

渤海湾盆地八面河地区油气运聚与成藏特征分析*

庞雄奇^{①②} 李素梅^{①②} 金之钧^③ 黎茂稳^④ 李丕龙^⑤ 李 雪^⑤

(①石油大学石油天然气成藏机理教育部重点实验室, 北京 102249; ②石油大学盆地与油藏研究中心, 北京 102249;
③中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083; ④加拿大地质调查局卡尔加里分部; ⑤胜利石油管理局, 东营 257015)

摘要 采用地质与地球化学原理与方法对渤海湾盆地八面河油气区进行系统测试和分析, 定量估算该油田的油源分配, 提出了相应的运移通道和成藏机理. 研究表明, 虽然八面河油田附近埋藏较浅的沙四段烃源岩提供的“未熟-低熟油”在八面河地区原油中占一定的比例, 但这些原油的主体应来自相邻的生油洼陷——牛庄和广利洼陷内埋深超过 2700 m 的沙四段成熟烃源岩. 定量计算表明, 八面河地区未熟-低熟油的含量不超过 20%, 其余为正常原油. 来自生烃洼陷的油气的运移受断层、砂体运载层等优势通道共同控制, 八面河油田只是运移优势通道的指向之一. 新提出的原油来源与运聚模式已为近期油气勘探实践所证实.

关键词 八面河油田 定量地球化学计算 混源 油源对比 油气运移 成藏动力学

1 研究现状与存在的问题

叠合盆地多期构造演化、多期成烃与成藏特征使陆相盆地原本复杂的油气成藏过程进一步复杂化. 源岩的生烃过程可以贯穿自成岩作用的全部地质过程^[1]. 相同成因烃源岩在不同演化阶段及不同成因多套烃源岩所生成的烃类的性质是有区别的^[2]. 由于烃类的流动性及构造运动的复杂与多期性, 往往造成多源烃类的混合聚集. 我国东部苏北-南黄海盆地金湖凹陷、渤海湾盆地牛庄洼陷南斜坡、辽河盆地西部坳陷冷东-雷家构造的低熟油均既有未熟、低熟特征也有成熟油特征^[2~5]. 目前, 国内外一些学者相继从地质或地球化学角度对未熟-低熟油提出新的看法,

认为尽管早期生烃是一种客观事实, 但许多地区原来所认定的未熟-低熟油中有相当量来自深部^[2~10], 如苏北盆地金湖凹陷^[2,3]、渤海湾盆地牛庄洼陷南斜坡^[4~6]、加拿大波沸特-马更些盆地(Snowdon 等, 2003, 私人通讯)等. 而浅部未熟、低熟油即便能单独聚集成藏, 其资源量往往也极低, 如犹他盆地^[10]. 因而, 多源油藏油源的识别、混源油气相对贡献定量计算以及不同层次油藏差异性聚集机理已成为叠合盆地油气成因与成藏机理研究的重要内容, 也是目前国际上的热点与难点问题. 我们近年在开展八面河油田未熟-低熟油气来源与成藏过程的研究中, 发现有效的定量有机地化方法在混源油气分析及成藏过程追踪中具有明显的成效^[11,12], 其与地质分析方法的结合对

2003-10-17 收稿, 2004-04-27 收修改稿

* 国家重大基础研究发展规划项目(编号 G199943310)资助

于认识“未熟-低熟油”成藏的实质和过程、揭示叠合盆地油气的成因与成藏机理等均具有重要意义。

渤海湾盆地是一叠合型的裂谷盆地, 形成于晚侏罗系和早第三系。丰富的油气资源分布于包括东营凹陷在内的多个生油凹陷。位于东营凹陷牛庄洼陷南斜坡的八面河、王家岗和广利等在内的多个油田一直被认为是典型的未熟-低熟油田^[13,14], 牛庄洼陷南斜坡沙四段上亚段咸水相富藻类页岩被作为八面河油田的主力烃源岩, 可溶有机质生烃是未熟-低熟油主要的成烃机制^[13]。八面河油田位于牛庄洼陷南斜坡的东端, 已稳产石油近 20 年。至 2000 年底累计探明石油储量 1.0715 亿吨。八面河油田的油气来源及其成因机制长期以来受到国内外学者的关注, 近年来油气储量的实质性增长更使勘探家们感到惊奇, 该区已发现未熟-低熟油的资源量已远超过由其附近可能的未熟-低熟油源岩所能提供的油量。

该油田及其周围地区的勘探中存在的主要问题包括: 牛庄洼陷南斜坡未熟-低熟烃源岩何以能提供八面河油田已探明的亿吨级的石油储量? 原油的形成、运移与聚集的地质条件如何?

为探究上述问题, 笔者曾从有机地球化学(采用

生物标志物定量、层位标定化合物进行原油、烃源岩特性与混源定量研究)、地质(生烃潜力指数法与盆地模拟法计算油气资源、优势通道识别)、地质与地球化学结合途径(油气来源定量计算)对该油田的原油特征、油源对比、油源分配、运移通道和成藏机理等进行了较为系统的研究, 获得了一些新的认识^[4,5,11,12,15]。本文在对先前工作和认识的基础上进一步系统总结、全面分析, 力图对八面河油田的形成过程进行客观的评价。

2 研究的思路与方法技术

本研究基本思路是: 采用各种可能的途径揭示八面河地区油气的来源与成藏特征, 包括(i)有机地球化学与地质相结合确认油气来源;(ii)地球化学、地质-地球化学结合计算混源油气相对贡献;(iii)油气运移路径追踪及运聚条件分析揭示油气来源与成藏模式;(iv)生烃潜力指数法估算未熟-低熟与成熟油气资源量。

