

文章编号: 0253-2697(2015)08-0905-10 DOI:10.7623/syxb201508002

# 济阳拗陷页岩油富集主控因素

宁方兴

(中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司地质科学研究院 山东东营 257015)

**摘要:** 济阳拗陷页岩油类型包括泥页岩型和夹层型 2 种类型。在分析泥页岩型和夹层型页岩油特征的基础上,通过数理统计、典型解剖、分析测试技术和生排烃模拟实验,明确了济阳拗陷页岩油富集的主控因素。泥页岩型页岩油富集的主控因素是:泥页岩岩相、异常高压、页岩油的可动性和泥页岩(微)裂缝;富有机质纹层状岩相的异常高压过渡段的页岩油可动性好,裂缝越发育越有利于济阳拗陷页岩油的富集。夹层型页岩油富集的主控因素与常规油藏类似,主要受物性和异常高压控制;夹层的物性越好,异常压力越高越有利于夹层型页岩油的富集。该成果对中国东部陆相断陷盆地页岩油勘探有一定指导作用。

**关键词:** 页岩油;泥页岩型;夹层型;富集;主控因素;济阳拗陷

**中图分类号:** TE122.9

**文献标识码:** A

## The main control factors of shale oil enrichment in Jiyang depression

Ning Fangxing

(Geoscience Research Institute, Sinopec Shengli Oilfield Company, Shandong Dongying 257015, China)

**Abstract:** There are two types of shale oil in Jiyang depression, i. e., mud-shale type and interlayer type. Through analyzing shale oil characteristics of these two types, the main control factors of shale oil enrichment in Jiyang depression were identified using mathematical statistics, typical anatomy, analysis and testing technology as well as hydrocarbon generation and expulsion simulation experiment. The main control factors for mud-shale type include mud-shale lithofacies, abnormally high pressure, shale oil mobility and mud-shale (micro) fissures. In abnormally high pressure transition segment of organic-rich laminated lithofacies, the better the mobility of shale oil is and the more developed the fissures are, the more beneficial it will be for the enrichment of shale oil in Jiyang depression. The main control factors for interlayer type are similar to those of conventional oil reservoirs, i. e., primarily controlled by physical properties and abnormally high pressure. The better the physical properties of interlayers are and the higher the abnormal pressure is, the more beneficial it will be for the enrichment of interlayer-type shale oil. These results have certain guiding significances for shale oil exploration in terrestrial rift basins of eastern China.

**Key words:** shale oil; mud-shale type; interlayer type; enrichment; the main control factors; Jiyang depression

**引用:** 宁方兴. 济阳拗陷页岩油富集主控因素[J]. 石油学报, 2015, 36(8): 905-914.

**Cite:** Ning Fangxing. The main control factors of shale oil enrichment in Jiyang depression[J]. Acta Petrolei Sinica, 2015, 36(8): 905-914.

目前,国内外对页岩油的涵义有不同的理解、存在争议。广义的页岩油既包括来自泥页岩层系的石油,又包括来自砂岩、碳酸盐岩等其他致密储层的石油。狭义的页岩油专指泥页岩层系中的石油资源,来自砂岩、碳酸盐岩等其他致密储层的石油属于致密油的范畴<sup>[1,2]</sup>。

本文采用了广义页岩油的涵义。页岩油指以页岩为主的页岩层系中以游离为主,吸附和溶解态为辅,赋存于页岩层系中的热成因石油资源,其中包括泥页岩孔隙和裂缝中的石油,也包括泥页岩层系中的致密碳酸盐岩或碎屑岩邻层和夹层中的石油资源<sup>[3,4]</sup>。依据

页岩油赋存空间和赋存岩石类型,可将济阳拗陷页岩油划分为泥页岩型和夹层型页岩油 2 种类型<sup>[5]</sup>。泥页岩型页岩油是赋存于泥页岩孔隙和裂缝中的石油资源,它包括基质型和裂缝型页岩油;夹层型页岩油是相对于泥页岩层段,以砂岩和碳酸盐岩类夹层为油气的赋存和富集的主要空间,其包括砂岩夹层型和碳酸盐岩夹层型页岩油。

很多国家对页岩油气进行了研究、探索,取得了重要进展,在页岩岩石学特征、储集特征、沉积环境和页岩油气形成机制和富集条件等方面进行了深入的研究<sup>[6-27]</sup>,但对页岩油富集主控因素缺少研究。本文通

**基金项目:** 国家重点基础研究发展计划(973)项目“陆相页岩油富集要素与有利区预测”(2014CB239104)资助。

**作者简介:** 宁方兴,男,1972年4月生,1996年获西北大学学士学位,2012年获中国石油大学(华东)硕士学位,现为中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司地质科学研究院高级工程师,主要从事油气勘探及油气成藏研究。Email: ningfangxing. slyt@sinopec.com

过典型解剖、数理统计、分析测试技术和生排烃模拟实验相结合的方法,对济阳拗陷页岩油富集主控因素进行分析,以期为陆相断陷盆地页岩油气的勘探开发提供借鉴。

## 1 地质概况

济阳拗陷位于渤海湾盆地东南部,是渤海湾盆地的一个次级拗陷。拗陷东南侧与鲁西—胶东隆起区相邻,西北侧由埕宁隆起与黄骅拗陷相隔,东北侧深入渤海而过渡到渤中拗陷,西南侧与临清拗陷相接,面积为25 510 km<sup>2</sup>,是一个中生代—新生代断陷—拗陷复合盆地<sup>[23,28]</sup>。济阳拗陷由东营、惠民、沾化、车镇4个凹陷和若干分隔凹陷的凸起组成(图1)。济阳断陷湖盆在

始新世早期进入断陷鼎盛期,构造运动相对稳定,湖盆持续下沉,气候温暖潮湿,陆源碎屑向湖泊注入,带来大量营养物质,湖生生物大量生长繁盛,形成了巨厚的湖泊相沉积。根据钻井资料揭示,济阳拗陷泥页岩层主要发育于古近系沙河街组四段上亚段(沙四上亚段)、沙河街组三段下亚段(沙三下亚段)和沙河街组一段(沙一段)<sup>[24]</sup>。沙四上亚段泥页岩为咸水—半咸水湖相沉积,沙三下亚段泥页岩为淡水—微咸水湖相沉积,沙一段泥页岩为咸水—半咸水湖相沉积。这3套泥页岩累计厚度可多达1 km、有机质丰度大于2%,有机质类型以腐泥型—混合型为主,有机质成熟度分布在0.5%~1.3%,具备形成页岩油气的条件和物质基础。

