

文章编号:1009-2722(2012)03-0040-07

维京地堑南部烃源岩地化特征 及油源对比

赵青芳, 杨金玉, 杨艳秋

(国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室, 青岛 266071; 青岛海洋地质研究所, 青岛 266071)

摘要:通过分子地球化学参数和碳同位素特征对维京地堑南部上、中侏罗统烃源岩抽提物和原油及凝析油特征属性的研究, 确立了烃源岩的生烃条件, 同时建立了储层中烃类物质与烃源岩之间的相关性。研究分析认为 7 类原油与 3 组源岩有关, 分别为: 上侏罗统上 Draupne 组泥页岩、下 Draupne 组和赫赛尔组泥岩、中侏罗统 Hugin 和 Sleipner 组腐植煤及碳质泥岩。上侏罗统 Draupne 组源岩为主力烃源岩层, 储层中 84% 的烃类物质来源于此目的层。

关键词:维京地堑南部; 烃源岩; 生物标志物; 碳同位素; 油源对比

中图分类号: P591.2; TE 122.114 **文献标识码:** A

北海盆地维京地堑南部的油气资源勘探开发始于 20 世纪 60 年代末期, 油气资源量丰富。截至 2005 年, 盆地内可采储量原油为 3.23 亿 m³, 天然气为 4 630 亿 m³。该研究区发育 4 套烃源岩, 分别分布于侏罗系上、中、下 3 套地层中。充分全面地了解烃源岩条件、油源之间相关性, 重点讨论中、上侏罗系烃源岩的分布及地球化学特征、研究储层中烃类物质与源岩之间的相关联系, 对该区进一步的油气田勘探开发具有指导性意义。

1 烃源岩条件

烃源岩是油气形成的充要条件, 沉积物中有机质的丰度是油气生成多少的主控因素之一, 其类型控制着生成的烃类物质的属性特征, 源岩的

热成熟度又决定着有机质在不同热演化阶段所不同的油气产物, 因此, 从以上 3 个方面综合对研究区烃源岩的质量进行讨论。维京地堑南部主要发育 3 套烃源岩层, 分别为: ①上侏罗统上 Draupne 组层状黑色页岩; ②上侏罗统下 Draupne 组和赫赛尔组 (Heather) 的黑灰色粉砂质泥岩、钙质页岩; ③中侏罗统 Hugin 和 Sleipner 组腐植煤及碳质泥岩。Draupne 组泥岩是研究区从三叠系到古近系油藏的主力油源岩, Hugin 和 Sleipner 组源岩是各气藏的主力气源岩。

1.1 有机质丰度

上 Draupne 组是由黑褐色、灰绿色至灰黑色泥岩组成, 沉积厚度达 330 m。地层缺失遗迹化石, 硫的含量高, 说明沉积有机质是在缺氧至贫氧环境下沉积的。该组页岩有机碳的含量平均值为 5.3%, 最高值达 10%; 热解氢指数均值为 340 mgHC/gC_{org}, 最高值为 800 mgHC/gC_{org} (图 1)^[1,2], 达到极好烃源岩标准, 为该研究区的主力烃源岩层。

下 Draupne 和 heather 组地层是由黑灰色粉

收稿日期: 2011-10-14

基金项目: 国家专项“全球油气地质综合研究与区域优选——西北欧海域油气地质综合研究与区域优选”(GT-YQ-QQ-2011-7-23)

作者简介: 赵青芳 (1980—), 女, 硕士, 助理研究员, 主要从事海洋油气地球化学方面的工作。E-mail: qingfangzhao@163.com

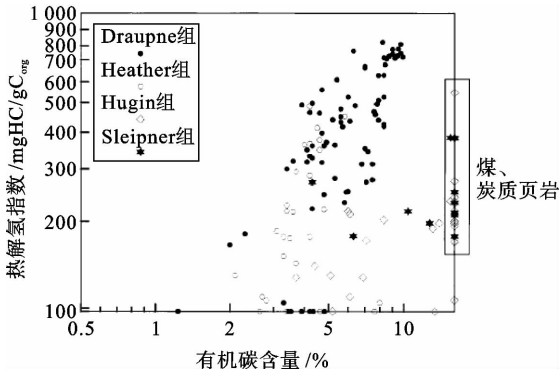


图 1 有机碳—热解氢指数交会图(据文献[1])

