

文章编号:1672-9854(2009)-01-0065-06

松辽盆地双城—太平川地区 原油地球化学特征及其成熟度差异

王杰¹, 王铁冠², 陈践发², 冯子辉³, 蒋兴超⁴

(1 中石化无锡石油地质研究所; 2 中国石油大学资源与信息学院)

(3 大庆油田有限责任公司石油勘探开发研究院; 4 长江大学)



王杰

摘要 松辽盆地北部双城—太平川地区扶杨油层原油地球化学特征相近, 正构烷烃分布完整, 呈单峰型, 主峰碳主要为 C_{23} , 部分原油具有轻碳优势, 奇偶优势不明显。三环萜烷含量较丰富, 部分原油伽马蜡烷、孕甾烷和升孕甾烷含量较高, 规则甾烷呈“V”型分布, 碳同位素值偏轻, 生源构成以低等水生生物和菌藻类为主, 兼有高等植物生源输入, 母源形成环境为微咸水还原—淡水氧化环境。本区原油的总体特征比较接近, 具有相似的生源母质和有机相, 但其成熟度存在着一定差异。根据生物标志物参数, 原油分为三个组群, 即低成熟油、低成熟—中等成熟油和中等成熟油, 主要为低成熟—中等成熟原油。认为研究区具有形成低成熟油的有利烃源条件, 应该加强对低成熟油的勘探开发。同时加强长春岭背斜带及其周缘构造高部位有利圈闭的勘探与评价。

关键词 原油评价; 地球化学特征; 热成熟度; 稳定碳同位素; 生物标志化合物; 松辽盆地

中图分类号: TE125.4 **文献标识码**: A

王杰 1975年生, 博士后, 高工。主要从事油气地质及有机地球化学研究。发表论文 20 余篇。

通讯地址: 214151 江苏省无锡市惠钱路 210 号; 电话: (0510)83202074

1 概况

松辽盆地是世界上特大型陆相淡水—微咸水湖盆沉积, 油气资源十分丰富, 通过 40 多年的油气勘探开发, 已探明有多套含油气组合。发现的产油气层位自上而下分别为昌德油层、农安油层、杨大城子油层、扶余油层、高台子油层、葡萄花油层、萨尔图油层和黑帝庙油层^[1]。在地质构造单元区划上, 双城—太平川地区位于松辽盆地东北部, 横跨一级构造单元中央凹陷区东部、东南隆起区西北部以及东北隆起区南缘的结合部位, 主要由三肇凹陷、朝阳沟阶地、长春岭背斜带、宾县—王府凹陷等四个二级构造单元组成, 研究区东北缘涉及到的二级构造单元还有绥化凹陷南缘和呼兰隆起带的西南缘(图 1)。该区内现已发现榆树林油田、朝阳沟油田、三站—五站油气田和太平庄气田。现在三站、五站油气田的周缘又探明了新的油藏, 并且已经投入开发生产, 在上述

油气田的外围又有 40 余口探井获得工业油流或油气显示, 3 口探井获得工业气流, 显示出良好的油气勘探前景, 使该区成为松辽盆地北部重要的油气勘探区域。

双城—太平川地区主要产油层位为扶余油层和杨大城子油层(合称为“扶杨油层”, 下同), 个别油井产出葡萄花油层的原油, 本文只对双城—太平川地区扶杨油层的原油进行研究。在研究区采集了 47 件原油样品(见图 1), 分别从原油物性、族组分、饱和烃气相色谱、轻烃指纹、碳同位素和生物标志物等方面对原油地球化学特征进行综合剖析, 并对原油族群进行划分。

