

文章编号: 1001-6112(2008)06-0611-06

辽河断陷西部凹陷 原油地球化学特征及其成因类型

母国妍¹, 钟宁宁¹, 刘宝²

(1. 中国石油大学 资源与信息学院, 北京 102249; 2. 辽河石油勘探开发研究院 盆地所, 辽宁 盘锦 124000)

摘要: 辽河断陷西部凹陷原油物性和族组成具有由深到浅、由凹陷中心向边缘, 原油密度、粘度及含蜡量等逐渐增加, 饱和烃含量降低, 非烃+沥青质含量增高的特征。从原油饱和烃色谱实验分析来看, 色谱面貌既有单峰型, 又有双峰型; 既有前峰, 又有后峰型; 既有光滑, 又有锯齿型; 还有降解型。色谱参数 Pr/Ph 比值南部普遍较北部高。从饱和烃质分析来看, 原油甾烷系列 C₂₇—C₂₉ 规则甾烷以直线斜坡型为主, 凹陷南部少数以 C₂₈ 规则甾烷占优势。综合原油的物理性质及地球化学特征, 将该区原油按生源与成油环境划分成 2 大类, 再根据成熟度与遭受的次生改造作用, 将这 2 大类各划分 3 个亚类。这种以微观实验数据为依托, 综合原油宏观特征的分类方法将为今后的油源对比研究及勘探预测提供可靠的依据。

关键词: 生物标志物; 地球化学; 成因类型; 古近系; 辽河西部凹陷; 辽河断陷

中图分类号: TE122.11

文献标识码: A

THE GEOCHEMICAL CHARACTERISTIC AND GENETIC TYPE OF CRUDE OIL IN THE WESTERN SAG OF THE LIAOHE BASIN

Mu Guoyan¹, Zhong Ningning¹, Liu Bao²

(1. Faculty of Geoscience, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 2. Basin Department, Exploration and Development Research Institute of Liaohe Oilfield, Panjin, Liaoning 124000, China)

Abstract: The physical property and group composition of the crude oil in the Western Sag, Liaohe Basin possess the characteristics, such as density, consistency and wax content increase, while saturated hydrocarbon content decrease and nonhydrocarbon and asphaltene content increase along with the oil from deep to shallow layer, from center to boundary of the sag. Saturated hydrocarbon has various spectrums, such as single peak and double peak, front and queen, smoothing and serration, as well as biodegradation. The rate of Pr/Ph in the south is higher than the north. The distribution of C₂₇—C₂₉ regular sterane is dominated by right line ramp type, and only few samples have higher C₂₈ content in the south. Summing up the physical property and geochemical behavior, the crude oil are divided into two types based on biologic source and sedimentary environment, then divide these two types into three subtypes based on maturity and biodegradation. The results will provide dependable foundation to correlation of oil—source rock and exploration.

Key words: biomarker; geochemistry; genetic type; Paleogene; the Western Sag; the Liaohe Basin

西部凹陷是辽河断陷含油面积最大的一个凹陷, 总面积约 3 315 km², 探明储量约为 15×10⁸ t, 资源探明率已经接近 70%(三次资评)。自从 1969 年 9 月在兴 1 井的沙一段中发现黄金带油层以来, 已经陆续发现了兴隆台、高升、曙光、欢喜岭、牛心坨、冷家堡、双台子、双南、海外河等油田(图 1)。

西部凹陷油气藏类型丰富多样, 不同区带、不同层位和构造部位有很大的差异性。

前人对该区油气进行了大量研究^[1~5], 但还不能满足油气精细勘探挖潜的需要。本文在研究原油地球化学特征的基础上, 对该区原油按生源和成油环境进行了划分, 为下步油气勘探工作提供依据。

