

文章编号: 1000-0550(2003)03-0506-07

东营凹陷两套优质烃源岩层 地质地球化学特征研究^①

朱光有 金 强

(石油大学地球资源与信息学院 山东东营 257061)

摘 要 通过对东营凹陷烃源岩及原油的研究,发现东营凹陷主要油田的原油来自沙河街组沙三段下部(E₃^T)和沙四段上部(E₄^T)的烃源岩。作者利用大量的地质地球化学资料,深入分析了这两套优质烃源岩在沉积特征、地球化学特征等方面的差异性。其中沙三段下部烃源岩是在咸水—半咸水深湖—半深湖环境下沉积形成的,沙四段上部是在盐水—咸水浅湖—半深湖环境下形成的。同时还讨论了这两套优质烃源岩有机质的富集与保存特征,揭示了两套优质烃源岩的形成条件——高的古生产力和缺氧环境,其中咸水沉积环境是沙四段上部优质烃源岩形成的一个重要影响因素,藻类勃发控制了沙四段上部和沙三段下部高有机质丰度烃源岩的形成。

关键词 优质烃源岩 东营凹陷 沙河街组 缺氧环境 古生产力

第一作者简介 朱光有 男 1975年出生 博士 油气地质和有机地球化学

中图分类号 P593 **文献标识码** A

东营凹陷属于渤海湾中、新生代裂谷盆地的三级负向构造单元,是中国东部陆相断陷湖盆的典型代表,具有北断南超的开阔型箕状凹陷特征。该凹陷是在古生界基岩古地形背景上经构造运动发育起来的断陷—拗陷湖盆,面积5 700 km²。东营凹陷第三系发育了多套生储盖组合,具备良好的成藏条件,特别是下第三系发育了巨厚的沙四段上部和沙三段生油岩系,具有丰富的油气资源,仅其下第三系的探明储量就占济阳拗陷总资源量的45%以上^[1],累计生产原油四亿多吨,占胜利油区原油产量的55%以上,为胜利油田的发展做出了重要贡献。长期以来,人们认为东营凹陷下第三系沙河街组厚达1 000~1 500 m的暗色泥岩都为其有效烃源岩^[2],但是我们经过精细的油—源对比后发现,东营凹陷的有效烃源岩绝没有上千米之厚^[3],对油气藏真正有贡献的主要为沙四段上部(油田习称“沙四上”)烃源岩和沙三段下部(沙三下)烃源岩,是它们控制了东营凹陷各亿吨级大油田的形成。因此阐明东营凹陷这两套优质烃源岩的沉积和地球化学等方面的特征具有十分重要的意义。

1 东营凹陷两套优质烃源岩层的确定

所谓“优质烃源岩”就是指含有机质丰度高、类型好、对油气藏有较大贡献的烃源岩^[4],它们的厚度往往不大,但却具有较高的生烃潜力和排烃强度。通过

对东营凹陷厚层泥页岩的深入研究及精细的油—源对比,确立了两套优质烃源岩层段,而且东营凹陷各油田的原油几乎均来自这两套厚度不大的优质烃源岩层,从而否定了厚度在500~800 m的沙三中、上部层段的烃源岩。

通过对东营凹陷不同层位数十个烃源岩样品和十七个油田上百个原油样品分别进行了色谱、色—质等多项分析,发现不同层段的烃源岩具有显著的差异性,尤其在 Pr/Ph 和伽马蜡烷/C₃₁藿烷值上尤为突出(图1),而各油田的原油几乎全落在沙三下和沙四上烃源岩的数值区。从其它生物标志物统计分析情况来看,也具有相同的结论(表1),也就是说东营凹陷各油田的原油是来自沙三下或沙四上的烃源岩,或是二者的混合,而沙三中、上部烃源岩与各油田产出的原油差别较大(图1、表1)。据此,确立了东营凹陷的主力烃源岩段:沙三下和沙四上烃源岩层段。这两套烃源岩有机质丰度较高(TOC一般>2%),干酪根类型以I型和II₁型为主,而且埋藏深度大部分在3 000 m以下;相对而言,沙三中、上的烃源岩埋深就浅些,以不成熟或低成熟为主要特征,TOC多在0.5%~2%之间,干酪根以II₂型和III型构成为主。因此将有机碳含量高、类型好的沙三下和沙四上部暗色泥页岩称为“优质烃源岩”,而这两套优质烃源岩在岩性、岩相等沉积方面和有机地化等特征上又具有明显的差异性。

① 国家“十五”科技攻关项目(编号:2001BA605A09)

