

文章编号: 0253-9985(2005)04-0433-07

复杂油气藏油气运移的地球化学特征 ——以胜坨油田为例

吕 慧

(胜利油田有限公司地质科学研究院, 山东东营 257015)

摘要: 东营凹陷胜坨油田原油划分为 4 个组群。组群 1 是由下第三系沙河街组三段下亚段烃源岩提供的成熟油, 主要分布于宁海、坨一区西部; 组群 2 是由沙河街组四段上亚段烃源岩提供的成熟油, 主要分布于坨二、三区及一区东部, 是胜坨地区的主要原油组群; 组群 3 为混源油, 油源是沙河街组三段下亚段和四段上亚段两套成熟烃源岩所提供, 分布局限; 组群 4 为低熟油, 是由民丰洼陷沙河街组四段上亚段高伽马蜡烷烃源岩在低成熟阶段提供的烃类, 仅分布于胜北断层北侧。利津洼陷沙河街组三段下亚段烃源岩形成的油气沿坨 94 断层向上运移, 分别从东、西两个充注点在坨一区西部和宁海地区聚集成藏; 利津洼陷沙河街组四段上亚段烃源岩形成的油气沿坨 94 断层向上运移, 在坨一区东部聚集成藏。坨二、三区 8 砂组都源自沙河街组四段上亚段烃源岩, 具有两次油气充注过程。早期成藏发生在东营组沉积末期, 民丰洼陷沙河街组四段上亚段烃源岩早期生成的油气主要在沙河街组三段上亚段 8 砂组以下 (包含 8 砂组) 储层成藏; 晚期成藏发生在明化镇时期, 民丰洼陷沙河街组四段上亚段烃源岩晚期形成的油气主要在 8 砂组以上 (包含 8 砂组) 沙河街组二段—东营组储层成藏。早期油气运移的充注点位于胜北断层, 晚期油气运移的充注点位于南北向断层北部。

关键词: 含氮化合物; 油气运移; 成藏期次; 地球化学特征; 胜坨油田

中图分类号: TE112.1 文献标识码: A

Geochemical study on hydrocarbon migration in complex reservoirs taking Shengtuo oilfield as an example

L. Hui

(Research Institute of Geological Science, Shengli Oilfield Company Ltd., Dongying, Shandong)

Abstract Crude oils of Shengtuo oilfield in Dongying depression can be divided into 4 groups. Group 1 is mature oil sourced from the lower 3rd member of Eocene Shahezhen Fm, which is distributed mainly in Ninghai and western Tuo-1 block. Group 2 is mature oil sourced from the upper 4th member of Shahezhen Fm, which is distributed mainly in Tuo-2 block, Tuo-3 block and the eastern part of Tuo-1 block. It is the major crude oil group in Shengtuo area. Group 3 is mixed oils sourced from the lower 3rd member and the upper 4th member of Shahezhen Fm, with a restricted distribution. Group 4 is low-mature oil generated from source rocks with high gammacerane in the lower 3rd member of Shahezhen Fm in Minfeng sag during low maturity period, which are distributed only on the northern side of Shengbei fault. Hydrocarbons that have been generated from the source rocks in the lower 3rd member of Shahezhen Fm in Lijin sag may migrate upward along Tuo 94 fault and are accumulated in the western part of Tuo-1 block and Ninghai area from both the eastern and western charging points. Hydrocarbons that have been generated from the source rocks in the upper 4th member of Shahezhen Fm in Lijin sag may migrate upward along Tuo 94 fault and are accumulated in the eastern part of Tuo-1 block. The 8th sandstone units in Tuo 2 and 3 blocks have experienced two oil and gas charging stages from the source rocks in the upper 4th member of Shahezhen Fm. The early reservoiring occurs at the end of deposition of Dongying Fm, and the oil and gas have accumulated mainly in the sandstone reservoirs below the 8th sandstone unit.

作者简介: 吕慧, 女, 32 岁, 工程师, 石油地质与石油地球化学

收稿日期: 2005-06-20

(including the 8th sandstone unit itself) in the upper 3rd member of Shahezhen Fm. The late reservoiring occurs during the deposition of Minghuazhen Fm, and the oil and gas have accumulated mainly in the sandstone reservoirs above the 8th sandstone unit (including the 8th sandstone unit itself) in the 2nd member of Shahezhen Fm and Dongying Fm. The early migration has been charged from Shenbei fault while the late migration has been charged from the northern part of the S-N trending fault

Key words nitrogen compound hydrocarbon migration; reservoiring stage; Shentuo oilfield

