

# 欧利坨子火山岩油藏原油特征及成因分析

张建龙<sup>1,2)</sup> 张方礼<sup>2)</sup> 蒋少涌<sup>1)</sup> 白玉英<sup>3)</sup> 崔雁<sup>3)</sup>

1) 南京大学地球科学系成矿作用国家重点实验室, 江苏南京 210093;

2) 辽河油田分公司勘探开发研究院, 辽宁盘锦 124010;

3) 辽河石油勘探局录井公司, 辽宁盘锦 124010

**摘要** 火山活动可能对烃源岩的演化过程产生重要影响。通过对欧利坨子原油地球化学特征的研究, 发现原油性质的差异同储集层与火山口的相对位置有着密切的关系, 在火山口附近的粗面岩储集层中, 原油的饱和烃及其单体碳同位素值偏轻, 类异戊二烯烃的碳同位素负异常基本消失, 原油的 CPI 和 OEP 值较低(平均为 1.21 和 1.06)。虽然火山岩储集层中油气显示良好, 有多口井获得工业油流, 但油藏的开发效果差别较大。研究表明, 火山活动对火山口附近烃源岩的影响不可忽视, 在埋藏深度相对较浅的粗面岩储层中, 主要富集了未熟或低熟烃源岩因火山作用而快速生成的油气; 深部的粗面岩体与成熟的烃源岩相邻, 其储层中的油气既来源于正常的油气充注过程, 也有因火山活动而生成的。

**关键词** 火山岩, 原油, 生物标志物, 碳同位素, 辽河盆地

## Characteristics and Genetic Analysis of Crude Oil in the Volcanic Reservoir of Oulituozi Area

ZHANG Jianlong<sup>1,2)</sup> ZHANG Fangli<sup>2)</sup> JIANG Shaoyong<sup>1)</sup> BAI Yuying<sup>3)</sup> CUI Yan<sup>3)</sup>

1) State Key Laboratory for Mineral Deposits Research, Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210093;

2) The Exploration and Development Researching Institute of Liaohe oilfield Sub-company, Panjin, Liaoning 124010;

3) The Mud Logging Company of Liaohe Oilfield, Panjin, Liaoning 124010

**Abstract** Volcanic activities might exert important effects on the evolution of oil sources. In this paper, the authors studied geochemical characteristics of oil in Oulituozi area of Liaohe Oilfield, and demonstrated that different distances between the reservoirs and the crater may result in different geochemical properties of crude oil. The stable carbon isotopes of saturated hydrocarbon and specific compound composition of the oil from the trachyte near the crater are relatively low, and the negative anomalies of the isoprenoids disappear. The oil has lower values of CPI and OEP, with the averages being 1.26 and 1.06, respectively. There are good indications of oil and gas in volcanic reservoirs, and commercial oil flows can be obtained in some wells. Nevertheless, there exist great differences in the development results of these reservoirs. The influence that volcanic activities impact upon the sources near the crater cannot be ignored. The relatively shallow volcanic reservoirs were mainly filled with oil generated rapidly from interactions between the volcanic activities and the sources. The deep volcanic reservoirs, which were affected by volcanism and also filled with non-conventional oil and gas, contained oil generated by the sources which experienced normal evolutions.

**Key words** volcanic rocks, crude oil, biological marker, stable carbon isotope, Liaohe Basin

近年来,火山活动与非常规油气的生成倍受关注。关于火山活动对烃源岩的生烃演化所产生的影响,学者们提出了一些新的观点和认识(贾斌等, 2004; 翟庆龙等, 2004; 金强等, 2005; 朱光有等,

责任编辑:刘志强;收稿日期:2006-10-16;改回日期:2007-01-05。

第一作者简介:张建龙,男,1965年生,高级工程师,主要从事石油地质、储量研究和测井解释工作;通讯地址:124010,辽宁盘锦辽河油田勘探开发研究院;电话:0427-7820536; Email: zhang\_jian\_long@sohu.com。

表1 欧利坨子地区原油物性参数平均值统计表

Table 1 Statistics of geophysical parameters of crude oil in Oulituozi Area

| 位置    | 层位             | 样品数/个 | 密度(20°)/g·cm <sup>-3</sup> | 粘度(50°)/mPa·s | 凝固点/°C | 含蜡/%  | 胶质+沥青/% |
|-------|----------------|-------|----------------------------|---------------|--------|-------|---------|
| 火山口附近 | S <sub>3</sub> | 10    | 0.8325                     | 6.72          | 33.80  | 16.65 | 10.66   |
| 其它    | S <sub>3</sub> | 37    | 0.8557                     | 10.27         | 31.33  | 15.02 | 13.34   |

