

张枝焕^{1,2}, 王铁冠¹, 常象春^{1,3}, 李伯虎⁴, 周永炳⁴, 刘国志⁴

(1. 石油大学 地球科学系, 北京 102200; 2. 北京大学 城市与环境学系, 北京 100871;
3. 西安石油学院, 西安 710065; 4. 中国石油 大庆油田 勘探开发研究院, 大庆 163712)

摘要: 国外许多实例研究表明, 油藏内流体非均质性特征可作为判断油藏连通性的主要依据, 但我国陆相含油气盆地碎屑岩储层物性非均质性强, 导致油层内流体性质非均质性现象也更加复杂化、多样化。该文以松辽盆地新站油田为例, 分析了油层内原油在族组成、饱和烃色谱指纹特征和生物标志物等方面存在的非均质性现象和分布特征, 讨论了油源、油气运移、油层岩性、油藏内次生变化及油层连通性等地质/地球化学因素对造成油层内流体非均质性和油藏内原油组成混合作用影响。研究表明, 影响油层内流体非均质性的因素十分复杂, 不能简单地根据油层流体非均质性判断油层的连通性, 必须在原油族群划分对比、在对影响流体非均质性诸因素充分分析的基础上进行判断。

关键词: 成因分析; 非均质性; 原油; 新站油田; 松辽盆地

中图分类号: TE122. 2

文献标识码: A

油藏内的流体无论在垂向还是横向上均存在不同程度的非均质性。以前人们认为油藏内原油组成变化主要受源岩因素和原油在油藏内的地球化学变化的影响, 近年来的研究表明, 油藏内流体非均质性的成因可能是多方面的。根据目前文献资料报道, 造成油藏内流体组成非均质性的因素主要包括以下几方面: a) 油田聚集史和多油源的成熟度和源岩的有机相的差异, 如 England、Karlsen 和 Larter 认为油藏内部诸如气油比和生物标志物之类的非均质性, 是从石油聚集过程中继承下来的源岩有机相和成熟度的差异所造成的^[1-3]; b) 原油的水解作用和生物降解作用^[4]; c) 油藏内原油的热蚀变作用^[5]; d) 重力分异作用和焦油席的形成^[6,7]; e) 流体-岩石相互作用和油气运移过程中的分馏作用^[5]; f) 石油注入储层后, 储层孔隙度和渗透率以及油藏构造、地层特征差异也可造成流体组成的非均质性^[8]。

流体组成的非均质性必然导致油藏流体化学组成的不平衡, 油藏内流体的混合作用力图从力学上和化学上建立流体的平衡状态, 其速率取决于油气分布状态和油藏渗透性结构。国外实例研究表明, 在连通性良好的单个流体柱内, 除非存在垂向混合作用的隔层, 流体柱将迅速达到力学平衡。从充注

期间继承下来的大规模横向成分梯度则可能保持相当长的地质时期。如果垂向上存在地质屏障, 它将阻碍石油混合作用, 那么就可能出现石油柱垂向上变化的不连续性^[2]。因此, 油田内烃类和水的组成非均质性具备区域性的和油藏范围的地质信息, 推断油藏内部横向展布的隔层或油藏在横向上的分隔性。我国陆相含油气盆地碎屑岩储层物性特征比较特殊, 储层非均质性强^[9,10], 从而导致油层内流体性质非均质性现象及原油在油藏内的混合作用也更加复杂化、多样化。

1 新站油田区域地质概况

新站油田位于松辽盆地北部中央拗陷区龙虎泡阶地南部, 为大安鼻状构造向北东倾没及延伸部分, 西邻古龙向斜, 东邻茂兴向斜, 北东和南东分别以鞍部形式与新肇、敖南鼻状构造相连, 南西与大安构造相连。本区钻遇的白垩纪地层从老到新有泉头组、青山口组、姚家组、嫩江组、四方台组、明水组。主要目的层为黑帝庙油层(H[⊖])和葡萄花油层(P^{iv})。葡萄花油层属姚家组一段, 油层厚度 38~ 53m, 主要为三角洲前缘的砂泥薄互层沉积, 其上、下地层均为

