

涠西南凹陷南部斜坡带油气运移地球化学与成藏特征

卢梅^{1,2,3}, 张耀元^{1,2,3}, 崔书姮^{1,3}, 黄向胜^{1,2,3}, 闫琢玉^{1,3}, 黄合庭^{1,3}

(1. 中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司中海油实验中心, 湛江 524057;

2. 中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司中海油实验中心, 澄迈 571900;

3. 广东省海上高温高压油气藏勘探开发企业重点实验室, 湛江 524057)

摘要: 涠西南凹陷南部斜坡带是重要的油气聚集区, 在角尾组、涠洲组、流沙港组和石炭系地层中均发现了油气显示。通过原油地球化学特征分析, 本区原油主要为凹陷中央流沙港组二段下部烃源岩生成的成熟原油, 原油以轻质油为主, 为咸水湖相环境形成原油。油源精细对比揭示, 涠西南凹陷流沙港组二段、三段、角尾组和石炭系地层均属于同一类原油, 通过全烃谱图中正构烷烃分布特征建立适合本区的运移分馏指数 $FI = (nC8 \sim nC12) / (nC25 \sim nC32)$, 并结合饱和烃、芳烃比值和油气运移分馏指数关系分析, WB 到 WC 流沙港组二段和流沙港组三段原油样品均呈现出运移分馏指数增加, 饱芳比增加的趋势, 指示 WB 构造流沙港组二段和流沙港组三段原油为侧向运移至 WC 构造。同时通过 WA 构造含氮化合物含量与深度关系分析, 揭示浅部含氮化合物屏蔽型异构体相对富集, 暴露型异构体相对减少, 指示垂向上具有明显的沿断裂带从深部向浅部运移的特征。综合考虑本地区输导体系的空间叠置关系, 认为南部斜坡带是洼陷中央烃源生成油气经由断层、砂体等输导体系运聚到浅部和斜坡带成藏, 此次研究对本区带下步油气勘探具有重要意义。

关键词: 涠西南凹陷南部斜坡带; 油气运移; 地球化学; 成藏特征

中图分类号: P618.13

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1001-1749.2024.03.12

0 引言

油气运聚研究是针对烃源岩生排烃后二次运移通道、轨迹、成藏组合等的综合分析, 旨在寻找有利运移区带, 是指导勘探目标的优选。油气在运移过程中会发生运移分馏, 是原油在输导体系运移过程中由于不同组分或化合物分子极性和吸附能力的差异, 及储集体中运移距离不同会产生组分上的物理化学性质分异, 发生地层色层效应, 使得不同组分和化合物出现运移聚集的差异。很多学者对此进行了

研究和探索, Leon 等通过原油的运移分馏地球化学研究, 指出随着运移分馏作用的加强, 正烷烃的主峰逐渐向低分子量化合物移动; 王铁冠、侯读杰、黄海平等通过油藏地球化学手段对运移分馏中生物标志物参数、芳烃参数及含氮化合物丰度进行了研究, 例如含氮化合物指出随着油气运移距离增加, 原油吡咯类中屏蔽型异构体相对富集, 暴露型异构体含量逐渐减少^[1-6]。不同地区由于地质环境的特殊性和原油性质的差异, 不同方法的适用性不尽相同, 使用效果也不一致。涠西南凹陷南部斜坡带油气运移路径不明, 油气主要运移方向不清是制约下步勘探方

收稿日期: 2023-06-25

基金项目: 十三五国家重大科技专项(2016ZX05024-005); 广东省软科学研究项目(2018B030323028)

第一作者: 卢梅(1990—), 女, 本科, 主要从事重矿物鉴定、薄片鉴定、扫描电镜等技术科研工作, E-mail: ex_lumei@cnooc.com.cn。

向需解决问题。笔者通过饱和烃、芳烃、生物标志物、含氮化合物等多个角度分析涠西南凹陷南部斜坡带的油气运移指向问题,并对本区带油气运移路径进行刻画,进而探讨油气运移成藏模式。

1 研究区概况

北部湾盆地在地质演化过程中经历了古新世—

始新世断陷,渐新世断拗过渡和中新世区域沉降三个阶段,形成的次级构造单元主要呈北东向展布,涠西南凹陷地处北部湾盆地北部坳陷的一个三级构造单元,处于万山隆起和企西隆起之间,南部斜坡带处于涠西南凹陷 B 洼和南部斜坡凸起之间过渡的呈北低南高断陷构造单元^[7-11]。断裂系统发育,不同断裂组合和不整合面叠置形成本区主要的输导体系(图 1)。

