

文章编号: 1001-6112(2011)04-0414-05

北黄海盆地中生界油源对比及成因分析

梁世友^{1,2}, 何将启³, 倪春华², 李海华², 周雨双²

(1. 油气藏地质及开发工程国家重点实验室(成都理工大学), 成都 610059; 2. 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214151; 3. 中海石油(中国)有限公司勘探部, 北京 100010)

摘要:通过北黄海盆地 4 口井中 6 个样品的测试分析, 对该盆地中生界的油—源进行了详细对比和原油成因分析。经过轻烃组成、饱和烃和芳烃的色谱、质谱、饱和烃碳同位素等地化参数类比, 进一步明确了产于下白垩统的原油来源于上侏罗统陆相淡水型、以 II₂ 型为主的生油母质形成的烃源岩。同时, 地化参数表明, 白垩系原油属于带环烷型特征的近石蜡型原油, 是具有高蜡低硫、低钒镍比、保存条件较好的陆相成熟原油。

关键词:原油类型; 油源对比; 成因分析; 中生界; 北黄海盆地

中图分类号: TE122.1⁺14

文献标识码: A

Oil—source correlation and origin analysis of Mesozoic, North Yellow Sea Basin

Liang Shiyu^{1,2}, He Jiangqi³, Ni Chunhua², Li Haihua², Zhou Yushuang²

(1. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China; 2. Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214151, China; 3. Exploration Department, CNOOC, Beijing 100010, China)

Abstract: Oil—source correlation and origin analysis have been carried out in Mesozoic of the North Yellow Sea Basin based on tests of 6 samples from 4 wells. Correlations of geochemical parameters such as light hydrocarbon composition, chromatogram and mass spectrum of saturated and aromatic hydrocarbon, and carbon isotope of saturated hydrocarbon have indicated that crude oils in the Lower Cretaceous mainly come from the continental fresh water and II₂ type source rocks in the Upper Jurassic. The Cretaceous crude oils are similar with the paraffin ones, characterized by naphthene. They are continental mature crude oils with high wax and low sulfur contents, low alum/nickel ratio and good preservation condition.

Key words: type of crude oil; oil—source correlation; origin analysis; Mesozoic; North Yellow Sea Basin

1 研究概况

北黄海盆地是中国黄海海域北部的一个以中—新生界为主的盆地, 呈长椭圆形, 面积约 5 × 10⁴ km², 中新界最大沉积厚度达 8 000 m。在盆地东部经钻探在中生界白垩系砂岩中见油气显示及油流^[1](图 1)。

已有研究成果表明, 北黄海盆地中生界有上侏罗统与下白垩统 2 套陆相烃源岩^[2-7]。Massoud 等人^[8-9]经对 13 井烃源岩与储层原油的地化特征对比研究认为, 下白垩统储层原油与上侏罗统上部新义洲组烃源岩之间具有良好的亲缘关系。

为进一步分析北黄海盆地中生界烃源岩与原

油的成因, 本次在盆地东部已获工业油流的 13 井及其周围的 3, 6, 8, 11 井分别采集了上侏罗统与下白垩统 6 个岩样及 2 口井的油样(表 1), 送中国石化无锡石油地质研究所实验中心测试。根据测试结果进行了油—岩对比分析及其成因研究。

2 中生界油—源对比

北黄海盆地地下白垩统原油、下白垩统烃源岩和上侏罗统烃源岩之间成因类型类比参数见表 2。轻烃组成、饱和烃和芳烃的色谱、质谱、饱和烃碳同位素等地化参数类比表明, 下白垩统原油(油 1, 油 2)与下白垩统烃源岩的相关性不密切, 而与上侏罗统烃源岩的类比同一性、集群性较好, 在成因类型

收稿日期: 2010-12-08; 修订日期: 2011-06-15。

作者简介: 梁世友(1970—), 男, 博士生, 工程师, 从事海洋油气地质综合研究和油气资源评价工作。E-mail: wxlshy. syky@sinopec.com。

