。

### 2.1 气藏类型及分布

须五段烃源岩在川西坳陷中段广泛分布<sup>[9]</sup>,加之侏罗系各个组段均有不同程度的储层和不同类型的圈闭发育,使得侏罗系纵向上含气层系众多,平面上分布范围广泛。纵向上,不仅下侏罗统自流井组—上侏罗统蓬莱镇组均获得了工业气流,各个组段中也发育多个纵向叠置的气层。如什那气田蓬莱镇组气藏在 4 个岩性段中有 14 个砂组获得了工业气流;新场上沙溪庙组气藏纵向上由 7 套含气砂体叠置而成。平面上,目前除梓潼凹陷外,各个构造单元均有侏罗系气藏或工业气流井。

根据对 58 个现有侏罗系气藏圈闭及储备圈闭

类型统计表明,川西坳陷中段侏罗系气藏主要为岩性圈闭,其次为构造—岩性圈闭。其中,成都凹陷、梓潼凹陷弱变形区,以三角洲平原分支河道控制的点砂坝、河心滩砂岩透镜体型及河道砂体上倾尖灭型岩性圈闭为主;新场构造带、中江—回龙及知新场构造带等强变形区,则以河道砂体、自流井组介屑滩与构造配置形成的构造—岩性圈闭为主。

## 2.2 气藏规模

川西坳陷中段目前探明的中、上侏罗统气藏都是由多个含气砂体交错叠置而成。这些含气砂体受三角洲平原分支河道控制,沿河道中心呈不连续分布,具有面积小、气柱高度小、数量多的特征。由于纵向普遍发育多个含气层段,整个气藏叠合面积则很大。如马井气田蓬莱镇组气藏纵向发育 11 个气层,每个气层均发育十几—数十个呈北东—南西向条带状、透镜状展布的小规模含气砂体,单含气砂体宽 0.2~5.0 km,厚度一般 5~20 m,单气层含气面积 5.8~47.7 km<sup>2</sup>,已提交探明储量叠加面积则达到 126.18 km<sup>2</sup>。新场蓬莱镇组气藏单含气砂体厚度 2~31 m,平均厚度 22 m,单气层含气面积 8.66~47.8 km<sup>2</sup>,已提交探明储量叠加面积达 294.69 km<sup>2</sup>。

## 2.3 气藏温压特征

勘探开发结果表明,川西坳陷中段侏罗系气藏以产气为主,产水量少。由于三角洲平原分支河道砂体横向变化快,纵向上多期叠置,每个气藏纵、横向均发育多个具独立渗流单元的含气砂体,使得侏罗系气藏整体表现为气水分布不受宏观构造控制,无明显气水边界的特征。但对于同一渗流单元而言,低部位储层的含水饱和度相对较高,相对高部位富气,体现了局部构造对天然气富集仍然具有一定的控制作用。

川西坳陷中段侏罗系气藏温度普遍较低,平均气藏温度仅为 49.2 ℃,最低的洛带蓬一段气藏温度只有 25.5 ℃,最高的新场千佛崖组气藏温度为 76 ℃。气藏压力则差异非常大,如新场地区沙溪庙组和千佛崖组的压力超过 50 MPa,而洛带蓬莱镇组一、二段气藏的压力仅为 5.4 MPa 和 6.7 MPa。测试表明,新场、合兴场、中江、金马和马井等大多地区侏罗系普遍为超压气藏,地层压力 8.92~54.67 MPa,压力系数 1.34~2.05。仅新都和洛带地区侏罗系为常压气藏,地层压力 5.41~21.39 MPa,压力系数 0.93~1.23。侏罗系气藏总体表现为普遍超压,局部常压的特点。

## 3 天然气富集主控因素

明确气藏发育特征,了解天然气富集主控因

素,在低丰度区找到相对高产富集区块是该区高效勘探开发的重要研究内容。在上述气藏发育特征总结分析的基础上,结合各构造单元具体成藏条件认为,良好的烃源断裂、相对高孔、渗的储层及有效的圈闭是控制川西坳陷中段侏罗系天然气富集高产的主要因素。