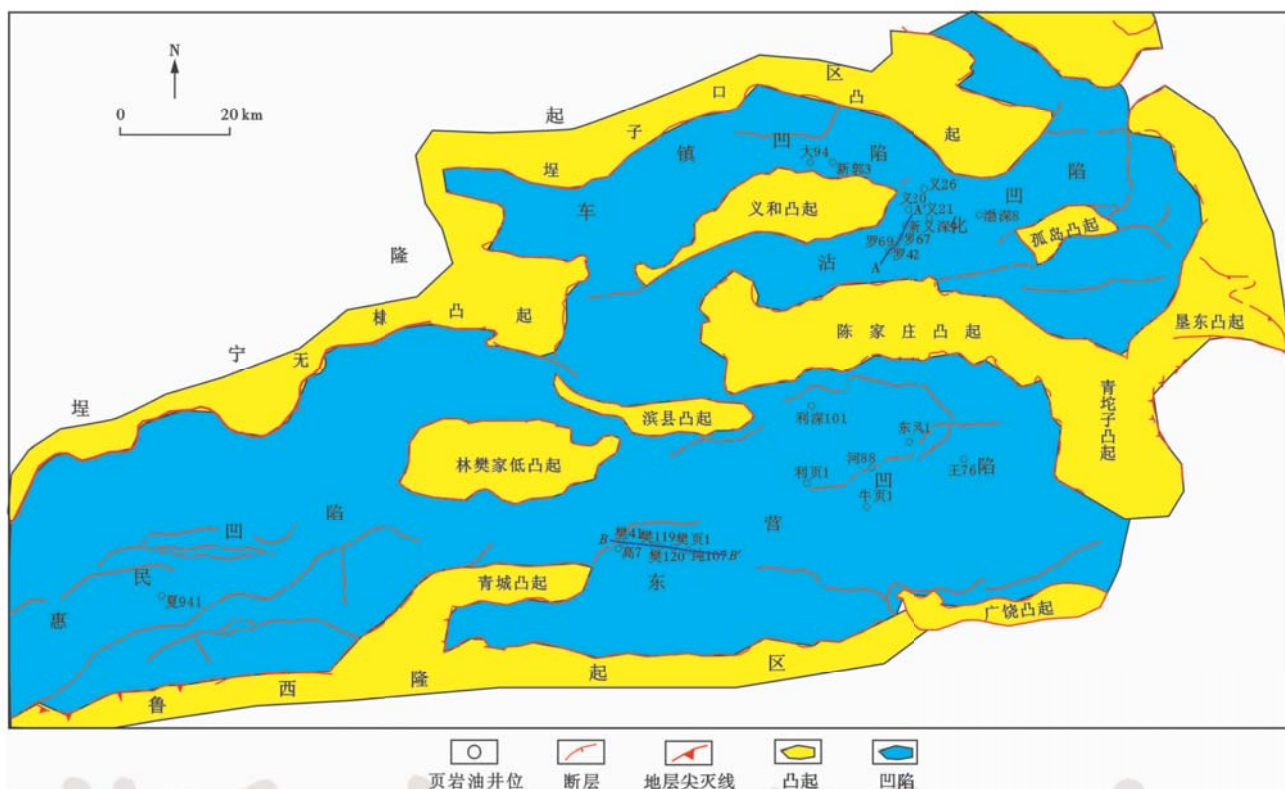


图1 济阳拗陷构造单元分布

Fig. 1 Distribution of tectonic units in Jiyang depression

## 2 页岩油特征

济阳拗陷页岩油探井投产后初期产能高,但衰减较快,大致可分为3个周期,前2个周期的累积产油量占总产油量的80%以上<sup>[23]</sup>。

泥页岩型页岩油平面上分布在断层附近,层位上主要分布在沙四上亚段2层组和沙三下亚段3层组;夹层型页岩油平面分布在深洼处或大型扇体前端,以沙三下亚段3层组和沙一段页岩油井最多。济阳拗陷泥页岩型页岩油井比夹层型页岩油井多。页岩油井大

多油气同出,随埋深增大,页岩油气/油比逐渐增高。泥页岩型页岩油气/油比较低,夹层型较高。

页岩油密度、黏度都随着深度的增加而降低。夹层型页岩油密度、黏度要小于泥页岩型。泥页岩型页岩油以游离态和油-水混溶态为主,夹层型页岩油以游离态为主。

不同类型页岩油井产能存在差异,泥页岩型(主要是裂缝型)页岩油井产能总体上比夹层型高。页岩油产能随埋深的增加呈正态分布。泥页岩型页岩油主要分布在3 800 m以上,夹层型页岩油可达到4 500 m。

### 3 页岩油富集主控因素

国内外研究表明,页岩油气富集要素有页岩厚度、页岩埋深、有机质丰度、有机质成熟度、岩石物性、页岩矿物成分、岩相、地层压力等要素。本文通过典型解剖、生排烃模拟实验和页岩油富集要素与页岩油井产能的关系分析,确定各类型页岩油富集的主控因素。

#### 3.1 泥页岩型页岩油

##### 3.1.1 岩相

泥页岩岩相在页岩油勘探中起着十分重要的作用,富有机质纹层状岩相是页岩油富集的基础。X-射线衍射全岩矿物分析表明本区泥页岩矿物组成以碳酸盐为主,平均值为 50% 以上,而黏土矿物含量较低,平均值为 20% 左右,远低于传统认识(黏土矿物含量大于 50% 以上)和一般的海相泥岩,且变化很大。这是因为湖相沉积,距物源区较近,以至于泥页岩中含有较多的陆源碎屑,而黏土矿物含量较低。这些泥页岩主要发育于湖盆较大的深湖及半深湖相,因此具有较高碳酸盐含量。利用岩心观察、薄片鉴定及 X-射线衍射全岩矿物分析,根据颜色、结构、构造、成分、有机质含量,本区泥页岩岩相主要可分为富(含)有机质纹层状灰质泥岩相、富(含)

有机质纹层状泥质灰岩相、富有机质层状灰质泥岩相、富有机质层状泥质灰岩相、富有机质块状泥岩相、含有机质块状灰质泥岩相等岩相(图 2)。利用测井模型对济阳拗陷泥页岩岩相进行了详细研究,并对研究区获页岩油井进行了叠合分析,发现页岩油主要分布在富有机质纹层状泥质灰岩相、富有机质纹层状灰质泥岩相、富有机质层状泥质灰岩相和富有机质层状灰质泥岩相中,其中富有机质纹层状岩相占 67%,也就是说页岩油主要富集在富有机质纹层状岩相中。此种岩相为方解石和富含有机质泥岩互层组成,有机质含量高,有利于形成大量油气,方解石矿物晶间孔发育,是重要的储集空间,而且脆性矿物含量高,易于形成裂缝,可有效沟通孔隙,形成网络状储集空间。富有机质纹层状岩相主要分布于沙三下亚段 3、2 层组和沙四上亚段 2 层组,该区岩相在一定程度上决定了页岩油的主力层系。富有机质纹层状岩相不仅物性好、而且  $S_1$  含量与含油饱和度(图 3)。含有机质岩相在物性、流体性质、压力与富有机质纹层状岩相相似的情况下,产能低,如渤深 5 井页岩油段在含有机质岩相内,仅产气  $3\ 533\ \text{m}^3/\text{d}$ ;渤深 8 井页岩油段在富有机质岩相内,产油  $11.2\ \text{t}/\text{d}$ 、产气  $12\ 248\ \text{m}^3/\text{d}$ ,表明了页岩品质的重要性。