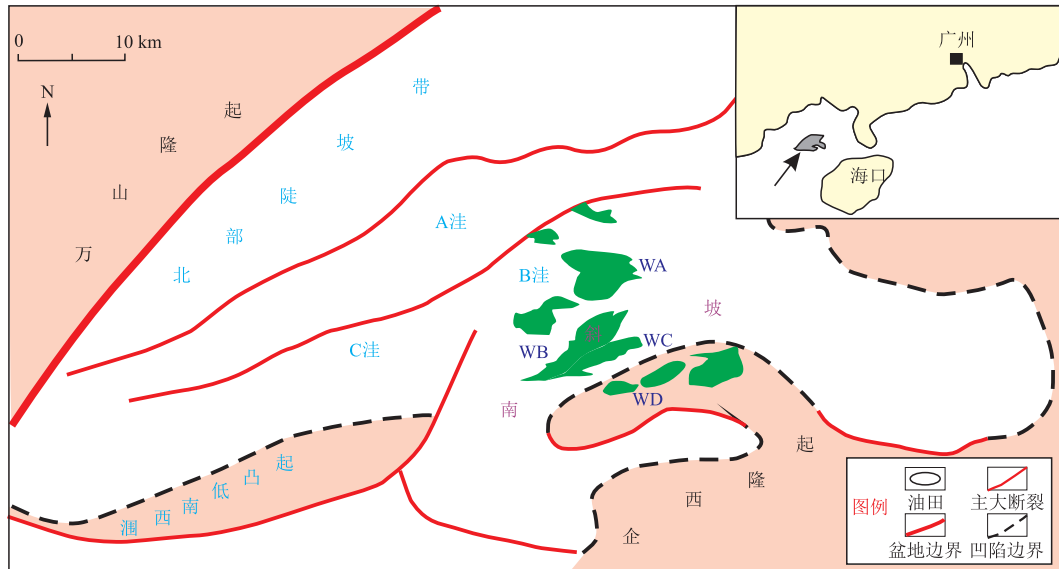


图 1 涠西南凹陷构造特征与油气分布图

Fig. 1 Tectonic characteristics and hydrocarbon distribution of Weixinan sag

2 原油特征与来源

涠西南凹陷 B 洼是重要的油气来源, B 洼生成的油气在向南部区域运移过程中形成了 WA、WB、WC 油田, 在凸起上新近系下洋组、角尾组可形成 WD 背斜油藏, 充分展示南部斜坡带是 B 洼生成原油重要的成藏部位。

本次实验研究中原油和烃源岩样品、饱和烃和芳烃色谱质谱分析采用中海油能源发展股份有限公司钻采工程研究院湛江实验中心 Thermo DSQII 型气相色谱质谱联用仪进行分析, 配置 $60\text{ m} \times 0.32\text{ mm} \times 0.25\text{ }\mu\text{m}$ 毛细色谱柱, 其中烃源岩采用索氏抽提法进行抽提, 对烃源岩样品中可溶有机质沥青进行提取, 使用硅胶—氧化铝柱色层法分离出饱和烃、芳香烃, 实验设备分辨率 $<1\text{ u}$, 质量准确性 $\pm 0.3\text{ u}$, 采用标准 GB/T18606-2001《气相色谱—质谱法测定沉积物和原油中生物标志物》。原油全烃和轻烃类分析, 实验

设备为气相色谱仪 (Agilent 7890A), 检测精度 (苯) $2.5 \times 10^{-12}\text{ g/s}$, 采用标准 SY/T 5779-2008《石油和沉积有机质烃类气相色谱分析方法》。含氮化合物实验分析采用 Thermo-Finnigan Trace-DSQ 气相色谱质谱联用仪, 载气: 99.999% 氦气; 进样口: $300\text{ }^\circ\text{C}$; 传输线: $290\text{ }^\circ\text{C}$; 色谱柱: HP-5MS 弹性石英毛细柱 ($30\text{ m} \times 0.25\text{ mm} \times 0.25\text{ }\mu\text{m}$); 柱温: 初温 $80\text{ }^\circ\text{C}$; 以 $15\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ 升温至 $150\text{ }^\circ\text{C}$, 再以 $3\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ 升至 $270\text{ }^\circ\text{C}$, 保持 10 min ; 载气流速: $1\text{ mL}/\text{min}$ 。质谱 EI 源, 70 eV ; 灯丝电流: 100 A ; 倍增器电压: $1\text{ }200\text{ V}$ 。

通过轻烃谱图可以看出(图 2), 原油主要受成熟作用影响, 未发生生物降解和因蒸发分馏作用造成原油成分的改变。原油呈棕黄至棕黑色, 含蜡量范围在 $11.2\% \sim 24.62\%$ 之间。总体上原油物性特征表现为五低、两高的特点: 五低为密度低、粘度低, 硫、沥青质、硅胶质含量低; 两高为凝固点高, 含蜡量较高(中~高含蜡量)。原油主要为轻质油, 少部分为中质油(表 1)。