油气运移是石油地质综合研究中至关重要又最为薄弱的环节^[1]。近几年来,含氮化合物分析技术用于油气运移研究解决了许多这方面的难题^[2~5],显示出了越来越大的优势。研究表明,含氮化合物的组成、分布与生物标志物一样会受到母质来源、沉积环境、成熟度等多方面的影响;但对于成因类型相同、热演化程度相似的原油,含氮化合物的浓度及分布则主要受控于运移距离的变化^[1,6~10]。因此对于“同源同期”成藏的原油而言,含氮化合物仍不失为研究油气运移的一种有效手段。

胜坨油田是胜利油区已发现的最大油田^[11],自 1964 年发现至今已历经 40 a 油田开发已进入中后期,油田的勘探也由早期的构造油气藏转向隐蔽油气藏。笔者运用含氮化合物对胜坨油田的油气运移作了深入研究及探索,力求对该地区成藏机理研究有所帮助,同时也对济阳坳陷其他老油区的油气运移研究起到示范或启发性的作用。

1 地质背景

胜坨油田位于济阳坳陷东营凹陷北侧,坨庄-胜利村-永安镇断裂构造带西段。油田北隔胜北二台阶与陈家庄凸起相邻,南与中央隆起带的东辛油田相连,东临民丰洼陷,西南与利津生油深洼陷相通^[11]。

胜坨油田以胜北断层下降盘发育的东部胜利村背斜和西部坨庄背斜为背景而形成(图 1)。两背斜以鞍部相连,整体含油。该油田按构造断裂系统划分为坨一、二、三区,在坨三区又划分出 7 块、11 块、21 块、28 块和 30 块,具有 7 套含油气层系[上第三系明化镇组(Nm)、馆陶组(Ng)和下第三系沙河街组一段(Es^1)、二段(Es^2)、三段(Es^3)、四段(Es^4)],主力含油层系为沙河街组三段上亚段($Es^{3(上)}$)- Es^2 。

2 原油组群划分与油源对比

多年来的勘探实践证实,下第三系沙河街组四段上亚段($Es^{4(上)}$)、三段下亚段($Es^{3(下)}$)和三段中亚段($Es^{3(中)}$)是东营凹陷的主要烃源岩^[12,13]。其中 $Es^{4(上)}$ 和 $Es^{3(下)}$ 发育了有机质富集层,有机质丰富、类型好,生烃潜力巨大,为优质烃源岩;而 $Es^{3(中)}$ 为一套一般烃源岩^[14]。

通过对原油样品分子特征的深入剖析,将胜坨油田原油划分为 4 个组群。组群 1 姥植比一般为 0.8~1.2,伽马蜡烷指数(伽马蜡烷/ C_{30} 藿烷)小于 0.15,重排甾烷、4-甲基甾烷含量丰富;组群 2 姥植比一般为 0.3~0.65,伽马蜡烷指数为 0.21~0.42,重排甾烷、4-甲基甾烷含量低;组群 3 各项生物标志物参数介于组群 1 和组群 2 原油之间;组群 4 具有比组群 2 更高的伽马蜡烷和植烷优势,姥植比为 0.19~0.3,伽马蜡烷指数为 0.76~1.13,升藿烷具有 $C_{35} > C_{34}$ 的特征, C_{29} 甾烷 $20S/(20S+20R)$ 比值为 0.20~0.32,为低熟油。

油源对比表明,胜坨油田 4 个原油组群分别与利津洼陷和民丰洼陷的 $Es^{4(上)}$ 和 $Es^{3(下)}$ 两套优质烃源岩相对应。组群 1 是由 $Es^{3(下)}$ 烃源岩提供的成熟油,主要分布于宁海和坨一区西部,在坨二、三区分布较少;组群 2 是由 $Es^{4(上)}$ 烃源岩提供的成熟油,主要分布于坨二、三区及坨一区东部,是胜坨地区的主要原油组群;组群 3 为混源油,油源是由 $Es^{3(下)}$ 和 $Es^{4(上)}$ 两套成熟烃源岩所提供,分布局限;组群 4 为低熟油,是由民丰洼陷 $Es^{4(上)}$ 高伽马蜡烷烃源岩在低成熟阶段提供的烃类,仅分布于胜北断层北侧(图 1)。

