

东濮凹陷北部沙三上亚段页岩油成藏地质条件与有利区优选

邓恩德¹, 张金川¹, 张鹏¹, 尉菲菲¹, 苏惠², 吕艳南¹, 隆帅¹

(1. 中国地质大学(北京)页岩气勘查与评价国土资源部重点实验室, 北京 100083;

2. 中国石化中原油田勘探开发科学研究院, 河南濮阳 457001)

摘要:通过对东濮凹陷北部沙三上亚段页岩油的沉积环境、地球化学特征、泥页岩展布特征和含油率等进行分析,认为东濮凹陷北部沙三上亚段沉积环境以湖泊相为主,泥页岩整体厚度大,分布范围广;有机质类型以II₁和II₂型为主,总有机碳含量平均为0.58%,氯仿沥青“A”含量均值为0.11%,生烃潜量均值为0.49 mg/g,镜质组反射率平均值0.85%,有机质进入生烃高峰期;页岩储集空间类型多样,微米级、纳米级孔喉和微裂隙较为发育,脆性矿物含量较高,大部分样品都大于50%,利于页岩油后期的开发生产;氯仿沥青“A”法和热解法测得含油率的均值分别为0.230 2, 0.227 8,说明研究区整体具有较好的生油潜力。根据泥页岩展布及其有机地化特征对勘探有利区进行预测,其中I类有利区主要位于以盐湖相和深湖-半深湖相沉积为主的濮城和庆祖集地区。

关键词:页岩油;东濮凹陷北部;沙三上亚段;地球化学特征;含油率;有利区

中图分类号: TE122

文献标志码: A

文章编号: 1672-3767(2015)03-0028-10

Geological Condition and Favorable Areas of Shale Oil in Upper-submember of Es3 Formation in Northern Dongpu Sag

Deng Ende¹, Zhang Jinchuan¹, Zhang Peng¹, Wei Feifei¹, Su Hui², Lü Yannan¹, Long Shuai¹

(1. Key Laboratory of Shale Gas Exploration and Evaluation, Ministry of Land and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Research Institute of Exploration and Development, Zhongyuan Oilfield, Sinopec, Puyang, Henan 457001, China)

Abstract: The sedimentary environment, geochemical characteristics, shale distribution and oil content of shale oil in the upper-submember of Es3 in northern Dongpu Sag were analyzed in this paper. The results show that the main sedimentary environment of the upper-submember of Es3 in northern Dongpu Sag is lake facies with thick and widely-distributed shale. With an average of 0.58% in TOC, 0.11% in chloroform bitumen “A” content, 0.49 mg/g in potential hydrocarbon generation amount and 0.85% in R_o , the organic matters II₁ and II₂ are in the peak of hydrocarbon generation. With diverse types of reservoir space and more developed micron, nanometer pore throat and micro fissures, there is a high content of brittle minerals, greater than 50% in most of the samples, which is beneficial to the late development and production of shale oil. With the respective oil rate of 0.230 2 and 0.227 8 measured by chloroform bitumen “A” method and pyrolysis method, the research area has good hydrocarbon generating potential. Based on organic shale distribution and geochemical characteristics, the exploration target area forecasting shows that the favorable areas of class I are mainly located in Pucheng and Qingzui where the main sedimentary environments are saline lake facies and deep-semi deep lake facies.

Key words: shale oil; northern Dongpu Sag; upper-submember of Es3; geochemical characteristics; oil rate; favorable areas

收稿日期: 2014-10-22

基金项目: “构造与油气资源”教育部重点实验室项目(TPR-2013-04)

作者简介: 邓恩德(1990—),男,湖南邵阳人,硕士研究生,主要从事非常规油气气的研究. E-mail: dengende@163.com

张金川(1964—),男,河南焦作人,教授,从事非常规天然气、成藏机理及资源评价方面的研究工作,本文通信作者。

页岩油在全球范围内广泛分布,资源量相当丰富,目前页岩油的探明储量远远超出原油的探明储量^[1]。美国中小骨干石油公司在页岩气开发取得巨大成功的同时,加大了对页岩油开发的投入,将页岩气生产技术应用于页岩油领域。自2005年以来,美国页岩油产量迅速增加,已陆续在南方及中西部地区的上古生界、中生界和新生界以海相为主的页岩层系中产出大量页岩油,现已形成 Bakken 页岩油田和 Eagle Fort 页岩油田两大页岩油产区^[2-5]。但国外非常规勘探成功的实例,都是在非常规油气的富集区。我国页岩油资源丰富,中国东部陆相盆地常规油气勘探开发过程中发现,泥页岩中赋存大量的非常规石油资源^[6-7]。中生代陆相泥页岩层系中的页岩油资源已引起了各石油公司的高度重视,中石化总公司在陆相泥页岩层系实现了页岩油的突破,为我国页岩油气的勘探开发探索了新的思路。东濮凹陷北部地区沙三段泥页岩段频繁见到气测异常和油气显示,濮深 18-1 井在沙三上亚段泥页岩获得日产油 420 t 高产油流,表明东濮凹陷具备形成泥页岩油气的条件和勘探潜力。本文以东濮凹陷沙三上亚段为研究对象,结合研究区沉积环境、泥页岩分布、地球化学特征及含油率等对页岩油的成藏地质条件加以研究,并选取页岩油评价参数优选有利区,有助于东濮凹陷尽快取得页岩油理论和实践突破,形成页岩油气接替新领域。

