

文章编号: 1000-0550(2007)05-0795-05

牛庄—八面河地区原油混源问题探讨及混合比计算^①

郑亚斌^{1,3} 黄海平² 周树青² 杜秀娟³

(1 中国石化石油勘探开发研究院 北京 100083 2 中国地质大学 北京 100083 3. 中国矿业大学 北京 100083)

摘要 采用有机地球化学方法对牛庄—八面河地区混源油问题进行了研究。将来自沙三段成熟源岩的牛庄油田原油和来自沙四段源岩的八面河油田原油作为端元,通过伽马蜡烷含量 C_{30} 藿烷与藿烷 甾烷交会图、重排单芳甾 / $C_{27}\beta S$ 单芳甾比值和芳香甾含量交会图等方法,尝试计算了原油的混合比。计算结果显示从牛庄洼陷向八面河地区沙四段来源油的比例逐渐增加且两种方法计算的混合比一致。牛庄洼陷中心以沙三段来源油占绝对优势,八面河斜坡区则是以沙四段来源油为主,而王家岗地区则二者兼而有之。

关键词 牛庄洼陷 八面河 混源油 混合比 生物标志物 芳香甾

第一作者简介 郑亚斌 男 1966 年出生 博士后 油藏描述与油气成藏 E-mail: zhengyb@pepris.com

中图分类号 P593 **文献标识码** A

0 引言

东营凹陷的低熟油最近引起很大争议,张林晔等通过模拟实验和自然演化剖面对比研究表明,济阳凹陷的沙四段和沙一段烃源岩之所以在埋藏较浅的情况下形成了大规模的低熟油资源,有以下几方面的重要原因:①沙四段、沙一段烃源岩中存在富含藻类的有机质富集层,它是形成低熟油的物质基础;②富含有机酸、钾离子、铝离子的地层流体特征加速了粘土矿物的成岩演化,促进了低熟油的生成;③可溶有机质是形成低熟油的主要贡献者;④成化环境有利于可溶有机质的保存。通过对其成油体系的剖析发现,低熟油成藏具有早生、早排、成藏期晚、运移距离短等特点^[1]。Zhang Linye 等研究认为,东营凹陷沙四段烃源岩中大约 79% 的有机质含有非共价键,形成于成化湖沉积环境,其有机质组成并非真正的干酪根而是可溶有机质,所以在低温条件下即可生烃;而沙三段烃源岩则有 60% 的有机质含有共价键,形成于微咸—淡水的深湖相,有机质主要由干酪根组成,在高温条件下才能生烃^[2]。庞雄奇等采用多馏分绝对定量、非烃技术,配合有机地球化学常规分析,在地质、地球化学综合研究的基础上,主要从分子地球化学角度对东营凹陷八面河“未熟—低熟油”成因进行了剖析,认为以往研究确认的埋藏较浅的有机质富集层段—沙四段未熟—低熟页岩段并非该区“未熟—低

熟油”的主力烃源岩,该区原油主要来自已进入生油门窗的成熟烃源岩,未熟—低熟烃源岩供应的油气质非常有限,八面河“未熟—低熟油”并非真正意义上的未熟—低熟油,该区原油成因机理仍然遵循干酪根晚期降解成烃理论^[3~5]。原油及烃源岩中甾类化合物的分布特征也说明,八面河地区原油主要来自沙四段生油窗的源岩^[6,7]。

虽然前人做过很多研究工作,但是在牛庄—八面河地区油源认识上仍存在两个重要问题有待进一步深入研究:其一是到底来自沙三段和来自沙四段烃源岩生成的油气各占多少;其二是成熟度问题,即成熟油和未熟—低熟油的贡献大小。

本文旨在通过对牛庄—八面河地区原油样品地球化学分析,着重计算不同层位即沙三段和沙四段来源油的混源比例。从而对从深洼陷到斜坡带不同构造单元上油气成藏和油源得出新的认识。

