# 八面河油田油气运聚、成藏模式探讨

## 庞雄奇<sup>1</sup>,李素梅<sup>2</sup>,黎茂稳<sup>3</sup>,金之钧<sup>2</sup>

(1. 教育部石油天然气成藏机理重点实验室,北京 102249;2. 石油大学盆地与油藏研究中心,北京 102249;3. 加拿大联邦地质调查局,Calgary)

摘要:八面河油田原油中吡咯类化合物及与其具有类似骨架的杂原子芳烃—二苯并噻吩、二 苯并呋喃等具有较为明显的运移分馏效应,指示八面河断裂构造带中北部断裂、构造较为发 育地带为主要油气注入点,绝大部分油气自主要注入点沿地层上倾方向作侧向运移;广北斜 坡带运移分馏效应不太明显,反映各油气单元间连通性较差及油源、油气运聚成藏过程较为 复杂;滩海一带原油具有较强的运移分馏效应,指示原油具有非原地性.含氮化合物运移分馏 效应反映,断层、不整合面为八面河油田油气运移的主要通道,牛庄、广利洼陷为八面河油田 可能的油源区,反映绝大多数油气主要来自正常生油门窗内的成熟烃源岩. 关键词:含氮化合物;油气运移;成藏模式;八面河油田. 中图分类号:P618.130.2 文献标识码:A 文章编号:1000-2383(2002)06-0666-05 作者简介:庞雄奇(1961-),男,教授,主要从事油气成藏、油气资源评价研究.

八面河油田位于东营凹陷东南部,被认为是典型的未熟一低熟油聚集<sup>[1~3]</sup>.前人对该区油气运聚 模式做过有益的探索,指出牛庄洼陷南斜坡带广泛 发育的页岩间的层理为未熟一低熟油运移的重要通 道<sup>[2,3]</sup>.最近笔者对该区的油源调查结果表明,八面 河油田原油是未熟油和成熟油运聚混合后的结果, 但仍以来自 2 700 m 深的成熟油为主.本文基于油 气新的成因认识,重点探讨八面河原油运聚机理和 成藏模式.

1 样品与实验

对八面河断裂带、羊角沟地区的 20 个原油做了 常规地化分析、25 个原油做了吡咯类含氮化合物的 分离与检测.有机地球化学分析表明,八面河油田原 油成因基本一致.

原油、岩样的氯仿抽提物采用常规柱色谱分离, 分离前加入 D4-C<sub>29</sub>甾烷、D8-二苯并噻吩标样.在 岛津 GC-9A 型色谱仪和 Finnigan-MAT TSQ-45 型 GC/MS 系统上进行饱和烃色谱及饱和烃、芳烃

收稿日期: 2002-08-12

色谱一质谱分析. 色谱条件: SE-54 弹性熔硅毛细管 柱(25 m×0.25 mm),以4 ℃/min 的速率自 100 ℃ 升至 300 ℃,载气为氦气. 色谱一质谱条件:采用 SE-54 弹性熔硅毛细管柱(25 m×0.25 mm),载气 为氦气. 升温程序:以4 ℃/min 的速率由100 ℃升至 220 ℃;再从 220 ℃以2 ℃/min 的速率升温到 300 ℃. 质谱电离能量为 70 eV.

吡咯类化合物采用二步分离法<sup>[4]</sup>,用 N一苯基 咔唑为内标. 吡咯类化合物 GC/MS 分析使用 Finnigan-MAT TSQ-45 型仪器,配置 HP-5 弹性石 英毛细管柱( $30 \text{ m} \times 0.25 \text{ mm} \times 0.25 \mu\text{m}$ ). 升温程 序:始温 35 ℃,恒温 5 min,以 2 ℃/min 的速率升至 120 ℃,再以 3 ℃/min 的速率升至 310 ℃,恒温 15 min.采用氮气载气,电子轰击源,MID 多离子方 式检测.

#### 2 油气运移分馏效应分析

以往八面河地区油气运移的研究大多从地质角 度出发,本研究从分子地球化学角度提供该区油气 运移的直接证据.采用吡咯类含氮化合物、结合烃类 高分子量组分的绝对丰度的变化,探讨八面河地区 的油气运移方式.国内外的实例研究表明,吡咯类含

基金项目:中国重大基础研究硕目(G1999-43310).





氮化合物在评价油气运移过程中具有较好的应用效 果<sup>[5.6]</sup>.