1 区域地质概况

东濮凹陷是我国东部油气最富集的凹陷之一,它位于渤海湾裂谷盆地西南端,属临清拗陷的一部分,总体上呈北北东向,北窄(14~18 km)、南宽(68 km),面积约 5 300 km²。其东侧以兰聊断裂为界,与鲁西隆起相邻,南隔兰考凸起,与开封拗陷相望,西侧超覆于内黄隆起上,北部以马陵断层为界,与临清拗陷的辛县凹陷相望^[8-9]。东濮凹陷是一早期呈东断西超、晚期双断式的凹陷,在构造演化及沉积相带展布上具有明显的“东西分带,南北分区”的特点,自西向东呈“两洼一隆一陡一斜坡”的构造格局。根据区内构造特征及地层结构将其划分为五个次级构造单元(图 1),即西部斜坡带、西部洼陷带、中央隆起带、东部洼陷带和东部陡坡带^[10-11]。研究区以中生界为基底,以新生界为主要盖层,油气资源主要集中在古近系沙河街组。

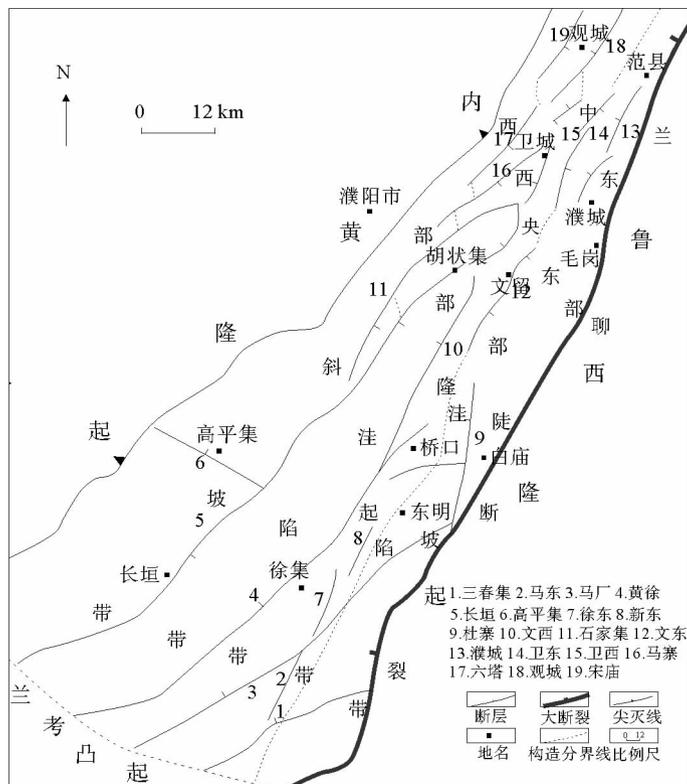


图 1 东濮凹陷构造单元划分图

Fig. 1 Dongpu Sag structure sketch partition

2.2 泥页岩有机地球化学特征

页岩油的生成与含油页岩的有机地球化学特征紧密相关,泥页岩作为页岩油的主力烃源岩,其生烃潜力是有机质丰度、类型及热成熟度等因素综合作用的结果^[12-13]。地球化学指标能直观、有效地反映泥页岩含油情况,因此采用上述地球化学指标对泥页岩的生烃潜力和页岩油的资源潜力进行评价。

2.2.1 有机质丰度

有机质丰度是衡量泥页岩生油质量好坏的基础指标,它不仅控制着页岩的物理化学性质,也在一定程度上控制着页岩裂缝的发育程度,更为重要的是控制着页岩的含油率^[13-16]。烃源岩有机质丰度常用评价指标包括总有机碳含量(total organic carbon, TOC)、氯仿沥青“A”、生烃潜量($S_1 + S_2$)和总烃含量(total hydrocarbon content, HC)等参数,页岩的含油性以及原油富集程度与这些参数密切相关^[17]。

有机碳含量是页岩油聚集成藏最为重要的控制因素,可以有效地反映干酪根的含量。据福特沃斯(前陆)盆地 Barnett 页岩产油段情况,页岩油产量高的地方,有机碳含量也高^[18],有机碳含量与页岩油含量呈很好的正相关关系。氯仿沥青“A”和生烃潜量($S_1 + S_2$)是直接反映页岩含油量的地球化学首推指标^[19],但由于干酪根是生油的主要先质和油气吸附的主要介质,故将有机碳含量与氯仿沥青“A”和生烃潜量($S_1 + S_2$)相结合,对页岩油进行评价。

沙三上亚段 TOC 值主要分布在 0~0.5% 及 0.5%~1.0% 两个区间,均值 0.58%;氯仿沥青“A”含量主要分布在 0~0.015% 及大于 0.2% 两个区间,均值 0.11%;($S_1 + S_2$)主要分布在 0~2 mg/g,均值 0.49 mg/g。因此,根据上述分析认为沙三上亚段的烃源岩生烃潜力较好(图 3)。