表 1 涪西南凹陷南部斜坡带原油地球化学数据表

Tab. 1 Geochemical data of crude oil in the south slope of Weixinan depression

井名	顶深	底深	层位	密度/ (g/cm ³)	Pr/Ph	C ₂₉ 20S /(20S+20R)	C ₂₉ ββ /(ββ+αα)	沥青质/ %	硅胶质/ %	饱和烃	芳烃	三芳甾烷 C26/C28	三芳甾烷 相对含量
WA-1	3111	3365.5	流沙港组一段	0.85	2.10	0.74	0.53	1.4	5.19	67.86	11.99	0.54	7.72
WA-1	2880	2897	流沙港组一段	0.84	2.01	0.72	0.50	1.16	5.05	77.49	13.53	0.43	10.87
WB-1	2664	2664	流沙港组一段	0.85	2.17	0.57	0.49	2.44	5.14	56.64	13.28	0.45	6.52
WB-1	2513	2513	流沙港组二段	0.85	2.09	0.54	0.50	1.31	5.17	84.79	12.44	0.43	12.96
WB-1	2650	2650	流沙港组二段	0.84	2.11	0.51	0.47	1.34	4.58	73.55	10.74	0.54	7.72
WB-2	2916	2916	流沙港组二段	0.84	2.00	0.48	0.51	0.293	3.26	64.09	7.96	0.44	11.70
WB-2	2982.5	2982.5	流沙港组二段	0.83	2.05	0.34	0.56	0.122	2.86	57.31	7.53	0.25	9.55
WB-3	2765	2781.5	流沙港组二段	0.86	2.36	0.26	0.42	4.52	4.97	79.23	14.7	0.22	15.58
WB-4	3314	3323	流沙港组二段	0.81	2.30	0.48	0.57	0.725	1.87	73.6	14.6	0.54	7.72
WC-1	2534.5	2534.5	流沙港组二段	0.83	2.29	0.40	0.60	0.931	3.72	69.62	9.98	0.48	8.57
WC-1	2577	2577	流沙港组二段	0.83	2.26	0.40	0.57	0.519	4.38	67.8	11.34	0.47	6.54
WC-2	2308	2308	流沙港组二段	0.83	2.11	0.47	0.54	1.08	3.47	72.83	14.38	0.46	9.05
WC-2	2320.5	2320.5	流沙港组二段	0.53	2.37	0.45	0.57	1.07	4.5	73.09	16.09	0.44	12.94
WC-3	2043	2064	流沙港组二段	0.85	2.19	0.42	0.62	1.69	3.23	59.2	11.6	0.46	8.48
WC-3	2048	2048	流沙港组二段	0.87	2.28	0.41	0.41	1.32	5.65	72.17	10.55	0.28	15.05
WC-3	2211	2221.5	流沙港组三段	0.83	2.33	0.36	0.57	1	2.62	64.6	9.8	0.40	7.85

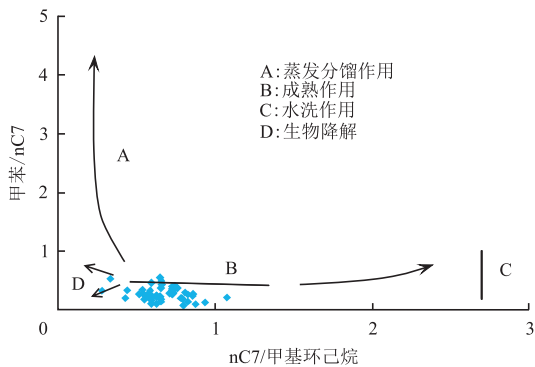


图 2 涪西南凹陷甲苯/nC7 和 nC7/甲基环己烷关系图
(据 Thompson^[21], 1987 年图版)

Fig. 2 Methane/nC7 Wei southwest sag and nC7 / methylcyclohexane diagram

南部斜坡带原油样品 CPI(碳优势指数)分布范围 1.07~1.09, 均值 1.08; 奥利烷含量很低, 甾烷类生物标志物主要包括 C₂₁~C₂₂ 孕甾烷系列、C₂₇ 与 C₂₉ 重排甾烷系列、C₂₇~C₂₉ 规则甾烷系列以及 C₃₀-4-甲基甾烷。规则甾烷中以 C₂₉ 甾烷占优势, ααα-20RC₂₇/C₂₉ 甾烷值分布范围 0.3~0.62, 均值为 0.46, 表明陆源有机质对生烃有所贡献。同规则甾烷相比, 本区原油的 C₃₀-4-甲基甾烷含量较高, 反映低等水生生物对生烃的主要贡献。C₂₉ 藿烷>C₂₉* , C₃₀ 重排藿烷含量低~中等, 以 C₃₀ 藿烷为主峰。藿烷类丰度高, 碳数范围为 C₃₀~C₃₅ 藿