3 成藏期次

有机包裹体作为封存在矿物晶穴或裂缝中的原始有机流体,可用于重塑油气藏形成和演化

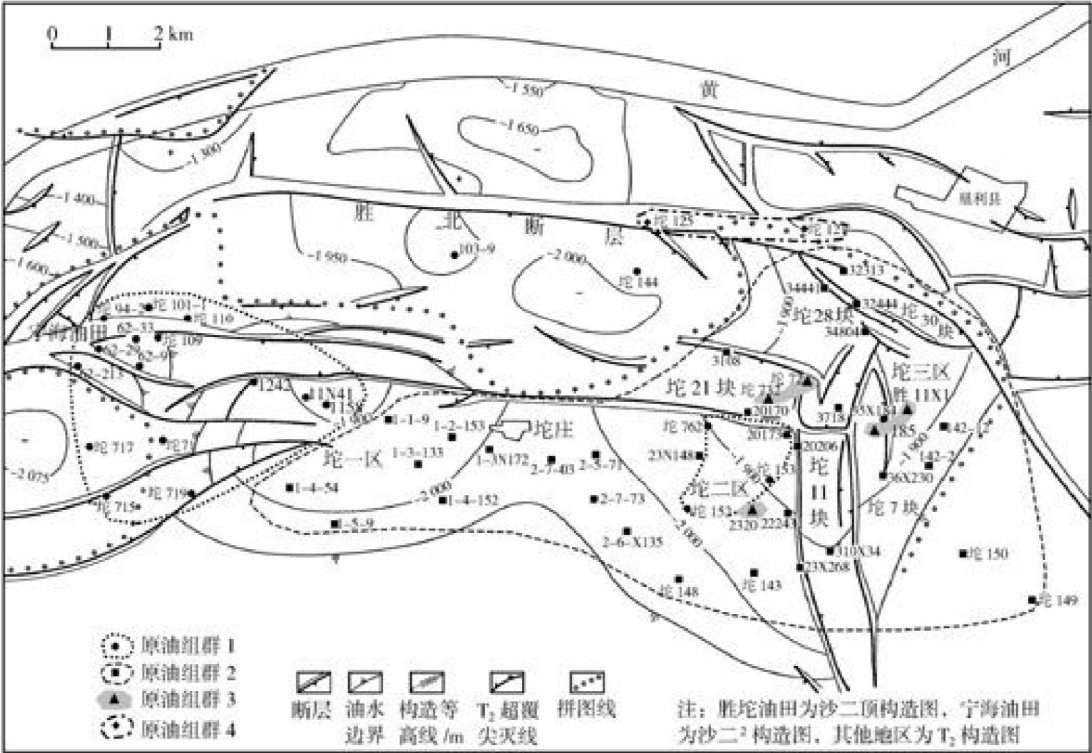


图 1 胜坨地区构造地质和原油组群分布平面图

Fig. 1 Structural geology and distribution of crude oil groups in Shengtu area

史^[15~17]。研究中对主要含油层系 Es^2 (1~7 砂层组) 及 $Es^{3(上)}$ (8~15 砂层组) 油砂样品进行了取样, 开展包裹体烃类和储层烃类生物标志化合物分析和对比研究, 探讨成藏期次问题。

研究发现, 坨一、二区 Es^2 储层 (如坨一区 12121 井 3 砂组、坨二区的坨 2-1- J1662 井 3 砂组) 和三区 7 砂组部分样品 (如坨 3-8- J215 井) 包裹体烃类与储层烃类生物标志物特征相似, 成熟度相近, 都源自 $Es^{4(上)}$ 烃源岩, 表明它们为同期形成的烃类, 油气成藏史单一。

坨二、三区 8 砂组样品包裹体烃类与储层烃类存在差异, 以三区坨 34150 井为代表 (图 2)。该类样品中储层烃类与包裹体烃类甾烷、萘烷分布特征相似, 都源自 $Es^{4(上)}$ 烃源岩; 但成熟度有所区别。包裹体烃类 $C_{29} 20S / (20S + 20R)$ 比值为 0.39~0.41, 成熟度相对较高; 而储层烃类 $C_{29} 20S / (20S + 20R)$ 比值为 0.35~0.36, 成熟度相对较低。其他与成熟度有关的参数也表现出了相同的现象。坨二、三区所分析的 8 砂组 4 块油砂包裹体烃类成熟度都高于储层烃类, 这说明不是偶

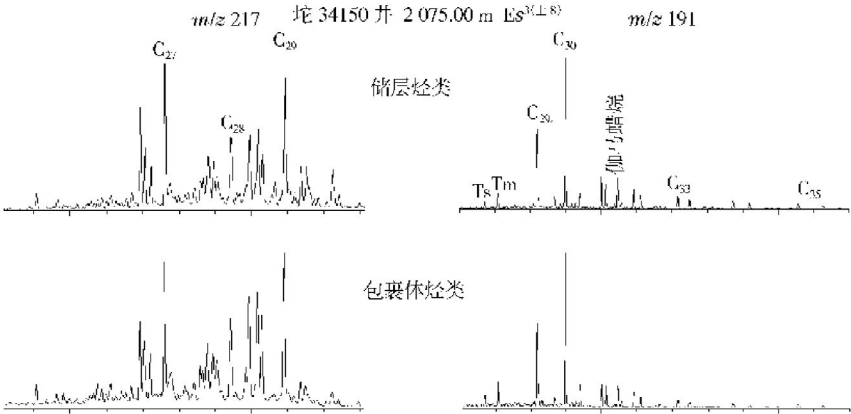


图 2 坨 34150 井 $Es^{3(上)}$ 亚段 8 砂组储层烃类与包裹体烃类甾烷、萘烷对比图

Fig. 2 Comparison of sterane and terpane mass chromatograms of reservoir and inclusion hydrocarbons in the 8th sandstone unit in the upper Es^3 , Tuo 34150 well

