

文章编号: 1001- 6112 (2005) 05- 0496- 06

# 塔里木盆地塔河油区奥陶系 原油中性含氮化合物特征与运移研究

邵志兵<sup>1,2</sup>

- (1. 中国石化石油勘探开发研究院 西部分院, 乌鲁木齐 830011;  
2. 中国石化石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214151)

**摘要:** 塔河油区具多期成藏的特点, 重质油与轻质油并存。重质油中, 无论是中性含氮化合物的绝对浓度或是其比值指标都降低, 严重影响了原油运移途径的判别。轻质油中, 中性含氮化合物指示原油具有自南向北、自东向西的运移特点, 其咪唑 (CA) 绝对浓度由高变低, 甲基咪唑系列 (MCA) 与二甲基咪唑系列 (DMCA) 比值逐渐增大, 苯并咪唑系列的  $[a] / ([a] + [c])$  比值则随运移距离增加而降低。在塔河 3 区断裂带附近, 咪唑 (CA) 绝对浓度较高, 甲基咪唑系列 (MCA) 与二甲基咪唑系列 (DMCA) 比值较低, 苯并咪唑系列的  $[a] / ([a] + [c])$  比值较大, 显示断裂沟通了源岩及主力油气输导层, 油气运移距离短, 晚期油气活跃, 油质总体优于塔河 4、6 区。

**关键词:** 中性含氮化合物; 油气运移; 奥陶系; 重质油; 轻质油; 塔河油田; 塔里木盆地

中图分类号: TE122. 1

文献标识码: A

位于塔里木盆地北部沙雅隆起中段的阿克库勒凸起, 是目前发现海相油气最为丰富的地区, 已在白垩系、侏罗系、三叠系、石炭系和奥陶系获得工业油气流或高产油气流, 并先后发现了阿克库勒 (轮南)、达里亚 (吉拉克)、塔河等油气田及一批含油气构造。塔河油田位于阿克库勒凸起的西南斜坡, 是塔里木盆地目前已探明地质储量超过亿吨级的特大油田。

## 1 石油地质概况

阿克库勒凸起早在加里东中一晚期就已具雏形<sup>[1,2]</sup>。海西早期运动, 受区域性挤压抬升形成向西南倾伏的东北向展布的大型鼻凸, 在长期的抬升暴露风化剥蚀过程中, 凸起的大部分地区普遍缺失志留系—上奥陶统 (志留系及上奥陶统呈裙边状分布在凸起围斜地区), 同时中一下奥陶统也遭受了不同程度的剥蚀。海西晚期运动, 凸起再次抬升暴露风化剥蚀, 形成了一系列近东西向的褶皱和断裂系统, 断块活动特征较为明显, 大部分地区仅保留下石炭统 (缺失上石炭统及二叠系), 局部地区奥陶系碳酸盐岩暴露, 同时造成海西早期运动形成的区域性不整合面进一步南倾。这种构造面貌一直持

续演化至印支—燕山期。喜马拉雅期, 随着沉降中心向北部库车坳陷腹地迁移, 导致阿克库勒凸起石炭系以上地层呈南高北低的北倾单斜构造格局, 奥陶—寒武系为复背斜构造形态。正是由于这种长期、多次的构造变形叠加, 形成了现今的阿克库勒凸起。北部地区从古生界至中生界表现为宏观北倾; 中部以南地区下古生界虽经多期改造仍保存着北高南低构造格局, 尤其以海西早期形成的古构造轴部南倾特征明显, 是其东南缘满加尔坳陷及过渡斜坡的寒武—奥陶系烃源岩不同演化阶段生成的油气长期持续运移的指向区与聚集的有利区域。

塔河油区主要储集层有奥陶、石炭和三叠系。奥陶系古岩溶储集体是塔河油区最重要的油气产层, 储层发育于中一下奥陶统的以裂缝—岩溶缝洞型为主的一间房组、鹰山组、蓬莱坝组, 其次为上奥陶统碳酸盐岩。

## 2 原油中性含氮化合物运移效应

近年来, 随着油藏地球化学研究工作的不断深入, 人们对油藏流体中的中性含氮化合物的分布规律、绝对浓度和相对比值变化所蕴藏的地质地球化学信息日益关注<sup>[3-10]</sup>。由于中性含氮化合物自身

