

文章编号:1673-5005(2012)02-0039-06

利用含氮化合物的分布探讨潜北周返断裂构造带的油气注入点

何小亢¹, 刘 明², 曾立波¹

(1. 武汉大学 电子信息学院, 湖北 武汉 430072; 2. 江汉油田 勘探开发研究院, 湖北 武汉 430223)

摘要:根据含氮化合物的分布特征,对周返断裂构造带各层位原油注入点位置与油气运移特征进行研究。结果表明:含氮化合物总含量在周 11 井到周 13 井之间呈现为高值,屏蔽型二甲苯咪唑明显富集,1,8-/2,7-DMC 等比值参数均有所增加,原油的注入位置位于周 11 井至周 13 井之间;以这两口井的区域为中心,洼陷内生成的油气向地层抬升方向上发生明显运移,表现出短距离侧向运移的特征,决定了研究区油气运移聚集模式主要为自生自储的成藏模式。

关键词:周返断裂带;生物标志化合物;含氮化合物;油气运移

中图分类号:P 632.8; TE 122.12 **文献标志码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1673-5005.2012.02.007

Discussion of hydrocarbon charging point in Zhoufan fault zone of northern Qianjiang area based on distribution of nitrogen compounds

HE Xiao-kang¹, LIU Ming², ZENG Li-bo¹

(1. Electronic Information School of Wuhan University, Wuhan 430072, China;

2. Research Institute of Exploration and Development, Jiangnan Oilfield, Wuhan 430223, China)

Abstract: Based on the distribution characterization of nitrogen compounds, the crude oil charge position and migration characterization in each layer of Zhoufan fault zone were studied. The results show that the total nitrogenous compounds content from wells Zhou 11 to Zhou 13 is high and screened dimethyl carbazole tends to concentrate with 1,8-/2,7-DMC values increasing significantly. The hydrocarbons are charged between wells Zhou 11 and Zhou 13. Around the area of the two wells, the hydrocarbon generated in the depression migrates towards the stratigraphically uplifting direction, as it is characterized by laterally migrating for a short distance, and it determines that the migration and concentration of hydrocarbon in this area is self-generated and self-accumulated model.

Key words: Zhoufan fault zone; biomarker; nitrogenous compound; hydrocarbon migration

潜北周返断裂带从 1967 年开始地震勘探工作,经历了普查、详查和精查 3 个阶段。先后发现和落实了曾家滩背斜、江家台背斜、刘家土地断鼻和后湖断鼻等局部小构造,分别在 E_{q3}^2 、 E_{q4}^1 及 E_{q4}^3 油组获得高产油气流。该地区的油藏类型主要有被断层复杂化的背斜式油藏、断鼻油藏,还有岩性-构造油藏、盐脊鼻状油藏等。研究表明^[1],研究区烃源岩有机质类型好,演化主要以未成熟-低成熟为主,生成的油气主

要为中质稀油。地面原油密度为 0.859 ~ 0.923 g/cm³,黏度为 20 ~ 145 mPa·s,凝固点为 26 ~ 35 ℃。前人尝试运用镍卟啉、饱和烃参数等研究油气运移充注方向,由于其低演化、运移距离相对较近的特征,均未取得明显成效。原油中含氮化合物分布研究技术的出现为解决这一问题带来了契机。笔者根据含氮化合物的分布特征,对周返断裂构造带各层位原油注入点位置与油气运移特征进行研究。

收稿日期:2011-07-19

基金项目:中国石油科技创新基金项目(2009D-5006-01-06)

作者简介:何小亢(1984-),男,(汉族),山东济南人,博士研究生,主要从事油气地质研究。

1 区域地质特征

周返断裂构造带位于潜江凹陷中部,自北东-南西向横跨了北西向的王场-光明台背斜带南端、蚌湖-周矶-扬市向斜带南段和西南斜坡带的中部(图1)。东部属于王场-光明台背斜带南段延倾没处与潜江构造西部袁桥鼻状构造向西南倾伏的交汇部位,西部为一向西南方向抬升的斜坡,直至丫新低凸起中段的东侧。周矶和返湾湖断层是研究区北东走向的两条主要断裂,均为同沉积断层。周返断裂构造带实质上是一个北西-南东向区域构造起伏背景上被北东向周矶和返湾湖断裂带所复杂化的北西向断裂构造带^[1]。

