

文章编号: 0253-2697(2018)05-0518-10 DOI:10.7623/syxb201805003

# 淡水湖相沉积区源储配置模式对致密油富集的控制作用

——以四川盆地侏罗系大安寨段为例

黄东<sup>1</sup> 段勇<sup>2</sup> 杨光<sup>1</sup> 闫伟鹏<sup>3</sup> 韦腾强<sup>1</sup> 邹娟<sup>1</sup> 王玮<sup>4</sup> 李育聪<sup>1</sup>

(1. 中国石油西南油气田公司勘探开发研究院 四川成都 610041; 2. 中国石油西南油气田公司科技处 四川成都 610500;  
3. 中国石油勘探开发研究院 北京 100083; 4. 成都理工大学能源学院 四川成都 614205)

**摘要:**四川盆地侏罗系大安寨段为典型的淡水湖相沉积,前期评价致密油资源量高达 $9 \times 10^8$ t,展示出巨大的勘探开发前景。在烃源岩、储层特征分析的基础上,结合大量的生产动态数据,重点解剖了淡水湖相沉积区源储配置关系对致密油富集区的控制作用。通过解剖表明,淡水湖相沉积区源储配置关系受沉积微相控制,可以划分为厚储下薄源上、厚储上薄源下、厚储夹厚源、薄储夹厚源以及源储侧向接触5种类型。实验模拟表明,源储空间配置关系是控制致密油富集程度的关键。典型油田勘探开发实践揭示,滨湖沉积相带下的厚储下薄源上配置类型最好,浅湖沉积相带下的厚储夹厚源配置类型其次,半深湖沉积相带下的薄储夹厚源配置类型相对较差。根据上述源储配置模式和目前的勘探开发实践情况可以得出,滨湖沉积相带是致密油的现实勘探区域,半深湖沉积相带是页岩油气的勘探区域。这一认识可以为四川盆地侏罗系大安寨段致密油、页岩油气的勘探开发评价提供一定依据。

**关键词:**滨湖相;浅湖相;半深湖相;沉积微相;源储配置;大安寨段;四川盆地

中图分类号:TE122

文献标识码:A

## Controlling effect of source-reservoir configuration model on tight oil enrichment in freshwater lacustrine sedimentary area: a case study of the Jurassic Da'anzhai Member in Sichuan Basin

Huang Dong<sup>1</sup> Duan Yong<sup>2</sup> Yang Guang<sup>1</sup> Yan Weipeng<sup>3</sup> Wei Tengqiang<sup>1</sup> Zou Juan<sup>1</sup> Wang Wei<sup>4</sup> Li Yucong<sup>1</sup>

(1. Exploration and Development Research Institute, PetroChina Southwest Oil & Gas Field Company, Sichuan Chengdu 610041, China; 2. Department of Science and Technology, PetroChina Southwest Oil & Gas Field Company, Sichuan Chengdu 610500, China; 3. PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing 100083, China; 4. College of Energy, Chengdu University of Technology, Sichuan Chengdu 614205, China)

**Abstract:** The Jurassic Da'anzhai Member in Sichuan Basin is a type of typical freshwater lacustrine facies, and the pre-evaluated tight oil resources is as high as  $9 \times 10^8$  tons, indicating a great prospect of exploration and development. Based on the analysis of source rock and reservoir characteristics in combination with a large number of production dynamic data, this study emphatically analyzes the controlling effect of source-reservoir configurations on tight oil rich area in the freshwater lacustrine sedimentary area. The results show that the relationship between source and storage in this area is controlled by five categories of sedimentary microfacies, i. e., lower thick reservoir-upper thin source, upper thick reservoir-lower thin source, thick reservoir sandwiched with thick source, thin reservoir sandwiched with thick source, and source-reservoir lateral contact. The laboratory simulation shows that the source-reservoir spatial configuration is the key to control the enrichment of tight oil. The exploration and development practice in typical oil fields reveals that the lower thick reservoir-upper thin source under lacustrine sedimentary facies belt is the optimal configuration type, followed by the thick reservoir sandwiched with thick source under shallow lacustrine sedimentary facies belt, whereas the thin reservoir sandwiched with thick source under semi-deep lacustrine sedimentary facies belt is relatively poorer. According to the above source-reservoir configuration models and current exploration and development practice, it can be obtained that the lacustrine sedimentary facies belt is the exploration area for tight oil, while the semi-deep lacustrine sedimentary facies zone is the exploration area of shale oil and gas. The above knowledge lays a solid foundation for the exploration, development and evaluation of tight oil and shale hydrocarbons in this area.

**Key words:** lakeshore facies; shallow lacustrine facies; semi-deep lacustrine facies; sedimentary microfacies; source-reservoir configuration; Da'anzhai Member; Sichuan Basin

基金项目:国家科技重大专项“四川盆地致密油资源潜力、甜点区预测与关键技术应用”(2016ZX05046-006-008)资助。

第一作者及通信作者:黄东,男,1980年12月生,2003年获西南交通大学学士学位,2008年获西南石油大学硕士学位,现为中国石油西南油气田公司勘探开发研究院致密油气勘探开发研究所副所长、工程师,主要从事致密油气地质综合研究工作。Email:hdong@petrochina.com.cn

引用:黄东,段勇,杨光,闫伟鹏,韦腾强,邹娟,王伟,李育聪.淡水湖相沉积区源储配置模式对致密油富集的控制作用——以四川盆地侏罗系大安寨段为例[J].石油学报,2018,39(5):518-527.

Cite:HUANG Dong,DUAN Yong,YANG Guang,YAN Weipeng,WEI Tengqiang,ZOU Juan,WANG Wei,LI Yucong. Controlling effect of source-reservoir configuration model on tight oil enrichment in freshwater lacustrine sedimentary area;a case study of the Jurassic Da'anzhai Member in Sichuan Basin[J]. Acta Petrolei Sinica,2018,39(5):518-527.