分布稳定的大段暗色泥岩。主要砂岩单层厚度3.0 m左右,累积厚度8~15m,主要储层是水下分流河道砂、席状砂和远砂坝。区内主要分布PI油层,根据油层岩性组合、旋回性及砂岩垂向发育程度分Piv1、Piv2、Piv3三个砂层组,其中Piv1、Piv2每层厚约15m,砂岩较发育,为主力油层,Piv3以泥岩为主,没有解释油层。黑帝庙油层属嫩江组三、四段,主要产层为嫩三段(H₃油层组),地层厚度75~95m,岩性主要为一套灰绿、灰、灰黑色泥岩,灰色泥质粉砂岩及粉砂岩。砂岩厚度一般为15m,由北向南变薄。主要储层以三角洲河口坝、远砂坝及席状砂为主。H₃自上而下分H₃1、H₃2、H₃3三个砂层组,其中H₃3以泥岩为主,H₃1、H₃2则以三角洲前缘河口坝、席状砂沉积为主。

葡萄花油藏为构造-岩性型,西北部受构造控制,东南部及其余部分主要受岩性控制。砂岩物性较好,有效厚度内平均孔隙度为9.0%~20.2%,渗透率为 $0.26 \times 10^{-3} \sim 33.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。黑帝庙油藏为多套油水组合的层状构造-岩性油藏,储层物性好,孔隙度为13.54%~27.4%,渗透率为 $0.88 \times 10^{-3} \sim 332.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

2 新站油田油藏流体非均质性分布特征

2.1 抽提物族组成非均质性

新站油田油砂抽提物族组成特征无论在平面上还是纵向上均存在明显的差异,这些差异可能由多种原因造成。运移过程中的地色层作用为造成本区油砂抽提物族组成差异的主要原因。原油在横向或垂向运移过程中,由于岩层中粘土矿物的吸附作用,泥质含量较高的岩层(如泥质粉砂岩)极性化合物相对富集(表1)。

抽提物中极性化合物含量与油砂抽提物含量的

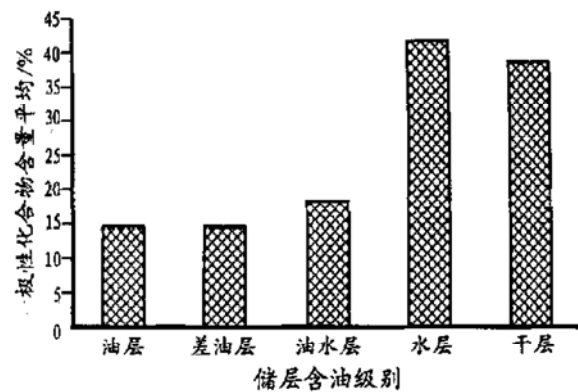


图1 不同含油级别(综合解释)油层抽提物中极性化合物含量分布图

Fig. 1 Polar compound content in extraction matter from different oil-bearing level beds

大小之间也存在较明显的对应关系。随着抽提物含量增大,极性化合物含量有减少的趋势。图1表示了不同含油程度储层样品的抽提物中极性化合物的分布情况,从图中可以看出,油层和差油层的抽提物中极性化合物含量较低,油水层中极性化合物含量中等,而干层、水层中极性化合物含量很高。不同岩性的储层都有类似的变化特征,如图2a所示,在粉砂岩中随着抽提物含量增高,极性化合物含量减小,抽提物含量较高的样品,极性化合物含量一般都较低。泥质粉砂岩和细砂岩中也有类似的变化特征(图2b、c)。造成这一现象的原因比较复杂,在粘土含量较高的储层中,储层物性一般相对较差,这类储层含油饱和度一般也较低,此外,由于粘土矿物的吸附作用,造成储层中极性化合物含量增大。储层物性较好而含油性较差的储层中,往往抽提物中极性化合物含量也较高,可能有两种原因,其一是,如果油源充注不足,石油优先聚集在含油组合的上部,下部低饱和度含油层为石油运移过程中的残留部分,由于地质色层作用,残留在下部的石油可能富含极性化合物;其二是油层遭受富氧地层水的冲洗作用,目前储层中的石油为水洗后的残留油,因而有较高