1 样品和实验

对牛庄油田→王家岗油田→八面河油田剖面进行了系统取样。对 20 个油样进行详细的地球化学分析。实验过程如下:取 50 mg 左右原油溶解在 8 ml 冷己烷中,用超声波处理使油和己烷完全混合,沉淀分离沥青后加入标样,利用固相抽提方法(SPE),首先将原油分离成烃(脂肪烃和芳香烃)和非烃馏分(包括苯酚和吡啶),用自制硝酸银硅胶柱分离饱和

^①国家自然科学基金项目:辽河冷东油田原油生物降解作用机理研究及降解速度定量表征(批准号:40373022)资助

收稿日期:2006-11-13 收修改稿日期:2007-04-26

烃和芳香烃, 烃类馏分分别进行色谱质谱分析, 色谱型号为 Hewlett Packard (HP) 5890 系列 II, 内装 HP-5 硅胶毛细管柱 (30 m × 0.25 mm × 0.25 μm), 所连质谱为 HP 5972 MSD。分析采用单一离子检测 (SM) 模式, 离子化能 70 eV, 灯丝电流 220 μA, 源温度 190°C, 放大器电压 2 000 V, 进行要分析样品的脂肪烃和芳烃馏分质谱分析。GC 箱程序温度为 40°C (初保留时间 3 min), 以 4°C/min 升温到 300°C (最后保留时间 20 min)。用氦作载气, (在加压坡上流速 1 ml/min)。

通过与前人特定的油样延迟时间的对比识别特定的化合物。利用峰面积积分, 根据生物标志物参数计算脂肪烃和芳烃的比值。内标, 10 μl (12 838.6 μg) 角鲨烷和 10 μl (2 095.3 μg) 1,1'-联萘, 在进一步分离成脂肪烃和芳香烃馏分之前被加到馏分中; 使用银氮硅胶 SPE 柱, 分别用己烷和二氯甲烷洗提^[8]。

2 原油混合比计算

对牛庄洼陷到八面河斜坡上原油进行了系统绝对定量, 结果表明, 沙四段来源 (低熟) 油与沙三段来源 (成熟) 油不仅在甾烷成熟度参数上有差异, 其 C_{27} 单芳甾和重排单芳甾比值也有明显差异, 更重要的是沙四段来源油和沙三段来源油的甾萜烷绝对含量明显不同, 沙三段成熟油中萜烷含量大大高于甾烷含量, 藿甾比在 3.0 以上, 而沙四段低熟油则甾烷含量高于藿烷, 藿甾比不到 0.5 这使庞雄奇等认为少量低熟油混入是原油甾烷成熟度参数变化的主要原因^[3]。研究同样发现八面河油田原油的成熟度参数已接近成熟油的范畴, 具混源特征。问题的关键是沙四段来源油中混有少量沙三段来源油还是沙三段来源油中混有少量沙四段来源油? 这个问题至今并没有解决。Li Sumei 等研究认为八面河地区原油主要来自于牛庄洼陷沙四段泥岩形成的低熟—成熟油, 选用甾烷作为定量指标进行计算结果是八面河地区混入的低熟油不超过 18%^[9]。

混源研究是一个比较复杂的问题, 因为在一个地区或一个剖面既可能有不同层位原油的混合, 有可能有不同成熟度原油的混合^[10-11], 或者二者兼而有之。如何剔除其他因素的影响单独分析不同成熟度或不同层位原油的混合比更是难题, 本文着重讨论不同烃源岩层位原油的混源问题。由于牛庄洼陷沙四段烃源岩与沙三段烃源岩沉积环境不同、生物先体不同,