先前各次工作中采集样品的位置如图 1 所示, 样品处理、分析及结果等详细情况可参见有关文献[5,6]。

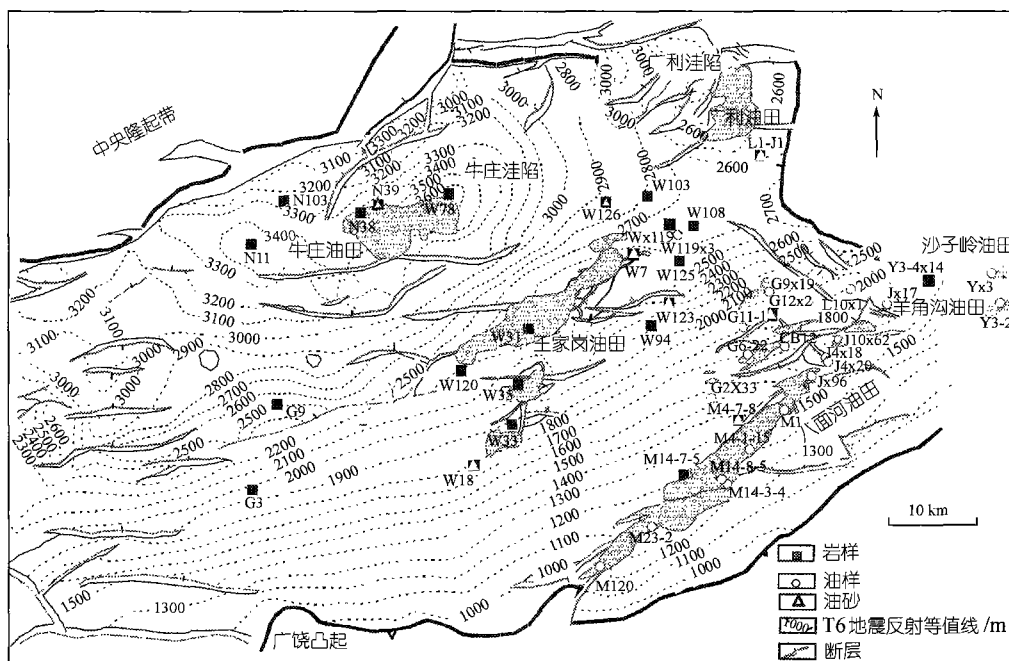


图 1 样品分布图

3 原油特征与成因

八面河地区原油成因类型大体相同, 具有陆相咸水湖盆原油普遍具有的特征^[4,13]. 概括而言, 主要包括 (i) 类异戊二烯烃类中植烷优势明显($Pr/Ph < 1$), 反映母源还原性原始沉积环境; (ii) 甾烷异构化程度较低, 以“生物构型”的 C_{27} , C_{28} , $C_{29}\alpha\alpha\alpha R$ 构型为主; (iii) 含有丰富的 γ -蜡烷(γ -蜡烷/ C_{30} 藿烷值为 0.67~1.03), 指示母源岩咸化的水体和/或水体分层; (iv) 部分原油有高碳位藿烷“翘尾”现象(C_{35}/C_{34} 藿烷 >1); (v) 可检测 $\beta\alpha$ -粪甾烷、脱羟基维生素 E、 β -胡萝卜烷等热稳定性低化合物. 依据 Hughes 等的分类^[16], 八面河地区原油为咸化湖-盐湖相原油.

八面河油田原油被定性为未熟-低熟油的主要依据包括^[13,14]: (i) 在物性上, 原油密度(0.9280~0.9611 g/cm³)、粘度(247~2249 mPa·s)偏高、粘固点低、含硫量高; (ii) 在族组分分布上, 原油饱和烃含量低, 芳烃和非烃含量高; (iii) 在特征性生物标志物分布上, 原油具有明显的植烷优势(低 Pr/Ph 值); 富含 γ -蜡烷; 部分原油升藿烷有翘尾现象(C_{35}/C_{34} 藿烷 >1); 异构烷烃、环烷烃丰富; (iv) 从成熟度角度, 甾烷异构化参数值偏低; 原油中检测出多种热稳定性低的生物标志物, 如 $5\beta(H)$ -粪甾烷、胡萝卜烷系列、脱羟基维生素 E 系列等特征^[4,5].

然而, 八面河地区原油中成熟油的特征也很明显^[4,17]: (i) 在物性上, 八面河地区原油密度偏高、油质偏重并非未熟-低熟油的充分条件, 有多种影响原油物性的因素, 除成因机制外, 还有后期次生改造作用. (ii) 八面河地区部分原油有明显的遭水洗和生物降解迹象, 特别是处于构造高部位原油, 不少原油中正构烷烃等轻质组分已经亏空, 原油中生物降解标志物(-25-降藿烷)的检出进一步证实次生改造作用曾经发生. (iii) 该区原油物性在不同层位、不同部位表现出明显的差异, 只能说明不同时期、不同部位油藏遭受不同程度的水洗-生物降解等破坏作用. (iv) 原油的低饱芳比、高非沥比特征与生物降解及水洗作用不无关系. (v) 原油的 C_{29} 甾烷 $\alpha\beta\beta$ -20S/(20S+20R)、 $\alpha\beta\beta/(\alpha\alpha\alpha + \alpha\beta\beta)$ 确实未达平衡终点(0.5 及

0.55), 但绝大多数原油 C_{29} 甾烷 $\alpha\alpha\alpha$ 20S/(S+R)值 >0.3 , 部分达到 0.4 以上, 即使不考虑混合作用可导致甾烷异构化参数值大幅度降低的事实^[5,6,17], 按照有关标准¹⁾, 该区原油仍可划归正常油范畴. (vi) 原油 CPI, OEP 值接近 1, $n-C_{21+22}/n-C_{28+2}$ 值 >1 , C_{31} 藿烷值 22S/(S+R)达平衡值、非降解油的石蜡指数值落于常规油范畴等特征, 均指示原油的成熟性. (vii) 至于原油中热稳定性低化合物的检出, 很难掩盖其主体的成熟性. 绝对定量结果显示, 原油中某些热稳定性化合物含量甚微^[17].