致密油是非常规油气资源的重要组成部分,具有资源量大、分布范围广、开发潜力巨大等特点,是目前非常规能源勘探开发的重点领域之一<sup>[1]</sup>。中国已发现鄂尔多斯盆地、松辽盆地、准噶尔盆地、四川盆地等八大致密油典型盆地,累计资源量达  $1.00 \times 10^{10}$  t,其中2015年在鄂尔多斯盆地陕北姬塬地区发现了中国第一个亿吨级大型致密油田——新安边油田<sup>[2]</sup>,落实了资源量向储量的重大转变,从而使致密油正式进入中国石油储量行列,揭示了中国致密油广阔的勘探开发前景<sup>[3-5]</sup>。

四川盆地侏罗系淡水湖相大安寨段致密油具有资源量大、资源丰度低、储层致密化程度高、大面积含油、局部富集高产等典型特征。大安寨段致密油与其他致密油盆地相比:有机质丰度低,厚度小;储层致密化程度高,非均质性强<sup>[6]</sup>;湖相沉积微相变化大,源储配置类型多;富集规律复杂,甜点预测难。特别是由于客观地质条件差异大,其他地区形成的致密油地质理论和勘探评价技术难以直接应用,如何有效、客观评价淡水湖相沉积区源储配置模式对致密油富集的控制作用,成为制约该区致密油勘探开发的技术瓶颈。与国外海相致密油相比,中国致密油以陆相沉积为主,分布范围变化大,而北美致密油以海相沉积为主,面积大;国外致密油产层均以烃源岩内部的碳酸盐岩或碎屑岩夹层为主<sup>[7]</sup>。而中国已发现的致密油产层在源内、源上、源下均有发育,储集层岩性包括砂岩和碳酸盐岩<sup>[8]</sup>。源储配置关系更是由于沉积相类型多、变化大、种类繁多,难以统一。通过四川盆地侏罗系大安寨段淡水湖相沉积区源储空间发育特征分析,结合不同源储组合原油充注实验模拟,以及勘探开发成效对不同源储组合对富集区的影响,进而明确致密油源储配置模式对致密油的控制作用,从而为淡水湖相致密油的勘探开发提供一定借鉴。

## 1 地质概况及勘探开发现状

四川盆地的石油主要分布在盆地中部侏罗系(图1)。晚三叠世末发生的印支晚幕运动,改变了四川盆地的沉积格局,从晚三叠世末开始进入侏罗纪红色盆地演化阶段。大安寨段是四川盆地侏罗系自流井群几次湖侵中规模最大、湖盆面积最广的一次。大安寨段沉积期为淡水湖泊沉积,大安寨段岩性主

要为褐色—灰黑色介壳灰岩、泥质介壳灰岩与黑色、灰绿色、紫红色泥页岩互层。根据岩性组合、电性、沉积旋回特征可将大安寨段从上而下划分为大一亚段、大一三亚段、大三亚段,湖盆发展经历了湖侵期、最大湖泛期、湖退萎缩期3个阶段,纵向上岩性、岩相、电性特征具有不对称性(图2);水进期介壳灰岩呈叠瓦式上超,水退期呈叠瓦式后退,两者在纵向上叠置<sup>[9]</sup>;湖盆振荡导致湖水大范围的收缩与扩展,使介壳灰岩、页岩频繁间互或侧向接触,为源储组合创造了得天独厚的条件。大一、大三亚段主要发育滨—浅湖高能介壳滩体,为储层发育层段,大一三亚段主要发育的浅湖—半深湖泥页岩为烃源岩发育层段,平面上可划分为滨湖、滨浅湖、浅—半深湖和半深湖4个环带状亚相区<sup>[9]</sup>。

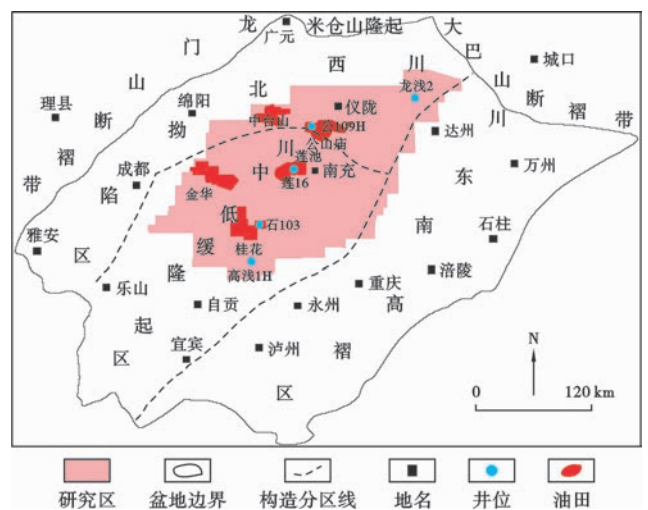


图1 研究区地理位置

Fig. 1 Geographical location of the study area

四川盆地侏罗系是埋藏最浅的含油气层系,纵向上已发现主力油层3套<sup>[6]</sup>。其中尤以淡水湖相大安寨段致密油最为突出,目前已探明5个油田,累计提交探明地质储量  $0.75654 \times 10^8$  t,已累计生产原油超过  $400 \times 10^4$  t,占整个侏罗系原油产量的82%,其中累产超  $1.0 \times 10^4$  t的油井达130余口,勘探开发效果最好,是典型的致密油分布层系<sup>[6]</sup>。根据中国石油第四次油气资源评价结果表明,四川盆地侏罗系致密油资源总量超  $16 \times 10^8$  t,其中大安寨段致密油资源量达  $9 \times 10^8$  t,约占盆地致密油总资源量的60%,展示了该层系巨大的勘探开发前景<sup>[5]</sup>。