2.2.2 有机质类型

有机质类型是影响烃源岩生油能力的重要因素之一,有机质类型不同将会使泥页岩的生烃潜力和烃类产物有所差别。常用干酪根元素分析、干酪根镜下鉴定、岩石热解及生物标志化合物等评价方法,对泥页岩的有机质类型进行分析^[20]。不同类型的干酪根,其微观组分有所差别,微观组分也是控制页岩含油性的主要因素。本研究采用卢双舫^[21]提出的干酪根类型指数 KTI(type of kerogen-index)对研究区进行干酪根类型分析,实现了干酪根类型的数值化。通过对多口钻井泥页岩样品干酪根类型进行测定分析,类型指数为 32~65,干酪根类型以 II₁型和 II₂型为主(图 4),利于烃源岩生油。

2.2.3 有机质成熟度

有机质达到一定的热演化阶段才能降解生烃,成熟度是表征有机质生油或向烃类转化程度的重要参数。干酪根的成熟度不仅可以用来预测烃源岩中的生烃潜力,还可以用于高变质地区寻找裂缝性页岩油储层,作为页岩储层系统有机成因研究的指标。评价有机质成熟度的方法有多种,主要包括三大光学手段即反射光、透射光及荧光,其中反射光所包含的镜质组

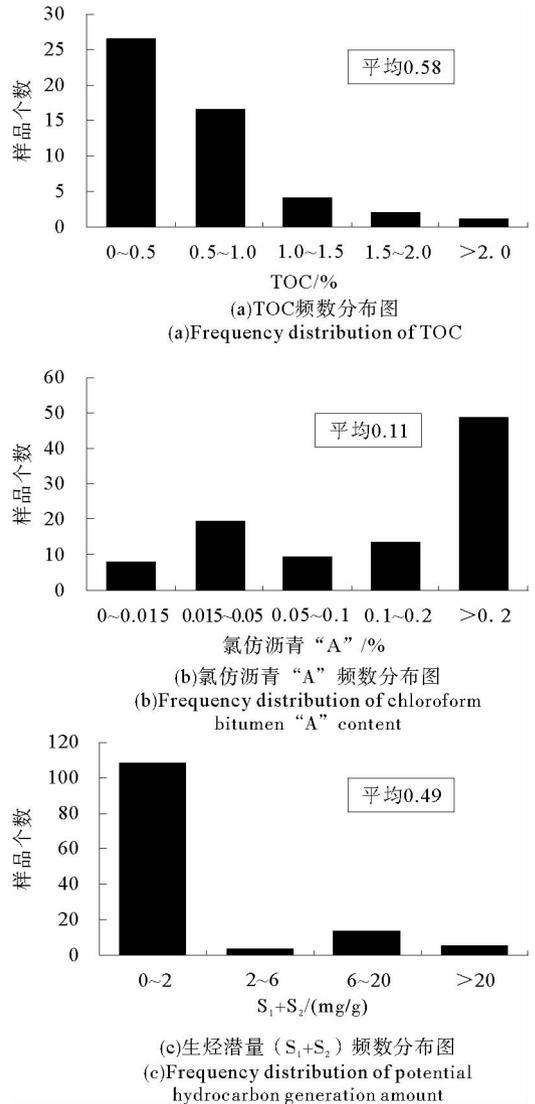


图 3 东濮凹陷北部沙三上亚段泥页岩样品有机质丰度频数分布图

Fig. 3 Frequency distribution of organic matter in upper-submember of Es3 formation in northern Dongpu Sag

反射率(R_o)是确定有机质成熟度的最有效方法^[22]。通过对东濮凹陷沙三上亚段泥页岩 27 个样品的分析测试, R_o 值为 0.47%~1.32%,平均 0.85%,表明研究区有机质处于成熟演化阶段,进入生烃的高峰期,有利于页岩油的形成与富集。

2.3 泥页岩的储层特征

2.3.1 岩石及矿物学特征

通过对东濮凹陷北部沙三上亚段泥页岩岩石矿物学研究发现,研究区内页岩主要有深灰色页岩、灰质页岩、粉砂质页岩、膏质页岩等。页岩矿物成分复杂,主要由碎屑矿物和粘土矿物组成,碎屑矿物包括石英、长石、方解石等,含量一般超过 40%;粘土矿物有蒙脱石、伊利石、高岭石等;黄铁矿单体或集合体常与干酪根有机质共生。页岩层理结构十分发育。其中粘土矿物与有机碳含量密切相关,有机质常常吸附在粘土矿物表面,影响页岩的含油量;碎屑矿物的含量是影响页岩基质孔隙和微裂缝发育程度、含油性、压裂改造方式的重要因素,对页岩油后期开发生产具有重要意义。

通过对沙三上亚段不同沉积环境下泥页岩矿物成分分析(图 5),可知深湖-半深湖相泥页岩中粘土矿物含量明显高于水下分流间湾相与前三角洲泥相,达到 42%,长石含量相对较小,约 6%,石膏含量甚少,石英与碳酸盐岩矿物含量相差不大;水下分流间湾相与前三角洲泥相中的泥页岩样品矿物组成总体特征相似。研究区沙三上亚段泥页岩矿物成分中,脆性矿物含量较高,大部分样品都大于 50%,有利于页岩油的后期开发生产。