表1 Piv油层不同岩性的油层中油砂抽提物族组成分布特征

Table 1 Group composition of extraction matter from oil sand of different lithology in Putaohua reservoir

油层	岩性	饱和烃/%	芳烃/%	非烃/%	沥青质/%	(非烃+ 沥青质)/%
Piv1 ¹	粉砂岩	72.39	10.23	15.71	1.67	17.38
	泥质粉砂岩	69.28	9.88	18.07	2.77	20.84
Piv1 ²	粉砂岩	73.49	11.63	14.15	0.73	14.88
	泥质粉砂岩	67.73	5.40	22.29	4.59	26.88
Piv1 ³	粉砂岩	75.61	12.26	10.06	2.07	12.13
	泥质粉砂岩	51.42	4.69	35.63	8.27	43.90
Piv1 ⁴	粉砂岩	75.81	11.02	12.26	0.92	13.17
	泥质粉砂岩	67.02	18.35	10.55	4.09	14.64

含量的极性化合物。

此外,重力差异造成的分异过程中的流体成分再分配及水洗作用,也可造成本区油砂抽提物族组成差异,这些原因远远超过了由油源条件及成熟度等因素造成的差异。

2.2 饱和烃气相色谱特征

葡萄花油层与黑帝庙油层之间抽提物饱和烃气相色谱存在一定的差异,这主要是由油源条件不同造成的,后期的保存条件也有一定的影响。

黑帝庙油层 H_② 各砂层组油砂抽提物中饱和烃气相色谱特征存在一定的差别(图3)。如构造顶部的英41井(气层)油砂生物降解作用微弱,正构烷烃分布特征基本没有变化;大424、422井的样品正构烷烃分布尚完整,但类异戊间二烯烷烃和环烷烃相对发育,推测也经历轻微的生物降解作用;而构造边部的大134井、大402井正构烷烃含量很低,姥鲨烷、植烷的含量相对增高,两个样品的 Pr/*n*C₁₇分别为

4.19和3.67,表明油层中的原油经受比较明显的生物降解作用。这表明,黑帝庙油层内部油砂抽提物饱和烃气相色谱特征的差别主要由生物降解作用程度的差异造成的。黑帝庙油层埋藏浅,除了构造顶部原油基本未受生物降解外,其它井区的原油都受不同程度的生物降解作用。不同构造部位油层中的原油生物降解程度不同,构造边部和低部油层中原油的生物降解作用程度比中部的强。

葡萄花油层 P_{iv1} 油砂抽提物中正构烷烃分布型式也可大致划分为两种类型,第一类为单峰态,重组分含量相对较低,轻组分含量相对较高,主峰碳为 *n*C₁₇—*n*C₁₉(图4a);第二类中等分子量的正构烷烃峰高较大,主峰碳为 *n*C₁₉,个别样品在 *n*C₂₃出现次主峰(图4b),这类样品主要分布在油藏西北部(大413、414、141、417、406井区)或油层顶部物性较差的储层中。葡萄花油层内部油砂抽提物饱和烃气相色谱的差异可能由运移、聚集条件差异造成。