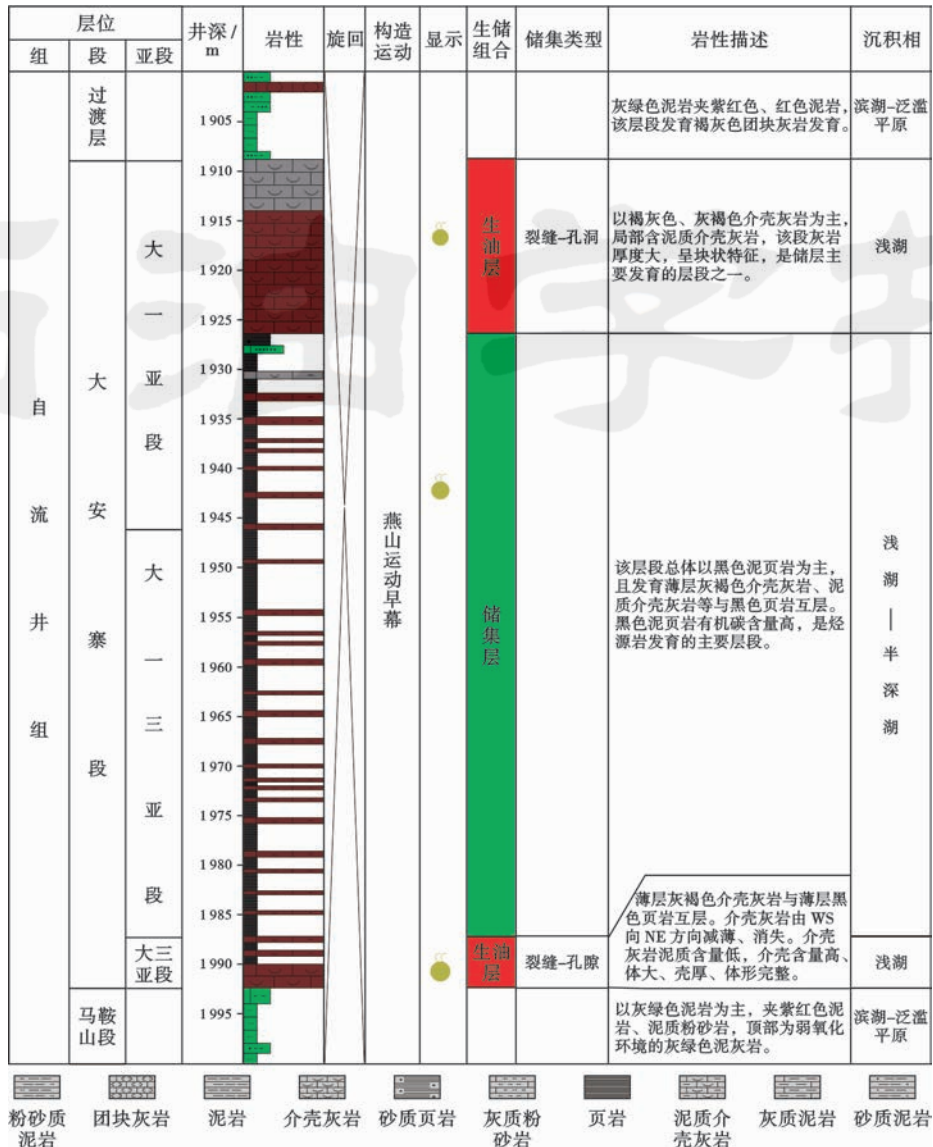


图2 四川盆地川中地区侏罗系大安寨段地层综合柱状图(据文献[5]修改)

Fig. 2 Comprehensive stratigraphic column of Jurassic Da'anzhai Member in central Sichuan Basin

## 2 源储配置模式类型

### 2.1 烃源岩特征

受沉积环境影响,大安寨段页岩以黑色、灰黑色页岩与生物介壳灰岩不等厚互层为主,普遍含丰富的瓣鳃、介形虫、叶肢介等水生生物化石及陆源高等植物化石碎片,黄铁矿呈分散状分布。在野外剖面常见到页岩呈片状分布,岩心搁置一段时间后页岩呈千层饼状(图3)。根据盆地大安寨段370个岩心、野外样品分析,其有机碳含量TOC分布在0.50%~4.27%、平均为1.28%,为中—好生油岩<sup>[5]</sup>;烃源岩中有机质干酪根类型为以II<sub>2</sub>型和II<sub>1</sub>型为主的腐泥型,有机质镜质体反射率在0.8%~1.4%<sup>[6]</sup>。大安寨段湖相页岩有利沉积微相主要为大三亚段的半深湖泥和大一亚段

浅湖泥,其中大三亚段的半深湖泥最为发育,在此沉积时期侏罗系自流井组大安寨段沉积水体最深、水动力条件弱、沉积的页岩质纯、有机质丰度高<sup>[6]</sup>。平面上受沉积微相的控制,总体上页岩具有由南往北增厚的特征,页岩厚度大于50m的区域主要在盆地北部的南充—仪陇—达州—梁平一带<sup>[6]</sup>。自南往北随着埋藏深度的增加大安寨段页岩有机质成熟度不断增加,绝大部分地区处于生油高峰期,川北地区大巴山前缘的仪陇—达州—通江一带有机质成熟度一般大于1.3%,有机质热演化程度较高,处于生气阶段<sup>[6]</sup>。

### 2.2 储层特征

与其他致密油区相比,淡水湖相大安寨段储层致密化程度高、物性差、国内外罕见。介壳灰岩形成于淡水陆相湖泊,储集岩主要为介壳灰岩、泥质介壳灰岩,

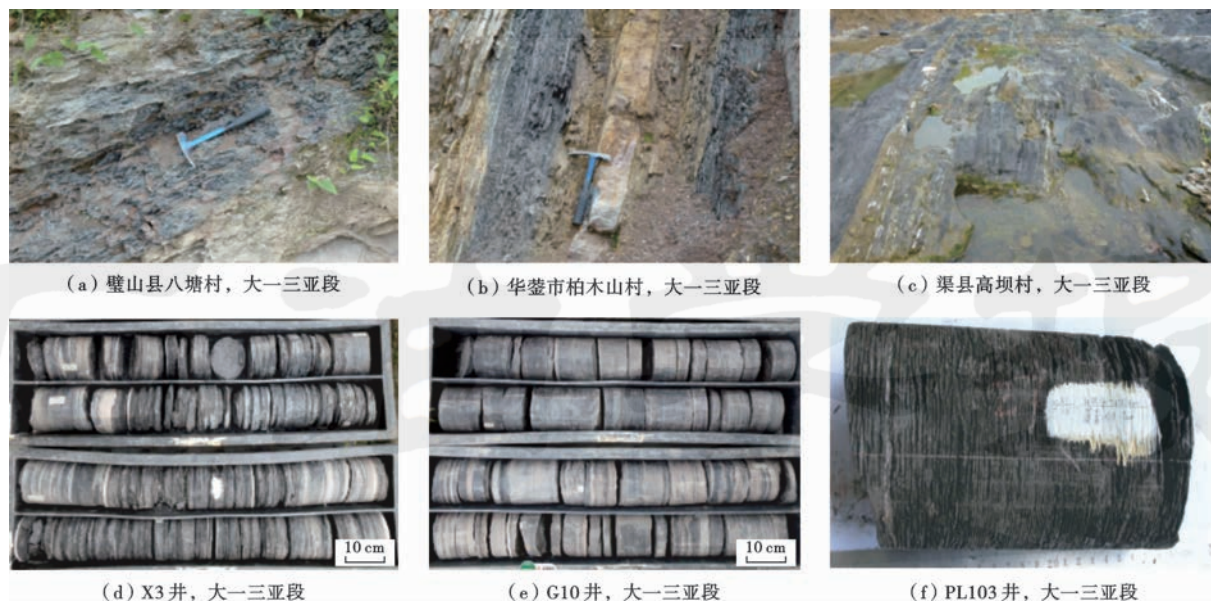


图 3 四川盆地侏罗系大安寨段页岩露头及岩心照片

Fig. 3 Outcrop and core photographs of shale in the Jurassic Da'anzhai Member, Sichuan Basin

储层纵向上主要发育在大一和大三亚段,单层厚度一般在 2~5 m,最厚可达 20 m 以上;累计厚度一般为 10~30 m,最厚可达 40 m 以上<sup>[6]</sup>。储层孔隙度一般为 0.5%~2.0%、平均仅为 1.06%,渗透率多低于 0.1 mD,储层致密化程度高、非均质性强、纵横向变化快,属于超致密储层(图 4)。通过镜下薄片、扫描电镜、纳米 CT 扫描等不同精度的分析测试手段分析表明,储