造成其有机质的生油演化过程存在差异, 产物特征不同, 正是基于此才有可能通过地球化学方法对不同层位来源油进行混源研究。如伽玛蜡烷含量 C_{30} 藿烷、甾烷 藿烷、Pr/Ph 等是反映沉积环境和母源输入的参数, 沙四段属于超盐环境, 以菌藻类低等生物为主, 反映在生油产物上, 沙四段来源油以高伽玛蜡烷 C_{30} 藿烷、甾烷 藿烷、Pr/Ph 为特征, 而沙三段来源油则与之相反。

2.1 生物标志物参数计算混源比

本次研究对位于八面河油田下倾方向的王家岗油田、牛庄油田原油进行系统分析, 生物标志物参数分析发现王 91-5 井和王 21-斜 2 井具典型沙四段低熟油的特征, 从原油物性组成上看, 尽管其埋深大于八面河油田, 生物降解程度低于八面河油田, 但原油的密度和粘度比八面河原油要高。从生物标志物组成看, 其甾烷和单芳甾成熟度参数均低于八面河原油, 王 91-5 井的伽玛蜡烷指数 > 1.0 (部分原因与生物降解作用有关), Pr/Ph 只有 0.14 是真正意义上的低熟油。沙三段成熟油的代表是牛 37-1 井和牛 101 井, 它们的伽玛蜡烷指数分别为 0.08 和 0.16 Pr/Ph 接近 0.5 其它原油实际上可看做这两者的混合。将这两个典型原油作为端元, 则从牛庄洼陷到八面河斜坡, 沙三段来源油的比例逐渐减小, 沙四段来源油的比例增加。根据这两个端元组成、伽玛蜡烷指数、甾萜烷绝对含量, 伽玛蜡烷 C_{30} 藿烷与藿烷 甾烷交会图对原油的混合比进行了初步计算, 结果显示八面河油田沙四段的贡献在 90% 左右, 沙三段的贡献只有 10%。向洼陷中心, 沙三段的贡献增大, 沙四段的贡献减小, 王家岗地区表现出既有沙三段来源油, 也有沙四段来源油, 到牛庄洼陷中心的牛 101 井则是沙三段来源油占绝对优势 (表 1, 图 1)。

2.2 芳香甾参数计算混源比

从芳香烃的绝对定量来看, 沙四段来源低熟油中芳香烃含量高于沙三段来源成熟油。根据原油中芳香甾的绝对含量和其成熟度指标间的关系, 可以对牛庄洼陷—八面河油田原油的混合比进行计算。端元选择不变, 王 91-5 井代表典型沙四段来源低熟油, 牛 37-1 井为沙三段油源。计算结果与饱和烃生物标志物得出的结果非常吻合, 八面河油田原油沙四段的贡献在 80% 以上, 牛庄油田原油沙四段的贡献大多在 40% 以下, 王家岗油田有些原油接近沙四段, 有些原油接近沙三段, 另外八面河原油特征具有明显的受生物降解影响的特征 (表 1, 图 2)。

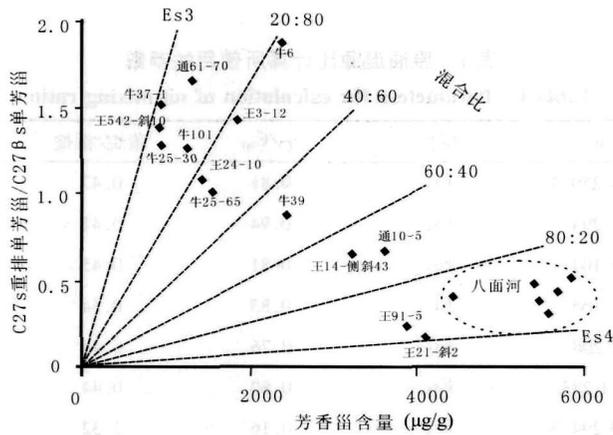


图 2 根据芳香甾对牛庄—八面河原油混合比例进行计算

Fig 2 Calculation of oil mixing ratio on aromatic sterene for Niuzhuang Bamiyanhe area