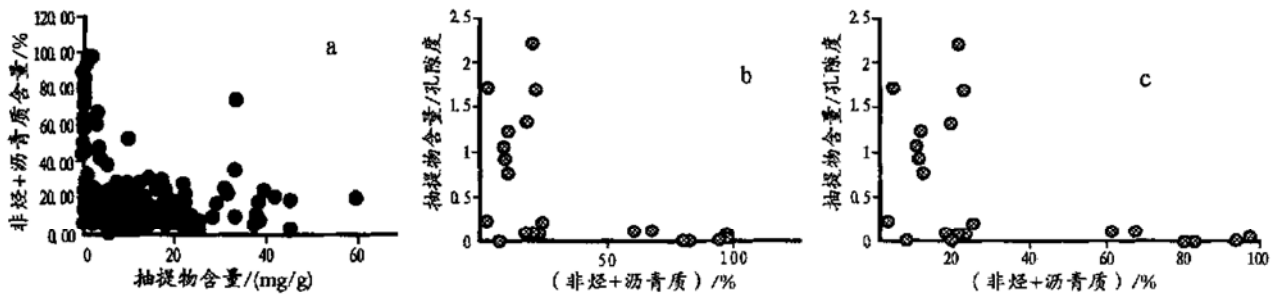
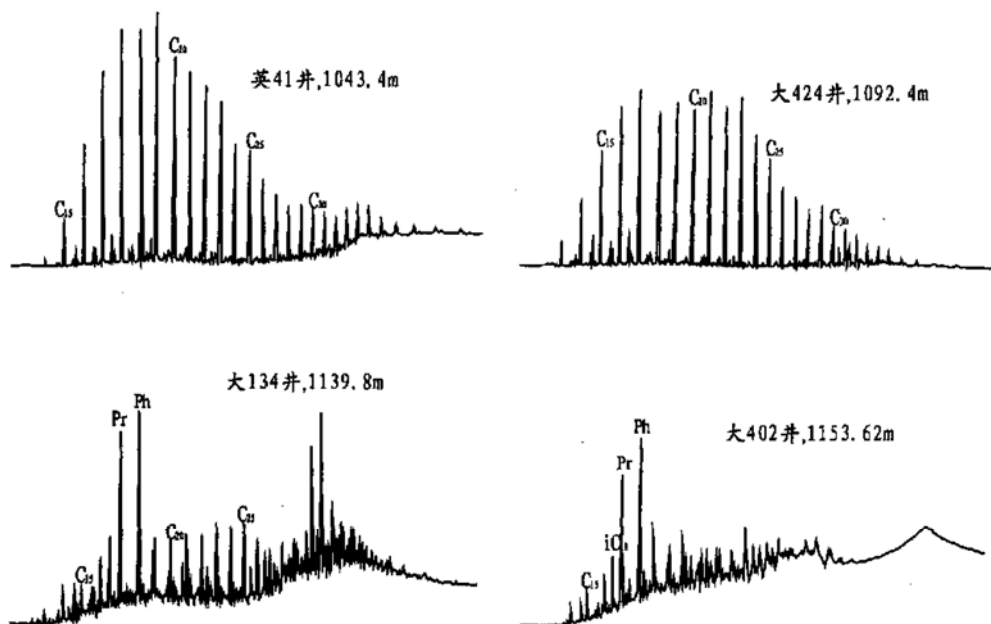


图2 不同岩性油层中抽提物含量与 NOS(非烃+沥青质)关系图

Fig. 2 Relation between extraction matter and NOS in oil-bearing beds of different lithology



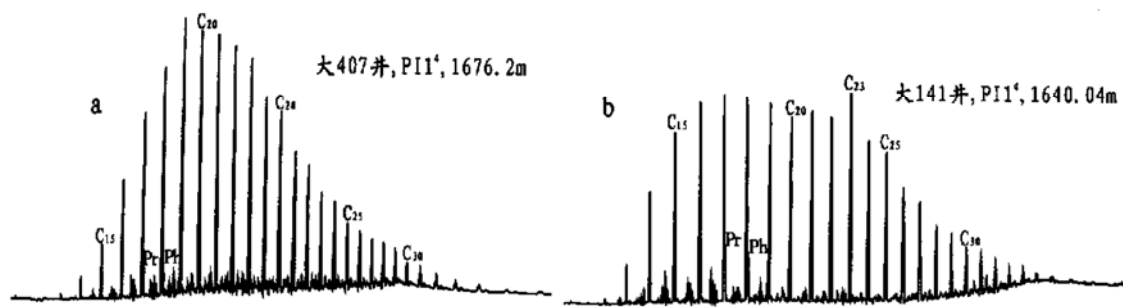


图 4 Piv⁴ 油砂抽提物中饱和烃气相色谱图

Fig. 4 Gas chromatograms of Saturated hydrocarbon in extraction matter of Potaohua oil-bearing bed (PI)