然因素所造成,而是说明了坨二、三区 8 砂组具有两次油气充注过程。分析认为可能是由于不同的油源灶在不同时期排出的烃类成熟度有所差异,从而造成了 8 砂组包裹体烃类成熟度高于储层烃类的现象。

此外,通过对三区原油的纵向地化剖面分析, $E_s^{3(上)}$ 8 砂组的原油大部分遭受了生物降解作用,正构烷烃缺失。8 砂组下伏储层原油保存完整,未遭受生物降解作用。8 砂组上覆储层 E_s^2 和 E_s^1 大部分原油保存完整;而下第三系东营组 (Ed) 原油又普遍遭受了生物降解作用。根据上述出现的特殊现象,结合前面包裹体烃类及民丰洼陷成藏史分析,说明坨二、三区主要经历了两期成藏过程。早期成藏发生在东营组沉积末期,民丰洼陷 $E_s^{4(上)}$ 烃源岩早期生成的油气主要在 $E_s^{3(上)}$ 8 砂组以下 (包含 8 砂组) 储层成藏,由于东营末期的构造运动使得构造顶部的 8 砂组原油普遍遭受了生物降解作用;晚期成藏发生在明化镇时期,民丰洼陷 $E_s^{4(上)}$ 烃源岩晚期形成的油气主要在 8 砂组以上 (包含 8 砂组) E_s^2-Ed 储层成藏,由于 Ed 油藏埋深浅原油遭受了生物降解作用。

4 油气运移路径

在以上对原油进行组群划分、油源对比及确定成藏期次的基础上,分别选择平面分布较广、油藏连续性好、储量较大的组群 1 及组群 2 的原油样品 48 块次进行吡咯类含氮化合物分析,开展油气运移路径的追踪研究。

含氮化合物分析表明,两个组群的原油都含有丰富的卟啉和苯并卟啉系列。由于含氮化合物可以组合的运移参数很多^[2],根据研究区的具体地质情况,通过筛选发现含氮化合物总量、苯并卟啉 [a]/[c], 2,4- / 2,5-二甲基卟啉 (2,4- / 2,5-DMCA), 1,8-二甲基卟啉 / (2+3) 甲基卟啉 (1,8-DMCA / (2+3) MCA) 等参数有一定的变化规律,能较好地指示油气运移方向和路径,其中前 3 个参数在该区是最好的运移参数。两个组群的原油具有不同的运移方向和路径,下面分别分析。

4.1 原油组群 1

从含氮化合物的总量变化 (图 3a) 可以看出,在宁海地区,坨 94 断层西段的原油总量值大 (坨 94-2 井总量为 $194 \mu\text{g/g}$, 坨 62-213 井为