收稿日期: 2005- 06- 30; 修订日期: 2005- 08- 12。

作者简介: 邵志兵 (1963- ), 男 (汉族), 江苏兴化人, 高级工程师, 主要从事石油地质研究。

立体结构的特点, 以及在储层中与岩石或固相有机质之间的相互作用, 使得中性含氮化合物的绝对浓度及异构体之间的相对比值成为石油二次运移的有效指标。

石油地球化学研究的中性含氮化合物是指吡咯型、吡啶型 2 个含氮化合物系列。吡咯是含有一个氮的五元环化合物, 吡咯型化合物是指缩聚的吡咯(或吡咯苯并物)及其衍生物, 如咔唑、苯并咔唑和二苯并咔唑。

从理论上讲, 随着运移距离的增加, 原油中咔唑类化合物应有下列变化:

1) 咔唑、甲基咔唑、二甲基咔唑、苯并咔唑类绝对浓度降低。

2) 烷基化程度较高(或烷基链较长) 咔唑类与烷基化程度较低(或烷基链较短) 咔唑类同系物的相对比例增加。

3) 烷基取代基靠近 N-H 官能团的衍生物(如 1, 8-二甲基咔唑)与烷基取代基远离 N-H 官能团的衍生物(如 2, 5-二甲基咔唑)之相对比例增加。

4) 烷基咔唑类同系物与烷基苯并咔唑类同系物之相对比例增加。

### 3 原油降解对运移效应的影响

原油中性含氮化合物的分馏作用是其可用于研究原油运移的理论基础。大量研究表明, 中性含氮化合物的分布在一定程度上受制于源岩特征, 如干酪根类型及有机质热演化程度。对相同成因类型、相似热演化程度的原油, 中性含氮化合物是一个较理想的运移参数。在原油的生成、运聚及后生变化等一系列演化过程中, 对中性含氮化合物运移参数影响较大的地质因素是原油的微生物降解作用和多期次成藏的复合作用。

张春明等<sup>[6]</sup>在研究不同微生物降解级别的原油对中性含氮化合物的影响时认为, 轻度的微生物降解作用对原油中的中性含氮化合物没有明显影响; 中等降解作用的原油, 随降解程度的增加, 咔唑、甲基咔唑和二甲基咔唑浓度呈规律性的减小; 严重降解原油, 其中性含氮化合物浓度则显著降低。咔唑、甲基咔唑、二甲基咔唑的相对百分含量在非严重降解原油中, 并没有明显的变化; 而在严重降解原油中, 咔唑和甲基咔唑明显降低, 二甲基咔唑则升高。二甲基咔唑系列中, 全屏蔽型、半屏蔽型、全暴露型 3 类异构体的相对百分含量, 在非严重降解原油中无明显变化; 在严重降解原油中, 全屏蔽

型和全暴露型升高, 而半屏蔽型降低。

塔河油区存在多期成藏、多期次生成的原油混合等特点。早期(海西晚期)形成的奥陶系油藏主要分布于塔河 4, 6 区, 油质重且存在较严重的微生物降解作用; 塔河 3 区奥陶系原油油质较轻, 主要是晚期(燕山期以后)形成, 微生物降解作用弱。微生物的降解作用同样对于塔河油区的中性含氮化合物的运移效应较大的影响。

图 1 反映了塔河油区奥陶系产层原油中性含氮化合物的绝对浓度与原油密度的关系。以往研究表明, 塔河油区原油中存在生物降解的大多是早期成藏的原油, 经不同程度的晚期原油再充注而形成现今复杂的油藏面貌。以中性含氮化合物运移效应分析, 在理论上这些早期形成的油藏中, 原油中性含氮化合物的绝对浓度应高于晚期形成的油藏原油。但从图 1 中不难发现, 与低密度原油相比, 重质原油(密度  $> 0.93 \text{ g/cm}^3$ ) 中性含氮化合物的浓度总体上相对较低, 特别是甲基咔唑、二甲基咔唑的绝对浓度显得更低, 这说明微生物的降解作用对于塔河油区原油的中性含氮化合物的影响程度较深, 也就是说在早期油藏特别是存在严重微生物降解的原油中, 微生物降解作用对中性含氮化合物浓度的影响远覆盖了中性含氮化合物的运移效应。