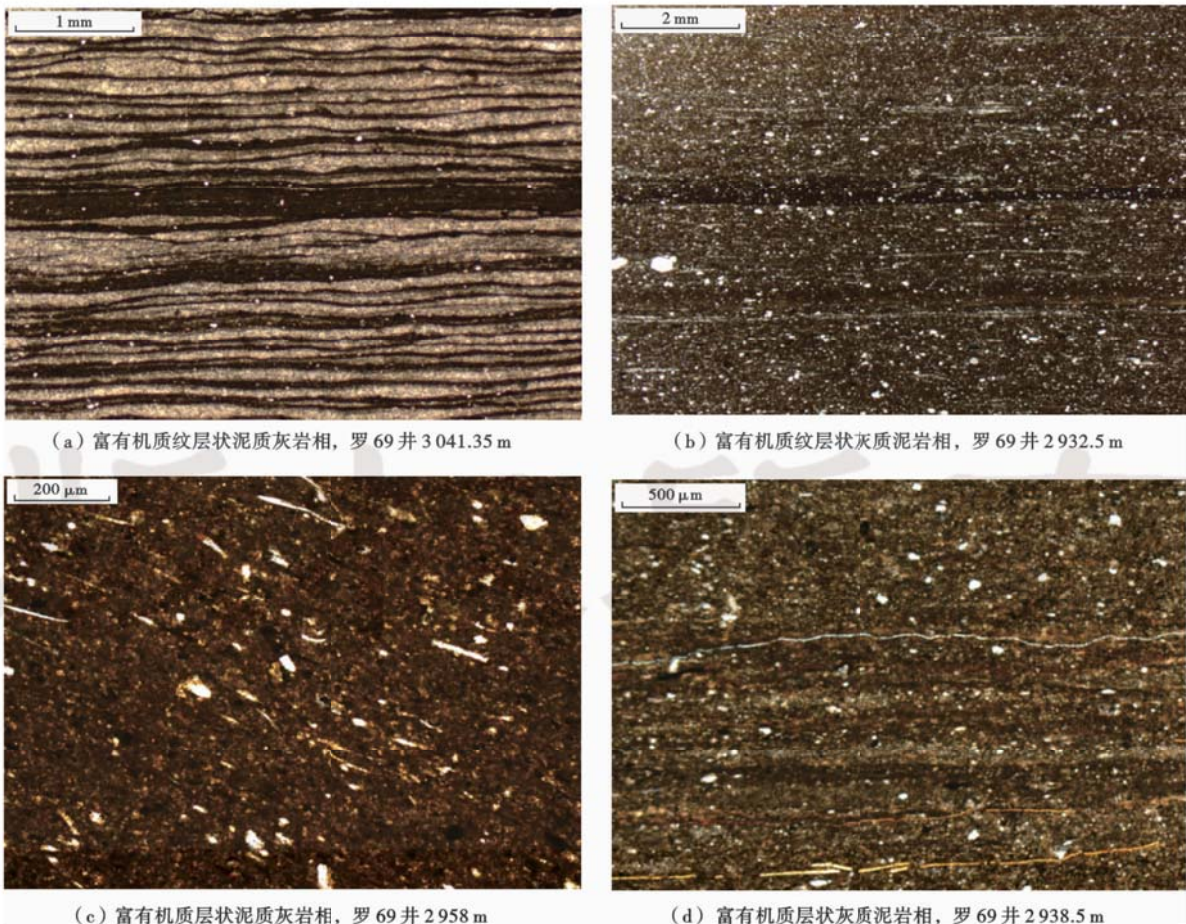


图 2 济阳拗陷泥页岩主要岩相

Fig. 2 Main shale lithofacies of Jiyang depression

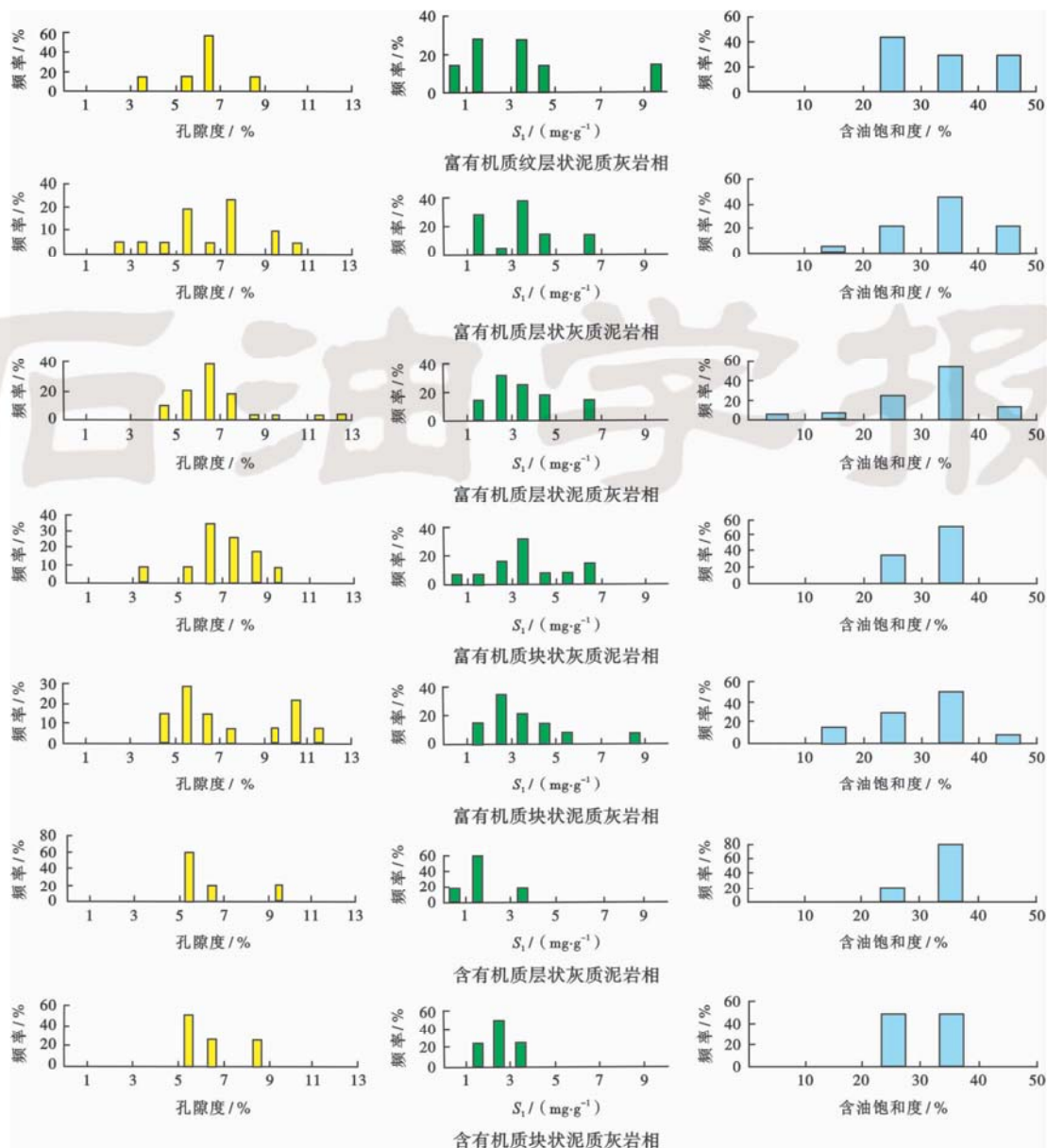


图3 樊页1井物性、 $S_1$ 、含油饱和度频率分布

Fig. 3 Frequency distribution of physical property, oil saturation,  $S_1$  of Well Fanye-1

### 3.1.2 异常高压

异常高压是页岩油富集产出的重要条件。济阳拗陷沙四上亚段—沙三下亚段的泥页岩在东营组 (Ed)—明化镇组 (Nm) 沉积时期生油, 受生烃增压的控制<sup>[29]</sup>, 其内发育的泥页岩绝大部分存在异常高压, 异常压力为页岩油初次运移提供了动力, 使得高压区页岩油具有较高的产能。济阳拗陷页岩油富集区位于已大规模生油的成熟富有机质的页岩地层中, 地层能量较高, 页岩油井大都分布在压力系数大于 1.2 的异常高压带内(图 4)。但在压力系数最大地区, 页岩油井分布很少; 页岩油气大都分布在压力过渡带。从济阳拗陷压力系数与页岩油井日产量关系可看出, 页岩油井产量是正态分布的, 压力系数低的地方和压力系数最高的地方, 油井产量都不高(图 5)。济阳拗陷页