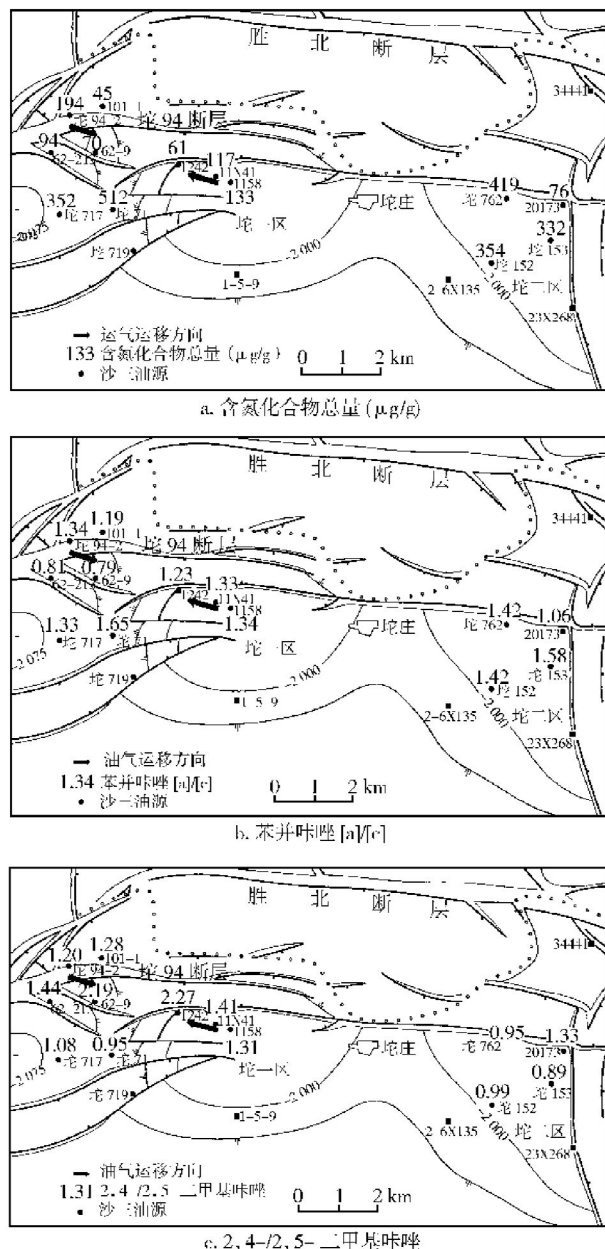


图 3 原油组群 1 含氮化合物总量、苯并卟啉 [a]/[c] 及 2,4- / 2,5-二甲基卟啉的平面分布

Fig. 3 Distribution of total content of nitrogen compounds benzocarbazole [a]/[c] and 2,4- / 2,5-DMCA of oil group 1
图中其余图例见图 1

$94 \mu\text{g/g}$), 向东总量值减小 (坨 62-9 井为 $70 \mu\text{g/g}$), 随着运移距离的增大含氮化合物的总量减小^[4]。这一变化特征说明了源自胜坨地区南侧利津洼陷 $E_s^{3(下)}$ 烃源岩的原油沿坨 94 断层 (切穿 $E_s^{3(下)}$ 烃源岩, 为油源断层) 向上运移, 充注点位于坨 94 断层西段的坨 94-2 井附近, 油气自此向东运移自下而上在宁海地区聚集成藏。在坨一区西部, 从 1158 到 11N41 到 1242 井含氮化合物

总量依次减小, 分别为 133、117 和 61 $\mu\text{g/g}$ 。结合地质条件分析, 源自利津洼陷 $E_s^{3(f)}$ 烃源岩的原油沿坨 94 断层向上运移, 在坨一区的充注点位于高点附近, 原油自此向西运移在一区西部聚集成藏。苯并呋啉 [a] / [c] (随运移距离的增大而减小^[18]) 及 2, 4- / 2, 5-二甲基呋啉 (随运移距离的增大而增大^[1, 18, 19]) 两参数值的变化 (图 3h, c) 与含氮化合物总量变化所指示的运移方向和路径完全一致。

此外, 对于坨一区的坨 717 和坨 71 井 E_s^3 段储层的原油, 含氮化合物的总量值 (图 3a) 分别为 352 和 512 $\mu\text{g/g}$ 总量值大, 说明了其油源来自就近的 $E_s^{3(f)}$ 烃源岩, 分析为自生自储型油藏; 坨二区的坨 762 (E_s^4)、坨 152 (E_s^4) 和坨 153 (E_s^3) 井原油含氮化合物总量值大, 说明了其油源来自就近的 $E_s^{3(f)}$ 烃源岩。苯并呋啉 [a] / [c] 和 2, 4- / 2, 5-二甲基呋啉参数值也证实了相同的观点 (图 3h, c)。

4.2 原油组群 2

对于来源于 $E_s^{4(t)}$ 烃源岩的原油组群 2 由于存在两期成藏过程, 则较为复杂。因为运用含氮化合物研究油气运移的先决条件是“同源同期”, 因此需要对不同期次形成的原油分别分析。从苯并呋啉 [a] / [c] 比值可以看出, 早期成藏的原油该比值偏低为 0.86~1.29, 而晚期成藏的原油苯并呋啉 [a] / [c] 值较高为 1.5~2.4, 从而也证明了不同期次形成的原油含氮化合物组成的差异。下面根据含氮化合物组成变化分别对两期成藏的原油进行油气运移的追踪。

对于早期成藏的原油 2, 4- / 2, 5-二甲基呋啉

表现出的运移效应比较明显。从 2, 4- / 2, 5-二甲基呋啉参数值的变化 (图 4a) 来看, 位于胜北断层附近坨 30 断块的坨 32313 该比值最低, 为 1.23, 而向南到 34804 和 37048 井比值增大, 分别为 1.37 和 2.15, 向西南部 21 断块的 3108 和 312179 井比值也增大, 分别为 1.73 和 2.45, 东部从坨 142-12 向西南到坨 142-2 和 36X230 到 11 断块的 310X34 井, 该比值分别为 1.11, 1.30, 1.55 和 1.75 依次增大。上述分析表明, 民丰洼陷 $E_s^{4(t)}$ 亚段烃源岩早期形成的原油沿胜北断层向上运移, 自下而上主要在坨三区的 E_s^4 和 $E_s^{3(t)}$ 储层充注成藏, 充注点位于胜北断层。对于二区的坨 143 (E_s^3) 和坨 22243 (E_s^3) 井原油, 2, 4- / 2, 5-二甲基呋啉值较低, 分析其原油源自就近的 $E_s^{4(t)}$ 烃源岩。此外, 1, 8-二甲基呋啉 / (2+3) 甲基呋啉 (图 4b) 及含氮化合物总量变化对于早期成藏的原油也表现出了相同的运移规律。