图 2 反映了塔河油区奥陶系产层原油中性含氮化合物的系列比值与原油密度的关系, 从中可以进一步看出微生物降解作用对原油中性含氮化合物运移效应参数的影响。理论上中性含氮化合物的各项运移指标除苯并咔唑指标  $[a] / ([a] + [c])$  随运移距离增加比值降低外, 其它指标应随运移距离增加比值亦增加, 但图中的各项指标的总趋势是, 重质油运移指标值都比正常油及中质油来得低。显然, 这些重质油的低运移指标值, 并不指示其与其它原油运移距离的差异, 而是由于微生物的降解作用导致的结果。由于微生物降解作用无论是对中性含氮化合物的绝对浓度或是中性含氮化合物间的比值, 都产生消极的影响, 大大降低了中性含氮化合物判别原油运移途径的效果, 因此对于具生物降解作用的原油运用中性含氮化合物判别原油的运移效应要相对慎重。

### 4 奥陶系原油运移效应特征

基于上述中性含氮化合物在原油运移过程中分馏作用理论和微生物降解作用对运移效应的影响研究, 在研究塔河油区原油特别是奥陶系原油含氮化

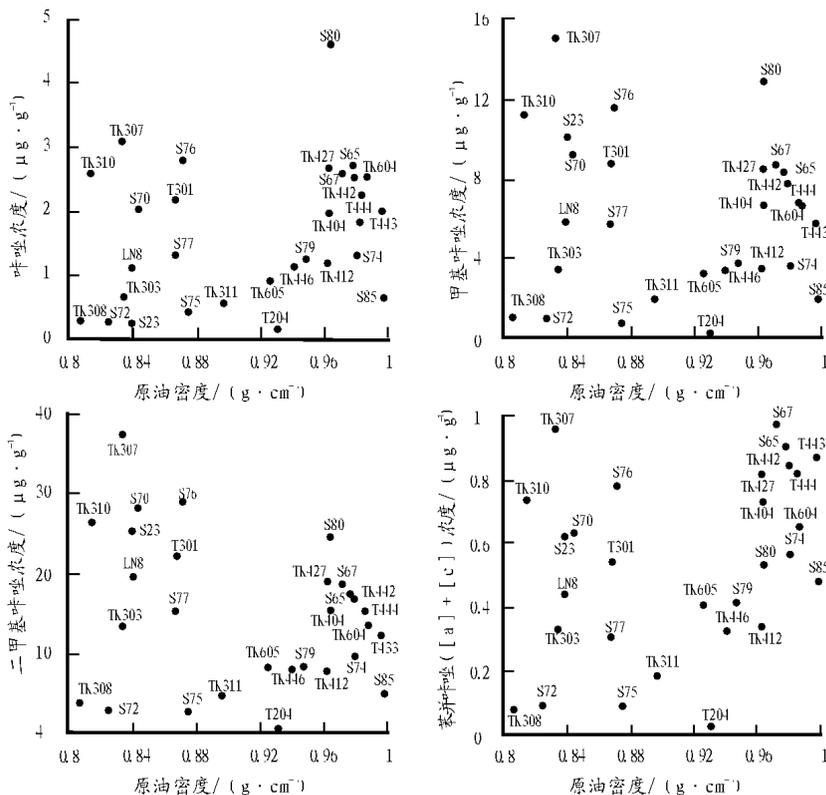


图 1 塔里木盆地塔河油区奥陶系原油中性含氮化合物绝对浓度与原油密度关系

Fig. 1 Relationship between the absolute concentrations of neutral nitrogen compounds and the oil density in Ordovician crude oil from Tahe oil field, Tarim Basin