收稿日期: 2008-03-13; 修订日期: 2008-10-07。

作者简介: 母国妍(1980—), 女, 博士生, 从事油气地球化学研究。E-mail: muguoyan@163.com。

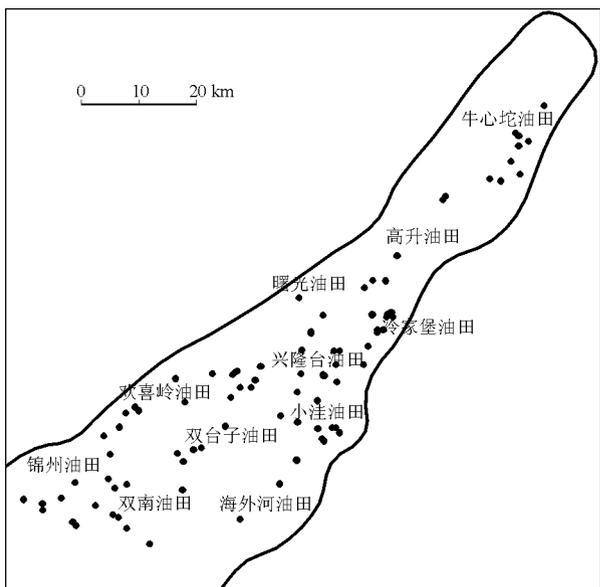


图1 辽河断陷西部凹陷油气田和样品分布

Fig.1 The distribution of oil and gas fields and samples in the Western Sag of the Liaohe Basin

1 样品和实验

129个原油样品采自辽河断陷西部凹陷105口井(图1),几乎涵盖整个西部凹陷的各油田、含油气构造和各套油层,对其进行族组分、饱和烃GC、GC-MS分析(表1)。

首先将油砂样品采用超声冷泡的方法进行分离,再利用二氯甲烷与甲醇(93:7)混合溶液抽提72h,将原油样品与油砂抽提物沉淀沥青质,可溶部

分用氧化铝/硅胶柱层析进行族组分分离,分别用石油醚、二氯甲烷和甲醇洗脱饱和烃、芳烃和非烃组分。

饱和烃馏分的GC、GC-MS分析分别采用Agilent 6890N型色谱仪和配有6890GC的5973N MSD型气相色谱质谱联用仪。检测环境:温度为27℃,相对湿度为55%。

2 原油的物性及族组分特征

2.1 原油的密度和沥青质含量

西部凹陷原油物性在平面和剖面上发生逐渐变化,总体上表现为由下向上、由凹陷中心向边缘,原油密度、粘度及含蜡量等逐渐增加。根据原油的密度和沥青质含量,可将原油大致分为2个族群落(图2a)。1)族群I,原油比重大于0.89 g/cm³,胶质和沥青质的含量大于26%。平面上主要分布在牛心坨油田、高升油田、冷家堡油田、小洼油田、锦州油田以及欢喜岭油田的部分;垂向埋深一般小于2000m(图2b)。比重普遍偏大,多为重质油。2)族群II,原油比重小于0.89 g/cm³,胶质和沥青质的含量小于26%。平面上主要分布在兴隆台油田、曙光油田、双台子—双南油田以及欢喜岭油田、海外河油田的部分;垂向埋深一般大于2000m(图2b)。比重普遍偏小,为正常原油。

2.2 原油的族组成

从原油的族组成特征分布图(图3)亦可明显将西部凹陷的原油分为2大群落:1)第一类,表现

表1 辽河断陷西部凹陷油样实验分析汇总

Table1 The total table of experimental analysis of oil samples in the Western Sag of the Liaohe Basin

| 样品地 | 样品类型 | 产层 | 分析样次/次 | | | |
|-------|------|--|--------|-------|-------|-------|
| | | | 抽提 | 族组分分离 | 饱和烃色谱 | 饱和烃质谱 |
| 牛心坨油田 | 原油 | Es ³ , Es ⁴ | | 7 | 7 | 2 |
| 高升油田 | 油砂 | Ed, Es ³ , Ar | 12 | 12 | 12 | 5 |
| 兴隆台油田 | 原油 | Ed, Es ⁴ , Mz, Pt | | 13 | 13 | 5 |
| | 油砂 | Ar | 2 | 2 | 2 | 1 |
| 冷家油田 | 原油 | Ed, Ar | | 11 | 11 | 2 |
| | 油砂 | Es ³ , Es ⁴ | 5 | 5 | 5 | 3 |
| 曙光油田 | 原油 | Es ¹⁺² , Es ³ , Pt | | 15 | 15 | 4 |
| | 油砂 | Ar | 7 | 7 | 7 | 5 |
| 欢喜岭油田 | 油砂 | Es ¹⁺² | 6 | 6 | 6 | 3 |
| 小洼油田 | 原油 | Es ³ , Es ⁴ | | 12 | 12 | 6 |
| 双台子油田 | 原油 | Es ¹ , Es ³ , Pt | | 15 | 15 | 3 |
| 锦州油田 | 原油 | Es ² | | 1 | 1 | |
| | 油砂 | Es ² , Es ³ | 18 | 18 | 18 | 8 |
| 海外河油田 | 油砂 | Ed, Es ¹⁺² , Mz | 5 | 5 | 5 | 4 |

