

北黄海盆地中生界原油特征及油源初探

刘金萍¹, 王嘹亮¹, 简晓玲¹, 王改云¹, 胡小强¹, 廖玉宏²

(1. 广州海洋地质调查局, 广州 510760; 2. 中国科学院 广州地球化学研究所, 广州 510640)

摘要:北黄海盆地是中国勘探程度较低的一个海域, 目前发现的原油产于下白垩统。其原油具有高密度、中高含蜡、低含硫的特点, 属于较典型的湖相成熟原油, 未经历过明显的生物降解过程。对原油及该盆地内两套主要的烃源岩(中侏罗统和上侏罗统烃源岩)进行色谱、质谱及碳同位素组成特征等分析, 进行油源对比, 结果表明:原油的碳同位素组成、异戊二烯烷烃分布、萜烷和甾烷类生物标志物及分子级的正构烷烃单体碳同位素组成等特征都与中侏罗统烃源岩存在较大差别, 原油应来源于上侏罗统烃源岩中干酪根类型较好、母质以低等水生生物为主的湖相成熟烃源岩。

关键词:北黄海盆地; 中生界; 原油特征; 油源对比

文章编号: 1001-3873(2013)05-0515-04

中图分类号: TE112.43

文献标识码: A

1 地质概况

北黄海盆地是在华北地台隆起背景之上发育的中新生代陆内断陷盆地。盆地主要由东部、中部、西部3个拗陷和南部众多小断陷组成(图1), 其内自下而上发育中侏罗统、上侏罗统、下白垩统、始新统、渐新统和新近系, 最大沉积厚度7 000余米。研究表明, 北黄海盆地具有有利的石油地质条件, 存在多套含油气系统, 主要烃源岩为上侏罗统和中侏罗统湖相暗色泥岩, 主要储集层为下白垩统与上侏罗统砂岩。北黄海盆地尚处于勘探早期, 许多基础问题有待解决。本文就北黄海盆地中生界原油特征及油源对比问题进行研究, 旨在对今后该盆地的油气勘探有所帮助。



图1 北黄海盆地构造区划(据文献[1], 略修改)

2 原油特征

(1) 基本物性 目前北黄海盆地的原油均采自下白垩统, 原油的基本物性特征见表1。

表1 原油基本物性特征

| 分析号 | 深度 (m) | 密度 (g/cm ³) | 黏度 (mPa·s) | 凝固点 (°C) | 含蜡量 (%) | 含硫量 (%) | 初馏点 (°C) |
|-----|-------------|-------------------------|------------|----------|---------|---------|----------|
| 1 | 2 323~2 351 | 0.904 | 61.16 | 23 | 15.92 | 0.15 | 136 |
| 2 | 2 615~2 625 | 0.890 4 | 26.68 | 20 | 10.54 | 0.13 | 105 |

从表1可看出, 浅层黏度稍大, 黏度与密度呈同步增长关系; 浅层凝固点稍高, 这两层原油均属于高密度、中高蜡低硫原油。

(2) 原油的地球化学性质 从表2可以看出, 原油的族组成比较相似, 碳同位素组成较轻是北黄海盆地白垩统原油的显著特点, 这在我国并不多见。

表2 原油族组成及碳同位素组成

| 分析号 | 原油族组成 (%) | | | | δ ¹³ C (‰) | | | | |
|-----|-----------|-------|------|-------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|
| | 饱和烃 | 芳烃 | 非烃 | 沥青质 | 饱和烃 | 芳烃 | 非烃 | 沥青质 | |
| 1 | 41.42 | 32.13 | 7.05 | 19.40 | -34.2 | -36.0 | -33.2 | -32.4 | -31.8 |
| 2 | 50.59 | 29.09 | 4.93 | 15.39 | -33.1 | -35.5 | -32.9 | -32.3 | -31.6 |