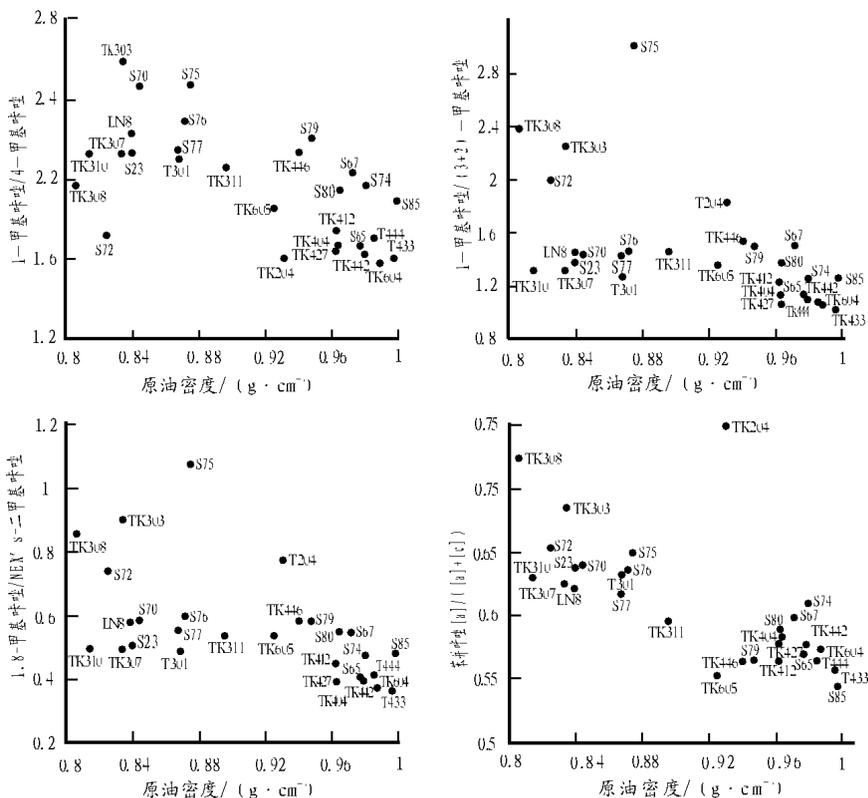


图 2 塔里木盆地塔河油区奥陶系原油中性含氮化合物系列相对比值与原油密度的关系

Fig. 2 Relationship between the relative ratios of neutral nitrogen compounds and the oil density in Ordovician crude oil from Tahe oil field, Tarim Basin

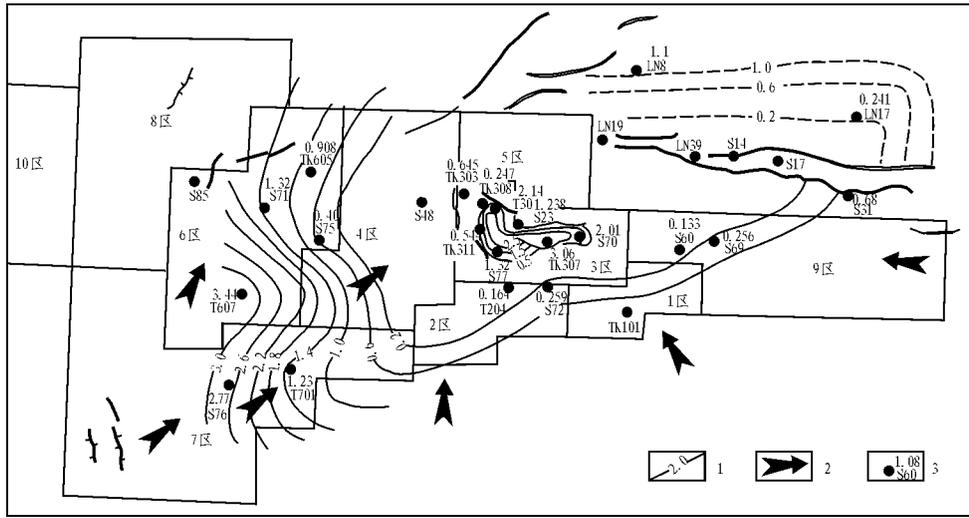


图 3 塔里木盆地塔河油区奥陶系原油咔唑 (CA) 浓度分布示意图

1. 等值线; 2. 原油运移方向; 3. 油井名及咔唑浓度

Fig. 3 Distribution of the absolute concentration of carbazole (CA) in Ordovician crude oil from Tahe oil field, Tarim Basin