2 原油物性

双城—太平川地区扶杨油层原油的密度、凝固点及含硫量的差别相对较小, 为中等密度原油, 具有高黏度、高含蜡量、低含硫、高凝固点的特征。黏度和

收稿日期: 2008-03-21; 改回日期: 2008-09-21

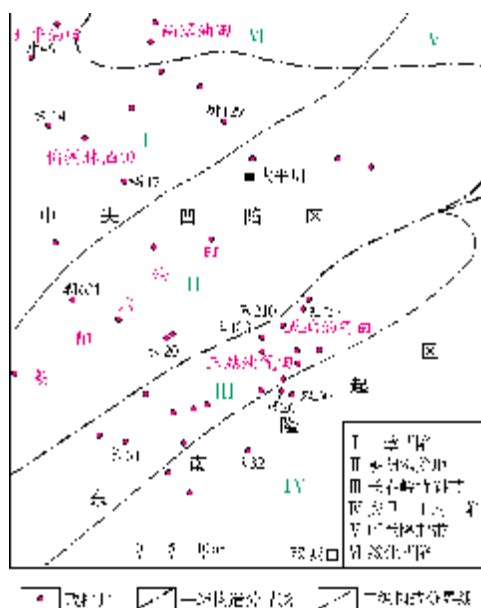


图1 松辽盆地双城—太平川地区构造单元区划及取样点分布图

含蜡量表现出一定的差异性,研究区南部宾县—王府凹陷的原油黏度最高(平均为 $100.2 \text{ mPa}\cdot\text{s}$),含蜡量最低(平均为 21.9%);长春岭背斜带原油的黏度最低(平均为 $56.7 \text{ mPa}\cdot\text{s}$)。而研究区西北部三肇凹陷的原油黏度(平均为 $73.4 \text{ mPa}\cdot\text{s}$)低于宾县—王府凹陷,但高于相邻的朝阳沟阶地(平均为 $65.6 \text{ mPa}\cdot\text{s}$)。原油黏度的这种变化规律可能与原油的充注方向有关。

3 原油族组成

原油族组成可反映烃源岩的沉积环境、生油母质类型、成熟度、运移效应以及原油遭受后生改造作用等信息,因此原油的族组成具有非常丰富的内涵。在生油有机质性质相近的前提下,成熟度高的原油具有较高的烃类含量和较低的极性组分^[2]。

由图2可见,研究区原油饱和烃相对含量较高,集中分布在 $50\%\sim 75\%$ 之间,平均值为 63.5% ;原油芳烃相对含量较低,大部分分布在 $15\%\sim 20\%$ 之间,饱/芳烃值为 $3.0\sim 5.6$ (高的饱/芳烃值反映藻类生源输入的特征);非烃+沥青质相对含量为 $11\%\sim 35\%$ 。杨大城子油层部分原油(特别是朝阳沟阶地和长春岭背斜带的部分原油)的非烃+沥青质含量较高,可能反映原油受生物降解作用的影响。扶杨油层的原油族组成聚成一类,显示本区原油族组成特征比较类似,表明原油烃源层是相似的。

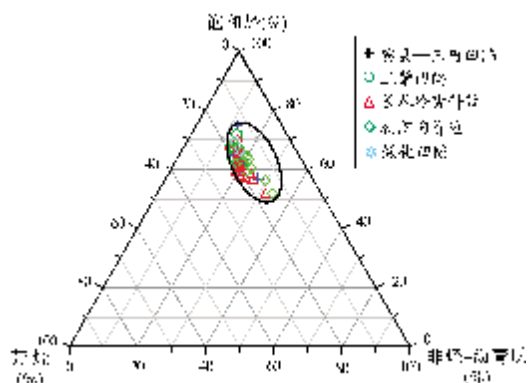


图2 双城—太平川地区扶杨油层原油族组成

4 原油轻烃组成

由于在地面常温条件下,原油轻烃馏分中 $\text{C}_1\sim\text{C}_4$ 气态烃分子结构简单,信息量少,且非常容易挥发,所以原油轻烃馏分中应用较多的成分主要是 $\text{C}_6\sim\text{C}_7$ 烃类。

从双城—太平川地区 47 件原油样中,选择 17 件代表性油样,作轻烃组分气相色谱分析。以 C_7 异构烷烃、二甲基环戊烷和甲基环己烷为端元,构建 C_7 烃类组成三角图(图3)。从图中可以发现,本区扶杨油层原油的 C_7 轻烃分子组成与结构非常相似,基本上聚类成为一个密集点群,这表明了原油组成与生物源输入的相似性。