原油正构烷烃呈单峰型分布(图2), 主峰碳均为C₁₅, 其他碳数烷烃近于正态分布, 正构烷烃完整, 没有经历过明显的生物降解; $m(C_{21-})/m(C_{22+})$ 值为1.02和1.38, $m(C_{21}+C_{22})/m(C_{28}+C_{29})$ 值为1.51和1.82, 反映出低碳数同系物的明显优势, 说明成烃母质中以低等水生生物为主; 原油正构烷烃奇偶优势不明显, 碳优势指数值均为1.12; 原油中植烷、姥鲛烷的含量相对较

收稿日期: 2012-12-26

修订日期: 2013-05-09

作者简介: 刘金萍(1974-), 女, 黑龙江集贤人, 高级工程师, 地球化学, (Tel)020-82251570(E-mail)peg.jp.liu@gmail.com.

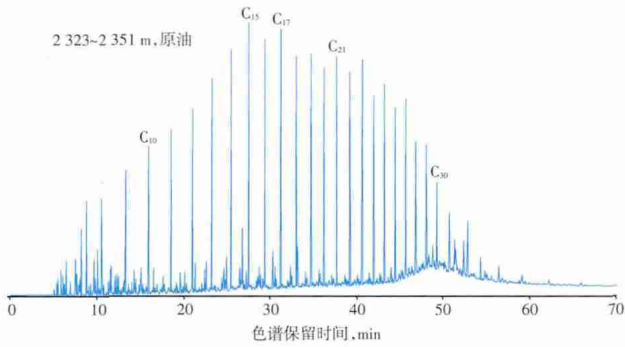


图2 原油全油色谱

高, $m(\text{Pr})/m(\text{nC}_{17})$ 值和 $m(\text{Ph})/m(\text{nC}_{18})$ 值分别为 0.3 和 0.2, 姥植比分别为 1.94 和 1.64, 符合一般湖相原油的姥植比特征, 且表明这些原油属于成熟度不是很高的湖相原油, 与煤系原油的姥植比明显不同。

原油保留了一定数量的轻质烃(图3)。C₈以前轻烃中以正构烷烃和环烷烃为主; 在 C₇ 轻烃组成中, 正庚烷占 32%~34%, 甲基环己烷(mcC_6)占 45%~48%, 二甲基环戊烷占 20%左右; 苯和甲苯含量特别低, 表明原油应属于原生油气藏原油, 同时也表明原油的母质有机质类型较好。

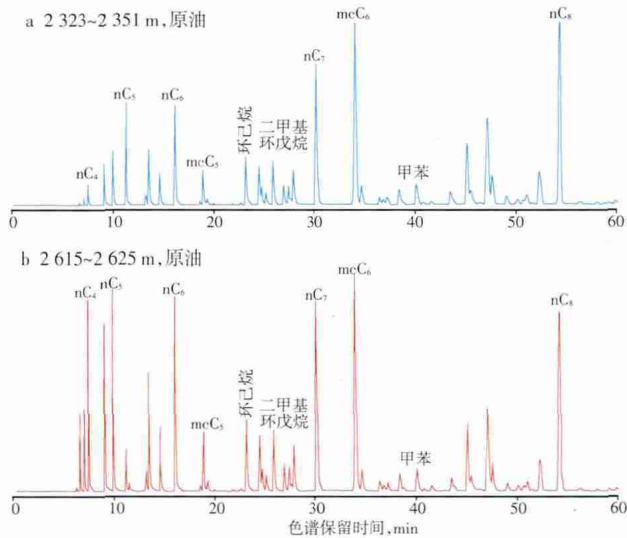


图3 原油轻烃色谱

3 油源对比

早期关于邻区的烃源岩和油源问题有学者作过相关研究^[2-4]。目前的研究证实北黄海盆地烃源岩主要为中侏罗统和上侏罗统暗色泥岩。下面将原油与这两套烃源岩进行对比, 期望找到精确的产油层位, 以指导该区的油气勘探。

