

苏北盆地溱潼凹陷油气运聚模式

陆黄生¹⁾, 秦黎明²⁾, 刘军²⁾, 胡瑛³⁾, 方朝合⁴⁾, 杨永才²⁾, 张枝焕²⁾

1) 南京大学地球科学系, 南京, 210093;

2) 中国石油大学油气资源与探测国家重点实验室, 北京, 102249;

3) 中国石油勘探开发公司, 北京, 100034;

4) 中国石油勘探开发研究院廊坊分院, 河北廊坊, 065007

内容提要:通过对苏北盆地溱潼凹陷不同构造带部分具代表性油藏原油的饱和烃、芳烃生物标志物和吡咯类含氮化合物分布特征的分析, 结合油区构造研究和油源对比成果, 讨论了研究区油气的运移方向与运聚模式。结果表明, 研究区不同构造带原油中吡咯类含氮化合物分馏效应存在差别, 处于断阶带南侧的成熟原油运移效应明显, 来源于其西北侧的俞垛次凹始新统阜宁组二段烃源岩; 断阶带北侧的原油运移分馏效应较差, 推测其主要来源于北侧的储家楼次凹阜宁组二段烃源岩, 以短距离侧向运移为主; 内斜坡带原油主要来自于储家楼深凹阜宁组二段烃源岩, 沿其构造带上倾方向自西南到东北方向, 含氮化合物分馏效应明显; 坡垒带与外斜坡带阜宁组三段原油成熟度偏低, 吡咯类含氮化合物浓度较高, 原油自东北向西南方向以短距离运移为主, 主要来自于深凹的低熟烃源岩。不同构造带的油气成藏模式也不一致, 断阶带为阶梯状断块油气聚集模式, 内斜坡带与坡垒带主要分布受断层控制的断块—岩性油藏, 外斜坡带为反向正断层垒块控油模式。

关键词: 含氮化合物; 油气运移方向; 成藏模式; 溱潼凹陷; 苏北盆地

1 区域构造背景

溱潼凹陷位于江苏省中部的苏北盆地, 是一个在新生代拉张背景下形成的箕状凹陷, 古近系为南断北超、南深北浅的半地堑盆地, 其上发育新近系和第四系坳陷。构造上属于苏北—南黄海盆地东台坳陷的一个次级构造单元, 位于东台坳陷区吴堡低凸起与泰州凸起之间, 整体呈北东东向展布。北以吴堡—博镇断裂为界, 东南部与泰州凸起以断层相接, 西连江都隆起, 东接梁垛低凸起, 西北部与吴堡低凸起以斜坡相连, 东北方向较开阔, 过梁垛凹陷, 分别与白驹凹陷和海安凹陷相连, 西南部较狭窄, 是凹陷的收敛部位(图1)。自南向北分布有断阶带、深凹带和斜坡带三个构造带, 南部断阶带西南起姜小庄, 东北至小凡庄, 整体走向北东, 部分被近东西向(个别为近南北向)断层错断, 发育北东东向Ⅱ级和Ⅲ级大断裂, 目前已在断阶带中段发现草舍、陶思庄、角墩子、储家楼、洲城、祝庄和淤溪等7个断块油田; 深凹带沿港口—储家楼—时堰一线发育, 其轴线与断

层平行, 自西向东分布有俞垛、储家楼和时堰三个生烃中心(次凹), 为溱潼凹陷的主要油源区; 斜坡带位于叶甸、边城、史家堡一线以北, 可分为内斜坡带、坡垒带、外斜坡带, 内斜坡带已发现戴南、台南、兴圩和草股4个油田; 坡垒带是一普遍发育两条倾向相反的同生构造高带, 但是断层并非连续分布, 下构造层地层埋藏相对较浅, 为有利成藏区, 已发现茅山油田; 外斜坡带发育一系列反向正断层, 除戴南组外, 阜宁组也有部分缺失, 已发现殷庄油田(周荔青等, 2004; 钱基, 2000)。

2 样品与分析

原油样品主要取自溱潼凹陷三个构造带的始新统三垛组、戴南组和阜宁组, 分布于研究区不同的油气聚集带。将原油进行族组分和吡咯类含氮化合物分离, 分别对饱和烃、芳烃和吡咯类含氮化合物进行气相色谱—质谱分析。饱和烃和芳烃采用 Finnigan DSQ 型 GC-MS 分析系统检测, 色谱—质谱分析条件: 载气为 99.9999% He, 进样口温度为 300℃, 传

注: 本文为国家自然科学基金资助项目(批准号 40172056)的成果。

收稿日期: 2008-10-15; 改回日期: 2009-03-21; 责任编辑: 章雨旭。

作者简介: 陆黄生, 男, 1961年生。南京大学地球科学系博士研究生。主要从事石油地质研究。Email: lhs2100@163.com。通讯作者, 张枝焕, 通讯地址: 102200, 北京市昌平区中国石油大学资源与信息学院; 电话: 010-89733111; Email: zhangzh3996@vip.163.com。

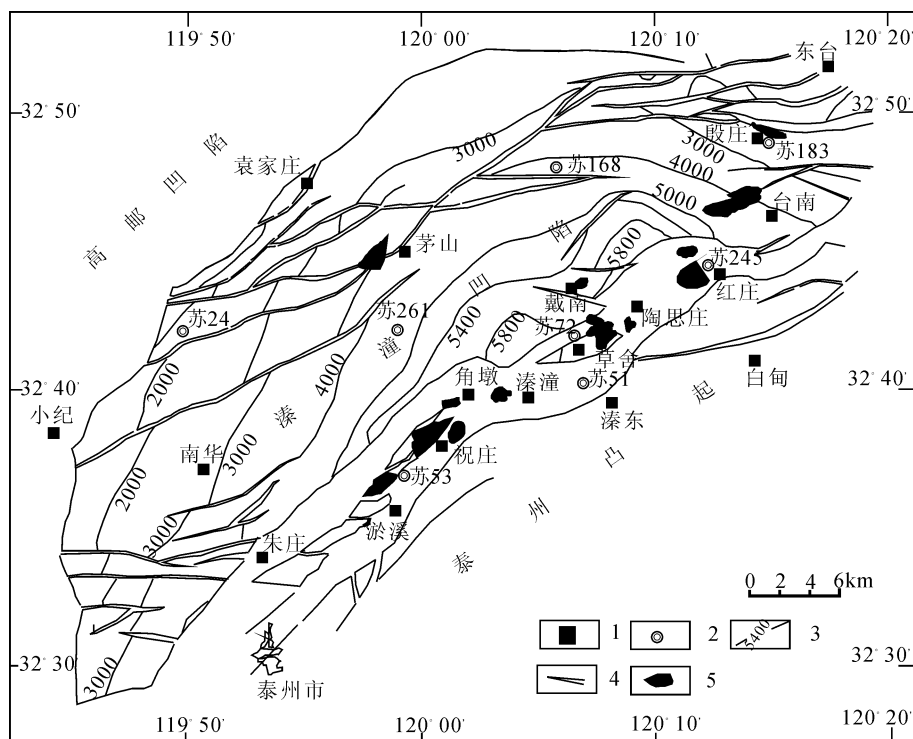


图1 漆潼凹陷构造位置图

Fig. 1 Tectonic location of the Qintong depression

1—地名; 2—井位; 3—构造等深线(m); 4—断层线; 5—油田

1— place name; 2— well name; 3— structural contour(m); 4— fault line; 5— oil fields