晚期成藏的原油也表现出比较好的运移规律, 在坨二区和坨一区东部断层较少的地区含氮化合物表现出的运移分馏效应更加明显。从 2, 4- / 2, 5-二甲基呋啉的参数变化 (图 5a) 来看, 在南北向断层北部的坨 3718 井该比值最低, 为 1.34, 而向北 34441 井比值变大, 为 1.65, 向东坨 35X184 比值为 1.92, 而向西到坨 20206、23N148、2-5X111、2-5-71、2-7-03、1-3N172 和 1-2-153 该比值依次增大分别为 1.76、1.86、2.18、2.32、3.33、3.44 和 3.63, 而到坨 1-1-9 井比值降低为 2.3 (即由坨 1-1-9 到坨 1-2-153 比值增大)。以上分析说明了 $E_s^{4(t)}$ 烃源岩具有两个不

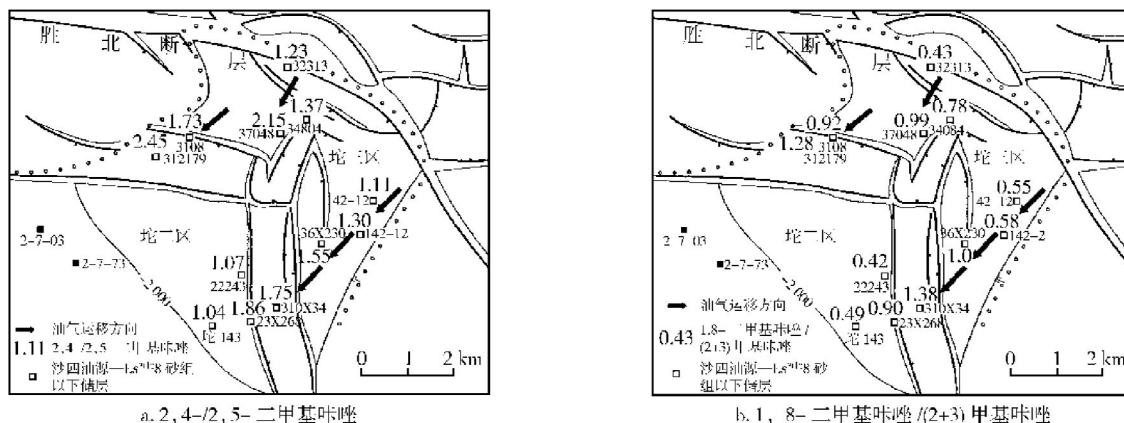


图 4 早期成藏的原油 2, 4- / 2, 5-二甲基呋啉与 1, 8-二甲基呋啉 / (2+3) 甲基呋啉的平面分布

Fig. 4 Distribution of 2, 4- / 2, 5- DMCA and 1, 8- DMCA / (2+3) MCA of the early accumulated oils

图中其余图例见图 1

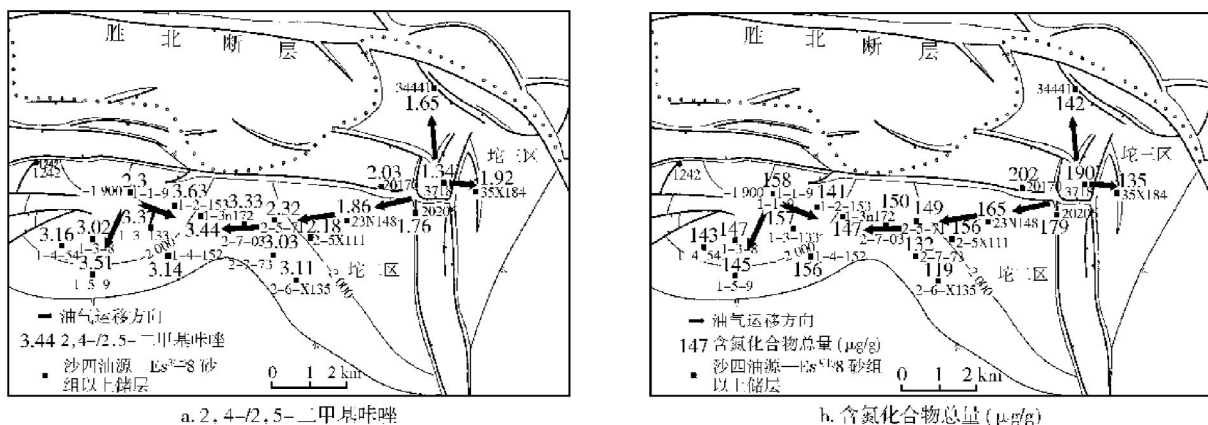


图 5 晚期成藏的原油 2,4-/2,5-二甲基咔唑与含氮化合物总量的平面分布

Fig. 5 Distribution of 2,4-/2,5-DMCA and total content of nitrogen compounds of the late accumulated oils