### 3.1 输导体系

川西坳陷中段除东坡局部地区发育下侏罗统自流井组烃源岩外,其他地区侏罗系基本无供烃条件,侏罗系整体为“下生上储”的成藏组合,天然气主要来源于下伏的须家河组四、五段烃源岩。因此,具备良好的沟通源、储的垂向运移输导体系是侏罗系天然气富集成藏的关键因素。

研究表明,川西坳陷中段天然气垂向运移主要有 2 种方式:(1)天然气沿须四、五段上覆输导层以扩散的方式在源储压差及浮力作用下向上运移并在适合的侏罗系圈闭中聚集成藏。但由于侏罗系发育多期三角洲平原沉积,纵向上泥岩隔层数量众多,横向上储层物性变化快,运移上来的天然气不能长距离侧向运移,导致该种运移方式一方面由于供烃量少而不能聚集成藏,另一方面由于供烃不集中而造成侏罗系普遍含气但不能形成局部富集<sup>[10]</sup>。(2)天然气沿断裂以渗流的方式在源储压差、浮力及构造应力作用下向上运移并在就近的圈闭和储集体中富集成藏。川西坳陷的断层比较平直,活动期断层渗透性一般比输导层大许多倍,同时断层面的倾角一般比输导层的倾角大,浮力对油气在断层中运移的作用比在输导层中运移的作用要大。因此,与输导层相比,开启的断层是油气优先选择的垂向运移通道<sup>[11]</sup>。具体来讲,早白垩世中晚期—晚白垩世末期,须四、五段烃源岩大量生、排烃,由于生烃增压,源储间压差增大,此时期,受燕山晚期构造运动影响,形成了沟通烃源岩的断裂,在源储压差及浮力作用下,天然气以游离相、水溶相等方式快速上涌至侏罗系,并在相邻的物性相对较好的构造—岩性或岩性圈闭中聚集成藏(图 2)。这一方式供烃量大且相对集中,易形成天然气的局部富集。如什邡地区的什邡 50 井、18 井、33 井,处于相同的构造背景,储层段岩性、物性也基本一致,但由于什邡 50 井、33 井发育烃源断裂而形成了局部富集高产,而什邡 18 井由于供烃效率差未获得高产,反映出烃源断裂对侏罗系气藏局部富集高产具有关键的控制作用(图 3)。坳陷内其他侏罗系气藏也具有类似特征,各层段高产井及富集区基本均位于烃源断层附近(图 1)。

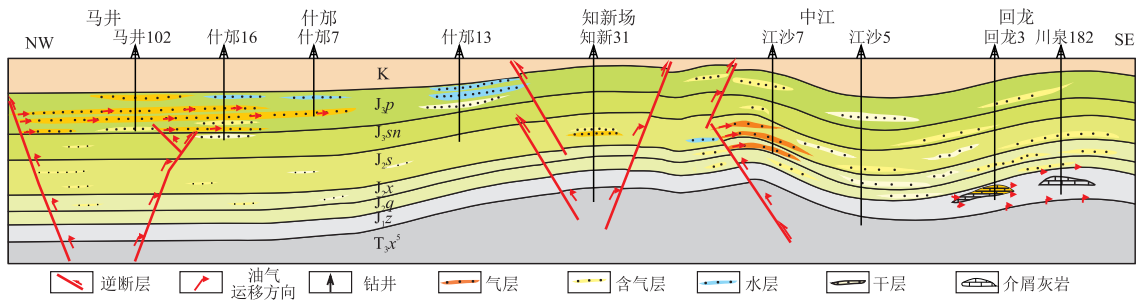


图 2 川西坳陷中段侏罗系气藏天然气运移模式

Fig.2 Migration pattern of natural gases in Jurassic reservoirs in the middle section of the Western Sichuan Depression