收稿日期:2002-08-27 收修改稿日期:2002-11-08

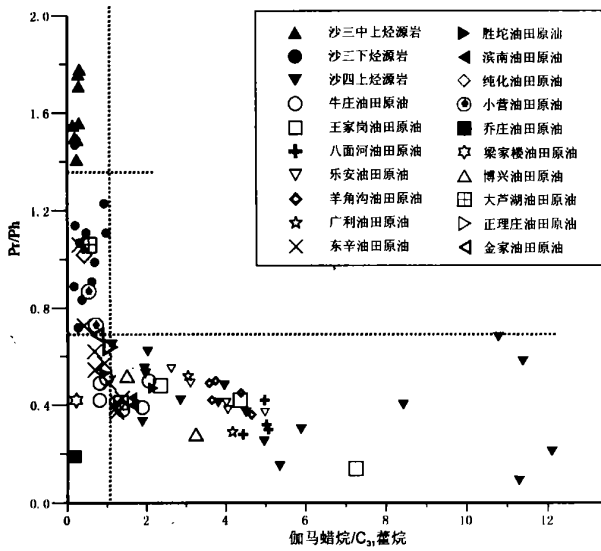


图 1 东营凹陷不同层段烃源岩和各油田原油 Pr/Ph-伽马蜡烷/C₃₁藿烷相关分析图

Fig. 1 Relationship between the Pr/Ph and Gammarane/C₃₁ Hopanes ratios in source rocks and crude oil in Dongying depression

2 两套优质烃源岩沉积学特征

烃源岩的发育受沉积环境及生物演化的控制,不同的水介质条件和沉积环境具有不同的生物群落和繁殖程度^[5]。只有那些有利于生物的繁殖、富集和有机质保存的水介质和沉积环境,才可能形成高有机质丰度的烃源岩。因此我们首先对两套烃源岩进行了岩心观察,分析其沉积特征。

2.1 沙四上亚段烃源岩沉积学特征

沙四上烃源岩岩性以灰褐色钙质页岩、灰色、深灰色和黑色泥岩为主,夹薄层白云岩、泥质白云岩等,靠近顶部夹有薄层褐灰色油页岩,在局部深洼处见有条带状膏盐等蒸发岩沉积,总体上是浅湖一半深湖沉积环境。颗石藻、德弗兰藻、渤海藻、盘星藻等常富集成层。从微观上看,沙四上页岩常具有三层式结构^[6],底层主要成分是颗石藻鳞板或隐晶方解石,并含有少量粘土,中层主要是有机质和粘土,上层主要由黄铁矿颗粒组成(图 2)。这一特点记录了藻类的勃发、死亡和埋藏的地质历程。

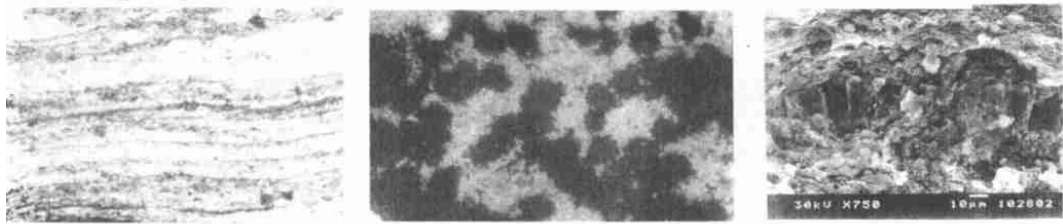
从微量元素组成来看,沙四上烃源岩的Sr/Ba值

表 1 东营凹陷烃源岩和原油生物标志化合物特征参数平均值

Table 1 Average biomarker parameters of the source rocks and crude oil in Dongying depression

| 样品类型(数量) | OEP | 主峰碳分布 | Pr/Ph | Pr/nC ₁₇ | Ph/nC ₁₈ | CPI | a | b | c | d |
|--------------|------|------------------------------------|-------|---------------------|---------------------|------|------|------|------|------|
| 沙三中上烃源岩(8个) | 1.70 | nC ₂₃ -nC ₂₉ | 1.68 | 0.76 | 0.55 | 1.69 | 0.82 | 0.25 | 0.31 | 0.31 |
| 沙三下烃源岩(23个) | 1.19 | nC ₁₄ -nC ₂₃ | 1.13 | 0.68 | 0.67 | 1.35 | 1.20 | 0.34 | 0.42 | 0.47 |
| 沙四上烃源岩(17个) | 1.1 | nC ₁₄ -nC ₂₄ | 0.36 | 2.12 | 7.49 | 1.2 | 1.06 | 4.23 | 0.46 | 0.44 |
| 东营凹陷原油(106个) | 1.06 | nC ₁₆ -nC ₂₄ | 0.46 | 1.68 | 5.11 | 0.97 | 1.09 | 3.01 | 0.43 | 0.46 |

a: $\sum C_{21}^- / \sum C_{22}^+$; b: 伽马蜡烷/C₃₁藿烷; c: C₂₉甾烷 $\beta_3 / (\alpha\alpha + \beta_3)$; d: C₂₉甾烷 20S/20S+20R