#### 2.1 侧向运移分馏效应

对八面河断裂带、羊角沟、广北原油中吡咯类化 合物的运移分馏效应做了分析.结果表明,断裂带原 油中吡咯类化合物具有显著的运移分馏效应.其规 律是:大多数油气运移参数指示运移效应最弱的部 位位于八面河油田南北分区的小清河一带,即面 1井区一莱5块,指示该区块为断裂带的主要油气 注入点.小清河南侧即油田南部,沿面1、面4、面14 井区、面23块至面120井方向,含氮化合物运移效 应逐渐增强,指示较远的油气运移距离;小清河北侧 即油田北部,运移分馏效应较为复杂,北端有由北而 南的运移分馏效应,南端有由南而北的运移效应,指 示油田北侧另有近源油气供应区.按油气运移分馏 机理,异构体参数1-/4-甲基、1,8-/(1,4+1,5) -DMC、1,8-/2,5-DMC、2,4-/2,5-DMC、咔

唑系列高低分子比参数  $C_4 - /C_2 -$ 咔唑等具有随油 气运移距离增大而增大的趋势:芳烃、三芴这类较高 分子量烃类绝对丰度则应有逐渐降低的变化规律. 上述参数显示八面河原油的运移分馏效应见图 1, 2a,2b,2c. 如油田南部由北往南沿面 1-6-7、面 4 -4-19、面 14-8-5、面 23-2、面 120 井原油(均 产自沙四段)方向,参数1-/4-甲基咔唑值依次为 0.95, 0.96, 1.03, 1.64, 1.57; 1, 8/(1, 4+1, 5) -DMC 值分别为 0.27,0.30,0.32,0.38,0.38,总体 具有油气运移分馏效应增强的趋势,其他类参数基 本有类似的结果,仅面 120 井稍低于面 23-2 井,油 田北部由北往南, fatarrow 5X96、fatarrow 4X20、fatarrow 10X62、fatarrow 6X96、fatarrow 6X96X17 井沙三段原油中吡咯类化合物的 1,8-/ (2,7+1,2) - DMC 值依次为 0. 64, 0. 95, 1. 07, 0.73:1.8 - /(1.4 + 1.5) - DMC 值依次为 0.34,0.39,0.41,0.36,指示具有由北往南、由南往北的2 个方向的运移分馏效应,指示南半部既有自油气主要



#### 图 2 吡咯类、烃类油气运移分馏效应(箭头指示油气可能 运移方向与相对运移距离)

Fig. 2 Migration effects of pyrrolic nitrogenic compounds and aromatic hydrocarbons in oils

注入点运移而来的原油,最北端亦另有近源油气供 给.此外,相对于八面河断裂带北侧原油,独立分布于 八面河东北的滩海地区原油,具有较远的油气运移分 馏效应,可能指示较远的油气运移距离和/或油源的 特殊性(图 1,2).

分析表明,广北斜坡带 7 个油样含氮化合物运 移分馏效应规律性不及八面河断裂带,指示不同区 块间油藏连通性较差和/或油源及油气运聚成藏过 程较为复杂,可能既有近源油气(如原地深层烃源岩 和/或广利供油),也有通过断裂、不整合面及砂岩储 层提供的牛庄洼陷深部油气.研究表明,八面河地区 同一构造圈闭不同砂组及同一砂组不同油砂体间油 水关系各不相同,从该区油藏油水关系的复杂角度 来看,油藏间的连通性不会很好.广北斜坡带油气运 移效应不太明显与原油成熟度有差异亦相一致,靠 近深洼的广 11X1、广 9X19 原油  $C_{29}$  甾烷  $\alpha\alpha\alpha 20S/$ (S+R)值分别为 0.44,0.38,广北其他原油分布范 围为 0.34~0.36,前者成熟度明显偏高.但就多数 参数而言,广北地区有不太显著的顺斜坡上倾方向 的油气运移分馏效应.

八面河油田侧向运移分馏效应指示,该区油气 并非主要来自广泛发育于牛庄洼陷斜坡带的未熟一 低熟页岩,而是深洼带成熟烃源岩,否则,推测应有 较好的自广北斜坡向八面河断裂带的运移效应.并 且,倘若页岩层理为油气运移通道,八面河断裂带的 油气运移分馏效应则可能不太明显,或者很可能只 有顺斜坡上倾方向、由北而南单一方向的运移分馏 效应,不太可能具备主要油气注入点的情形,因未熟 一低熟烃源岩呈半环状与断裂带平行、毗邻分布.油 源调查亦揭示原油与2600~2700m之下的深部成 熟烃源岩具有相关性<sup>[7]</sup>.