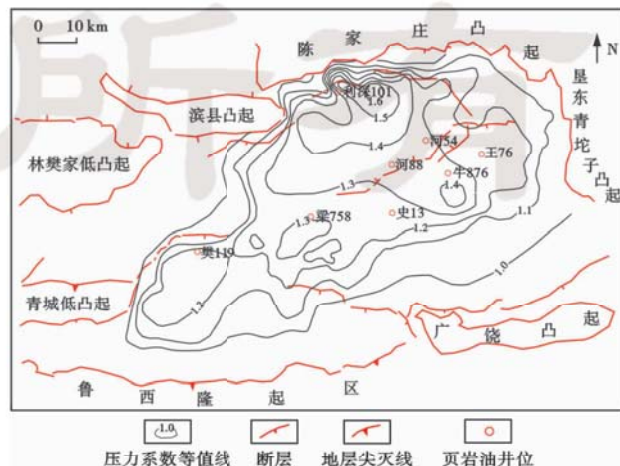


图4 东营凹陷沙三下亚段地层压力系数等值线

Fig. 4 Pressure coefficient contour of  $Es_3$  in Dongying sag

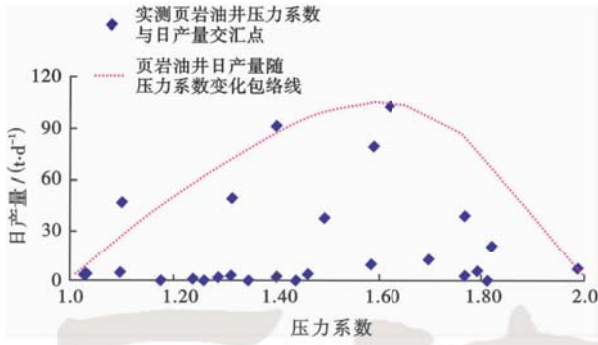


图 5 压力系数与日产量关系

Fig. 5 Relationship between pressure coefficient and daily production

页岩层段地层水也反映了这种规律。济阳拗陷页岩油层段地层水水型包括氯化钙、氯化镁和碳酸氢钠型 3 种。氯化钙型地层水代表封闭环境，氯化镁和碳酸氢钠型地层水代表过渡环境，其中氯化钙型地层水仅占 31.8%，这表明济阳拗陷页岩油气所处的环境为封闭环境和过渡环境，以过渡环境为主。因此，页岩油生成后发生了初次运移，页岩油气主要聚集于异常压力过渡段，页岩油可能大多呈连续相态产出，润湿相态已发生了翻转，以油润湿相

为主，油气生成后运移过程中毛细管力减小，容易采出。异常压力过渡段最有利于页岩油富集，表明过渡带可能已发生排烃的过程，是排烃的主要通道。樊页 1 井的生产曲线表明，压裂井生产过程中先出注入水，过几天出油，接着出气，气体产出，地层能量降低，油的产能下降，进一步表明了压力是页岩油高产的重要因素。

### 3.1.3 可动性

可动性是有利于页岩油产出的先决条件。与页岩气不同，由于油的分子大，可流动性差，页岩油可动性越好越易开采，页岩气勘探开发过程中形成的一些理论和经验难以直接应用于页岩油勘探开发过程中。国外页岩油勘探开发经验也表明页岩油不同于页岩气，要实现真正意义上的商业性开发，页岩油必须经历一定程度的短距离运聚。对东营、沾化凹陷 8 口井页岩油进行油-源对比，7 口井的页岩油进行了短距离运移，仅 1 口井页岩油是滞留原地而且产能较低，表明页岩油可动性非常重要。罗 69 井的源岩与罗 42 井的页岩油碳同位素组分和生物标志化合物相似，表明罗 42 井的页岩油来自罗 69 井的源岩，两口井相距 2.9 km (图 6)。博兴地区高 7 井油-源对比表明(图 7)，高 7 井

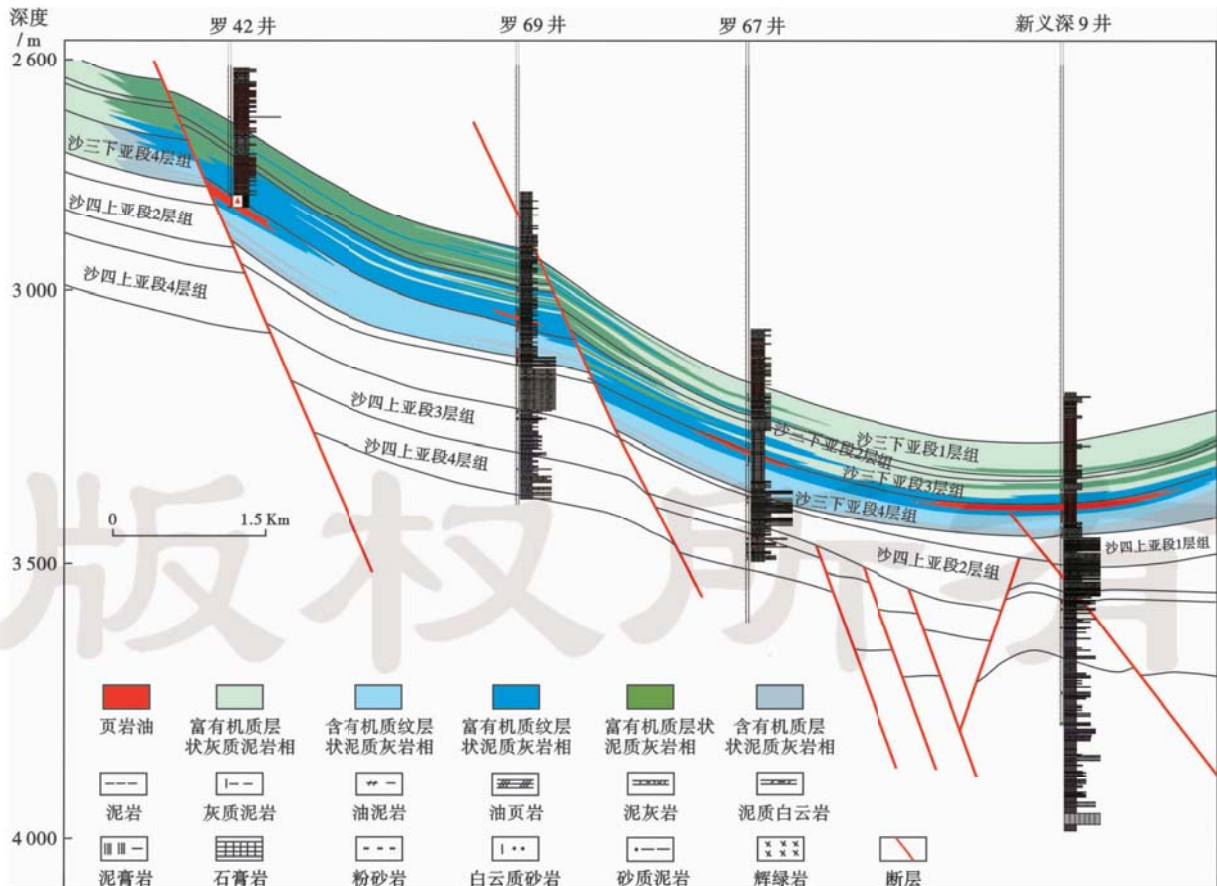


图 6 渤南洼陷罗 42 井—新义深 9 井南北向页岩油分布剖面(剖面位置见图 1)