图中其余图例见图 1

同的油源灶, 分别在坨庄背斜与胜利村背斜断裂最发育的位置形成充注点。明化镇组沉积时期, 民丰洼陷 $Es^{4(上)}$ 烃源岩晚期生成的油气仍沿胜北断层 (油源断层) 向上运移, 主要在坨二、三区 $Es^{3(上)}$ 8 砂组以上储层成藏, 南北向断层北部为油气运移的充注点, 油气自此向北、东进行分支运移, 遇到适合的圈闭聚集成藏; 原油向西部则在主要含油层系 Es^2 储层中进行侧向运移, 在坨一、二区之间的鞍部附近与源自利津洼陷 $Es^{4(上)}$ 烃源岩的坨一区东部的原油交接。此外, 运用含氮化合物总量 (图 5b) 和苯并咔唑 [a]/[c] 等参数对于晚期成藏的原油指示了相同的运移方向和路径。

5 结论

通过对胜坨油田油气运移的系统研究, 结合前人的研究成果, 提出“同源同期”是应用含氮化合物研究油气运移的先决条件。

在对胜坨油田原油进行精细分类、油源对比及确定成藏期次的基础上, 运用含氮化合物对不同油气来源、不同成藏期次形成的原油进行了油气运移研究。研究表明, 宁海、坨一区来源于不同层段烃源岩的原油具有不同的充注方向和运移路径。利津洼陷 $Es^{3(下)}$ 烃源岩形成的油气沿坨 94 断层向上运移, 分别从东、西两个充注点在坨一区西部和宁海地区聚集成藏, 利津洼陷 $Es^{4(上)}$ 烃源岩形成的油气沿坨 94 断层向上运移, 在坨一区东部聚集成藏。坨二、三区不同期次成藏的原油含氮化合物的组成有所差异, 早期和晚期成藏的原油分别具有不同的充注点和运移路径。早期油气运移

的充注点位于胜北断层, 晚期油气运移的充注点位于南北向断层北部。

参 考 文 献

- 黎茂稳. 油气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 Maowen Quantification of petroleum secondary migration distances: fundamentals and case histories [J]. Petroleum Exploration & Development, 2000, 27(4): 11~19
- Li M, Larter S R, Stoddart D, et al. Fractionation of pyrrolic nitrogen compounds in petroleum during migration: derivation of migration-related geochemical parameters [A]. In: Cubitt J M, England W A, eds. The geochemistry of reservoirs [C]. Geological Society of London, Special Publication No 86, 1995: 103~124
- Yamamoto M. Fractionation of azarenes during oil migration [J]. Organic Geochemistry, 1992, 19: 389~402
- 王铁冠, 李素梅, 张爱云, 等. 应用含氮化合物探讨新疆轮南油田油气运移 [J]. 地质学报, 2000, 74(1): 85~92
Wang Tieguan, Li Sumei, Zhang Aiyun, et al. A discussion on petroleum migration in the Lunan oilfield of Xinjiang based on nitrogen compounds [J]. Acta Geologica Sinica, 2000, 74(1): 85~92
- 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
Li Xianqing, Hou Dujie, Xiao Xianming, et al. Study of oil migration and injection directions by nitrogen compounds [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2004, 26(2): 200~205
- Clegg H, Wilkes H, Horsfield B. Carbazole distributions in carbonate and clastic source rocks [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1997, 61(24): 5335~5345
- Bakr M M Y, Wilkes H. The influence of facies and depositional environment on the occurrence and distribution of carbazoles and benzocarbazoles in crude oils: a case study from the Gulf of Suez, Egypt [J]. Organic Geochemistry, 2002, 33(5): 561~580