层的有效储集空间为溶蚀洞、溶蚀孔和裂缝,储集空间类型多样,储集空间为多级裂缝+溶蚀孔洞,多级裂缝+晶间、晶内溶孔共同构成(不同尺度洞、孔、缝在空间上的组合)<sup>[6]</sup>。总体看来储集空间主要发育微—纳米级孔喉,但相对优质储层孔隙和喉道主要发育在纳米—微米范围内。纵向上相对优质储层发育在大一亚段,平面上相对优质储层主要发育在川中南部地区<sup>[6]</sup>。

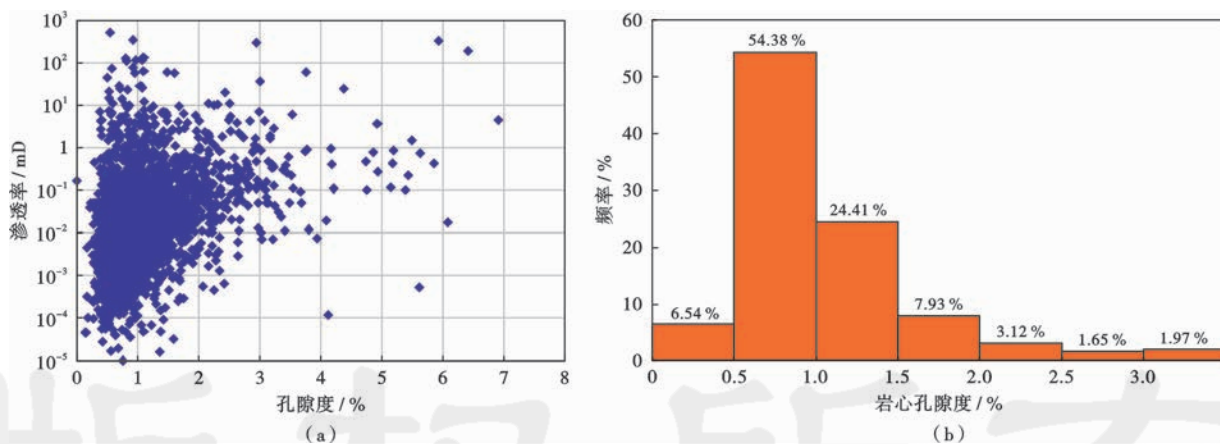


图 4 四川盆地侏罗系大安寨段储层孔隙度、渗透率特征

Fig. 4 Reservoir porosity and permeability characteristics of Jurassic Da'anzhai Member, Sichuan Basin

### 2.3 源储配置模式类型

致密油的一个显著特征就是连续分布的致密储集层与烃源岩组成紧密接触或相邻的共生层系,即大面积源储共生。因此,烃源岩和储集层之间的空间配置关系是致密油富集的关键。北美海相成熟致密油探区按照产层与优质烃源岩配置关系将北美致密油划分为源上式、源下式、源侧式、源内厚层式、源间式、嵌泥式、嵌砂式和互层式 8 种类型<sup>[10-13]</sup>。四川盆地侏罗系大安

寨段为内陆湖泊沉积,受陆源、古地形、湖平面升降等因素影响,沉积微相在平面上变化较海相碳酸盐岩快,各种微相在空间纵横叠置,为源储多样配置奠定了基础。根据四川盆地侏罗系大安寨段源储岩性空间组合关系、沉积微相空间演化特征,可以将淡水湖相大安寨段划分 5 类(表 1):“厚储下薄源上”、“厚储上薄源下”、“厚储夹厚源”、“薄储夹厚源”以及“源储侧向接触”5 类(图 5)。

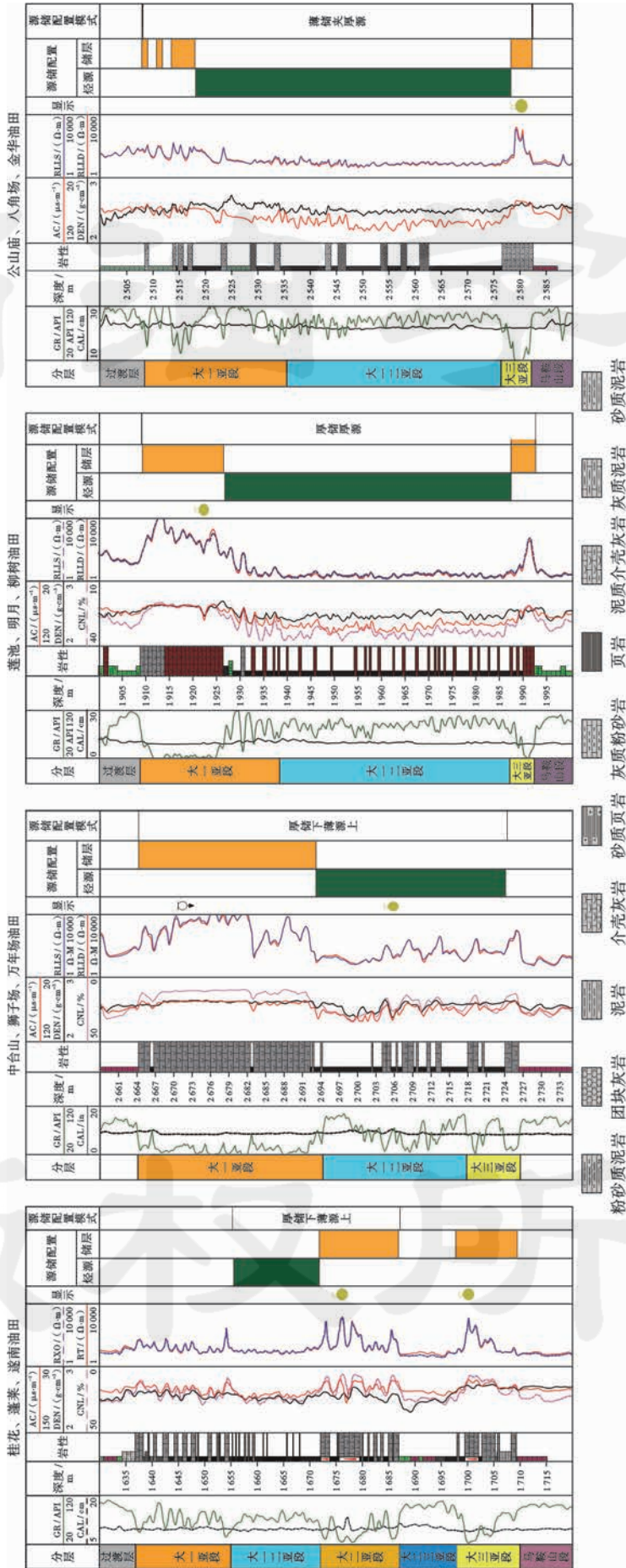


图 5 四川盆地侏罗系大安寨段已探明油田源储组合类型 (据文献[5]修改)

Fig. 5 Source-reservoir combination type of proven oilfields in Jurassic Da'anzhai Member, Sichuan Basin