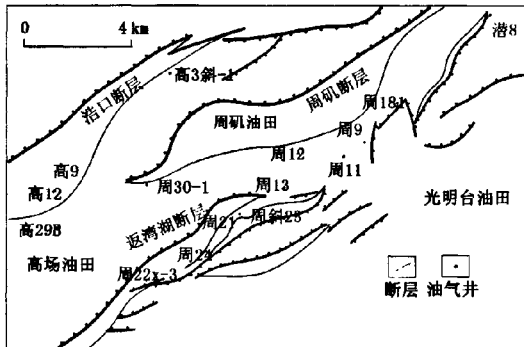


图1 周返断裂带区域构造
Fig.1 Regional structures in Zhoufan fault zone

2 样品与试验

选择潜北周矶洼陷内的潜三段、潜四段原油样

表1 周矶洼陷烃源岩评价结果

Table 1 Evaluation on source rocks in Zhouji depression

层位	有机质丰度		有机质类型分布/%			
	有机碳 $w(\text{TOC})/\%$	氯仿沥青 $w_A/\%$	I	II ₁	II ₂	III
Eq ₁	0.93/17	0.1399/15	80/5		20/5	
Eq ₂	0.65/27	0.2451/27	33.3/3	66.7/3		
Eq ₃	0.62/19	0.2543/18	37.5/8	37.5/8	12.5/8	12.5/8
Eq ₄	0.70/54	0.2537/41	61.5/13	30.8/13	7.7/13	
潜江组	0.72/117	0.2232/101	53.1/29	33.7/29	10.1/29	3.1/29

注:分母的数字为样品个数。

3.2 原油同源性分析

在周矶油田和高场油田原油的饱和烃参数中,各原油的异戊二烯类烷烃参数基本相同,植烷优势明显,共同表现为 $w(\text{Pr})/w(\text{Ph})$ 低,都小于10%, $w(\text{Ph})/w(\text{nC}_{18})$ 较高,均大于70%,各样品点之间非常接近(图3),表明这些原油同属于盐湖相沉积环境的产物^[11]。

品,经二步法(图2)分离出中性含氮化合物后^[2-6]由 Agilent6890N-5973N 色谱-质谱联用仪检测。色谱柱为 HP-5MS 弹性熔融石英毛细柱(25 m×0.25 μm×0.2 mm),载气为氦气。柱升温程序为 60℃ 恒温 2 min,8℃/min 升温至 150℃,再以 4℃/min 升温至 320℃,恒温 10 min,进样口温度为 300℃,为脉冲无分流进样方式。电子能量是 70 eV,离子源温度是 230℃,色谱-质谱接口温度为 230℃,多离子扫描方式,样品中加入苯基吡唑为内标^[7-10]。

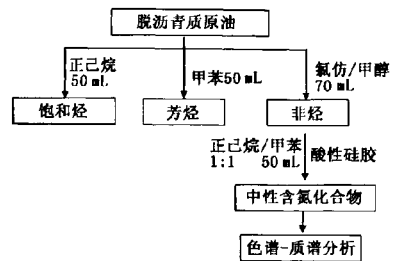


图2 含氮化合物分离流程

Fig.2 Flow chart for separation of nitrogenous compounds

3 结果分析

3.1 周矶洼陷烃源岩地质特征

周矶洼陷的上升盘和下降盘烃源岩的生烃母质类型好,多为 I 型、II₁ 型的生烃母质(表1),有机质丰度较高,转化率高,具有良好的成油物质基础和条件。油源对比研究^[1]表明,研究区的烃源岩与原油有密切的亲缘关系,同时潜三段和潜四段砂岩与低成熟、未成熟的烃源岩呈不等厚互层式分布,为油气运移创造了良好的运移通道。