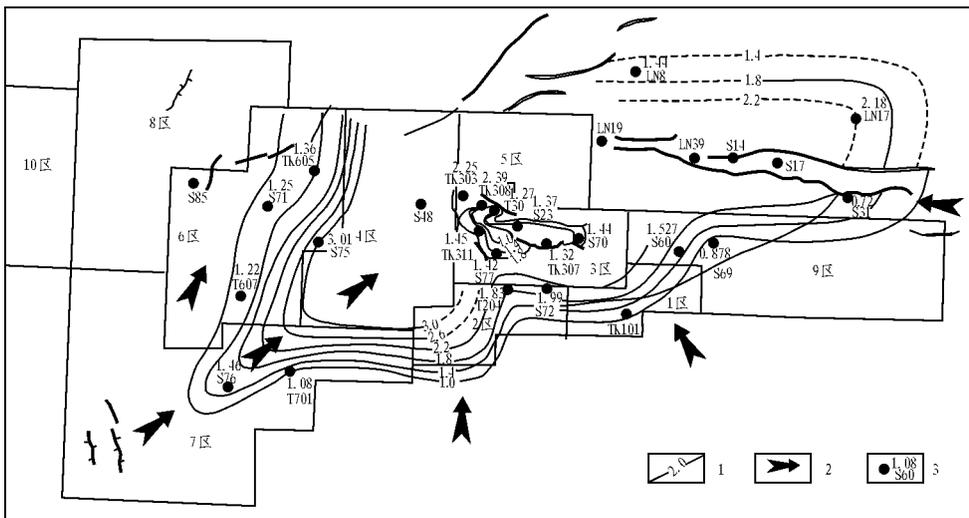


图 4 塔里木盆地塔河油区奥陶系原油甲基咔唑 1-MCA/(3+2)-MCA 比值分布示意图

1. 等值线; 2. 原油运移方向; 3. 油井名及比值

Fig. 4 Distribution of three methylcarbazoles (MCA) ratio, 1-MCA/(3+2)-MCA, in Ordovician crude oil from Tahe oil field, Tarim Basin

合物的运移效应时, 主要选择的是未降解和弱降解的原油。

图 3 为古生界原油中性含氮化合物咔唑绝对浓度在平面上的分布。由图可知, 重质油中, 咔唑绝对浓度分布比较散乱, 但相对轻质的原油之间则显示出随运移距离的增加, 绝对浓度相对降低的趋势。咔唑 (CA) 绝对浓度从 > 3.0 μg/g 降低到 0.15 μg/g 左右。从各区块的绝对浓度变化来看, 塔河 7 区的咔唑绝对浓度较大, 其次是 6 区及 2 区、9 区。油气总体是由塔河油区的南部、东南部向塔河油区的主体运移。塔河 3 区 TK301,

TK307, TK310, S70 等井区与指示区域油气运移背景的绝对浓度相比, 它们的浓度普遍较高, 初步认为可能与 TK310, TK307, S70 等井缘的 NW - NWW 向断裂较发育有关。该断裂沟通了源岩及主力油气输导层 (T<sub>4</sub> 面), 油气直接由断裂向上运移, 相对的运移距离缩短, 这也是塔河 3 区晚期油气较塔河 4, 6 区活跃, 油质总体优于塔河 4, 6 区的重要原因之一。

图 4 反映了甲基咔唑系列 1-MCA/(3+2)-MCA 比值的分布, 总的趋势是比值变化从 1.0 增加到 > 3.0。同样的, 二甲基咔唑系列

1, 8-DMCA/2, 5-DMCA 比值从  $< 2.0$  变化到  $> 4.0$ , 1, 8-DMCA/NEXs-DMCA 比值由 0.46 增加到 1.0 左右, 显示屏蔽型二甲基咪唑与暴露型二甲基咪唑相比更易于运移。总体上, 在塔河油区, 由 6 区向 4 区、7 区向 4 区、2 区向 3 区、9 区向西, 甲基咪唑系列和二甲基咪唑系列比值有逐渐增大的趋势。

