

张参, 阳宏, 王飞龙, 等. 渤中凹陷南洼东营组烃源岩有机地球化学特征[J]. 海洋地质前沿, 2020, 36(11): 35-44.

渤中凹陷南洼东营组烃源岩有机地球化学特征

张参¹, 阳宏², 王飞龙¹, 曾晓祥², 王广源¹, 刘成林²

(1 中海石油(中国)有限公司天津分公司渤海石油研究院, 天津 300452; 2 中国石油大学(北京), 北京 102249)

摘要:应用有机碳、干酪根、岩石热解、氯仿沥青“A”、族组分、Ro、饱和烃色谱-质谱等有机地球化学分析测试资料, 重点对渤中凹陷南洼东营组烃源岩的有机质丰度、类型、成熟度及母质来源与沉积环境进行了研究, 为东营组资源潜力评价与油源对比提供依据。结果显示, 东三段有机碳含量较高, 属于优质的烃源岩; 岩石热解实验与干酪根显微组分观察显示东营组烃源岩有机质类型主要是 II₁-II₂ 型; 生物标志化合物特征中表现为较低的 Pr/Ph 值和伽马蜡烷指数, 结合 Pr/nC₁₇ 和 Ph/nC₁₈ 指示南洼东营组沉积为弱氧化还原的淡水-微咸水滨浅湖相沉积环境; 正构烷烃的分布、较高含量的 C₂₉ 甾烷、4-甲基甾烷指数、C₁₉/C₂₃ 三环萜烷和 C₂₄ 四环萜烷/C₂₆ 三环萜烷值显示有机质母质以混源为主, 往上沉积陆源碎屑的供给越多; 镜质体反射率 Ro、CPI、OEP、C₂₉20S/(20S+20R)、C₂₉ββ/(αα+ββ)、Ts/Tm 等参数表明东三段烃源岩处于成熟演化阶段, 已开始大量生烃, 东二段位于低熟阶段, 东一段位于低熟-未熟阶段。

关键词:渤中凹陷南洼; 东营组烃源岩; 地球化学特征; 生物标志化合物

中图分类号: P618.130.2

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2020.154

0 引言

陆相盆地中烃源岩的非均质性显著, 但优质烃源岩具有丰度高、类型好的优点, 是油气运聚成藏的基础, 起到“源控”作用, 了解优质烃源岩特征对油气勘探有重要意义^[1]。渤中凹陷是渤海湾盆地各个凹陷中面积最大的一个, 约为 8 660 km²^[2]。环渤中凹陷油气资源量巨大, 目前已发现多个油气田与含油气构造^[3]。前人针对该地区已开展了丰富的工作, 普遍认为渤中凹陷古近系烃源岩具有类型好, 丰度高, 成熟度好等特征^[4]。本文对渤海湾盆地渤中凹陷南洼东营组烃源岩进行有机碳、干酪根、岩石热解、氯仿沥青“A”、族组分、Ro、饱和烃 GC-MS 等有机地球化学分析, 研究南洼东营组烃源岩

各层段的有机质丰度、类型、成熟度及沉积环境与母质来源, 为进一步深化该盆地针对东营组烃源岩的油气勘探提供基础。

1 区域地质概况

渤中凹陷处于渤海湾盆地中东部, 南洼位于渤中凹陷最南端, 紧临渤南低凸起(图 1)。新生界自上而下有第四系(Q), 新近系明化镇组(Nm)、馆陶组(Ng)以及古近系东营组(Ed)、沙河街组(Es)、孔店组(Ek)^[4-5]。

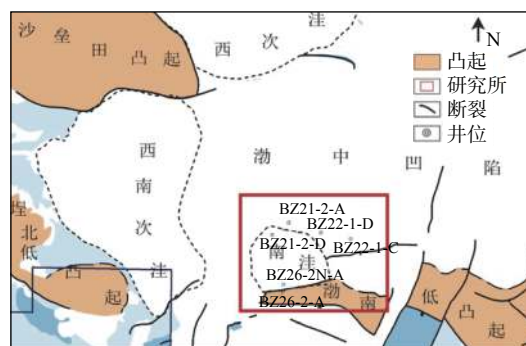


图 1 研究区构造位置

Fig.1 Structural location of the study area

收稿日期: 2020-09-20

资助项目: “十三五”国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”(2016ZX05024-003); 中海油“十三五”油气资源评价项目(YXKY-2018-KT-01)

作者简介: 张参(1982-), 硕士, 高级工程师, 主要从事石油地质综合研究工作. E-mail: zhangcan@cnooc.com.cn

总体上,渤中凹陷古近系发育沙河街组三段、沙河街组一二段以及东下段烃源岩3套优质烃源岩,质量往上逐步变差。沙三段沉积期间以半深湖—深湖为主,在全区分布连续性好,形成了研究区最主要的一套烃源岩。沙一二段沉积期间以滨浅湖相和河流—三角洲为主,形成了研究区第2套优质烃源岩^[6]。东下段时期湖盆扩大,沉积厚层灰色泥岩,形成研究区第3套烃源岩。东上段陆源侵入,形成以滨浅湖相为主的沉积环境^[7]。

2 样品与实验

本次研究所有样品均取自渤中 BZ21-2、BZ22-1、BZ26-1 构造带实际钻井的岩屑、壁心。烃源岩样品取自 BZ21-2-A、BZ21-2-D、BZ22-1-C、BZ22-1-D、BZ26-2-A、BZ26-2N-A 等 6 口井的东营组暗色泥岩,对东营组 145 件烃源岩样品进行有机碳、氯仿“A”、族组分、总烃、岩石热解、干酪根显微组分等地球化学参数的分析。对 BZ21-2-A、BZ21-2-D 和 BZ22-1-D 3 口井的 33 件样品进行了饱和烃色谱-

质谱分析。实验方法包括:利用索氏法进行样品的萃取,岩样粉碎后用溶剂在抽提器中将有机质溶解出,再用极性不同的溶剂冲洗出饱芳非族组分。对饱和烃处理后,进行 GC-MS 分析。在高温下燃烧岩样,利用生成的 CO₂ 量换算成碳元素含量,从而测定出有机碳含量。岩石热解参数的测定利用 ROCK EVAL 6 热解仪。将制作好的干酪根试样制成薄片,从而对干酪根的显微组分进行显微镜下形态结构的观察、鉴定、计数。

3 有机地球化学特征

3.1 有机碳丰度

有机质是烃源岩中油气形成的物质基础,因此有机质丰度是评价烃源岩质量最基本的参数^[8-9]。本次研究采用行业标准 SY/T 5735-1995(表 1),利用有机碳含量(TOC)、可溶有机质(氯仿沥青“A”)含量、热解生烃潜量(Pg)和总烃(HC)含量综合评价研究区烃源岩的有机质丰度。

表 1 陆相烃源岩有机质丰度评价指标

Table 1 Evaluation index of organic matter abundance in terrestrial hydrocarbon source rocks

