

## 沾化凹陷三合村地区油气来源及运移方向

王秀红<sup>1</sup>,张守春<sup>1</sup>,李政<sup>1</sup>,徐兴友<sup>1</sup>,陈涛<sup>1</sup>,杨轩<sup>2</sup>,周末<sup>2</sup>

(1.中国石化胜利油田分公司地质科学研究所,山东东营 257015; 2.中国石油大学(北京)地球科学学院,北京 102249)

**摘要:**沾化凹陷三合村地区油源条件复杂,油气分布规律尚不明确,制约了该区的勘探进展。根据原油物性、生物标志物、碳同位素和成熟度参数等对三合村地区油气来源及运移方向进行了系统分析。结果表明,三合村地区原油可划分为沙四型及混合型2类,第I类原油是来源于渤南洼陷沙四段烃源岩的成熟油,第II类原油是来自渤南洼陷沙四段烃源岩与孤南洼陷沙三段烃源岩的混源油。根据油气运移示踪指标分析,三合村地区原油的主力充注方向为从东北到西南。结合构造及油气规模分析,北部洼陷带与孤岛南部鼻状构造带的有利圈闭为下一步勘探方向。

**关键词:**运移方向 油源对比 沙四型原油 沙三型原油 三合村地区

中图分类号:TE112.114

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2015)01-0047-05

## Study on hydrocarbon sources and migration pathways in Sanhecun area of Zhanhua sag

Wang Xiuhong<sup>1</sup>, Zhang Shouchun<sup>1</sup>, Li Zheng<sup>1</sup>, Xu Xingyou<sup>1</sup>, Chen Tao<sup>1</sup>, Yang Xuan<sup>2</sup>, Zhou Mo<sup>2</sup>

(1. Geoscience Research Institute, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying City, Shandong Province, 257015, China; 2. College of Geosciences, China University of Petroleum (Beijing), Beijing City, 102249, China)

**Abstract:** Hydrocarbon source conditions in Sanhecun area of Zhanhua sag are complex and hydrocarbon distribution rules are not clear, which constrain the exploration in the area. The hydrocarbon sources and migration pathways have been analyzed systematically based on crude oil physical properties, biomarker and carbon isotopes and maturity parameters. The results obtained show that the crude oil in the Sanhecun area is classified into two types: Es<sub>4</sub> type crude oil and mixed crude oil. The former is migrating from hydrocarbon rocks in the 4<sup>th</sup> member of Shahejie Formation in Bonan subsag, and the latter is migrating from both the hydrocarbon rocks in the 4<sup>th</sup> member of Shahejie Formation in Bonan subsag and the rocks in the 3<sup>rd</sup> member of Shahejie Formation in Gunan subsag. It is known that the main crude oil filling direction is from the northeast to the southwest according to the analysis of tracing index of hydrocarbon migration. Combining with the analyses on structures and hydrocarbon scale, the favorable traps in the sub-depression of the northern subsag and in the nose structure of southern Gudao uplift are the next exploration targets.

**Key words:** migration pathway; hydrocarbon source correlation; Es<sub>4</sub> type crude oil; Es<sub>3</sub> type crude oil; Sanhecun area

三合村地区位于济阳拗陷沾化凹陷东部,其西北部以孤南断层西段为界,东部以孤西断层为界,南邻陈家庄凸起东段北翼,是渤南、孤南—富林洼陷生成的油气向陈家庄凸起运移的重要路径,具有优越的油源条件;目前中生界潜山、古近系沙河街组、东营组和新近系馆陶组均有油气发现,是一个多层系含油的复式油气聚集带。但是三合村地区

及周缘已发现油气藏非常有限,其油气展布的不均衡性也揭示了该区可能还存在着较大的勘探潜力,由于研究区油源条件非常复杂,油气分布规律尚不明确,对其油气成藏规律缺乏系统的认识。因此加强研究区油气来源与运聚规律研究,不但可以提高勘探成功率,同时对类似低勘探程度地区也具有借鉴意义。

收稿日期:2014-11-29。

作者简介:王秀红(1981—),女,辽宁沈阳人,工程师,硕士,从事油气地球化学综合研究。联系电话:15263871080,E-mail:ct0001059@126.com。