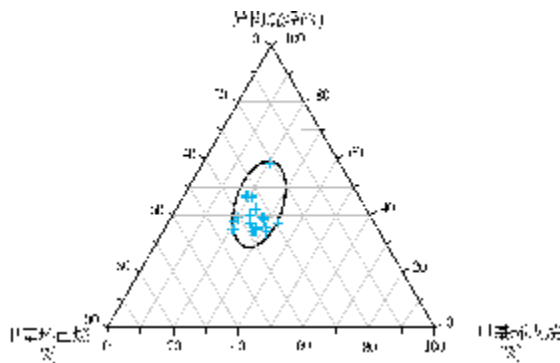


图3 双城—太平川地区扶杨油层原油的 C_7 轻烃组成三角图

5 饱和烃气相色谱

原油饱和烃气相色谱特征蕴涵了丰富的沉积环境、生源构成、保存条件和热演化的信息。图4显示,研究区原油饱和烃馏分中正构烷烃碳数分布范围为 $\text{C}_{14}\sim\text{C}_{37}$,均呈单峰态分布,绝大多数主峰碳数为 C_{23} ,个别原油主峰碳数分别为 C_{19} 、 C_{20} 、 C_{21} 和 C_{25} 。 $\text{nC}_{21}/\text{nC}_{22}$ 值普遍较低,分布范围在 $0.30\sim 1.46$ 之间

(表 1),这与原油具有较高含蜡量的特征是一致的。

原油的姥鲛烷/植烷值(Pr/Ph)相差较大,范围在 0.89~1.35 之间(表 1),反映了原油形成于微咸水还

原—淡水氧化环境。一般来说, Pr/nC_{17} 、 Ph/nC_{18} 常常反映了原油的成熟度,在成熟度较低时,这两个比值相对较高。值得注意的是,本区原油中的 Pr/nC_{17} 和