总之, 原油烃类组成与分布特征揭示, 八面河地区原油为咸化湖相成因, 既有未熟-低熟特征, 也有成熟油特征, 且后者更为明显^[5], 表明八面河地区原油的形成仍应以干酪根降解为主.

4 油源对比

对八面河地区原油特征的分析结果的新认识促使我们对其各种可能的油源进行更深入的研究.

4.1 生物标志物绝对定量对比——油源对比定量研究

标样定量分析表明, 相同成因、不同成熟度原油、烃源岩可溶物中甾萜类化合物绝对丰度差异悬殊^[5]. 咸水相成因的沙四段泥岩与页岩中甾类化合物的丰度高于淡水相成因的沙三段烃源岩. 甾类化合物是随成熟度变化浓度差异最为明显的化合物之一, 随着成熟度的增加, 研究区烃源岩中 $\alpha\alpha\alpha$ -生物构型甾烷丰度显著降低(图 2(a))、 $\alpha\beta\beta$ -地质构型甾烷丰度显著增加(图 2(b), (c)), 甾类化合物总丰度也急剧降低. 埋深小于 2700 m 烃源岩特别是沙四段烃源岩中, $\alpha\beta\beta$ 20(R, S)-地质构型生物标志物几乎缺失, 但原油中此类化合物相对较为丰富, 指示原油的深部来源(图 2(b)). 相对于未熟-低熟烃源岩, 八面河地区原油中某些热稳定性低的化合物如 $5\beta(H)$ -粪甾烷丰度极低, 反映未熟-低熟烃源岩并非主力烃源岩. 实验与定量计算表明, 正常原油中混入少量未熟-低熟烃后 C_{29} 甾烷 $\alpha\alpha\alpha$ S/(S+R)值会大幅度降低^[2,4,6], 从而掩盖了主体原油的真实成熟度.

1) 黄第藩, 等. 中国未熟-低熟石油成因机制、成藏条件与资源预测. “九五”重大应用基础科研项目报告. 1999

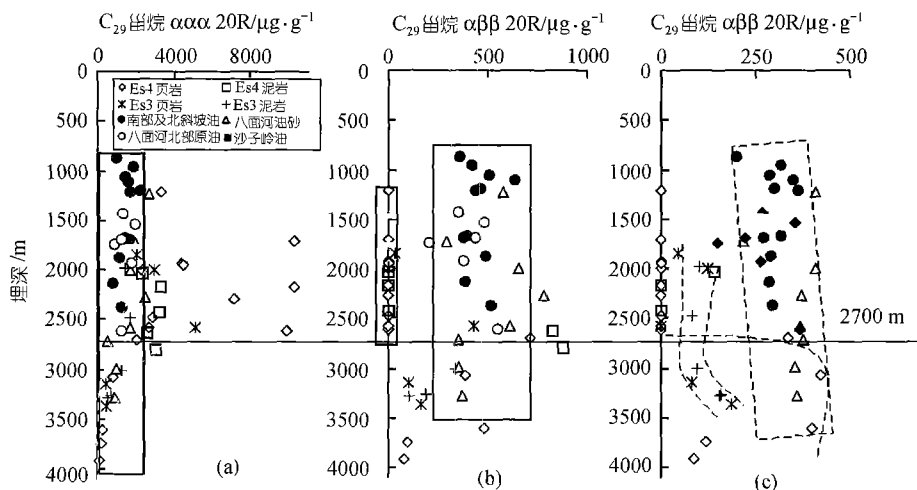


图2 原油、烃源岩中甾类单体化合物浓度差异指示原油深部来源

甾类单体化合物的丰度随成熟度及烃源岩类型而异,咸水相沙四段烃源岩可溶物中甾类单体化合物的丰度高于淡水相沙三段烃源岩;原油与>2700 m 沙四段烃源岩具有较好的相关性

4.2 特殊层位标定化合物——有效油源追踪标志物

4-甲基甾烷为甾类化合物的重要组成部分, C_{30} 4-甲基甾烷(包括甲藻甾烷)及衍生物主要来自甲藻^[18],在咸化或淡水湖相以及晚三叠纪以来的海相环境中均有检测。八面河地区原油、烃源岩中检测到丰富的4-甲基甾烷(图3)^[19],对比发现,埋深小于2700 m的沙四段页岩中含有丰富的甲藻甾烷,超过2700 m后甲藻甾烷缺失或痕量分布;处于正常油窗内的沙四段泥岩不含甲藻甾烷或含量甚微(图3)。在 m/z 231 质量色谱图中,沙四段烃源岩的 C_{27} , C_{28} 和 C_{29} 4 α - $\alpha\alpha\alpha$ -甾烷相对丰度依次增加,呈“线型”分布。沙三段泥岩中基本未检测到甲藻甾烷,并且 C_{27} , C_{28} 和 C_{29} 4 α - $\alpha\alpha\alpha$ -甾烷呈“V”字型;沙三段未熟-低熟页岩具有类似于沙四上亚段未熟-低熟页岩的特征(图3)。以上分析表明,八面河地区烃源岩中4-甲基甾烷具有层位标定意义^[19],其分布特征与其特定的沉积环境及与之相关的生物属种有关。八面河地区原油中甲藻甾烷很不发育, C_{27} , C_{28} 和 C_{29} 4 α - $\alpha\alpha\alpha$ -甾烷相对丰度依次增加,呈线型分布。依据(i)甲藻甾烷出现与否及其丰度的高低;(ii) C_{27-29} 4 α -甲基甾烷的相对分布,可确认八面河地区埋深超过2700 m的正常油