基金项目:国家科技重大专项“渤海湾盆地精细勘探关键技术”(2011ZX05006),国家“973”项目“中国东部古近系陆相页岩油富集机理与分布规律”(2014CB239100),中国石化科技攻关课题“泥页岩微观结构表征与含油性、油气可流动性评价”(P14068)。

## 1 油气来源

### 1.1 烃源岩生物标志物特征

油源是成藏的物质基础,明确烃源岩成烃特征对划分成藏系统、研究油气分布规律具有重要的作用<sup>[1-4]</sup>。三合村地区毗邻多个供油洼陷(孤南洼陷、富林洼陷、渤南洼陷),包括多套生烃层系(沙四段、沙三段、沙一段)(图1),属于典型的“多洼多源”成烃体系,由于沉积环境的差异,不同洼陷不同烃源岩层系的生物标志物特征存在显著差异。

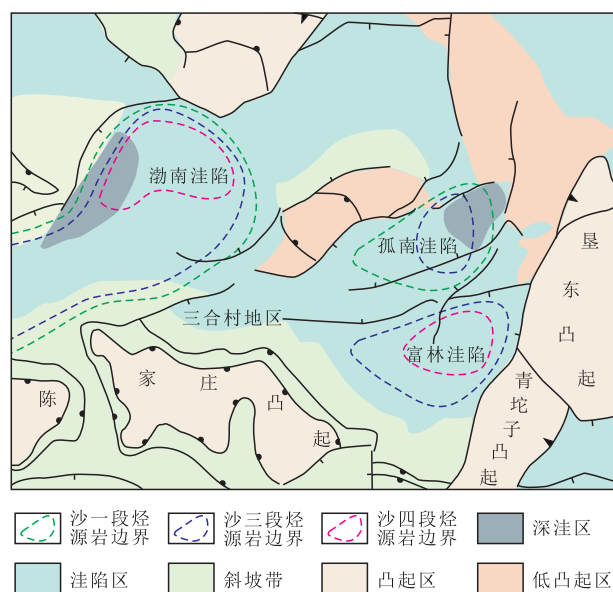


图1 三合村地区及周围烃源岩分布

Fig.1 The source rock distribution in Sanhecun area and in neighboring region

沙四段上亚段烃源岩主要发育于渤南洼陷,岩性以碳酸盐岩为主,  $Pr/Ph < 1$ , 呈植烷优势;重排甾烷含量低,4-甲基甾烷含量丰富,伽马蜡烷含量较高;甾烷相对含量一般为  $C_{27} > C_{29} > C_{28}$ , 指示以水生生源为主;  $C_{21}$  孕甾烷含量高,含有  $C_{28}-29, 30$  二降藿烷,  $C_{35}/C_{34}$  升藿烷值大于1,反映出咸化、还原条件的沉积环境。

沙三段下亚段烃源岩在3个洼陷普遍发育,  $Pr/Ph > 1$ , 具有姥鲛烷优势,显示出弱氧化—弱还原的沉积环境;伽马蜡烷含量低,表示淡水—微咸水的湖相环境;甾烷相对含量一般为  $C_{27} > C_{29} > C_{28}$ 。受沉积环境与成熟度差异的双重影响,各洼陷的区别主要体现在:在渤南洼陷,重排甾烷含量一般较低,而4-甲基甾烷含量中等,成熟度较高,甾烷异构化参数 ( $C_{29}S/(S+R)$ ) 为  $0.47 \sim 0.63$ ;  $T_s/T_m < 1$ , 甲藻甾烷与三芳甲藻甾烷不太发育,碳同位素呈“U”型分布,变化幅度不大,低碳数偏重;在孤南洼陷,重排甾烷

和4-甲基甾烷都很丰富,成熟度较高,  $T_s/T_m > 1$ , 甲藻甾烷与三芳甲藻甾烷发育,碳同位素偏轻,且分布较为稳定;在富林洼陷,重排甾烷与4-甲基甾烷不发育,成熟度较低,  $T_s/T_m < 1$ , 甲藻甾烷和三芳甲藻甾烷均发育。