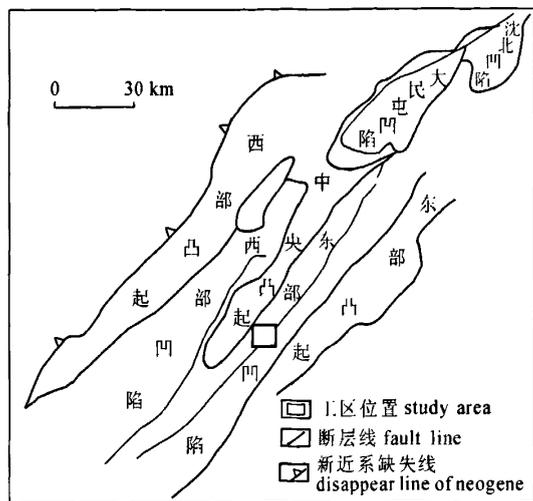


图1 辽河盆地地质构造简图

Fig. 1 Geological-structural sketch map of the Liaohe Basin

2005;金之钧等,2006),在有机质生烃的实验方面也有了新的进展(刘文汇等,2000;霍秋立等,2002),人们对火山活动及非常规油气的研究和认识逐步深入。

欧利坨子位于辽河盆地东部凹陷中段(图1),是新生代古近纪火山活动非常强烈的地区之一。在房身泡组和沙河街组,形成了巨厚的火山岩建造,尤其是沙三段的粗面岩具有良好的储集物性,并在多口井中获得了工业油流,但总体的开发效果差别较大,仅在北部获得了较高的产能。研究表明,欧利坨子原油地球化学性质与火山作用有密切的关系,在火山口附近产出的原油具有如下特点:①单体饱和烃的碳同位素组成曲线平直,数值偏轻1.2‰左右,姥鲛烷(Pr)和植烷(Ph)的碳同位素负异常基本消失;②Pr/Ph值在3.3以上,其平均值比远离火山口的地区大约高出一倍,Pr/nC17也明显偏高;③原油的奇偶优势(OEP)和碳优势指数(CPI)的平均值分别为1.06和1.21,属于成熟原油,但从甾、萜类化合物参数来看,原油的成熟度较低,具有低成熟原油的特点。本文通过对原油地球化学特性的研究,探讨了火山活动对烃源岩的影响及可能的生烃过程,

分析了火山岩油藏的产能特征,这对火山作用的研究及火山岩油气藏的勘探开发具有重要意义。

## 1 火山岩地质概况

欧利坨子位于辽河盆地东部凹陷中段,构造面积40 km<sup>2</sup>,古近纪发育了多期次的火山活动,形成了巨厚的火山岩沉积,火山岩的岩性主要有玄武岩、粗面岩和凝灰岩(吴昌志等,2003)。沙三段的粗面岩(K/Ar年龄为38.0~42.0 Ma)具有高钾、富碱、贫钛等特点,主体部分沿弧形裂隙式火山口分布(张建龙等,2006),最大厚度约为300 m,上部与暗色泥岩相接,下面为泥岩、凝灰岩和玄武岩形成间互沉积。粗面岩具有良好的油气显示及储集性能,90年代末以来,先后在欧26、欧14和欧48等井中获得工业油流,图2为欧利坨子沙三段粗面岩厚度等值图,其中部粗面岩的尖灭带就是火山口所在位置。在构造上,粗面岩主体部位处于欧利坨子背斜带的脊部,大部分区域埋藏深度在2500 m以上,仅在北部欧48井附近,因火山口塌陷而位置较低。

东部凹陷发育了沙三段、沙一二段和东营组三套烃源岩,其中,沙三段烃源岩形成于凹陷的大幅度张裂期,其厚度大,有机质丰度和成熟度较高,是主力烃源岩。甾、萜类化合物分析表明,20S/20(S+R)<sub>C27</sub>甾烷和22S/22(S+R)<sub>C31</sub>萜烷值都在0.5以上,原油饱和烃平均值为58.0%,饱和烃/芳烃比值平均达5.79,非烃+沥青质平均值小于15.0%。但是,欧利坨子地区,尤其是火山口附近的原油性质同其它区域相比差异较大,在粗面岩储集层中原油的密度和粘度值相对较低(表1),原油单体饱和烃的碳同位素偏轻,甾、萜类化合物参数表明原油的成熟度偏低。与粗面岩相邻的烃源岩除北部进入生油门限外,多数处于未熟或低熟阶段,Ro值大多小于0.5%,母质类型以II型和III型干酪根为主。