(浅色层主要为颗石藻鳞板或隐晶方解石,黄色层主要是有机质和粘土,黑色层主要由黄铁矿颗粒组成)

图 2 显微镜下不同成分构成的颜色纹层

(tint lamination-coccolithophorids fossils or anaphic calcite; yellow lamination-organic matter and clay; black lamination-pyrite grains)

Fig. 2 Color lamination formed by different ingredients under microscope

平均为 6.5, B/Ga 值平均为 6.1(表 2),据古盐度计算,沙四上古盐度在 22‰~32‰之间,平均值为 31‰^[7],因此沙四上是咸水沉积环境。同时,水体具有明显的分层结构,强还原环境使得沉积有机质得到

了最大限度的保存。暗色泥页岩累计厚度在 40~120 m 之间。

2.2 沙三下亚段烃源岩沉积学特征

沙三下烃源岩主要由深灰色、灰黑色泥岩、钙质泥

表2 东营凹陷沙四上和沙三下烃源岩特征对比

Table 2 Comparison between the underlayer of Member 3 and upperlayer of Member 4 source rocks in Shahejie Formation in Dongying depression

| 层位 | 沙四上 | 沙三下 |
|-------------------------------------|--|--|
| 岩性特征 | 灰色—深灰色泥页岩、钙质泥岩夹油页岩, 局部鲕状灰岩、石盐和膏盐岩 | 褐灰色油页岩、深灰色钙质泥岩、泥页岩, 夹浊积砂岩 |
| 沉积相 | 半深湖—浅湖亚相, 局部为蒸发岩相 | 深湖—半深湖亚相, 偶尔为波动深湖相 |
| 水体环境 | 咸水—盐湖 | 咸水—半咸水 |
| 微量元素 | Sr/Ba 值 2.57~21.4, 平均 6.5 B/Ga 值 5~10, 平均 6.1 硼含量平均 113×10^{-6} | Sr/Ba 值 0.24~3.46, 平均 1.1 B/Ga 值 2.5~4.6, 平均 3.1 硼含量平均 86×10^{-6} |
| 盐度/‰ | 28~32, 平均 31 | 20~28, 平均 25 |
| 黄铁矿产状及形态 | 多为伴生硫酸盐型, 以自晶形为主, 草莓球粒状丰富 | 多为伴生有机质型和弥散型, 多见球状黄铁矿颗粒 |
| 碳酸盐岩 $\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$ | 平均 4.1 | 平均 2.03 |
| 碳酸盐岩 $\delta^{18}\text{O}/\text{‰}$ | 平均 -8.0 | 平均 -9.5 |
| 有机碳含量/% | 0.6~8.2, 多数 > 2 | 1.5%~19%, 多数在 2%~5% 之间 |
| 氯仿沥青“A”/% | 0.3~0.8, 多数 > 0.6 | 0.3~0.6, 平均为 0.48 |
| 干酪根类型 | I 和 II ₁ 为主 | I ~ II ₂ , II ₁ 为主 |
| 有机质来源 | 水生生物组成为主 | 水生生物和陆源高等植物组成 |
| R_o 分布范围 | 0.45~0.93 | 0.36~0.80 |

岩、褐灰色油页岩或泥页岩组成, 藻类化石富集成层, 属于深湖、半深湖沉积。微量元素 Sr/Ba 值在 0.24~3.46 之间, 平均值为 1.1, B/Ga 值在 2.5~4.6 之间, 平均 3.1(表 2); 古盐度在 20‰~28‰ 之间, 说明沙三段下部沉积时, 东营凹陷的沉积水体属于咸水—半咸水环境。暗色泥页岩累计厚度在 80~200 m 左右, 而且全凹陷厚度比较均匀。在岩心观察中, 常发现保存精美完好的鱼化石(图 3, 作者收藏), 反映了所处的环境较为稳定。另外从原始沉积结构保存情况来看, 底