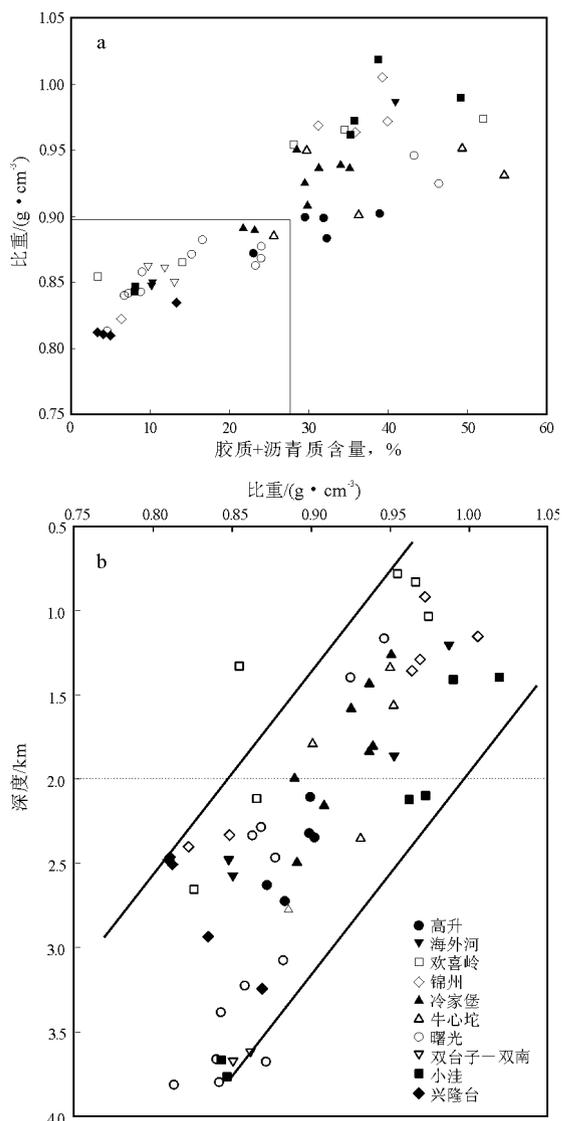


图 2 辽河断陷西部凹陷原油比重与胶质、沥青质含量关系
Fig. 2 Correlation diagram of density vs. colloid and bitumen of the crude oil in the Western Sag of the Liaohe Basin

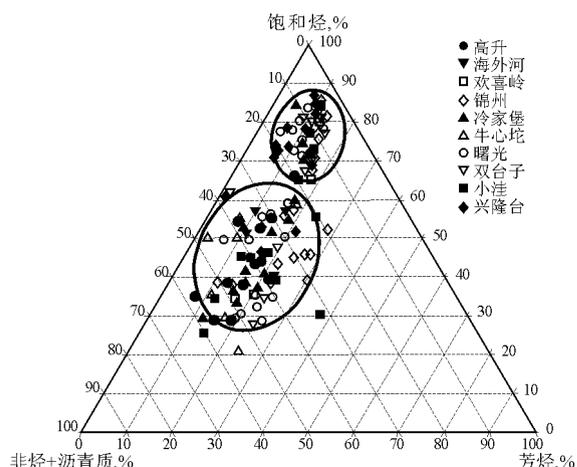


图 3 辽河断陷西部凹陷原油族组成特征

Fig. 3 Ternary plot of petroleum group composition in the Western Sag of the Liaohe Basin