(1) 碳同位素组成特征 不同来源、不同环境中发育的生物具有不同的稳定碳同位素组成^[5,6]。腐泥型干酪根的碳同位素组成偏轻, 一般小于 -28.0‰, 而

腐殖型干酪根碳同位素偏重, 一般大于 -26.0‰^[7]。该区的两层原油具有非常轻的碳同位素组成, $\delta^{13}\text{C}$ 值分别为 -34.2‰和 -33.1‰(表 1), 可知生成这些原油的干酪根也应该具有很轻的碳同位素组成。分析数据显示(图 4), 上侏罗统烃源岩干酪根的 $\delta^{13}\text{C}$ 值在 -34.0‰~-24.0‰, 与目前发现的原油有重叠区域; 而中侏罗统烃源岩干酪根的 $\delta^{13}\text{C}$ 值偏重, 在 -26.7‰~-23.5‰, 指示以腐殖型有机质为主, 与目前发现的原油存在较大的差异。据此判断, 原油应与上侏罗统中有机质类型较好、母质以低等水生生物为主的湖相烃源岩具有较近的亲缘关系。

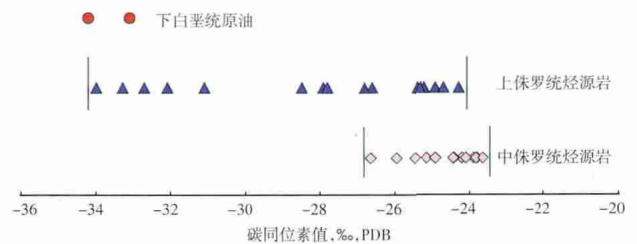


图4 原油与中上侏罗统烃源岩干酪根碳同位素组成对比

(2) 异戊二烯烷烃分布特征 姥鲨烷(Pr)和植烷(Ph)具有较好的稳定性, 姥鲨烷与植烷的比值能较好地反映生成原油的有机质性质及其沉积环境, 常作为判断沉积环境氧化-还原条件及介质盐度的标志, 高的姥植比指示氧化环境, 低的姥植比指示还原环境^[7]。

大多数上侏罗统烃源岩样品的姥植比相对较低, 为 1.1~2.2, 与原油的姥植比相近, 指示沉积环境应以偏还原的湖相环境为主; 而中侏罗统烃源岩样品的姥植比较高, 为 2.0~3.4, 指示了当时的沉积环境应是偏氧化的环境, 也说明中侏罗世一晚侏罗世, 坳陷中的水体环境发生了明显的变化。烃源岩抽提物中姥植比与碳同位素具有较好的对应关系(图 5), 姥植比值低的样品碳同位素组成也相应较低, 同样证实了原油与上侏罗统烃源岩之间较近的亲缘关系。

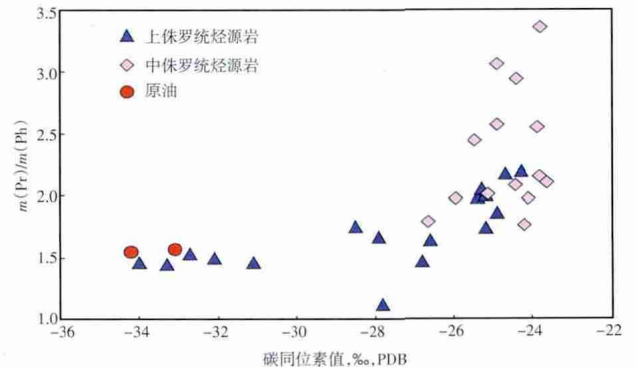


图5 原油与中上侏罗统烃源岩干酪根碳同位素组成及姥植比对比

(3) 萜烷和甾烷类生物标志物特征 原油与上侏

罗统有机质类型好的烃源岩抽提物中萜烷和甾烷类生物标志化合物具有比较相似的特征(图6),共同点为:萜烷组成中以五环萜烷为主,三环萜烷的含量低;五环萜烷中以C₃₀藿烷为主,其次为C₂₉藿烷,C₃₁以上藿烷的含量依次降低;含有一定的伽马蜡烷,含有比较丰富的C₂₉Ts和Ts藿烷,重排藿烷的含量低;在甾烷的组成中(图7),主要为 $\alpha\alpha\alpha$ -20R构型甾烷,且在峰高上以C₂₉20R甾烷为最高,C₂₇低于C₂₉但高于C₂₈,重排甾烷含量相对较低。