Fig. 1 Relation between total organic carbon (TOC) and organic-matter quality (hydrogen index) (from reference [1])

砂质泥岩、钙质页岩构成,沉积厚度达 2 300 m,是维京地堑南部次要的烃源岩层。有机碳含量 < 5%,平均分布在 2%~2.5%之间,含量普遍小于上 Draupne 组,热解氢指数为 100~450 mgHC/gC_{org},达到很好的烃源岩标准。

中侏罗统 Hugin 和 Sleipner 组是由厚的煤层和碳质泥岩组成,为重要的气源岩。该组岩层富含有机质,煤的有机碳含量高达 80%,热解氢指数范围在 200~400 mgHC/gC_{org}之间,达到好至很好气的源岩标准。

1.2 有机质类型

维京地堑南部烃源岩类型包含有腐泥—腐植型和腐植型。上 Draupne 组页岩由海相藻类和无定形组有机质构成,含有少量陆源碎屑物质,为易生油的 II 型干酪根类型。下 Draupne 和 Heather 组为海相藻类及陆上有机质的混合物,具有易生气(III型)及易生油(II型)混合型母质类型^[2,3]。中侏罗统 Hugin 和 Sleipner 组为易生气的腐植型干酪根类型^[1]。

3 组主要烃源岩抽提物的气相色谱图及生标特征箱式图如图 2、3 所示^[4]。上 Draupne 组源岩 Pr/Ph 为 1.38, C₃₄/C₃₅ 升霍烷为 1.03, C₃₀ 莫烷含量相对最低,表明源岩有机质在缺氧—贫氧环境下沉积的。主峰碳为低碳数(C₁₇、C₁₈); 甾烷 217、218 碎片离子峰中 C₂₇ββ(R+S) 规则甾烷较 C₂₉ββ(R+S) 规则甾烷占优势,重排甾烷较规则甾烷占优势,说明有机物质主要来源于海相藻类有机质。