## 2 原油的碳同位素特征

一般说来,陆生高等植物的稳定碳同位素偏重,而藻类、水生低等生物来源的有机质碳同位素偏轻。当母质相同、演化程度相似时,饱和烃、整体原油、

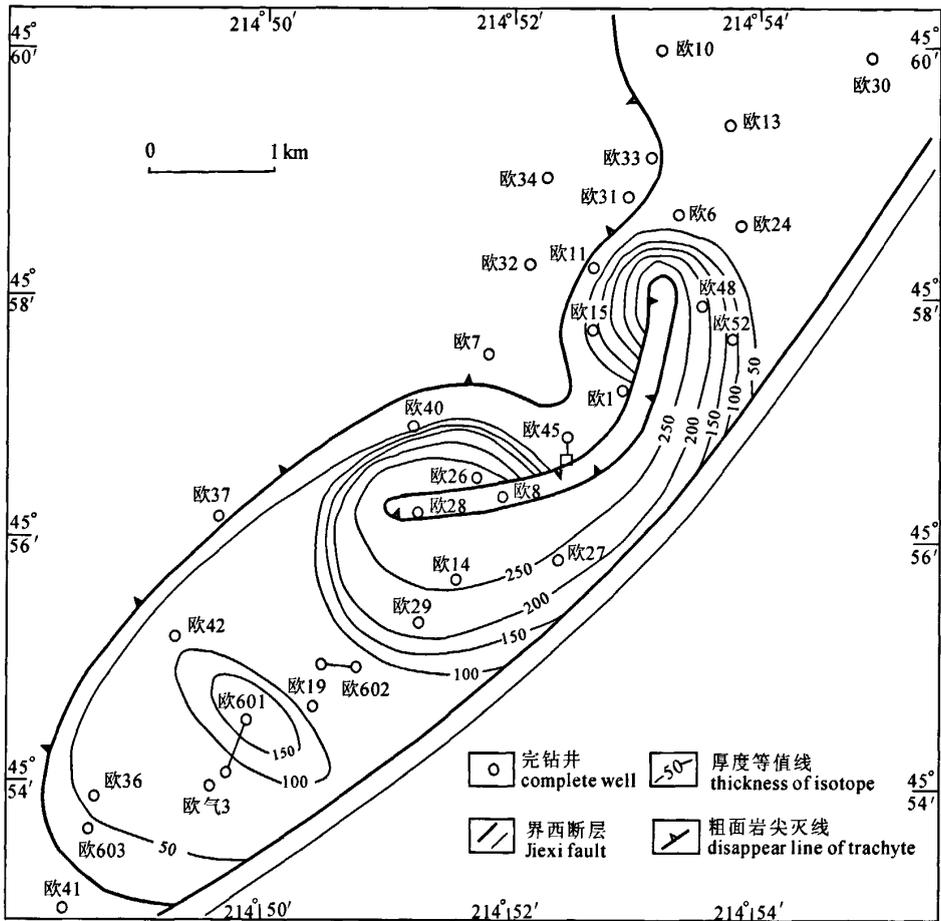


图 2 欧利坨子粗面岩的厚度等值图(张建龙等,2006)

Fig. 2 Thickness contour map of trachyte from Oulituozhi (from Zhang et al. , 2006)

芳烃、沥青质等组分的  $\delta^{13}C$  值呈一定规律分布,即饱和烃 < 原油 < 芳烃 < 非烃 < 沥青质,而在欧 26、欧 27 井中则出现了非烃碳同位素偏轻的情况,使其排列顺序发生变化(表 2)。火山口附近原油的碳同位素为  $-26.8\text{‰} \sim -28.16\text{‰}$  之间,而其它地区的则在  $-25.48\text{‰} \sim -27.42\text{‰}$  之间,平均值相差  $1.04\text{‰}$ ,同样,饱和烃和芳烃族组分的碳同位素也都具有明显偏轻的特点(图 3)。

人们已经注意到相同碳数类异戊二烯烃的碳同位素比正构烷烃的重(Stahl, 1992; BJORoy et al., 1992; Clayton et al., 1994)。但也有例外的情况,如北海维金地堑(Viking Graben)原油中的类异戊二烯烃的碳同位素值相当或略低于同碳数的正构烷烃值(BJORoy et al., 1994)。而辽河盆地东部凹陷的情况非常特殊,原油中 Pr 和 Ph 的碳同位素与同碳数的

正构烷烃值相比明显偏轻,差值为  $1.8\text{‰}$  左右,  $nC17$ 、Pr、 $nC18$ 、Ph、 $nC19$  相邻 5 点的曲线呈“W”型,饱和烃的单体碳同位素随碳数增加,数值略有降低(图 4(a))。但是,在火山口附近情况则不同,碳同位素曲线形态比较平坦,Pr 和 Ph 的碳同位素异常基本消失,饱和烃的单体碳同位素偏轻(图 4(b)),这种分子级别的碳同位素异常,说明火山口附近和远离火山口区域的原油可能具有不同的生演化过程。

关平和刘文汇等人建立了直链饱和烃分子碳同位素的分布模型,以碳原子数的倒数( $1/n$ )和  $\delta^{13}C$  为坐标作图,将碳同位素的分布模式分为四种:负—正两段式、正—负两段式、三段式和多段式(关平等,2003)。图 5 为东部凹陷原油单体碳同位素的分布模式图,其碳同位素曲线大致可分为两组,从左到