沙一段烃源岩在渤南洼陷与孤南洼陷均有发育,  $C_{29}S/(S+R)$  值一般小于0.32,为典型的低熟油。含有  $C_{26}$  甾烷,重排甾烷和4-甲基甾烷含量低,  $T_s$  含量甚微,富含伽马蜡烷,但是孤南洼陷的伽马蜡烷含量明显更高,三芳甾烷与三芳甲藻甾烷含量更丰富,表现出更咸化的特点。

### 1.2 原油类型及分布

三合村地区勘探程度低,所钻探井较少,此次研究收集了见油气显示井的油砂及原油样品7块。油砂抽提物和原油经物性测定后,进行饱和烃、芳烃色谱—质谱分析以及常规族组分碳同位素分析。根据原油类异戊二烯烃、甾烷类和萜类化合物的差异,结合原油物性及碳同位素特征,将三合村地区的原油划分为2种成因类型。

第I类原油是来源于沙四段的成熟油,为研究区的主要原油类型,该类原油以高硫和重碳同位素为特征,主要分布在研究区北部洼陷带沙三段储层中,代表井如罗322和垦119井,多为岩性油气藏,埋深约为2200~2500 m。这类原油的生物标志物特征主要为(图2a):孕甾烷含量高,规则甾烷的分布形式为“V”型,成熟度高,  $C_{29}S/(S+R)$  值为  $0.43 \sim 0.44$ ,  $C_{35}$  升藿烷含量大于  $C_{34}$  升藿烷,具有明显的翘尾特征,伽马蜡烷指数为  $0.2 \sim 0.9$ ,有  $C_{28}-29, 30$  二降藿烷,这是渤南洼陷沙四段烃源岩的典型特征。

第II类原油主要分布在研究区南部斜坡带陈家庄凸起东段地区,储层为馆陶组,埋深较浅,多数为1200~1300 m,均遭受了不同程度的生物降解;以地层油藏为主,如垦68和垦69井等。该类原油含硫量较高,为  $1.5\% \sim 2.0\%$ ,族组分碳同位素较重,族组成及碳同位素分析均表明其具有混源特征(图3)。从原油饱和烃色谱图上可以看出,正构烷烃已经完全消失,类异戊二烯烃所剩不多,为中等生物降解。甾烷和萜烷保存完整,可以进行油源对比。这类原油的生物标志物特征为(图2b):规则甾烷以  $C_{27}$  为主,甾烷含量为  $C_{27} > C_{29} > C_{28}$ ,  $C_{29}S/(S+R)$  值为  $0.35 \sim 0.41$ ,为中等成熟原油;重排甾烷比较发育,4-甲基甾烷含量高,  $T_s/T_m$  值为  $0.60 \sim 0.77$ ;伽马蜡烷指数较低,以垦69井原油为例,伽马蜡烷/ $C_{30}$  藿烷值为  $0.12$ ,  $C_{35}/C_{34}$  升藿烷值为  $0.89$ ,生物标志物特征介于沙三段原油(伽马蜡烷指数小于  $0.10$ ,  $C_{35}/C_{34}$  升藿烷