从生物标志化合物甾烷参数对比分析(表2),代表水生浮游生物生源的 C₂₇-20R 胆甾烷相对含量为 35%~40%,代表高等植物生源的 C₂₉-20R 豆甾烷相对含量约为 33%,各原油的 $w(\text{Ts})/w(\text{Tm})$ 基本相同, $w(\text{伽马蜡烷})/w(\text{C}_{30}\text{藿烷})$ 一般大于 1.20,说明周9井、周11井、周13井、周21井 Eq₄¹ 油组原油均为同源石油^[1]。

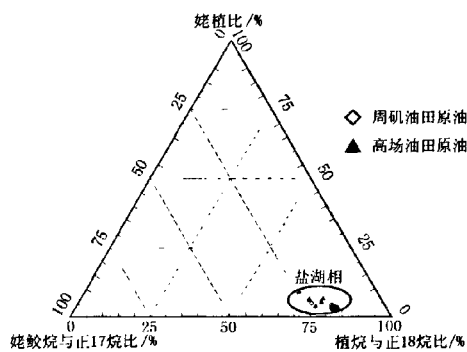


图3 周返断裂带和高场油田原油异戊二烯类烷烃对比图
Fig.3 Comparison of isoprene alkane of crude oil between Zhoufan fault zone and Gaochang Oilfield

表2 周返断裂带原油生物标记化合物参数

Table 2 Parameters of biomarker compounds of crude oils in Zhoufan fault zone

井号	层位	井段 H/km	$w(\alpha\alpha C_{27}-20R)/\%$	$w(\alpha\alpha C_{28}-20R)/\%$	$w(\alpha\alpha C_{29}-20R)/\%$	$w(C_{29}\text{甾烷}20S)/w(C_{29}\text{甾烷}20S+20R)$	$w(T_8)/w(T_m)$	$w(\text{伽玛蜡烷})/w(C_{30}\text{甾烷})$
周9	Eq ₄ ¹	2.589 0~2.596 0	37	31	32	0.28	0.22	1.27
周21	Eq ₄ ¹	2.469 4~2.495 6	35	32	33	0.26	0.24	1.28
周11	Eq ₄ ¹	2.593 4~2.598 2	40	28	32	0.27	0.32	1.35
周13	Eq ₄ ¹	2.563 2~2.584 8	36	30	33	0.27	0.25	1.27
周斜23	Eq ₃ ²	2.502 0~2.506 0	51	21	28	0.33	0.16	1.79
周22斜-3	Eq ₃ ²	1.524 4~1.534 4	53	23	24	0.27	0.43	1.27
周8斜-6B	Eq ₃ ²	3.144 6~3.154 6	45	24	31	0.41	0.24	1.18
周30-1	Eq ₃ ²	2.426 8~2.431 2	48	25	26	0.25	0.29	1.44
高3斜-1	Eq ₃ ³	2.597 4~2.600 6	47	21	32	0.35	0.34	1.04
高12	Eq ₃ ⁴ ,Eq ₄ ¹	1.884 2~1.889 0	44	23	34	0.33	0.11	1.85
高29B	Eq ₃ ²	1.650 0~1.690 0	48	23	30	0.28	0.25	0.98
高26斜-1	Eq ₃ ⁴	1.872 2~1.926 8	43	24	34	0.40	0.15	1.75

3.3 油气运移特征分析

原油生物标志化合物参数如 $w(\text{三环萜烷})/w(\text{藿烷})$ 、 C_{29} 甾烷异构化参数等不仅受母质影响,而且受成熟度的控制。研究表明,在周矶洼陷内,原油均为未成熟-低成熟原油(见表2),无论是上盘原油还是下盘原油,这些原油的生标运移参数都主要受成熟作用控制(图4),运移效应较差,所以在此区域生标化合物参数不能用以研究和指示油气运移。