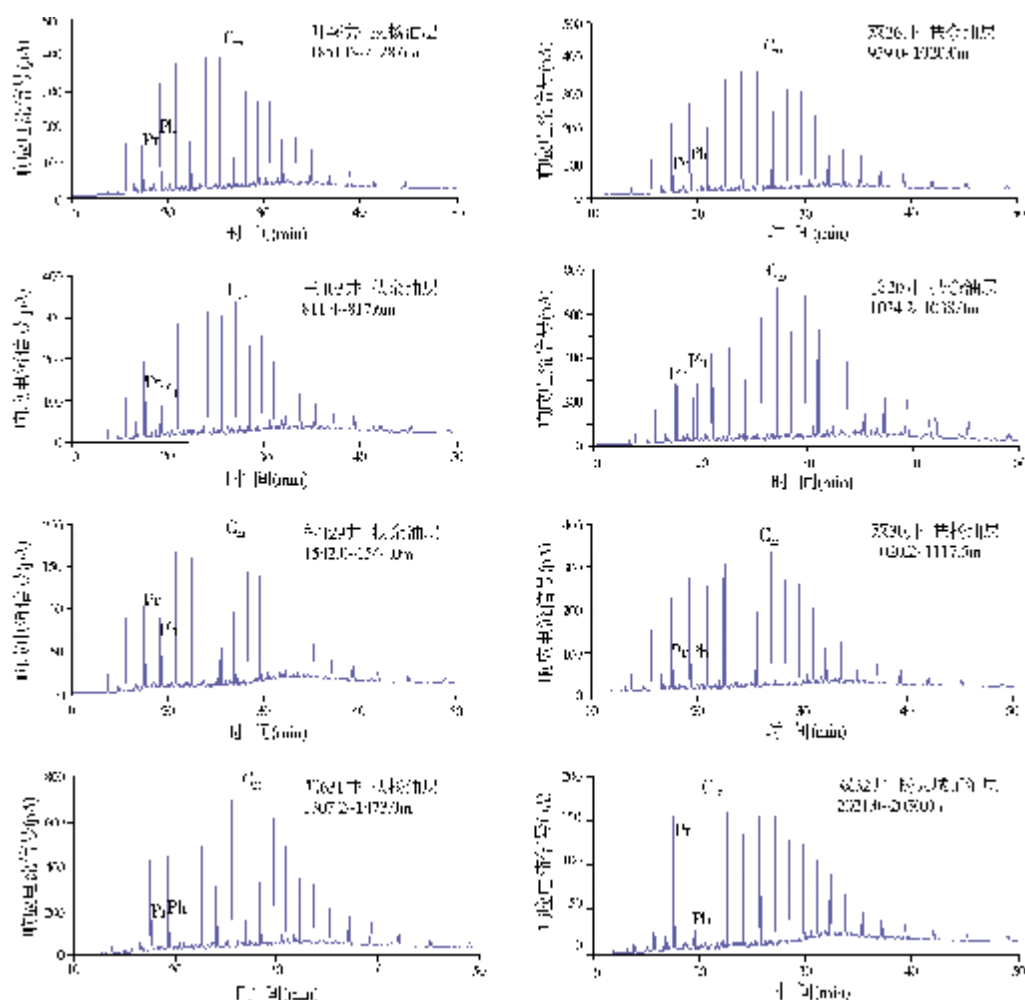


图 4 双城—太平川地区扶杨油层原油气相色谱图

表 1 双城—太平川地区扶杨油层原油饱和烃气相色谱参数

构造单元		nC_{21}/nC_{22}^+	C_{21+22}/C_{28+29}	Pr/Ph	Pr/nC_{17}	Ph/nC_{18}	CPI
三肇凹陷	范围	0.53~0.83	1.74~2.95	1.04~1.24	0.21~0.50	0.16~0.37	1.11~1.18
	平均值	0.69(9)	2.2(9)	1.13(9)	0.30(9)	0.23(9)	1.16(9)
朝阳沟阶地	范围	0.30~0.78	1.01~2.32	0.93~1.23	0.22~0.99	0.16~0.87	1.13~1.24
	平均值	0.59(9)	1.88(9)	1.07(9)	0.39(9)	0.30(9)	1.16(9)
长春岭背斜带	范围	0.53~1.12	1.85~6.25	0.94~1.18	0.26~0.50	0.19~0.43	1.12~1.23
	平均值	0.64(16)	2.37(16)	1.05(16)	0.36(16)	0.28(16)	1.19(16)
宾县—王府凹陷	范围	0.52~0.91	1.81~3.07	0.94~1.35	0.19~0.42	0.13~0.36	1.13~1.23
	平均值	0.68(9)	2.22(9)	1.09(9)	0.31(9)	0.25(9)	1.17(9)
绥化凹陷	范围	0.49~1.46	1.53~5.82	0.89~1.23	0.21~0.52	0.18~0.38	1.19~1.21
	平均值	0.98(2)	3.68(2)	1.06(2)	0.37(2)	0.29(2)	1.2(2)

注: 括号内为样品数。 Pr/Ph 姥/植烷比; CPI 碳优势指数。

Ph/nC₁₈ 值有明显差异,其中以朝阳沟阶地的长20井原油为最高(Pr/nC₁₇=0.99, Ph/nC₁₈=0.87),其余原油的 Pr/nC₁₇ 和 Ph/nC₁₈ 值都低于0.55(表1),这可能与原油的成熟度有关。

总之,双城—太平川地区扶杨油层原油色谱峰型完整,为单峰型,主峰碳主要为C₂₃,部分原油具有轻碳优势(C₂₁₊₂₂/C₂₈₊₂₉>2)(表1),奇偶优势不明显;该区大部分原油的成熟度较低,为微咸水还原—淡水氧化沉积环境。从正构烷烃的分布形式及峰型来看(图4),原油的总体特征比较接近,反映了原油具有相似的生物源母质输入。

