

文章编号: 1001-6112(2007)05-0490-05

# 辽河盆地东部凹陷欧利坨子地区原油性质与成因

周陆扬<sup>1,2</sup>, 刘怀山<sup>1</sup>, 姜建群<sup>3</sup>, 金祥纯<sup>3</sup>

(1. 中国海洋大学 海洋地球科学学院, 山东 青岛 266003; 2. 中国石油天然气集团公司  
辽河石油勘探局物探公司, 辽宁 盘锦 124010; 3. 中国石油天然气股份有限公司  
辽河油田海南油气勘探分公司, 辽宁 盘锦 124010)

**摘要:** 油—油精细对比揭示辽河盆地欧利坨子地区低熟油和成熟油共存, 与东部凹陷其它地区原油相比总体上成熟度较低。表现在原油族组成中饱和烃和芳烃比值低(饱/芳值小于 3.0)、生物标志物中反映成熟度的参数明显偏低、饱和烃和芳烃碳同位素值(分别为 $-26.00\%$ ~ $-27.50\%$ 和 $-25.00\%$ ~ $-26.50\%$ )也明显低于东部凹陷其它地区, 单体烃碳同位素类型曲线特征也揭示其原油成熟度较低。油—源对比揭示欧利坨子地区原油来自沙三中下段的暗色泥岩, 生物标志物资料揭示源岩热演化程度明显低于东部凹陷其它地区, 因而造成该区原油成熟度较低。

**关键词:** 单体烃; 低熟油; 油—源对比; 欧利坨子地区; 东部凹陷; 辽河盆地

中图分类号: TE122.11

文献标识码: A

## CHARACTERISTICS AND ORIGINS OF THE CRUDE OIL IN OULITUOZI AREA OF THE EAST SAG, THE LIAOHE BASIN

Zhou Luyang<sup>1,2</sup>, Liu Huaishan<sup>1</sup>, Jiang Jianqun<sup>3</sup>, Jing Xiangchun<sup>3</sup>

(1. College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao, Shandong 266003, China;  
2. Geophysical Exploration Company of Liaohe Petroleum Exploration Bureau, CNPC, Panjing, Liaoning 124010, China;  
3. Hainan Oil and Gas Exploration Branch Company, Liaohe Oilfield, PetroChina, Panjing, Liaoning 124010, China)

**Abstract:** Oil—oil meticulous correlation research shows that there exist both immature and mature oils in Oulituozi area of the Liaohe Basin, and the maturity level of these oils is generally lower than those in the other areas of the East Sag. The lower maturity level of the oils in Oulituozi area is revealed by the following aspects: the ratio of saturated to aromatic hydrocarbons is low( $<3.0$ ), the values of the maturity parameters of biomarkers and the stable carbon isotope values of saturated hydrocarbons and aromatics( $-26.00\%$ ~ $-27.50\%$  and  $-25.00\%$ ~ $-26.50\%$  respectively) are also lower respectively than those in the other areas of the East Sag. The characteristics of the isotope contours of various individual hydrocarbons also indicates that the maturity of the oil in Oulituozi area is low. The results of oil—source correlation research suggest that the crude oil in Oulituozi area comes from the dark mudstone layers of the middle and lower parts of the 3rd member of Shahejie Formation, and the results of biomarker research show that the thermal evolution degree of the source rocks in Oulituozi area is apparently lower than those in the other areas of the East Sag, which causes the low maturity of the crude oil in the area.

**Key words:** individual hydrocarbon; low-mature oil; oil-source correlation; Oulituozi area; the East Sag; the Liaohe Basin