在含氮化合物的分布上(图5),周矶凹陷 Eq₄¹ 油组原油的含氮化合物分布有以下特点:含氮化合物总含量在周11井与周13井之间呈现出高值,自周11井向周9井方向,含氮化合物总含量从 167.96×10^{-6} 降到 117.54×10^{-6} ,相反方向的周13井向周21井方向,含氮化合物总含量则从 138.17×10^{-6} 降到 92.85×10^{-6} 。所以,从含氮化合物总含量降低的方向分析,油气是向东从周11井区向周9井区发生了运移,向西则是从周13井向周21井区发生了运移。

随着油气的运移,屏蔽型的二甲基咪唑由于受

周矶凹陷的 Eq₃² 油组仅分布于下降盘周8井区、周30井区、周斜23井区和周22井区,根据生物标志化合物参数分析,Eq₃² 油组原油也为盐湖相沉积环境下生成的未成熟原油,为同源石油。但精细分析表明,虽然同处于周矶生油凹陷,Eq₄¹ 油组和 Eq₃² 油组原油有所不同,说明了 Eq₄¹、Eq₃² 是以层间运移为主。

高3斜-1井原油的甾烷、萜烷参数与高场油田的高12井、高29B井的参数基本相同,只是周30井原油成熟度稍低而高场油田的原油成熟度稍高,母质参数也有差别,但总体上两口井的原油同源。

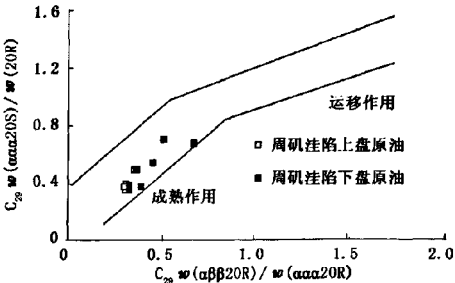


图4 周返断裂带原油 C₂₉ 甾烷参数指示运移效应图
Fig.4 Crude oil C₂₉ steranes parameters indicating migration effect in Zhoufan fault zone

岩石的吸附作用较弱,相对半裸型、全裸型的二甲基咪唑呈现富集的趋势,Eq₄¹ 油组的油气运移也有这样的特点(表3,其中总含量表示含氮化合物绝对量,1,8-/2,7-DMC表示1,8-二甲基咪唑与2,7-二甲基咪唑含量比值,1,8-/2,6-DMC表示1,8-二甲基咪

指示出油气从高3斜-1井向高场地区发生了运移。在周30井,含氮化合物总含量却只有 49.74×10^{-6} ,比高场油田的还低,所以从含氮化合物总量的分布上也说明了高场地区的原油不是从周30井方向运移过来的,而是来自周矶洼陷的下降盘,分析原因,可能在周30-1与高场油田中间存在干带阻挡了上盘油气的运移。

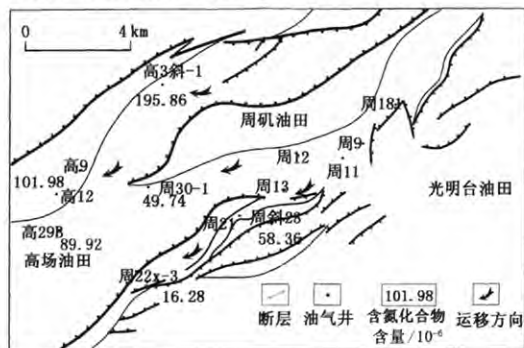


图6 周返断裂带及高场油田 E_3^2 油组

原油中含氮化合物总量分布

Fig. 6 Distribution of total content of nitrogenous compounds of crude oil in E_3^2 oil set in Zhoufan fault zone and Gaochang Oilfield

对 E_3^2 油组原油,随着油气的运移,含氮化合物各异构体的分布也发生了明显变化,1,8/2,7-DMC 参数(见表3)从3.50增加到3.87,指示出了原油从周斜23井向周22斜-3井发生了运移。在高场地区,该参数先从高3斜-1井的0.55增加到高12井的1.22,再增加到高29B井的1.48,也指示出了油气自高3斜-1井区向高场地区发生了运移。1,8- Σ NEX'S-DMC、苯并呋唑系列的 $[a]/([a]+[c])$ 也反映了同样的油气运移规律。