2.3.2 储集空间类型及孔渗特征

页岩的储集空间类型、孔渗物性及裂缝发育程度对页岩油的富集和开发具有重要意义,储层孔隙结构的复杂性及多样性,使其具有储集流体和提供流动空间的双重作用^[23-24]。储层脆性矿物含量对页岩含油性、微裂缝发育程度及后期压裂改造方式产生重要影响。

东濮凹陷北部页岩储集空间类型多样,包括微米级孔隙、纳米级孔喉和微裂隙,以纳米级孔喉为主,微米级孔隙和微裂隙次之。纳米级孔隙主要有黏土矿物晶间孔、次生溶孔、自生石英粒间孔-晶间孔、长石粒间孔、碳酸盐晶间孔、黄铁矿晶间孔等,孔径一般小于 500 nm,局部发育微米级孔隙(图 6)。

孔渗特征是判断页岩油藏是否具有开发价值的重要参数,页岩油需要相对较大的储集空间,对孔渗的要求较高。页岩储层基质孔渗非常低,渗透率一般小于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,孔隙度一般为 3%~5%。通过对东濮凹陷孔渗分析测试数据统计表明,沙三段泥页岩孔隙度为 1.0~5.0%,平均值 3.7%;渗透率为 $0 \sim 0.05 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均值 $0.0913 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

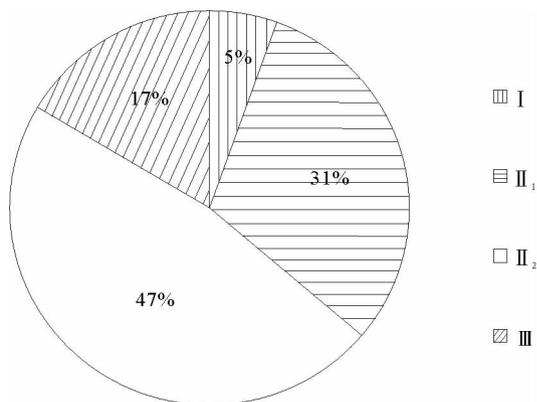


图 4 东濮凹陷北部沙三上亚段页岩热解法测定有机质类型分布饼图

Fig. 4 Organic matter types proportions by shale pyrolysis sedimentary facies in upper-submember of Es3 formation in northern Dongpu Sag

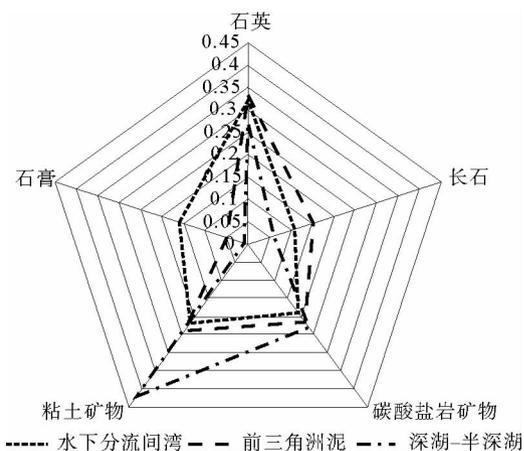
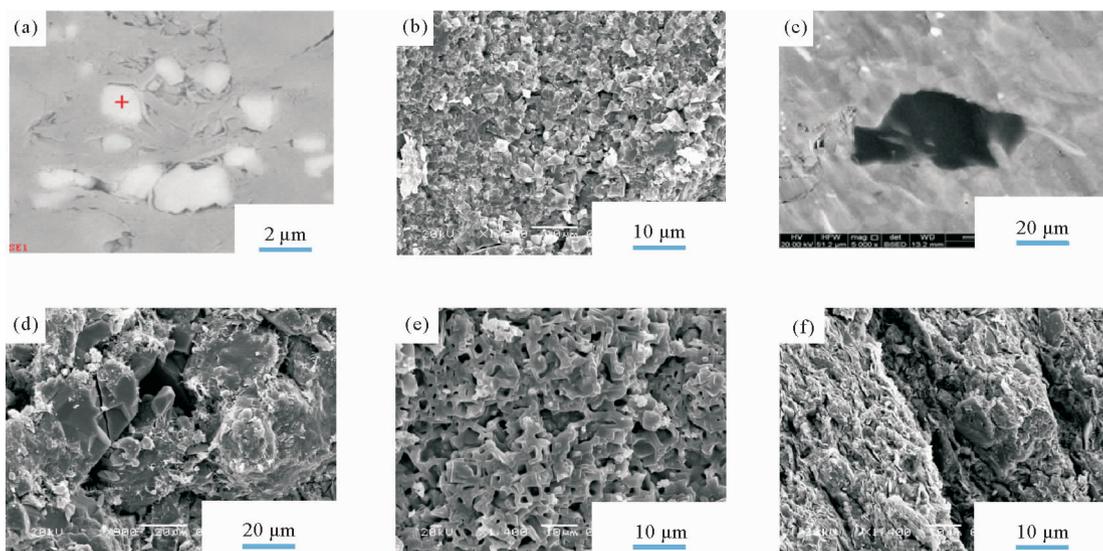