与甲基咪唑系列和二甲基咪唑系列相反, 苯并咪唑系列的  $[a] / ([a] + [c])$  比值由 0.75 左右降低到 0.24 左右, 该比值由 6 区向 4 区、7 区向 4 区、2 区向 3 区、9 区向西逐渐降低。塔河油区中性含氮化合物相对比值的分布同样表明, 古生界原油的运移方向总体是由南部、西南部及东部向塔河 6 区、9 区及 4 区、3 区运移。

与绝对浓度变化所揭示的运移特征相似, 在塔河 3 区 TK301, TK307, TK310, S70 等井区, 与指示区域油气运移背景的各项运移指标比值相比, 除苯并咪唑系列比值较高外, 甲基咪唑系列、二甲基咪唑系列的各项指标比值都普遍较低, 进一步说明其形成原因与沟通源岩及主力油气输导层 ( $T_7^4$  面) 的断裂有关, 油气直接由断裂向上运移, 运移距离相对缩短, 导致甲基咪唑系列、二甲基咪唑系列的各项比值指标低, 相反苯并咪唑系列的比值大。

纵观中性含氮化合物绝对浓度及各系列比值的分布特征不难发现, 在塔河 7 区与 4 区过渡带部位, 各中性含氮化合物的绝对浓度都较高, 且变化速度较缓, 甲基咪唑系列与二甲基咪唑系列的比值亦有同样的变化趋势, 表明该地带是原油运移的一个重要通道, 亦或是原油聚集的主要地带。

总之, 无论是中性含氮化合物的绝对浓度, 亦或是中性含氮化合物的相对比值, 都表现出较为一致的分布特点, 显示中性含氮化合物判别塔河古生界原油的运移方向具有较好的效果。

## 5 结论

1) 塔河油区古生界油气运移、聚集的方向是由南、南西向北、北东, 晚期油气除由南向北运移外, 由东、东南向西、西北也是重要的油气运聚方向。

2) 原油中性含氮化合物中, 无论是绝对浓度分布还是各项运移参数分布, 均反映其油气运移主方向是自南向北、自南西向北东, 油气主要来自于南部烃源区, 这与南部满加尔坳陷及其围斜地区主力烃源岩寒武系一中下奥陶统油气生成、演化及供油期是一致的; 其次是油气自东向西、由南东向北西方向的运移聚集, 这与以往对东部草湖烃源区的研究认识是一致的<sup>[1,11]</sup>。草湖烃源区成熟度低于满加尔, 海西期后是主要的供油气期, 因此可认为自东向西的油气聚集主要发生在海西期后, 也就是晚期油气。不同期次、不同方向、不同类型 (油气结构) 的油气, 向塔河油区运移、聚集成藏, 形成了规模巨大、油气面貌复杂的塔河油田。

3) 由于严重的生物降解对中性含氮化合物的运移效应及示踪指标的有效性具有比较大的影响, 因此在运用含氮化合物研究塔河油区原油运移效应时要特别慎重, 必须尽可能选择未降解或弱降解原油。