输线温度为 300°C , 色谱柱为 HP-5MS 弹性石英毛细柱($60\text{m}\times 0.25\text{mm}\times 0.25\mu\text{m}$), 升温程序为初温 50°C (恒温 1min), 50°C 开始以 $20^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 120°C , 以 $4^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 250°C , 再以 $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 310°C , 保持 30min, 载气流速为 $1\text{mL}/\text{min}$, 采用 EI(70eV)电子轰击方式, 灯丝电流为 $100\mu\text{A}$, 倍增器电压为 1200eV , 全扫描。吡咯类含氮化合物分析检测采用 Finnigan MAT SSQ710 分析系统, 色谱—质谱分析条件: 载气为 99.9999% He, 进样口温度为 290°C , 传输线温度为 290°C , 色谱柱为 HP-5MS 弹性石英毛细柱($30\text{m}\times 0.25\text{mm}\times 0.25\mu\text{m}$), 升温程序为初温 80°C (恒温 1min), 开始以 $15^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 150°C , 以 $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 270°C , 保持 10min, 载气为恒压 16psi, 采用 EI(70eV)电子轰击方式, 灯丝电流为 $200\mu\text{A}$, 倍增器电压为 1100eV , 多离子检测。

3 漆潼凹陷油层分布及油源特征

漆潼凹陷油气主要分布于断阶带与斜坡带, 其中断阶带油层分布较广, 从古新统泰州组到始新统三垛组均有分布, 但不同构造带或同一构造带不同

断阶油气层分布特征存在明显的差别。靠近凹陷的北断阶油层主要分布在中构造层三垛组和戴南组, 而中、南部断阶油层主要分布在阜宁组和泰州组, 如洲城—祝庄—角墩子构造带的角墩子、储家楼断块主要分布有戴南组和三垛组油层, 祝庄构造油层分布在阜宁组一段和阜宁组三段, 草舍构造带北断块主要分布有戴南组和三垛组油层, 中断块为戴南组一段和阜宁组三段油层, 南断块油层分布在泰州组和阜宁组一段。在陶思庄—红庄—溪南庄一带油层主要分布在中构造层戴南组和三垛组。斜坡带油层主要分布在阜宁组三段和泰州组。油源对比表明, 研究区分布最广的油源层是阜宁组二段, 其次为泰州组。如图 2 所示, 由阜宁组四段烃源岩提供油源的油藏主要分布在祝庄构造

带的低断阶角墩子、储家楼断阶和草舍油田北—中断块。除了上述油田外, 断阶带的油源主要为阜宁组二段烃源岩, 也有部分泰州组的油源贡献。斜坡带的原油主要来源于阜宁组二段成熟度较低的烃源岩或泰州组成熟度较高的烃源岩。^①

4 漆潼凹陷原油地球化学特征及油气运移方向判别

在油气运移过程中, 随二次运移距离增大, 原油中含氮化合物特征将发生下列变化: ①含氮化合物绝对丰度降低; ②氮官能团遮蔽型异构体相对于半遮蔽型异构体或暴露型异构体富集; ③烷基咪唑相对于烷基苯并咪唑富集; ④苯并咪唑中, 苯环与咪唑并合的碳位差异, 形成不同的苯并咪唑结构异构体, 一般常见有呈接近线状的苯并[a]咪唑和呈半球状的苯并[c]咪唑两类异构体, 苯并[a]咪唑线性分子比苯并[c]咪唑半球状分子运移速度快, 随油气运移距离的增加, 线性分子异构体相对富集(Larter, et al., 2002; Li Maowen et al., 1992; Liu Luofu et al., 1997, 1998, 1999; 王铁冠, 2000; 张枝焕等,

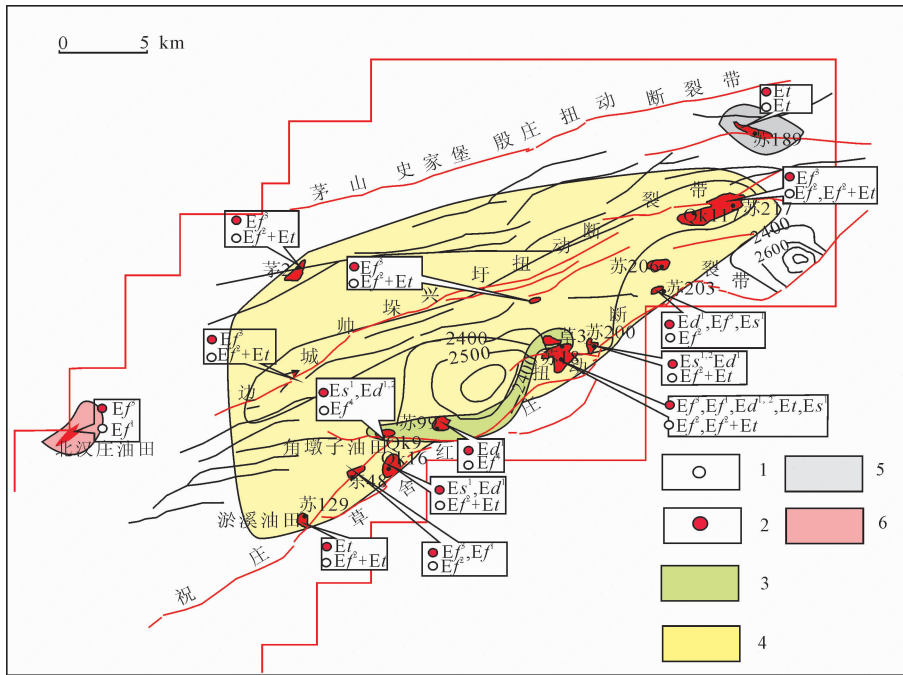


图 2 不同油田主要油层/烃源层分布特征

Fig. 2 Distribution characterization of oil layers/source rocks of distinct oil-fields

1—油源层位;2—含油层位;3—油源为始新统阜宁组四段(E_f^4)油田;4—油源为始新统阜宁组二段(E_f^2)或者阜宁组二段(E_f^2)与古新统泰州组(E_t)混源的油田(泰州组贡献较小);5—油源为泰州组(E_t)油田;6—油源为阜宁组一段(E_f^1)油田

1—oil sources layers; 2—oil-bearing horizon; 3—oil sourced from the Fourth Member (E_f^4) of the Eocene Funing Formation; 4—oil sourced from the Second Member (E_f^2) of the Funing Formation or from both of the E_f^2 and the Palaeocene Taizhou Formation (E_t) (E_t has lower contribution); 5—sourced from the Palaeocene Taizhou Formation(E_t); 6—oil sourced from the First Member (E_f^1) of the Funing Formation

2004)。因此,可以选取能够反映油气运移过程中含氮化合物组成及相对含量变化的参数,包括含氮化合物绝对浓度、苯并咪唑[$a+b+c$]绝对浓度、DMC(暴露型)和 TMC(B+C)化合物的绝对浓度,以及 1,8-DMC/2,7-DMC、苯并咪唑[a]/[$a+c$]、1-MC/4-MC、(TMC) A/C、(TMC) A/B、DMC/ TMC、MC/ DMC、DMC(遮蔽型)/DMC(半遮蔽型)、DMC(遮蔽型)/DMC(暴露型)等相关参数(A、B、C 分别代表氮官能团遮蔽、部分遮蔽、暴露的异构体),分析不同的构造带油气运移方向。

研究区不同构造带原油地球化学特征及油源存在一定的差别,但同一构造带原油地球化学特征基本相似,因此可以根据上述参数分析不同构造带原油的运移方向。断阶带阜宁组三段、戴南组一段和三垛组一段原油的地球化学特征均十分相似,正构烷烃碳数分布形态呈单峰态前峰型,主峰碳主要为 nC_{17} , nC_{21}/nC_{22} 值大于 1, CPI、OEP 在 1.0 左右,奇偶优势不明显,具有一定的植烷优势, Pr/Ph 小于