6 甾、萜类化合物

双城—太平川地区扶杨油层原油甾、萜类分布指纹特征相似,具有以下特征。

(1)三环萜烷含量较为丰富,含有C₁₉~C₂₉三环萜烷,大部分原油中三环萜烷系列碳数分布完整。另外,C₂₅以前的三环萜烷只有一个峰,而C₂₅以后的三环萜烷峰都是成对出现,三环萜烷可有2个立体化学中心,分别在C₁₃和C₁₄位置上,在这两个位置上的H原子可有α和β两种构型存在,因此就可以出现13α和14β、13α和14α、13β和14α、13β和14β四种同分异构体,但在地质体中丰度比较高的一般是13α和14β异构体,13β和14α只有在成熟度较低的样品中出现^[3]。通常,两个异构体在样品中一般

以痕量出现,很少能检测到。在研究区部分原油中检测出了13β和14α异构体,说明该区部分原油成熟度较低。Ourisson^[4]认为三环萜烷来源于微生物的细胞膜,也可能与藻类源有关^[5-6]。三环萜烷属于某类特定微生物源,三环萜烷/17α(H)-藿烷值为0.28~2.67,它可用来比较某类细菌或藻类(三环萜烷)和原核生物(藿烷)对母源的贡献^[7],高含量的三环萜烷指示了菌藻类对生物源的贡献。

(2)伽马蜡烷主要来源于原生生物,C₃₀藿烷主要是典型的细菌生源产物,因此伽马蜡烷/C₃₀藿烷值能反映母质类型^[8],即原生动物与细菌的生物源输入比率,还可以指示母源的形成环境。检测出本区伽马蜡烷/αβC₃₀藿烷值为0.12~0.38;高的伽马蜡烷含量指示生物源中低等水生生物的贡献,还指示母源为咸水还原沉积环境。

(3)孕甾烷、升孕甾烷含量高。测出本区(孕甾烷+升孕甾烷)/αααC₂₉(20R)甾烷值为0.05~1.53;高含量的孕甾烷和升孕甾烷指示低等水生生物对生源的贡献。

(4)检测出完整的甾烷系列化合物,包括孕甾烷、升孕甾烷、C₂₇~C₂₉重排甾烷和规则甾烷。C₂₇、C₂₈、C₂₉规则甾烷分布指纹可更直观地反映生物源差异(图5)。

图5中C₂₇—C₂₈—C₂₉规则甾烷的丰度分布均具有“V”型分布特征,即C₂₇>C₂₈与C₂₈<C₂₉,绝大多数原油呈现出C₂₉甾烷的丰度优势,或C₂₉甾烷与C₂₇甾烷的丰度均势,即C₂₉≥C₂₇;仅朝阳沟阶地长20井和