3 结论和讨论

原油的混源是一个比较普遍的现象,国内外很多油田都存在不同程度的混源油。混源比计算长期以来一直是受到关注但又不好解决的问题。

(1) 通过采用生物标志物和芳烃参数对牛庄—王家岗—八面河地区这样一个从洼陷中心到斜坡区原油的混源比计算,结果比较符合油气运移成藏的规律。但需要指出的是这一计算结果仍然是初步的半定量的,一方面各种参数受到的影响因素很多,另一方面计算端元的选择仍需要更多资料来进一步证实。

(2) 由于沉积环境、生物先体不同,使得沙四段来源油和沙三段来源油在分子组成上存在某些差异,正是这些差异为混合比计算提供了依据。但是,由于大多数生物标志物参数受到成熟度影响,所以计算结果是相对的和粗略的。

(3) 端元的选择是混合比计算的关键所在。选择的端元本身可能也存在混源成分,从这个意义上讲计算的混合比就更是相对的了。事实上很难在多源地区的油藏中找到单来源的原油,而烃源岩抽提物由于未经历运聚过程的变化,与原油参数的可比性也值得商榷。

(4) 关于成熟度问题,烃源岩成熟度评价最初来源于煤岩学,如镜质体反射率 R_o 、孢粉颜色等级等,其他成熟度参数都是参照这一评价体系而建立的。煤岩属于 III 型干酪根,所以目前的成熟度评价指标其实最适合于 III 型干酪根。但是很多研究业已证实^[1-3],不同类型的烃源岩其成熟的门限和生烃高峰所对应的煤岩演化阶段并不一致。从 I 型到 III 型,烃

源岩成熟的门限温度和埋深是逐渐升高的^[12]。而牛庄洼陷及南斜坡八面河地区沙四段属于超盐环境的烃源岩,其门限温度可能更低,用目前的成熟度评价指标就会得出所谓“低熟油、未熟油”的结论。但实际上这一成熟度评价指标并不适应该类烃源岩,换言之,对于超盐环境的烃源岩“低熟油”可能不是特殊情况,而是其固有的生烃规律,所以,今后有必要针对不同类型的烃源岩建立更完善而严密的成熟度评价指标体系。

参考文献 (References)

- 张林晔, 张守春, 黄开权, 等. 半咸水湖相未熟油成因机理模拟实验研究. 科学通报, 1999 44(4): 361-368 [Zhang Linye, Zhang Shouchun, Huang Kaiquan, et al. Simulation experiment of immature oil generation mechanism in lake facies of semi saltwater. Chinese Science Bulletin, 1999 44(11): 980-988]
- Zhang Linye, Song Yitao, Wang Guangli, et al. Organic compositions of lacustrine source rocks in Jiyang super depression and its implication to petroleum geology. Chinese Science Bulletin, 2006 51(5): 573-584
- 庞雄奇, 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 19(4): 586-591 [Pang Xiongqi, Li Sumei, Li Maowen, et al. Origin of immature oils in Bamiyanhe oilfield. Acta Sedimentologica Sinica, 2001 19(4): 586-591]
- 庞雄奇, 李素梅, 金之钧, 等. 渤海湾盆地八面河地区油气运聚与成藏特征分析. 中国科学(D), 2004 34(增刊 I): 152-161 [Pang Xiongqi, Li Sumei, Jin Zhijun, et al. Origin and accumulation of the oils from Bamiyanhe Oilfield, Bohai Bay Basin, Eastern China. Science in China (Series D), 2004 47: 177-189]
- 李素梅, 庞雄奇, 金之钧, 等. 牛庄洼陷南斜坡未熟—低熟烃源岩排烃特征探讨. 沉积学报, 2004 22(1): 161-168 [Li Sumei, Pang Xiongqi, Jin Zhijun, et al. Discussion of hydrocarbons expulsion from less mature source rocks in the Niuzhuang South Slope of Dongyi Depression, Bohai Bay Basin. Acta Sedimentologica Sinica, 2004 22(1): 161-