窗内的沙四上亚段烃源岩为八面河等油田的主力烃源岩。

4.3 多参数配对对比

八面河油田原油甾烷异构体参数尽管未达到异构化终点值,但仍然高于埋深小于2700 m的沙四段未熟-低熟页岩,后者 C_{29} 甾烷 $\alpha\alpha 20S/(S+R)$ 值为0.08~0.20,而前者为0.31~0.44(图4(a)),如此悬殊的差异很难用因生物降解或油气运移等而发生的变化来解释。其它成熟度参数或与之相关的参数,如CPI, OEP, 13 α (H)14 α (H)/13 β 14 α (H)-三环萜烷(图4(b))、 C_{31} 藿烷 22S/(S+R)(图4(c))、 C_{30} 莫烷/藿烷、Ts/Tm 都显示原油与浅层烃源岩成熟度方面明显的差异,而与深层烃源岩相近。反映沉积环境的指标 Pr/Ph、 γ -蜡烷/ C_{30} 藿烷等也显示油气的深部来源。原油、沙四段烃源岩都具有低 Pr/Ph 值特征,而沙三段烃源岩对应值相对较高。原油中 γ -蜡烷含量高于沙三段泥岩,但低于沙四段未熟-低熟烃源岩特别是页岩,与沙四段深层烃源岩表现出较好的相关性。

5 油气来源定量研究

八面河地区原油既有未熟-低熟特征也有成熟特征,作者利用油气自身的化学组成特点来估算混源

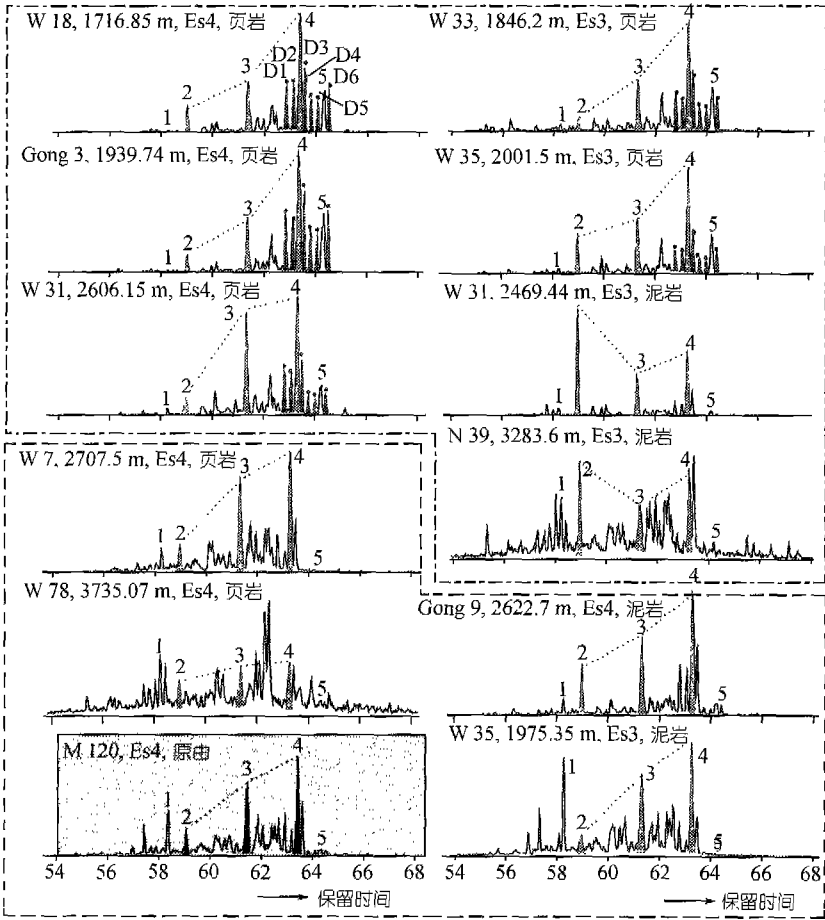


图 3 层位标定化合物应用于油源对比(m/z_{231} 质量色谱图)

1 示未定性化合物; 2, 3, 4 分别为 C_{28} , C_{29} 和 $C_{30}4\alpha$ -甲基- $\alpha\alpha\alpha$ -20R 甾烷; 5 示 $C_{30}4\beta$ -甲基- $\alpha\alpha\alpha$ -20R 甾烷

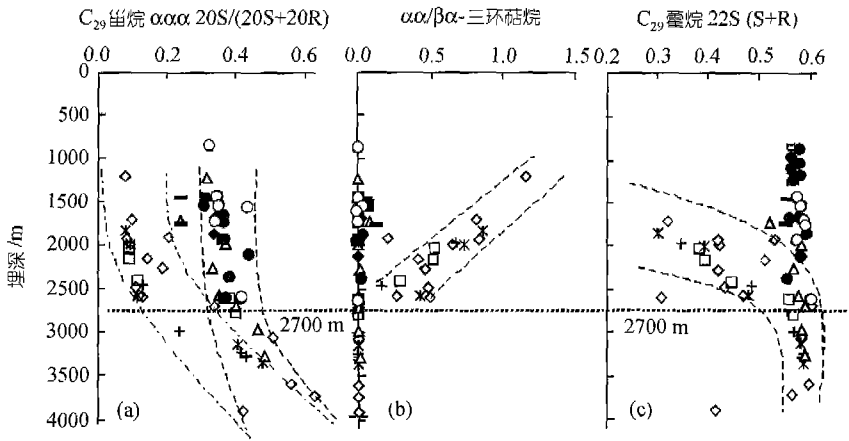


图 4 八面河地区原油、烃源岩成熟度对比(图例同图 2)