### 1 地质概况

欧利坨子地区位于辽河盆地东部凹陷中段, 属

于中生代裂谷盆地, 构造单元南与热河台断裂背斜相邻, 向北倾没于于家房子洼陷, 西接董家岗斜坡带, 东抵三界泡潜山(图1)。新生界主要发育了

收稿日期: 2006-07-04; 修订日期: 2007-08-30。

作者简介: 周陆扬(1969—), 男(汉族), 河北无极人, 博士生, 高级工程师, 主要从事地震资料采集、处理、方法研究及地质综合研究工作。

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(40238059)。

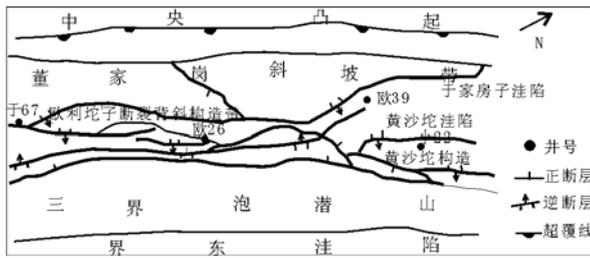


图1 辽河盆地东部凹陷欧利坨子地区构造分区

Fig. 1 Structure division of Oulituozhi area in the East Sag, the Liaohe Basin

古近系房身泡组、沙河街组、东营组和新近系及第四纪地层。沙河街组由沙三段(可进一步分为上、中、下3个亚段)和沙一段构成,研究区缺失沙二段。其中沙三段为本区的主体沉积充填层,平均厚度约1 800 m。沙三下亚段为低水位体系域沉积,以浅灰、灰白色砂砾岩夹灰色、深灰色粉沙质泥岩和泥岩为主。沙三中亚段为水进体系域沉积,以大套灰色、深灰色泥岩和玄武质泥岩为主,夹薄层砂岩及玄武岩。沙三上亚段为高水位体系域沉积,其下部为浅灰色、灰色砂岩和砂砾岩,夹黑色煤层和灰、深灰色泥岩,上部为灰色、深灰色碳质泥岩夹浅灰色砂岩、砂砾岩。研究区的潜在源岩主要为沙三中下段的暗色泥岩,有机质演化主要分为3个阶段。

**未成熟阶段:**埋深在2 200 m以上, $R_o$ 在0.26%~0.45%之间, $T_{max} < 430\text{ }^\circ\text{C}$ , $(S_1 + S_2) < 2\text{ mg/g}$ ,可溶有机质含量极小,氯仿沥青“A” $< 1 \times 10^{-6}$ 。此阶段主要以生物化学作用为主,造成有机质分解,主要烃类似生物甲烷气,在少数地区有未成熟油生成。

**低成熟阶段:**演化深度在2 200~2 700 m之间, $R_o$ 在0.45%~0.55%之间, $T_{max} < 435\text{ }^\circ\text{C}$ ,“A”/TOC $< 8\%$ 。此阶段有机质的演化以形成干酪根为主,间有干酪根的部分分解,可溶有机质的转化作用明显增强,除可以生成气以外,也可以生成一定工业价值的低成熟油。部分沙三中下段生油岩处于这一演化阶段。

**成熟阶段:**演化的下限深度在5 000 m左右, $R_o$ 在0.55%~1.20%之间, $T_{max} > 435\text{ }^\circ\text{C}$ , $(S_1 + S_2) > 20\%$ ,“A”/TOC $> 8\%$ 。此阶段干酪根大量降解向烃类转化,大部分沙三中下段生油岩达到这一阶段。

油气主要分布在沙三下段和上段砂岩油气藏以及中段火山岩油气藏和砂岩油气藏中。由于对该区烃源条件和油气性质认识不清,曾一度存在“贫油论”,近年来欧26、欧39等工业油流井的钻

探成功,掀起了重新认识其地质条件的热潮。对该区原油性质及其来源的深化认识是油气分布规律研究的基础。

## 2 原油物性与组成特征

研究区原油以中等密度(0.83~0.86 g/cm<sup>3</sup>)、低粘度、低沥青质+胶质含量(平均小于15%)的中质原油为主,含蜡量较高(平均大于10%)。该区还见凝析油,如欧8井2 053.4~2 062 m和欧6井2 260.2~2 267.6 m井段,其原油相对密度介于0.752 0~0.762 7 g/cm<sup>3</sup>,粘度为0.94~0.65 mPa·s。

## 3 原油地球化学性质

### 3.1 族组成

原油族组成可以从宏观上反映原油的烃类组成、成因及成熟度等方面的信息<sup>[1]</sup>。整个东部凹陷原油具有高饱和烃含量(平均大于55%)、高饱/芳比值(平均大于3.0)、低非烃+沥青质含量(平均小于15%)的特点。饱/芳比值一般受成熟度和母质类型的控制,对生物降解作用也特别敏感。在成烃母质类型相近的情况下,该比值随成熟度的增加而增大;在成熟度相近的情况下,高的饱/芳比值反映了成烃母质类型相对较好,而生物降解作用则会使该比值减小。欧利坨子地区大部分样品饱和烃含量小于55%,饱/芳比值小于3.0,明显比东部凹陷其它地区低。在下面的分析中,可以看出这种差别是欧利坨子地区原油成熟度偏低造成的。