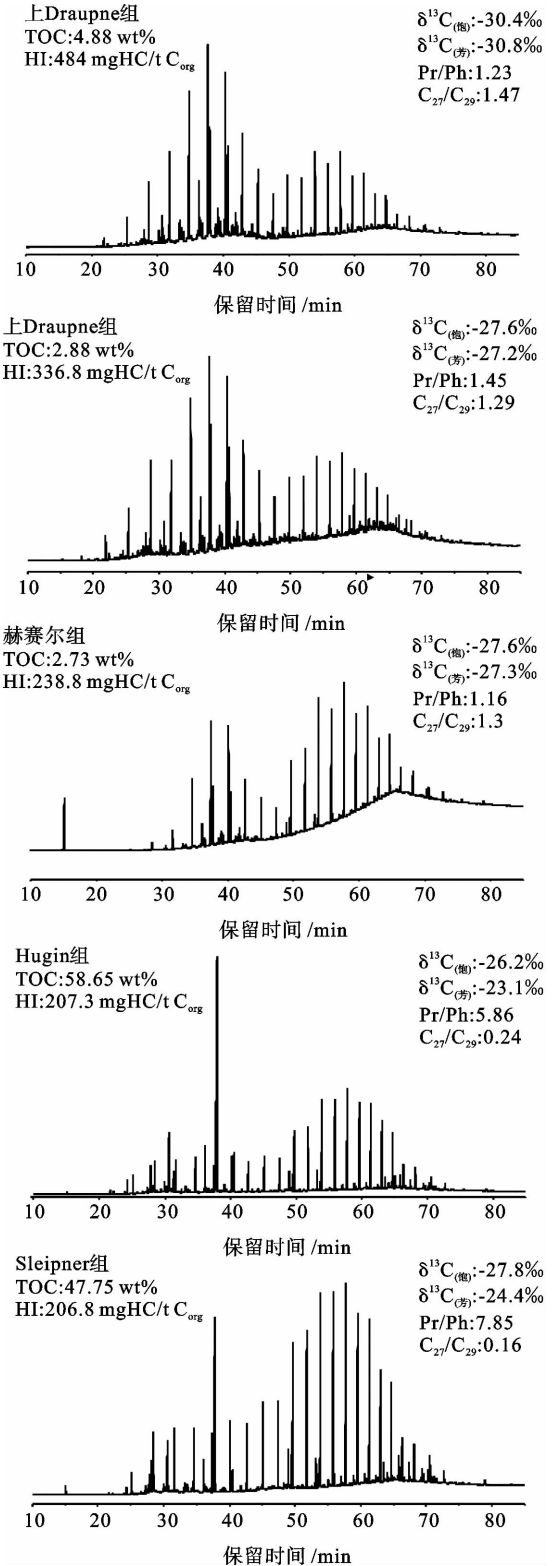
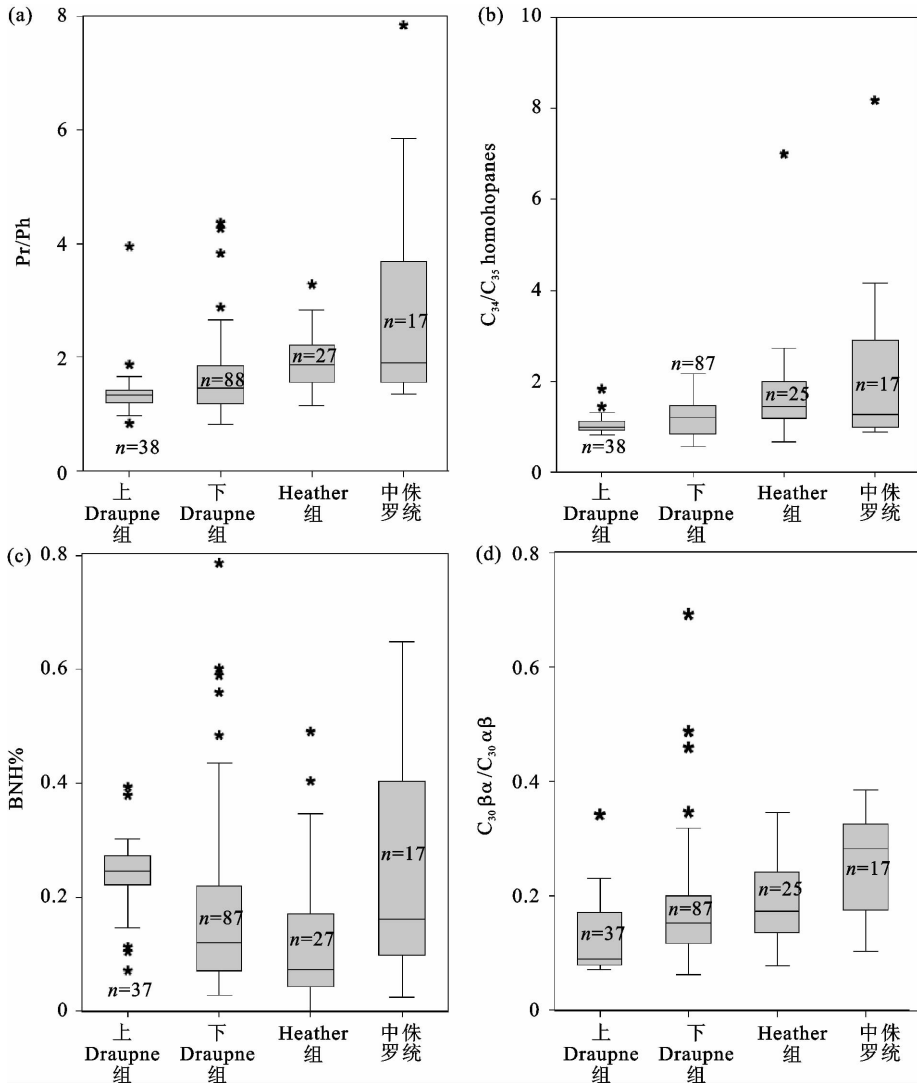


图 2 维京地堑南部烃源岩抽提物气相色谱(据文献[4])

Fig. 2 Gas chromatograms for source extracts from the Upper and Middle Jurassic section (from reference [4])



Pr/Ph: 姥姣烷/植烷; C_{34}/C_{35} homohopanes: C_{34}/C_{35} 升霍烷;