油气的相对贡献^[12]。分别采用地球化学、地球化学-地质结合途径估算牛庄洼陷南斜坡未熟-低熟烃源岩(<2700 m)(构造单元II)特别是沙四段页岩、牛庄洼陷正常油窗内(构造单元III)所形成原油在八面河油田(构造单元I)的贡献量。

5.1 有机地球化学途径

选用在原油及烃源岩中含量较高、性质相对稳定且与成熟度(或埋深)有较好相关性的甾类化合物作为定量计算指标,通过检测研究区未熟-低熟油、正常油及混合油中这些指标或参数的大小,估算不同成熟度原油混合的比例。定量计算方法^[12,20]:将斜坡带高、低部位烃源岩所形成的未熟-低熟油,分别与一定成熟度范围成熟油相混合,建立混合油中选定指标大小与混合比例的关系式,进一步制成混合图版。用该方法计算原油混合比例的公式如下:

$$m = [K(S_{OS} + S_{OR}) - S_{OS}] / [S_{IS} - S_{OS}] + K(S_{OS} + S_{OR} - S_{IS} - S_{IR}) \cdot 100\%, \quad (1)$$

$$S_{\text{混合油}} = S_{\text{成熟油}} \cdot (1-m) + S_{\text{未熟-低熟油}} \cdot m, \quad (2)$$

其中 S_{OS} , S_{OR} 分别代表成熟油中 $C_{29}\alpha\alpha\alpha$ 甾烷 20S, 20R 构型的绝对丰度; S_{IS} , S_{IR} 分别代表未熟-低熟油(烃)中的 $C_{29}\alpha\alpha\alpha$ 甾烷 20S, 20R 构型的绝对丰度,以 K 代表混合油的 $C_{29}\alpha\alpha\alpha$ 甾烷 $S/(S+R)$ 值,以 m 代表混入的未熟-低熟油(烃)的百分含量;而 $S_{\text{混合油}}$ 、 $S_{\text{成熟油}}$ 、 $S_{\text{未熟-低熟油}}$ 分别为混合油、成熟油、未熟-低熟油中生物标志物的浓度。

选用生物标志物 $C_{27}+C_{28}+C_{29}$ 甾烷 $\alpha\alpha\alpha$ 20R 的浓度作为指定参数,利用公式(1), (2), 可建立如图 5 所示的混合定量图版,将八面河油田原油投入图版,可获得原油混合的比例。图 5 显示八面河地区未熟-低熟油混合量<10%。

5.2 地质与地球化学结合途径

地质与地球化学结合途径^[12]可将斜坡带、深洼陷连续成熟度范围内烃源岩所生总油气量与原油中正构烷烃与 $C_{27}+C_{28}+C_{29}$ 甾烷 $\alpha\alpha\alpha$ 20R 绝对浓度变化特征相结合,建立起混合油正构烷烃与 $C_{27}+C_{28}+C_{29}$ 甾烷 $\alpha\alpha\alpha$ 20R 绝对浓度与混合比例关系的关系式与模版。该方法必须与地质盆模相结合,用积分的方法,首先获取连续成熟度范围的烃源岩所排出的烃量。根据排烃曲线及诸如有机碳、暗色烃源岩厚度、烃源岩随埋深变化曲线等基础资料,利用 Surfer 软件可直接进行烃源岩排烃量计算。其次,建立烃源岩可溶物中正构烷烃与 $C_{27}+C_{28}+C_{29}$ 甾烷 $\alpha\alpha\alpha$ 20R 绝对浓度与埋深的关系;最后建立混合油中正构烷烃与 $C_{27}+C_{28}+C_{29}$ 甾烷 $\alpha\alpha\alpha$ 20R 绝对浓度与未熟-低熟油混合定量关系及关系图版。需说明的是,由于八面河油田原油遭受一定程度的次生变化作用,原油中正构烷烃的实际丰度需进行校正^[12]。

有关计算公式如下:

$$Q_{\text{排烃}} = \int q_e(Z) H \cdot s \cdot \rho(Z) \cdot \text{TOC},$$

$$Q_{\text{生标}} = \int q_e(Z) H \cdot s \cdot \rho(Z) \cdot \text{TOC} \cdot y(Z),$$

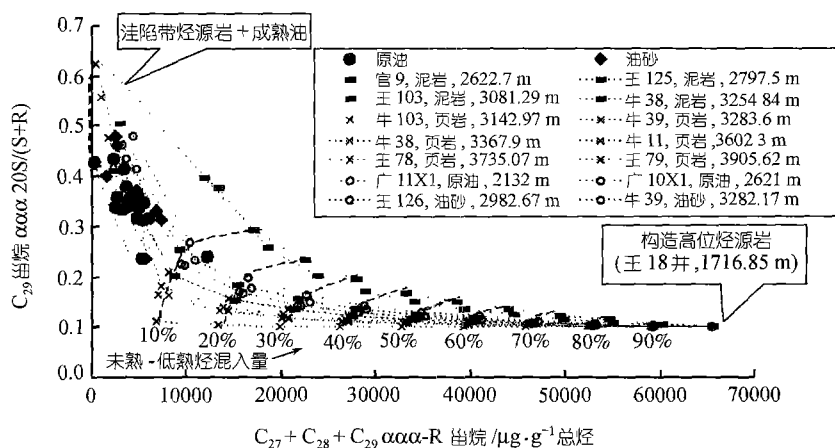


图 5 有机地球化学简单混合定量图版与未熟-低熟油混合比例

其中, $Q_{\text{排烃}}$ ——排烃量(mg); $Q_{\text{生标}}$ ——生物标志物量(mg); $q_e(Z)$ ——排烃强度; $\rho(Z)$ ——烃源岩密度随深度(或成熟度)的变化曲线; $y(Z)$ ——生物标志物浓度随埋深(或成熟度)变化曲线; TOC ——有机碳; H ——有效烃源岩厚度; S ——有效烃源岩展布面积。