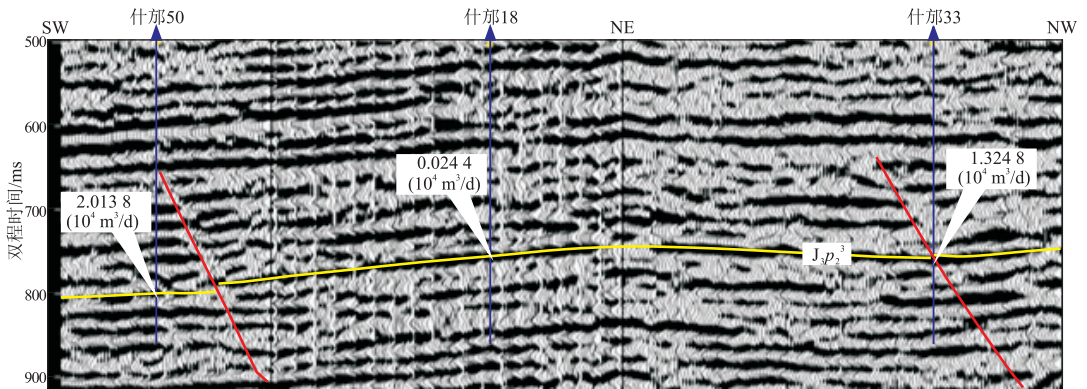


图 3 川西坳陷什邡地区什邡-50、什邡-18 和什邡-33 井连井地震剖面及测试产量

Fig.3 Seismic profile and production tests of the wells Shifang 50, 18 and 33 in the Shifang area of the Western Sichuan Depression

### 3.2 储集体物性

前人研究表明<sup>[12-13]</sup>,对于岩性油气藏,储集层的层间和层内非均质性对油气富集具有决定性作用。当流体流经不同渗透性的储集层时,由于存在渗透率级差,高渗透层的渗流通道大,流体在其中的渗流相对较易且较快;当渗透率级差达到一定程度时,流体将沿着相对高渗透层发生“旁超作用”,低渗透层则被“屏蔽”而无流体通过,使一些低渗透层往往成为差油气层甚至干层。在油气来源充足的情况下,渗透率最大的砂层是油气充注的理想场所。

川西坳陷中段侏罗系各组段砂岩十分发育,虽然储层物性普遍较差,但在局部层段也不乏基质孔渗相对较高的优质储层。受渗透率级差影响,优质储层的发育程度也是侏罗系气藏高产富集的主要控制因素。这首先反映在对侏罗系气藏宏观纵向分布的控制上。据统计,川西坳陷中段千佛崖组孔隙度平均 2.88%,平均渗透率  $0.089 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ;沙溪庙组孔隙度平均 8.92%,平均渗透率  $0.246 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ;遂宁组孔隙度平均 3.8%,平均渗透率  $0.031 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ;蓬莱镇组孔隙度平均 9.9%,平均渗透率  $0.4 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。可以看出,沙溪庙组、蓬莱镇组储层物性相对较好,

而这 2 个组也是目前川西坳陷中段侏罗系的主要产层段。在同一气藏中,储层物性差异也是控制高产的主要因素。如马井—什邡地区蓬莱镇组气藏产能与储层物性具有良好的线性关系(图 4),中江沙溪庙组储层物性与产能也有良好的对应(表 1)。对于川西坳陷中段侏罗系而言,三角洲平原分支河道的心滩、边滩由于水动力作用强,储层厚度大、物性好,是天然气富集高产的“甜点”;河道底部滞留、河道砂、决口扇次之,以低产井、气流井为主;河道间湾储层物性最差,含气性也较差。

### 3.3 有效的圈闭

圈闭的有效性对于川西坳陷中段侏罗系天然

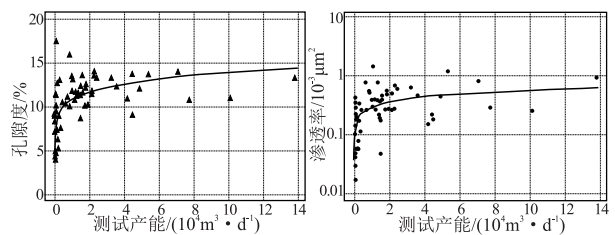


图 4 川西坳陷马井—什邡地区上侏罗统蓬莱镇组气藏产能与储层物性关系

Fig.4 Production vs. physical properties of reservoirs in the Upper Jurassic Penglaizhem Formation in the Majing and Shifang areas of the Western Sichuan Depression

表1 川西拗陷中江沙溪庙组气藏典型钻井储层物性与产能  
Table 1 Physical properties of reservoirs and production from typical wells in the Shaximiao Formation in the Zhongjiang area of the Western Sichuan Depression