2.2 垂向运移分馏效应

为了探讨油气垂向运移方式,对八面河地区斜 坡及断裂带多口井点的不同层位原油做了运移分馏 效应分析,包括面14,面4,面1井区和角4块、广北 6块.除了面1井区规律性不太明显外,其他井点基 本一致指示油气由深而浅的运移分馏效应(图1,2, 3,4,表1),指示断层是油气运移的重要通道.

### 3 油气运聚模式讨论

综合八面河油田含氮化合物侧向、垂向运移分 馏效应,结合其他方面的研究成果,认为八面河断裂 带以断层、不整合面与生油洼陷相连通,其次为渗透 性储层,主要油气注入点为构造、断裂活动较为强烈

Table 1 Vertical migration effect parameters of crude oils in Bamianhe oilfield						
参数	面 14-8-5	面 14-7-6	面 14-2-9	面 14-3-4	角 4X20	<b>角</b> 4X18
C <sub>4</sub> -/C <sub>2</sub> -咔唑	2.174	2.535	2.780	8.101	1.424	2.686
1,8-/2,5- <b>二甲基咔唑</b>	1.021	1.502	1.529	2.801	1.043	1.697
1,8-/(1,6+1,7)- <b>二甲基咔唑</b>	0.442	0.521	0.576	0.804	0.545	0.547
1,8-/NEXs-二甲基咔唑	0.172	0.208	0.204	0.394	0.239	0.266
1,8-/NPEs-二甲基咔唑	0.159	0.161	0.177	0.279	0.188	0.189
2,4-/2,5- <b>二甲基咔唑</b>	1.398	2.159	2.178	2.187	0.973	1.586
咔唑/苯并咔唑	0.860	1.207	1.187	—	0.913	0.677
芳烃(µg/g)	5 621.8			2 149.2	4 183.4	3 644.3
<b>三芴系列</b> (μg/g)	1 197.9			872.4	1 695	$1\ 440$
岱	13 723			6 706	8 349	9 225





图 3 八面河原油垂向运移分馏效应(箭头指示油气运移方向)

Fig. 3 Vertical migration effects of crude oils in Bamianhe oilfield





Fig. 4 Migration and accumulation model of oil and gas in Bamianhe oilfield

的面 1一莱 5 区块一带,某些断块可能另有次要油 气注入点与油源相通.原油在平面和剖面的运聚模 式如图 1,4 所示.广北斜坡带含油气区连通性可能 较差,靠近生油洼陷的油藏成藏较晚,原油成熟度的 偏高指示其为后期生成并运移聚集为更成熟的原油.

八面河油气运聚模式亦与该区构造发育特点及 油气分布规律相吻合,中生代时期,东北青坨子凸起 的抬升与南部广饶凸起抬升相互挤压,产生压性右 旋应力场,末期压力的释放形成八面河基底断裂;新 生代时期向北推力增强,向南推力变弱,应力场变为 左旋,受基底断层的控制,形成下第三系盖层雁列式 分布的断裂组合,八面河断裂带中北部一面1区至 莱5块附近可能为右、左旋的应力交界点,因而为构 造活动的主要交界处,进而成为油气运移的活跃区. 砂岩的展布分析表明,广9至广8块延伸方向有一 较为发育的沙四段砂岩条带,该砂体条带正好与八 面河断裂带交汇干面1至莱5块,部分油气可以这 一砂岩运载层作侧向运移. 八面河断裂带由北往南 地层逐渐抬升,与该区部分油气经由主要油气注入 点向南部高点运移、部分油气通过次要油气注入点 直接来自下部地层并作垂向运移聚集的推断相吻 合.八面河油田油气分布规律反映,油气富集及产量 的高低与距生油洼陷的距离及储层性质有密切的关 系,面 120,面 22,面 23 等区含油丰度明显低于其他 含油区块,与其远离生油洼陷相关.