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2006AA09A101)资助。

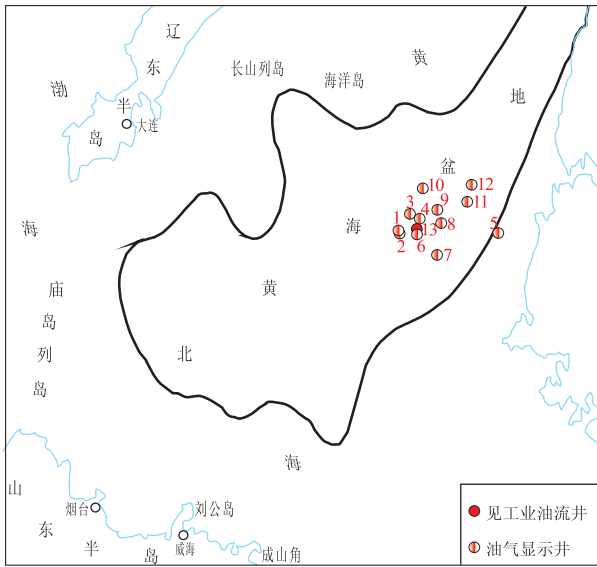


图 1 北黄海盆地位置及钻井位置示意

Fig. 1 Location of North Yellow Sea Basin and position of drilling wells

表 1 北黄海盆地中生界烃源岩和油样参数

Table 1 Parameters of source rocks and oil samples from Mesozoic, North Yellow Sea Basin

编号	井名	取样深度/m	层位	样品描述
样品 1	3 井	1 736	K ₁	灰黑色泥岩
样品 2	6 井	2 672~2 674	K ₁	黑色泥岩
样品 3	6 井	2 731	K ₁	黑色泥岩
样品 4	13 井	2 471.65~2 473.27	J ₃	暗灰色钙质泥岩
样品 5	8 井	3 517.82~3 519.07	J ₃	黑色泥岩
样品 6	6 井	3 545	J ₃	灰黑色泥岩
油样 1	13 井	2 305.53~2 330	K ₁	黑色原油
油样 2	13 井	2 232.34~2 305	K ₁	黑色原油

上具有亲缘关系。

2.1 岩—岩对比

2.1.1 轻烃特征对比

下白垩统烃源岩轻烃组成是以高丰度正构烷

烃、异烷或链烷烃、正庚烷以及低丰度环烷烃和低芳烃为特征,它们正是含草本藻类相 II₁ 型生烃母质的主要组成部分,表明下白垩统烃源岩形成环境好,菌藻类水生生物发育。上侏罗统轻烃仅做了一个样品,其有相对较高的正构烷烃、异或链烷烃及正庚烷,亦有较高的环烷烃和芳烃,后者反映高等植物形成的母质较下白垩统烃源岩有数倍增长和水生浮游生物形成母质的正烷烃含量明显减低,反映了侏罗系沉积环境不如白垩系,而是以高等陆生植物占一定优势,以含藻类草本相、II₂—III₁ 型为主、水体较浅或滨浅湖相、弱还原相为主的沉积环境形成的生油母质,但还不到成煤沼泽相沉积环境(表 2)。

2.1.2 干酪根有机显微组分对比

下白垩统烃源岩干酪根有机显微组分显示,沉积有机相组成是以 II₁ 型为代表的含草本藻类相,其腐泥加壳质组含量(以样品 2,3 为典型)达 50%~70%,高于 J₃ 烃源岩(II₂—III 型)腐泥组加壳质组含量(仅为 30%~61%),其沉积有机相为含藻类草本相,有机质类型变差。