1,含有少量的 β -胡萝卜素;萘烷系列化合物中, C_{20} 、 C_{21} 、 C_{23} 三环萘烷丰度中等,呈上升型分布,三垛组一段原油伽马蜡烷丰度中等,伽马蜡烷/ C_{30} 藿烷约为 0.4,戴南组一段与阜宁组三段原油略低,与 Tm 相比, Ts 丰度略低;甾烷系列化合物中孕甾烷与升孕甾烷丰度较低,(孕甾烷+升孕甾烷)/规则甾烷约为 0.02,规则甾烷中 $\alpha\alpha\alpha 20R_{C_{27}}$ 、 C_{28} 、 C_{29} 甾烷 $\beta/(\beta+\alpha\alpha)$ 、 C_{29} 甾烷 $\alpha\alpha\alpha 20S/(20S+20R)$ 及 $T_s/(T_s+T_m)$ 分布特征看出,阜宁组三段原油成熟度较高,而三垛组一段与戴南组一段原油成熟度略低,总体上原油生源与沉积环境变化不大,可根据吡咯类化合物参数指示油气的运移方向。阜宁组三段、戴南组一段和三垛组一段原油中吡咯类化合物绝对浓度具有明显的差异,以储家楼油田为界,其南侧的祝庄油田

田祝 2 井阜宁组三段、州城油田洲 6 井、洲 8 井、QK5 井^①三垛组一段原油中含氮化合物总浓度依次为 27.28、10.80、9.48、8.77 和 8.72 $\mu\text{g/g}$;DMC(暴露型)化合物浓度依次为 2.27、0.90、0.66、0.61 和 0.51 $\mu\text{g/g}$,存在明显的浓度梯度变化趋势;含氮化合物与苯并咪唑[$a+b+c$]、含氮化合物与 DMC(暴露型)、DMC(遮蔽型)与 DMC(暴露型)以及苯并咪唑[$a+b+c$]与 TMC(B+C)浓度均具有很好的相关性(图 3a~d);(TMC) A/C 与 (TMC) A/B, DMC/ TMC 与 MC/ DMC, DMC(遮蔽型)/DMC(半遮蔽型), DMC(遮蔽型)/DMC(暴露型)也具有一定的相关性(图 3e~h)。祝 2 井、洲 6 井、洲 8 井和 QK5 井原油中 1,8-/2,7-DMC 依次为 2.45、3.14、4.14 和 4.94,表明祝庄油田阜宁组三段原油沿断层垂向运移到三垛组一段,三垛组一段原油沿洲 6 井、QK5 井、洲 8 井区运移形成洲城油田,横向上存在自西向东的运移趋势,纵向上沿断层运移,分馏效应较弱,西北方向也存在运移趋

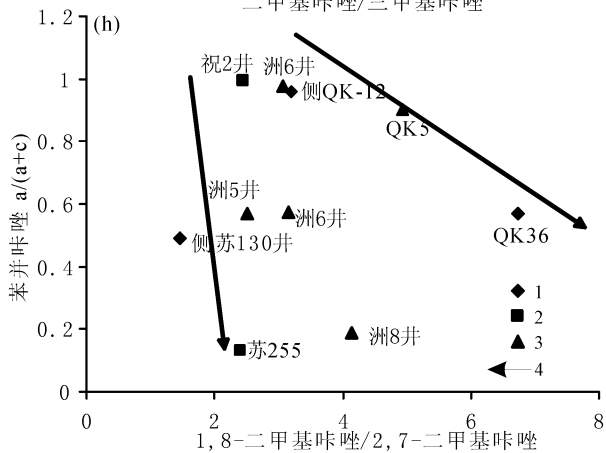
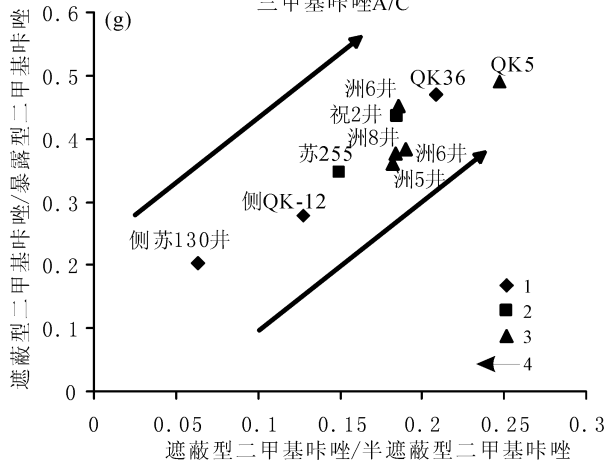
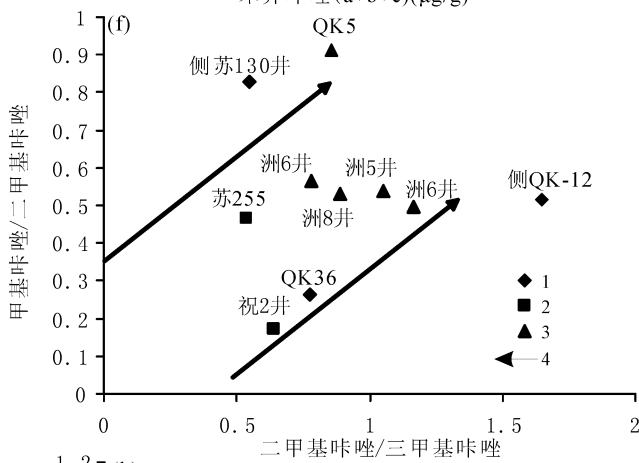
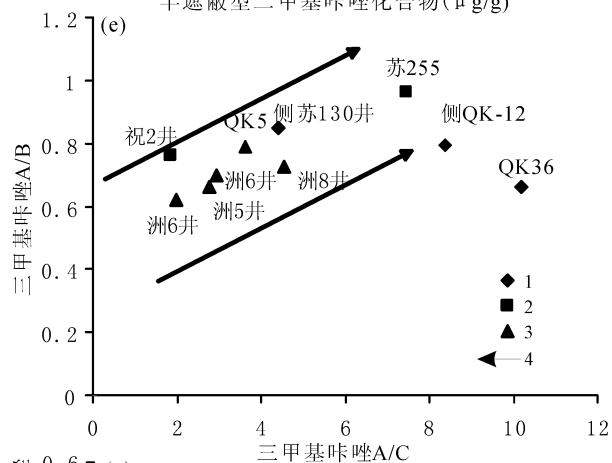
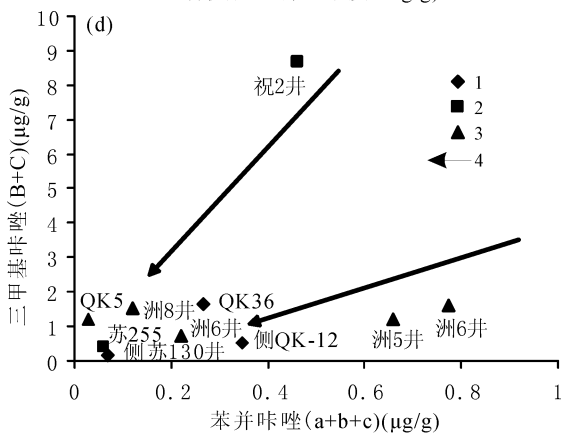
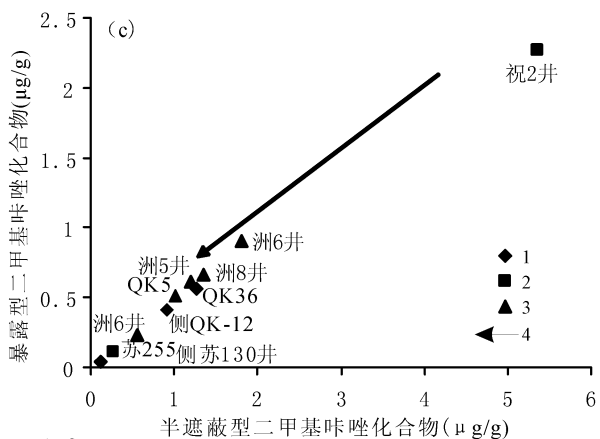
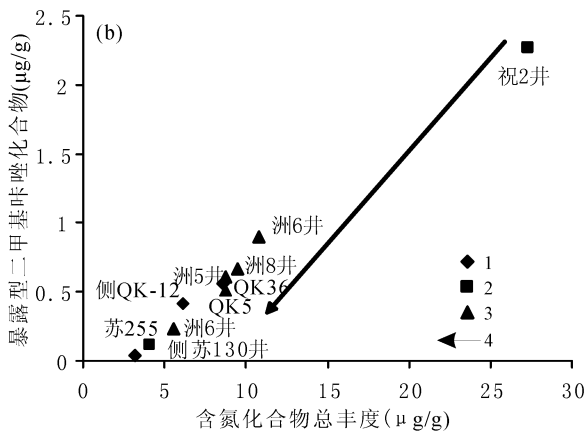
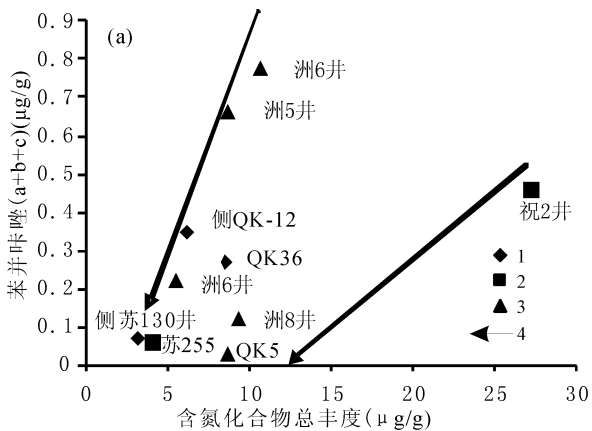