图 5 不同沉积相泥页岩矿物全岩分析图

Fig. 5 Mineral compositions of shale in different



(a)卫 69 井,黄铁矿晶间孔,和粘土矿物共生;(b)卫 79-8 井,碳酸盐岩晶间孔,晶间微孔隙;(c)濮 148 井,有机质孔;(d)卫 69 井,粒间次生溶蚀孔隙;(e)文古 4 井,石盐集合体被溶蚀呈骨骸状,次生溶蚀微孔隙发育;(f)胡 123 井,片丝状伊利石集合体呈鳞片状结构,裂缝发育

图 6 东濮凹陷北部沙三上亚段泥页岩储集空间

Fig. 6 Reservoir space of shale in upper-submember of Es3 formation in northern Dongpu Sag

2.4 泥页岩的含油性特征

泥页岩含油性受有机质丰度、干酪根类型、有效厚度、储层物性及含油率等多种因素影响,其中含油率是表征页岩含油性的最关键参数。直接反映页岩含油量的地球化学指标首推氯仿沥青“A”含量和热解烃量(S_1),同时,总有机碳含量与页岩含油量呈很好的正相关关系。故将这三个参数结合起来对泥页岩的含油性进行研究。

本次研究尝试采用多种方法对含油率进行测试,如岩心实测、地球化学、含油饱和度等方法,但由于本次实验的岩心样品存放时间过长,采用岩心实测法和含油饱和度法对结果的准确性影响较大。故采用地球化学法中的氯仿沥青“A”法及热解法对页岩油含油率进行计算,通过对卫 69 井、卫 79 井、濮 6-33 井、文 260 井等重点探井运用这两种方法进行含油率计算,沙三上亚段用氯仿沥青“A”法测得含油率的均值为 0.230 2,热解法测得的含油率均值为 0.277 8。说明东濮凹陷沙三上亚段有较好的生油潜力。

3 页岩油地质评价选区

3.1 评价参数选取

通过大量美国典型页岩油盆地研究发现,总有机碳含量(TOC)、有机质成熟度(R_o)、有机质类型等地化参数对页岩油的富集与形成具有最直接影响,是有利区的优选首选参数^[25-27]。在此基础上,选取中国页岩油研究获得突破的代表性盆地进行对比^[28-30](表 1),结合研究区页岩油资源的特点,根据地化参数对比,将东濮凹陷北部沙三上亚段页岩油分布区划分为目标区(I类)、有利区(II类)和远景区(III类)三个级别(表 2)。

3.2 页岩油有利区优选

综合泥页岩展布及有机地球化学特征,将东濮凹陷北部沙三上亚段划分 I 类、II 类、III 类三个级别勘探目标区,绘制综合有利区分布图(图 7)。

I 类有利区位于濮城和庆祖集以及项城西部一小块地区,以盐湖相和深湖-半深湖相沉积为主,有机质丰度较大,热演化程度适中,含油率较高,泥页岩厚度大,埋深相对较浅,利于页岩油的富集成藏,可作为研究区页岩油前期勘探工作及后期生产开发的首选区(图 7)。

表 1 中国断陷盆地与美国典型盆地页岩油评价地球化学参数对比

Tab. 1 Geochemical parameters comparison in shale oil between faulted basin of China and typical basin of American

地区	盆地	页岩层系	TOC/%	R _o /%	有机质类型	厚度/m	埋深/m
美国	Williston	Bakken	7.2~10.6	0.6~1.0	I, II	3~15	2 438~3 200
	Maverick	Eagle Ford	2.0~6.5	1.0~1.7	I, II	45~100	1 968~3 658
	FortWorth	Barnett	1.0~10.0	1.1~2.3	II	15~60	1 981~2 591
	SanJoaquin	Monerey	0.7~5.6	0.3~1.1	II	914~1 220	2 130~4 267
中国	辽河拗陷	沙三段	1.0~17.1	0.5~2.0	II, III	50~500	2 500~4 500
	泌阳凹陷	核三段	1.1~4.4	0.6~1.1	II ₁ , II ₂	60~620	1 243~3 085
	长岭拗陷	嫩一段	1.80~9.85	0.5~0.8	I, II ₁	> 40	1 500~4 000
	鄂尔多斯	陇东长 7 段	0.51~20.5	0.5~2.0	I, II	10~30	1 000~3 500

表 2 东濮凹陷北部沙三上亚段页岩油有利区评价标准

Tab. 2 Favorable areas selection standards of shale oil in upper-submember of Es3 formation in northern Dongpu Sag

评价参数	TOC/%	R _o /%	有机质类型	厚度/m	脆性矿物/%	含油率/%	渗透率/(10 ⁻³ μm ²)	孔隙度/%	埋深/m
III类	0.5~0.7	0.4~0.6	I, II	10~20	35~40	>0.18	<0.1	2~3	4 000~4 500
II类	0.7~1.0	0.6~0.8	I, II	20~30	40~45	>0.18	<0.1	3~4	3 250~4 000
I类	>1.0	>0.8	I, II	>30	>45	>0.18	<0.1	>4	2 400~3 250