表1 四川盆地侏罗系大安寨段已探明油田源储组合类型划分

Table 1 Division of source-reservoir combination types in proven oilfields of Jurassic Da'anzhai Member, Sichuan Basin

方式	源储组合类型	沉积微相	储层特征	烃源岩特征	烃储厚度比值	典型油田
纵向	厚储下薄源上	滨湖	物性相对好	较差	<1	桂花油田、蓬莱油田
	厚储下薄源下	滨湖—浅湖	物性相对较好	一般	1~3	中台山油田
	厚储夹厚源	浅湖—半深湖	物性相对较好	较好	3~5	莲池油田
	薄储夹厚源	半深湖	物性差	好	>5	公山庙油田、八角场油田
横向	源储侧向接触	相变带	储层、烃源岩突变	急剧变大	桂花油田	

### 3 致密油充注特征

#### 3.1 充注机理

四川侏罗系致密储层原油运移呈现非达西渗流特征,存在启动压力梯度和临界压力梯度。储层压力梯度低于启动压力梯度时,原油呈不流动状态;介于启动压力梯度和临界压力梯度之间时,原油呈非线性渗流状态;高于临界压力梯度时,原油呈拟线性渗流状态<sup>[14-16]</sup>。致密油的充注是原油在巨大源储压差下,被“挤压”入紧邻烃源岩的致密储层中,生烃增压递减到无法突破致密储层的毛细管阻力时,原油就停止运移。因此,不同的源储配置关系直接影响源储之间的压差,因此源储空间配置关系(与烃源岩接触面积大小)是控制致密油富集程度的关键<sup>[17-19]</sup>。

#### 3.2 充注模式

根据源储配置模式的分析,通过实验室模拟,建立了3种源储配置模式下储层的含油性模拟实验<sup>[20]</sup>。模拟实验采用单点注油方式,盖层用耐油橡胶代替,烃源岩用高渗透的砂层充填(模拟泥岩)代替,以便使原油能快速充满烃源岩,并能均匀地进入储层。储层使用粒径为0.05~0.1 mm的砂(根据岩心实际分析资料,在多次模拟实验分析的基础上,优选粒径范围模拟介壳灰岩储层)和滑石粉按1:1的比例调成,模拟不均匀的成岩作用。由于3个注入口充注速度相同,则3种模式中单层烃源岩的生烃强度之比为6:3:2。

模拟实验装置为金属箱体,正面由钢化玻璃制成,能直接观察油水的运移状况,背面可以安装压力传感器,监测模型中不同点、不同时刻的压力,从而确定模型中的压力分布。模拟实验装置如图6所示,主要由4部分组成:模型本体[模型尺寸为50 cm(长)×30 cm(宽)×5 cm(高)]、流体注入系统、计量系统和数据采集处理系统。

模型1:先让模型饱和水,然后向模型中注入原油,当注入29 mL时,原油开始全面进入上部储层;注入原油71.9 mL时,原油已经充满储层;注入原油86.7 mL时,注入油量与排出油量基本一致,实验结束。实验结束后,该源储配置模式中最终厚层储层的含油饱和度为87%。

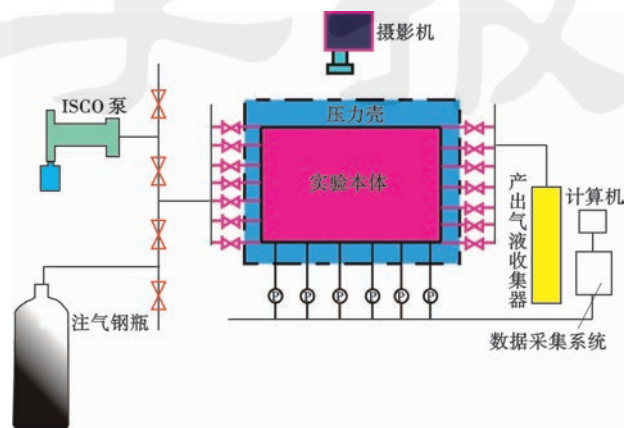


图6 二维模拟实验装置

Fig. 6 Two-dimensional simulation experimental device

模型2:先让模型饱和水,然后向模型中注入原油,当注入131.9 mL时,原油开始全面进入上部储层;注入原油393.3 mL时,原油已经充满全部储层;注入原油476.8 mL时,注入油量与排出油量基本一致,实验结束。实验结束后,该源储配置中,最终夹在两套烃源岩储层中的厚层灰岩储层的含油饱和度为92%,相比之下,只与一套烃源岩接触的灰岩储层的含油饱和度分别只有84%和86%(图7)。

模型3:先让模型饱和水,然后向模型中注原油,注入113 mL时,原油开始全面进入上部储层;注入原油232 mL时,原油已经充满储层;注入原油329 mL时,注入油量与排出油量基本一致,实验结束。实验结束后,该源储配置模式中,最终夹在两套烃源岩储层中的厚层灰岩储层的含油饱和度分别为93%、94%,只与一套烃源岩接触的储层的含油饱和度仅有19%(图8)。

模拟实验揭示,与储层接触的烃源岩数量和质量(生油强度)控制了致密灰岩储层原油的充注顺序和最终含油性。含油性最好的储层表现为储层与烃源岩接触的数量增多(模型2的2号储层,模型3的2、3号储层)。相同源储配置数情况下,生油强度起决定控制作用(模型1的1号、模型2的3号与模型3的1号储层)。致密油源岩有机质丰度和厚度决定了致密油资源丰度情况,储层物性和厚度决定了致密油可容纳规

模。两者的配置关系,直接影响了致密油充注程度和可采资源情况。

经过半个多世纪的勘探开发,淡水湖相大安寨段已探明桂花油田、莲池油田、中台山油田、金华油田、公

山庙油田等。已发现的5个油田地质特征中烃源岩生油强度与储层物性相关关系密切,二者呈幂函数关系,即储层物性越好,所需的生油强度越低;储层物性越差,需要生油强度越大(表2)。