BNH%: $17\alpha(H), 21\beta(H)-28, 30$ -二降霍烷/($17\alpha(H), 21\beta(H)-28, 30$ -二降霍烷 + $17\alpha(H), 21\beta(H)$ 霍烷);

$C_{30}\beta\alpha/C_{30}\alpha\beta$: $17\beta(H), 21\alpha(H)$ 莫烷/ $17\alpha(H), 21\beta(H)$ 霍烷

图3 上、中侏罗统烃源岩地化参数箱式图(据文献[4])

Fig. 3 Selected geochemical parameters for Upper and Middle Jurassic Source rocks (from reference [4])

下 Draupne 组和 Heather 组源岩生物标志物特征中: $C_{27}-C_{29}$ 规则甾烷分布特征与上 Draupne 组源岩特征相似, 表明源岩主要以海相有机质为主; Pr/Ph、 C_{34}/C_{35} 升霍烷、 C_{30} 莫烷/霍烷比值相对较高, 说明陆源有机质含量输入增多。同时, 主峰碳为 $nC_{14}-nC_{18}$ 和 $nC_{21}-nC_{29}$, 具有奇数碳优势特征, 表明该组源岩有机质为混源物质, 是陆相和海相有机质混合的结果。

中侏罗统源岩抽提物地球化学特征表现为: Pr/Ph 为 1.98, 明显高于 Draupne 组源岩, C_{34} 升

霍烷占优势, 这些参数说明有机质在更加富氧的环境下沉积。 C_{29} 规则甾烷和 C_{30} 莫烷富集, 主峰碳分布在 $C_{23}-C_{30}$ 之间, 反映出有机质是以陆源物质输入为主的。

1.3 有机质成熟度

北海盆地地温梯度均值为 $34.6\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$, 维京地堑南部相对较冷, 地热梯度分布范围 $26\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$ (图 4)。在地堑轴部地温梯度最低^[5], 地堑西翼地温梯度相对较低 ($30\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$)。Mac

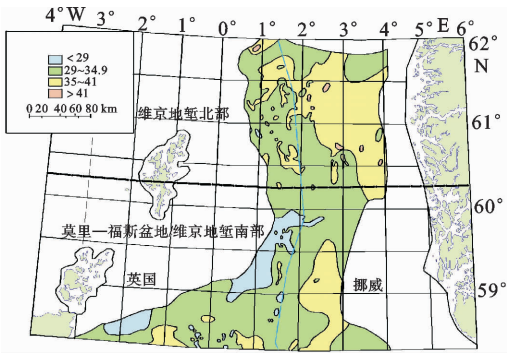


图 4 维京地堑现今地温梯度

Fig. 4 Present geothermal gradients in Viking Graben

Donald 等^[6]的热模型预测在沉积中心处地温梯度较低的主要原因为热流的折射和地堑中央沉积物快速堆积、沉降的作用。地堑东部边缘地温梯度高值(尤其是在霍达台地),可能因为基底高的热传导性,或/和原生水从盆地中心向地堑翼部流动的结果^[7]。