### 参考文献:

- 1 顾 忆. 塔里木盆地北部塔河油田油气藏成藏机制 [J]. 石油实验地质, 2000, 22 (4): 307~312
- 2 范小林, 邱蕴玉, 鲍新毅. 塔里木盆地轮南-阿克库勒地区地质及油气成藏与勘探目标关系 [J]. 石油实验地质, 1999, 21 (2): 132~136
- 3 刘洛夫, 徐新德, 毛东风等. 咪唑类化合物在油气运移研究中的应用初探 [J]. 科学通报, 1997, 42 (4): 420~423
- 4 李素梅, 王铁冠, 张爱云. 原油中吡咯类化合物的分布特征及其地球化学意义 [J]. 沉积学报, 1999, 17 (2): 312~317
- 5 李素梅, 王铁冠, 郭绍辉等. 原油中含氮化合物——烷基酚类 [J]. 石油学报, 2000, 21 (1): 44~48
- 6 张春明, 赵红静, 梅博文等. 微生物降解对原油中咪唑类化合物的影响 [J]. 石油与天然气地质, 1999, 20 (4): 341~343, 348
- 7 南红丽, 李永林, 赵德力等. 焉耆盆地含氮化合物分布与油气运移特征 [J]. 石油实验地质, 2004, 26 (5): 488~491
- 8 李贤庆, 侯读杰, 肖贤明等. 应用含氮化合物探讨油气运移和注入方向 [J]. 石油实验地质, 2004, 26 (2): 200~205
- 9 Dorbon M, Schmitter J M, Garrigues P, et al. Distribution of carbazole derivatives in petroleum [J]. Organic Geochemistry, 1984, 7: 111~120
- 10 Yamamoto M. Fractionation of azarenes during oil migration [J]. Organic Geochemistry, 1992, 19: 389~402
- 11 黄继文. 塔里木盆地塔河油区原油生物标志化合物在运移方面的应用探讨 [J]. 石油实验地质, 2003, 25 (增刊): 573~577

## RESEARCHES ON THE CHARACTERISTICS OF THE NEUTRAL NITROGEN COMPOUNDS AND THE OIL MIGRATION IN ORDOVICIAN CRUDE OIL FROM TAHE OIL FIELD, TARIM BASIN

Shao Zhibing<sup>1,2</sup>

(1. *The West Department of Petroleum Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Urumchi, Xinjiang 830011, China*; 2. *Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214151, China*)

**Abstract:** In Tahe oil field, the oil accumulation formed in several stages. The heavy oil and the light oil are together in presence in the Ordovician reservoirs. In heavy oil, not only the absolute concentrations but also the ratio indicators of neutral nitrogen compounds are too low to distinguish the oil migration path. The distribution of the neutral nitrogen compounds in the light oil shows that the oil migrates from the south to the north and from the east to the west. In these two orientations, the absolute concentration of carbazole (CA) decreases, the ratio of methycarbazoles (MCA) and the dmethylcarbazoles (DMCA) increases, and the ratio of benzo carbazole,  $[a] / ([a] + [c])$ , decreases. At the fault belt in the No. 3 Block in Tahe oil field, the absolute concentration of carbazole is high, the ratio of MCA to DMCA is low, and the value of  $[a] / ([a] + [c])$  is relative high. These features show that it is through the fault that the hydrocarbon migrates from the source rock to the reservoirs. In this way, the oil migration paths are short, and the hydrocarbon can accumulate in the late stages. Therefore, the crude oil is lighter in No. 3 Block than in the blocks of No. 4 and No. 6 in Tahe oil field.

**Key words:** neutral nitrogen compound; petroleum migration; Ordovician; heavy oil; light oil; the Tahe oil field; Tarim Basin

---

(continued from page 489)

## PROSPECTION OF PETROLEUM GEOCHEMISTRY

Zhang Yigang

(*Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214151, China*)

**Abstract:** It is reviewed in this article the progress of petroleum geochemistry in hydrocarbon generation, migration and accumulation, including: discerning technology of hydrocarbon precursors using biomarkers and carbon number distribution of alkanes, as well as the isotopic composition of alkanes; whether source rock is coal bed or mudstone in coal sequence, carbonate or mudstone in carbonate sequence; significance of amber in the Middle East oil fields; determination of maturity with FAMM technology and ring number distribution of aromatic hydrocarbons; catalytic hydrocracking technology of asphaltene and pyrobitumen for discerning their precursors; oil preservation in deep buried horizons within closed system; Proterozoic petroleum prospect in China, especially in the Ordos Basin; new idea for thermal simulation experiment of hydrocarbon generation; determination of time, temperature and pressure circumstance of petroleum migration and accumulation; possible mechanism of migration and accumulation of immature oils; simulation experiment of petroleum migration and accumulation; moving-ahead markers and lagging-behind markers for petroleum migration; and at last difficulties of petroleum geochemistry exploration on earth surface, i. e. the technology for enhancing signal versus noise ratio and reconstructing heavily tortured surface projection.

**Key words:** hydrocarbon generation geochemistry; reservoir forming geochemistry; geochemical exploration