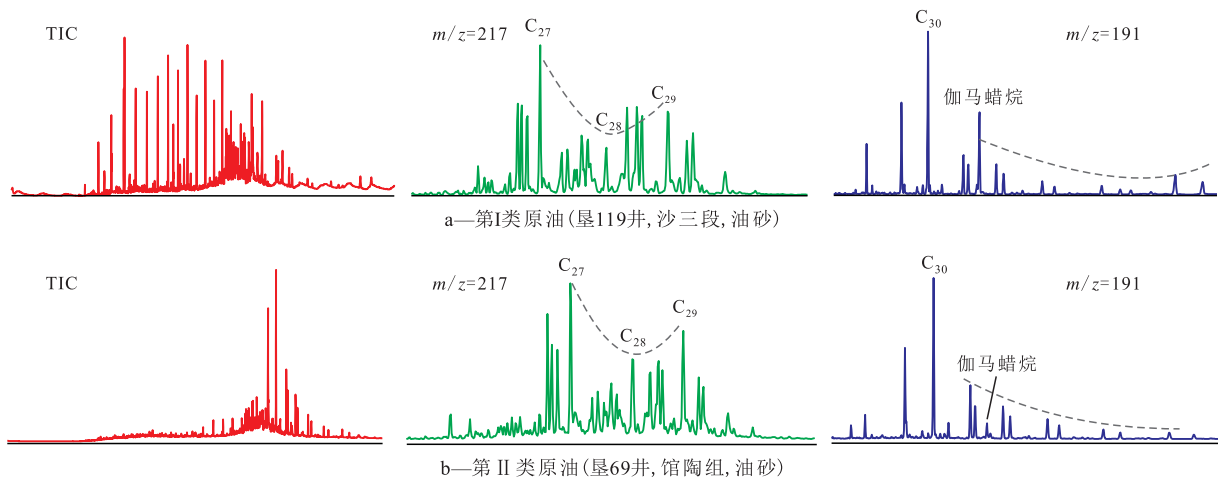


图2 三合村地区2类原油甾烷与萜烷生物标志物特征

Fig.2 The biomarkers characteristics of steranes and terpanes of two types of crude oil in Sanhecun area

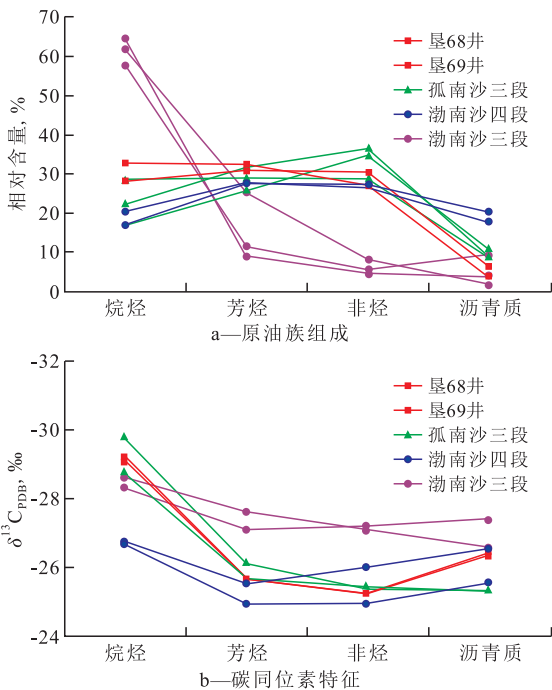


图3 垦69井区原油族组成及碳同位素特征

Fig.3 The crude oil composition and carbon isotope characteristics in Well Ken69 area

值小于0.5)和沙四段原油(伽马蜡烷指数大于0.30,  $C_{35}/C_{34}$  升霍烷值大于1.0)之间,表明该类原油为沙三型和沙四型原油的混源。另外,从原油物性来看,含硫量小于2%,低于陈家庄油田来自沙四段烃源岩的原油(含硫量大于4%),说明有沙三段低含硫原油的混入;族组分碳同位素较重,说明原油主要来自沾化凹陷,而非来自东营凹陷<sup>[5-6]</sup>。目前,已发现渤南洼陷沙三段烃源岩生成的油气主要分布在洼陷带,在陈家庄凸起及周边没有发现,而来自孤南洼陷沙三段烃源岩的原油却可以沿着储集砂体和断层运移到这一位置。由于富林洼陷沙三段烃源岩具有低熟的特征<sup>[7-8]</sup>,研究区目前发现的原油均

为成熟油,并且前人研究表明富林洼陷油气均为近源成藏<sup>[9]</sup>,未发生长距离运移,因此研究区应该不具有富林洼陷沙三段烃源岩的贡献。由此可见,这类成熟原油是来自渤南洼陷沙四段烃源岩与孤南洼陷沙三段烃源岩的混源型原油。

## 2 油气运移方向及有利区预测

陆相断陷盆地油气成藏具有不同的动力系统,流体的驱动机制也有所差异<sup>[10-12]</sup>。地球化学指标常常作为油气运移方向的示踪指标,其变化趋势与运移方式密切相关。根据油藏分布的深度,研究区油藏的形成主要依靠浮力,浮力的充注持续时间较长,易形成明显的梯度性变化,如博兴洼陷根据不同动力系统的划分,在浮力区形成成熟度等参数明显随运移方向逐渐变化的趋势<sup>[13]</sup>,国外也有利用表征成熟度的甾烷异构化参数来判识油气运移方向的实例,其原理为与烃源岩相对距离越近,注入储层的时间越晚,则储层中原油的成熟度越高。因此,可以根据储层中原油成熟度的变化趋势,大致推测原油向储层注入的方向,原油成熟度的最高点可被认为是油气的充注点,油气从成熟度高的部位向成熟度低的部位运移<sup>[14-16]</sup>。