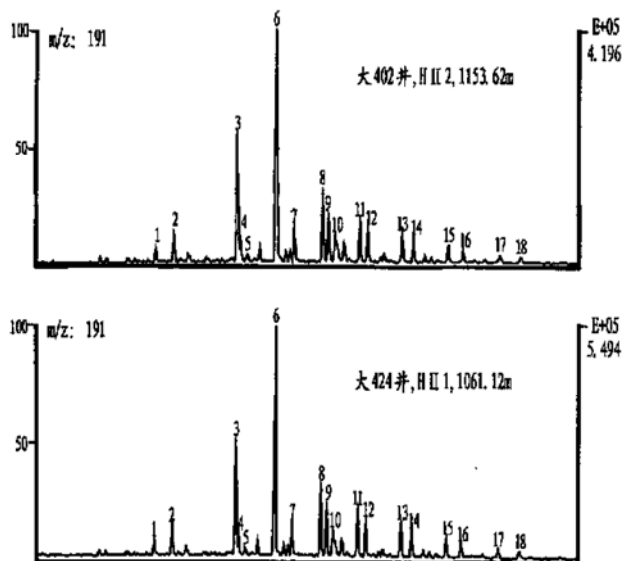


图 5 黑帝庙油层原油五环三萜烷气相色谱-质谱图
Fig. 5 GC-MS diagrams of pentacyclic triterpenoid in Heidimiao oil-bearing bed

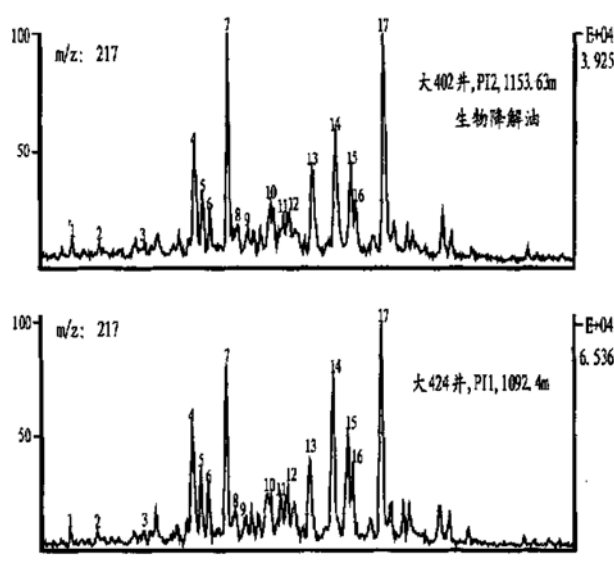


图 6 葡萄花油层油砂抽提物中甾烷色谱-质谱图
Fig. 6 GC-MS diagrams of steroid in Putaohua oil-bearing bed

2.3 生物标志物非均质性分布特征

葡萄花油层与黑帝庙油层内原油之间生物标志物特征存在一定的差异, 主要是由油源条件的不同造成的。黑帝庙油层内生物标志物分布特征基本上没有差别(图 5), 表明本区原油的次生变化对生物标志物组成特征没有明显的影响。葡萄花油层内部 PI1 与 PI2 之间存在较大的差别(图 6), 生物标志物参数综合分析表明两层之间存在两个不同的油源和不同充注时期。

3 油藏内流体非均质性的成因综合分析

油源差异、油气运移过程中的地色层作用及原油在油藏内的生物降解作用为造成新站油田油藏内流体非均质性的主要原因。从理论上讲, 如果油层是相互连通的, 混合作用可以部分或完全消除原油在运移成藏过程中造成的成分差异。反之, 如果油层是分隔的, 那么上述原因造成的差异将长期保存

下来。但从本区的实际情况看, 即使在油层相互连通的情况下, 也可能使某些非均质性现象长期保留下来, 因此在根据油层流体非均质现象判断油层连通性时, 必须考虑多种因素, 进行综合分析。表 2 为新站油田油藏内流体非均质性的可能机理。表 3 列出了油层内流体非均质现象与油层连通性之间的关系。