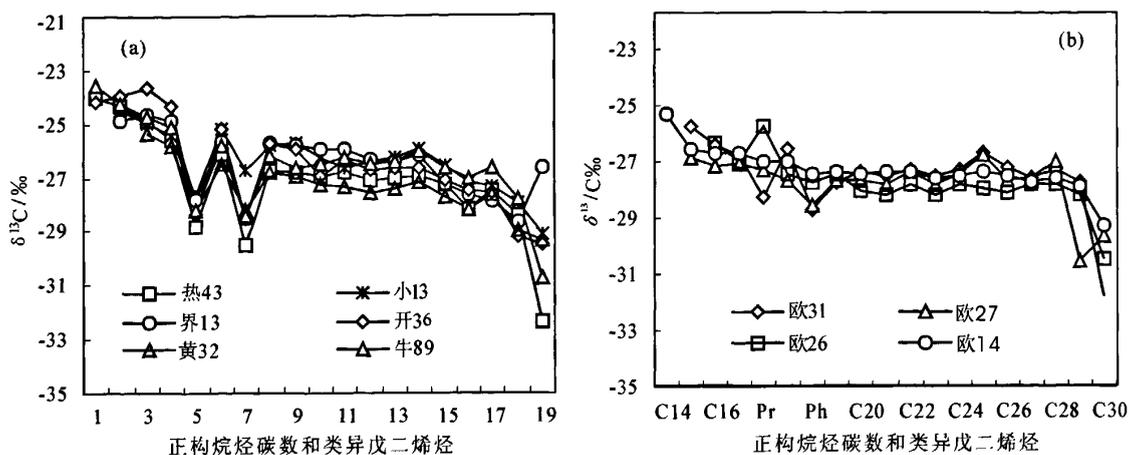


图4 原油单体碳同位素分布图

Fig. 4 Carbon isotope distribution of compositions in the crude oil

(a)-东部凹陷; (b)-火山口附近

(a) -the east sag; (b) -the places near the crater

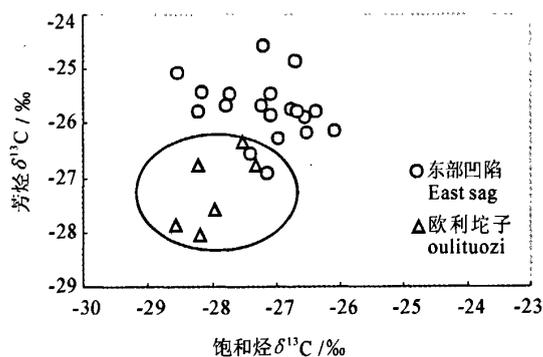


图3 饱和烃与芳烃碳同位素关系图

Fig. 3 Carbon isotope relationship between saturated hydrocarbon and areness

右逐渐分开,上部一组曲线来自欧26、欧14、欧27和欧31井的原油数据,碳同位素偏轻,曲线基本保持平直,并且不属于上述的四种分布模式,这里暂且叫它“直线式”。下面一组曲线的数据来自距火山口相对较远的位置,曲线基本分为两段,左侧比较平直,右侧则向下倾斜,分界点在 $C_{18}$ 左右,属于正一负两段式。总体看来,生源条件以陆生高等植物为主,母质类型主要是II型和III型干酪根,原油未遭受生物降解。但“直线式”曲线的低碳数部分无下倾现象,说明烃源岩没有经历与细菌活动相关的演化过程,暗示着生烃演化过程所持续的时间比较短暂。

表2 东部凹陷原油碳同位素组成

Table 2 Carbon isotope composition of oil in the east sag

| 井名  | 样号    | $\delta^{13}C_{PDB}/\%$ |        |        |        |        |
|-----|-------|-------------------------|--------|--------|--------|--------|
|     |       | 原油                      | 饱和烃    | 芳烃     | 沥青质    | 非烃     |
| 茨41 | 99017 | -26.26                  | -27.08 | -25.47 | -25.69 | -24.50 |
| 黄32 | 98066 | -26.30                  | -27.15 | -26.90 | -26.88 | -25.08 |
| 驾26 | 98063 | -26.57                  | -26.97 | -26.28 | -26.97 | -25.72 |
| 界13 | 98079 | -26.13                  | -26.68 | -25.78 | -27.11 | -26.50 |
| 开36 | 98064 | -26.19                  | -26.37 | -25.78 | -26.44 | -25.00 |
| 龙26 | 99018 | -26.27                  | -28.17 | -25.41 | -24.64 | -24.55 |
| 热43 | 98069 | -26.66                  | -27.22 | -25.66 | -26.85 | -25.31 |
| 荣35 | 98072 | -27.42                  | -28.21 | -25.76 | -26.37 | -25.73 |
| 铁2  | 99015 | -25.48                  | -26.10 | -26.11 | -26.14 | -24.65 |
| 湾8  | 99014 | -26.42                  | -27.21 | -24.56 | -25.32 | -25.37 |
| 小13 | 98078 | -26.29                  | -26.54 | -26.15 | -26.53 | -26.28 |
| 小9  | 98077 | -26.52                  | -27.73 | -25.46 | -25.40 | -24.78 |
| 于57 | 98075 | -26.82                  | -27.08 | -25.85 | -26.02 | -26.17 |
| 欧14 | 99022 | -27.82                  | -27.96 | -27.58 | -27.59 | -26.52 |
| 欧26 | 98061 | -27.45                  | -28.22 | -26.76 | -27.64 | -27.36 |
| 欧27 | 98062 | -27.09                  | -27.31 | -26.78 | -26.76 | -27.61 |
| 欧31 | 99019 | -28.16                  | -28.57 | -27.85 | -27.43 | -26.52 |
| 欧31 | 99020 | -27.23                  | -28.18 | -28.03 | -26.49 | -25.33 |
| 欧32 | 99021 | -26.8                   | -27.53 | -26.35 | -26.71 | -25.96 |