水安静缺氧时纹层发育; 底水流动时, 纹层凌乱, 甚至被搅动消逝。从东营凹陷沙三下烃源岩的微观纹层来看, 那些连续而平行的纹理显然反映了沙河街组沉积时期的静水缺氧环境; 但还有部分烃源岩纹层连续性很差, 难以辨认, 显然遭受了不同程度的改造和破坏, 它们常常是在洪水期发育的浊积砂体打破水体的分层结构, 形成波动深湖相沉积, 使底部水体成为含氧环境。但湖底这种短暂微弱的充氧环境并没有完全破坏有机质的保存, 在对牛 38 井沙三下加密采样中, 一百



图 3 深褐色泥页岩中保存完好的鱼化石(鱼鳞及鱼纹清晰, 牛 38 井岩心, 3 306 m)

Fig. 3 Well-preserved ichthyolite in deep brown shale (clear scale and grain in the Well Niu-38 core, 3 306 m)

余块样品的有机碳含量在 2%~13% 之间波动, 显示出东营凹陷沙三下烃源岩强烈的非均质性^[8]。

3 两套优质烃源岩的地球化学特征

根据我们采样分析和资料的整理, 发现东营凹陷沙四上和沙三下烃源岩不仅在沉积环境、岩性及其组合等方面存在差异, 而且在有机质丰度和性质等地球化学方面也具有明显的差异性。

3.1 沙四上亚段烃源岩地球化学特征

东营凹陷沙四上烃源岩的盐湖或咸水湖相有机质特征十分明显, 饱和烃呈“单峰型”分布(图 4), 正构烷烃具有偶碳优势、植烷优势($P_r/Ph < 0.5$, $Ph/nC_{18} > 1.5$), 主峰碳位于 nC_{14} — nC_{24} 之间, 多数主峰碳为 nC_{16} 或 nC_{18} ; 三萜烷系列中具有伽马蜡烷含量高的特征(伽马蜡烷/ C_{31} 藿烷均大于 1.2, 个别甚至大于 20), 藿烷分布具有 C_{35} 藿烷 $>$ C_{34} 藿烷 $>$ C_{33} 藿烷的“翘尾”特点(图 5), 生物标志物的这些组合特征充分体现了沙四段上部沉积是在高盐度环境下形成的^[9~14]。水生生物是烃源岩有机质的主要来源, 干酪根类型以 I 和 II₁ 为主, 有机碳丰度在 2%~11% 之间, 生烃潜力较大。除凹陷边缘外, 沙四上目前埋藏深度大部分在 3 000 m 以下, 接近生油高峰(R_o 可达 0.90% 以上), 是优质烃源岩。由于沙四上主力烃源岩在生物化石组成和烃源岩生物标志物中呈现出海相源岩特征, 因此不少学者提出曾有“海侵”事件发生^[15~18], 但也有不少学者认为这不是海侵, 是陆相咸化湖盆还原环境下

特有的产物^[19~22], 从而展开了一场长达数十年的争论, 但是东营湖沙四上沉积是在咸水条件下形成无疑已成定论, 这种高盐介质环境十分有利于烃类的生成, 因此东营湖沙四上咸化湖相的强还原环境控制了该层段优质烃源岩的形成。

3.2 沙三下亚段烃源岩地球化学特征

沙三下烃源岩有机质丰度比较高, TOC 多数在 2%~5%, 其中油页岩的 TOC 在 5%~19% 之间。沙三下埋藏深度大部分在 2 700 m 以下, R_o 平均为 0.67%, 按目前普遍认为东营凹陷 2200m 生烃门限来看, 已是成熟烃源岩。从干酪根显微组分和可溶有机质组成来看, 水生生物和陆源高等植物均是烃源岩有机质的来源, 其中水生生物输入的有机质数量较多, 干酪根类型以 II₁ 型为主。正构烷烃呈现双峰型(图 4), 主峰碳位于 nC_{14} ~ nC_{23} , 多数主峰碳为 nC_{16} 或 nC_{17} 。与下伏层位(沙四上)相比植烷优势明显下降, P_r/Ph 分布在 0.7~1.4 之间, 伽马蜡烷含量也逐渐降低(伽马蜡烷/ C_{31} 藿烷值从 0.95 降至 $>$ 0.41)。