从表 2、表 3 可看出, 原油族组成、饱和烃组成、生物标志物特征均存在差别, 反映下列几种情形, a) 油层相互分隔且不同油源; b) 油层相互连通, 但油源

表 2 油藏内流体非均质性成因分析

Table 2 Genetic analysis of fluid heterogeneity in reservoirs

	地质因素	吸附作用	油源条件	次生变化
抽提物族组分差别	黑帝庙	***		***
	葡萄花	***	*	
饱和烃气相色谱差别	黑帝庙	*		***
	葡萄花	*	**	
生物标志物差别	黑帝庙			
	葡萄花		***	

注: *** 主要原因; ** 次要原因; * 有一定影响。

表3 油藏流体非均质性与油层连通性的关系

Table 3 Relation between fluid heterogeneity and reservoir connectivity

油层 连通性	油源	原油次 生变化	原油组成非均质性现象		
			族组成	饱和烃组成和气 相色谱指纹特征	甾萜烷类
分 隔	油源不同	有或无 次生变化	有差别, 且存在突变关系		
	油源相同	有次生变化	有差别, 且存在突变关系		
		无次生变化	与岩性及运聚特征(石油在圈闭中 的充注程度及成熟度等)有关	与油气聚集 时期有关	
连 通	油源不同	有或无 次生变化	非均质性程度与油气聚集后的混合作用程度有关		
	油源相同	有次生变化	与油藏内油气次生变化及变化后混合作用程度有关		
		无次生变化, 岩性相同	均一或存在渐变成分梯度		
		无次生变化, 岩性不同	与运移过程 中的地色层 作用有关	差别不明显	相同或存在 渐变成分梯度

不同,且油气聚集后混合作用程度较低;c)油层相互分隔,尽管油源相同,但被分隔的各部分(横向或纵向)原油受后期改造程度不同(这种情况下,原油组成的变化一般为突变的);d)油层连通,且油源相同,但连通油层的各部分(横向或纵向)受不同程度的后期改造,且发生次生变化后各部分混合作用较弱(这种情况下,原油组成的变化一般为渐变的)。

原油成熟度参数存在差异,反映存在以下几种情形:a)油源相同,油层连通时流体组成变化为渐变的,油层分隔时流体组成变化为突变的;b)油层连通,但油源不同且原油成分混合程度较低。

族组成、饱和烃组成、生物标志物特征均比较一致,反映以下几种情形,a)油源不同,但油层连通且油层内流体完成混合;b)油源相同,油层连通,且油层内原油未受后期改造;c)油源相同,油层连通,尽管油层内原油曾经历次生变化,但已经完成混合。

饱和烃组成差别不明显,生物标志物特征一致或近似,但族组成存在差别,可能表示油层是相互连通的。

上述分析表明,a)原油族组成除了受生源、后期改造、运移和混合作用等控制外,还受岩性的影响,且这一因素造成的差异不易得到彻底混合,不能作为连通性的参数。b)影响油层内流体非均质性的因素十分复杂,不能简单地根据油层流体非均质性判断油层的连通性,必须在原油族群划分对比、在对影响流体非均质性诸因素充分分析的基础上进行判断。

参考文献:

- [1] England W A, Mackenzie A S, Mann D M, et al. The movement and entrapment of petroleum fluids in the subsurface[J]. Geol Soc, Lond, 1987, 144: 327- 347.
- [2] England W A, Mackenzie A S. Geochemistry of petroleum reservoirs[J]. Geol Rundsch, 1989, 78: 214- 237.
- [3] Karlsen D A, Larter S. A rapid correlation method for petroleum population mapping within individual reservoir: application to reservoir description I A1. Correlations in Hydrocarbon Exploration[C]. Norwegian Petroleum Society. London: Graham and Trotman, 1989. 77- 85.
- [4] Milner C W D, Rogers M A, Evans C R. Petroleum transformations in reservoirs[J]. J Geochem Explor, 1977, 7: 101- 153.
- [5] Hwang R J, Baskin D K. Reservoir connectivity and oil homogeneity in a large scale reservoir[J]. Middle East Petroleum Geoscience, Geo 94, 1994, 2: 529- 541.
- [6] Hirschberg A. The role of asphaltene in compositional grading of a reservoir's fluid column[J]. Soc Petrol Engin, AIME, SPE, 1984: 13171.
- [7] Dahl B, Speers G C. Geochemical characterization of a tar mat in the Oseberg field Norwegian sector, North Sea [J]. Org Geochem, 1986, 10: 547- 558.
- [8] Hillebrand T, Leythaeuser D. Reservoir geochemistry of Stockstadt oilfield: compositional heterogeneities reflecting accumulation history and multiple source input[J]. Org Geochem, 1992, 19: 119- 131.
- [9] 张希明,王恕一.塔里木盆地北部三叠系辫状三角洲砂体储层非均质性研究——以阿克库勒—达里亚地区为例[J].石油实验地质,1997,19(3):201- 208.
- [10] 尹寿鹏.渗透率非均质性参数计算及代表性分析[J].石油实验地质,1999,21(2):147- 149.