指标	湖盆水体类型	非生油岩	生油岩类型			
			差	中等	好	最好
TOC/%	淡水—半咸水	<0.4	0.4~0.6	>0.6~1.0	>1.0~2.0	>2.0
	咸水—超咸水	<0.2	0.2~0.4	>0.4~0.6	>0.6~0.8	>0.8
“A”/%	/	<0.015	0.015~0.050	>0.050~0.100	>0.100~0.200	>0.200
HC/10 ⁻⁶	/	<100	100~200	>200~500	>500~1000	>1000
S ₁ +S ₂ /(mg·g ⁻¹)	/	/	<2	2~6	>6~20	>20

东一段烃源岩样品 TOC 为 0.2%~1.27%, 平均 0.39%, S₁+S₂ 为 0.45~4.2 mg·g⁻¹, 平均 1.51 mg·g⁻¹, 氯仿沥青“A”为 0.02%~0.23%, 平均 0.1%, 总烃含量为 166.5~426.4 μg·g⁻¹, 平均值 352.3 μg·g⁻¹, 差等烃源岩占比 88%, 总体为差烃源岩(图 2、3a)。

东二上亚段烃源岩样品 TOC 为 0.18%~1.5%, 平均 0.58%, S₁+S₂ 为 0.49~2.5 mg·g⁻¹, 平均 1.53 mg·g⁻¹, 氯仿沥青“A”为 0.03%~0.18%, 平均 0.1%, 总烃含量为 94.2~510.4 μg·g⁻¹, 平均值 386.6 μg·g⁻¹, 评价为中等的烃源岩占比 53%, 总体为差—中等烃源岩(图 2、3b)。

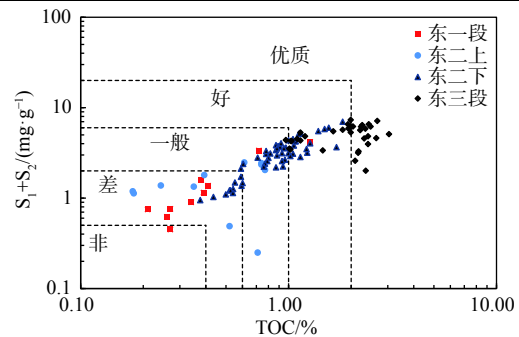


图 2 渤中凹陷南洼东营组烃源岩有机碳含量与岩石热解生烃潜量相关图

Fig.2 The relationship diagram between TOC and (S₁+S₂) in source rocks of Dongying Formation in the south of Bozhong Subbasin

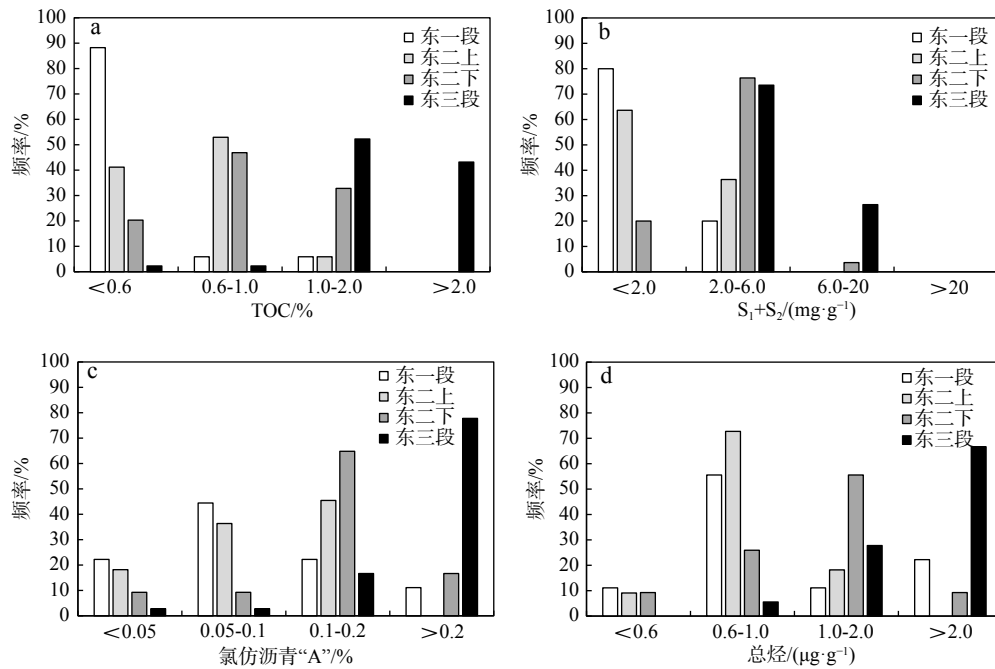


图 3 渤中凹陷南洼东营组烃源岩有机质丰度指标频率分布

Fig.3 Frequency distribution diagram of organic matter abundance in source rocks of Dongying Formation in the south of Bozhong Subbasin

东二下亚段烃源岩样品 TOC 为 0.4%~1.82%, 平均 0.9%, S_1+S_2 为 $0.95\sim 7\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, 平均 $3.12\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, 氯仿沥青“A”为 0.03%~0.36%, 平均 0.14%, 总烃含量为 $88.4\sim 1465.6\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, 平均值 $613.4\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, 评价为好的烃源岩占比 20%, 总体为中等—好烃源岩(图 2、3c)。

东三段烃源岩样品 TOC 为 0.6%~2.48%, 平均 1.83%, S_1+S_2 为 $2\sim 7.33\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, 平均 $4.97\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, 氯仿沥青“A”为 0.1%~0.54%, 平均 0.32%, 总烃含量为 $347.8\sim 4519\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 之间, 平均值 $1963.3\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, 优质烃源岩占比 43.2%, 总体为好—优质烃源岩(图 2、3d)。

3.2 有机质类型

东营组东一段泥岩氢指数为 $137\sim 381\text{ mgS}_2\cdot\text{g}^{-1}$ TOC(平均 $269\text{ mgS}_2\cdot\text{g}^{-1}\text{TOC}$), 饱和烃为 11.42%~64.5%(平均 44%), 芳烃为 5.41%~21.37%(平均 12%), 非烃+沥青质为 30.77%~82%(平均 61.9%), 表明有机质类型总体是 II₂ 型(图 4、5); 干酪根显微组分计算 T 指数揭示有机质类型为 II₂ 型(图 6)。

东营组东二上段泥岩氢指数为 $88\sim 556\text{ mgS}_2\cdot\text{g}^{-1}$ TOC(平均 $329\text{ mgS}_2\cdot\text{g}^{-1}\text{TOC}$), 饱和烃为 5.43%~38.04%(平均 15.1%), 芳烃为 2.65%~33.77%(平均 15.56%), 非烃+沥青质为 17.1%~67.64%(平均