图 3 断阶带吡咯类化合物油气运移分馏效应

Fig. 3 Fractionation of pyrrolic nitrogen compounds in the oils from fault belts during migration

1—始新统戴南组一段(Ed^1)原油;2—始新统阜宁组三段(Ef^3)原油;3—渐新统三垛组一段原油(Es^1);4—运移方向1—Eocene Dainan Formation first member (Ed^1) oils; 2— Eocene Funing formation third member (Ef^3) oil; 3—Oligocene Sanduo formation first member (Es^1) oils; 4—migrating direction

势,阜宁组三段原油沿苏 255 井运移形成叶甸油田,由此推测阜宁组三段与三垛组一段原油主要来自于俞垛次凹方向。储家楼油田北侧的草舍—陶思庄构造带油气运移规律性较祝庄—洲城构造带的差,如 QK12 井、苏 130 井戴南组一段原油总浓度分别为 6.16、3.15 $\mu\text{g/g}$,DMC(暴露型)化合物浓度依次为 0.41、0.04 $\mu\text{g/g}$,苯并咪唑[a+b+c]浓度依次为 0.35、0.07 $\mu\text{g/g}$,1-MC/4-MC 为 0.40、0.73,而其余相关参数分馏效应效果较差(图 3e~h)。总体上,戴南组一段原油以短距离运移为主,运移趋势较弱,表明不同区块间油藏连通性较差和(或)油气运聚成藏过程较为复杂,可能既有近源油气(如原地深层和/或溱潼次凹),也有通过断裂、不整合面运移的来自时堰次凹油气,但含氮化合物特征总体上呈现由北至南的油气运移效应,油气主要来自于时堰次凹方向。储家楼油田戴南组一段原油分馏效果较弱, QK36 井含氮化合物浓度较低,为 8.62 $\mu\text{g/g}$,原油可能存在垂向的运移分馏效应,其原油主要来自于储家楼次凹阜宁组二段源岩。

内斜坡带和断垒带的油气主要分布在阜宁组三段,此构造带原油中正构烷烃以及甾萜烷烃的地球化学特征与断阶带阜宁组三段原油的存在很好的一致性,但是成熟度参数 C_{29} 甾烷 $\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ 、 C_{29} 甾烷 $\alpha\alpha\alpha/20S/(20S+20R)$ 及 $Ts/(Ts+Tm)$ 分布特征存在差异,内斜坡带靠近凹陷边缘的阜宁组三段原油成熟度较高,断垒带茅山油田原油成熟度较低。内斜坡带原油含氮化合物浓度也存在明显的分异性(图 4a~d),如边 2 井、边 1 井和边 4 井原油中含氮化合物总浓度依次为 7.59、4.60 和 3.68 $\mu\text{g/g}$,DMC(暴露型)浓度依次为 0.28、0.06 和 0.02 $\mu\text{g/g}$,TMC(B+C)浓度依次为 1.69、0.62 和 0.16 $\mu\text{g/g}$,1-MC/4-MC 依次为 1.94、2.45 和 3.14,1,8-/2,7-DMC 依次为 2.57、3.94 和 4.16,(TMC)A/B 依次为 0.88、0.94 和 1.07,DMC(遮蔽型)/DMC(暴露型)依次为 0.49、0.83 和 1.29。总体上看,内斜坡带沿边 2 井、边 1 井到边 4 井存在明显的运移趋势,由此推断原油主要来自于储家楼深凹,由斜坡上倾方向沿边城断层向边城油田运移。坡垒带茅山构造

阜宁组三段原油也存在明显的运移分馏效应,如苏 249B、茅 2B 井、苏 286 井和茅 3B 井原油中含氮化合物总浓度依次为 9.43、6.34、6.20 和 6.12 $\mu\text{g/g}$,DMC(暴露型)浓度依次为 0.38、0.27、0.20 和 0.16 $\mu\text{g/g}$,1-MC/4-MC 依次为 2.14、2.15、3.19 和 3.33。坡垒带原油含氮化合物也存在分馏效应,原油存在从东至西的运移趋势。结果表明,坡垒带与内斜坡带存在明显的运移趋势,但是运移距离短,部分参数相关性差,而且存在倒转现象,内斜坡带原油主要来自于储家楼深凹源岩,坡垒带原油主要来自于沿深凹方向的泥岩,砂体作为主要输导层,不为深凹带生成的油气(图 4a~f)。

外斜坡带原油主要分布在北汉庄油田阜宁组一段和阜宁组三段,为低熟油。与其它构造带相比,吡咯类含氮化合物浓度明显偏高,介于 12.27~53.10 $\mu\text{g/g}$ 。研究表明,该构造带原油地球化学特征具有较明显的分异性(图 5),存在一定的运移分馏效应,如北 1-16 井、北 1-1 井、北 1-11 井阜宁组一段原油 1,8-/2,7-DMC 依次为 0.33、0.86 和 1.46,1-MC/4-MC 依次为 0.13、0.30 和 0.73,DMC(半遮蔽型)/DMC(暴露型)依次为 1.03、1.16 和 3.12,主体上原油沿北 1-16 井、北 1-1 井、北 1-11 井参数值逐渐降低,运移距离短。北 1-3、北 1-13、北 1-6、北 1-19 井阜宁组三段原油中苯并咪唑[a+b+c]浓度依次为 5.05、1.10、0.88 和 0.96 $\mu\text{g/g}$,DMC(暴露型)浓度依次为 7.54、3.88、3.06 和 2.53 $\mu\text{g/g}$,存在明显的浓度梯度,因此,总体上,北汉庄地区油气来自于东北凹陷方向,这与北汉庄断层倾斜方向不一致,表明油气是沿东北凹陷方向的砂岩输导层短距离运移,而非沿断层运移。