STUDY ON THE HOMOGENEITY AND HETEROGENEITY OF CRUDE OIL IN INTER-SALT NON-SANDSTONE RESERVOIRS

PU Xiur-gang^{1,2}, HAN Der-xin¹, XU Hua-r-xian¹, ZHAO Hou-yin¹

(1. China University of Mining & Technology, Beijing 100083, China;

(2. Research Institute of Exploration and Development, Jiangnan Oilfield, SINOPEC, Qianjiang, Hubei 433124, China)

Abstract: In the exceptional inter-salt non-sandstone reservoirs in the Qianjiang Depression of the Jiangnan Basin, source rock is also reservoir rock. In the sequence, the source rock's quality is good, the HC generation ratio is high, and the seal is completed, too; but the reservoir bed's permeability is very low, so the conditions of oil migration are poor. Inter-salt crude oil in each reservoir is independent in non-fractured areas, but many evidences of oil maturity and biomarkers all show that inter-salt crude oil generally has mixture-source characteristics. The crude oil in place has always been mixed with mature oil migrated from other areas. This implies that mature crude oil can migrate from generation depressions to high structural areas through low permeability reservoir beds. The homogeneity of inter-salt crude oil obviously reveals that inter-salt crude oil is derived from bacteria and algae in high salinity, high sulfurous and strong reduction environment.

Key words: homogeneity; heterogeneity; crude oil; inter-salt non-sandstone reservoir; the Qianjiang Depression

(continued from page 358)

ANALYSIS ON THE HETEROGENEITY AND GENESIS OF CRUDE OIL IN THE CLASTIC ROCK RESERVOIRS OF XINZHAN OILFIELD, THE SONGLIAO BASIN

ZHANG Zhi-huan^{1,2}, WANG Tie-guan¹, CHANG Xiang-chun³, LI Bo-hu⁴, ZHOU Yong-bing⁴, LIU Guo-zhi⁴

(1. Geoscience Department, University of Petroleum, Beijing 102200, China;

2. Urban and Environment Department, Beijing University, Beijing 100871, China;

3. Xi'an Petroleum College, Xi'an, Shaanxi 710065, China;

4. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Daqing Oilfield, Daqing, Heilongjiang 163712, China)

Abstract: Some abroad cases showed that the analysis of fluid composition heterogeneity in reservoirs was an important tool to estimate reservoir connectivity. There is obvious heterogeneity of terrestrial clastic reservoirs in the petroleum-bearing basins of China, so that the variety of petroleum composition in reservoirs is more complication and diversification. This paper analyzed the heterogeneity and distribution features of group composition, saturated hydrocarbon components and biomarker composition in the crude oil of reservoirs in Xinzhan oilfield of the Songliao Basin. The geological and/or geochemical factors, such as petroleum sources, oil migration, reservoir rock lithology, geochemical changes of crude oil in reservoirs and reservoir connectivity, which affect heterogeneity and mixed actions of petroleum in reservoirs, had also been discussed. The results showed that the factors affecting fluid composition heterogeneity are very complex, and the reservoir connectivity can not be estimated easily only according to the fluid heterogeneity in reservoirs. It is important to divide oil populations and families and to study various factors affecting petroleum composition before to estimate reservoir connectivity.

Key words: genetic analysis; heterogeneity; crude oil; Xinzhan oilfield; the Songliao Basin