烷。Ts/Tm 普遍大于 1, 均值为 1.96, C₃₁ 升藿烷 22S/22(S+R) 比值平均为 0.61。

高丰度三芳甾烷化合物可能是盐湖环境的反映^[12-13], 孟仟祥研究表明, 随着水体咸度增加, 三芳甾烷丰度呈增高趋势, 认为 C₂₆ 三芳甾烷与 C₂₈ 三芳甾烷比值指示了原油的生成母源环境。通过对研究区三芳甾烷系列化合物识别和分析(图 3), 揭示本区原油主要为咸水湖相原油。

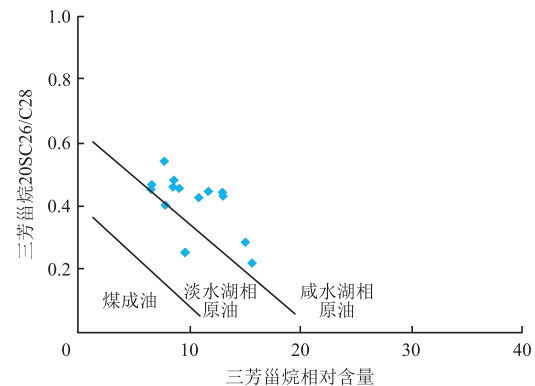


图 3 南部斜坡带三芳甾烷判别原油来源
(据孟仟祥^[12], 1998 年图版)

Fig. 3 Tertiary-sterane distinguish the paleoenvironment in the south slope of Weixinan sag

涪西南凹陷 B 洼沉积了巨厚的流沙港组烃源岩, 埋藏深度大, 具有很好的生烃潜力, 通过对涪西南凹陷原油和岩样抽提物进行成熟度 ααα 甾烷

$C_{29}S/(S+R)$ 和 C_{29} 甾烷 $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 指标进行分析可以看出(图 4),南部斜坡带原油均为成熟原油,均为 B 洼中央烃源岩供烃。

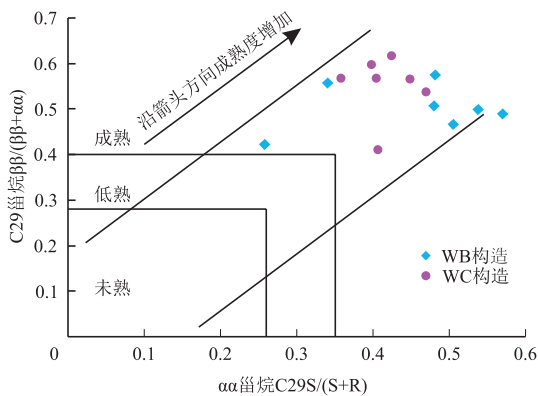


图 4 $C_{29}\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ 与 $\alpha\alpha C_{29}20S/(20S+20R)$ 关系图
(据侯读杰^[4],2001)

Fig. 4 Relationship between $C_{29}\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ and $\alpha\alpha C_{29}20S/(20S+20R)$

对南部斜坡带进行油源对比可以看出(图 5),侧向运移通道中 WB 构造、WC 构造流沙港组二段和流沙港组三段,WD 构造前古近系、角尾组原油均属于同一种类型原油,生物标志物表现为类似的特征,均表现为高丰度的 $C_{30}-4$ -甲基甾烷, $C_{27}-C_{28}-C_{29}$ 甾烷呈座椅型,论证了南部斜坡带均属于一种类型的原油,均为流沙港组二段下源岩生成原油,WD 构造脊上原油来自于凹陷低部位。

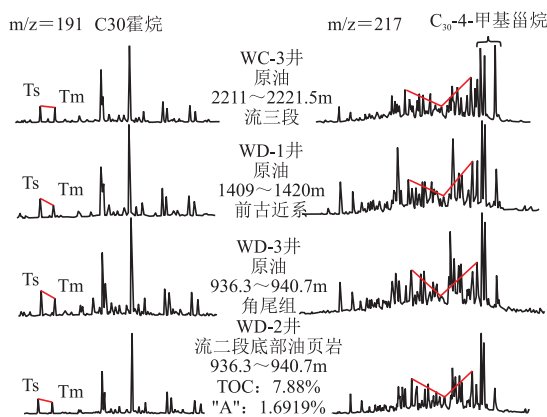


图 5 南部斜坡带不同油田原油生物标志物类比如
Fig. 5 Analogy the crude oil in different tectonic

3 原油运移探讨

油气物理性质是油气生成、演化、运移、聚集、保存、破坏、调整直至最终成藏,经历一系列地质作用

最终结果的表现。由于大多数储集层油气都是由一侧注入的,沿充注路径,原油成分相应发生梯度性的变化,石油到达的时间越晚,原油成熟度越高^[13-22]。通过对原油全烃展布特征进行分析可以看出,原油在运移过程中分馏效应明显,运移分馏作用指石油在二次运移过程中所经历的地质色层效应。Larter 在 1996 年提出油气二次运移中石油性质的系统变化。特别是较低分子量的正烷烃能产生最有效的运移,导致原来的碳数分布发生变化。运移分馏对原油饱和烃和芳烃的相对组成产生影响,随着运移分馏作用的增加,原油中饱和烃的含量将逐渐增大^[19-22]。