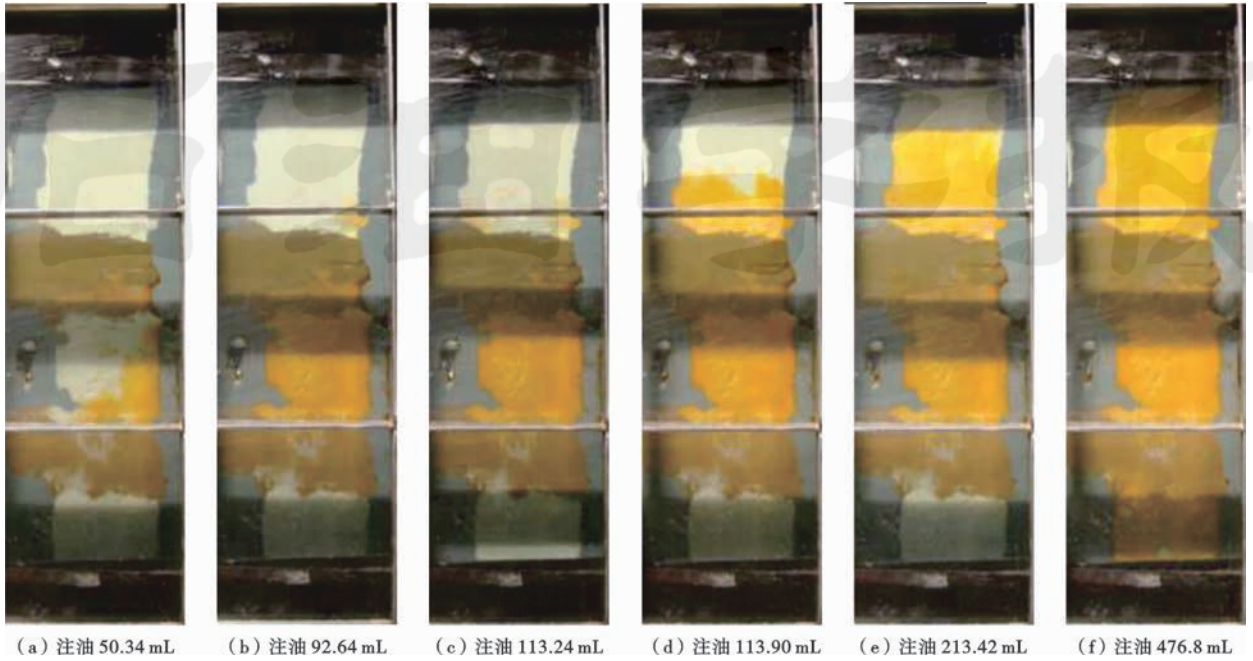


图7 模型2原油充注过程试验效果

Fig. 7 Effect of crude oil filling test in Model 2

序号	源储配置模式	相对生烃强度	源储接触面	含油饱和度模拟	含油饱和度
1		6	1号储层: 1个		1号储层: 87%
2		3	1号储层: 1个 2号储层: 2个 3号储层: 1个		1号储层: 84% 2号储层: 92% 3号储层: 86%
3		2	1号储层: 1个 2号储层: 2个 3号储层: 2个		1号储层: 19% 2号储层: 93% 3号储层: 94%

储层 烃源岩

图8 3种源储配置模式下二维空间原油充注效果

Fig. 8 Filling effect of two-dimensional space crude oil under three source-reservoir configuration models

表 2 四川盆地侏罗系大安寨段已探明油田生油强度与储层参数统计

Table 2 Statistics of oil-generating intensity and reservoir parameters for proven oilfields in Jurassic Da'anzhai Member, Sichuan Basin

油田	产油层位	孔隙度/ %	储层厚度/ m	储能系数	生油强度/ (10 <sup>4</sup> t·km <sup>-2</sup> )	探明储量/ 10 <sup>4</sup> t	累积产油量/ 10 <sup>4</sup> t
桂花	大一、大二亚段	1.72	12.58	21.64	35	2413	193.58
莲池	大一、大三亚段	1.07	11.97	12.81	55	1492	80.40
金华	大一、大三亚段	1.14	7.46	8.50	30	1280	44.24
中台山	大一亚段	0.95	18.57	17.64	40	1320	34.14
公山庙	大一、大三亚段	1.06	7.00	7.42	65	1164	52.34

虽然不同沉积相带下,不同的源储配置模式均有致密油的不同程度富集(表 3、图 9),但是根据勘探开发成效分析发现,万吨油井数量、累积产量、储量丰度以及单井平均产量(万吨井),均揭示滨湖沉积相带下的厚源储配置类型最好,其原因主要为在该沉积相带

下,源储配置类型多样,除了上生下储,还有由于沉积微相变化形成的侧向接触,因此储层与烃源岩接触的数量多,增加了油气的充注能力,且由于相带内储层质量好,厚度大,储渗体巨大,这就为油气的高产稳产创造了条件。

表 3 四川盆地侏罗系大安寨段不同源储模式生产效果统计

Table 3 Production effect statistics of different source-reservoir models in the Jurassic Da'anzhai Member, Sichuan Basin

油田(含油构造)	典型井号	累积产油量/ 10 <sup>4</sup> t	万吨井数	单井平均产量/ 10 <sup>4</sup> t	沉积相带	水体变化
桂花、蓬莱、遂宁	石 13、桂 9、桂 24、桂 102、桂 119	109.70	37	2.97	滨湖相	
中台山、狮子场	年 1、年 4、年 6、年 7、台 1、台 3、台 12、狮 1	33.03	13	2.06	滨湖—浅湖相	
莲池、明月、柳树	莲 10、莲 11、莲 16、金 13、金 26、明 1、明 10、明 21、柳 4、柳 9	63.13	33	1.86	浅湖—半深湖相	
公山庙、八角场、金华	角 12、角 2、角 29、角 34、角 37、公 11、公 17、公 26、金 1、金 3、金 10	62.84	32	1.96	半深湖相	