定量计算结果及关系图版显示: 以正构烷烃为定量指标时, 八面河地区未熟-低熟油的含量约为 2%~17%(图 6(a)); 以甾类化合物为指标时, 计算得出的未熟-低熟油混合量约为 0.3%~19.6%(图 6(b))。

6 油气运聚模式

分析牛庄洼陷及其斜坡带油气的分布规律, 发现其明显受控于由构造、沉积所决定的多种油气优势运移通道。首先, 该区发育两条深大断裂, 即王家岗、八面河断裂带, 油气在这两条断裂带处最为富集, 分别形成了两大重要油田, 其中, 王家岗断层为倾向断层, 切穿第三系两套有利烃源岩——沙三与沙四段, 为生油区油气的垂向运移提供了重要的通道, 成为油气运移与聚集的有利场所。八面河断层为反倾基底断层, 至下第三系孔店组解体, 其对下第三系鼻状带的形成、断裂的组合、上升盘潜山带的形成和油气聚集起到了重要的控制作用。该断层之上发育的一系列次级盖层断裂显然已经成为油气垂向运移的重要通道。利用含氮化合物, 观察到面 14、面 4、角 4 及广北 6 块显著的垂向运移分馏效应^[15], 证实断层是油气运移的重要通道。

其次, 牛庄洼陷南斜坡发育以鲁东、鲁西隆起为物源区的多套砂体运载层, 部分砂组可成为连接烃

源岩与圈闭的有利通道, 如沙四段第 2, 4 砂组穿越南斜坡-八面河主断裂带-北斜坡-王家岗, 并可能下延。含氮化合物运移分馏效应揭示其与八面河主断裂带的交汇点为八面河油田的主要注入点^[15], 表明该区广泛发育的砂体运载层为油气运移的重要通道之一。含氮化合物还反映王家岗油田→北斜坡→八面河油田主断裂带→南斜坡间明显的油气运移分馏效应, 指示油气的深源贡献, 充足的油源不仅满足了向主断裂带附近圈闭灌注的需要, 还继续运移到南斜坡。

八面河地区发育多个地层不整合面, 如 Ng~Es₁, Es₂~Es₃, Es₃~Es₄, Es₄~Ek, Ek~Mz 等, 作为油气运移通道, 运移效率可因不整合面而异。钻井与录井资料显示, 王家岗一带沙三段与沙四段间的沉积界面处砂体不太发育; 八面河地区, 某些井的沙三与沙四段间的不整合面处砂体也不太发育, 如面 124、面 136-X1 井等, 其作为油气运移通道可能并不十分有利。近期在王家岗地区孔店组、奥陶系潜山中发现了高产油气, 预测沙四段-孔店组、孔店组-古生界间的不整合面为油气的侧向运移发挥了重要作用。

八面河地区油气的分布规律、油气运移输导体系、含氮化合物纵向与侧向运移分馏效应的分析表明, 以深部大断裂、不整合面以及局部砂岩运载层与油源区沟通、以盖层断裂与砂体运载层为主要运移通道形成以断块、断鼻以及复合型为主的油藏类型为八面河地区主要的油气运聚模式(图 7), 八面河地区的油气运移受多种优势通道(如有利砂层、断裂等)立体组合控制。