54.96%), 表明有机质类型总体是 II₁-II₂ 型(图 4、5); 干酪根显微组分计算 T 指数揭示有机质类型为 II₁-II₂ 型(图 6)。

东营组东二下段泥岩氢指数为 $170\sim 383\text{ mgS}_2\cdot\text{g}^{-1}$ TOC(平均 $286\text{ mgS}_2\cdot\text{g}^{-1}\text{TOC}$), 饱和烃为 7.33%~49%(平均 27.7%), 芳烃为 9.93%~38.66%(平均 15.56%), 非烃+沥青质为 17.1%~68.86%(平均 50.2%), 指示有机质类型以 II₁-II₂ 型为主(图 4、5); 干酪根显微组分计算 T 指数揭示有机质类型为 II₁-II₂ 型(图 6)。

东营组东三段泥岩氢指数为 $100\sim 389\text{ mgS}_2\cdot\text{g}^{-1}$ TOC(平均 $215\text{ mgS}_2\cdot\text{g}^{-1}\text{TOC}$), 饱和烃为 15%~77.5%(平均 53.4%), 芳烃为 3.7%~21.23%(平均 7.3%), 非烃+沥青质为 13.1%~71.58%(平均 26%), 指示有机质类型以 II₁-II₂ 型为主(图 4、5); 干酪根显微组分计算 T 指数揭示有机质类型为 II₁-II₂ 型(图 6)。

干酪根有机显微组分能够帮助划分干酪根类型, 同时揭示烃源岩生烃组分^[8]。干酪根显微组分三角图显示(图 7), 东营组整体上的干酪根显微组分中占主体的是壳质组, 惰质组含量最少, 各个层段组分差别不大, 反映东营组各层段有机质类型总体上属于 II 型, 生烃组分主要为壳质组。

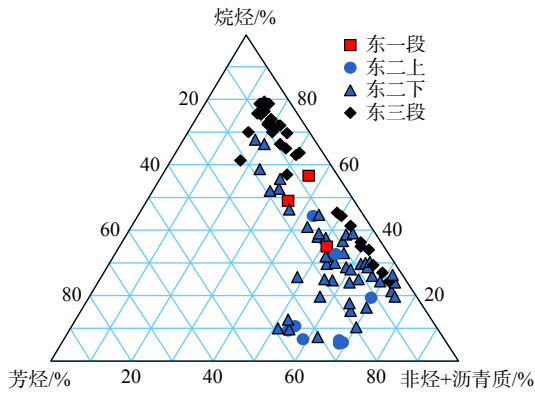


图 4 渤中凹陷南洼东营组烃源岩族组成三角图

Fig.4 Group composition triangulation in source rocks of Dongying Formation in the south of Bozhong Subsag

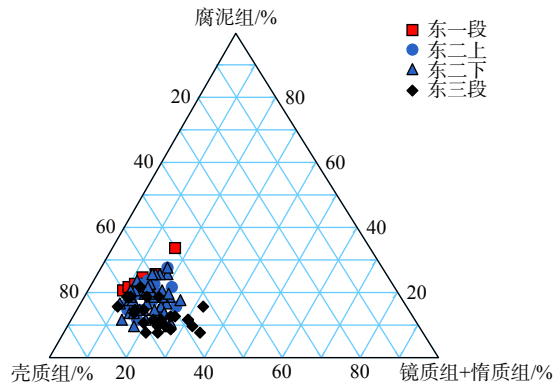


图 7 渤中南洼东营组烃源岩干酪根显微组分三角图

Fig.7 The kerogen maceral triangulation in source rocks of Dongying Formation in the south of Bozhong Subsag

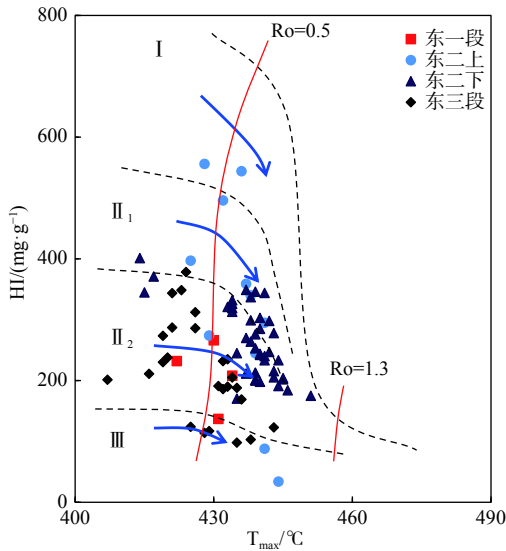


图 5 渤中凹陷东营组烃源岩干酪根热解有机质类型划分
Fig.5 The classification diagram of kerogen pyrolysis organic matter types in source rocks of Dongying Formation in the south of Bozhong Subsag

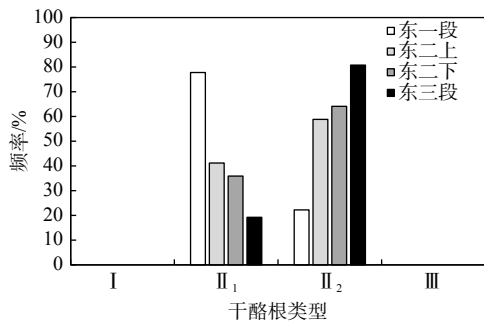


图 6 显微组分划分干酪根类型

Fig.6 The classification diagram of kerogen types by kerogen macerals

3.3 有机质成熟度

东一段泥岩镜质体反射率 R_o 为 0.4%~0.84%，平均 0.6， T_{max} 值介于 328~434 °C，平均 385.5 °C，指示东一段烃源岩处于低成熟阶段；东二段泥岩镜质体反射率 R_o 为 0.49%~1.33%，平均 0.82， T_{max} 值介于 387~445 °C，平均 428 °C，指示东二段烃源岩处于成熟阶段；东三段泥岩镜质体反射率 R_o 在 0.9%~1.63% 之间，平均 1.17%， T_{max} 值介于 407~443 °C，平均 427 °C，指示东三段烃源岩处于高成熟阶段(图 8)。

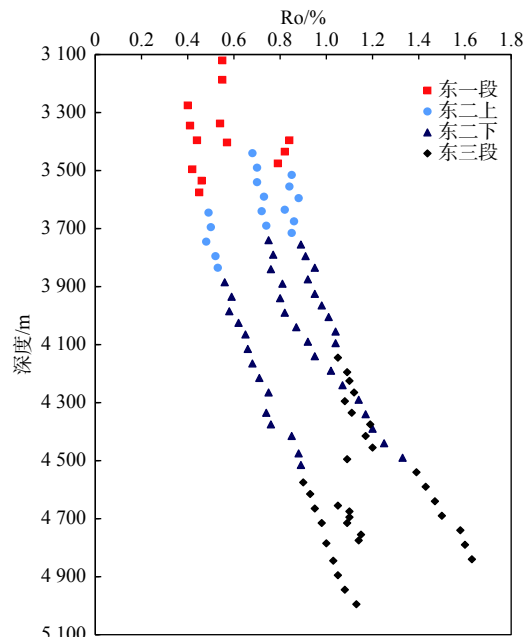


图 8 渤中凹陷南洼东营组各层段镜质体反射率 R_o 随深度变化

Fig.8 The relationship diagram between R_o and depth in source rocks of Dongying Formation in the south of Bozhong Subsag