三合村地区及周缘不同类型原油  $C_{29}S/(S+R)$  的平面分布特征(图4)表明:从北部洼陷带到南部斜坡带,沙三型与沙四型原油的  $C_{29}S/(S+R)$  值呈现出逐渐降低的趋势,由此可以看出研究区油气运移方向为由北至南。将油气主成藏期主控注断裂的活动性与运移示踪指标的平面分布特征相结合<sup>[17]</sup>,认为研究区存在2个主充注方向,分别来自于渤南洼陷与孤南洼陷。其中渤南洼陷提供沙四型原油,孤

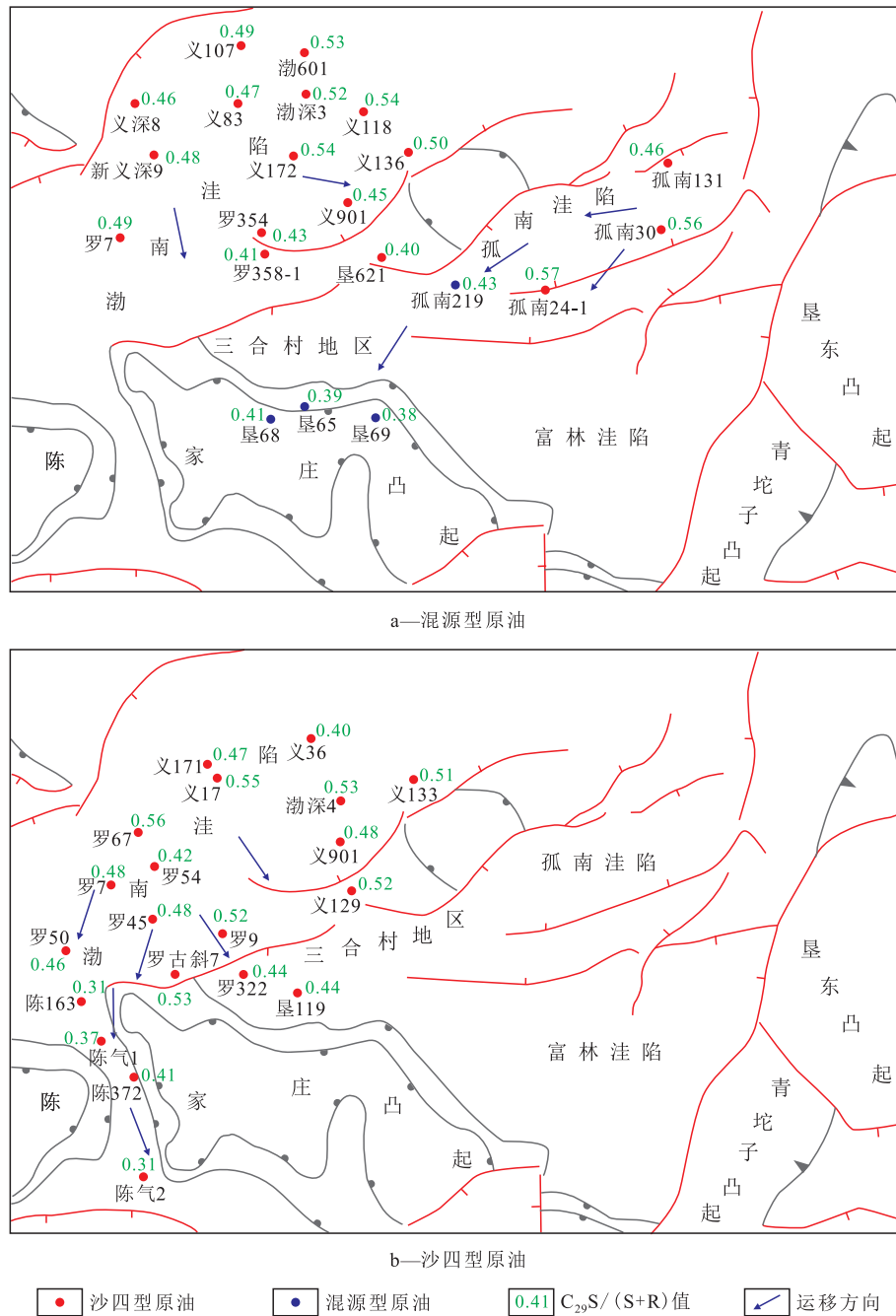


图4 三合村地区及缘不同类型原油 C<sub>29</sub>S/(S+R)平面分布特征

Fig.4 Distribution characteristics of C<sub>29</sub>S/(S+R) of different kinds of crude oil in Sanhecun area and in neighboring region

南洼陷提供沙三型原油,尚未发现渤南洼陷沙三段烃源岩的贡献。从已发现原油的 C<sub>29</sub>S/(S+R)的变化梯度来看,运移距离最远的沙四型原油其 C<sub>29</sub>S/(S+R)值为0.44(垦119井),向南仍有沙四型原油的贡献(垦69井),可见对沙四型原油而言,油气优势运移区的有利圈闭仍然具有比较大的勘探空间,考虑构造与油气规模的双重因素,三合村洼陷部位有利圈闭及沙三段第2至第1超覆带均为这类油气有利聚集区;而对沙三型原油来说,其 C<sub>29</sub>S/(S+R)值已降至0.30左右,作为油气经过的路径,孤岛南部鼻状

构造带的垦123井区为下一步有利勘探方向。

### 3 结束语

从目前油气显示情况来看,三合村地区的原油类型平面分区明显:北部洼陷带以沙四型原油为主,南部斜坡带则为沙四型与沙三型原油形成的混源型原油。渤南洼陷沙四段上亚段烃源岩生成的油气与孤南洼陷沙三段下亚段烃源岩生成的油气均已运移至三合村地区南部斜坡带,综合考虑油气