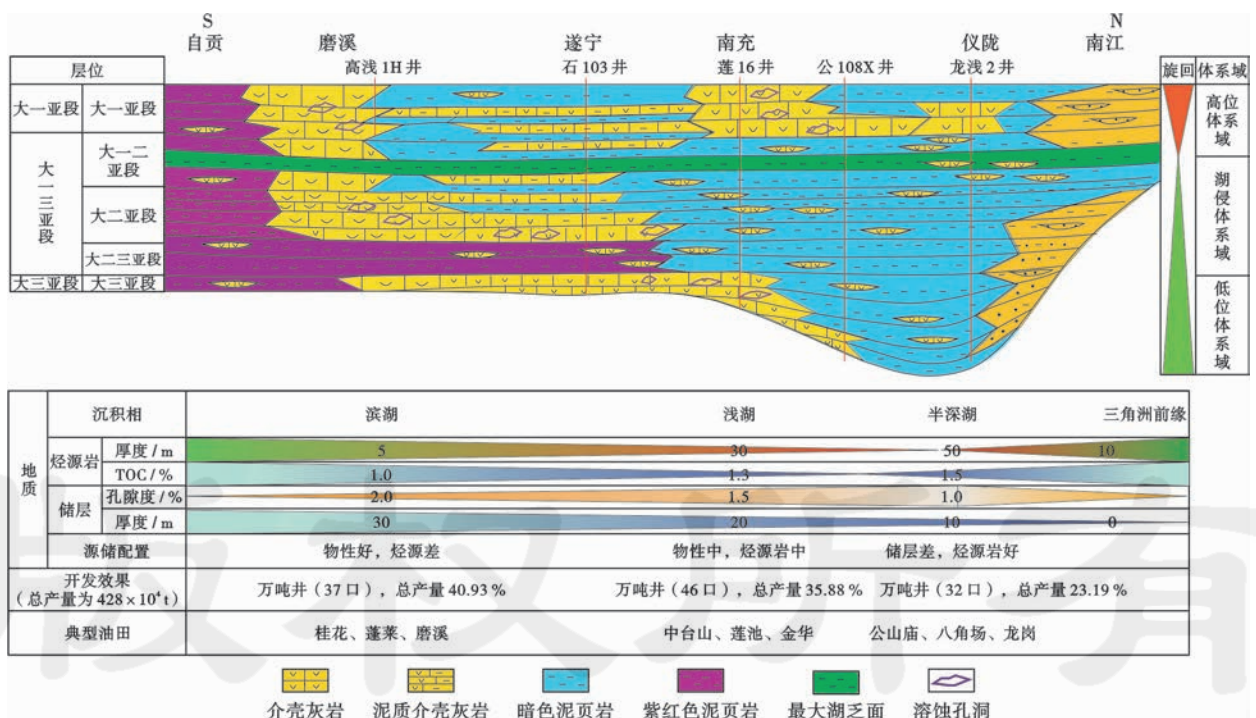


图 9 四川盆地侏罗系大安寨段不同源储配置勘探开发综合评价(据文献[5]修改)

Fig. 9 Comprehensive evaluation of exploration and development of different source-reservoir configuration in the Jurassic Da'anzhai Member, Sichuan Basin

浅湖沉积相带下的厚储夹厚源配置类型其次,在该沉积相带下,虽然烃源岩条件中等,储层质量中等,烃源岩生烃增压压力也能克服储层排驱阻力,但储渗

体规模较滨湖相带差,因此储量丰度、累积产量、单井平均产量(万吨井)较滨湖差。半深湖沉积相带下的薄储夹厚源配置类型相对最差,在该沉积相带下,虽然烃



源岩条件最好,但储层物性最差、厚度小,烃源岩生烃增压压力能克服储层排驱阻力,但储渗体规模最小,缺乏油井高产稳产的必要条件,因此储量丰度、累积产量、单井平均产量(万吨井)最差。

烃源岩是致密油形成的基础,储层是形成致密油的核心,源储配置关系是形成致密油的关键。国外海相致密油和中国陆相致密油的勘探开发实践表明,致密油平面上分布在湖盆中心呈环带状分布,纵向上分布在紧邻烃源岩的有利储层(砂岩、灰岩)中,因此,致密油的勘探开发方向主要是靠近烃源岩发育区、生烃凹陷高值区附近的有利储层中<sup>[21-22]</sup>。相对于国内外其他致密油区而言,川中侏罗系淡水湖相大安寨段致密油成藏条件更为苛刻,与传统致密油靠近生烃凹陷勘探开发不同,淡水湖相致密油的勘探开发富集区为滨湖区,其不仅埋藏浅,勘探开发配套条件好,钻井成本低,最为重要的是发育规模储层,有利于油气的富集,以及油井的高产和稳产。

## 4 结 论

(1) 四川盆地侏罗系淡水湖相大安寨段致密油具有:储层有机质丰度低,厚度小;储层致密化程度高,非均质性强;沉积微相变化大,源储配置类型多;资源量巨大,勘探开发效果好等典型特征,是一种典型的致密油类型。

(2) 四川盆地侏罗系大安寨段为内陆湖泊沉积,受陆源、古地形、湖平面升降等因素影响,沉积微相在平面上变化较海相碳酸盐岩快,各种微相在空间上纵横叠置。源储配置可划分为:厚储下薄源上、厚储上薄源下、厚储夹厚源、薄储夹厚源以及源储侧向接触 5 种类型。

(3) 对已探明的桂花油田、莲池油田、中台山油田、金华油田、公山庙油田进行解剖,其源储配置模式中以滨湖沉积相带控制的厚储下薄源上型最好,其次为浅湖沉积相带控制的厚储夹厚源型,最后为半深湖沉积相带控制的薄储夹厚源型。

(4) 与传统致密油靠近生烃凹陷勘探开发不同,淡水湖相致密油的勘探开发富集区为滨湖区,其不仅埋藏浅,勘探开发配套条件好,钻井成本低,最为重要的是发育规模储层,有利于油气的富集,有利于油井的高产和稳产。

**致谢** 感谢中国石油西南油气田公司杨跃明副总地质师,中国石油勘探开发研究院陶士振副总地质师,西南石油大学戴鸿鸣教授、彭军教授等对本文提出建设性意见。在论文编写过程中还得到了中国石油西南油气田公司冉隆辉、谢姚祥、张健、白贵林、龚昌明等专家的指导和帮助,在此一并表示感谢!

## 参 考 文 献

- [1] 杜金虎,何海清,杨涛,等. 中国致密油勘探进展及面临的挑战[J]. 中国石油勘探,2014,19(1):1-9.  
DU Jinhui, HE Haiqing, YANG Tao, et al. Progress in China's tight oil exploration and challenges[J]. China Petroleum Exploration, 2014, 19(1): 1-9.
- [2] 郭秋麟,武娜,陈宇生,等. 鄂尔多斯盆地延长组第 7 油层组致密油资源评价[J]. 石油学报,2017,38(6):658-665.  
GUO Qiulin, WU Na, CHEN Ningsheng, et al. An assessment of tight oil resource in 7th oil reservoirs of Yanchang Formation, Ordos Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2017, 38(6): 658-665.
- [3] 李登华,李建忠,张斌,等. 四川盆地侏罗系致密油形成条件、资源潜力与甜点区预测[J]. 石油学报,2017,38(7):740-752.  
LI Denghua, LI Jianzhong, ZHANG Bin, et al. Formation condition, resource potential and sweet-spot area prediction of Jurassic tight oil in Sichuan Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2017, 38(7): 740-752.
- [4] 吴国干,方辉,韩征,等. “十二五”中国油气储量增长特点及“十三五”储量增长展望[J]. 石油学报,2016,37(9):1145-1151.  
WU Guogan, FANG Hui, HAN Zheng, et al. Growth features of measured oil initially in place & gas initially in place during the 12th Five-Year Plan and its outlook for the 13th Five-Year Plan in China[J]. Acta Petrolei Sinica, 2016, 37(9): 1145-1151.
- [5] 杨光,黄东,黄平辉,等. 四川盆地中部侏罗系大安寨段致密油高产稳产主控因素[J]. 石油勘探与开发,2017,44(5):817-826.  
YANG Guang, HUANG Dong, HUANG Pinghui, et al. Control factors of high and stable production of Jurassic Da'anzhai Member tight oil in central Sichuan Basin, SW China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2017, 44(5): 817-826.
- [6] 黄东,杨光,韦腾强,等. 川中桂花油田大安寨段致密油高产稳产再认识[J]. 西南石油大学学报:自然科学版,2015,37(5):23-32.  
HUANG Dong, YANG Guang, WEI Tengqiang, et al. Recognition of high yield and stable yield factors of Daanzhai tight oil, Guihua oilfield[J]. Journal of Southwest Petroleum University: Science & Technology Edition, 2015, 37(5): 23-32.
- [7] 黄东,杨跃明,杨光,等. 四川盆地侏罗系致密油勘探开发进展与对策[J]. 石油实验地质,2017,39(3):304-310.  
HUANG Dong, YANG Yueming, YANG Guang, et al. Countermeasure and progress of exploration and development of Jurassic tight oil in the Sichuan Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2017, 39(3): 304-310.
- [8] 邹才能,朱如凯,吴松涛,等. 常规与非常规油气聚集类型、特征、机理及展望——以中国致密油和致密气为例[J]. 石油学报,2012,33(2):173-187.  
ZOU Caineng, ZHU Rukai, WU Songtao, et al. Types, characteristics, genesis and prospects of conventional and unconventional hydrocarbon accumulations: taking tight oil and tight gas in China as an instance[J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(2): 173-187.
- [9] 贾承造,郑民,张永峰. 中国非常规油气资源与勘探开发前景[J]. 石油勘探与开发,2012,39(2):129-136.  
JIA Chengzao, ZHENG Min, ZHANG Yongfeng. Unconventional hydrocarbon resources in China and the prospect of exploration