4 生物标志化合物组合特征

4.1 正构烷烃

有机质的正构烷烃分布情况能够揭示沉积环境与母质来源^[10]。表现为低碳数($<C_{20}$)的前峰型分布特征表明藻类等低等水生生物来源,高碳数($>C_{23}$)后峰型分布特征表明陆源高等植物的输入^[10]。沼泽或滨浅湖中陆生高等植物为主,导致前后碳比 $\Sigma C_{21}/\Sigma C_{22}$ +较小,深湖中沉积有机质以藻类等水生低等生物为主,导致其较大^[11]。

东一段烃源岩样品正构烷烃分布(图 9a)主要呈双峰型,主峰碳数以 nC_{15} 、 nC_{24} 、 nC_{25} 为主,前后碳比 $\Sigma C_{21}/\Sigma C_{22}$ +值低,平均为 0.58, CPI 为 1.13~1.38,平均为 1.22, OEP 介于 0.99~1.13,平均为 1.04(图 10、11),具有弱的奇偶优势。表明东一段烃源岩母质来源为混源,陆源输入占优势,成熟度低。

东二上段烃源岩样品的正构烷烃分布(图 9b)

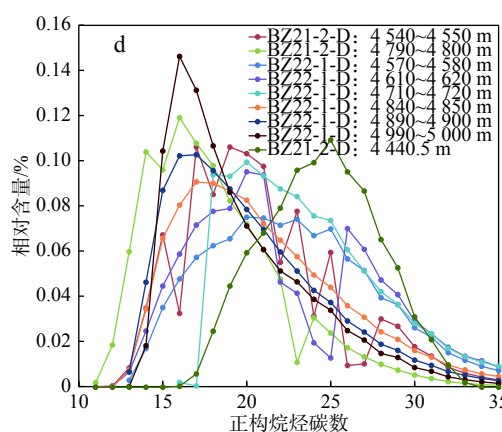
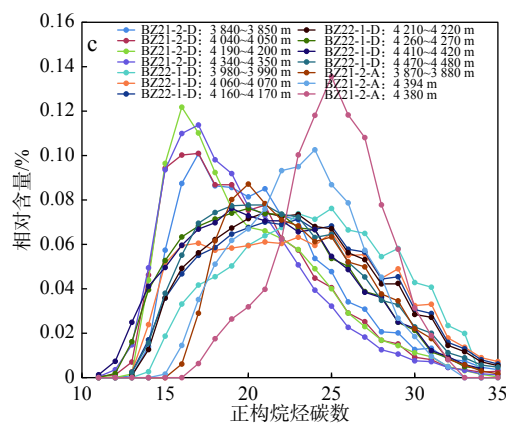
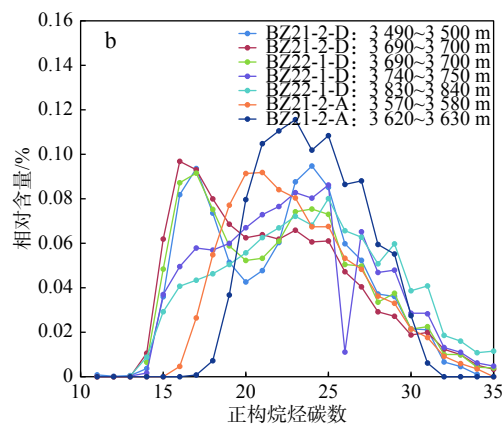
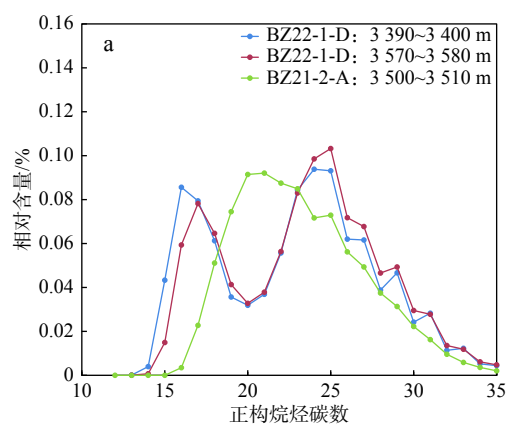


图 9 渤中凹陷南洼东营组烃源岩各层段正构烷烃分布

Fig.9 The normal alkane distribution in source rocks of Dongying Formation in the south of Bozhong Subsg

主要呈双峰型,主峰碳数以 nC_{17} 、 nC_{24} 、 nC_{25} 为主,前后碳比 $\Sigma C_{21}/\Sigma C_{22}$ +值较低,平均为 0.78, CPI 为 1.16~1.79,平均 1.31, OEP 为 0.92~1.82,平均 1.15(图 10、11),具有弱的奇偶优势。认为东二下段烃源岩母质来源为混源,陆源输入占优势,成熟度较低。

东二下段烃源岩样品的正构烷烃分布(图 9c)有前峰型和后峰型,前单峰型样品较后单峰型更多,主峰碳数以 nC_{16} 、 nC_{20} 、 nC_{25} 为主,前后碳比 $\Sigma C_{21}/\Sigma C_{22}$ +值较低,平均为 1.07, CPI 为 0.97~1.21,平均 1.14, OEP 为 0.93~1.11,平均 1.02(图 10、11),无奇偶优势。认为东二下段烃源岩有机质来源为混源,成熟度较高。

东三段烃源岩样品的正构烷烃分布(图 9d)主要为前峰型,主峰碳数以 nC_{16} 、 nC_{17} 、 nC_{20} 为主。前后碳比 $\Sigma C_{21}/\Sigma C_{22}$ +高,平均 1.74, CPI 为 0.85~1.13,平均 1.1, OEP 为 0.89~1.08,平均 1.06(图 10、11),无奇偶优势。认为东三段烃源岩母质来源为混源,低等水生藻类占优势,成熟度高。

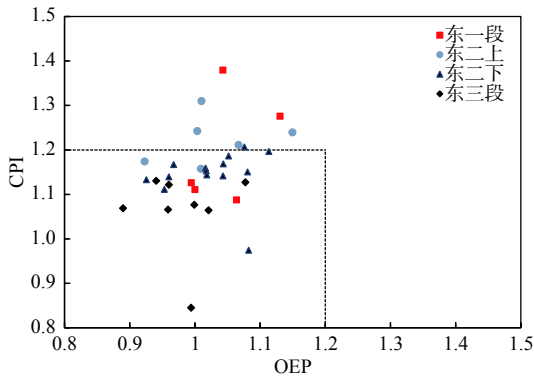


图 10 渤中凹陷南洼东营组烃源岩碳优势指数参数

Fig.10 Carbon dominance index parameter diagram in source rocks of Dongying Formation in the south of Bozhong Subbasin