规模与圈闭条件等多重因素,三合村洼陷带与沙三段超覆带的沙四型原油以及孤岛南部鼻状构造带的沙三型原油是下一步有利勘探目标。

#### 参考文献:

- [1] 卢浩,蒋有录,刘华,等.沾化凹陷渤南洼陷油气成藏期分析[J].油气地质与采收率,2012,19(2):5-8.  
Lu Hao, Jiang Youlu, Liu Hua, et al. Study on formation stages of oil-gas reservoirs in Bonan subsag, Zhanhua sag [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012, 19(2): 5-8.
- [2] 张枝焕,曾艳涛,张学军,等.渤海湾盆地沾化凹陷渤南洼陷原油地球化学特征及成藏期分析[J].石油实验地质,2006,28(1):353-361.  
Zhang Zhihuan, Zeng Yantao, Zhang Xuejun, et al. The geochemistry characteristics and accumulation history of crude oil in the Bonan subsag of the Zhanhua sag, the Bohaiwan Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2006, 28(1): 353-361.
- [3] 王永诗,张善文,曾渊辉,等.沾化凹陷上第三系油气成藏机理及勘探实践[J].油气地质与采收率,2001,8(6):32-34.  
Wang Yongshi, Zhang Shanwen, Zeng Jianhui, et al. Hydrocarbon reservoir-forming mechanism and exploration practice in Zhanhua sag Neogene [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2001, 8(6): 32-34.
- [4] 王秀红.渤海湾盆地沾化凹陷富林洼陷油气来源及分布规律研究[J].石油实验地质,2013,35(2):151-156.  
Wang Xiuhong. Hydrocarbon origin and distribution regularity in Fulin sub-Sag, Zhanhua Sag, Bohai Bay Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2013, 35(2): 151-156.
- [5] 高树新,任怀强,杨少春.渤海湾盆地济阳坳陷陈家庄凸起东段北斜坡油源特征及成藏分析[J].石油实验地质,2007,29(1):68-73.  
Gao Shuxin, Ren Huaiqiang, Yang Shaochun. Oil source correlation and reservoir analysis in the northern slope of the eastern Chenjiazhuang uplift, the Jiyang depression, the Bohai Bay Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2007, 29(1): 68-73.
- [6] 方旭庆,蒋有录,石砥石.济阳坳陷沾化地区断裂特征及其与成藏要素和油气分布的关系[J].油气地质与采收率,2012,19(2):1-4.  
Fang Xuqing, Jiang Youlu, Shi Dishu. Relationship between characteristics of faults and hydrocarbon distribution in Zhanhua area, Jiyang depression [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012, 19(2): 1-4.
- [7] 朱之锦,姜晓健,廖林.富林洼陷油气运移研究[J].油气地质与采收率,2004,11(1):28-29.  
Zhu Zhijin, Jiang Xiaojian, Liao Lin. Research on hydrocarbon migration in Fulin subsag [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2004, 11(1): 28-29.
- [8] 乐大发,侯帅军.济阳坳陷沾化凹陷富林洼陷成藏条件[J].石油与天然气地质,2008,29(4):433-443.  
Le Dafa, Hou Shuaijun. Hydrocarbon pooling conditions and exploration potential in the Fulin subsag of the Zhanhua Sag, the Jiyang Depression [J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(4): 433-443.