注:数据由石油天然气总公司石油勘探开发研究院廊坊分院天然气所地球化学实验室测量。

### 3 原油的色谱及生物标志物特征

欧利坨子原油饱和烃分析表明:全区的主峰碳数多在 $C_{23}$ 左右, CPI、OEP和 $(C_{21} + C_{22}) / (C_{28} +$

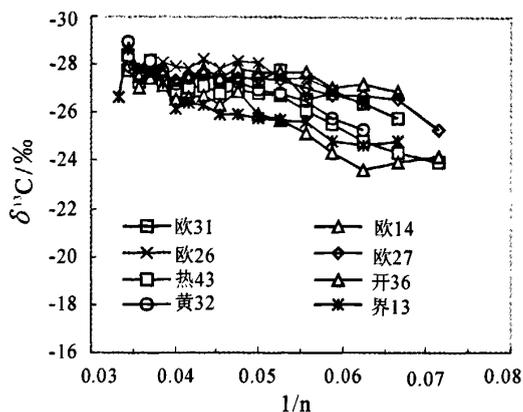


图5 原油单体碳同位素分布模式图

Fig. 5 Distribution patterns of carbon isotope of specific compound compositions in crude oil

$C_{29}$ ) 的值一致性较好,其平均值分别为 1.13、1.07 和 1.55,  $Ph/nC_{18}$  的值小于 0.55, 这些参数都说明该区的原油属于成熟原油, 未受到生物降解的影响。但在欧 26 和欧 27 井中, 原油饱和烃的  $Pr/Ph$  值在 3.30~4.72 之间, 平均为 3.75, 明显偏高(其它井的平均值为 2.18),  $Pr/nC_{17}$  也略有增加, 而  $Ph/nC_{18}$  则出现下降的趋势。由  $Pr/Ph$ 、 $Pr/nC_{17}$  和  $Ph/nC_{18}$  数值之间的关系可知, 火山口附近的原油其  $Pr/Ph$  值明显优势, 反映出沉积环境的氧化性增强。

该区原油中  $\gamma$  蜡烷普遍存在, 但  $\gamma$  蜡烷/ $C_{30}-H$  的值一般小于 0.1, 4-甲基甾烷的  $C_{28}$  和  $C_{30}$  优势, 表明有机质的演化过程一直处于淡水沉积环境, 未受到海侵的影响。原油的规则甾烷具有  $C_{27} > C_{28} < C_{29}$  的特点, 呈“V”字形分布。 $C_{29}$  甾烷的  $\beta\beta/(\alpha\alpha + \beta\beta)$  及  $20S/(20S + 20R)$  分别在 0.35~0.50 和 0.30~0.55 之间, 由图 6 可知, 欧利坨子火山岩原油中甾烷的构化数值明显偏低, 具有低熟原油的特征。欧 31 井中  $C_{29}$  甾烷的异构化参数表现出深度增加而成熟度降低的反向特征(表 3)。

#### 4 成因探讨

欧利坨子在沙三段经历了湖盆扩张期并伴随着剧烈的火山活动(孙红军等, 2003), 由于岩浆中的硅铝成分增加, 铁镁等重矿物的含量下降, 熔岩的粘度增加, 流动性变差, 其分布范围非常有限。熔岩在中部沿火山裂隙形成了巨厚的粗面岩体, 其上部 and 四周为正常的沉积岩, 下面为早期水下喷发而形成