4.2 类异戊二烯烷烃

在油气地球化学中,姥植比(Pr/Ph)是恢复古氧化条件的基础性指标^[11-12]。Pr/nC₁₇和Ph/nC₁₈用来还原古水体性质同时指示干酪根类型^[13]。研究区东营组各层段样品的Pr/Ph分布在0.5~3.7, Pr/nC₁₇为0.3~1.25, Ph/nC₁₈为0.17~2.82,通过Ph/nC₁₈和Pr/nC₁₇相关图(图12)指示研究区东营组各层段总体上沉积于弱氧化还原环境,干酪根以II₁和II₂型为主,其中东一段与东三段主要呈弱氧化还原环境,东二段部分样品出现较高Pr/Ph,指示较强氧化环境,可能与陆源的大量侵入有关。

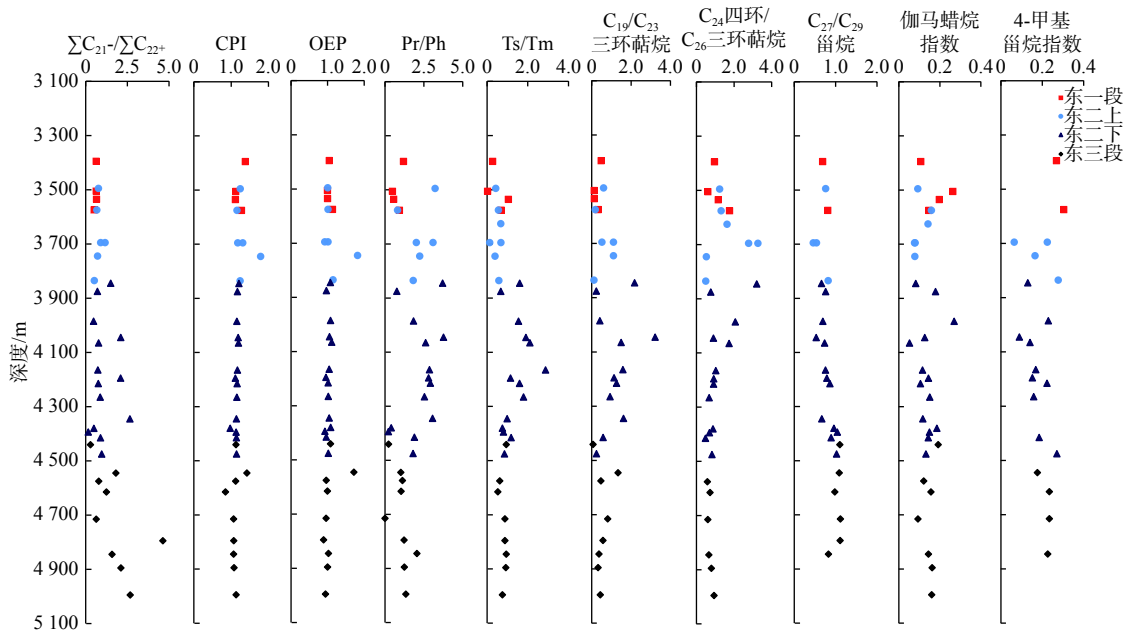


图 11 渤中南洼东营组各层段烃源岩的生物标志化合物组合特征

Fig.11 Combination characteristics of biomarker compounds in source rocks of Dongying Formation in the south of Bozhong Subbasin

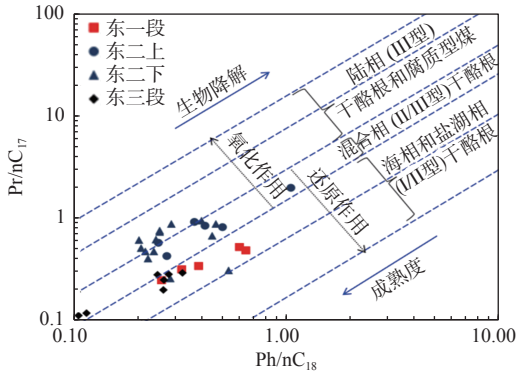


图 12 渤中凹陷南洼东营组烃源岩 Ph/nC₁₈和 Pr/nC₁₇相关图

Fig.12 The correlation diagram of Ph/nC₁₈ and Pr/nC₁₇ in source rocks of Dongying Formation in the south of Bozhong Subbasin

4.3 甾类化合物

甾类化合物广泛存在于烃源岩样品中,可以用来指示母质来源与沉积环境等^[13]。通常认为,C₂₉和C₂₇甾烷分别来源于高等植物和藻类等低等水生生物^[14]。C₂₉甾烷异构化参数 20S/(20S+20R)、ββ/(ββ+αα)能够揭示热成熟度,在热演化过程中构型会发生转变,比值逐渐增加直至达到平衡值^[15]。

渤中凹陷南洼东营组烃源岩样品中东一段规则甾烷相对含量 C₂₇ 平均为 36.5%, C₂₈ 平均为 23.4%, C₂₉ 平均为 39.9%; 东二上段规则甾烷相对含量 C₂₇ 平均为 38.1%, C₂₈ 平均为 21.9%, C₂₉ 平均为 39.9%; 东二下段规则甾烷相对含量 C₂₇ 平均为 35.7%, C₂₈

平均为 18.3%, C_{29} 平均为 45.9%; 东三段规则甾烷相对含量 C_{27} 平均为 40.1%, C_{28} 平均为 20.5%, C_{29} 平均为 39.2%。结合 C_{27} - C_{28} - C_{29} 甾烷三角分布图(图 13)可以看出规则甾烷含量呈“V”型分布,散点图上主要集中于 IV 和 V 区,说明南洼东营组烃源岩各层段整体上的有机质来源为低等水生生物与陆生高等植物混合,东下段藻类等水生低等生物贡献占重要地位,东上段陆生来源贡献更高。在 C_{29} 甾烷异构化参数图(图 14)中,东一段与东二段部分样品处于低成熟阶段。

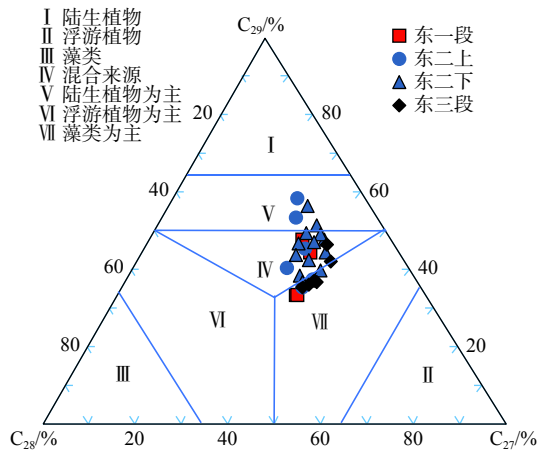


图 13 渤中凹陷南洼烃源岩 C_{27} - C_{28} - C_{29} 规则甾烷分布三角图

Fig.13 Triangle diagram of regular sterane distribution of C_{27} - C_{28} - C_{29} in source rocks of Dongying Formation in the south of Bozhong Subsg