本区的主控断层周矶-返湾湖断层,产生于晚始新世,渐新世活动强烈,对该区构造的形成起着重要的作用,虽有一定的分隔性,但同时也是油气运移的有效通道。周11井至周13井一带处于周矶洼陷的低部位,在此区域烃源岩更易于进入成熟门槛和生成油气,而生成的油气则可以沿地层抬升方向或沿断层发生运移。本区的砂岩储层物性较好, E_3^2 油组和 E_4^1 油组储层孔隙度为18%~30%,渗透率为 $(20 \sim 1200) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,油气可以就近运移聚集成藏,由此决定了本区的油气成藏模式主要为自生自储(图7),在本区的油气勘探上,主要寻找自生自储的油气藏。

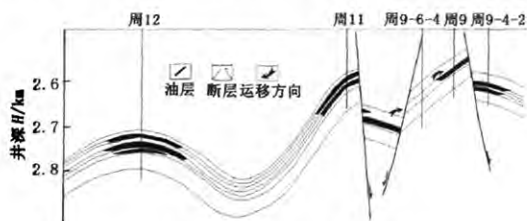


图7 周12井至周9井油藏剖面

Fig. 7 Hydrocarbon profile from well Zhou 12 to Zhou 9

4 结论

(1) 周返地区的 E_4^1 油组的油气注入点位于低部位的周11井与周13井之间,以此两口井为中心,油气分别向东北、南西方向侧向运移。

(2) 总体上,周返断裂带上的油气主要来自于周矶生油洼陷中心,并沿地层抬升方向进行运移,反映出生油洼陷对油气的控制明显。

(3) E_4^1 、 E_3^2 油组原油的运移由于受盐岩层和断层的双重控制,主要表现为顺层侧向、分区分层运移聚集,本区油气聚集模式主要为自生自储成藏模式,在油气勘探上主要以寻找自生自储的油气藏为主。

参考文献:

- [1] 江继纲,彭平安,傅家谟,等. 盐湖油气的形成、演化和运移聚集[M]. 广东:广州科技出版社,2004.
- [2] 王铁冠,李素梅,张爱云,等. 利用原油含氮化合物研究油气运移[J]. 石油大学学报:自然科学版,2000,24(4):83-86.
WANG Tie-guan, LI Su-mei, ZHANG ai-yun, et al. Oil migration analysis with pyrrolic nitrogen compounds[J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2000, 24(4): 83-86.
- [3] LI Mao-wen, YAO Huan-xin, STASINK L, et al. Effect of maturity and petroleum expulsion on pyrrolic nitrogen compound yields and distributions in Buvernay formation petroleum source rocks in central Alberta, Canada [J]. Org Geochem, 1997, 26(11/12): 731-744.
- [4] 黎茂稳. 油气二次运移研究的基本思路 and 几个应用实例[J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(4): 11-19.
LI Mao-wen. Quantification of petroleum secondary migration distances: fundamentals and case histories [J]. Petroleum Exploration and Development, 2000, 27(4): 11-19.