本研究认为,该区以往所确认的油气运聚模式, 即以页岩层理和裂隙为运移通道、以古斜坡为长距 离运移途径,沙四上段生油岩上、下分别被厚层泥岩 封闭而形成一种独立的油气运聚系统<sup>[6]</sup>,可能并不 完全代表该区的油气运聚模式.以深部大断裂、不整 合面及局部砂岩运载层与油源区沟通、以盖层断裂 为主要运移通道,形成以断块、断鼻为主的构造油藏 类型为八面河断裂带主要的油气运聚模式;广北一 带则为以反向屋脊断层与岩性相结合,形成断块一 岩性及断鼻为主要油气藏类型的油气运聚模式.

## 4 **结论**

(1) 吡咯类化合物油气运移分馏效应指示,面1 区至莱5块为八面河断裂带的主要油气注入点.油 气自主要注入点向两侧、特别是南侧作顺斜坡上倾 方向运移; 广利洼陷原油具有向八面河断裂带北端 和羊角沟油田运移的分馏效应; 八面河断裂带北端 和羊角沟油田运移的分馏效应; 八面河断裂带及其 斜坡带垂向运移效应显著,指示断层是油气运移的 主要通道. (2) 依据原油运移分馏效应,结合烃类组 成及油源对比的结果,认为八面河断裂带有2个主 要油源区——牛庄洼陷和广利洼陷,广利洼陷提供 的油气主要聚集于八面河断裂带北部及斜坡带北 部; 牛庄洼陷提供的油气分布于断裂带的中部和南 部. (3) 八面河油田以断层、不整合面及局部的砂岩 储集层为主要运移通道,形成以断块、断鼻油藏为主 的油气藏; 广北斜坡带以反向屋脊断层与岩性相结 合,形成断块一岩性油藏为主的油气藏.

#### 参考文献:

[1] 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[M].北京:地质出版社, 1996.

ZHANG L Y, ZHANG C R. Origins of immature oils and related petroleum systems: case studies from the southern slope of Niuzhuang sag, Jiyang depression [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996.

[2] 洪志华,陈致林,张春荣.济阳坳陷低熟原油特征及成因 [J]. 沉积学报,1997,15(2):89-94. HONG Z H, CHEN Z L, ZHANG C R. Characteristics and origins of immature oils in Jiyang depression [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15(2): 89–94.

- [3] 张林晔,陈致林,张春荣,等. 济阳坳陷低熟油形成机理研究[J]. 勘探家,2000,5(3):36-40.
  ZHANG L Y, CHEN Z L, ZHANG C R, et al. Genetic mechanism of immature oils in Jiyang depression [J].
  Explorationist, 2000, 5(3): 36-40.
- [4] Li M, Larter S R, Stoddart D, et al. Practical liquid chromatographic separation schemes for pyrrolic and pyridinic nitrogen aromatic heterocycle fractions from crude oils suitable for rapid characterisation of geochemical samples [J]. Analytical Chemistry, 1992, 64: 1337 -1344.
- [5] 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 Special Publication, 1995, 86: 103-123.
- [6] 李素梅. 非烃(吡咯类、酚类)地球化学研究:方法、分布 特征与应用[D]. 北京:中国地质大学,1999. 74-86.
  LISM. Nonhydrocarbon (pyrrolic nitrogen compounds and phenols) geochemistry: isolation schemes [D]. Beijing: China University of Geosciences, 1999. 74-86.
- [7] 庞雄奇,李素梅,黎茂稳,等. 八面河地区"未熟-低熟 油"成因探讨[J]. 沉积学报,2000, 15: 89-93.
  PANG X Q, LI S M, LI M W, et al. Origin of immature oils in Bamianhe oilfield [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 15: 89-93.

## Discussion on Petroleum Migration in Bamianhe Oilfield of Dongying Depression, Eastern China

PANG Xiong-qi<sup>1</sup>, LI Su-mei<sup>2</sup>, LI Mao-wen<sup>3</sup>, JIN Zhi-jun<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory for Hydrocarbon Accumulation, Ministry of Education, Beijing 102249, China;
2. Basin & Reservoir Research Center, University of Petroleum, Beijing 102249, China;
3. Geology Survey of Canada, Calgary)

Abstract: Petroleum migration study of Bamianhe oilfield of Dongying depression, eastern China is observed on the basis of detailed work of investigating genetic mechanism and source rock of the petroleum. It is proved that pyrrolic nitrogen compound, a kind of non-hydrocarbon fraction, could be used as parameters in evaluating the quantity of migrated oil. Besides the pyrrolic nitrogen compounds, absolute

(下转 688 页)