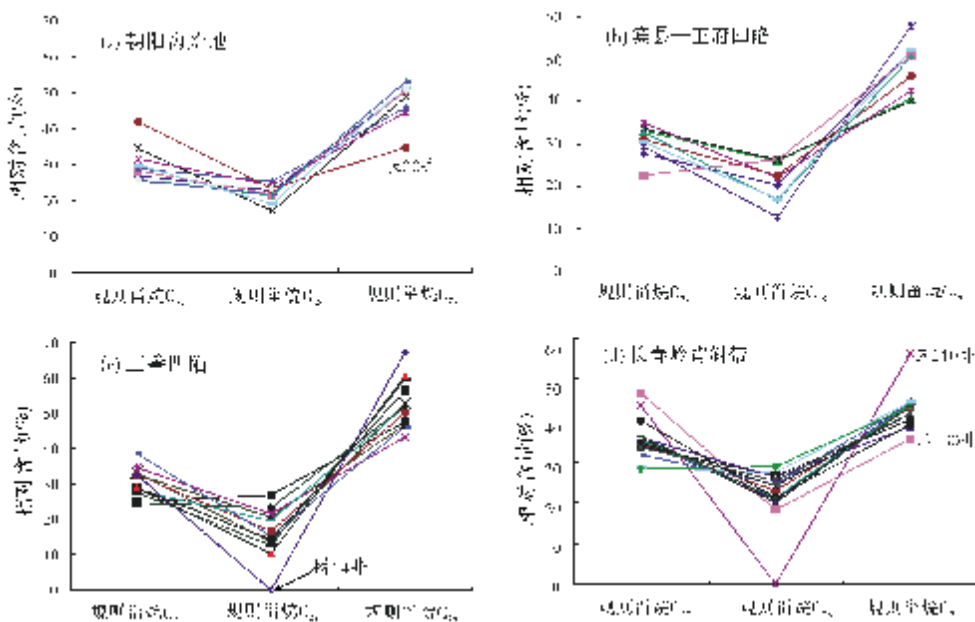


图5 双城—太平川地区原油C₂₇—C₂₈—C₂₉甾烷的丰度分布指纹对比

长春岭背斜带三 403 井的原油呈现出 V 字型分布的 C_{27} 甾烷优势,即 $C_{29} < C_{27}$ 。图 5 中,全部原油均显示出 C_{28} 甾烷相对含量低的特征,其中树 14 井和五 210 井原油的 C_{28} 甾烷相对含量为 0 (图 5c 和 5d),其中原因需进一步探讨。通常规则甾烷的“V”型分布见于海相与湖相烃源岩中,往往是 I 或 II 型原油与烃源岩的特征,反映了有机质来源于低等水生生物、藻类和高等植物混源特征。

检测出本区 $\alpha\alpha\alpha 20RC_{27}/C_{29}$ 值为 0.45~1.49。高含量的 $\alpha\alpha\alpha 20RC_{27}$ 指示了藻类对生物源的贡献。规则甾烷/ $17\alpha(H)$ -藿烷值可以反映真核生物(主要是藻类和高等植物)与原核生物(细菌)对生源的贡献^[7],本区规则甾烷/ $17\alpha(H)$ -藿烷值为 0.14~0.47,反映了研究区原油来源于高等植物和菌藻类母质二者兼有的特征。

陆源高等植物生源的影响不是形成高蜡油的主要控制因素,低等水生生物和藻类也能提供丰富的高蜡油先体物质,陆源高等植物和低等水生生物都是高蜡油形成的主要母源^[9]。所以双城—太平川地区扶杨油层部分原油蜡含量高的特征不能指示高等植物生源的主要贡献,即混源的特征;在原油生物源构成上,低等水生生物和藻类占优势,且兼有高等植物母源的特征,表明了其沉积环境为微咸水还原—淡水氧化环境。从原油生物标志物的特征来看,双城—太平川地区扶杨油层原油具有相似的有机相和生物源构成。

7 稳定碳同位素

原油基本上继承其生烃母质的稳定碳同位素组成特征,但是在烃源岩成熟、生烃和油气运移过程中,还会发生碳同位素组成的分馏效应,导致原油与烃源岩之间碳同位素组成有一定的差异。通常单纯成熟度变化引起的原油碳同位素组成的分馏效应, $\delta^{13}C$ 值的变化不会超过 3‰^[7]。