出中低等含量的饱和烃(饱和烃含量主要介于 30%和 60%之间)、芳烃、非烃和沥青质含量增大的原油,主要分布在兴隆台古潜山、冷家堡油田的沙二段;2)第二类,表现出较高饱和烃含量(饱和烃含量大于 65%)、非烃+沥青质含量很低的原油,主要分布在北部高升、牛心坨油田的沙三、沙四段和中生界;冷家堡油田东部的沙三段和中生界;曙光油田的沙三、沙四段和古生界;锦州油田的沙一、沙二段。

这 2 种分类方案有着很好的一致性,即原油的饱和烃含量愈低,非烃+沥青质含量愈高,原油的比重愈大,对应的主要为重质稠油,主要分布在西部凹陷的北部和南部锦州、小洼等含油气区的浅层。

3 原油饱和烃色谱特征

3.1 原油饱和烃色谱图特征

由原油饱和烃色谱图(图 4)可以看出,西部凹陷原油色谱既有单峰型,又有双峰型;既有前峰,又有后峰型;既有光滑型,又有锯齿型;还有正构烷烃被降解型。反映了西部凹陷在成油沉积环境、母源、成熟度、次生降解等改造作用方面都存在差异。

3.2 原油饱和烃色谱参数特征

根据饱和烃色谱参数 Pr/Ph 与 Ph/nC_{18} 相关图^[6](图 5)可以看出,西部凹陷原油的沉积环境主要有还原(I型)和氧化(II型)2种类型,其分布总体上表现为北部的 Pr/Ph 普遍较南部偏低,反应了北部为还原—弱氧化的母源环境;而南部为氧化—弱还原环境,这与前人的研究结果是基本一致的^[1]。

4 生物标志化合物特征

4.1 C_{27} — C_{29} 规则甾烷分布特征

西部凹陷原油虽然发生了一定程度的生物降解,损失了正构烷烃和姥植烷,但是甾烷分布仍完整,可做指纹对比。原油甾烷系列主要由 C_{27} — C_{29} 规则甾烷组成(图 6),主要以直线斜坡型($C_{27} < C_{28} < C_{29}$)为主,凹陷南部少数以 C_{28} 规则甾烷占优势,垂向上 C_{27} 规则甾烷占优势的主要分布在浅层(Ed, Es^{1+2})。对于不同油区、层段而言,甾烷的分布与组成存在一定的差异,其分布主要有 3 种类型。

I 型(直线斜坡型: $C_{27} < C_{28} < C_{29}$):母源以高等植物输入为主,平面上主要分布在高升和曙光油田;垂向上主要分布在太古界和中生界,部分分布在沙三、沙四段。