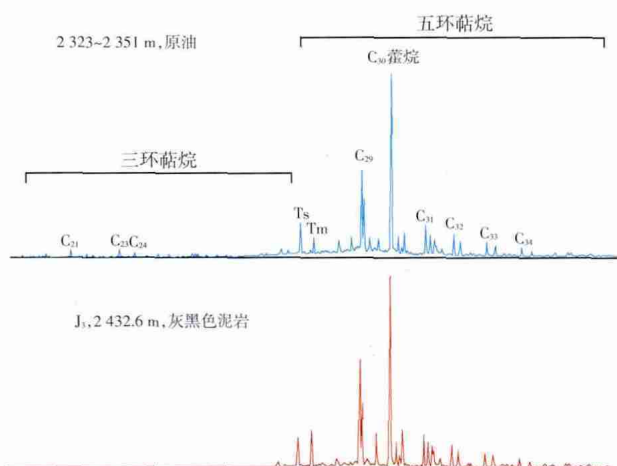


图6 原油与上侏罗统烃源岩抽提物萜烷分布对比

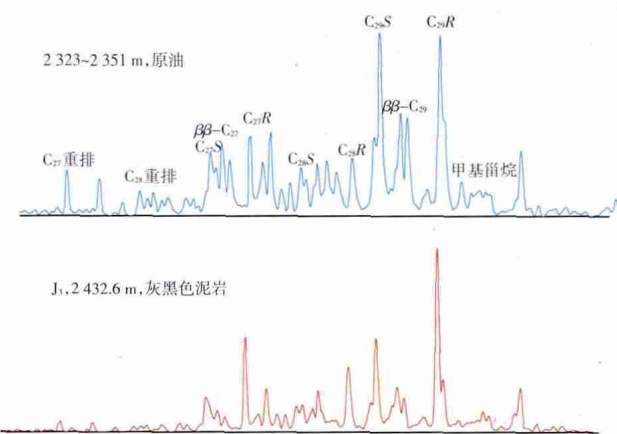


图7 原油与上侏罗统烃源岩抽提物甾烷分布对比

原油与中侏罗统烃源岩抽提物中甾烷类生物标志化合物之间的差异明显(图8),最主要的差异是:原油中规则甾烷中C₂₇甾烷的含量相对较低,而中侏罗统烃源岩抽提物中C₂₇甾烷则相对比较高;原油中重排甾烷的含量相对较低,而中侏罗统烃源岩抽提物中重排甾烷的含量普遍较高,表明有机质沉积环境的还原性相对较差,与原油的生成环境有较大差异;原油中普遍含有高丰度的3-甲基甾烷、4-甲基甾烷和甲基甾烷,表明原油的母质以藻类为主;而中侏罗统烃源岩中这些化合物的含量很低,尤其缺少甲基甾烷。