从原油碳同位素指纹特征(图 6)可以看出,原油及相应各馏分的差值都小于 3‰,碳同位素类型曲线基本一致,这反映原油的烃源层有机相是非常相似的,即源自同一烃源层。

8 原油组群划分

根据原油的物性、族组成、轻烃指纹、生物标志和碳同位素组成特征,可以查明本区扶杨油层原油具有相同或相似的烃源层和有机相,为同一族群。

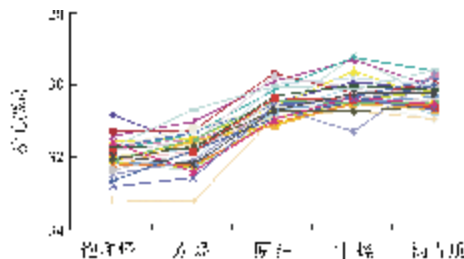


图 6 双城—太平川地区原油稳定碳同位素分布指纹特征

研究区原油甾烷异构化参数 $\alpha\beta\beta/(\alpha\beta\beta+\alpha\alpha\alpha)$ C_{29} 甾烷值为 0.24~0.68, $\alpha\alpha\alpha C_{29}$ 甾烷 $20S/(20S+20R)$ 值为 0.30~0.62; 藿烷异构化参数 C_{31} $22S/(22S+22R)$ 值为 0.58~0.62, $Ts/(Ts+Tm)$ 值为 0.25~0.88。这均表明双城—太平川地区原油为低熟—中等成熟原油。本文选取了双城—太平川地区 6 项表征沉积环境、生源输入、成熟度的生物标志物参数对原油进行组群划分。扶杨油层原油仅呈现出数量上的渐变,而没有截然不同的差异,即主要反映了烃源层横向上的渐变,因此可用于组群的划分。

原油生物标志物参数相关特征(图 7)的对比结果表明,在平面分布上,双城—太平川地区原油的变化只反映在成熟度的差异上,在生物源输入与沉积环境上也仅有细微差别。大体上可以划分为以下三个原油组群:

低熟油组群 低熟油在研究区并不多见,仅见于朝阳沟阶地南侧长 20 井以及长春岭背斜带上的三 403 井和五 204 井,它们主要分布在朝阳沟阶地与长春岭背斜带古、今构造的高部位上,占已知采样油井总数的 6.4%,这与前人对朝阳沟阶地和长春岭背斜带的原油研究所取得的认识是一致的^[10];

中等—低熟油组群 全区绝大多数油井产出的原油均属于这个组群,据不完全统计,约占采样油井总数的 87.2 %。

中等成熟原油组群 全区也不多见,仅见于三肇凹陷的树 14 井和树 17 井,以及宾县—王府凹陷双 32 井,在全区原油或同一个石油系统中都位于紧邻烃源灶的部位,指示了石油的充注点位置。

9 结 论

由于该区处于三肇凹陷成熟油烃源灶、宾县—王府凹陷低熟—成熟油烃源灶和朝阳沟阶地低熟油烃源灶范围内^[11],具有有利的烃源条件。从三个组群原油在区域上的分布来看,长春岭背斜带作为油气