2.2 油—岩对比

2.2.1 姥鲛烷、植烷系列特征对比

下白垩统烃源岩在姥鲛烷、植烷系列组成上与水生生物发育相关的植烷含量占一定优势,Pr/Ph 为 1.21~1.35,Ph/nC₁₈ 为 0.44~0.64,而与高等植物相关的 Pr 含量不占主要优势。上侏罗统烃源岩和原油 Pr 含量较下白垩统烃源岩有明显增加,Pr/Ph 为 1.3~2.0,Ph/nC₁₈ 为 0.2~0.3,并与原油相近,表明该烃源岩沉积环境相对变差,与陆缘高等植物输入有关;在色谱峰形上表现为单峰型,主峰碳后移,奇偶优势随埋深逐渐消失(表 2,图 2)。

2.2.2 饱、芳色质特征对比

下白垩统烃源岩饱和烃规则甾烷中与水生生物相关的胆甾烷(5αC₂₇)和麦角甾烷(5αC₂₈)总量达

表 2 北黄海盆地中生界 J₃—K₁ 油—岩成因类型类比参数

Table 2 Correlation parameters of oil—source, J₃—K₁, North Yellow Sea Basin

编 号	井 号	层 位	轻烃/%				饱和烃色谱					碳同位素、饱芳色谱、色质										
			正构烷烃	链烷烃	环烷烃	芳烃	庚烷值	Pr/Ph	Pr/nC ₁₇	Ph/nC ₁₈	主峰碳	C ₂₁ ⁻ /C ₂₂ ⁺	饱 δ ¹³ C/‰	C ₂₉ 甾烷 (C ₂₇ +C ₂₈)/%	三环藜烷 C ₂₃ C ₂₃	N ₁ /N ₂ (20S+20R)	Tm/Ts (20S+20R)	Ts/Tm	MPI	OEP		
样品 1	3	K ₁	73	94	5	1.5	95	1.4	0.2	0.1	C ₁₅	1.9	-30	57	0.2	0.6	30	0.3	1.4	0.7	0.4	1.3
样品 2	6	K ₁	75	92	6	2.0	98	1.2	0.5	0.4	C _{18,29}	0.4	-40	54	0.3	0.8	25	0.3	1.7	0.6	0.5	1.25
样品 3	6	K ₁	75	94	5	1.2	99	1.3	0.7	0.6	C _{17,29}	0.5	-42	47	0.3	0.5	39	0.7	1.80	1.8	0.6	1.07
油样 1	13	K ₁	26	34	63	3.0	23	1.8	0.3	0.2	C ₁₅	1.4	-34	49	0.2	0.5	26	0.7	1.80	1.8	0.8	1.07
油样 2	13	K ₁	22	27	67	6.0	19	1.7	0.3	0.2	C ₁₇	1.2	-34	53	0.3	0.6	44	0.4	0.9	1.1	0.7	1.15
样品 4	13	J ₃	57	70	17	13.5	83	1.3	0.4	0.3	C ₂₃	0.7	-33	43	0.4	0.7	30	0.3	1.9	0.5	0.5	1.17
样品 5	8	J ₃						2.0	0.5	0.3	C ₂₁	0.8	-30	50	0.3	0.6	22	0.7	0.6	1.8	0.6	1.05
样品 6	6	J ₃						1.5	0.3	0.2	C ₁₇	1.0	-32									