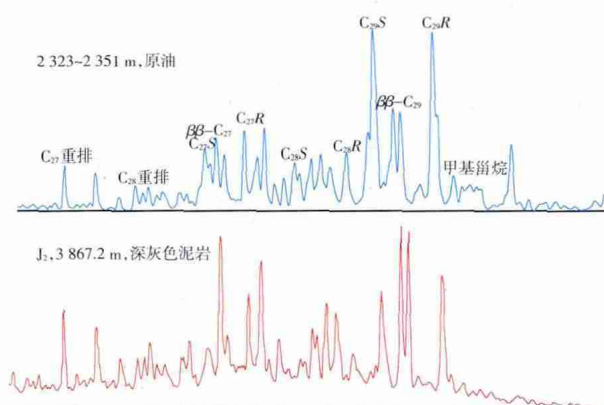


图8 原油与中侏罗统烃源岩抽提物甾烷分布对比

(4)正构烷烃单体碳同位素组成特征 原油和烃源岩的单体烃碳同位素主要反映母源岩的生源与沉积环境,受成熟度、生物降解、油气运移等次生作用的影响相对较小^[8,9]。近年来,GC-IRMS、GC-TC-IRMS技术的发展,使得测定单个化合物的碳同位素值成为可能,也将原油及沉积有机质组分的碳同位素研究提高到了分子级水平,为油和油、油和源对比研究提供了可靠而有效的办法^[10-12]。

原油的正构烷烃单体碳同位素为-33‰~-30‰,大体上是水平分布的(图9)。中侏罗统烃源岩抽提物中液态正构烷烃单体碳同位素组成呈正倾斜分布,为-28‰~-24‰,与原油之间存在着明显差别;而上侏罗统烃源岩抽提物中液态正构烷烃单体碳同位素组成基本呈水平分布,为-34‰~-26‰,说明原油与碳同位素组成相近的上侏罗统烃源岩之间具有一定的亲缘关系。

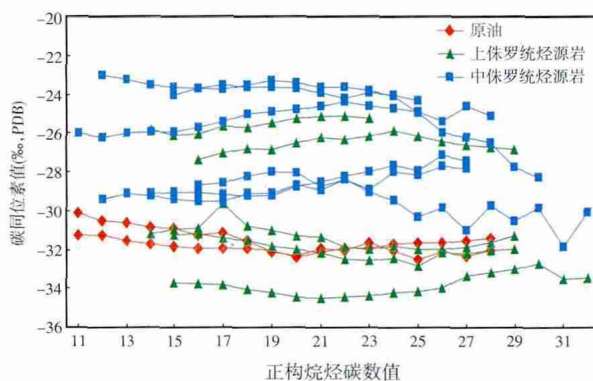


图9 烃源岩抽提物及原油正构烷烃单体碳同位素分布曲线

4 油源探讨

北黄海盆地自中侏罗世—渐新世,均接受陆相沉积,发育河湖—三角洲等沉积体系。受热演化程度等条件的限制,盆地内主要烃源岩为上侏罗统和中侏罗统湖相暗色泥岩,而目前的研究表明,由于中侏罗世是盆地形成的初始阶段,水体环境变化较大,受沉积

速率和水体环境等条件的影响,中侏罗统烃源岩母质以陆源高等植物为主,主要为Ⅲ型干酪根,有机碳含量中等,总有机碳氢指数多在 200 mg/g 以下,有机质主要由碎屑镜质体和碎屑惰质体组成,缺少富氢的组分,绝大部分不是有效的油源岩,而是一套以生气为主的倾气型源岩;

晚侏罗世,盆地水体范围扩大,水动力条件变弱,水体环境偏还原,在这种沉积环境中发育了有机质类型较好的湖相烃源岩,但该时期陆源有机质的供给仍占很大比重,这使得上侏罗统烃源岩具有混合型有机质的特点,有机质类型较混杂。上侏罗统烃源岩母质为高等植物和低等水生生物混杂,兼有Ⅱ型和Ⅲ型干酪根,其中干酪根类型较好、有机质丰度较高的成熟烃源岩可以成为有效的油源岩。而该套烃源岩生成的油气可以通过断裂及不整合面运移到下白垩统储集层中。地球化学分析结果也支持目前采自下白垩统的原油与上侏罗统中的部分烃源岩具有较近的亲缘关系。