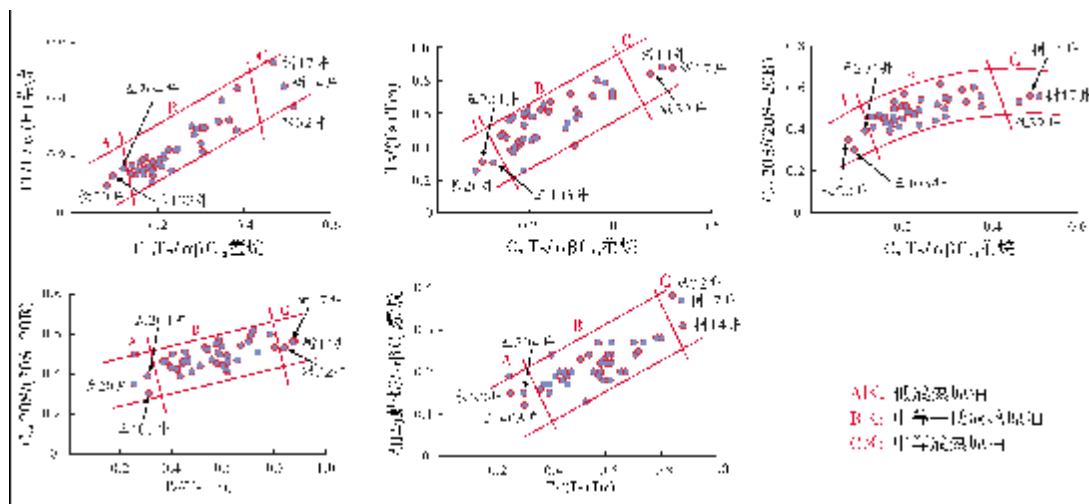


图7 双城—太平川地区扶杨油层原油生物标志物参数相关特征

有利的聚集区, 应加强该背斜带及其周缘构造高部位有利圈闭的勘探与评价。

参考文献

- [1] 高瑞琪, 蔡希源. 松辽盆地油气田形成条件与分布规律[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997: 321-330.
- [2] 常俊合, 李新军, 吕红玉, 等. 东濮凹陷文留潜山构造文古2井原油地球化学特征和油源分析[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(1): 44-69.
- [3] 陈建平, 黄第藩, 陈建军, 等. 酒东盆地油气生成和运移[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996, 17-152.
- [4] Ourisson G, Albrecht P, Rohmer M. Predictive microbial biochemistry from molecular fossils to prokaryotic membranes[J]. Trend in Biochemical Sciences, 1982, 7(7): 236-239.
- [5] Aquino Neto F R, Trendel J M, Restle A, et al. Occurrence and formation of tricyclic and tetracyclic terpanes in sediments and petroleum[M]// Bjor M, et al. Advance in Organic Geochemistry, 1981. New York, 1983: 659-676.
- [6] Simoneit B R T. Cyclic terpenoids of the geosphere[M]// Johns R B. Biological Markers in the Sedimentary Record. New York: Elsevier, 1986: 43-99.
- [7] Peters K E, Moldowan J M. The Biomarker Guide: Interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments[M]. England: Prentice Hall Inc Press, 1993: 109-126, 159.
- [8] 张枝焕, 关强, 阳安成. 三塘湖盆地煤层与原油地球化学特征对比[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(3): 207-211.
- [9] 黄海平, 郑亚斌, 张占文, 等. 低等水生生物: 高蜡油形成的重要来源[J]. 科学通报, 2003, 48(10): 1092-1098.
- [10] 侯读杰, 王铁冠, 孔庆云. 松辽盆地朝长地区原油的地球化学特征[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 1999, 23(2): 27-30.
- [11] 王杰, 王铁冠, 陈践发, 等. 松辽盆地双城—太平川地区烃源岩生烃潜力评价[J]. 矿物岩石, 2006, 26(3): 100-106.

编辑: 赵国宪

Geochemical Characteristics and Maturity Difference of Crude Oil from Shuangcheng-Taipingchuan Area in Songliao Basin

Wang Jie, Wang Tieguan, Chen Jianfa, Feng Zihui, Jiang Xingchao

Abstract: A great petroleum exploration potential exists in Shuangcheng-Taipingchuan area in Songliao Basin. Analyzed crude oils from Fuyu-Yangdachengzi oil layers have similar geochemical characteristics. The distribution of n-alkane plots is complete and show single peaks with the main peak carbon of C_{23} , unobvious odd-even predominance in which parts of crude oils are light carbon predominance. The characteristics of biomarkers are: (1) relative high contents of tricyclic terpane, (2) relative high contents of gammacerane, pregnane and homopregnane, (3) V-shaped distribution of regular sterane. The carbon isotope value is generally small. It is demonstrated that the biological sources of crude oil would mainly be composed of low-grade aquatic organism and thallophyta as well as higher plant, and the source rocks would have been deposited in brackish water reducing-fresh water oxidized environment. These crude oils have similar characteristics in generally and have similar biological sources and organic facies but some differences exist in thermal maturity of these crude oils. According to biomarker parameters, the crude oils are divided into three families: low thermal maturity oil, low-middle thermal maturity oil and middle thermal maturity oil, among which low-middle thermal maturity oils are common. It is suggested that an attention should be paid to the area of low thermal maturity oil favorable for exploration.

Key words: Oil estimation; Geochemical characteristics; Thermal maturity; carbon isotope; biomarker; Songliao Basin
Wang Jie: male, Ph.D., Senior Geologist. Add: 210 Qianhui Rd., Wuxi Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangshu, 214151 China.