注:表中 N₁/N₂ 是芳烃色质中氧芴系列(N₁:62~64)与硫芴系列(N₂:2~3)的比值。

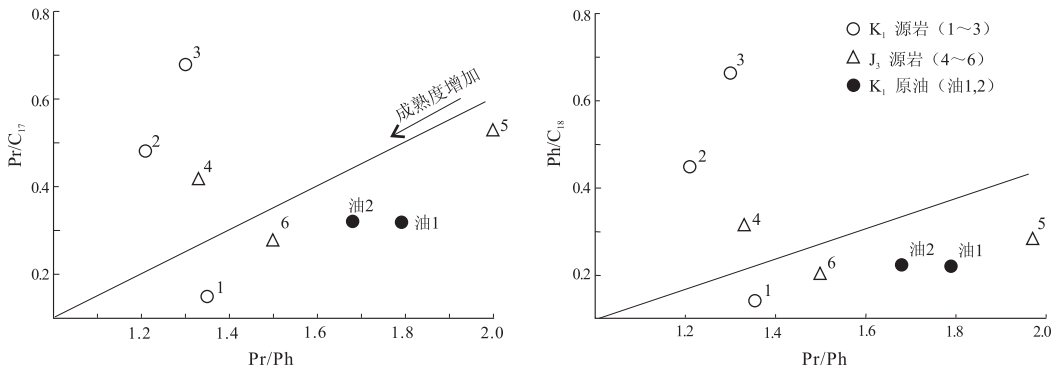


图 2 北黄海盆地中生界烃源岩和原油姥鲛烷、植烷系列特征

Fig. 2 Pristane and phytane characteristics of source rock and crude oil in Mesozoic, North Yellow Sea Basin

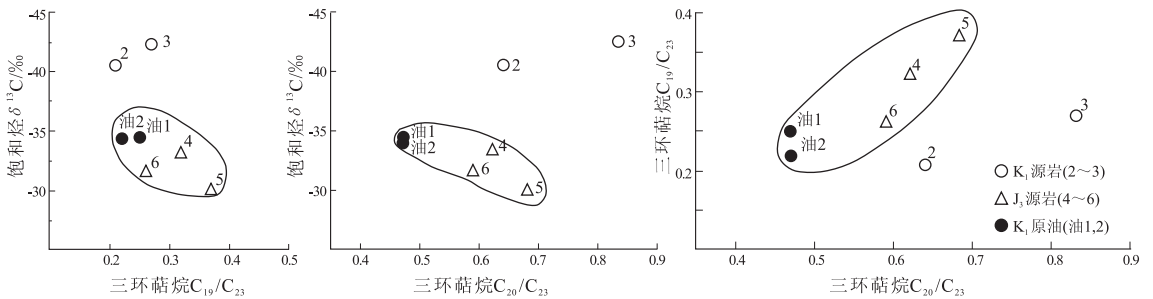


图 3 北黄海盆地中生界烃源岩和原油色质特征对比

Fig. 3 Comparison of chromatogram and mass spectrum between source rock and crude oil in Mesozoic, North Yellow Sea Basin

54%~57%，均较 J₃ 烃源岩和原油高(表 2)。上侏罗统烃源岩该二甾烷总量下降为 43%~53%，而与高等陆生植物有关的乙基胆甾烷(谷或甾烷, 5aC₂₉)有所增加有关,使母质类型变差。

用以反映沉积环境好坏的三环萜烷系列中,上侏罗统至下白垩统烃源岩及 2 个油样,其 C₁₉/C₂₃ 小于 0.4, C₂₀/C₂₃ 小于 0.8, 油样均小于 0.3~0.5, 其与饱和烃 δ¹³C 关系图(图 3)中均显示 2 个油样与 J₃ 烃源岩(以 4~6 号样为代表)关系密切, 集群性好, 有成因联系。

下白垩统烃源岩芳烃色质中氧芴系列(N₁: 62~64)与硫芴系列(N₂: 2~3)的比值(N₁/N₂)为 25~30(个别达 46)。上侏罗统烃源岩 N₁: 64~78, N₂: 1.8~3, N₁/N₂: 22~44, 并与原油相近(原油 N₁/N₂: 26~39), 说明早白垩世沉积环境发生变化, 其中与高等植物有关的萜类增多, 引起了生油母质的变化。而较低的氧芴和较高的硫芴则反映了下白垩统处在还原性较好、有利水生生物发育的沉积环境(表 2)。

2.2.3 饱和烃碳同位素对比

下白垩统烃源岩饱和烃碳同位素值极轻(如 2~3 号样), 比上侏罗统烃源岩和原油均轻, 它正是

沉积环境水生生物发育的具体体现。上侏罗统烃源岩饱和烃 δ¹³C 值与下白垩统烃源岩相比明显变重, 由 -40‰ 上升到 -30‰~-33‰, 并与下白垩统储层原油相近, 亦反映上侏罗统烃源岩与下白垩统储层原油二者间沉积环境与母质类型相同(表 2, 图 4)。但下白垩统 1 号烃源岩虽与侏罗系烃源岩类型相似, 成熟度稍高, 与原油亲缘关系较差。