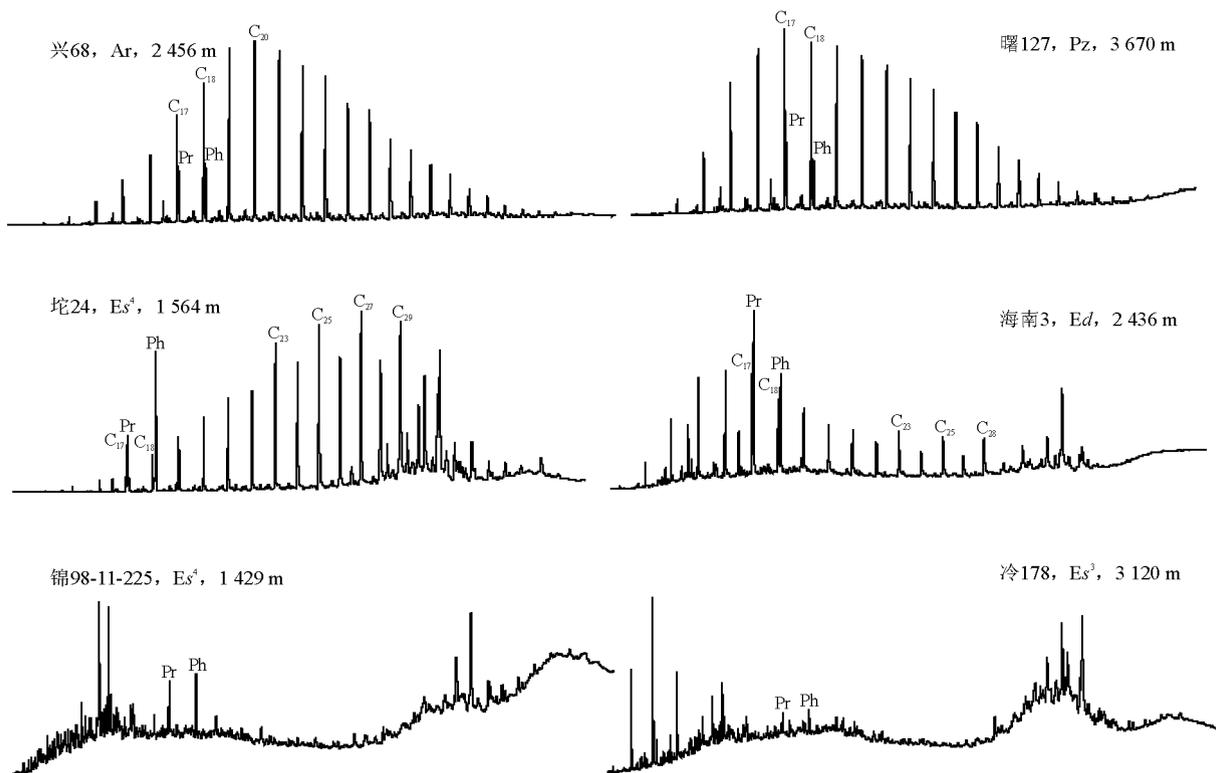


图 4 辽河断陷西部凹陷原油饱和烃色谱图

Fig. 4 The Chromatogram of the crude oil saturated hydrocarbon of the Western Sag of the Liaohe Basin

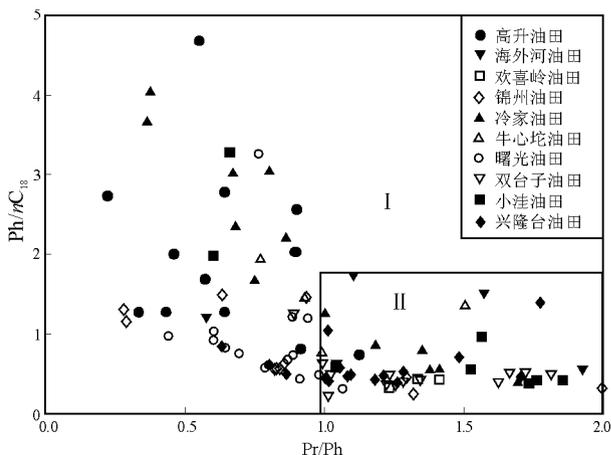


图 5 辽河断陷西部凹陷原油 Pr/Ph 与 Ph/nC₁₈ 相关图

Fig. 5 Correlation diagram of the ratio of Pr/Ph vs. Ph/nC₁₈ from crude oil in the Western Sag of the Liaohe Basin

II 型(V 或反 L 型: C₂₈ < C₂₇ < C₂₉): 有机质具有菌藻类及高等植物双重输入的特征, 但陆源有机质的贡献相对要大些, 只不过是沉积水体等环境较好, 加上细菌的活动可使有机质发生腐泥化, 增强生烃能力。平面上主要分布在欢喜岭、小洼油田; 垂向上主要是东营组和沙一、沙二段。

III 型(L 型: C₂₇ > C₂₉ > C₂₈): 表明藻类输入的丰富, 主要分布在锦州油田沙一、沙二段。

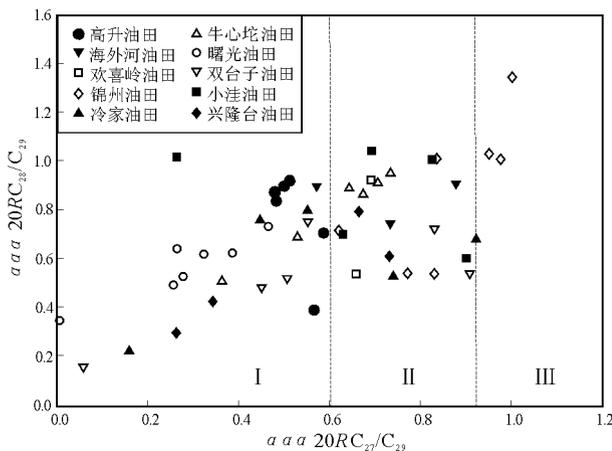


图 6 辽河断陷西部凹陷原油 aaa20RC₂₈/C₂₉ 与 aaa20RC₂₇/C₂₉ 相关图

Fig. 6 Correlation diagram of the ratio of aaa20RC₂₈/C₂₉ vs. aaa20RC₂₇/C₂₉ from crude oil in the Western Sag of the Liaohe Basin