Fig. 6 SN shale oil distribution profile of Well L42-Xys9 in Luojia area(location see Fig. 1)

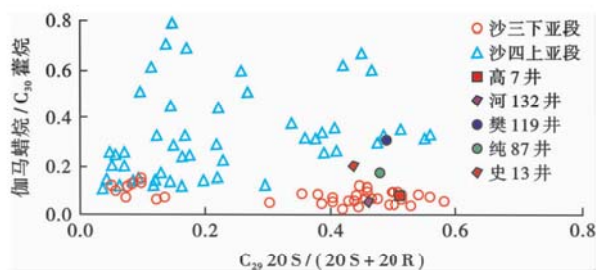


图7 页岩油井油-源对比

Fig. 7 Oil-source correlation of shale oil wells

沙河街组四段原油伽马蜡烷指数低,油是来自于沙河街组三段的源岩,说明页岩油是动态富集的,页岩油可动性研究是该区页岩油富集评价的一个关键参数。页岩油可动性评价参数包括  $S_1$ 、 $S_1/TOC$ 、气/油比、黏度等参数。出油井统计分析表明,  $S_1 > 2 \text{ mg/g}$ 、 $S_1/TOC > 10\%$ 、含油饱和度  $> 30\%$  的页岩油易于采出。从两次侧钻的结果(梁页平1原井和梁页平1井 HF 对比)可以看出,可动性好的  $S_0 + S_1$  高的层段才有产能。泥页岩出油井段的产能随气/油比升高具有增大的趋势。含气流体,增加了解吸附过程,有利于页岩油产出。泥页岩出油井段的产能随黏度增大具有减小的趋势,统计表明页岩油黏度  $< 10 \text{ mPa}\cdot\text{s}$  易于采出。牛庄洼陷和博兴洼陷对比表明,牛庄洼陷页岩油的黏度远高于博兴洼陷的页岩油,但产能低得多。河185井、河132井其他条件相近的条件下,随着黏度升高产能降低的特点以及高产油井都伴随有大量的天然气特征,均表明可动性是页岩油产出的主要控制因素。离心+核磁共振分析表明,富有机质纹层状岩相较层状岩相的流体可动性好,3600 r/min 的情况下,纹层状岩相流体已动,层状岩相流体尚未动,表明纹层状岩相中流体可动性较好。通过对东营凹陷不同岩相页岩样品的测试,建立了可动油比例变化剖面(图8),可动油比例在  $8\% \sim 32\%$ ,随深度增加可动油比例明显增大,可能与原油性质及流动性有关,深部原油密度、黏度低,可动性好。而不同岩相的泥页岩,可动油比例差异比较大,从目前数据来看,纹层状泥页岩的可动油比例最高,层状泥页岩次之,块状泥页岩可动油比例最低。流体可动性的差异,导致产能特征不同。纹层状岩相可动性较好,因此纹层状岩相产能较高。

### 3.1.4 (微)裂缝

(微)裂缝是页岩油富集产出的关键。在对野外露头 and 钻井岩心观察基础上,结合成像测井资料,对研究区目的层段泥页岩(微)裂缝发育情况进行了系统研究,发现泥页岩中主要发育构造缝、层间页理缝、层面滑移缝、成岩收缩微裂缝和有机质演化异常

压力缝等多种裂缝<sup>[30,31]</sup>。(微)裂缝的存在在某种程度上提高了储集的有效性,极大改善了泥页岩的渗流能力,为页岩油从基质孔隙进入井孔提供了必要的运移通道<sup>[32]</sup>。微裂缝的产生主要受断裂和岩性控制。岩性控制了裂缝发育层系,岩性与断层共同控制了裂缝的发育程度。

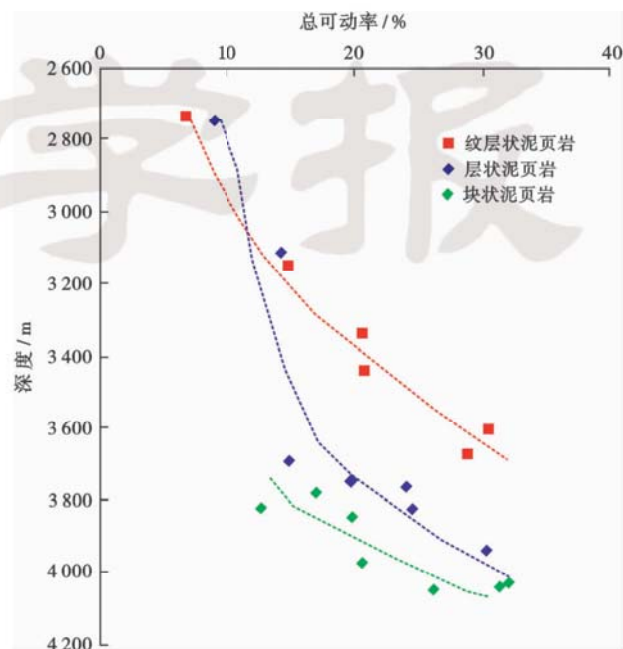


图8 东营凹陷可动油比例变化剖面

Fig. 8 Moveable oil proportion change profile in Dongying sag

陆相断陷湖盆(微)裂缝发育往往跟断裂发育有密切关系。页岩油井主要分布在断裂附近,占  $85\%$ ,构造活动强烈的反向翘倾断块和重力滑动型构造带页岩油产能最高可达  $167.4 \text{ t}$ ,断裂不发育的洼陷带产能低,小于  $4.49 \text{ t}$ 。据断裂附近页岩油井统计,裂缝发育系数大于  $0.2$  就能获得工业产能,同时发现,高产井距断层的距离小于  $1.2 \text{ km}$ (研究区主要属于拉张型压力体系,裂缝主要发育在断层的上盘,因此井与断层的距离必须用井距断层上盘的距离),断距要大于  $100 \text{ m}$ 。页岩油出油井段主要分布在断裂带和构造的转折带(裂缝发育带)(图9)。

不同岩性微(裂缝)发育程度不同,其中纹层状泥质灰岩/灰质泥岩和层状泥质灰岩微(裂缝)最为发育(图10)。进一步研究发现,这几种岩性在纵向上主要分布在沙三下亚段3、4层组以及沙四上亚段2、3层组,而当前发现的页岩油也主要分布在这几个层组,表明页岩油纵向上主要受岩性控制。

微(裂缝)发育程度控制了泥页岩型页岩油分布范围及富集程度。裂缝发育程度(裂缝发育系数<sup>[5]</sup>)高的井段(地区),页岩油产能高(图11)。对同一层系、同种岩性,裂缝发育的樊页1井相对利页1井产能高。