4 两套优质烃源岩形成的控制因素

湖盆有机质沉积并保存下来的主要控制因素是古生产力和缺氧条件^[23]。从东营凹陷烃源岩的特征中可以明显看出: 二者控制了这两套优质烃源岩的发育。

4.1 高的古生产力

东营凹陷富有机质生油岩的形成与藻类勃发有着密切的关系^[24], 当季节性回水将水体底层丰富的营养

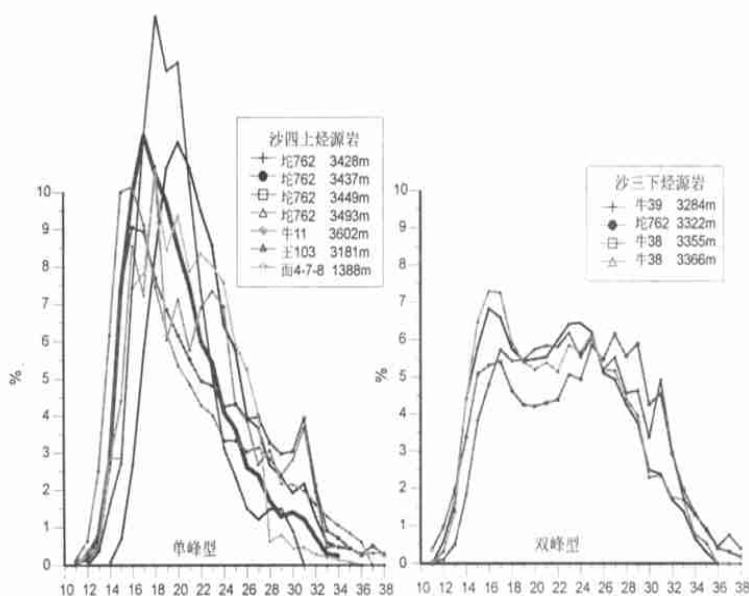


图 4 东营凹陷沙三下和沙四上烃源岩饱和烃碳数曲线分布特征

Fig. 4 Carbon number distribution features of saturated hydrocarbon for the underlayer of member 3 and upperlayer of member 4 source rocks in the Shahejie formation in Dongying depression

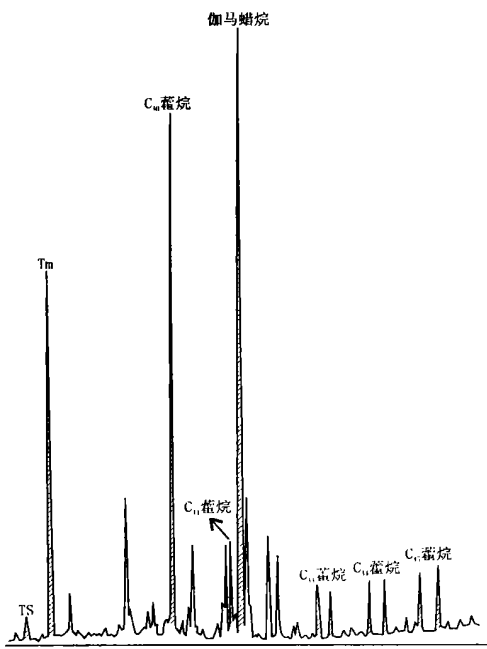


图5 东营凹陷沙四上烃源岩的质量色谱图
(m/z 191)(面4-7-8井)

Fig. 5 Mass chromatograms(m/z 191) of the upper layer of Member 4 source rocks in the Well Mian-4 7-8 of Dongying depression

元素携入表层光合作用带,就可能形成藻类勃发。藻类周期性或季节性勃发,可促使优质烃源岩的形成。通过对东营凹陷1000多米泥岩岩心的观察,发现这两套优质烃源岩层段中藻类勃发现象十分常见,尤其在沙三下尤为富集,同时还诱发沉淀了细粒方解石纹层。藻类勃发形成的高生产力,使得大量藻类沉积下来,组成了富有机质纹层页岩(图2),其有机碳含量大多大于2%,部分层段可达到8%以上,可见,藻类勃发是东营凹陷优质烃源岩形成的重要控制因素。同时生产力高,还可以消耗水中大量的氧,使水体环境更加还原^[25]。可见原始生产率是控制烃源岩有机质丰度的重要因素。

4.2 缺氧环境

沉积物到达湖底之后,底层水的物理-化学环境便成为原始有机质保存的决定性因素。湖盆底部水体为缺氧还原条件,降落到湖底的水生生物和陆源有机质才能被保存下来。在缺氧环境中的沉积物没有或者很少出现生物扰动现象,生物化石往往保存完好。在观察东营凹陷南部牛38井沙三下亚段岩心中,在深灰褐色纹层状泥岩中发现了众多保存精美完整的鱼化石,鱼纹清晰可见(图3)。通过对其周围泥岩进行有机碳分析,发现有机碳含量较高,最高可达6.2%,平均值为3.7%,由此看来东营凹陷这些保存完整的鱼