运移分馏指数在本区应用具有一定的指示意义,原油运移过程中,随着运移分馏作用的加强,原油的正构烷烃的主峰分布由较高碳数范围逐渐转移到较低碳数范围。由于油气在运移过程中会发生“地质色层”效应,正构烷烃中相对短链、小分子量化合物较之长链、大分子量易于运移,并顺着运移方向相对地富集。LEON^[1]在 1994 年研究了台湾省海上 K 油田原油和凝析油的运移分馏地球化学特征,研究表明随着运移分馏作用的加强,正烷烃的主峰逐渐向低分子量化合物移动。笔者根据本次研究涪西南南部斜坡带原油类型和正构烷烃分布的特点,提出建立适合本区的运移分馏指数 FI,定义为: $FI = (nC_8 \sim nC_{12}) / (nC_{25} \sim nC_{32})$,通过与多种地球化学参数对比研究运移分馏作用对流体组成的影响。

在油气侧向运移过程研究中,采用原油全烃 nC_8 到 nC_{37} 全系列的正构烷烃相对丰度的含量图对比分析原油运移的方向。对 WB 构造和 WC 构造原油全烃数据进行算术平均(图 6),可以看出从 WB 构造到 WC 构造在 nC_{26} 到 nC_{32} 之间相对丰度上,WB 构造流沙港组二段和流沙港组三段均明显高于 WC 构造对应流沙港组二段和流沙港组三段原油,而在 nC_8 到 nC_{17} 之间出现明显的相反顺序,运移分馏指数明显变大,可见在 WC 小分子量的正构烷烃出现富集。

原油中的宏观组成饱和芳比与 FI 有一定的相关性,WC 构造区域随着运移分馏作用增加,原油中的饱和烃含量将逐渐增大。通过饱和烃和芳烃比值饱和芳比和油气运移分馏指数可以看出(图 7),WB 到 WC 流沙港组二段和流沙港组三段 DST 原油样品均呈现出运移分馏指数增加,饱和芳比增加的趋势,指示了流沙港组二段和流沙港组三段原油的侧向运移方向是 WB 朝 WC 构造运移。

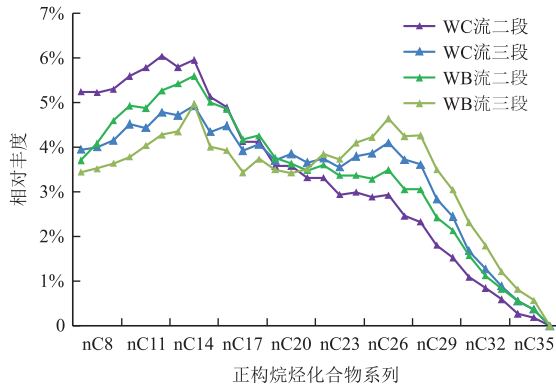


图 6 流沙港组二段和流沙港组三段原油全烃正构烷烃分布图
Fig. 6 Flow second-rate three crude oil hydrocarbon distribution corresponding normal alkanes was developed

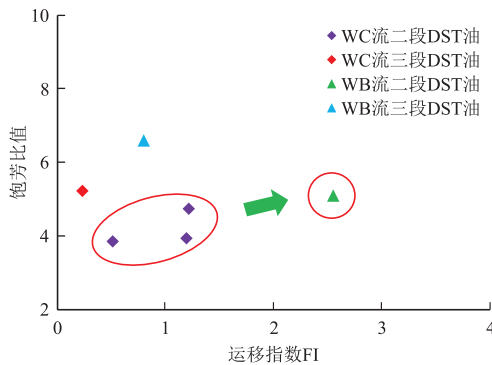


图 7 南斜坡流沙港组二段、流沙港组三段原油饱芳比与运移参数 FI 关系图
Fig. 7 Full aromatic ratio and oil migration parameters FI diagram

在油气垂向运移方面,咪唑化合物的应用主要集中在石油的初次和二次运移中,由于吡咯类化合物具有较强的极性,吡咯类杂环上 N-H 原子易于与地层中的有机质或粘土矿物上的负电性原子形成氢键,从而产生吸附作用,其作用强度取决于吡咯类化合物的烷基取代程度及相对于吡咯氮官能团的烷基取代位^[15-22]。随着油气运移距离的增加,原油中吡咯类化合物的绝对丰度会降低,不同结构异构体会发生较明显的运移分馏效应,如氮官能团屏蔽型异构体(如 1, 8—二甲基咪唑)相对于半屏蔽(如 1, 4—二甲基咪唑)、暴露型异构体(如 2, 7—二甲基咪唑)富集;高分子量咪唑、苯并咪唑相对于低分子量对应物富集等。