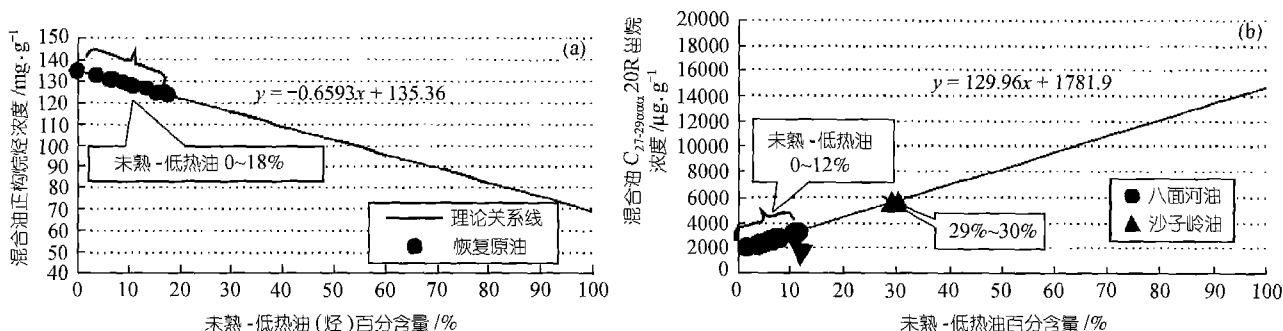


图 6 混合定量图版与未熟-低熟油混合比例

(a) 正构烷烃; (b) 甾类参数

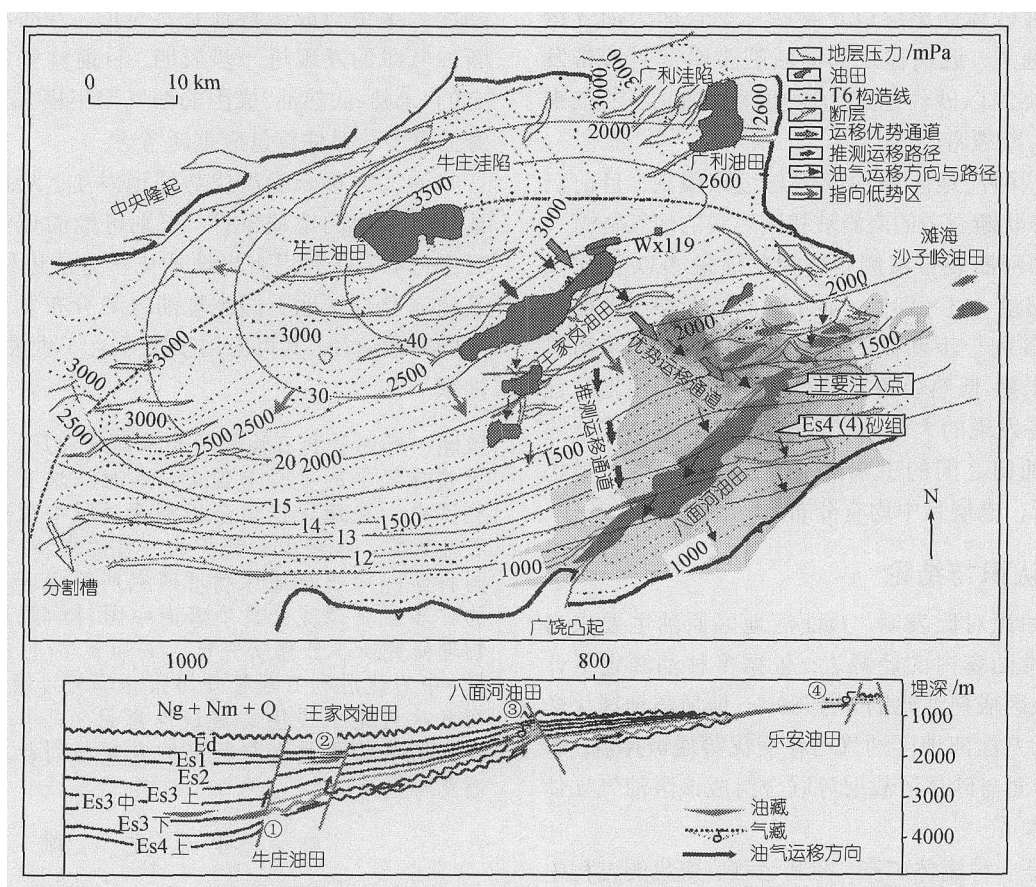


图7 八面河地区油气运聚模式

7 讨论

利用具有层位标定意义的生物标志物(甲藻甾烷等)、采用生标绝对定量技术,结合传统的油源对比方法等的综合研究表明,八面河油田的油气主要应来自牛庄洼陷(及其斜坡)含油气系统中部(>2700 m)沙四段烃源岩,具有运移距离相对较远、围生油洼陷呈“环带”分布的规律。八面河油田原油所具有的未熟-低熟特征系少量未熟-低熟油的贡献,不同成熟度烃源岩与原油甾烷类生物标志物具有显著的浓度差异,其导致混合油“视成熟度”降低。近期笔者对牛庄洼陷南斜坡另一重要含油气区——王家岗油田的调查结果进一步验证了研究区不同成熟度油气具有时空分布的在有序性前提下的混源聚集特征,王家岗油田原油成熟度相对高于八面河,该油田更接近生

油中心——牛庄洼陷。关于混源油气特征及混源油气油源识别的研究工作仍有待进一步深入。

有机地球化学及地球化学-地质结合途径的混源相对贡献定量计算结果揭示,八面河地区成熟油含量>80%,未熟-低熟油含量相对较低。混源定量计算结果为油源评价、资源量预测提供了理论依据。然而,油藏中不同油源油气的相对贡献的研究仍相当薄弱,必须建立在深入的地质背景调查与详细的有机地球化学分析测试基础上,对于多套烃源岩同时供油的情形将更为复杂,相关的研究有待加强。值得提出的是,最近王家岗地区的油气勘探揭示,牛庄洼陷南斜坡存在成熟度更高的油气,为研究区的油气主要来自深部成熟烃源岩提供了确凿证据。

油气分布规律及地质条件调查充分说明,八面河油气的运聚受优势通道控制。基底与盖层断裂、局

部与区域性砂体储集层以及某些不整合面为油气运移的主要通道. 近期在八面河断裂带南部斜坡带发现的油气推测以砂体储层为主要运移通道, 油气来自八面河主断裂带.

按照八面河地区原油成因与运聚模式, 目前已在八面河鼻状断裂带的南斜坡找到可观的油气资源¹⁾. 其中, 八面河断裂带南侧新增控制储量 937×10^4 t, 新增预测储量 463×10^4 t, 显示南斜坡及整个八面河地区仍具备进一步勘探的油气潜能. 牛庄洼陷南斜坡有限的未熟-低熟烃源岩不可能提供八面河地区已发现及有待发现的大量油气资源. 此外, 在牛庄洼陷与八面河油田之间的王家岗地区, 近年油气储量仍在增长, 新、老层系中均有分布.

8 主要认识与结论

精细油源对比表明, 八面河地区原油主要来自沙四段正常油窗内的烃源岩; 依据多种油源定量计算结果, 该区成熟油比例大于 80%; 地质与地球化学研究显示, 八面河地区油气运移受优势通道控制, 断层、不整合面与砂体运载层等联合组成该区油气立体运移输导体系.

油气是一种流体矿产, 在其运移、聚集的过程中可以各种方式容纳接受不同来源的烃类. 甚至在成藏之后, 活动的地下流体仍可能以各种方式带来和带走不同的物质. 因而在油气运聚成藏过程中, 不同来源烃类流体的混合是绝对的, 但各自所占的量可能相差很大. 由于不同演化阶段烃源岩所生烃类浓度差异显著, 可导致混合油气化学组成与分布具有多面性, 给油源的识别带来一定的困难.

石油的成分十分复杂, 而目前选择出来的作为油源对比和运移示踪的地球化学指标却不多. 有些指标在某特定的成熟度范围或某些成因的油中有更为强烈的显示, 从而会造成对混合油气来源的误解, 利用多馏分、多参数及定性定量相结合等多方面的分析结果对油源进行定量的甄别应该成为必须的、基础的工作.