井号	砂组	孔隙度/ %	渗透率/ ( $10^{-3} \mu\text{m}^2$ )	产量/ ( $10^4 \text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )
中江 19H	$J_2s_3^3$	11.70	0.170	7.498 9
江沙 3-1H	$J_2s_2^4$	9.13	0.140	5.350 0
江沙 10-1H	$J_2s_1^1$	9.70	0.098	3.780 0
中江 16H	$J_2s_1^1$	9.25	0.047	2.490 9
高庙 32	$J_2s_3^3$	14.70	1.310	6.852 3
高庙 33	$J_2s_3^3$	14.10	0.990	4.472 2

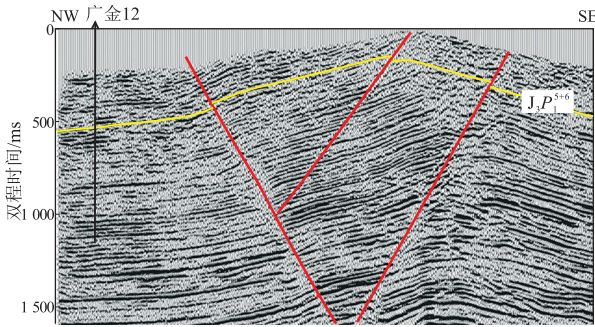


图5 川西拗陷中段广汉—金堂斜坡过广金12井地震剖面  
Fig.5 Seismic profile crossing the well Guangjin12 on the Guanghan—Jintang slope in the middle section of the Western Sichuan Depression

气富集的控制作用主要体现在拗陷与龙门山和龙泉山相邻的2个斜坡带。受晚喜马拉雅期构造运动影响,龙门山前及龙泉山两侧发育大量直通地表的断裂,如青川—茂汶断裂、北川—映秀断裂、马角坝—通济场—双石断裂带、龙泉山断裂带等。这些断裂延伸范围广、断距大、倾角陡,不仅直接破坏了断裂带附近的盖层条件,同时破坏了与之相接的斜坡区侏罗系砂体上倾方向的封闭性,使圈闭保存条件变差而不能富集成藏。如什邡气田什邡28井区,蓬莱镇组具有较好的储集条件和烃源条件,但由于砂体上倾方向与断至地表的彭州断裂相接,导致圈闭有效性变差而未能成藏。再如广汉—金堂斜坡广金12井, $J_3p_1^{5+6}$ 储层孔隙度11.4%,渗透率 $0.11 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,低部位发育烃源断层,但由于砂体上倾方向与龙泉山断裂相接,导致圈闭有效性变差,测试只获得 $279 \text{ m}^3/\text{d}$ 的天然气产量(图5)。

### 4 结论

川西拗陷中段侏罗系主要为岩性、构造—岩性气藏,具有含气层系多、分布范围广、气藏丰度普遍较低、局部富集高产的特征。烃源断层、相对高孔渗的储集条件及有效的圈闭对天然气富集高产均

具有不同程度的控制作用。3个因素中任何一项的缺失均可使侏罗系气藏贫化甚至不能聚集成藏。因此,避开晚期“通天”断裂,围绕烃源断层,精细刻画河道,寻找心滩、边滩等有利储集砂体,才能实现高效勘探和开发。

### 参考文献:

[1] 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.  
Yang Keming,Zhu Hongquan.Geological characteristics of superposed tight sandstone gas-bearing areas in western Sichuan[J].Petroleum Geology & Experiment,2013,35(1):1-8.

[2] 叶素娟,李嵘,张世华.川西拗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,2014,36(4):487-494.  
Ye Sujuan,Li Rong,Zhang Shihua.Chemical characteristics of Jurassic formation water and its relationship with hydrocarbon migration and accumulation in middle part of Western Sichuan Depression[J].Petroleum Geology & Experiment,2014,36(4):487-494.

[3] 李忠权,应丹琳,李洪奎,等.川西盆地演化及盆地叠合特征研究[J].岩石学报,2011,27(8):2362-2370.  
Li Zhongquan,Ying Danlin,Li Hongkui,et al.Evolution of the western Sichuan basin and its superimposed characteristics,China[J].Acta Petrologica Sinica,2011,27(8):2362-2370.