化石,是在一种比较安静的还原环境下被细粒沉积物逐渐掩埋起来的。由于湖水较深,沉积缓慢,将鱼遗体掩埋起来需要一个较长的过程,因此东营凹陷深湖环境下鱼类埋藏的最可能模式是湖水分层。

在这两套烃源岩中,水平纹层十分发育,而水平纹层泥岩是在缺氧环境下形成的^[26]。而稳定缺氧封闭环境主要与湖水分层有密切关系,同时水体分层是湖盆缺氧环境形成的主要形式,水体可以是密度分层(温度)或者盐度分层。只要达到一定的水深,就具备了湖水分层的条件,若湖水分层一旦形成,上下水层之间的混合交换就会停止,底层水区就会形成封闭的缺氧环境,这将有利于有机质的保存与转化^[27]。东营凹陷沙四上和沙三下沉积时,水体较咸,往往会形成盐度分层现象,这一点从烃源岩和原油中检测到的高伽马蜡烷含量中可以得到证实,因为高伽马蜡烷指示了具有盐跃层的分层水体环境标志^[28-30];同时东营古湖泊属亚热带湖泊,亚热带湖泊具有季节分层的特点,在灰褐色钙质页岩中,纹层结构十分发育(图2),这些由不同季节沉积形成的韵律纹层正是湖泊季节性分层表现之一^[8-31]。另外东营湖水的化学性质与含盐量也有着相应的周期性变化关系^[7],这都为湖水的分层提供了证据。也正是由于湖泊分层结构的出现,才促使东营凹陷优质烃源岩的形成。

另外,从黄铁矿形态、结构和富集程度也可以看出(表2),这两套烃源岩的形成与缺氧环境有着密不可分的关系。

5 结论

- (1) 沙四段上部是浅湖一半深湖亚相还原环境下的咸水沉积;
- (2) 沙三段下部烃源岩具有咸水一半咸水深湖一半深湖亚相的沉积特征;
- (3) 咸水-盐水环境控制了沙四上部优质烃源岩的形成;
- (4) 藻类的勃发是沙三下和沙四上优质烃源岩的形成重要控制因素之一;
- (5) 缺氧环境(湖水分层)和高的古生产力是东营凹陷两套优质烃源岩形成的必要条件。

致谢 受到了胜利油田地质科学院徐金鲤、张林晔、陈致林高级工程师、石油大学蒋有录教授、同济大学刘传联博士的帮助和支持;石油大学博士生万丛礼协助了岩心观察,在此致以衷心的感谢!

参考文献(References)