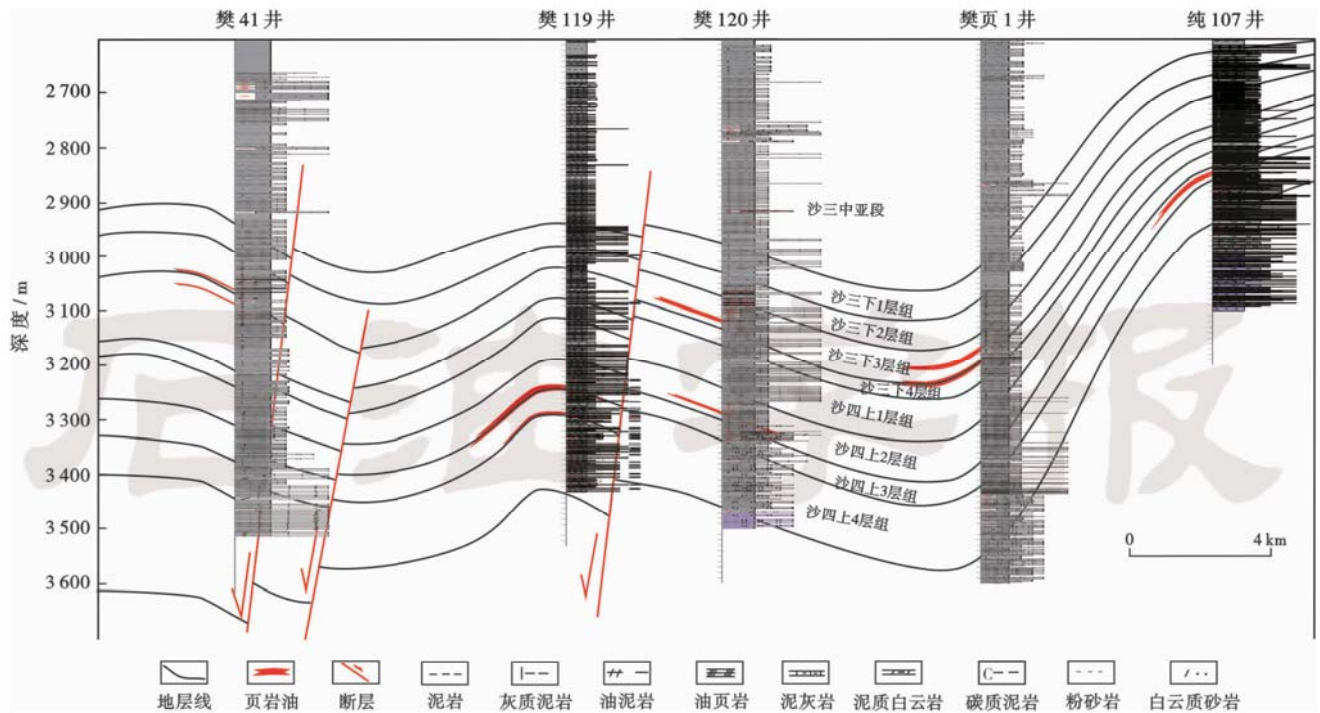


图 9 东营凹陷樊 41 井—纯 107 井东西向页岩油剖面(剖面位置见图 1)

Fig. 9 EW shale oil profile of Well Fan-41-Chun107 in Dongying sag(location see Fig. 1)

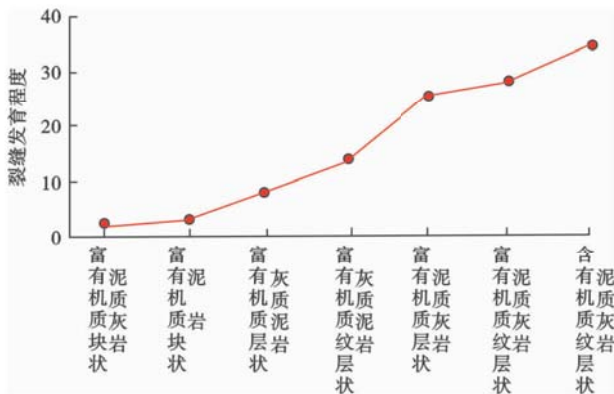


图 10 岩相与裂缝发育程度的关系(罗 69 井)

Fig. 10 Relationship between lithofacies and fracture development extent(Well Luo69)

生排烃模拟实验表明,随着微裂缝大量发育,排油量增加。如罗 69 井的荧光薄片,在 345℃,裂缝少,排出油 29.3 mg/g,滞留烃 124.5 mg/g;在 420℃,

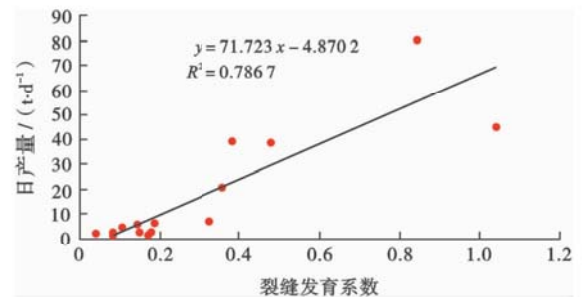


图 11 裂缝发育系数与泥页岩型页岩油井日产量关系

Fig. 11 Relationship between fracture development coefficient and shale oil daily production

裂缝增多,排出油 174.6 mg/g,滞留烃 216.6 mg/g(图 12)。

### 3.2 夹层型页岩油

#### 3.2.1 砂岩夹层型页岩油

砂岩夹层型页岩油层位上主要分布在沙三下亚段

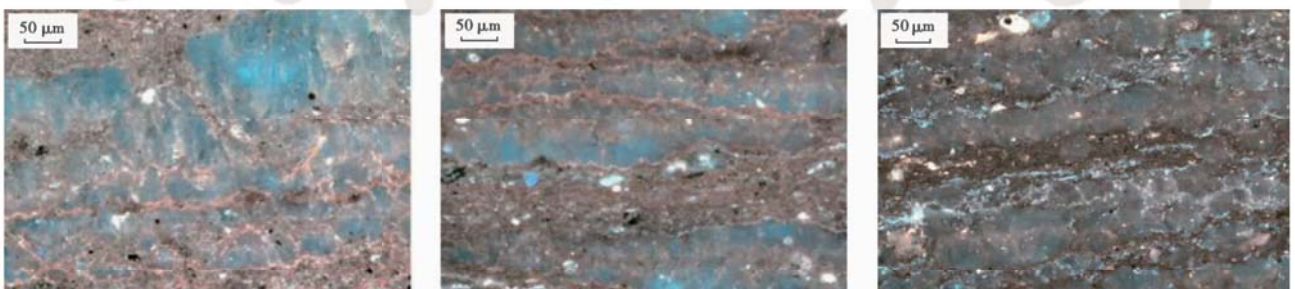


图 12 罗 69 井荧光薄片中的裂缝发育照片

Fig. 12 Fracture development photo in fluorescence thin section of Well Luo69

2、3层组,平面分布在深洼处或大型扇体前端,主要属于深水浊积岩体系。对东营凹陷日产1 t以上砂岩夹层型页岩油井(如东风1井、利深101井、滨172井)的岩心镜下照片进行观察,岩屑、长石等颗粒之间孔隙发育且有油气赋存(图13)。油气以游离态赋存于砂岩里。随着页岩油的开采,含水率逐步变高。

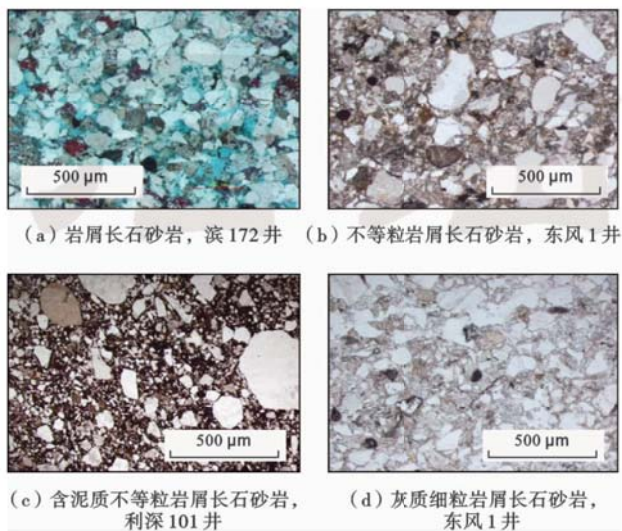


图13 砂岩夹层型页岩油井夹层储集特征

Fig. 13 Interlayer reservoir feature of sandstone interlayer type shale oil

### 3.2.2 碳酸盐岩夹层型页岩油

碳酸盐岩夹层型页岩油层位上主要分布在沙一段和沙四上亚段,且大多分布在白云岩相关的地层里。据统计,62.6%的碳酸盐岩夹层型页岩油来自白云岩储层,这可能与白云石化过程中形成的大量白云石晶间孔和白云石颗粒边缘孔有关,改善了白云岩的储集性能(图14)。油气以游离态赋存于碳酸盐岩里。随着页岩油的开采,含水率逐步变高。