5 油气运聚模式

溱潼凹陷阜宁组二段、阜宁组四段以及泰州组烃源岩生烃时间较晚,阜宁组二段烃源岩从戴南期开始生油,阜宁组四段烃源岩从三垛期开始生油,但生成的油气非常少,其生油量占总生油量的 2% 以下,几乎可以忽略。主力烃源岩的生烃高峰在新近纪,其生油量占总生油量的 98% 以上,阜宁组二段

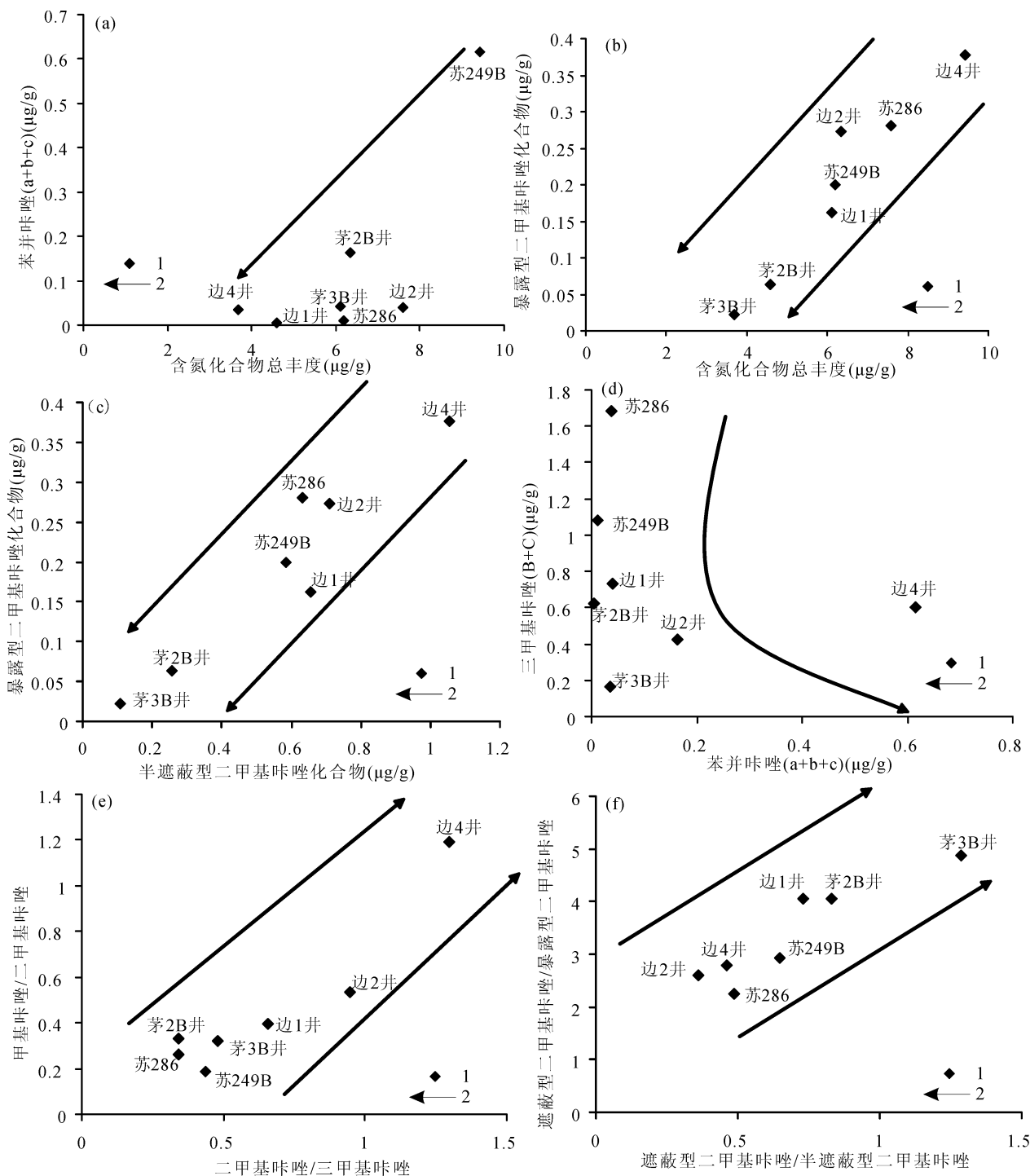


图 4 内斜坡带与坡垒带吡咯类化合物油气运移分馏效应

Fig. 4 Fractionation of pyrrolic nitrogen compounds in the oils from internal slope and horst belts during migration

1—始新统阜宁组三段(E₃)原油; 2—运移方向

1— Eocene Funing formation third member(E₃) oils; 2—migrating direction

和阜宁组四段烃源岩至今仍处于生烃阶段。从不同层位烃源岩的生烃强度图表明(图 6), 泰州组与阜宁组二段烃源岩的生烃范围较广, 使得斜坡带与断阶带均可获得足够的油源, 而阜宁组四段烃源岩生