[4] 徐胜林,侯明才,林良彪,等.川西前陆盆地侏罗纪构造层序地层格架内沉积充填特征[J].岩石学报,2011,27(8):2327-2338.  
Xu Shenglin,Hou Mingcai,Lin Liangbiao,et al.Depositional characteristics within tectonic sequence of Jurassic,western Sichuan foreland basin[J].Acta Petrologica Sinica,2011,27(8):2327-2338.

[5] 刘崇瑞,颜丹平,李书兵.川西拗陷大邑构造须三段储层裂缝类型及控制因素[J].断块油气田,2014,21(1):28-31.  
Liu Chongrui,Yan Danping,Li Shubing.Types and controlling factors of fractures for the third Member of Xujiahe Formation in Dayi structure,west Sichuan Depression[J].Fault-Block Oil and Gas Field,2014,21(1):28-31.

[6] 沈忠民,王鹏,刘四兵,等.川西拗陷中段天然气轻轻地球化学特征[J].成都理工大学学报:自然科学版,2011,38(5):500-506.  
Shen Zhongmin,Wang Peng,Liu Sibing,et al.Geochemical characteristics of light hydrocarbon in natural gas in the middle member of the West Sichuan depression,China[J].Journal of Chengdu University of Technology:Science & Technology Edition,2011,38(5):500-506.

[7] 祝金利,邹越,陈冬霞.川西拗陷中段中、浅层天然气来源与碳同位素地球化学特征[J].岩性油气藏,2011,23(6):18-23.  
Zhu Jinli,Zou Yue,Chen Dongxia.Origin and carbon isotope geochemistry characteristics of middle-shallow natural gas in the middle part of Western Sichuan Depression[J].Lithologic Reservoirs,2011,23(6):18-23.

Bonan subsag[J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2012, 19(6): 6-10.

[24] Ruppel S, Loucks R G. Black mudrocks: Lessons and questions from the Mississippian Barnett shale in the Southern Midcontinent[J]. *The Sedimentary Record*, 2008, 6(2): 4-8.

[25] Loucks R G, Reed R M, Ruppel S C, et al. Morphology, genesis, and distribution of nanometer-scale pores in siliceous mudstones of the Mississippian Barnett shale [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2009, 79(12): 848-861.

[26] 崔景伟, 邹才能, 朱如凯, 等. 页岩孔隙研究新进展[J]. *地球科学进展*, 2012, 27(12): 1319-1325.  
Cui Jingwei, Zou Caineng, Zhu Rukai, et al. New advances in shale porosity research[J]. *Advances in Earth Sciences*, 2012, 27(12): 1319-1325.

[27] 焦淑静, 韩辉, 翁庆萍, 等. 页岩孔隙结构扫描电镜分析方法研究[J]. *电子显微学报*, 2012, 31(5): 432-436.  
Jiao Shujing, Han Hui, Weng Qingping, et al. Scanning electron microscope analysis of porosity in shale[J]. *Journal of Chinese Electron Microscopy Society*, 2012, 31(5): 432-436.

[28] 邹才能, 董大忠, 王社教, 等. 中国页岩气形成机理、地质特征及资源潜力[J]. *石油勘探与开发*, 2010, 37(6): 641-653.  
Zou Caineng, Dong Dazhong, Wang Shejiao, et al. Geological characteristics, formation mechanism and resource potential of shale gas in China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2010, 37(6): 641-653.

[29] 杨侃, 陆现彩, 徐金覃, 等. 气体吸附等温线法表征页岩孔隙结构的模型适用性初探[J]. *煤炭学报*, 2013, 38(5): 817-821.  
Yang Kan, Lu Xiancai, Xu Jintan, et al. Preliminary verification of common calculation methods of pore size distribution of shale based on gas adsorption isotherm [J]. *Journal of China Coal Society*, 2013, 38(5): 817-821.

[30] 田华, 张水昌, 柳少波, 等. 压汞法和气体吸附法研究富有机质页岩孔隙特征[J]. *石油学报*, 2012, 33(3): 419-427.  
Tian Hua, Zhang Shuichang, Liu Shaobo, et al. Determination of organic-rich shale pore features by mercury injection and gas adsorption methods [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2012, 33(3): 419-427.