(1) 基末利阶/Draupne 组黏土岩顶部

维京地堑大部分区域该组源岩已达生油阶段,沿着轴部埋藏较深区域源岩达成熟晚期至过成熟阶段(图 5a)。

维京地堑南部的轴部地区该组源岩达生油高峰至生油晚期,镜质体反射率普遍超过 1%;埋深超过 4 300~4 400 m 处达生气阶段。在挪威大

部分地区及英国地堑—边界断层的西部该组源岩达成熟早期阶段。

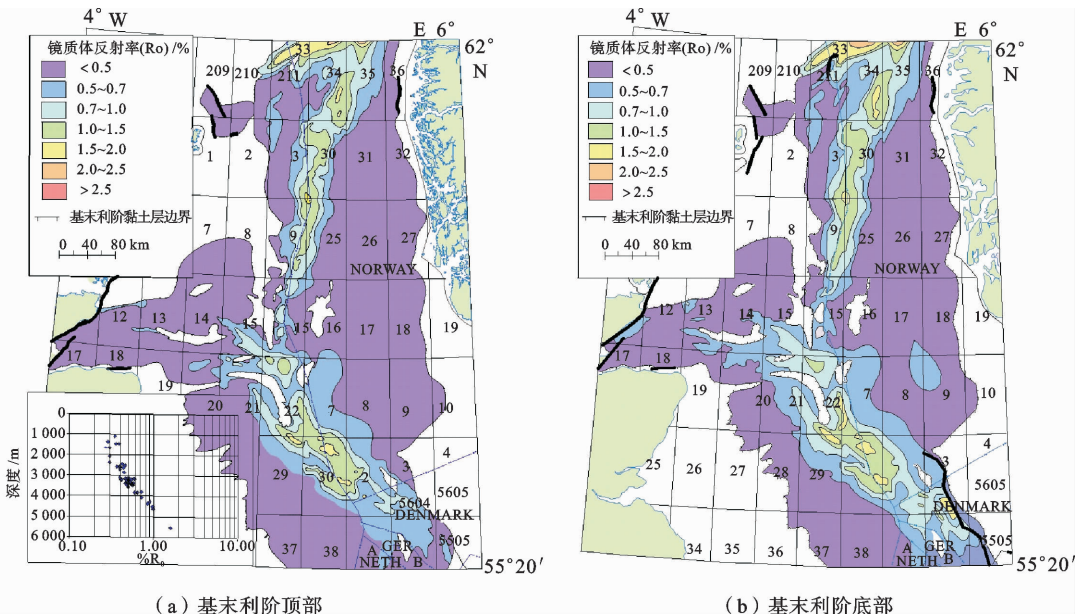
(2) 基末利阶底部泥岩成熟度

在基末利阶/Draupne 组地层单元较厚地区,该组源岩顶底有机质热演化成熟度明显不同,而在主要地堑周缘区域,该组源岩缺失或分布厚度较薄,顶底有机质成熟度差异较小。另外,由于上侏罗统异常超高压的影响,致使地热梯度明显增加,从而使得赫赛尔组源岩热演化程度显著增加。

维京地堑南部该组源岩达生油高峰至生油晚期阶段;在轴部地区有机质镜质体反射率超过 1.5%。维京地堑北部的最北缘该组源岩达生气阶段,镜质体反射率达 2% 以上(图 5b)。

2 油源相关性

通过分子及碳同位素参数可确定油—源之间的相关性,应尽量选择受热成熟度和次生蚀变作用影响小的参数。在地球化学参数中,C₁₉—C₂₅三环贴烷的热稳定性能好^[9]、抗生物降解能力强^[10],已被广泛地应用于油—油、油—源相关性的研究中^[11,12]。可能受热成熟度及次生蚀变影响最大的参数为气相色谱参数,例如蜡质((n-C₁₇)/(n-C₁₇+n-C₂₇))和碳优势指数(CPI)。