2.2.4 成熟度对比

下白垩统与上侏罗统烃源岩其成熟度随埋深而增高, 由低成熟向成熟过渡并开始接近生油高峰。与此相关的 R_o, T_{max}, OEP 及 C₂₉20S/(20S+20R), Tm/Ts 或 Ts/Tm, MPI 等指标均有相应变化; 下白垩统 2 个储层原油的成熟度与已进入成熟阶段的上侏罗统烃源岩相当或接近, 显示二者成生有一定的内在联系(表 2 和图 5)。

上述二类不同层位、不同成因类型及不同成熟度的烃源岩, 经多项地化指标参数的综合分析对比, 可以确认上侏罗统近于成熟—生油高峰的烃源岩(以 6, 8, 13 井 4~6 号样为代表)与下白垩统储层原油 1, 2 二者间集群关系良好(图 6), 在成因类型上更为相近, 具有较好的成生亲缘性。因此, 该二原油均来自上侏罗统以 II₂ 型为主的烃源岩, 就

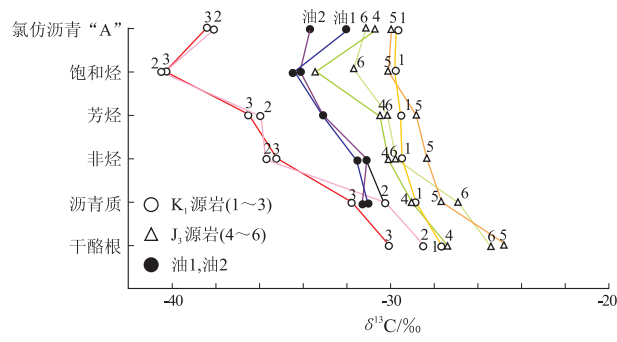


图 4 北黄海盆地油—岩样 δ¹³C 分布

Fig. 4 Comparison of δ¹³C in components ranging from soluble matter to kerogen between oil and source rock, North Yellow Sea Basin

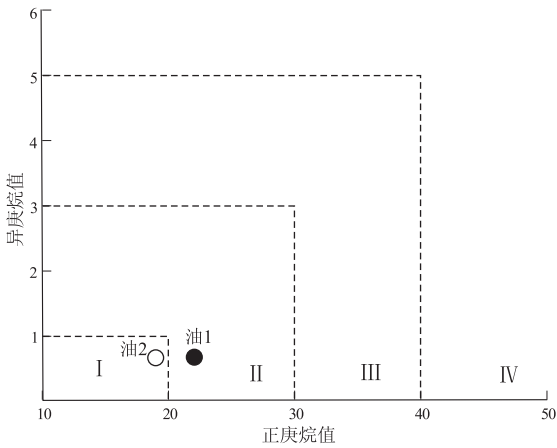


图 5 北黄海盆地原油轻烃庚烷—异庚烷成熟度分布

I. 低成熟原油; II. 成熟正常原油; III. 高成熟轻质油; IV. 高一过成熟凝析油

Fig. 5 Maturity distribution of heptane—isoheptane in light hydrocarbon of crude oil, North Yellow Sea Basin

其亲缘关系更近于 4 号(2 471 m)、6 号(3 545 m)较好—较差烃源岩。因而下白垩统储层原油可视为跨层位下生上储的次生油藏。上侏罗统烃源岩也可称其为有效烃源岩。

3 原油的类型和成因

3.1 原油的类型

轻烃组成性质表明,油 1、油 2 代表的原油属于低正构、低正庚、低异构(链烷)烷,略高的芳烷烃以及最高的环烷烃。根据原油成因类型分类^[10],应属于近石蜡型环烷型原油,或属于近油型油的煤型油,而与煤成油无关(图 7)。