- [9] 朱之锦,宋志强,郭学民,等.富林洼陷油气成藏条件与分布规律研究[J].西南石油学院学报,2002,24(5):7-10.  
Zhu Zhijin, Song Zhiqiang, Guo Xuemin, et al. The research of Fulin subsag oil and reservoir's forming condition and distributing rule [J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2002, 24(5): 7-10.
- [10] 刘雅利,王永诗,郝雪峰,等.渤南洼陷油气分布有序性探讨[J].油气地质与采收率,2014,21(4):10-15.  
Liu Yali, Wang Yongshi, Hao Xuefeng, et al. A discussion on the continuance of hydrocarbon distribution in Bonan subsag [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(4): 10-15.
- [11] 刘军锴,尚墨翰,董宁芳,等.陈家庄凸起北坡稠油地层油藏扇体侧向封堵性分析[J].油气地质与采收率,2014,21(4):19-22.  
Liu Junke, Shang Mohan, Dong Ningfang, et al. Analysis on lateral blockage of the fans in heavy oil stratigraphic reservoirs at north slope of Chenjiazhuang uplift [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(4): 19-22.
- [12] 贾光华.红层油气成藏要素定量评价及成藏概率分析——以东营凹陷博兴地区为例[J].油气地质与采收率,2014,21(3):1-5.  
Jia Guanghua. Study on quantitative characterization of forming conditions on oil and gas reservoir in red beds and its accumulation probability-taking Boxing area of Dongying depression as an example [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(3): 1-5.
- [13] 徐兴友.东营凹陷含烃流体驱动过程中的地球化学效应[J].海洋地质与第四纪地质,2012,32(6):159-164.  
Xu Xingyou. Geochemical effects of the movement of hydrocarbon bearing fluid; a case study in Dongying sag [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2012, 32(6): 159-164.
- [14] 林壬子,张敏.油藏地球化学—石油地球化学的新进展[J].西安石油学院学报,1996,11(1):8-14.  
Lin Shizi, Zhang Min. Reservoir geochemistry—the latest progress in petro-geochemistry [J]. Journal of Xi'an Petroleum Institute, 1996, 11(1): 8-14.
- [15] 陈宇,刘旋.桩海地区原油地球化学特征和油源研究[J].特种油气藏,2011,18(4):19-22.  
Chen Yu, Liu Xuan. Geochemical characteristics and oil source study for Zhuanghai area [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2011, 18(4): 19-22.
- [16] van Graas G W, Elin Gilje A, Isom T P, et al. The effects of phase fractionation on the composition of oils, condensates and gases [J]. Organic Geochemistry, 2000, 31(12): 1419-1439.
- [17] 褚庆忠.渤海湾盆地垦利断裂带油气成藏模式[J].新疆石油地质,2010,31(3):232-234.  
Chu Qingzhong. Hydrocarbon accumulation models in Kenli fault belt in Bohai Bay Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2010, 31(3): 232-234.