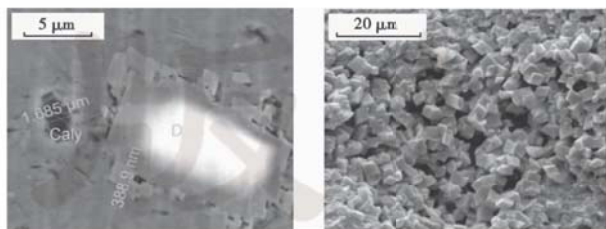


图14 白云岩晶间孔扫描电镜照片

Fig. 14 Scanning electron microscope photos of dolomite intercrystal pore

### 3.2.3 夹层型页岩油富集主控因素

该区夹层型页岩油富集与常规深水浊积岩和碳酸盐岩油藏的成藏机理一致,砂岩夹层型、碳酸盐岩夹层型页岩油富集主控因素主要为物性、异常高压。

砂岩和碳酸盐岩的物性决定了其能否成藏及含油

程度的高低。从成藏机理上说,储集物性的质量(孔隙及吼道)决定了油气成藏阻力即毛细管压力的大小<sup>[33]</sup>。一般来说,粒径较粗、物性较好的储层,毛细管压力较小有利于油气的进入;相反,毛细管压力大,则难以成藏。

对于异地成藏的夹层型页岩油藏,异常高压也起了关键作用,是油气运聚的主要动力。一般来说,异常压力越大,毛细管压力越小,夹层型页岩油越易成藏,圈闭含油性越好(图15);相反,圈闭则越不易成藏,圈闭含油性越差。

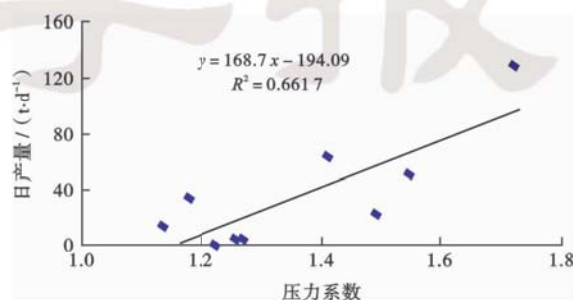


图15 夹层型页岩油产能与压力系数关系

Fig. 15 Relationship between interlayer type shale oil production and pressure coefficient

该类页岩油气的重点是薄层的分布预测和压裂改造工艺技术。该类甜点是当前技术条件下比较现实的勘探目标。

## 4 结论

(1) 济阳拗陷的页岩油包括泥页岩型和夹层型页岩油2种类型。不同页岩油类型的主控因素不同。泥页岩型页岩油富集的主控因素是:泥页岩岩相、异常高压、页岩油的可动性和泥页岩(微)裂缝。富有机质纹层状岩相的异常高压过渡段,其页岩油的可动性好,裂缝越发育越有利于济阳拗陷页岩油的富集。夹层型页岩油富集的主控因素与常规油藏类似,主要受物性和异常压力控制。夹层的物性越好,异常压力越高越有利于夹层型页岩油的富集。

(2) 济阳拗陷具有形成页岩油的有利条件,具有广阔的勘探前景。但因济阳拗陷陆相沉积非均质强,地层年代新(古近系),成岩较晚,含有伊/蒙间层水敏性矿物,具有一定塑性,可压性相对北美地区差,难开采。随着对页岩油富集主控因素、富集机理认识的深入,济阳拗陷的页岩油勘探必将获得重大突破。

致谢 在论文撰写和修改过程中,感谢中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司地质科学研究院地层室和地化室所提供的分析测试资料以及勘探综合室郝雪峰教授、姜秀芳、朱德燕、朱德顺、杨万芹、银燕、丁桔红、林璐等领导、同事的指导和帮助。



## 参 考 文 献

- [1] 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.
- [2] 周庆凡,杨国丰.致密油与页岩油的概念与应用[J].石油与天然气地质,2012,33(4):541-544.  
Zhou Qingfan, Yang Guofeng. Definition and application of tight oil and shale oil terms[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(4): 541-544.
- [3] 张金川,林腊梅,李玉喜,等.页岩油分类与评价[J].地学前缘,2012,19(5):322-331.  
Zhang Jinchuan, Lin Lamei, Li Yuxi, et al. Classification and evaluation of shale oil[J]. Earth Science Frontiers, 2012, 19(5): 322-331.
- [4] 柳波,郭小波,黄志龙,等.页岩油资源潜力预测方法探讨:以三塘湖盆地马朗凹陷芦草沟组页岩油为例[J].中南大学学报:自然科学版,2013,44(4):1472-1478.  
Liu bo, Guo Xiaobo, Huang Zhilong, et al. Discussion on prediction method for hydrocarbon resource potential of shale oil; taking Lucaogou formation shale oil of Malang Sag as case[J]. Journal of Central South University: Science and Technology, 2013, 44(4): 1472-1478.
- [5] 宁方兴.济阳拗陷不同类型页岩油差异性分析[J].油气地质与采收率,2014,21(6):6-9.  
Ning Fangxing. Difference analysis on different types of shale oils in Jiyang depression[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(6): 6-9.
- [6] Bustin R M. Gas shale tapped for big pay[J]. AAPG Explorer, 2005, 26(2): 5-7.
- [7] Hill R J, Jarvie D M, Zumberge J, et al. Oil and gas geochemistry and petroleum systems of the Fort Worth Basin[J]. AAPG Bulletin, 2007, 91(4): 445-473.
- [8] Curtis J B. Fractured shale-gas systems[J]. AAPG Bulletin, 2002, 86(11): 1921-1938.
- [9] Loucks R G, Ruppel S C, Reed S C, et al. Origin and classification of pores in mudstones from shale-gas systems[R]. Search and Discovery Article 40855, 2011: 1-32.
- [10] 关德师,牛嘉玉,郭丽娜.中国非常规油气地质[M].北京:石油工业出版社,1995.  
Guan Deshi, Niu Jiayu, Guo Lina. Unconventional oil and gas geology of China[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995.
- [11] 范昌育,王震亮.页岩气富集与高产的地质因素和过程[J].石油实验地质,2010,32(5):465-469.  
Fan Changyu, Wang Zhenliang. Geological factors and process in enrichment and high production of shale gas[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2010, 32(5): 465-469.
- [12] 徐建永,武爱俊.页岩气发展现状及勘探前景[J].特种油气藏,2010,17(5):1-7.  
Xu Jianyong, Wu Aijun. The development status of shale gas in the world and its exploration prospect in China[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2010, 17(5): 1-7.
- [13] 杨一鸣,毛俊莉,李晶晶.页岩气藏地质特征及地质选区评价方法——以辽河拗陷东部凸起为例[J].特种油气藏,2012,19(2):46-49.  
Yang Yiming, Mao Junli, Li Jingjing. Shale gas reservoir characteristics and geological evaluation of prospective areas; a case study with the eastern uplift of Liaohe depression[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2012, 19(2): 46-49.
- [14] 王永诗,李政,巩建强,等.济阳拗陷页岩油气评价方法——以沾化凹陷罗家地区为例[J].石油学报,2013,34(1):83-91.  
Wang Yongshi, Li Zheng, Gong Jianqiang, et al. Discussion on an evaluation method of shale oil and gas in Jiyang depression; a case study on Luoia area in Zhanhua sag[J]. Acta Petrolei Sinica, 2013, 34(1): 83-91.
- [15] 张金川,金之钧,袁明生.页岩气成藏机理和分布[J].天然气工业,2004,24(7):15-18.  
Zhang Jinchuan, Jin Zhijun, Yuan Mingsheng. Reservoiring mechanism of shale gas and its distribution[J]. Natural Gas Industry, 2004, 24(7): 15-18.
- [16] 郝运轻,谢忠怀,周自立,等.非常规油气勘探领域泥页岩综合分类命名方案探讨[J].油气地质与采收率,2012,19(6):16-19.  
Hao Yunqing, Xie Zhonghuai, Zhou Zili, et al. Discussion on multi-factors identification of mudstone and shale[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012, 19(6): 16-19.
- [17] 张金川,徐波,聂海宽,等.中国天然气勘探的两个重要领域[J].天然气工业,2007,27(11):1-6.  
Zhang Jinchuan, Xu Bo, Nie Haikuan, et al. Two essential gas accumulations for natural gas exploration in China[J]. Natural Gas Industry, 2007, 27(11): 1-6.
- [18] 张善文,张林晔,李政,等.济阳拗陷古近系页岩油气形成条件[J].油气地质与采收率,2012,19(6):1-5.  
Zhang Shanwen, Zhang Linye, Li Zheng, et al. Formation conditions of Paleogene shale oil and gas in Jiyang depression[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012, 19(6): 1-5.
- [19] 邹才能,董大忠,杨桦,等.中国页岩气形成条件及勘探实践[J].天然气工业,2011,31(12):26-39.  
Zou Caineng, Dong Dazhong, Yang Hua, et al. Conditions of shale gas accumulation and exploration practices in China[J]. Natural Gas Industry, 2011, 31(12): 26-39.
- [20] 赵铭海,傅爱兵,关丽,等.罗家地区页岩油气测井评价方法[J].油气地质与采收率,2012,19(6):20-24.  
Zhao Minghai, Fu Aibing, Guanli, et al. Logging evaluation method of shale oil and gas reservoir in Luoia area[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012, 19(6): 20-24.
- [21] 刘惠民,张守鹏,王朴,等.沾化凹陷罗家地区沙三段下亚段页岩岩石学特征[J].油气地质与采收率,2012,19(6):11-15.  
Liu Huimin, Zhang Shoupeng, Wang Pu, et al. Lithologic characteristics of Lower Es<sub>3</sub> shale in Luoia area, Zhanhua sag[J]. Pe-