### 3.2 原油生物标志化合物特征

生物标志物参数可提供沉积环境、母质类型、成熟度等方面的信息,可据此更准确地判断油—油的相似性与差异性<sup>[1]</sup>。

#### 3.2.1 母质来源与沉积环境

欧利坨子地区原油正构烷烃占绝对优势,其OEP为0.95~1.08,无明显的奇偶优势,说明本区原油已成熟。饱和烃色谱图主峰以低碳数C<sub>15</sub>—C<sub>21</sub>为主,峰形多呈双峰型,前峰为C<sub>15</sub>—C<sub>17</sub>,后峰为C<sub>21</sub>—C<sub>23</sub>。欧39井样品较特殊,其 $nC_{21}^- / nC_{22}^+$ 值较小,说明高等植物的贡献较大。一般说来,低碳数正构烷烃来源于藻类等低等水生生物,而高碳数正构烷烃主要来源于高等植物蜡。欧利坨子地区原油的这种双峰特征,表明该区原油是水生生物和高等植物双重贡献的产物。 $nC_{21}^- / nC_{22}^+$ 大都介于0.85~1.10之间,反映出这种双重物源的特征。姥鲛烷与植烷比值(Pr/Ph)长期以来一直被用于确定沉积环境的氧化还原条件,强还原环

境中的 Pr/Ph 值远远小于 1。研究区原油的 Pr/Ph 值比较接近,大多在 1.0~2.8 之间,反映一种正常湖相沉积的弱还原—还原环境。

原油中含有较丰富的双环倍半萜,其碳数为 C<sub>14</sub>—C<sub>16</sub>,以 C<sub>16</sub> 为主,从双环倍半萜的成因上看,很可能存在陆源高等植物输入<sup>[2]</sup>。原油检测结果还揭示,完整的长侧链 13β(H)和 14α(H)三环萜烷系列(C<sub>19</sub>—C<sub>26</sub>)与藿烷共生,萜烷的这一组合特征标志着有机生源构成中藻类与细菌的贡献<sup>[3]</sup>。长链三环萜烷碳数为 C<sub>19</sub>—C<sub>26</sub>,反映被子植物输入的奥利烷含量甚微;原油中普遍缺乏伽马蜡烷,伽马蜡烷指数(伽马蜡烷/C<sub>30</sub>藿烷)介于 0.012~0.040 (表 1),表明成油母质沉积环境为低矿化度淡水。

### 3.2.2 成熟度特征

C<sub>29</sub>甾烷的 20S/20(R+S)和 ββ/(αα+ββ)参数为 2 个最常用的甾烷异构化成熟度参数<sup>[1,4]</sup>。根据国内多个盆地的有机地化研究成果,可用 C<sub>29</sub>甾烷的 20S/20(R+S)比值划分几个成熟阶段:比值低于 0.20 为未成熟阶段,比值介于 0.20~0.35 为低熟阶段,比值介于 0.35~0.50 为成熟阶段。在这

些阶段,该参数与镜质体反射率值有着很好的对应关系。辽河盆地大多数低熟油的 C<sub>29</sub>20S/20(S+R)比值在 0.23~0.29 之间,西部凹陷低熟—未熟油的判识标准是 0.32,即 C<sub>29</sub>20S/20(S+R)值小于 0.32 为低熟油。

如图 2 所示,C<sub>29</sub>ββ/(ββ+αα)与 C<sub>29</sub>αα20S/20(S+R)一般呈良好的正相关性。图 2 明显分为 2 个区,A 区为欧利坨子地区的部分样品,该区具有相对较低的成熟度,C<sub>29</sub>ββ/(ββ+αα)小于 0.35,C<sub>29</sub>αα20S/20(S+R)小于 0.30。东部凹陷的大部分样品位于 B 区,即多为成熟油。欧利坨子地区有 2 个样品落入该区,说明该区存在低熟油和成熟油 2 种原油类型。但即便是成熟油,其成熟度也较东部凹陷中段其它地区低[(欧利坨子地区 C<sub>29</sub>ββ/(ββ+αα)普遍小于 0.4,C<sub>29</sub>αα20S/20(S+R)小于 0.37]。

### 3.2.3 原油饱和烃和芳烃碳同位素特征

饱和烃和芳烃是原油中最主要的烃类组分,其碳同位素组成能在一定程度上反映原油的性质<sup>[5,6]</sup>。图 3 是原油饱和烃和芳烃的碳同位素关系图,图中可分为 A,B 2 个区。

表 1 辽河盆地欧利坨子地区原油样品萜烷生物标志化合物参数表

Table 1 Biomarker parameters of terpane in the crude oil samples from Oulituozhi area, the Liaohe Basin