WA 构造油气主要呈多层叠置的复式成藏特征,原油中吡咯类化合物丰度差异显著,从底部到浅部(图 8),咪唑的绝对丰度从 3 294.5 m 的 0.81 $\mu\text{g/g}$ 降至浅部 2 621 m 的 0.15 $\mu\text{g/g}$, 甲基咪唑的绝对

丰度从 3 294.5 m 的 5 $\mu\text{g/g}$ 降至浅部 2 621 m 的 1.26 $\mu\text{g/g}$, 二甲基咪唑的绝对丰度从 3 294.5 m 的 27.98 $\mu\text{g/g}$ 降至浅部 2 621 m 的 6.44 $\mu\text{g/g}$, 三甲基咪唑的绝对丰度从 3 294.5 m 的 21.14 $\mu\text{g/g}$ 降至浅部 2 621 m 的 5.98 $\mu\text{g/g}$,二次运移效应显著。

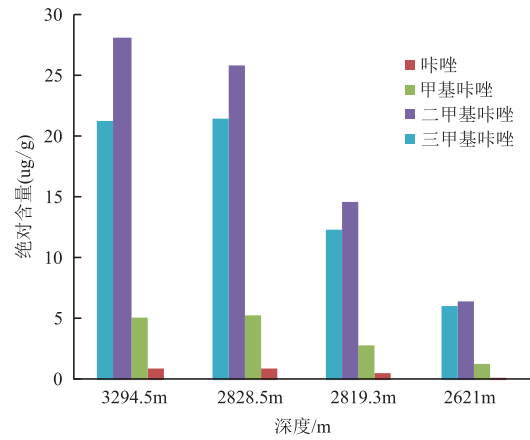


图 8 WA 构造含氮化合物绝对含量与深度关系直方图
Fig. 8 WA structure nitrogen compounds absolute content and depth of the relationship between histograms

油—油间吡咯类化合物的分馏效应不仅体现于绝对丰度的降低,也体现于不同结构的单体化合物间,因氮原子屏蔽程度不同所表现的异构体分馏效应,油气运移距离的增加而增加。在 WA 构造的含氮化合物中,原油从深部到浅部,随着运移距离的增加,屏蔽型异构体相对富集,暴露型异构体相对减少。综合上述研究认为,在南部斜坡带垂向运移过程中,油气主要通过断层作垂向运移。从深部位垂向运移到浅部位现象较明显,断层为主要运移通道。

4 油气成藏特征

通过前文建立适合本区的运移分馏指数 $FI = (nC8 \sim nC12) / (nC25 \sim nC32)$,并结合饱和烃、芳烃比值和油气运移分馏指数关系分析,WB 到 WC 流沙港组二段和流沙港组三段原油样品均呈现出运移分馏指数增加,饱芳比增加的趋势,指示 WB 构造流沙港组二段和流沙港组三段原油为侧向运移至 WC 构造。同时通过 WA 构造含氮化合物含量与深度关系分析,揭示浅部含氮化合物屏蔽型异构体相对富集,暴露型异构体相对减少,指示垂向上具有明显的沿断裂带从深部向浅部运移的特征。综合考虑本地区输导体系的空间叠置关系,南部斜坡带邻近生烃中心,发育北东向和北西西向 2 组断裂,在基

底低隆起背景上形成了一系列大型的古近系断鼻、断块。埋深相对较浅,有利于其南部烃源灶生成的油气通过油源断裂和古近系砂岩输导体向该带运移、成藏。南部斜坡带先后发现 WA 涠洲组油藏, WB 和 WC 流沙港组油藏和 WD 角尾组油藏,充分表明了南部斜坡带作为优势运移通道的成藏优势。沉积相分析表明本区流沙港组二段中层序广泛发育三角洲水下分流河道砂、席状砂和滨浅湖滩坝砂,结合分子地球化学指标已经指示,本区流沙港组二段、流沙港组三段圈闭的运移方式则以侧向为主,凹陷深部生成的油气主要通过斜坡上发育的流沙港组二段大型三角洲储集体向高部位运聚形成油气藏。垂向上能将烃源层与多个目的层联系起来的有效输导体系是断裂,这些断裂中的部分也是油气垂向运移的有效通道。涠西南 B 洼生成油气在砂体的横向输导下由凹陷中央向 WB、WC 运聚成藏,位于凹陷上方的浅层圈闭,主要通过断裂的长期活动,从底部到浅层运聚成藏。

5 结 论

1) 南部斜坡带是涠西南凹陷重要的油气聚集区,原油成熟度分析揭示南部斜坡带原油均为成熟原油,均为 B 洼中央烃源岩供烃,原油以轻质油为主,三芳甾烷揭示本区原油主要为咸水湖相环境形成原油。