- troleum Geology and Recovery Efficiency, 2012, 19(6): 11-15.
- [22] 陈尚斌, 朱炎铭, 王红岩, 等. 中国页岩气研究现状与发展趋势[J]. 石油学报, 2010, 31(4): 689-694.  
Chen Shangbin, Zhu Yanming, Wang Hongyan, et al. Research status and trends of shale gas in China[J]. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31(4): 689-694.
- [23] 王永诗, 巩建强, 房建军, 等. 渤南洼陷页岩油气富集高产条件及勘探方向[J]. 油气地质与采收率, 2012, 19(6): 6-10  
Wang Yongshi, Gong Jianqiang, Fang Jianjun, et al. Enrichment condition analysis and exploration direction of shale oil-gas in Bonan subsag [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012, 19(6): 6-10
- [24] 张林晔, 李政, 朱日房. 页岩气的形成与开发[J]. 天然气工业, 2009, 29(1): 124-128.  
Zhang Linye, Li Zheng, Zhu Rifang. The formation and exploitation of shale gas[J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(1): 124-128.
- [25] 聂海宽, 张金川. 页岩气储层类型和特征研究——以四川盆地及其周缘下古生界为例[J]. 石油实验地质, 2011, 33(3): 219-225.  
Nie Haikuan, Zhang Jinchuan. Types and characteristics of shale gas reservoir; a case study of Lower Paleozoic in and around Sichuan Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(3): 219-225.
- [26] 张顺, 陈世悦, 谭明友, 等. 东营凹陷西部沙河街组三段下亚段泥页岩沉积微相[J]. 石油学报, 2014, 35(4): 633-645.  
Zhang Shun, Chen Shiyue, Tan Mingyou, et al. Characterization of sedimentary microfacies of shale in the lower third sub-member of Shahejie Formation, western Dongying sag [J]. Acta Petrolei Sinica, 2014, 35(4): 633-645.
- [27] 王志峰, 张元福, 梁雪莉, 等. 四川盆地五峰组—龙马溪组不同水动力成因页岩岩相特征[J]. 石油学报, 2014, 35(4): 623-632.  
Wang Zhifeng, Zhang Yuanfu, Liang Xueli, et al. Characteristics of shale lithofacies formed under different hydrodynamic conditions in the Wufeng-Longmaxi Formation, Sichuan Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2014, 35(4): 623-632.
- [28] 宗国洪, 肖焕钦, 李常宝, 等. 济阳拗陷构造演化及其大地构造意义[J]. 高校地质学报, 1999, 5(3): 275-282.  
Zong Guohong, Xiao Huanqin, Li Changbao, et al. Evolution of Jiyang depression and its tectonic implications [J]. Geological Journal of China Universities, 1999, 5(3): 275-282.
- [29] 王国庆, 宋国奇. 生烃增压在超压形成中的作用——以东营凹陷西部为例[J]. 科学技术与工程, 2014, 14(27): 177-181.  
Wang Guoqing, Song Guoqi. The effect of hydrocarbon Generation pressurization in the development of overpressure——taking the west part of Dongying depression as an example [J]. Science Technology and Engineering, 2014, 14(27): 177-181.
- [30] 宁方兴. 现河庄地区泥岩裂缝主控因素分析与油气成藏[J]. 石油地质与工程, 2008, 22(3): 37-39.  
Ning Fangxing. Key factors of mudstone fracture and its relationship with hydrocarbon formation at Xianhezhuang area [J]. Petroleum Geology and Engineering, 2008, 22(3): 37-39.
- [31] 宁方兴. 东营凹陷现河庄地区泥岩裂缝油气藏形成机制[J]. 新疆石油天然气, 2008, 4(1): 20-25.  
Ning Fangxing. Mechanism of mudstone fracture reservoir forming in Xianhezhuang oilfield in Dongying depression [J]. Xinjiang Oil & Gas, 2008, 4(1): 20-25.
- [32] 杨峰, 宁正福, 胡昌蓬, 等. 页岩储层微观孔隙结构特征[J]. 石油学报, 2013, 34(2): 301-311.  
Yang Feng, Ning Zhengfu, Hu Changpeng, et al. Characterization of microscopic pore structures in shale reservoirs [J]. Acta Petrolei Sinica, 2013, 34(2): 301-311.
- [33] 隋风贵. 浊积砂体油气成藏主控因素的定量研究[J]. 石油学报, 2005, 26(1): 55-59.  
Sui Fenggui. Quantitative study on key control factors for reservoir formation in turbidity sand [J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26(1): 55-59.

(收稿日期 2015-03-29 改回日期 2015-06-29 编辑 宋宁)

版权所有