烃范围集中在断阶带, 与油源对比结果极为吻合, 综合溱潼凹陷油源层的分布特征以及含氮化合物运移分馏效应(图 7), 不同构造带的油气运聚模式存在差别(图 8)。

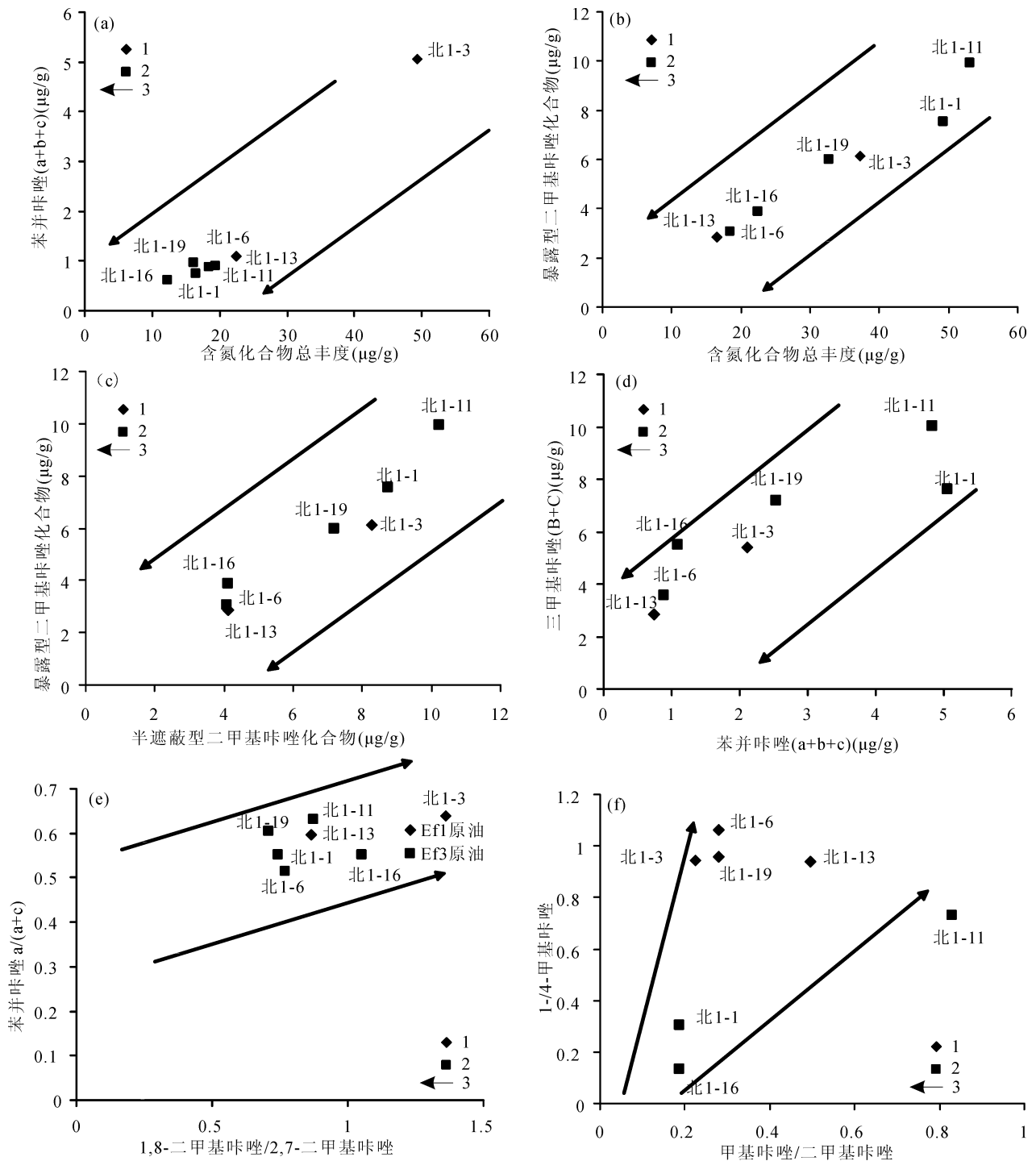


图 5 外斜坡带吡咯类化合物油气运移分馏效应

Fig. 5 Fractionation of pyrrolic nitrogen compounds in the oils from external slope belts during migration

1—古新统阜宁组一段原油;2—始新统阜宁组三段原油;3—运移方向

1—Palaeocene Funing Formation first member(E_f¹)oils; 2— Eocene Funing formation third member oils(E_f³);

3—migrating directions

(1)断阶带油气聚集模式:三垛运动末期(25 Ma±),储家楼和俞垛次凹的阜宁组二段烃源岩尚未成熟,只有泰州组烃源岩进入生烃阶段。此时Ⅲ

号断层和 F3 断层活动相对强烈,断层垂向开启,泰州组的油气没有作侧向运移,而是沿Ⅲ号断层以垂向运移为主。油气运移至阜宁组三段砂岩时,上覆

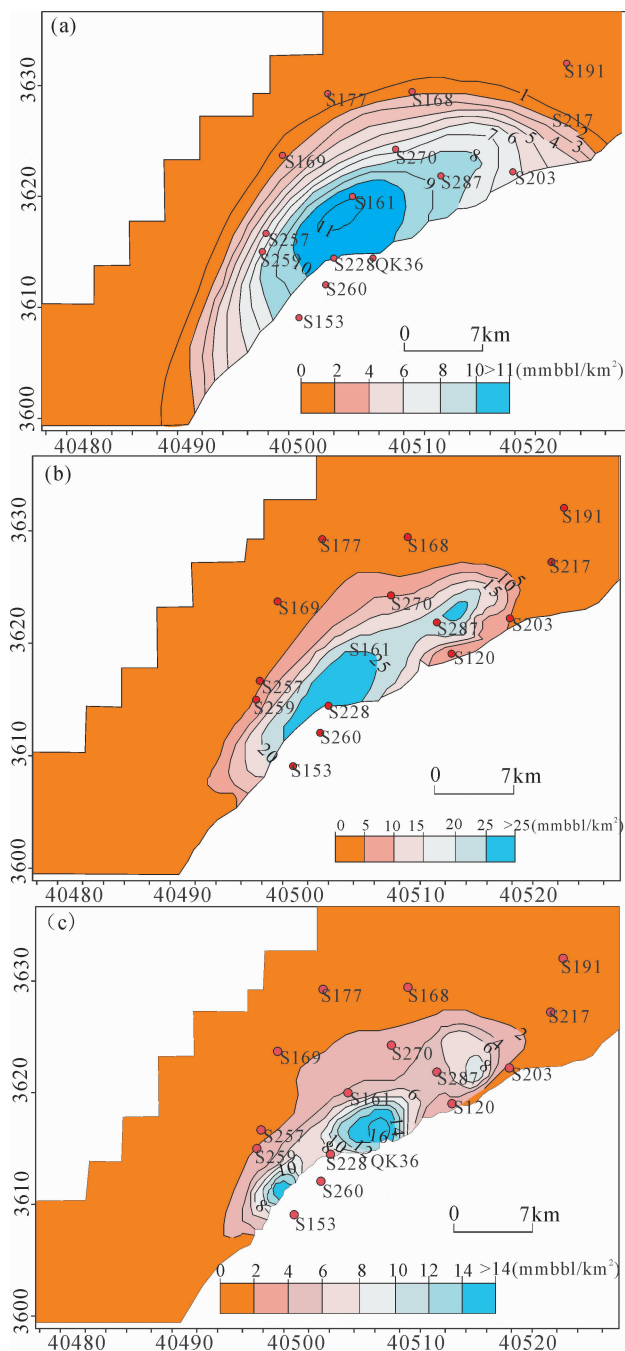


图6 不同层位烃源岩生烃强度分布图

Fig. 6 The generated hydrocarbon intensity of differential source rocks in Qintong sag

(a)—古新统泰州组(E_t); (b)—古新统阜宁组二段(E_f^2);

(c)—始新统阜宁组四段(E_f^4)

(a)—Palaeocene Taizhou Formation (E_t); (b)—Palaeocene Funing formation second member (E_f^2); (c)—Eocene Funing formation fourth member (E_f^4)

数百米阜宁组四段泥岩盖层对油气具有封闭作用, 油气以连通性好的阜宁组三段砂岩为输导层侧向运移至构造高部位, 继续以断层—砂体复合输导系统

向高部位运移, 最终在祝庄油田阜宁组三段聚集成藏。来源于自泰州组烃源岩的油气主要通过先垂向运移后侧向运移的油气成藏模式, 导致该时期祝庄油田阜宁组一段没有泰州组油气注入, 源于泰州组烃源岩的油气在阜宁组三段存在, 而没有在阜宁组一段聚集成藏。而三垛运动结束后, 盐城组开始沉积, 阜宁组二段烃源岩已开始生油。此时, III号断层和F3断层活动停止, 断层垂向封闭性增强, 不能作为大规模油气垂向运移的通道。F2断层依然活动, 可以作为油气垂向运移通道。阜宁组二段和泰州组烃源岩生成的油气先进入上覆砂岩, 再侧向运移至F2断层, 最后沿F2断层垂向运移进入阜宁组一段和阜宁组三段储层。

(2) 斜坡带油气聚集模式: 斜坡带阜宁组三段储层分别被阜宁组二、四段两套生油岩所夹持, 无论是正向正断层还是反向正断层, 只要断距适中就能封闭或成为油气运移的通道。内斜坡带构造相对不发育, 主要为岩性构造复合油藏, 这类油气藏与地层相变, 砂泥差异压实作用有关, 主要发育在中构造层储层, 剖面上泥夹砂, 平面上泥包砂, 上倾尖灭或分叉尖灭形成, 多为三角洲前缘、河口砂坝、冲积扇泛砂坝沉积, 但分布不稳定。内斜坡带供油区主要位于深凹陷, 主要烃源岩为阜宁组二段和泰州组。深凹陷成熟的阜宁组二段或泰州组烃源岩生成的油气主要通过侧向运移进入断裂带, 沿断层(推测主要为反向正断层)运移进入阜宁组三段储层, 进入阜宁组三段的油气沿断层向上运移至高部位圈内聚集成藏, 阜宁组三段的油气高富集必需有断距在100~200m左右的能够完全封闭阜宁组三段上、下砂侧向运移的区域性断层侧向封闭)。