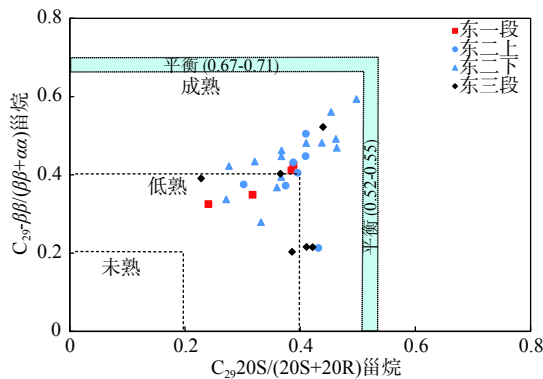


图 14 渤中凹陷南洼东营组烃源岩甾烷成熟度参数图

Fig.14 Sterane maturity parameter diagram in source rocks of Dongying Formation in the south of Bozhong Subsg

4-甲基甾烷一般被认为来源于沟鞭藻,前人通过 4-甲基甾烷指数(4-甲基甾烷/ ΣC_{29} 甾烷)显著的区分了沙三段和东三段烃源岩^[16-17]。东一段 4-甲基甾烷指数为 0.26~0.3,平均为 0.28,东二上 4-甲

基甾烷指数为 0.06~0.27,平均 0.18,东二下 4-甲基甾烷指数为 0.09~0.27,平均 0.17,东三段 4-甲基甾烷指数为 0.17~0.23,平均 0.21(图 15)。整体上东营组各层段 4-甲基甾烷含量均比较低,揭示来源于沟鞭藻类的有机质较少。渤中南洼 BZ22-1-D 井各层段 M/Z191、217 质量色谱与总离子流图(图 16)可见相关生标参数特征。

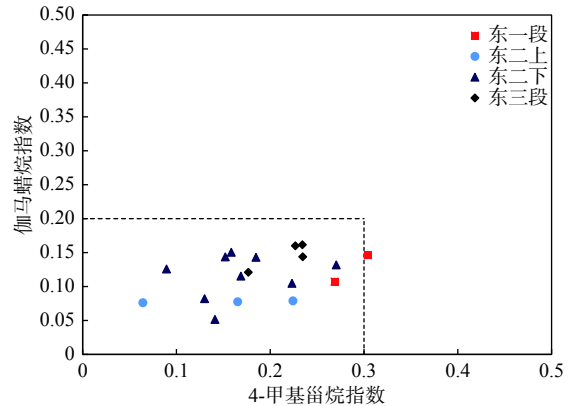


图 15 渤中凹陷南洼东营组烃源岩 4-甲基甾烷指数与伽马蜡烷指数对比

Fig.15 Comparison of 4-methylgonane index and gamma-cerane index in source rocks of Dongying Formation in the south of Bozhong Subsg

4.4 萜类化合物

17 α -三降藿烷(Tm)和 18 α -三降藿烷(Ts)是三降藿烷的异构体,在热演化过程中,Tm 会转变为更稳定的 Ts, Ts/Tm 值可以用来判断成熟度^[18]。东营组东上段样品的 Ts/Tm 比值为 0.03~1.04,平均为 0.5,东下段样品的 Ts/Tm 比值为 0.53~2.8,平均为 1.36(图 11),表明东上段(东一段、东二上)属于低熟阶段。

伽马蜡烷一般被作为高盐度沉积环境的指示参数^[19]。从伽马蜡烷指数(伽马蜡烷/ C_{30} 藿烷)与 Pr/Ph 关系图(图 17)可以看出,东营组伽马蜡烷的含量很低,为 0.05~0.2,反映沉积水体为淡水—微咸水环境。

郝芳等^[20]认为 C_{19} 三环萜烷/ C_{23} 三环萜烷和 C_{24} 四环萜烷/ C_{26} 三环萜烷在渤中凹陷的陆源指示作用较明显,受成熟度影响较小。东一段 C_{19} 三环萜烷/ C_{23} 三环萜烷和 C_{24} 四环萜烷/ C_{26} 三环萜烷的含量相对较高,分别为 0.1~0.47 和 0.61~1.75,平均值分别为 0.25 和 1.12,存在陆源有机质的贡献。

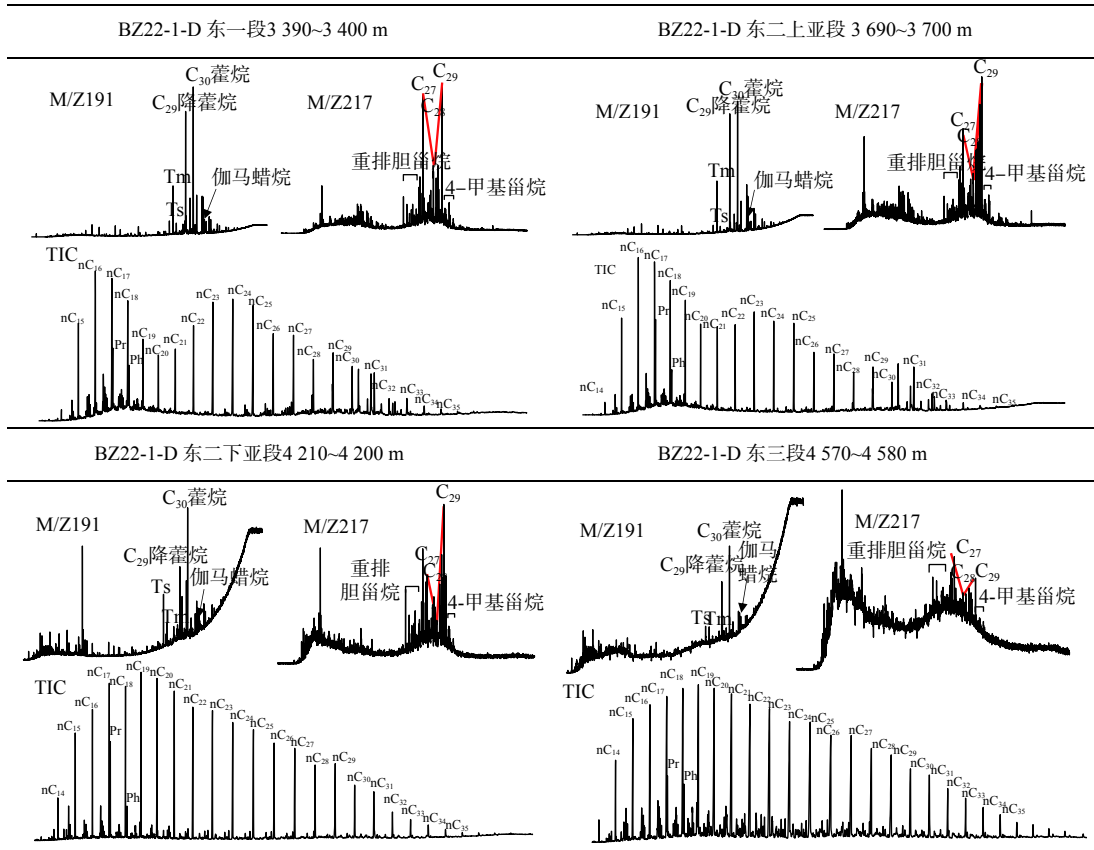


图 16 渤中南洼 BZ22-1-D 井东营组各层段 M/Z191、217 质量色谱与总离子流

Fig.16 Mass chromatogram M/Z191、217 and TIC of Well BZ22-1-D in source rocks of Dongying Formation in the south of Bozhong Sub sag