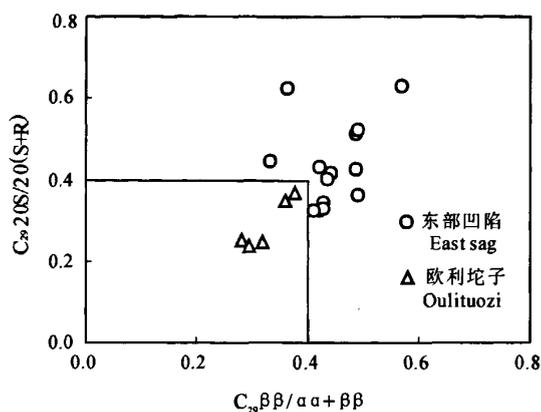


图6 东部凹陷甾烷成熟度参数关系图

Fig. 6 The relationship between sterane maturing parameters in the east sag

表3 东部凹陷甾烷地化参数

Table. 3 Geochemical parameters of sterane in the east sag

| 井名    | 层位             | 井段/m          | $\frac{C_{29}\beta\beta}{\alpha\alpha + \beta\beta}$ | $\frac{C_{29}20S}{20(S+R)}$ |
|-------|----------------|---------------|--|-----------------------------|
| 黄 32  | S <sub>1</sub> | 2531.6~2578.6 | 0.428  | 0.344                       |
| 黄 24  | d              | 1912.0~1917.4 | 0.489  | 0.513                       |
| 黄浅 27 | S <sub>1</sub> | 2259.8~2273.4 | 0.443  | 0.417                       |
| 于 21  | S <sub>3</sub> | 2235.4~2396.2 | 0.491  | 0.526                       |
| 热 44  | S <sub>1</sub> | 1684.6~1714.5 | 0.332  | 0.444                       |
| 驾 26  | S <sub>3</sub> | 3339.3~3360.0 | 0.490  | 0.363                       |
| 荣 35  | S <sub>1</sub> | 1443.0~1477.4 | 0.489  | 0.426                       |
| 大 13  | d              | 1629.2~1764.0 | 0.437  | 0.404                       |
| 界 13  | S <sub>3</sub> | 1736.0~1775.0 | 0.364  | 0.624                       |
| 小 9   | S <sub>2</sub> | 2024.5~1990.7 | 0.424  | 0.323                       |
| 小 13  | S <sub>3</sub> | 1488.6~1520.0 | 0.428  | 0.331                       |
| 铁 2   | S <sub>3</sub> | 2762.6~3501.8 | 0.570  | 0.632                       |
| 董 3   | S <sub>3</sub> | 2512.0~2527.0 | 0.421  | 0.430                       |
| 开 36  | S <sub>3</sub> | 2704.8~2661.9 | 0.411  | 0.324                       |
| 欧 26  | S <sub>3</sub> | 2176.0~2262.0 | 0.320  | 0.246                       |
| 欧 31  | S <sub>3</sub> | 2344.1~2306.1 | 0.362  | 0.349                       |
| 欧 31  | S <sub>3</sub> | 2460.6~2438.1 | 0.281  | 0.251                       |
| 欧 32  | S <sub>3</sub> | 2294.0~2335.1 | 0.379  | 0.369                       |
| 欧 14  | S <sub>3</sub> | 2248.5~2215.4 | 0.296  | 0.240                       |

注:数据由石油天然气总公司石油勘探开发研究院廊坊分院天然气所地球化学实验室测量。

的火山碎屑岩、玄武岩和泥岩的交互沉积。由于整体的沉积环境和生源条件基本一致, 因此, 可以推断粗面岩中的原油不可能是由远处运移而来的, 而是火山活动与其邻近的烃源岩相互作用结果。另外,

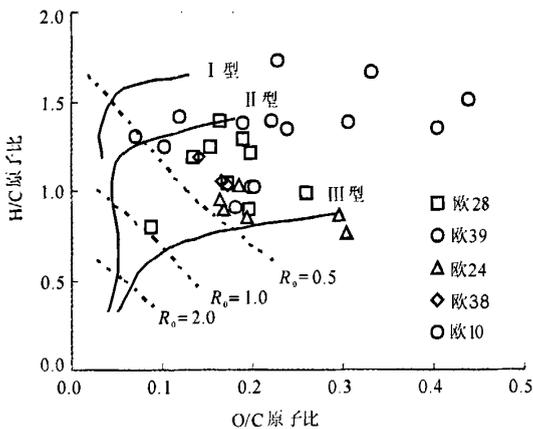


图7 欧利坨子油田干酪根 O/C—H/C 关系图

Fig. 7 The relationship between O/C and H/C in kerogen from the Oulituozi Oilfield

欧14井中原油铅同位素的数值比较特殊( $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 17.481$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.379$ ),在铅的构造模式图上落在地幔线的附近,也指示了其生烃过程有幔源物质的直接参与。

#### 4.1 烃源岩及其生烃特征

区域研究表明,东部凹陷有机质的成熟度  $R_o$  与埋深  $h$  之间的关系为:  $h = 3652.735 \lg(R_o) + 3807.47$ ,当  $R_o = 0.5$  时,  $h = 2708$  m,说明东部凹陷正常的生油门限深度应该在2700 m左右。烃源岩的干酪根元素分析表明:干酪根类型以II型和III型为主,在2500 m以上,有机质的演化程度较低,大多数样品处于未成熟阶段(图7),一般不具备生油能力。然而,在粗面岩中油气显示普遍较好,含油比较均匀,并且有多口井测试出油,这说明在粗面岩储层中一定经历了与烃类活动相关的过程。

火山活动为火山口附近的烃源岩带来大量的热能,也带来了火山矿物和过渡金属离子。较高的温度有利于有机质的演化,而火山矿物和过渡金属离子对烃源岩的生烃具有催化作用。欧里坨子地区火山口附近的钻孔中方沸石、方解石、白云石和黄铁矿等矿物十分普遍,尤其是方沸石的含量非常高,在欧28井中最高可达74.3%。目前,火山活动在烃源岩生烃过程中所起的作用尚不十分清楚,但大致可归纳为以下几方面:①在低熟、未熟阶段,橄榄石、沸石类矿物、金属卤化物等无机盐类矿物对烃源岩的成烃演化具有催化加氢作用,使之提前生烃,并且产率