(a) 基末利阶顶部

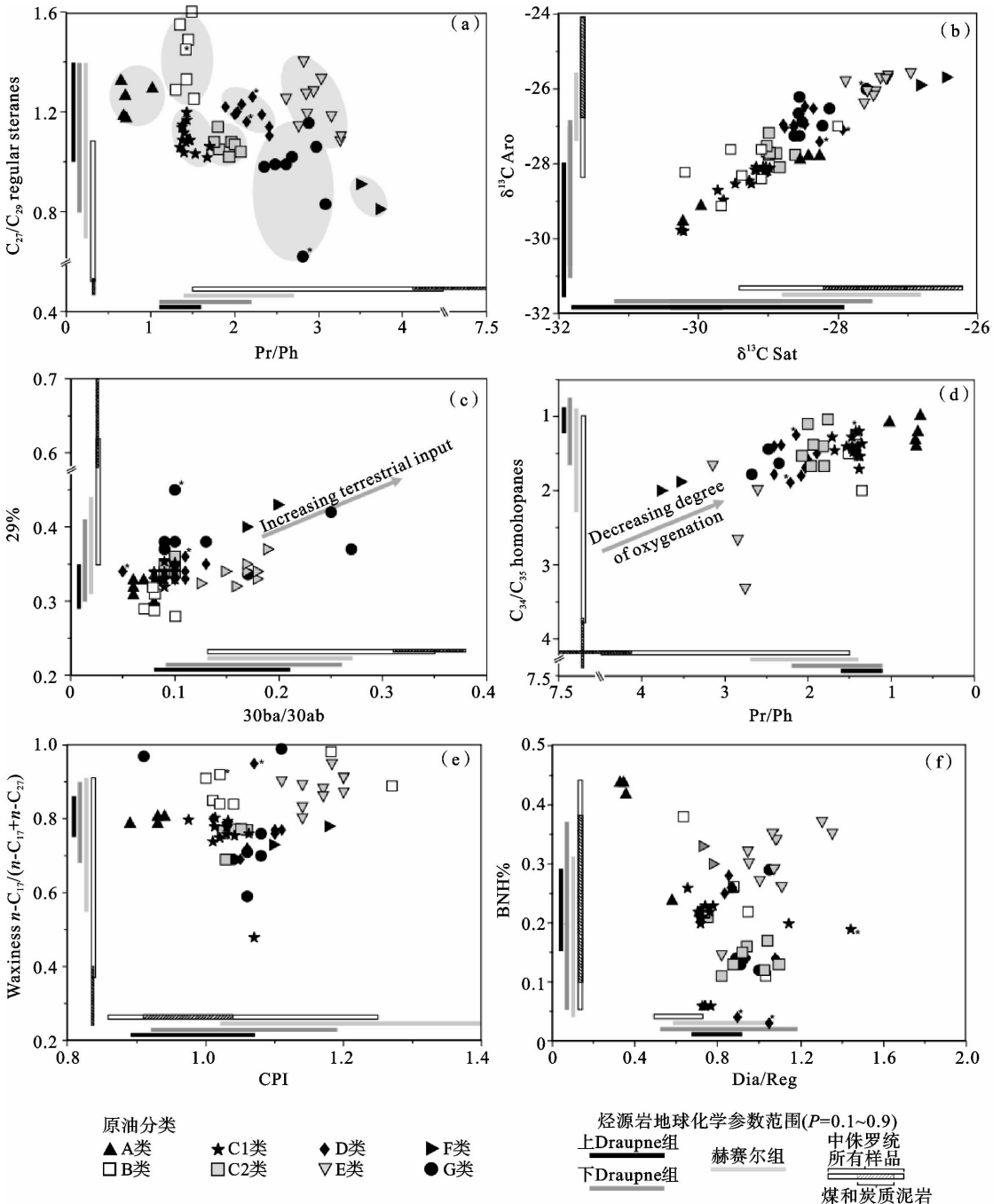
(b) 基末利阶底部

图 5 侏罗系烃源岩成熟度分布(据文献[8])

Fig. 5 Maturity of the Jurassic source rock (from reference [8])

该研究区原油及凝析油与3组烃源岩层系有关^[1,4],这3组源岩形成于不同的沉积相。维京地堑南部7类原油与烃源岩间的关系如图5所示。

A类原油的 C_{27}/C_{29} 规则甾烷比值及升霍烷比值可将其来源归于上侏罗统烃源岩(图6a,d);饱和烃、芳烃的稳定碳同位素值和Pr/Ph比值可



Pr/Ph: 姥姦烷/植烷; $\delta^{13}C$ Aro/ $\delta^{13}C$ Sat: 饱和烃/芳烃碳同位素;

C_{27}/C_{29} regular steranes: C_{27}/C_{29} 规则甾烷; $C_{30}\beta\alpha/C_{30}\alpha\beta$: $17\beta(H)$, $21\alpha(H)$ 莫烷/ $17\alpha(H)$, $21\beta(H)$ 霍烷;

C_{34}/C_{35} homohopanes: C_{34}/C_{35} 升霍烷; Dia/Reg: 重排甾烷/规则甾烷;

BNH%: $17\alpha(H)$, $21\beta(H)$ -28,30-二降霍烷/($17\alpha(H)$, $21\beta(H)$ -28,30-二降霍烷+ $17\alpha(H)$, $21\beta(H)$ 霍烷

图6 油—源关系(据文献[4])

Fig. 6 Relationship of oil and source rock (from reference [4])

排除赫赛尔组源岩为其母岩(图 6a、b)。A 类原油生标特征更加类似于上 Draupne 组源岩,表现为高的 C_{27} 规则甾烷和 Pr/Ph、 C_{30} 莫烷/霍烷低值、二降霍烷含量高值。因此,可以得出 A 类原油来源于上 Draupne 组缺氧、海相钙质的泥页岩。