- 1 郭元岭,赵乐强,石红霞等.济阳拗陷探明石油地质储量特点分析

- [J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(3): 33~37 [Guo Yuanling, Zhao Leqing, Shi Hongxia *et al.* Analysis on characteristic of proven OOIIP in Jiyang depression [J]. Petroleum Exploration and Development, 2001, 28(3): 33~37]
- 2 曾灏辉, 郑和荣, 王宁. 东营凹陷岩性油气藏成藏动力学特征[J]. 石油与天然气地质, 1998, 19(4): 326~329 [Zeng Jianhui, Zheng Herong, Wang Ning. Pool-forming dynamic property of lithological oil-gas reservoirs in Dingying sag [J]. Oil & Gas Geology, 1998, 19(4): 326~329]
 - 3 金强. 有效烃源岩的重要性及其研究[J]. 油气地质与采收率, 2001, 8(1): 1~4 [Jin Qiang. Importance and research about effective hydrocarbon source rock [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2001, 8(1): 1~4]
 - 4 金强, 查明. 柴达木盆地西部第三系蒸发岩与生油岩共生沉积作用研究[J]. 地质科学, 2000, 35(4): 465~473 [Jin Qiang, Zha Ming. Co-sedimentation of Tertiary evaporates and oil source rocks in the western Qaidam basin [J]. Scientia Geologica Sinica, 2000, 35(4): 465~473]
 - 5 张水昌, 张保民, 王飞宇等. 塔里木盆地两套海相有效烃源岩层—I 有机质性质、发育环境及控制因素[J]. 自然科学进展, 2001, 11(3): 261~268 [Zhang Shuichang, Zhang Baomin, Wang Feiyu, *et al.* The two sets of effective source rock layers in Talimu Basin—I the organic matters characteristics, developing environment and controlling factors [J]. Progress in Nature Science, 2001, 11(3): 261~268]
 - 6 孔凡仙, 张林晔, 周文等. 济阳拗陷优质烃源岩层地球化学特征及成烃潜力[J]. 复式油气田, 2000, 7(3): 13~15 [Kong Fanxian, Zhang Linye, Zhou Wen, *et al.* Geochemical characteristics and hydrocarbon-generating potential of good source rocks in Jiyang depression [J]. Multiple Oil-Gas Field, 2000, 7(3): 13~15]
 - 7 李成凤, 肖继凤. 用微量元素研究胜利油田东营盆地沙河街组的古盐度[J]. 沉积学报, 1988, 6(4): 100~107 [Li Chengfeng, Xiao Jifeng. The application of trace element to the study on paleosalinities in Shahejie Formation of Dongying basin, Shengli oil field [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1988, 6(4): 100~107]
 - 8 朱光有, 金强. 烃源岩的非均质性及其研究—以东营凹陷牛 38 井为例[J]. 石油学报, 2002, 23(4): 34~39 [Zhu Guangyou, Jin Qiang. On Source rock heterogeneity—A case study of the Well Niu-38, Dongying Depression [J]. Acta Petroli Sinica, 2002, 23(4): 34~39]
 - 9 Seifert W K, Moldowan J M. The effect of biodegradation on steranes and terpanes in crude oils [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1979, 43: 111~126
 - 10 Seifert W K, Moldowan J M. Paleoreconstruction by biological markers [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1981, 45: 783~794
 - 11 李任伟, 林大兴, 王志珍等. 判断高盐度环境的新标准[J]. 科学通报, 1986, (8): 604~607 [Li Renwei, Lin Daxing, Wang Zhizhen, *et al.* The new criteria used by judging high salinity environment [J]. Chinese Science Bulletin, 1986, (8): 604~607]
 - 12 王铁冠. 试论我国某些原油与生油岩中的沉积环境标志物[J]. 地球化学, 1990, (3): 256~262 [Wang Tieguan. A contribution to some sedimentary environmental biomarkers in crude oils and source rocks in China [J]. Geochimica, 1990, 3: 256~262]
 - 13 傅家谟, 盛国英, 许家友等. 应用生物标志化合物参数判别古沉积环境[J]. 地球化学, 1991, (1): 1~12 [Fu Jiamo, Sheng Guoying, Xu Jiayou *et al.* Application of biomarker compounds in assessment of paleoenvironments of Chinese terrestrial sediments [J]. Geochimica, 1991, (1): 1~12]
 - 14 张枝焕, 杨藩, 李东明等. 中国新生界咸化湖相烃源岩和原油生物标志物组合特征[J]. 沉积学报, 1998, 16(3): 119~123 [Zhang Zhihuan, Yang Fan, Li Dongming *et al.* Biomarker assemblage characteristics of source rocks and associated crude oil in saline lake facies of Cenozoic in China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1998, 16(3): 119~123]
 - 15 唐祥华. 东濮凹陷早第三纪钙质超微化石古生态及成盐环境[J]. 科学通报, 1986, (4): 298~300 [Tang Xianghua. The Paleogene super-micro fossil paleoecology and haloenvironment in Dongpu depression [J]. Chinese Science Bulletin, 1986, (4): 298~300]
 - 16 李春光. 论山东东营、惠民盆地油田水与油气聚集关系[J]. 地质论评, 1994, 40(4): 340~346 [Li Chunguang. The relationship between oil-field water and hydrocarbon accumulation in the Dongying and Huimin basins, Shandong [J]. Geological Review, 1994, 40(4): 340~346]
 - 17 裘松余, 卢兵力. 我国东部晚白垩世和早第三纪海侵与油气关系[J]. 地质论评, 1994, 40(3): 229~235 [Qiu Songyu, Lu Bingli. The relationship of late Cretaceous and early Tertiary transgressions to hydrocarbons in eastern China [J]. Geological Review, 1994, 40(4): 340~346]
 - 18 侯读杰, 王铁冠. 陆相湖盆沉积物和原油中的甲藻甾烷[J]. 科学通报, 1995, 40(4): 333~335 [Hou Dujie, Wang Tieguan. The sediment in continental lacustrine basin dinosterane in crude oil [J]. Chinese Science Bulletin, 1995, 40(4): 333~335]
 - 19 姚益民, 徐金鲤, 单怀广等. 山东济阳拗陷早第三纪海侵的讨论[J]. 石油学报, 1992, 13(2): 29~34 [Yao Yimin, Xu Jinli, Shan Huaiguang, *et al.* A discussion of the paleogene transgression in the Jiyang depression, Shandong province [J]. Acta Petroli Sinica, 1992, 13(2): 29~34]
 - 20 陈致林, 李素娟. 甲藻甾烷一种物源和沉积环境的生物标志物[J]. 石油勘探与开发, 1994, 21(3): 60~64 [Cheng Zhilin, Li Sujuan. Dinosterane as biomarker of biogenic origin and sedimentary environment [J]. Petroleum Exploration and Development, 1994, 21(3): 60~64]
 - 21 刘传联, 成鑫荣. 渤海湾盆地早第三纪非海相钙质超微化石的锶同位素证据[J]. 科学通报, 1996, 41(10): 908~910 [Liu Chuanlian, Cheng Xinrong. Strontium isotopic evidences of the Eocene non-marine calcareous ultra-micro-fossils in Bohai Bay basin [J]. Chinese Science Bulletin, 1996, 41(10): 908~910]
 - 22 李守军. 渤海湾盆地早第三纪水平面升降和全球海平面升降的不一致性[J]. 地质论评, 1998, 44(1): 31~34 [Li Shujun. Inconsistency between water-level change in the Bohai bay basin and eustasy during the paleogene [J]. Geological Review, 1998, 44(1): 31~34]
 - 23 Pederson T F and Calvert S E. Anoxia versus productivity: what controls the formation of organic-carbon-rich sediments and sedimentary rock? [J]. AAPG Bulletin, 1990, 74: 454~466
 - 24 刘传联, 徐金鲤, 汪品先. 藻类勃发—湖相油源岩形成的一种重要机制[J]. 地质论评, 2001, 47(2): 207~209 [Liu Chuanlian, Xu Jinli, Wang Pinxian. Algal blooms: the primary mechanism in the formation of lacustrine petroleum source rock [J]. Geological Review, 2001,