- and development[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2012, 39(2): 129-136.
- [10] 邹才能, 杨智, 陶士振, 等. 纳米油气与源储共生型油气聚集[J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(1): 13-26.  
ZOU Caineng, YANG Zhi, TAO Shizhen, et al. Nano-hydrocarbon and the accumulation in coexisting source and reservoir[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2012, 39(1): 13-26.
- [11] 郭秋麟, 陈宁生, 吴晓智, 等. 致密油资源评价方法研究[J]. 中国石油勘探, 2013(2): 67-76.  
GUO Qiulin, CHEN Ningsheng, WU Xiaozhi, et al. Method for assessment of tight oil resources[J]. *China Petroleum Exploration*, 2013(2): 67-76.
- [12] 梁狄刚, 冉隆辉, 戴弹申, 等. 四川盆地中北部侏罗系大面积非常规石油勘探潜力的再认识[J]. 石油学报, 2011, 32(1): 8-17.  
LIANG Digang, RAN Longhui, DAI Danshen, et al. A re-recognition of the prospecting potential of Jurassic large-area and non-conventional oils in the central-northern Sichuan Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2011, 32(1): 8-17.
- [13] 杜敏, 陈盛吉, 万茂霞, 等. 四川盆地侏罗系源岩分布及地化特征研究[J]. 天然气勘探与开发, 2005, 28(2): 15-17.  
DU Min, CHEN Shengji, WAN Maoxia, et al. Study on distribution and geo-chemical features of Jurassic source rocks in Sichuan Basin[J]. *Natural Gas Exploration & Development*, 2005, 28(2): 15-17.
- [14] 李军, 王世谦. 四川盆地平昌—阆中地区侏罗系油气成藏主控因素与勘探对策[J]. 天然气工业, 2010, 30(3): 16-21.  
LI Jun, WANG Shiqian. The main factors controlling hydrocarbon accumulation in the Jurassic of Pingchang-Langzhong area in the Sichuan Basin and its exploration strategies[J]. *Natural Gas Industry*, 2010, 30(3): 16-21.
- [15] 王世谦, 胡素云, 董大忠. 川东侏罗系——四川盆地亟待重视的一个致密油气新领域[J]. 天然气工业, 2012, 32(12): 22-29.  
WANG Shiqian, HU Suyun, DONG Dazhong. Jurassic tight oil & gas resources in East Sichuan Basin: a new exploration target [J]. *Natural Gas Industry*, 2012, 32(12): 22-29.
- [16] 邹才能, 陶士振, 侯连华, 等. 非常规油气地质[M]. 2版. 北京: 地质出版社, 2013.  
ZOU Caineng, TAO Shizhen, HOU Lianhua, et al. Unconventional petroleum geology[M]. 2nd ed. Beijing: Geological Publishing House, 2013.
- [17] 邓康龄, 王信. 四川盆地西部侏罗纪沉积相及油气分布[J]. 沉积与特提斯地质, 2004, 24(3): 90-95.  
DENG Kangling, WANG Xin. The Jurassic sedimentary facies and oil-gas distribution in western Sichuan Basin[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2004, 24(3): 90-95.
- [18] 杨跃明, 杨家静, 杨光, 等. 四川盆地中部地区侏罗系致密油研究新进展[J]. 石油勘探与开发, 2016, 43(6): 873-882.  
YANG Yue ming, YANG Jiajing, YANG Guang, et al. New research progress of Jurassic tight oil in central Sichuan Basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2016, 43(6): 873-882.
- [19] 田泽普, 宋新民, 王拥军, 等. 考虑基质孔隙特征的湖相致密灰岩类型划分——以四川盆地中部侏罗系自流井组大安寨段为例[J]. 石油勘探与开发, 2017, 44(2): 213-224.  
TIAN Zepu, SONG Xinmin, WANG Yongjun, et al. Classification of lacustrine tight limestone considering matrix pores or fractures: a case study of Da'anzhai Member of Jurassic Ziliujing Formation in Central Sichuan Basin, SW China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2017, 44(2): 213-224.
- [20] 曾溅辉, 王洪玉, 冯泉, 等. 四川盆地侏罗系致密储层石油运移和聚集物理模拟实验研究[R]. 2013: 26-60.  
ZENG Jianhui, WANG Hongyu, FENG Xiao, et al. Physical simulation of hydrocarbon migration and accumulation in Jurassic tight reservoirs in Sichuan Basin[R]. 2013: 26-60.
- [21] 付金华, 喻建, 徐黎明, 等. 鄂尔多斯盆地致密油勘探开发新进展及规模富集可开发主控因素[J]. 中国石油勘探, 2015, 20(5): 9-19.  
FU Jinhua, YU Jian, XU Liming, et al. New progress in exploration and development of tight oil in Ordos Basin and main controlling factors of large-scale enrichment and exploitable capacity [J]. *China Petroleum Exploration*, 2015, 20(5): 9-19.
- [22] 郑民, 李建忠, 吴晓智, 等. 致密储集层原油充注物理模拟——以准噶尔盆地吉木萨尔凹陷二叠系芦草沟组为例[J]. 石油勘探与开发, 2016, 43(2): 219-227.  
ZHENG Min, LI Jianzhong, WU Xiaozhi, et al. Physical modeling of oil charging in tight reservoirs: a case study of Permian Lucaogou Formation in Jimsar sag, Junggar Basin, NW China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2016, 43(2): 219-227.

(收稿日期 2017-07-19 改回日期 2018-02-13 编辑 王培玺)

版权所有