复合型盆地或类似盆地不同层次油藏的多源、多

期混合聚集与成藏特征是常见的. 八面河油田附近新油气藏的发现进一步表明, 目前一些盆地内已认定的“未熟-低熟油”成因的油气聚集模式及相应的资源估算方法及估算量应重新考虑.

油气运移一般沿优势通道发生, 从地质角度确认油气运聚的地质条件, 识别可能的优势通道及其时空分布, 并利用有机地球化学方法进行分子追踪, 是建立叠合盆地不同类型油气藏分布发育的时空模式的有效途径, 其可应用于指导油气勘探、寻找卫星油藏.

致谢 感谢胜利石油管理局清河采油厂、胜利油田各级领导给予的关心与帮助; 感谢江汉石油学院分析测试中心在地球化学分析测试过程中的鼎力协助及石油大学、盆地中心领导的一贯的支持. 特别感谢中国科学院地质与地球物理研究所罗晓容研究员提出的许多宝贵意见; 诚挚感谢中国科学院地质与地球物理研究所李任伟研究员、石油大学(北京)王铁冠教授、中石化胜利石油管理局张林晔教授级高级工程师在多次讨论中提供的建议性意见. 向本专题完成过程中所有给予关心与帮助的专家与同行表示深深的谢意与敬意.

参 考 文 献

- 1 黄第藩. 成烃理论的发展——(I)未熟油及有机质成烃演化模式. 地球科学进展, 1996, 11(4): 327~335
- 2 王文军, 宋宁, 姜乃煌, 等. 未熟油与成熟油的混源实验、混源理论图版及其应用. 石油勘探与开发, 1999, 26(4): 34~37
- 3 Pang Xiongqi, Li Maowen, Li Sumei, et al. Origin of crude oils in the Jintu Depression of North Jiangsu-South Yellow Sea Basin, eastern China. Organic geochemistry, 2003, 34(4): 553~573
- 4 庞雄彪, 李素梅, 黎茂稳, 等. 八面河地区“未熟-低熟油”成因探讨. 沉积学报, 2001, 4: 586~591
- 5 Pang Xiongqi, Li Maowen, Li Sumei, et al. Geochemistry of petroleum systems in the Niuzhuang South Slope of Bohai Bay Basin. Part 2: evidence for significant contribution of mature source rocks to “immature oils” in the Baimianhe field Organic geochemistry, 2003, 34(7): 931~950
- 6 Li Sumei, Li Maowen, Pang Xiongqi, et al. Geochemistry of petroleum systems in the Niuzhuang South Slope of Bohai Bay Basin——part 1: source rock characterization. Organic geochemistry, 2003, 34(3): 389~412
- 7 陈安定. “未熟油”与“未熟生烃”异议. 地质论评, 1998, 44(5): 470~477

1) 黄烈林, 等. 八面河地区南斜坡勘探评价及部署. 胜利油田内部报告, 2002

- 8 Dixon J, Dietrich J R. Geology and petroleum potential of Upper Cretaceous and Tertiary strata, Beaufort-Mackenzie area, Northwest Canada. AAPG Bull. 1992a, 76(6): 927~947
- 9 Dixon J, Dietrich J R, Snowdon L R, et al. Hydrocarbons in the Canadian Beaufort-Mackenzie area. In: Tracy K V, et al, ed. International Conference on Arctic Margins. ICAM, Anchorage, 1992b. 14
- 10 Ruble T E, Lewan M D, Philp R P. New insights on the Green River petroleum system in the Uinta basin from hydrous pyrolysis experiments. AAPG Bulletin, 2001, 85(8): 1333~1371
- 11 Pang Xiongqi, Li Sumei, Jin Zhijun. Quantitative Assessment of Hydrocarbon Expulsion of Petroleum Systems in the Niuzhuang South Slope, Bohay Bay Basin, East China. Scientia Geologica Sinica, 2004, 78(3): 701~712
- 12 Li Sumei, Pang Xiongqi, Jin Zhijun. Application of Biomarkers in quantitative source assessment of oil pools. Scientia Geologica Sinica, 2004, 78(2): 701~708
- 13 张林晔, 张春荣. 低熟油生成机理及成油体系——以济阳坳陷牛庄洼陷南部斜坡为例. 北京: 地质出版社, 1999. 5~123
- 14 洪志华, 陈致林, 张春荣. 济阳坳陷低熟原油特征及成因. 沉积学报, 1997, 15(2): 89~94
- 15 Pang Xiongqi, Li Sumei, Li Maowen, et al. A discussion of petroleum migration in the Bamihe Oilfield of Dongying Depression, East China. Journal of China University of Geosciences, 2002, 13(4): 312~320
- 16 Hughes W B, Holba A G, Dzuo L I. The ratios of dibenzothiophene to phenanthrenes and pristane to phytane as indicators of depositional environment and lithology of petroleum source rocks. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1995, 59: 3581~3598
- 17 李素梅, 庞雄奇, 金之钧, 等. 济阳坳陷牛庄洼陷南斜坡原油成熟度浅析. 地质地球化学, 2002, 1: 50~56
- 18 Wolff G A, Lamb N A, Maxwell J R. The origin and fate of 4-methyl steroid hydrocarbons. I: Diagenesis of 4-methyl steranes. Geochim Cosmochim Acta, 1986, 50: 335~342
- 19 Li Sumei. Distribution and significance of methyl steranes in Bohai Bay Basin, east China. Journal of China University of Geosciences, 2002, 13(4): 321~329
- 20 Jiang C, Li M, Osadetz K G, et al. Bakken/Madison petroleum systems in the Canadian Williston Basin. Part 2: molecular markers diagnostic of Bakken and Lodgepole source rocks. Organic Geochemistry, 2001, 32: 1037~1054