根据芳烃色谱中苯/正己烷、甲苯/正庚烷二比值亦可划分原油的类型。前者小于 0.4 属煤型油,大于 0.4 属煤成油;后者小于 1.5 属煤型油,大于 1.5 属煤成油。本区油 1 该二比值分别为 0.007 和 0.043,油 2 分别为 0.06 和 0.05,它们均属于煤型油范围。

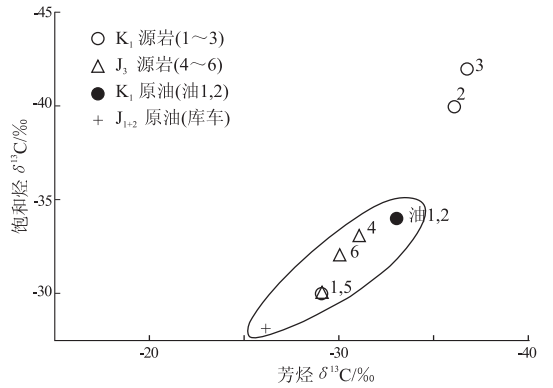
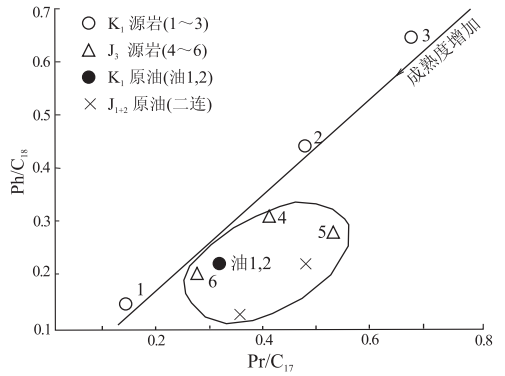


图 6 北黄海盆地油—岩饱和烃色谱及饱和、芳同位素关系

Fig. 6 Comparison of saturated hydrocarbon chromatogram and saturated and aromatic isotopes between oil and source rock, North Yellow Sea Basin

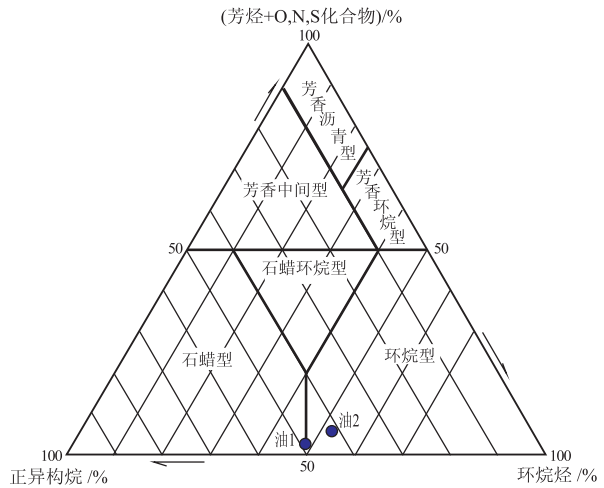


图 7 北黄海盆地原油成因类型划分

Fig. 7 Origin types of crude oil, North Yellow Sea Basin

根据上述分类,本区原油既不是典型的环烷型油,也不是典型的石蜡型油,而是由环烷型油向石蜡型过渡的近石蜡型原油,也可称其为由煤型油向油型油过渡的近于石蜡型的正常原油。

3.2 原油的成因

多项地化指标参数类比均显示,产自不同井位、深度相当的 2 个下白垩统原油(油 1,油 2)集群的同一性(表 2),成熟度也相近(图 5),表明它们在

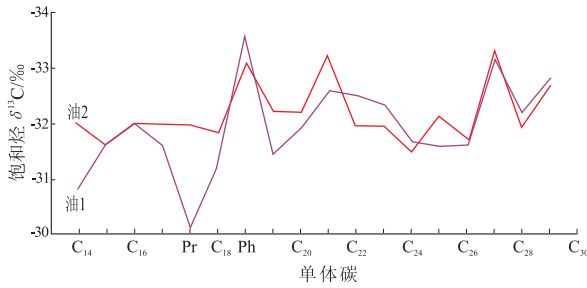


图 8 北黄海盆地地下白垩统原油单体碳同位素分布
Fig. 8 Distribution of compound-specific isotope in crude oil of Lower Cretaceous, North Yellow Sea Basin