井号	井段/m	层位	T <sub>s</sub> /(T <sub>s</sub> +T <sub>m</sub> )	C <sub>30</sub> 莫烷 / C <sub>30</sub> 藿烷	C <sub>31</sub> 22S/22(S+R)	三环萜 / C <sub>30</sub> 藿烷	伽马蜡烷 / C <sub>30</sub> 藿烷	奥利烷 / C <sub>30</sub> 藿烷
欧 26	2 176.0~2 270.0	沙三中段	0.445	0.121	0.610	0.060	0.018	0.002 2
欧 31	2 460.6~2 438.1	沙三上段	0.425	0.151	0.575	0.054	0.012	0.032 0
欧 31	2 344.1~2 306.1	沙三上段	0.541	0.136	0.590	0.082	0.020	0.038 0
欧 32	2 294.0~2 335.1	沙三上段	0.566	0.137	0.589	0.103	0.020	0.038 0
欧 14	2 248.5~2 215.4	沙三上段	0.434	0.158	0.583	0.094	0.026	0.015 0
欧 39	3 465.0	沙三下段	0.460	0.150	0.570	0.110	0.040	0.073 0
欧 39	3 508.0	沙三下段	0.510	0.130	0.580	0.150	0.031	0.058 0

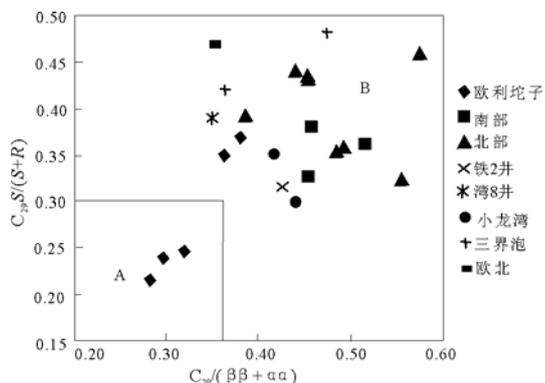


图 2 辽河盆地东部凹陷各区原油甾烷成熟度对比  
Fig. 2 Maturity comparison of sterane in the crude oil samples from different areas of the East Sag, the Liaohe Basin

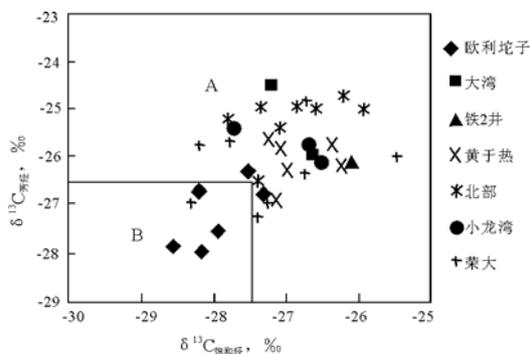


图 3 辽河盆地东部凹陷饱和烃和芳烃碳同位素关系  
Fig. 3 Carbon isotope distribution of the saturated and aromatic hydrocarbons in the crude oil samples from the East Sag, the Liaohe Basin

东部凹陷大部分样品点都落在 A 区,饱和烃和芳烃碳同位素偏重,分别介于  $-26.00\%$  ~  $-27.50\%$ 和  $-25.00\%$  ~  $-26.50\%$ 之间,表明其源岩有机质中藻类和低等水生生物的贡献较少。

欧利坨子地区的样品落入 B 区,其碳同位素值普遍低于东部凹陷其它地区(比其它地区低  $1\%$  ~  $3\%$ ),结合前面生物标志物的分析结果,这种差别主要是因为欧利坨子地区原油成熟度偏低引起的。

### 3.2.4 单体烃碳同位素特征

原油单体组分的碳同位素特征由其母质决定,因此,不同环境的油源岩生成的单体烃碳同位素具有不同的分布模式,即原油单体烃碳同位素分布曲线代表了某一特定生油母质的成油现象,据此可进行有效的油—油对比<sup>[7,8]</sup>。

图 4 是东部凹陷原油的单体烃碳同位素分布曲线。

总的特征是从  $C_{15}$  到  $C_{30}$  随着碳数增加,逐渐富集轻碳同位素,碳同位素值降低,分布曲线呈单斜形;Pr 和 Ph 的碳同位素值与相邻的正构烷烃相比要低, $nC_{17}$ ,Pr, $nC_{18}$ ,Ph 和  $nC_{19}$  等 5 个样品点构成了一个很明显的“W”形状。正构烷烃的碳同位素曲线较平滑,无锯齿状现象,说明研究区细菌作用不强<sup>[9]</sup>。