很高,熊寿生、Jin等(1999)的实验结果已经证实了这一结论。②在一定的温度条件下(例如150~350℃),未熟或低熟烃源岩中的非烃+沥青质可以生成大量的液态烃,并且随着温度的升高液态烃中饱和烃含量相对增加,芳烃含量相对减少(霍秋立等,2002)。③火山热流体( $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CO}_2$ 等)具有较高的温度和压力,常处于超临界状态,对于烃类和极性有机物具有较强的溶解能力。在热流体运移过程中不断萃取附近烃源岩中的分散有机质,并在有利的圈闭中富集成藏。

从房身泡至东营时期,欧利坨子地区的火山活动持续不断,在接受上覆地层沉积的同时,火山间歇性喷发。粗面岩在横向上与烃源岩共生,在埋藏深度达到一定条件时,火山热流体在火山颈中同周围地层进行着物质和能量的交换,可使其附近烃源岩快速演化生烃,并在粗面岩中形成原油聚集。

#### 4.2 火山活动的影响范围

欧31井和欧32井均未钻遇粗面岩,但在粗面岩体附近(图2),尤其是欧31井与火山口的距离更近,大约为0.6 km。由原油中甾烷的地化参数(表3)可知,欧31井在2306.1~2344.1 m和2438.1~2460.6 m分析了两个原油样品,但 $\text{C}_{29}$ 甾烷的异构化参数则表现出随深度增加而成熟度降低的异常现象。通过测井资料的对比研究,欧31井下部样品在深度上同相邻的粗面岩顶界大致相当,与火山岩体的空间距离更近,其原油性质也同粗面岩中的十分相似,所以,其原油的生成过程明显受到了火山活动的影响,而欧31井上部的样品与欧32井的相似,受火山活动的影响较小。同样,在原油的碳同位素研究中,也可得出相似的结论(图4、图5)。由此可见,作为点热源的火山活动对其周围烃源岩的影响范围十分有限。

#### 4.3 原油的成藏特征

由于火山口的塌陷,所以粗面岩体在纵向上分布范围较大。中南部的粗面岩体埋藏深度相对较浅,邻近的烃源岩成熟度低,基本不能正常生油,储集层中的原油主要是火山活动同低演化程度的烃源岩相互作用而生成的。由于火山作用对烃源岩的影响范围有限,生烃的数量也有限,所以,原油供给不足是欧26井、欧14井等产能不理想的主要原因。北部的粗面岩储层埋藏深度在2700 m以下,粗面岩直接同进入生油门限的烃源岩相邻,使之获得了充

足的油源供给(欧48井测试产油88.5 t/d),同时,破火山口也为油气的垂向运移提供通道,使油气的充注形成一定范围,而该区域因火山作用所生成的油气数量则相对处于次要地位。

## 5 结论

(1) 欧里坨子地区沙三段原油的地球化学性质存在明显差异,研究表明这种差异同储集层与火山口的相对位置有关,是火山活动与周围烃源岩之间相互作用的结果。火山口附近的原油具有相对较低的密度、粘度和碳同位素值,类异戊二烯烃的碳同位素负异常消失;OEP和CPI参数表明原油的成熟度较高,而甾、萜类化合物则反映出具有低成熟的特点。

(2) 火山活动带来了大量的热能和火山矿物,在一定的温度、压力条件下,可以使低熟或未熟的烃源岩快速演化生烃。火山作用可能使烃源岩中的非烃+沥青质提前转化为液态烃类,而火山热流体的萃取功能可能在分散有机质富集过程中发挥了重要的作用。

(3) 火山活动具有点热源的特点,受火山作用影响而生成的原油主要在附近的粗面岩中富集成藏,火山作用对周围烃源岩的影响范围非常有限。从开发效果来看,2500 m以上的粗面岩储层中原油显示很好,但产能较低;而埋藏深度在2700 m以下的粗面岩体,既受到火山作用的影响,又经历了正常的油气充注过程,原油可能具有复合成因的特征,所以产能也比较高。

## 参考文献

- 关平,刘文汇,徐永昌,等. 2003. 原油单体碳同位素组成模型的建立及应用. 自然科学进展, 13(7): 780~784.
- 霍秋立,冯子辉,付丽. 2002. 非烃和沥青质热模拟生烃研究. 地质地球化学, 30(3): 64~67.
- 刘文汇,徐永昌,张守春,等. 2000. 一种新的成烃机制——力化学作用及其实验证据. 沉积学报, 18(2): 314~318.
- 贾斌,王五力,张立东,等. 2004. 辽西中生代义县旋回强烈火山作用对生物生存环境的双重影响. 地球学报, 25(4): 429~436.
- 金强,翟庆龙,万从礼. 2005. 裂谷盆地烃源岩中的火成岩及其活动模式——以东营凹陷为例. 新疆石油地质, 26(3): 231~237.
- 金之钧,朱东亚,胡文瑄,等. 2006. 塔里木盆地热液活动地质地球化学特征及其对储层影响. 地质学报, 80(2): 246~253.
- 孙红军,李晓光,徐樟有. 2003. 含油气盆地的构造演化与成盆——