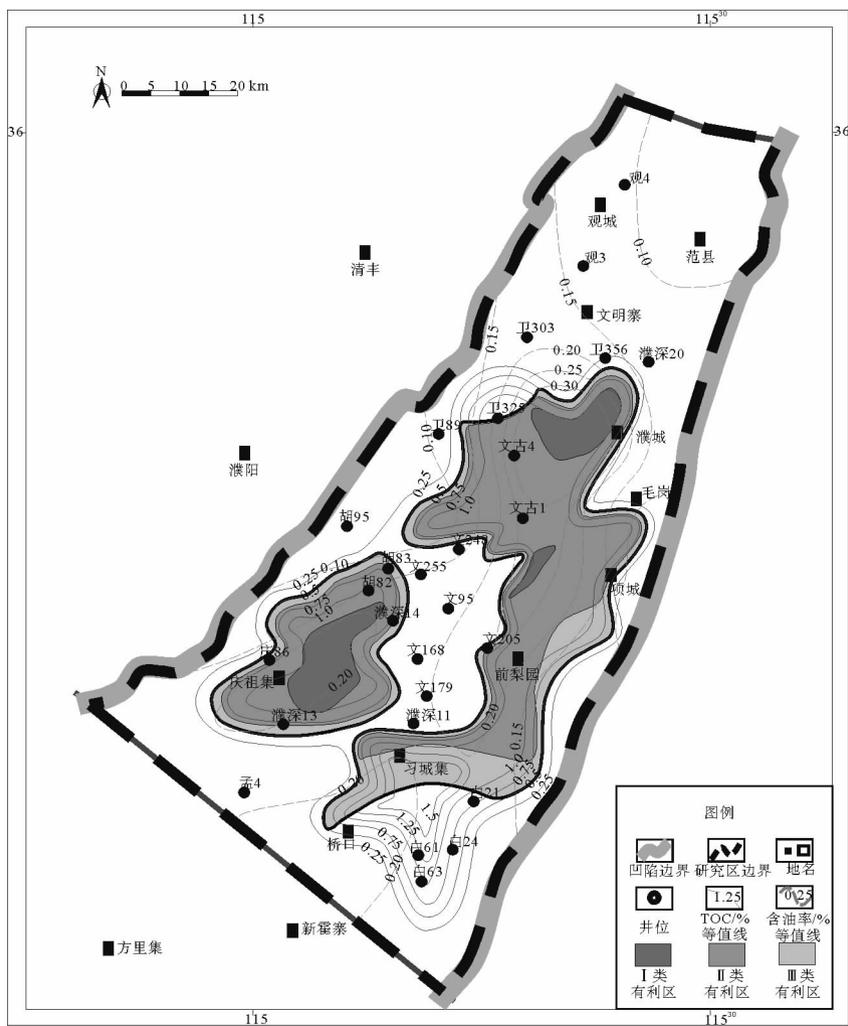


图 7 东濮凹陷北部沙三上亚段页岩油有利区分布图

Fig. 7 Favorable areas distribution of shale oil in upper-submember of Es3 formation in northern Dongpu Sag

Ⅱ类有利区是以Ⅰ类有利区为中心,向周边延伸的地区,包含两大区块,即南北向习城集-前梨园-濮城地区和东西向习城-柳屯地区的大范围区块,以及庆祖集地区小范围区块,沉积相以盐湖相、滨湖相及深湖-半深湖相为主,与Ⅰ类有利区相比,其埋深有所增大,含油率稍微降低一些,成熟度偏低,其他评价参数变化不大,可作为页岩油勘探开发后期的努力方向(图7)。

Ⅲ类有利区在Ⅰ类、Ⅱ类基础上再向外延伸一小部分,同时增加了桥口和习城集附近区域,以湖相沉积为主,可作为页岩油发展的远景区(图7)。

4 结论

1)东濮凹陷北部沙三上亚段以湖泊相沉积为主,泥页岩发育整体厚度大,埋深适中,总有机碳含量平均值为0.58%,有机质类型以Ⅱ₁和Ⅱ₂型为主,氯仿沥青“A”含量均值为0.11%,生烃潜量(S₁+S₂)均值0.51 mg/g,镜质组反射率平均值为0.85%,有机质处于成熟演化阶段,进入生烃的高峰期,有利于页岩油的形成与富集。

2)研究区沙三上亚段泥页岩矿物成分受不同沉积环境影响,脆性矿物含量较高,大部分样品均大于50%,有利于页岩油的后期开发生产。页岩储集空间类型多样,微米级孔隙、纳米级孔喉和微裂隙较为发育,主要孔隙类型有矿物晶间孔、次生溶孔、自生石英粒间孔-晶间孔、长石粒间孔等。

3)综合运用氯仿沥青“A”法及热解法对泥页岩含油率进行计算,发现沙三上亚段用氯仿沥青“A”法测得的含油率均值为0.230 2,热解法测得的含油率均值为0.277 8,说明东濮凹陷沙三上亚段整体具有较好的生油潜力。