2) 涠西南凹陷流沙港组二段、三段、角尾组和石炭系地层均属于同一类原油,通过全烃分析正构烷烃分布特征,建立适合本地区的运移分馏指数,通过运移分馏指数和饱芳比等参数得出,南部斜坡带侧向上表现出 WB 构造原油运移到 WC 构造的指向特征,通过含氮化合物分析得出,南部斜坡带垂向上运移趋势明显,具有明显的沿断裂带从深部向浅部运移的特征。

3) 流沙港组二段、流沙港组三段圈闭的运移方式则以侧向为主,凹陷深部生成的油气主要通过斜坡上发育的流沙港组二段大型三角洲储集体向高部位运聚形成油气藏。垂向上能将烃源层与多个目的层联系起来的有效输导体系是断裂,这些断裂中的部分也是油气垂向运移的有效通道。涠西南 B 洼生成油气在砂体的横向输导下由凹陷中央向 WB、WC 运聚成藏,位于凹陷上方的浅层圈闭,主要通过断裂的长期活动,从底部到浅层运聚成藏。

参考文献:

- [1] LEON I. P. 著,刘明先译. 台湾省海上 K 油田原油和凝析油的地球化学研究——运移分馏作用研究实例[J]. 海上油气译丛, 1994, 1: 54—81.
LEON I. P. Written, Translated by Liu Mingxian. Geochemical study of crude oil and condensate in offshore K Oilfield, Taiwan Province; a case study of migration fractionation [J]. Offshore Oil and Gas Translation, 1994, 1: 54—81. (In Chinese)
- [2] PETERSEN H I, ANDSBJERG J, BOJESEN-KOEFOD J A, et al. Coal-generated oil: Source rock evaluation and petroleum geochemistry of the lulita oil-field, Danish north sea[J]. Journal of Petroleum Geology, 2000, 23(1): 55—90.
- [3] 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—93.
WANG T G, LI S M, ZHANG A Y, et al. A discussion on petroleum migration in the Lunnan oilfield of Xinjiang based on nitrogen compounds[J]. Acta Geologica Sinica, 2000, 74(1): 85—93. (In Chinese)
- [4] 侯读杰, 张敏, 赵红静, 等. 油藏及开发地球化学导论[M]. 北京:石油工业出版社, 2001.
HOU D J, ZHANG M, ZHAO H J, et al. Introduction to reservoir and production geochemistry[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001. (In Chinese)
- [5] 黄海平, 张水昌, 苏爱国. 油气运移聚集过程中的地球化学作用[J]. 石油实验地质, 2001, 23(3): 278—284.
HUANG H P, ZHANG S C, SU A G. Geochemical processes in petroleum migration and accumulation [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2001, 23(3): 278—284. (In Chinese)
- [6] 王培荣, 徐冠军, 张大江, 等. 烃源岩与原油中轻馏分烃的对比: 以胜利油田东营、沾化凹陷为例[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(1): 1—10.
WANG P R, XU G J, ZHANG D J, et al. Correlation of light hydrocarbons between source rock and crude oil: An example from Dongying and Zhanhua depressions of Shengli Oilfield [J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(1): 1—10. (In Chinese)
- [7] 潘贤庄. 北部湾盆原油中的生物标志物及其地质——地球化学意义[J]. 沉积学报, 1997, 15(2): 202—206.
PAN X Z. Biomarkers and its geological-geochemical significance in crude oils from Beibu gulf basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15(2): 202—206. (In Chinese)