B 类原油来源于高含藻质、缺氧—贫氧源岩,饱和烃、芳烃碳同位素值和 C_{30} 莫烷低值表明与 Draupne 组源岩有关(图 6b、c)。Pr/Ph 比值、规则甾烷分布和高含量的 $17\alpha(H)$, $21\beta(H)$ -28, 30 二降霍烷更加说明其来源于上部岩相。

C1 类原油地化特征与 B 类相似,海相输入减少,主要来源于上 Draupne 组源岩。C2 类与 C1 类原油相似,由碳同位素组成,Pr/Ph 比值及规则甾烷分布特征表明 C2 与下 Draupne 组源岩呈显著正相关性(图 6),赫赛尔组源岩特征与其差异较大。

D 类原油 Pr/Ph 高值及重的碳同位素组成特征,排出其来源于上 Draupne 组源岩。碳同位素组成特征与中侏罗统煤及炭质泥岩特征相一致,而规则甾烷和 C_{30} 莫烷/霍烷比值特征支持其来源于 Draupne 组源岩(图 6)。D 类源油是上 Draupne 组和更多陆源输入为主的赫赛尔组/Hugin、Sleipner 组的混源来源。

E 类原油与中侏罗统烃源岩的 Pr/Ph 比值接近;规则甾烷分布特征仅在 Draupne 组源岩类型中观测到;碳同位素组成特征与 Hugin 和 Sleipner 煤、炭质泥岩相关,说明此为混源物质,主要由中侏罗统源岩控制,受 Draupne 组源岩影响较小。

Pr/Ph 比值、稳定碳同位素比值和 C_{34}/C_{35} 升霍烷比值特征表明 F 类原油来源于中侏罗统 Hugin 和 Sleipner 组煤及炭质泥岩层, C_{29} 规则甾烷优势、 C_{30} 莫烷含量相对较高也说明与此源岩特征一致。二降霍烷的相对含量表明与 Draupne 组和中侏罗统源岩相关(图 6f)。

通过规则甾烷分布特征和莫烷含量较难确定 G 类原油的亲缘关系,Pr/Ph 比值和碳同位素值表明其来源于赫赛尔组或中侏罗统源岩,与赫赛尔组源岩更为接近(图 6)。

综上所述,E 类和 F 类源油来源于中侏罗统烃源岩,A—D 和 G 类原油主要来源于上侏罗统

源岩;A—E 类源岩及相关性源岩如表 1 所示。

表 1 原油及相关烃源岩

Table 1 List of oil families and their associated source rocks

类别	源岩沉积环境	相关烃源岩层(主要)
A	高度缺氧、海相、含钙质	上 Draupne 组
B	缺氧—贫氧,藻类含量高	(上?)Draupne 组
C1	缺氧—贫氧,含藻质	(上?)Draupne 组
C2	贫氧,含藻质	Draupne 组
D	缺氧—贫氧的藻质和有氧环境陆源有机质的混合	Draupne 组 + 赫赛尔组/中侏罗统
E	有氧环境陆源有机质和缺氧—贫氧环境的藻类有机质混合	中侏罗统 + Draupne/赫赛尔组
F	有氧环境,大量陆源输入,含煤层	中侏罗统
G	有氧环境,陆源输入	赫赛尔组

3 结论

维京地堑南部存在 3 套烃源岩层系,分别为:上侏罗统上 Draupne 组黑色页岩、下 Draupne 组和赫赛尔组的黑灰色页岩和中侏罗统 Hugin 和 Sleipner 组腐植煤及炭质泥岩。3 套源岩有机质丰度高,都已达到好的烃源岩标准。上 Draupne 组页岩由海相藻类和无定形组有机质构成,为易生油的 II 型干酪根类型;下 Draupne 和 Heather 组为易生气(III 型)及易生油(II 型)的混合型母质类型,主要为倾气型源岩;中侏罗统 Hugin 和 Sleipner 组为易生气的腐植型(III 型)干酪根类型。3 组源岩都已达到生烃的热成熟阶段。