4.2 原油成熟度的划分

综合研究西部凹陷各成熟度参数 [C₂₉ββ/(αα+ββ), C₂₉aaa20S/(20S+20R), C₃₁22S/(22S+22R), C₃₂αβ22S/22R 藿烷, 升藿烷指数, 三环萜烷/藿烷, 规则甾烷/17α(H)-藿烷(C₂₉-C₃₃), 重排藿烷/C₂₉Ts, (孕甾烷+升孕甾烷)/C₂₉aaa20R], 从中优选出地质构型甾烷异构体 C₂₉aaa20S/(20S+

20R)分别与 $C_{31} 22S/(22S+22R)$ 和(孕甾烷+升孕甾烷)/ $C_{29} \alpha\alpha\alpha 20R$ 的关系(图 7),来划分西部原油的成熟度。从图 7 中可以清楚的将西部凹陷原油划分为 I 型(成熟原油)和 II 型(未—低熟原油)。

北部地区(如牛心坨、高升油田)中生界原油的升藿烷 $C_{31} 22S/(22S+22R)$ 、孕甾烷、升孕甾烷及地质构型甾烷异构体的含量都比较低,属 II 型(未—低熟原油);而南部的小洼、锦州,西斜坡的曙光、中部的兴隆台油田的地质构型甾烷异构体丰富,说明成熟度相对较高。

5 原油的分类及其分布

综合上述原油的物性、族组成、饱和烃色—质谱及生物标志化合物特征的研究成果,先根据原油的沉积环境、母源类型将其分成 2 大类(I, II),再根据成熟度和次生改造作用将原油划分成未—低熟、成熟和降解原油^[5,7] 3 小类(A, B, C),其中降解稠油主要是根据 UCM 拱峰和 $17\alpha, 21\beta(H)-25$ 降藿烷的检测来划分的^[8]。各类原油具有不同的地

化特征^[9]。

5.1 I 类原油

该类原油 $Pr/Ph < 1.0$, Pr/nC_{17} 和 Pr/nC_{18} 较低,烃源岩的生烃环境较好; $\alpha\alpha\alpha C_{27}/C_{29}$ 为 0.26~1.00,在西部凹陷南部锦州油田藻类输入丰富,在北部牛心坨地区虽显示有甾烷 C_{29} 优势,但经分析认为是遭受细菌改造作用的结果^[10],因此认为 I 类原油主要以藻类输入为主。I 类原油又可细分为 3 亚类。

I_A 类原油: 饱、芳、非、沥青含量介于 I_B 与 I_C 之间,其中非、沥青含量较 II_A 偏高;异构烷烃含量高且存在明显的奇偶优势, $C_{29} \alpha\alpha\alpha 20S/(20S+20R)$ 小于 0.4,升藿烷 $C_{31} 22S/(22S+22R)$ 、孕甾烷、升孕甾烷含量均较低,反映为未熟—低熟原油,主要分布在牛心坨、高升和冷家堡油田。

I_B 类原油: 饱和烃含量高,沥青质含量低,饱芳比高;原油 Pr/nC_{17} 和 Ph/nC_{18} 值较小,且 CPI 和 OEP 平均值在 1.0 左右, $C_{29} \alpha\alpha\alpha 20S/(20S+20R)$ 大于 0.4,升藿烷 $C_{31} 22S/(22S+22R)$ 、孕甾烷、升孕甾烷含量均较高且比较稳定,均说明这类原油为成熟原油。主要分布于曙光油田和锦州油田的部分。

I_C 类原油: 芳烃、非烃含量较高、沥青质较低,原油饱芳比低、非/沥较高;色谱图存在明显的 UCM 拱峰,表现为降解原油。主要分布在冷家堡油田和曙光油田的部分。