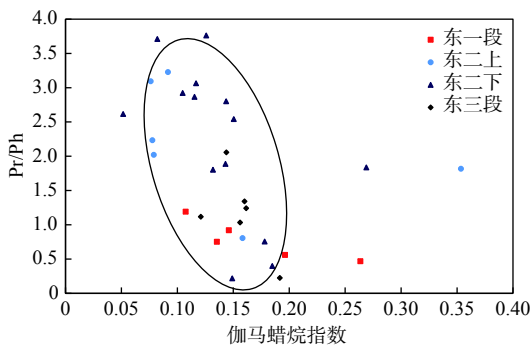


图 17 渤中凹陷南洼东营组烃源岩伽马蜡烷指数与 Pr/Ph 关系

Fig.17 The relationship between gammacerane abnormal index and Pr/Ph in source rocks of Dongying Formation in the south of Bozhong Sub sag

东二段 C_{19} 三环萜烷/ C_{23} 三环萜烷和 C_{24} 四环萜烷/ C_{26} 三环萜烷的含量相对高, 分别为 0.1~3.2 和 0.5~3.26, 平均值分别为 0.77 和 1.98, 陆源侵入较强。东三段 C_{19} 三环萜烷/ C_{23} 三环萜烷和 C_{24} 四环萜烷/ C_{26} 三环萜烷的含量相对较低, 分别为 0.1~0.8 和 0.58~0.93, 平均值分别为 0.54 和 0.71, 陆源

侵入较弱(图 11、18)。

5 烃源岩综合评价

结合前人对渤中凹陷古近系烃源岩的整体研究成果, 认为渤中凹陷南洼东三段烃源岩主要属于好-优质烃源岩; 东二下亚段烃源岩样品值比较分

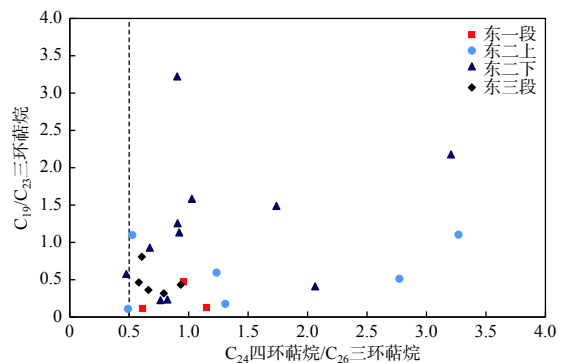


图 18 渤中凹陷南洼东营组烃源岩环萜烷比值参数

Fig.18 Diagram of cycloterpene ratio parameters in source rocks of Dongying Formation in the south of Bozhong Sub sag

散,主要为中等—好烃源岩,部分为差烃源岩;东二上亚段烃源岩主要为中等和差烃源岩;东一段基本上为差—非烃源岩,这与前人对整个渤中凹陷东营组烃源岩研究的整体评价一致。

BZ22-1-D 井位于南洼东北部,钻井揭示的东营组烃源岩层位主要是东二下段、东三段,均发育着大段厚层深灰色泥岩。其中东三段有机碳含量分布在 2%~3% 范围内,烃源岩样品的生烃潜力均 $> 2 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,由此可知东三段烃源岩的有机质丰度高,类型好,为好烃源岩。东二下段也发育着大套厚层深灰色泥岩,但是大部分有机碳含量都在 2% 以下,生烃潜力基本在 $4 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 以下,为中等—好烃源岩(图 19),渤中南洼 BZ22-1-D 井各层段 M/Z191、217 质量色谱与总离子流图(图 16)可见 V 型分布规则甾烷。

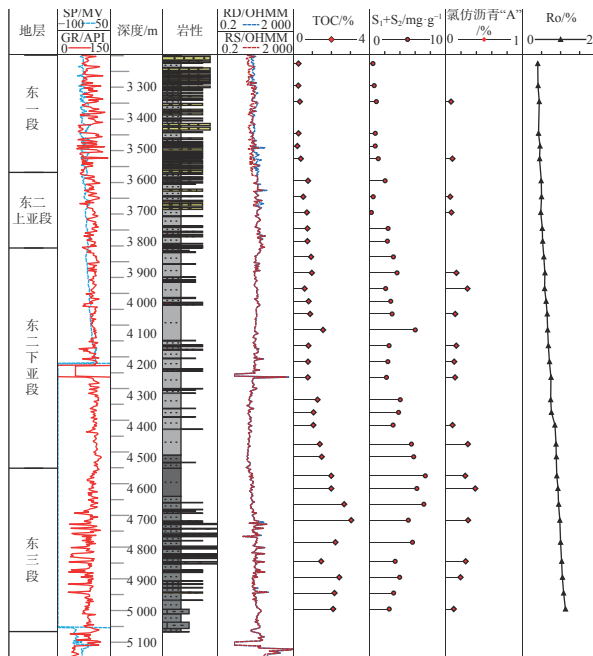


图 19 渤中南洼 BZ22-1-D 井地球化学综合剖面

Fig.19 Comprehensive geochemical profile of Well BZ22-1-D in the south of Bozhong Subbasin

相比较渤中凹陷另外两套烃源岩,东营组的生标情况是低的 Pr/Ph、伽马蜡烷和 4-甲基甾烷,高的 C_{19}/C_{23} 三环萜烷、 C_{24} 四环萜烷/ C_{26} 三环萜烷值与 C_{29} 甾烷,正构烷烃高碳数的分布特征,表明随着东营组的沉积,南洼陆源侵入越来越频繁,东下段处于弱氧化还原、淡水—微咸水的滨浅湖环境,东上段时有强烈的陆源侵入,改变为氧化性质较强的环境(图 11)。

6 结论

(1) 南洼东营组整体上东下段烃源岩质量最高,其中东三段评价为好—优质烃源岩,有机碳含量为 0.6%~2.48%,平均 1.83%,有机质丰度较高;氯仿沥青“A”为 0.1%~0.54%,平均 0.32%,总体偏高,存在排烃效果差的情况。东上段评价为差—中等烃源岩,有机碳含量为 0.18%~1.5%,氯仿沥青“A”为 0.02%~0.23%,有机质丰度一般。研究区样品东营组整体干酪根显微组分中壳质组占主体,综合热解氢指数反映东营组的有机质类型主要是 II_1-II_2 型。