(3) 坡垒带油气聚集模式: 坡垒带主要含油层位是下构造层储层, 主要有两种成藏形式, 垒式和堑式类型。阜宁组三段、戴南组一段及上构造层为有利储集相带, 油气主要分布在阜宁组三段, 主要来源于阜宁组二段烃源岩。南北主控断层对阜宁组三段上砂组完全圈闭, 形成良好的圈闭; 下砂组封闭条件较差, 不能形成很好的圈闭。烃源岩分析及油源对比表明, 原油成熟度参数对应的烃源岩 R_o 值为0.7%左右, 门限深度约为2800m, 构造带区域内阜宁组二段烃源岩成熟度较低, 往南部成熟度增大, 烃源岩进入成熟阶段, 南部断层可起纵向输导油气作用, 因此油气主要来自东南部, 但主要以构造带附近成熟度较低的阜宁组二段烃源岩供油为主。含氮化合物指示原油沿断层由东至西的运移趋势, 表明主要供油

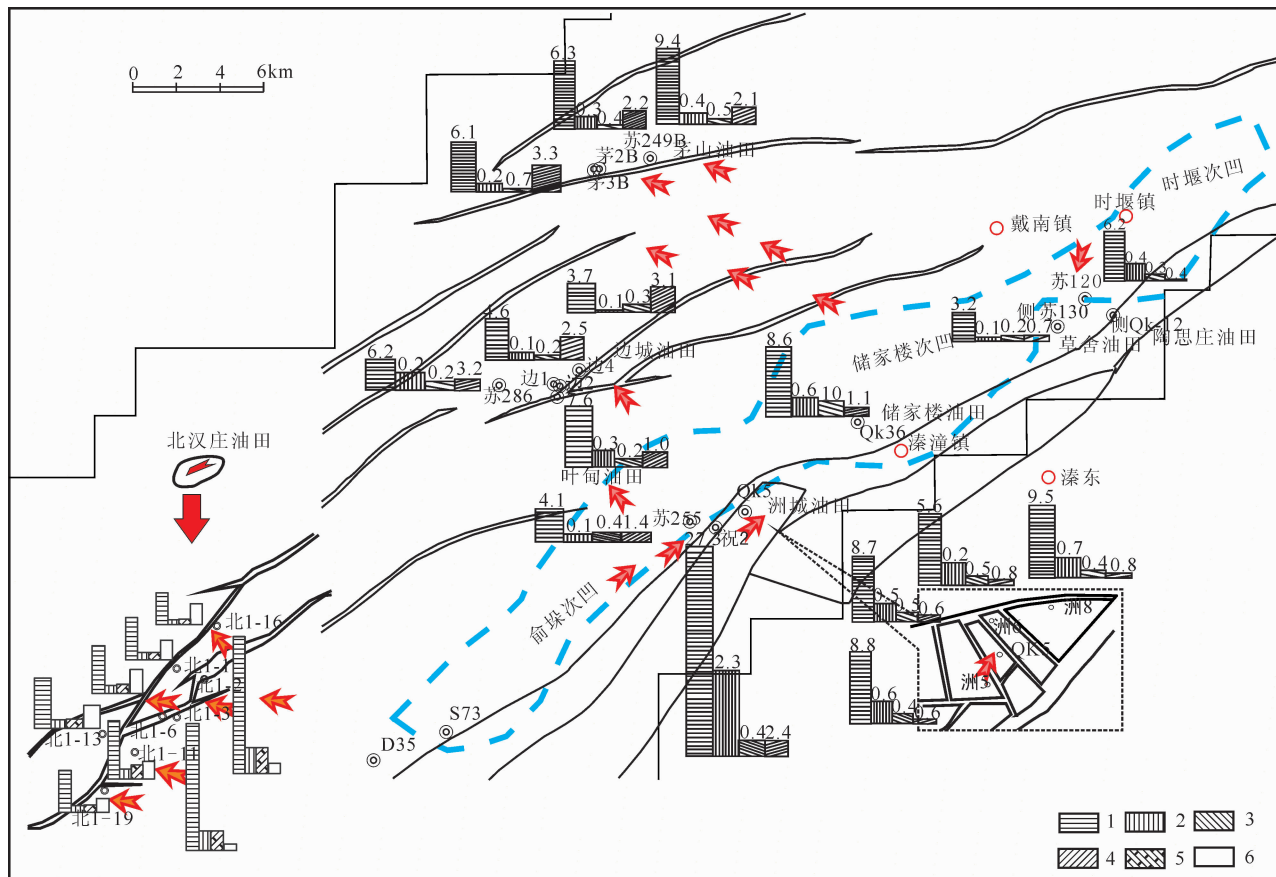


图 7 溱潼凹陷吡咯类含氮化合物油气运移方向分布图

Fig. 7 Pyrrolic nitrogen compounds concentration and parameters showing the migration of oils in Qintong depression

1—含氮化合物总浓度;2—暴露型咪唑化合物总浓度;3—遮蔽型/暴露型二甲基咪唑;4—1-/4-甲基咪唑比值;

5—三甲基咪唑(B+C)浓度;6—二甲基咪唑/三甲基咪唑比值

1—the total concentrations of carbazoles; 2—the concentrations of exposure carbazoles; 3— shielded/ exposure dimethyl carbazoles; 4— 1-/4- methyl carbazole; 5— the concentrations of trimethylcarbazoles (B+C); 6—4- dimethyl- / trimethyl- carbazoles

凹陷为时堰、储家楼次凹,阜宁组二段烃源岩排烃期发生在渐新世末期(23.3Ma),坡垒带构造总体上是两条近东西向断层与另一组形成时间较早(吴堡运动期)的反向正断层相交组成的一组菱形断块构造,F2号和F3号断层从渐新世末期断裂活动逐渐减弱,F5断层则在戴南组和三垛组沉积时活动最为剧烈,此时油气主要通过此断层运移成藏,而在盐城组沉积后,基本停止运动,与阜宁组二段烃源岩油源贡献的分布特征相似。控制地垒构造的断层使阜宁组三段上砂组侧向界岩为阜宁组四段,圈闭性良好,而下砂组的整体侧向界岩为阜宁组三段上砂组,封闭性很差,油气主要聚集在阜宁组三段上砂组成藏,而控制坳式构造的断层断距适当,使得下砂组分别与对盘阜宁组二段大套泥岩接触,侧向良好的界岩,主要含油层位是阜宁组三段下砂组,坳式断块构造常

发育的正向正断层,不利于阜宁组二段油气向阜宁组三段中上部砂岩段运移。

6 结论

(1)溱潼凹陷油气主要分布于断阶带与斜坡带的戴南组一段和阜宁组三段,主要来源于阜宁组二段源岩,部分地区具有泰州组源岩的贡献。含氮化合物运移分馏效应表明,不同构造带油气的运移方向存在明显的差别,断阶带以储家楼油田为界,南侧祝庄油田阜宁组三段原油沿祝庄—洲城构造带运移到洲城地区,并且沿西北方向运移到叶甸地区,原油主要来自于俞垛次凹阜宁组二段源岩;北侧戴南组一段原油沿草舍—陶思庄构造带自东北向西南方向运移,原油主要来自于储家楼次凹阜宁组二段源岩。内斜坡带原油沿其构造带上倾方向自西南到东北方