通过分子地球化学参数和碳同位素特征对储层中烃类物质和烃源岩抽提物属性特征进行对比,研究发现,7 类原油分别与以上 3 套烃源岩有关。F 类原油母岩单一,来源于中侏罗统烃源岩;A、B、C1 和 C2 这 3 类原油主要来源于上侏罗统 Draupne 组页岩;G 类原油来源于赫赛尔组烃源岩;其余 2 组原油(D 和 E 类)表现为混源输入。

参考文献:

[1] Isaksen G H, Patience R L, Van Graas G, et al. Hydrocar-

- bon system analysis in a rift basin with mixed marine and nonmarine source rocks; the South Viking Graben, North Sea[J]. Bulletin American Association of Petroleum Geologists, 2002, 86(4): 557-591.
- [2] Justwan H, Dahl B. Quantitative hydrocarbon potential mapping and organofacies study in the Greater Balder area, Norwegian North Sea[C]// Dore A G, Vining B. Proceedings of the 6th Petroleum Geology Conference: North-West Europe and Global Perspectives, London: Geological Society, 2005: 1317-1329.
- [3] Justwan H, Dahl B, Isaksen G H, et al. Late to Middle Jurassic source facies and quality variations, South Viking Graben, North Sea[J]. Journal of Petroleum Geology, 2005, 28(3): 241-268.
- [4] Justwan H, Dahl B, Isaksen G H. Geochemical characterization and genetic origin of oils and condensates in the South Viking Graben, Norway[J]. Marine and Petroleum Geology, 2006, 23(2): 213-239.
- [5] Eggen S. Modelling of subsidence, hydrocarbon generation and heat transport in the Norwegian North Sea[M]// Durand B. Thermal phenomena in sedimentary basins Paris: Editions Technip, 1984: 271-283.
- [6] MacDonald A E, Von Rosenberg D U, Jines W R, et al. A simulator for the computation of palaeotemperatures during basin evolution[M]// Naeser N D, McCulloh T H. Thermal history of sedimentary basins: methods and case histories. Berlin: Springer-Verlag, 1989: 269-275.
- [7] Field J D. Organic geochemistry in exploration of the northern North Sea[M]// Thomas B M, Dore A G, Eggen S S, et al. Petroleum geochemistry in exploration of the Norwegian Shelf. London: Graham & Trotman, 1985: 39-57.
- [8] Robertson research international ltd. Maturity Maps of the Jurassic of Northwest Europe[M]. 1996.
- [9] Peters K E. Petroleum tricyclic terpanes; predicted physico-chemical behavior from molecular mechanics calculations [J]. Organic Geochemistry, 2000, 31(6): 497-507.
- [10] Seifert W K, Moldowan J M. The effect of biodegradation on steranes and terpanes in crude oils[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1979, 43(1): 111-126.
- [11] Zumberge J E. Prediction of source rock characteristics based on terpane biomarkers in crude oils; a multivariate statistical approach[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1987, 51(6): 1625-1637.
- [12] Chen J, Liang D, Wang X, et al. Mixed oils derived from multiple source rocks in the Cainan oilfield, Junggar Basin, Northwest China. Part I. Genetic potential of source rocks, features of biomarkers and oil sources of typical crude oils[J]. Organic Geochemistry, 2003, 34 (7): 889-909.

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF SOURCE ROCK IN THE SOUTH VIKING GRABEN AND ITS IMPLICATION FOR GENESIS

ZHAO Qingfang, YANG Jinyu, YANG Yanqiu

(Key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resources and Environmental Geology, MLR, Qingdao 266071, China; Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, China)

Abstract: Oil and condensate samples, as well as extracts of Upper and Middle Jurassic Source rocks in the South Viking Graben were analyzed for geochemistry and isotopic composition in order to find out the characteristics of hydrocarbons and the genetic relationships between hydrocarbon and source rocks. Seven hydrocarbon families are linked to three source horizons, they are, the mudstones of Upper Draupne Formation; the mudstone of Lower Draupne Formation, and the carbonaceous shale and coals of the Middle Jurassic Hugin and Sleipner Formation. The Upper Jurassic Draupne Formation is the principle source rock. Available data in this study indicate that 84% of recoverable oil resources came from the Upper Jurassic Draupne Formation.

Key words: South Viking Graben; hydrocarbon source rock; biomarkers; isotopes; oil and source relationship