- [5] 王培荣. 非烃地球化学和应用[M]. 北京:石油工业出版社, 2002.
- [6] 朱扬明, 傅家谟, 盛国英, 等. 塔里木盆地不同成因原油中吡咯类化合物的地球化学意义[J]. 科学通报, 1997, 42(23): 2528-2531.
ZHU Yang-ming, FU Jia-mo, SHENG Guo-ying, et al. Geochemical significance of different causes of pyrrole nitrogen compounds of crude oil in Tarim Basin[J]. Chinese Science Bulletin, 1997, 42(23): 2528-2531.
- [7] 张敏, 梅博文, 向廷生. 原油中的咪唑类化合物[J]. 科学通报, 1997, 42(22): 2411-2414.
ZHANG Min, MEI Bo-wen, XIANG Ting-sheng. Carbazole in oil[J]. Chinese Science Bulletin, 1997, 42(22): 2411-2414.
- [8] 包建平, 马安来. 原油中烷基酚和中性含氮化合物的快速分离与分析[J]. 江汉石油学院学报, 1998, 20(2): 21-26.
BAO Jian-ping, MA An-lai. Rapid separation and analysis of Phenols and Neutral Nitrogen compounds in crude oils[J]. Journal of Jianghan Petroleum Institute, 1998, 20(2): 21-26.
- [9] 李素梅, 刘洛夫, 王铁冠. 生物标志化合物和含氮化合物作为油气运移指标有效性的对比研究[J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(4): 95-98.
LI Su-mei, LIU Luo-fu, WANG Tie-guan. Comparative study of the effectiveness of biomarker and Nitrogen-containing compounds for the effectiveness of hydrocarbon migration[J]. Petroleum Exploration and Development, 2000, 27(4): 95-98.
- [10] 李素梅, 王铁冠, 张爱云. 原油中吡咯类化合物的地球化学特征及其意义[J]. 沉积学报, 1999, 17(2): 312-317.
LI Su-mei, WANG Tie-guan, ZHANG Ai-yun. Geochemistry characteristics and significance of the Pyrrolic compounds in petroleum[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(2): 312-317.
- [11] 侯读杰, 王铁冠, 孔庆云, 等. 松辽盆地朝长地区原油的地球化学特征[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 1999, 23(2): 27-29.
HOU Du-jie, WANG Tie-guan, KONG Qing-yun, et al. Geochemical characteristics of crude oils in Chaochang region, Songliao Basin[J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 1999, 23(2): 27-29.
- [12] 侯读杰. 混源油运移方向的地球化学识别[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2002, 24(4): 87-90.
HOU Du-jie. Determination of migration direction of mixed petroleum by using geochemical method[J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2002, 24(4): 87-90.

(编辑 徐会永)

(上接第38页)

- [21] 康玉柱. 中国古生代碳酸盐岩古岩溶储集特征与油气分布[J]. 天然气工业, 2008, 28(6): 1-12.
KANG Yu-zhu. Characteristics and distribution laws of paleokarst hydrocarbon reservoirs in palaeozoic carbonate formations in China[J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(6): 1-12.
- [22] 艾合买提江阿不都热和曼, 钟建华, 李阳, 等. 碳酸盐岩裂缝与岩溶作用研究[J]. 地质论评, 2008, 54(4): 485-493.
AHMATJIAN Abdurahman, ZHONG Jian-hua, LI Yang, et al. Study on effect between karstification and fracture in carbonate rocks[J]. Geological Review, 2008, 54(4): 485-493.
- [23] 吕修祥, 杨宁, 周新源, 等. 塔里木盆地断裂活动对奥陶系碳酸盐岩储层的影响[J]. 中国科学: D辑, 2008, 38(增刊I): 48-54.
LÜ Xiu-xiang, YANG Ning, ZHOU Xin-yuan, et al. The effect of fault activity to the Ordovician carbonate in Tarim Basin[J]. Science in China(Ser D) 2008, 38(sup I): 48-54.
- [24] 任美镔, 刘振中, 王飞燕, 等. 岩溶学概论[M]. 北京: 商务印书馆, 1983: 3-33.
- [25] 焦方正, 崔晓先. 海相碳酸盐岩非常规大油田——塔河油田勘探研究与实践[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008: 136-137.
- [26] 吴胜和, 欧阳健. 塔里木盆地轮南地区奥陶系岩溶体系的测井分析[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 1994, 18(2): 123-127.
WU Sheng-he, OUYANG Jian. Well-logging analysis on karst system of Ordovician at Lunan region of Tarim Basin[J]. Journal of the university of petroleum, China (Edition of Natural Science), 1994, 18(2): 123-127.
- [27] 康玉柱. 中国塔里木盆地石油地质特征及资料评价[M]. 北京: 地质出版社, 1996: 65-92.

(编辑 徐会永)