- 8 Li Maowen, Fowler M G, Obemajer M, et al Geochemical characterization of Middle Devonian oils in NW Alberta Canada: possible source and maturity effect on pyrrolic nitrogen compounds [J]. *Organic Geochemistry*, 1999, 30: 1039–1057
- 9 李素梅, 王铁冠, 张爱云, 等. 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 Sumei, Wang Tieguan, Zhang Aiyun, et al. Geochemical characteristics and significance of the pyrrolic compounds in petroleum [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1999, 17(2): 312–317
- 10 张宝, 包建平. 有机含氮化合物研究新进展 [J]. *天然气地球科学*, 2004, 15(2): 182–186
Zhang Bao, Bao Jianping. New progress on organonitrogen compound studies [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2004, 15(2): 182–186
- 11 孙仲珂, 杨家福. 胜坨油田 [A]. 见: 张文昭, 编. 中国陆相大油田 [C]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 605–618
Sun Zhongke, Yang Jiafu. Shengtuo Oilfield [A]. In: Zhang Wenzhao, ed. *Giant continental oilfields of China* [C]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997. 605–618
- 12 刘华, 蒋有录, 杨万琴, 等. 东营凹陷中央隆起带油-源特征分析 [J]. *石油与天然气地质*, 2004, 25(1): 39–43
Liu Hua, Jiang Youlu, Yang Wanqin, et al. An analysis of oil-source characteristics of central uplift belt in Dongying depression [J]. *Oil & Gas Geology*, 2004, 25(1): 39–43
- 13 朱光有, 金强, 戴金星, 等. 东营凹陷油气成藏期次及其分布规律研究 [J]. *石油与天然气地质*, 2004, 25(2): 209–215
Zhu Guangyou, Jin Qiang, Dai Jinxing, et al. A study on periods of hydrocarbon accumulation and distribution pattern of oil and gas pools in Dongying depression [J]. *Oil & Gas Geology*, 2004, 25(2): 209–215
- 14 张林晔, 孔祥星, 张春荣, 等. 济阳坳陷优质烃源岩的发育及其意义 [J]. *地球化学*, 2003, 32(1): 35–42
Zhang Linye, Kong Xiangxing, Zhang Chunrong, et al. High-quality oil-prone source rocks in Jiyang Depression [J]. *Geochimica*, 2003, 32(1): 35–42
- 15 陈孔全, 徐言岗, 张文淮, 等. 松辽盆地南部有机包裹体特征及石油地质意义 [J]. *石油与天然气地质*, 1995, 16(2): 138–147
Chen Kongquan, Xu Yangang, Zhang Wenhua, et al. Characteristics of organic inclusions in southern Songliao basin and their significance for petroleum geology [J]. *Oil & Gas Geology*, 1995, 16(2): 138–147
- 16 王正允. 谢家湾构造流体包裹体及油气运移期 [J]. *石油与天然气地质*, 1998, 19(2): 152–156
Wang Zhengyun. Fluid inclusions and oil-gas migration period of Xiejawan structure [J]. *Oil & Gas Geology*, 1998, 19(2): 152–156
- 17 梁志刚, 林壬子, 张敏, 等. 辽河盆地深层烃类包裹体特征及油气藏注入史分析 [A]. 见: 林壬子, 编. 油气勘探与油藏地球化学 [C]. 北京: 石油工业出版社, 1998. 71–77
Liang Zhigang, Lin Renzi, Zhang Min, et al. Analysis on the characteristics of hydrocarbon inclusions and the injection history of hydrocarbon pools in the deep of the Liaohe basin [A]. In: Lin Renzi, ed. *Hydrocarbon exploration and reservoir geochemistry* [C]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1998. 71–77
- 18 Later S R, Bowler B, Li M, et al. Benzocarbazoles as molecular indicators of secondary oil migration distance [J]. *Nature*, 1996, 383: 593–597
- 19 李素梅, 庞雄奇, 黎茂稳, 等. 低熟油、烃源岩中含氮化合物分布规律及其地球化学意义 [J]. *地球化学*, 2002, 31(1): 1–7
Li Sumei, Pang Xiongqi, Li Maowen, et al. Characteristics of pyrrolic nitrogen compounds and their geochemical significance in oils and rocks of Banianhe oilfield, eastern China [J]. *Geochimica*, 2002, 31(1): 1–7

(编辑 李 军)

(上接第 432 页)

- Gou Jie. Application of hydrocarbon fingerprint analysis to geochemical description of gas pools [J]. *Oil & Gas Geology*, 2004, 25(3): 349–353
- 8 张玉明. 松辽盆地十屋断陷地表化探异常的成因 [J]. *石油与天然气地质*, 2001, 22(3): 280–281
Zhang Yuming. Origin of geochemical anomaly on ground surface of Shiwu faulted depression in Songliao basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2001, 22(3): 280–281
- 9 刘运黎. 似源组异常在油气化探中的应用 [J]. *石油与天然气地质*, 2003, 24(2): 184–186
Liu Yunli. Application of source-similar fabric anomaly analysis in petroleum geochemical exploration [J]. *Oil & Gas Geology*, 2003, 24(2): 184–186
- 10 李广之. 轻烃地球化学场的形成和特征 [J]. *石油与天然气地质*, 1999, 20(1): 66–69
Li Guangzhi. Formation and characteristics of light hydrocarbon geochemical fields [J]. *Oil & Gas Geology*, 1999, 20(1): 66–69

(编辑 李树森)