4)综合泥页岩展布及有机地球化学特征对研究区进行勘探目标有利区预测,Ⅰ类有利区主要位于濮城、庆祖集地区及项城西面一小块地区;Ⅱ类有利区为南北向习城集-前梨园-濮城地区和东西向习城-柳屯地区的大范围区块,及庆祖集地区小范围区块;Ⅲ类有利区在Ⅱ类有利区基础上向外延伸一部分,同时增加了桥口和习城集附近区域。

参考文献:

- [1]罗承先.页岩油开发可能改变世界石油形势[J].中外能源,2011,16(12):22-26.
Luo Chengxian. Shale oil development may change the landscape in the world's oil market[J]. Sino-Global Energy,2011,16(12):22-26.
- [2]Dittrick P. Industry expects rapid gains in Eagle Fort shale output[J]. Oil & Gas Journal,2011,109(27):32-34.
- [3]Sonnenberg S A, Pramudito A. Petroleum geology of the giant Elm Coulee field, Williston Basin[J]. AAPG Bulletin,2009,93(9):127-153.
- [4]Mullen J, Lowry J C, Nwabuoku K C. Lessons learned developing the Eagle Ford shale[R]. San Antonio, Texas: International society of petroleum engineers,2010:32-35.
- [5]张金川,薛会,张德明,等.页岩气及其成藏机理[J].现代地质,2003,17(4):466.
Zhang Jinchuan, Xue Hui, Zhang Deming, et al. Shale gas and its accumulation mechanism[J]. Geoscience,2003,17(4):466.
- [6]陈祥,王敏,严永新,等.泌阳凹陷陆相页岩油气成藏条件[J].石油与天然气地质,2011,32(4):568-576.
Chen Xiang, Wang Min, Yan Yongxin, et al. Accumulation conditions for continental shale oil and gas in the Biyang Depression[J]. Oil & Gas Geology,2011,32(4):568-576.
- [7]张金功,袁政文.泥质岩裂缝油气藏的成藏条件及资源潜力[J].石油与天然气地质,2002,23(4):336-338.
Zhang Jingong, Yuan Zhengwen. Formation and potential of fractured mudstone reservoirs[J]. Oil & Gas Geology,2002,23(4):336-338.
- [8]孙思敏.东濮凹陷调节构造特征[J].油气地质与采收率,2007,14(2):38-46.
Sun Simin. Characteristics of accommodation structures in Dongpu Sag[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency,2007,14(2):38-46.
- [9]胥菊珍,王世坤,黄俊峰,等.东濮凹陷构造样式及其演化规律[J].新疆石油地质,2004,25(5):492-494.
Xu Juzhen, Wang Shikun, Huang Junfeng, et al. Structural style and evolution in Dongpu Sag[J]. Xinjiang Petroleum Geology,2004,25(5):492-494.