欧利坨子地区除欧 32 井外,都具有较低的碳同位素值,其分布曲线基本一致,结合生物标志物和饱和烃、芳烃碳同位素分析结果,认为这些样品具有较低的成熟度;而欧 32 井样品成熟度相对稍高,碳同位素较重,与生物标志化合物参数得出的结论一致。铁 2 和湾 8 井表现为较重的碳同位素组成(图 4)。

“W”形状存在着一定的差别,北部、南部和铁匠炉地区的样品,Pr 和 Ph 与相邻正构烷烃的碳

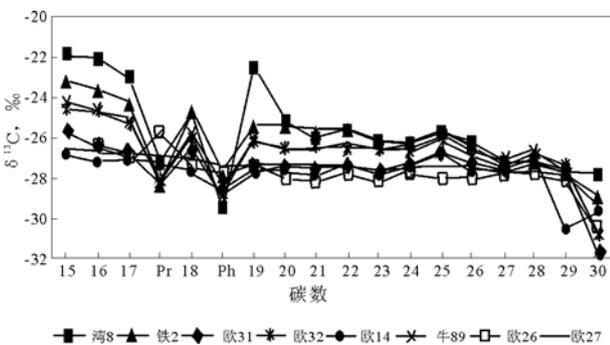


图 4 辽河盆地东部凹陷原油单体烃碳同位素分布曲线  
Fig. 4 Carbon isotope distribution of the individual hydrocarbons in the crude oil samples from the East Sag, the Liaohe Basin

同位素值相差很大,“W”形状较长;而欧利坨子地区原油的“W”形状相对较平缓,与辽河盆地西部凹陷未熟油具有较平缓的“W”形状的结论一致。因此认为这种差异可能是因为欧利坨子地区原油成熟度相对较低、分馏作用不明显而造成的(图 4)。

## 4 油源对比

### 4.1 利用气相色谱资料进行油源对比

Pr/Ph 比值和 Ph/ $nC_{18}$  比值能反映源岩的成烃环境和成熟度。统计研究区大量源岩样品的资料表明:沙一段烃源岩具有低 Pr/Ph 比值(平均 1.39)和高 Ph/ $nC_{18}$  比值(平均 1.21),沙三中下段则具有高 Pr/Ph 比值(平均 2.77)和低 Ph/ $nC_{18}$  比值(平均 0.76),沙三上段这 2 项指标比值则介于两者之间。从欧利坨子地区原油来看,绝大多数样品具有高 Pr/Ph 比值(平均 2.14)和低 Ph/ $nC_{18}$  比值(平均 0.65),与沙三中下段源岩样品一致。另外在碳数分布形式上,欧利坨子地区原油样品也与沙三中下段源岩吻合较好。从源岩分析结果也可看出,沙三中下段烃源岩应为本区的主力生油岩,因为其下部的大套暗色泥岩,无论从有机质类型、丰度,还是从热演化程度上看都优于上段,对生烃具有主要贡献。

### 4.2 利用生物标志化合物资料进行油源对比

图 5 是欧利坨子地区生物标志化合物综合对比图。图中采用反映成熟度的参数  $Ts/(Ts+Tm)$ 、甾烷  $C_{29} \beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$  和甾烷  $C_{29} 20S/20(S+R)$ ,反映母质输入的参数如三环萜/ $C_{30}$  藿烷和规则甾烷/ $C_{30}$  藿烷以及反映沉积环境的参数  $\Sigma 4-\alpha C_{30}/\Sigma C_{29}$  甾烷进行了综合对比。从图中可以看出,欧利坨子地区原油生物标志化合物参数具有很好的对比性,并与该区沙三中下段泥岩对比度较好,而与沙三上段泥岩和沙三上段的煤层对比度较差。

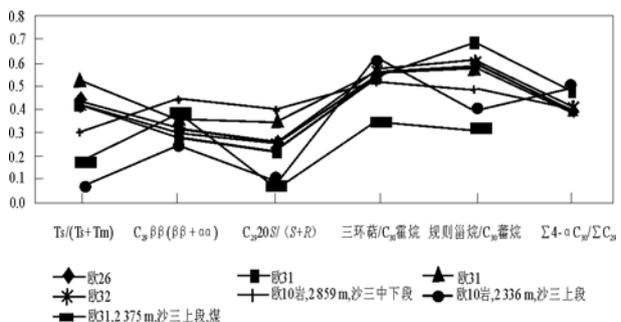


图 5 辽河盆地东部凹陷欧利坨子地区油—源对比  
Fig. 5 Oil—source correlation of Oulituozi area in the East Sag, the Liaohe Basin