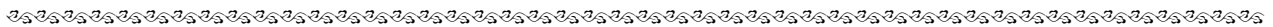
[31] 王秉海, 钱凯. 胜利油区地质研究与勘探实践[M]. 东营: 石油大学出版社, 1992: 131-134.  
Wang Binghai, Qian Kai. *Geological study and exploration practice of Shengli Oilfield* [M]. Dongying: Press of Petroleum University, 1992: 131-134.

[32] 包友书, 张林晔, 李钜源, 等. 济阳坳陷古近系超高压成因探讨[J]. *新疆石油地质*, 2012, 33(1): 17-21.  
Bao Youshu, Zhang Linye, Li Juyuan, et al. Approach to Paleogene overpressure origin in Jiyang Depression [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2012, 33(1): 17-21.

[33] 包友书, 张林晔, 张守春, 等. 东营凹陷深部异常高压与岩性油气藏的形成[J]. *新疆石油地质*, 2008, 29(5): 585-587.  
Bao Youshu, Zhang Linye, Zhang Shouchun, et al. The deep abnormal pressure and the formation of lithologic reservoir in Dongying Sag [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2008, 29(5): 585-587.

[34] 朱日房, 张林晔, 李钜源, 等. 渤海湾盆地东营凹陷泥页岩有机储集空间研究[J]. *石油实验地质*, 2012, 34(4): 352-356.  
Zhu Rifang, Zhang Linye, Li Juyuan, et al. Organic matter reservoir space of shale in Dongying Sag, Bohai Bay Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2012, 34(4): 352-356.

(编辑 韩 或)



(上接第 565 页)

[8] 吴小奇, 黄士鹏, 廖凤蓉, 等. 四川盆地须家河组及侏罗系煤成气碳同位素组成[J]. *石油勘探与开发*, 2011, 38(4): 418-427.  
Wu Xiaoqi, Huang Shipeng, Liao Fengrong, et al. Carbon isotopic compositions of coal-derived gas in the Xujiahe Formation and Jurassic in the Sichuan Basin [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2011, 38(4): 418-427.

[9] 江兴歌, 曾华盛, 朱建辉, 等. 川西坳陷中部上三叠统烃源岩动态演化模拟[J]. *石油与天然气地质*, 2012, 33(4): 545-551.  
Jiang Xingge, Zeng Huasheng, Zhu Jianhui, et al. Dynamic evolution simulation of the Upper Triassic source rocks in central part of western Sichuan Depression [J]. *Oil & Gas Geology*, 2012, 33(4): 545-551.

[10] 唐宇, 吕正祥, 叶素娟, 等. 成都凹陷上侏罗统蓬莱镇组天然气运移特征与富集主控因素[J]. *石油与天然气地质*, 2013, 34(3): 281-287.  
Tang Yu, Lü Zhengxiang, Ye Sujuan, et al. Characteristics and controlling factors of natural gas migration and accumulation in the Upper Jurassic Penglaizhen Formation of Chengdu Sag [J]. *Oil & Gas Geology*, 2013, 34(3): 281-287.

[11] 沈忠民, 张勇, 刘四兵, 等. 川西坳陷中段原、次生气藏天然气特征及运移机制探讨[J]. *矿物岩石*, 2011, 31(1): 83-88.  
Shen Zhongmin, Zhang Yong, Liu Sibing, et al. Characteristics of primary and secondary gas secondary gas pool and transportation mechanism in western Sichuan depression [J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 2011, 31(1): 83-88.

[12] 赵文智, 汪泽成, 王红军, 等. 中国中、低丰度大油气田基本特征及形成条件[J]. *石油勘探与开发*, 2008, 35(6): 641-650.  
Zhao Wenzhi, Wang Zecheng, Wang Hongjun, et al. Principal characteristics and forming conditions for medium-low abundance large scale oil/gas fields in China [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2008, 35(6): 641-650.

[13] 邱楠生, 万晓龙, 金之钧, 等. 渗透率级差对透镜状砂体成藏的控制模式[J]. *石油勘探与开发*, 2003, 30(3): 48-52.  
Qiu Nansheng, Wan Xiaolong, Jin Zhijun, et al. Controlling model of permeability difference on the hydrocarbon accumulation of sand lens reservoirs [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2003, 30(3): 48-52.

(编辑 徐文明)