5 结论

(1)北黄海盆地目前发现的原油属于较典型的湖相原油,原油没有经历过明显的生物降解。

(2)原油的碳同位素组成特征、异戊二烯烷烃分布特征、萘烷和甾烷类生物标志物特征及分子级的正构烷烃单体碳同位素组成等特征都与中侏罗统烃源岩之间差别较大,原油应来源于上侏罗统烃源岩中干酪根类型较好、母质以低等水生生物为主的湖相成熟烃源岩。

参考文献:

- [1] 张莉,周永章,王嘹亮,等.北黄海盆地生烃条件研究[J].天然气工业,2009,29(1):21-25.
- [2] Killops S D, Massoud M S, Scott A C. Biomarker characterization of an oil and its possible source rock from offshore Korea Bay Basin[J]. Applied Geochemistry, 1991, 6(2): 143-157.
- [3] Massoud M S, Killop S D, Scott A C, et al. Oil source rock potential of the lacustrine Jurassic Sim Uuju formation, West Korea Bay basin; Part I: oil-source rock correlation and environment of deposition[J]. Journal Petroleum Geology, 1991, 14(4): 365-385.
- [4] Massoud M S, Scott A C, Killop S D, et al. Oil source rock potential of the lacustrine Jurassic Sim Uuju formation, West Korea Bay basin; Part II: nature of the matter and hydrocarbon-generation history[J]. Journal Petroleum Geology, 1993, 16(3): 265-283.
- [5] 陆婉珍,褚小立.原油的快速评价[J].西南石油大学学报(自然科学版),2012,34(1):1-5.
- [6] 戴鸿鸣,王顺玉,陈义才.油气勘探地球化学[M].北京:石油工业出版社,2011:220-225.
- [7] 李晶,柳成志,高娟,等.南贝尔凹陷下白垩统油源分析及其成藏意义[J].特种油气藏,2012,19(1):38-42.
- [8] 李素梅,郭栋.东营凹陷原油单体烃碳同位素特征及其在油源识别中的应用[J].现代地质,2010,24(2): 252-258.
- [9] Bjørøy M, Hall K, Gillyon P, et al. Carbon isotope variations in n-alkanes and isoprenoids of whole oils[J]. Chem. Geol., 1991, 93(1): 13-20.
- [10] Bjørøy M, Hall K, Moe R P. Stable carbon isotope variations in n-alkanes in Central Graben oils[J]. Org. Geochem., 1994, 22: 355-381.
- [11] 田金强,邹华耀,徐长贵,等.辽东湾地区天然气成因类型[J].新疆石油地质,2011,32(4):345-347.
- [12] 安康,杨磊.中国近海及东南亚地区古近纪断陷盆地湖相烃源岩及油气藏分布[J].新疆石油地质,2010,31(4):337-340.

Crude Oil Characteristics and Oil-Source Analysis of Mesozoic in the North Yellow Sea Basin

LIU Jinping¹, WANG Liaoliang¹, JIAN Xiaoling¹, WANG Gaiyun¹, HU Xiaoqiang¹, LIAO Yuhong²

(1.Guangzhou Marine Geology Survey, Guangzhou, Guangdong 510760, China; 2.Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong 510640, China)

Abstract: The North Yellow Sea basin is one of China's low degree of prospecting area where the crude oil found at present is produced in Lower Cretaceous. It has the characteristics of high density, mid-high wax and low sulfur, belonging to typical lacustrine mature crude oil, without obvious biological degradation. The GC, GC-MS and carbon isotope composition analyses of the crude oil and the Middle and Upper Jurassic source rocks are conducted and the oil-source correlation is made in this paper. The results indicate that the characteristics of the carbon isotopic composition, isoprene, terpane and sterane biomarker, stable carbon isotopic compositions of the individual n-alkanes are different from the Middle Jurassic source rocks. The crude oils could come from the lacustrine mature source rocks with good kerogen type and parent materials dominated by low aquatic organisms.

Key Words: North Yellow Sea basin; Mesozoic; crude oil feature; oil-source correlation