- [8] 包建平,刘玉瑞,朱翠山,等. 北部湾盆地迈陈凹陷徐闻 X1 井油气地球化学特征[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(3): 300—304.
BAO J P, LIU Y R, ZHU C S, et al. The geochemical properties of natural gas and crude oil from Xuwen x1 well, Maichen Sag, Beibuwan Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2006, 17(3): 300—304. (In Chinese)
- [9] 孔祥星. 准噶尔盆地南缘西部山前断褶带油源分析[J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(4): 413—418.
KONG X X. Oil source of foothill fault-fold structural belt in western part of the southern margin, Junggar Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2007, 34(4): 413—418. (In Chinese)
- [10] 何家雄, 刘海龄, 姚永坚, 等. 南海北部边缘盆地油气地质及资源前景[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008.
HE J X, LIU H L, YAO Y J, et al. The petroleum geology and resource potential in the marginal basin of northern south china sea[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008. (In Chinese)
- [11] 苏永进, 唐跃刚, 石胜群, 等. 北部湾盆地迈陈凹陷东部地区油气成藏特征[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(2): 210—214.
SU Y J, TANG Y G, SHI S Q, et al. Characteristics of hydrocarbon pooling in the east of the Maichen Sag of the Beibu Gulf Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(2): 210—214. (In Chinese)
- [12] 孟仟祥, 张松林, 崔明中, 等. 不同沉积环境湖相低熟原油的芳烃分布特征[J]. 沉积学报, 1998, 17(1): 112—120.
MENG Q X, ZHANG S L, CUI M Z, et al. Distribution features of aromatics in lacustrine low-mature crude oils from different environments[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1998, 17(1): 112—120. (In Chinese)
- [13] 李明诚. 石油与天然气运移[M]. 北京: 石油工业出版社, 1987.
LI M C. Oil and gas migration[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1987. (In Chinese)
- [14] 刘震, 谭卓, 蔡东升, 等. 北部湾盆地涪西南凹陷流沙港组岩性圈闭形成条件[J]. 现代地质, 2008, 22(2): 239—246.
LIU Z, TAN Z, CAI D S, et al. Analysis on forming conditions of lithologic trap in Liushagang Formation, Weixinan depression of BBW basin[J]. Geoscience, 2008, 22(2): 239—246. (In Chinese)
- [15] LARTER S R, BOWLER B F J, LI M, et al. Molecular indicators of secondary oil migration distances[J]. Nature, 1996, 383: 593—597.
- [16] JIN Z J, CAO J, HU W X, et al. Episodic petroleum fluid migration in fault zones of the northwestern Junggar Basin (Northwest China): Evidence from hydrocarbon-bearing zoned calcite cement[J]. AAPG Bulletin, 2008, 92(9): 1225—1243.
- [17] CURIALE J A, BROMLEY B W. Migration induced compositional changes in oils and condensates of a single field[J]. Organic Geochemistry, 1996, 24(12): 1097—1113.
- [18] 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.
- [19] 王震亮, 刘林玉, 于轶星, 等. 松辽盆地南部腰英台地区青山口组油气运移、成藏机理[J]. 地质学报, 2007, 81(3): 419—427.
WANG Z L, LIU L Y, YU Y X, et al. The mechanisms on hydrocarbon migration and accumulation in qingshankou formation from Yaoyingtai area, southern Songliao Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81(3): 419—427. (In Chinese)
- [20] 陈冬霞, 庞雄奇, 姜振学, 等. 中国东部陆相盆地隐蔽油气藏成藏机理与模式[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(2): 178—183.
CHEN D X, PANG X Q, JIANG Z X, et al. Formation mechanism and model of subtle traps in continental basins of East China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(2): 178—183. (In Chinese)
- [21] THOMPSON K F M. Fractionated aromatic petroleums and the generation of gas-condensates[J]. Organic Geochemistry, 1987, 11(6): 573—590.
- [22] 严刚, 徐耀辉, 刘保磊, 等. 烷基二苯并噻吩类化合物的运移示踪: 基于驱替实验和分子模拟的研究[J]. 石油与天然气地质, 2023, 44(2): 510—520.
YAN G, XU Y H, LIU B L, et al. Tracer analysis of alkyl dibenzothiophenes migration based on displacement experiment and molecular simulation[J]. Oil & Gas Geology, 2023, 44(2): 510—520. (In Chinese)

Geochemical effects of hydrocarbon migration and characteristics of accumulation in the south slope of the Weixinan depression

LU Mei^{1,2,3}, ZHANG Yaoyuan^{1,2,3}, CUI Shuheng^{1,3},
HUANG Xiangsheng^{1,2,3}, YAN Zhuoyu^{1,3}, HUANG Heting^{1,3}

(1. CNOOC EnerTech-Drilling & Production Co. CNOOC Central Laboratory, Zhanjiang 524057, China;

2. CNOOC EnerTech-Drilling & Production Co. CNOOC Central Laboratory, Chengmai 571900, China;

3. Guangdong Province offshore High temperature and high pressure oil and gas reservoir exploration and development enterprise key laboratory, Zhanjiang 524057, China)

Abstract: Weixinan depression is a rich hydrocarbon generation sub-sag; oil and gas reservoirs have been found in the Jiaowei Formation, Weizhou Formation, Liushagang Formation, and Carboniferous strata. The relationship between the oil and the geochemical characteristics of crude oil is identified by comparing them. Based on similar maturity of crude oil in this region, adopt the migration fractionation effect means for oil and gas migration direction specified Through the alkanes distribution of whole hydrocarbon chromatogram to establish a suitable migration fractionation index, to use the characteristics of DST test oil physical property and composition to analysis of the migration path. By alkyl benzothiophene and nitrogen compounds migration differentiation phenomenon in the migration process to prove oil and gas lateral migration and vertical migration. Considering spatial superimposed relationship of transportation systems in this region, analysis of the characteristics of crude oil transported accumulation pattern in this area. Studies have shown that oil and gas generated from the central hydrocarbon source through faults unconformity surface transportation systems shipped to shallow and high formation reservoirs in the south slope belt.

Keywords: the south slope of Weixinan depression; migration; geochemical characteristics; accumulation characteristics