- 47(2): 207 ~ 210]
- 25 Riboulet A, Derenne S, Largeau C. Origin of contrasting features and preservation pathways in kerogens from the Kashpir oil shales (Upper Jurassic, Russian Platform) [J]. *Organic Geochemistry*, 2001, 32(5): 647 ~ 665
- 26 Dahl J E P, Moldowan J M, Teerman S C. Source rock quality determination from oil biomarkers I: a new geochemical technique [J]. *AAPG Bulletin*, 1994, 78(10): 1 507 ~ 1 526
- 27 Harrison S P, Digerfeldt G. European lake as palaeohydrological and palaeoclimatic indicators [J]. *Quaternary Science Review*, 1993, 12: 233 ~ 248
- 28 Peters K E, Moldowan J M. *The biomarker guide—Interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments* [M]. Prentice Hall, New Jersey, 1993, 88
- 29 张立平, 黄第藩, 廖志勤. 伽马蜡烷—水体分层的地球化学标志 [J]. *沉积学报*, 1999, 17(1): 136 ~ 140 [Zhang Liping, Huang Difan, Liao Zhiqin. Gammacerane — geochemical indicator of water column stratification [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1999, 17(1): 136 ~ 140]
- 30 王铁冠. 论分子有机地球化学若干名词与术语的辨析和厘定 [J]. *地质论评*, 2002, 48(3): 284 ~ 289 [Wang Tieguan. Discrimination and stipulation of some terms of molecular organic geochemistry [J]. *Geological Review*, 2002, 48(3): 284 ~ 289]
- 31 王慧中, 梅洪明. 东营凹陷沙三下亚段油页岩中古湖泊学信息 [J]. *同济大学学报*, 1998, 26(3): 315 ~ 319 [Wang Huizhong, Mei Hongming. Paleolimnological information from the oil shale in the lower part of Sha 3 Formation, in Dongying depression [J]. *Journal of Tongji University*, 1998, 26(3): 315 ~ 319]

Geochemical Characteristics of Two Sets of Excellent Source Rocks in Dongying Depression

ZHU Guang-you JIN Qiang

(College of Geo-Resource and Information, University of Petroleum, Dongying Shandong 257061)

Abstract The crude oil in Dongying depression mainly came from underlayer of Member 3 and upperlayer of Member 4 source rocks in the Shahejie Formation. On the basis of abundant geochemical data, the authors analyzed the discrepancies in sedimentary and geochemical characteristics of the two sets of source rocks. The underlayer of Member 3 developed in deep lake-semideep lake with saline water-semisaline water, but the upperlayer of Member 4 formed in shallow lake-semideep lake with brine water-saline water. Moreover, the authors discussed the accumulation and preservation features of organic matter and pointed out that high paleo-productivity and anoxic environment controlled the formation of the two sets of excellent source rocks. Brine condition has an important effect on upperlayer of Member 4 and algal blooms controlled the formation of source rocks with rich organic matter in upperlayer of Member 4 and underlayer of member 3.

Key words excellent source rock, Dongying depression, Shahejie Formation, anoxic environment, paleo-productivity