- 以辽河盆地东部凹陷为例. 地球学报, 24(增刊): 28~33.
- 吴昌志,顾连兴,任作伟,等. 2003. 辽河油田欧利坨子潜火山岩及其成藏机制. 地质论评, (2): 162~167.
- 翟庆龙,金强,曾怡,等. 2004. 渤海湾盆地东营凹陷滨南地区玄武岩—烃源岩共生体的油气地质特征. 石油实验地质, 26(5): 448~451.
- 张建龙,蒋少涌,白玉英,等. 2006. 辽河盆地欧利坨子富钾质火山岩特征与成因探讨. 高校地质学报, 12(2): 271~280.
- 朱光有,金强,戴金星,等. 2005. 复合生烃系统——陆相断陷盆地烃源岩评价和油气预测的重要概念. 地质科学, 40(1): 133~144.

## References

- Bjoroy M, Hall P B, Hustad E, Williams J A. 1992. Variation in stable carbon isotope ratios of individual hydrocarbons as a function of artificial maturity. *Organic Chemistry*, 19: 89~105.
- Bjoroy M, Hall P B, Moe R P. 1994. Stable carbon isotope variation of n-alkanes in central Grabon oil. *Organic Geochemistry*, 22: 355~381.
- Clayton C J, Bjoroy M. 1994. Effect of maturity on  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ratios of individual compounds in North Sea oils. *Organic Geochemistry*, 21: 737~750.
- Guan Ping, Liu Wenhui, Xu Yongchang, et al. 2003. The construction and application of Carbon Compound-specific isotope model in crude oil. *Progress in Natural Science*, 13(7): 780~784 (in Chinese with English abstract).
- Huo Qiuli, Feng Zihui, Fu Li. 2002. Hydrocarbon generation of non-hydrocarbon and asphaltene in thermal simulated experiment. *Geology-Geochemistry*, 30(3): 64~67 (in Chinese with English abstract).
- Jia Bin, Wang Wuli, Zhang Lidong, et al. 2004. The twofold influence of intense volcanism upon the existing environment of living things in Mesozoic Yixian cycle of western Liaoning. *Acta Geoscientia sinica*, 25(4): 429~436 (in Chinese with English abstract).
- Jin Qiang, Xiong Shousheng, Lu Peide. 1999. Catalysis and hydrogenation: Volcanic activity and hydrocarbon generation in rift basins, Eastern China. *Applied Geochemistry*, 14(5): 547~558.
- Jin Qiang, zhai Qinglong, Wan Congli. 2005. Igneous rock and its active mode in source rocks of rift basin—An example of Dongying Sag. *Xinjiang Petroleum Geology*, 26(3): 231~233, 237 (in Chinese with English abstract).
- Jin Zhijun, Zhu Dongya, Hu Wenxuan, et al. 2006. Geological and geochemical signatures of hydrothermal activity and their influence on carbonate reservoir beds in the Tarim Basin. *Acta Geologica Sinica*, 80(2): 245~253 (in Chinese with English abstract).
- Liu Wenhui, Xu Yongchang, Zhang Shouchun, et al. 2000. A new kind of mechanism for hydrocarbon generated—mechanochemical function and experimental prove. *Acta Sedimentologica Sinica*, 18(2): 314~318 (in Chinese with English abstract).
- Sun Hongjun, Li Xiaoguang, Xu Zhangyou. 2003. The basin formation

- and tectonic evolution of petroliferous basins—a case study of the eastern depression in Liaohe basin. *Acta Geoscientica Sinica*, 24 (supplement): 28 ~ 33 (in Chinese with English abstract).
- Stahl W J. 1977. Carbon and nitrogen isotopes in hydrocarbon research and exploration. *Chemical Geology*, 20: 121 ~ 149.
- Wu Changzhi, Gu Lianxing, Ren Zuwei, et al. 2003. Subvolcanic trachyte porphyry at Oulituozhi in the Liaohe Basin and its mechanism for hydrocarbon reservoir formation. *Geological Review*, 49(2): 162 ~ 167 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Qinglong, Jin Qiang, Zeng Yi, et al. 2004. Petroleum geology of basalt-source rock Paragenetic association in Binman Area, The Dongying Depression of the Bohaiwan Basin. *Petroleum Geology & Experiment*, 26(5): 448 ~ 451 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Jianlong, Jiang Shaoyong, Bai Yuying, et al. 2006. The characteristics and genesis of potassic volcanic rocks from the Oulituozhi Area, Liaohe Basin. *Geological Journal of China Universities*, 12(2): 271 ~ 280 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Guangyou, Jin Qiang, Dai Jinxing, et al. 2005. Composite hydrocarbon-generation System: an important concept for source rock evaluation and hydrocarbon prediction in rift Lacustrine Basin. *Chinese Journal of Geology*, 40(1): 133 ~ 144 (in Chinese with English abstract).