地化性质和成因类型上基本相同,均来源和形成于上侏罗统不同井位和深度、成因类型基本相同的烃源岩。

但二者也存在一定的差异,如在轻烃组成上,油 2 的正异构烷及庚烷值略低于油 1,而环烷烃与芳烃又略高于油 1,表明油 2 的烃源岩中陆生高等植物较多至使其母质类型变差,其原因可能是由于局部沉积相带的变化而造成。又如在芳烃色质三芴系列组成上也略有差异, N_1/N_2 比值油 2 小于油 1,这与上述油 2 略好于油 1 的沉积环境与物源因素是一致的。

此外,本区 2 个原油在饱和烃单体碳同位素分布图上(图 8)也显示较好的一致性,同时亦反映出油 2 姥鲛烷具有较轻的单体碳同位素(-32%),而油 1 姥鲛烷则显示较重的单体碳同位素,由此微小差别亦反映出油 2 生油母质略好于油 1。

4 结论

1)本区下白垩统原油具有高饱和烃、姥鲛烷占优势,轻烃组成有低正烷轻、低链(异)烷烃、高环烷烃、低芳烃、富谷甾烷、低三环萜烷、富轻碳同位素、富氧芴贫硫芴等特征,这些均与上侏罗统陆相淡水型、以 II_2 型为主的生油母质形成的烃源岩具有成因关系。

2)油—源岩成因研究结果进一步明确和分清了储聚于下白垩统不同井位和相同深度(2 300 m 左右)的原油均来源于上侏罗统油源岩或有效烃源岩。目前在白垩系所发现的油藏为跨时代、下生上储、通过运移形成的。

3)通过油岩成因类型的研究可以确认,上侏罗统烃源岩形成的原油类型属于带环烷型特征的近石蜡型原油,也可称煤型油向油型油过渡的正常原油。该原油为具有高蜡低硫、低钒镍比、保存条件较好的陆相成熟原油。

参考文献:

- [1] 蔡峰,温珍河. 北黄海盆地的油源岩及其勘探领域[J]. 海洋地质动态,1995(7):4-6.
- [2] 梁世友,李凤丽,付洁,等. 北黄海盆地中生界烃源岩研究[J]. 石油实验地质,2009,31(3):249-252.
- [3] 刘振湖. 北黄海盆地东部拗陷中生界含油气系统研究[J]. 中国海上油气,2007,19(4):229-233.
- [4] 蔡东升. 中国近海前三系残余盆地及其勘探潜力与方向[J]. 中国海上油气,2004,16(1):1-17.
- [5] 龚建明. 北黄海盆地中生代地层的地质特征和油气潜力[J]. 海洋地质与第四纪地质,2000,20(2):69-78.
- [6] 蔡峰. 北黄海盆地中生界烃源岩地化特征分析[J]. 海洋地质动态,1997(9):4-7.
- [7] 金仁植,费琪,杨香华,等. 北黄海盆地含油气系统与勘探前景[J]. 石油实验地质,2006,28(5):445-449.
- [8] Massoud M S, Killops 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 of Petroleum Geology,1991,14(4):365-386.
- [9] Massoud M S, Scott A C, Killops S D, et al. Oil source rock potential of the lacustrine Jurassic Sim Uuju Formation, West Korea Bay Basin; Part II: nature of the organic matter and hydrocarbon—generation history[J]. Journal of Petroleum Geology,1993,16(3):265-284.
- [10] 陈正辅. 塔里木盆地油气成因类型及烃源岩[M]//钱志浩. 石油地质实验测试技术新进展. 北京:地质出版社,1994:169-177.

(编辑 徐文明)