- 168]
- 6 李素梅, 庞雄奇, 金之钧. 八面河地区原油、烃源岩中甾类化合物的分布特征及其应用. 地球科学——中国地质大学学报, 2002 17 (6): 711-717 [Li Sum ei Pang X iongqi Jin Zhijun. Distribution and significance of steroids in Ban ianhe Oilfield East China Earth Science— Journal of China University of Geosciences 2002 17 (6): 711-717]
 - 7 施继锡, 余孝颖. 未熟—低熟油流体特征——以济阳坳陷古近系为例. 矿物岩石地球化学通报, 2003 22(4): 314-318 [Shi Jixi Yu Xiaoying. Characteristics of immature to low mature oil fluids as exemplified by the Lower Tertiary of the Jiyang Depression. Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry. 2003 22(4): 314-318]
 - 8 Bennett B Larter S R. Quantitative separation of a liphatic and aromatic hydrocarbons using silver ion silica soil phase extraction. Analytical Chemistry. 2000 72(5), 1039-1044
 - 9 Li Sum ei Pang X iongqi Jin Zhijun. Application of Biomarkers in Quantitative source assessment of oil pools Acta Geologica Sinica 2004 78(3): 684-690
 - 10 李素梅, 庞雄奇, 邱桂强, 等. 东营凹陷王家岗孔店组油气成因解析. 沉积学报, 2005 23(4): 726-733 [Li Sum ei Pang X iongqi Qiu Guiqiang et al. Origin of the deep oils from Kongdian Formation Dongying Depression Bohai Bay Basin Acta Sedimentologica Sinica 2005 23(4): 726-733]
 - 11 梁宏斌, 张敏, 王东良, 等. 冀中坳陷苏桥—文安地区混源油定量识别模式研究——典型原油混合实验及混源油识别模式. 沉积学报, 2004 22(4): 689-693 [Liang Hongbin Zhang Mia Wang Dongliang et al. Quantitative identification model of mixed oils from Suqiao Wenan Area in Jizhong Depression mixed experiment of typical oils and identification model of mixed oils Acta Sedimentologica Sinica 2004 22(4): 689-693]
 - 12 李明诚. 石油与天然气运移 (第三版). 北京: 石油工业出版社, 2004 182 [Li Mingcheng. Oil and Gas Migration (3rd Edition). Beijing Petroleum Industry Press 2004 182]

Discussion on Oil Mixing and Calculation of Mixing ratio in Niuzhuang to Banianhe Area Dongying Depression

ZHENG Ya bin^{1 3} HUANG Hai ping² ZHOU Shu qing² DU Xi tian³

(1. Exploration & Production Research Institute SINOPEC Beijing 100083

2. China University of Geosciences Beijing 100083

3. China University of Mining & Technology Beijing 100083)

Abstract It has been performed that investigating the mixed oil in reservoirs from Niuzhuang to Banianhe oilfield with organically geochemical method. Using mature oil in Niuzhuang oilfield from E₃ source rocks and low-mature oil in Banianhe oilfield from E₄ source rocks as two end members to make cross plots of gammacerane C₃₀-hopanoid ratio and hopanoid/sterane ratio rearranged monoarylsterane C₂₇βS monoarylsterane ratio and the content of aromatic sterene, then calculated the oil mixed rate based on the cross plots. The result indicated that the mixing ratio of oil from E₄ source rocks step up from Niuzhuang sub-depression to Banianhe oilfield, and got similar data from two cross plots. Mature oil from E₃ source rocks dominated in the centre of Niuzhuang sub-depression, low-mature oil from E₄ source rocks dominated in Banianhe oilfield, and two type oil mixed in Wangjiagang oilfield.

Key words Niuzhuang Sub-Depression Banianhe oilfield mixed oil mixing ratio biomarker aromatic sterene