- [10]陈书平,漆家福,王德仁,等.东濮凹陷断裂系统及变换构造[J].石油学报,2007,28(1):43-49.
Chen Shuping, Qi Jiafu, Wang Deren, et al. Fault systems and transfer structures in Dongpu Sag[J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(1): 43-49.
- [11]张克鑫,漆家福,赵衍彬,等.新生代东濮凹陷构造特征及其演化[J].新疆石油地质,2007,28(6):714-717.
Zhang Kexin, Qi Jiafu, Zhao Yanbin, et al. Structural characteristics and evolution of Cenozoic in Dongpu Sag[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2007, 28(6): 714-717.
- [12]蒲泊伶,包书景,王毅,等.页岩气成藏条件分析:以美国页岩气盆地为例[J].石油地质与工程,2008,22(3):33-36.
Pu Boling, Bao Shujing, Wang Yi, et al. Analysis of shale gas forming conditions; A case of shale gas basin in America[J]. Petroleum Geology and Engineer, 2008, 22(3): 32-39.
- [13]聂海宽,唐玄,边瑞康.页岩气成藏控制因素及中国南方页岩气发育有利区预测[J].石油学报,2009,30(4):484-491.
Nie Haikuan, Tang Xuan, Bian Ruikang. Controlling factors for shale gas accumulation and prediction of potential development area in shale gas reservoir of South China[J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(4): 484-491.
- [14]聂海宽,张金川.页岩气聚集条件及含气量计算:以四川盆地及其周缘下古生界为例[J].地质学报,2012,86(2):349-361.
Nie Haikuan, Zhang Jinchuan. Shale gas accumulation conditions and gas content calculation: A case study of Sichuan Basin and its periphery in the Lower Paleozoic[J]. Acta Geologica Sinica, 2012, 86(2): 349-361.
- [15]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.
- [16]李婉君,张金川,荆铁亚,等.辽河西部凹陷页岩油聚集条件及有利区优选[J].特种油气藏,2014,21(1):59-63.
Li Wanjun, Zhang Jinchuan, Jing Tieya, et al. Shale oil accumulation conditions and optimization of favorable areas in the West Liaohe Sag[J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2014, 21(1): 59-63.
- [17]李志明,徐二社,秦建中,等.烃源岩评价中的若干问题[J].西安石油大学学报:自然科学版,2010,25(6):8-12.
Li Zhiming, Xu Ershe, Qin Jianzhong, et al. Some petroleum on the evolution of source rock[J]. Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition, 2010, 25(6): 8-12.
- [18]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.
- [19]卢双舫,黄文彪,陈方文,等.页岩油气资源分级评价标准探讨[J].石油勘探与开发,2012,39(2):249-256.
Lu Shuangfang, Huang Wenbiao, Chen Fangwen, et al. Classification and evaluation criteria of shale oil and gas resources discussion and application[J]. Petroleum Exploration and Development, 2012, 39(2): 249-256.
- [20]刚文哲,林壬子.应用油气地球化学[M].北京:石油工业出版社,2011:198-204.
- [21]卢双舫.有机质成烃动力学理论及其应用[M].北京:石油工业出版社,1996:62-99.
- [22]程顶胜.烃源岩有机质成熟度评价方法综述[J].新疆石油地质,1998,19(5):428-432.
Cheng Dingsheng. Review of source rock maturity evaluation by organic petrology method[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1998, 19(5): 428-432.
- [23]龙鹏宇,张金川,唐玄,等.泥页岩裂缝发育特征及其对页岩气勘探和开发的影响[J].天然气地球科学,2011,22(3):525-532.
Long Pengyu, Zhang Jinchuan, Tang Xuan, et al. Feature of muddy shale fissure and its effect for shale gas exploration and development[J]. Natural Gas Geoscience, 2011, 22(3): 525-532.
- [24]邹才能,杨智,崔景伟,等.页岩油形成机制、地质特征及发展对策[J].石油勘探与开发,2013,40(1):14-26.
Zou Caineng, Yang Zhi, Cui Jingwei, et al. Formation mechanism, geological characteristics, and development strategy of nonmarine shale oil in China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2013, 40(1): 14-26.
- [25]付金华,郭少斌,刘新社,等.鄂尔多斯盆地上古生界山西组页岩气成藏条件及勘探潜力[J].吉林大学学报:地球科学版,2013,43(2):382-389.
Fu Jinhua, Guo Shaobin, Liu Xinshe, et al. Reservoir-forming conditions and exploration potential of shale gas in Shanxi Formation of Early Paleozoic in Ordos Basin[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2013, 42(2): 382-389.
- [26]宋国奇,张林晔,卢双舫,等.页岩油资源评价技术方法及其应用[J].地学前缘,2013,20(4):221-228.

Song Guoqi, Zhang Linye, Lu Shuangfang, et al. Resource evaluation method for shale oil and its application[J]. Earth Science Frontiers, 2013, 20(4): 221-228.

[27] 武晓玲, 高波, 叶欣, 等. 中国东部断陷盆地页岩油成藏条件与勘探潜力[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(4): 455-462.

Wu Xiaoling, Gao Bo, Ye Xin, et al. Shale oil accumulation conditions and exploration potential of faulted basins in the East of China[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(4): 455-462.

[28] 胡望水, 张骞, 王长江, 等. 长岭坳陷地区嫩江组一段页岩油资源评价[J]. 特种油气藏, 2014, 21(1): 46-49.

Hu Wangshui, Zhang Ao, Wang Changjiang, et al. Evaluation of the Neijiang Formation member 1 shale oil resource in the Changling Depression[J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2014, 21(1): 46-49.

[29] 高岗, 刘显阳, 王银会, 等. 鄂尔多斯盆地陇东地区长7段页岩油特征与资源潜力[J]. 地学前缘, 2013, 20(2): 140-146.

Gao Gang, Liu Xianyang, Wang Yinhui, et al. Characteristics and resources potential of the oil shale of Chang 7 layer in Longdong area, Ordos Basin[J]. Earth Science Frontiers, 2013, 20(2): 140-146.

[30] 吕明久, 付代国, 何斌, 等. 泌阳凹陷深凹区页岩油勘探实践[J]. 石油地质与工程, 2012, 26(3): 85-87.

Lv Mingjiu, Fu Daiguo, He Bin, et al. Exploration practice of shale oil in deep sag area of Biyang depression[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2012, 26(3): 85-87.

(责任编辑: 高丽华)

“沉积·资源·环境”研究专栏征稿

征稿范围:

- ◇地质基本科学问题、应用及发展
- ◇全球环境变化与沉积作用
- ◇盆地分析与板块运动
- ◇盆地运动学的新理论
- ◇能源的勘探与开发
- ◇大地构造沉积学
- ◇层控矿床
- ◇岩相古地理
- ◇生物成矿作用
- ◇流域开发与环境保护
- ◇层序地层与事件地质
- ◇油气储集层的成岩作用

欢迎相关领域专家、学者和工程技术人员踊跃投稿, 来稿请注明“沉积·资源·环境”专栏。稿件经专家评审通过后优先发表, 优稿优酬。

投稿平台: http://xuebao.sdust.edu.cn/index_z.asp

电子邮箱: zkglhxx@163.com; zkzxcg@sdust.edu.cn

联系电话: 0532-86057859

山东科技大学学报(自然科学版) 编辑部