(2) 反映有机质成熟度的 R_o 、 T_{max} 、CPI、OEP、 C_{29} -甾烷 $20S/(20S+20R)$ 、 C_{29} -甾烷 $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 、 Ts/Tm 等参数表明东三段烃源岩处于高成熟阶段,东二段处于成熟阶段,东一段处于低成熟阶段,与渤中凹陷东营组整体情况一致。

(3) 研究区样品生物标志化合物特征为低的 Pr/Ph 值、伽马蜡烷指数、4-甲基甾烷指数,正构烷烃的高碳数分布特征和较高含量的 C_{29} 规则甾烷、 C_{19}/C_{23} 三环萜烷和 C_{24} 四环萜烷/ C_{26} 三环萜烷比值,显示沉积有机质母质以混源为主,东营组往上陆源供给越多,指示南洼东营组沉积为弱氧化还原的淡水—微咸水滨浅湖相沉积环境。

参考文献:

- [1] 任拥军,杜雨佳,郭潇潇,等. 渤中凹陷古近系优质烃源岩特征及分布[J]. 油气地质与采收率, 2015, 22(1): 5-13.
- [2] 张功成. 渤海海域构造格局与富生烃凹陷分布[J]. 中国海上油气: 地质, 2000, 14(2): 93-99.
- [3] 姜福杰, 庞雄奇. 环渤中凹陷油气资源潜力与分布定量评价[J]. 石油勘探与开发, 2011, 38(1): 23-29.
- [4] 王昕, 王永利, 官大勇, 等. 环渤中凹陷斜坡区浅层油气地质特征与勘探潜力[J]. 中国海上油气, 2012, 24(3): 12-16.
- [5] 王德英, 薛永安, 于海波, 等. 渤中凹陷斜坡类型与新近系油气成藏特征[J]. 中国海上油气, 2019, 31(4): 9-18.
- [6] 何仕斌, 朱伟林, 李丽霞, 等. 渤中坳陷沉积演化和上第三系储盖组合分析[J]. 石油学报, 2001, 22(2): 38-43.
- [7] 黄正吉, 李友川. 渤海湾盆地渤中坳陷东营组烃源岩的烃源前景[J]. 中国海上油气: 地质, 2002, 16(2): 118-124.
- [8] 杜雨佳. 渤中凹陷古近系烃源岩生烃潜力评价[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2015.
- [9] TISSOT B P, WELTE D H. Petroleum formation and occurrence[M]. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg,

- 1984: 592-662.
- [10] SEIFERT W K, MOLDOVAN J M. Use of biological markers in petroleum exploration[J]. *Methods in Geochemistry and Geophysics*, 1986, 24: 261-290.
- [11] 冯乔, 周海峰, 张耀, 等. 准噶尔盆地东南缘中上三叠统烃源岩有机地球化学特征及意义[J]. *科技通报*, 2018, 34(11): 73-81.
- [12] 王铁冠, 钟宁宇, 侯读杰, 等. 低熟油气形成机理与分布[M]. 北京: 石油工业出版社, 1995.
- [13] GELPI E, SCHNEIDER H, MANN J, et al. Hydrocarbons of geochemical significance in microscopic algae[J]. *Phytochemistry*, 1970, 9(3): 603-612.
- [14] 刘博奥. 渤中凹陷烃源岩研究[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2011.
- [15] PETER K E, MOLDOVAN M. The biomarker guide: Interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments[M]. New Jersey: Prentice Hall Inc, 1993.
- [16] 王培荣, 张大江, 宋孚庆, 等. 区分渤中坳陷三套烃源岩的地球化学参数组合[J]. *中国海上油气*, 2004, 16(3): 14-17.
- [17] 兰蕾, 李友川, 王柯, 等. 一组有效区分渤中凹陷烃源岩的生物标志化合物参数[J]. *石油学报*, 2019, 40(1): 35-41.
- [18] 张向涛, 朱俊章, 熊万林, 等. 番禺4洼文昌组烃源岩生物标志化合物特征与油源判识[J]. *中国海上油气*, 2020, 32(4): 12-23.
- [19] 王翔宇. 渤海湾盆地渤中凹陷渐新统东营组三段烃源岩预测及评价[D]. 武汉: 长江大学, 2019.
- [20] HAO F, ZHOU X, ZHU Y, et al. Lacustrine source rock deposition in response to co-evolution of environments and organisms controlled by tectonic subsidence and climate, Bohai Bay Basin, China[J]. *Organic Geochemistry*, 2011, 42(4): 323-339.

ORGANIC GEOCHEMISTRY OF THE SOURCE ROCKS IN THE DONGYING FORMATION OF THE SOUTH BOZHONG SUBSAG

ZHANG Can¹, YANG Hong², WANG Feilong¹, ZENG Xiaoxiang², WANG Guangyuan¹, LIU Chenglin²

(1 Bohai Oilfield Research Institute, Tianjin Branch of CNOOC China Limited, Tianjin 300452, China;

2 China University of Petroleum(Beijing), Beijing 102249, China)

Abstract: This paper is devoted to the studies of organic matter abundance, type, maturity, parent matter source and depositional environment of the source rocks in the Dongying Formation of the south Bozhong subsag. Analysis results of organic carbon, kerogen, rock pyrolysis, chloroform bitumen "A", group components, Ro, saturated hydrocarbon chromatography-mass spectrometry are collected for the purpose of resource evaluation and source comparison. Results suggest that E₃d₃ is a high-quality source rock with rather high content of organic carbon. Rock pyrolysis experiments and kerogen maceral observation proves that the organic matters of the source rocks of the Dongying Formation are dominated by type II₁-II₂; The biomarkers are relatively low in Pr/Ph and Gamma-paraffin index, and the combination of Pr/nC₁₇ and Ph/nC₁₈ indicates a weak reduction and fresh-brackish water dominated shallow-lacustrine environment in which the Dongying Formation was deposited. The distribution of n-alkanes, high content of C₂₉ steranes, 4-methylsteranes, C₁₉/C₂₃ tricyclic terpanes and C₂₄ tetracyclic terpanes /C₂₆ tricyclic terpanes suggest that the organic matters are coming from a mixed source, with certain amount of terrigenous input. The parameters of Ro, CPI, OEP, C₂₉20S/(20S+20R), C₂₉ββ/(αα+ββ) and Ts/Tm confirm that the source rocks of the E₃d₃ have matured and started to generate substantial amount of hydrocarbons. However, the E₃d₂ still remain in the stage of low maturity, and the E₃d₁ in the stage of low maturity and/or even immature.

Key words: south of Bozhong Subsag; source rock of Dongying Formation; geochemical characteristics; biomarker