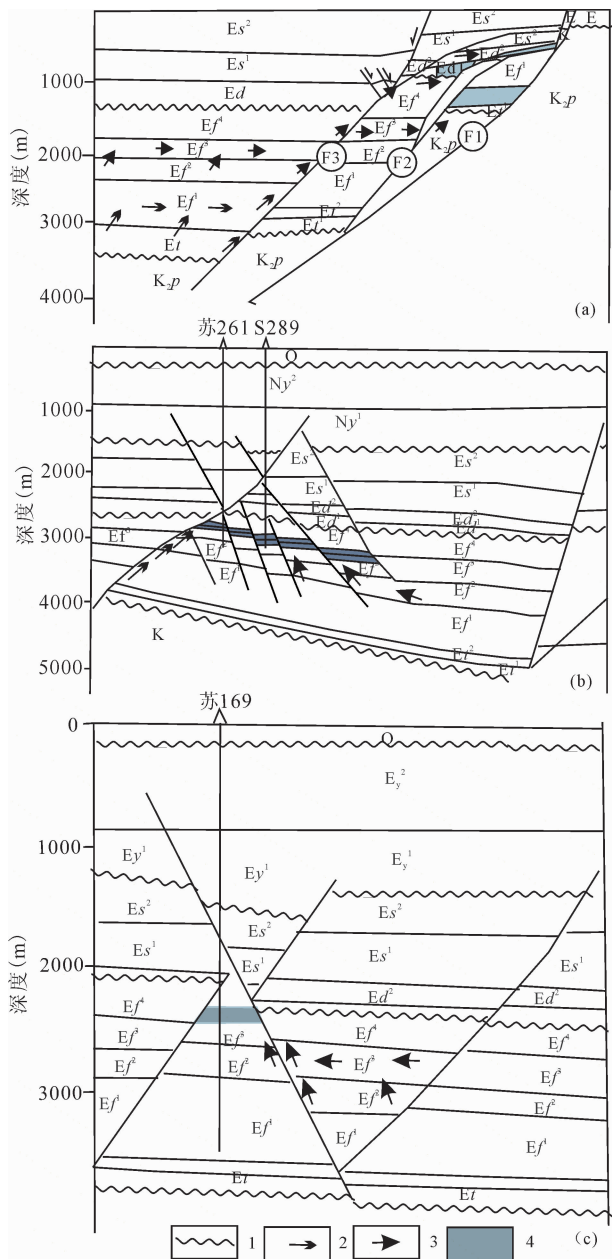


图8 溱潼凹陷油气成藏模式图

(a)—断阶带；(b)—斜坡带；(c)—断垒带

Fig. 8 Migration and accumulation model of oil in Qintong depression (a)—faulted belts; (b)—slope belts; (c)—uplift belts

1—不整合面；2—来源于古新统泰州组原油迁移方向；3—来源于阜宁组二段原油的迁移方向；4—油层

1—unconformity surface; 2—the migrating direction of the oils derived from the Palaeocene Taizhou Formation; 3—the migrating direction of the oils derived from the Second Member, Funing Formation; 4—oil layers

向运移,主要来自于储家楼深凹阜宁组二段源岩。坡垒带与外斜坡带阜宁组三段低熟原油自东北向西南方向运移,主要来自于沿深凹方向的低熟烃源岩,砂体作为主要输导层,而非深凹带生成的油气。

(2)溱潼凹陷不同构造带成藏模式与成藏条件具有差别,断阶带为阶梯状断块油气聚集模式,内斜坡带与坡垒带主要分布受断层控油的断块—岩性油藏,外斜坡带为反向正断层垒块控油模式,主要分布有低熟油。

注释 / Notes

- ① 中石化股份有限公司华东分公司, 中国石油大学(北京). 2005. 溱潼凹陷、金湖探区烃源岩地球化学特征及油源精细分析(研究报告).
- ② 文中所列井的井位分布见图7.

参考文献 / References

钱基. 2000. 苏北盆地油气田的形成与分布特征. 石油大学学报(自然科学版), 24(4): 21~25.

王铁冠, 李素梅, 张爱云, 朱雷, 李伯虎, 周永炳. 2000. 利用原油含氮化合物研究油气运移. 石油大学学报(自然科学版), 24(4): 83~86.

张枝焕, 王铁冠, 吴水平, 常象春. 2004. 原油中部分吡咯类含氮化合物运移参数的适用性. 成都理工大学学报(自然科学版), 24(2): 162~167.

周荔青, 刘池洋, 陆黄生, 张淮. 2004. 苏北盆地阜宁组三段油气成藏规律. 石油实验地质, 26(2): 187~193.

Larter S R, Mills N. 1992. Phase-controlled molecular fractionation in migrating petroleum charges. In: England W A and Fleet A J. eds. Petroleum Migration. London: Geological Society Special Publication, 137~147.

Li Maowen, Larter S R, Stoddart D, Bjoroy M. 1992. Practical liquid chromatographic separation schemes for pyrrolic and pyridinic nitrogen aromatic heterocycle fractions from crude oils suitable for rapid characterization of geochemical samples. Analytical Chemistry, 64: 1337~1344.

Liu Luofu, Kang Yongshang. 1999. Study on secondary migration of hydrocarbons in Tazhong area of Tarim basin in terms of carbazole compounds. Chinese Journal of Geochemistry, 18(2): 97~103.

Liu Luofu, Xu Xinde, Mao Dongfeng, Yu Huijuan. 1997. Application of carbazole compounds in study of hydrocarbon migration. Chinese Science Bulletin, 42(23): 1970~1973.

Liu luofu. 1998. Distribution and significance of carbazole compounds in Paleozoic oils from the Tazhong Uplift, Tarim. Acta Geologica Sinica, 72(5): 87~93.

Petroleum Migration and Accumulation in Qintong Sag, North Jiangsu Basin

LU Huangsheng¹⁾, QIN Liming²⁾, LIU Jun²⁾, HU Ying³⁾, FANG Chaohe⁴⁾,
YANG Yongcai²⁾, ZHANG Zhihuan²⁾

1) *Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing, 210093;*

2) *State Key Laboratory of Petroleum Source and Prospecting, China University of Petroleum,
Ministry of Education, Beijing, 102249;*

3) *National Oil and Gas Exploration and Development Corporation, CNPC, Beijing, 100034;*

4) *Langfang Branch, PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration and Development,
Langfang, Hebei, 065007*

Abstract: Based on the geochemical characteristics of *n*-alkanes, steranes, terpanes and the distribution of pyrrolic nitrogen compounds of non-hydrocarbons which can be utilized as parameters in evaluating the migrated oils, referring to results of structural study and oil source comparison, petroleum migration and accumulation of the Qintong sag, North Jiangsu basin, are discussed in this paper. The results are as follows: (1) The pyrrolic nitrogen compounds of crude oils in different structural belts reveal significant and dissimilar fractionation effect, which reflects the oil—source correlation distinctly; the high mature oils from the south fault belt migrated obviously, which are generated by the source rock of the 2nd Member(Ef^2), Funing Formation, Eocene, in the Yuduo subsag; while the oils from the north part reflect slight fractional effect, suggesting that it migrated in a short distance, is generated by the source rock of the 2nd Member(Ef^2), Funing Formation, Eocene, in the Chujialou subsag and also mingled by oils from the source rock of the Paleogene Taizhou Formation. (2) The migrating fraction of the crude oils located in internal slope belts is significant, which migrated along structural belts updip direction from southwest to northeast, was generated by the source rock of the 2nd Member(Ef^2), Funing Formation, in the Chujialou deep subsag. (3) The Ef^3 oil in the external slope and horst belt has lower maturity and higher concentration of pyrrolic nitrogen compounds, mainly migrated from northeast to southwest, is generated from lower mature source rocks in deep sag. (4) The oil accumulation models are different among three structural belts. In fault belts, the crude oil is accumulated in step-shaped fault block, and internal slope and horst belt are distributed by fault—lithologic reservoirs. The lower mature oils is accumulated in external slope's horst and controlled by opposite directional fault.

Key words: pyrrolic nitrogen compounds; migration of oil; accumulation models; Qintong sag, North Jiangsu basin