5.2 II 类原油

该类原油 $Pr/Ph > 1$,为氧化沉积环境;原油的比重较高, $\alpha\alpha\alpha 20RC_{27}/C_{29}$ 小于 0.6,奥利烷/藿烷比值较高,均反映了母质以陆源高等植物输入为主,兼有菌藻类及高等植物双重输入。II 类原油也可细分为 3 亚类。

II_A 类原油: 饱、芳、非、沥含量介于 II_B 与 II_C 之间,异构烷烃含量高且存在明显的奇偶优势, $C_{29} \alpha\alpha\alpha 20S/(20S+20R)$ 小于 0.4,升藿烷 $C_{31} 22S/(22S+22R)$ 、孕甾烷、升孕甾烷含量均较低,属未熟—低熟原油,主要分布在海外河油田。

II_B 类原油: 饱和烃含量高,沥青质含量低,饱芳比高; Pr/nC_{17} 和 Ph/nC_{18} 值较小, CPI 和 OEP 平均值在 1.0 左右, $C_{29} \alpha\alpha\alpha 20S/(20S+20R)$ 大于 0.4,升藿烷 $C_{31} 22S/(22S+22R)$ 、孕甾烷、升孕甾烷含量均较高且比较稳定,说明这类原油为成熟原油。该类原油主要分布在双台子、欢喜岭、小洼油田。

II_C 类原油: 芳烃、非烃、沥青质含量较高,饱芳比低、非/沥较低;色谱图呈明显的 UCM 拱峰,

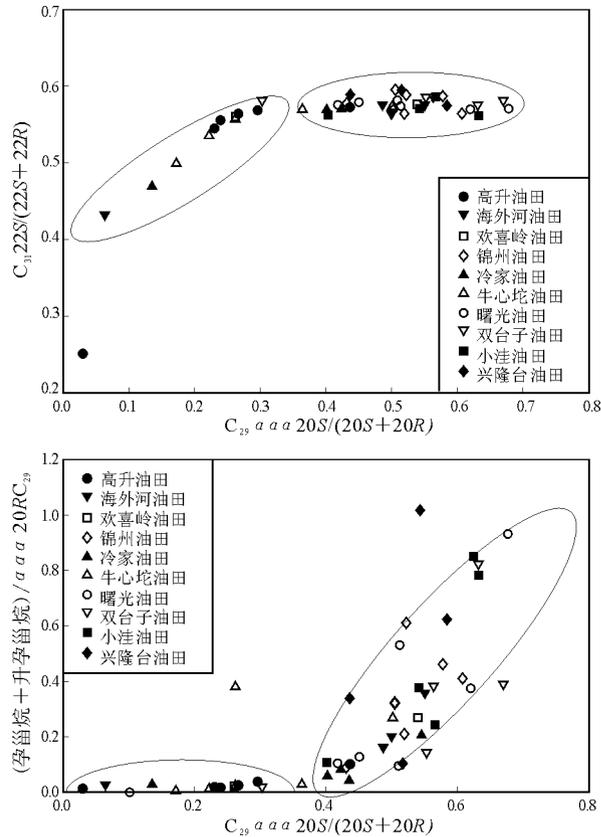


图 7 辽河断陷西部凹陷甾烷 $\alpha\alpha\alpha C_{29}$ 与升藿烷 $C_{31} 22S/(22S+22R)$ 及(孕甾烷+升孕甾烷)/ $\alpha\alpha\alpha 20RC_{29}$ 甾烷相关图

Fig. 7 Correlation diagram of sterane $\alpha\alpha\alpha C_{29}$ vs. homohopane $C_{31} 22S/(22S+22R)$ (pregnane + homopregnane)/ $\alpha\alpha\alpha 20RC_{29}$ from crude oil in the Western Sag of the Liaohe Basin

部分检测有 17 α , 21 β (H) - 25 降藿烷, 属降解原油; 主要分布在欢喜岭、小洼油田。

总体上 I 类原油主要分布在西部凹陷的北部地区和曙光油区; II 类原油主要分布在西部凹陷的中南段。这一结论为该区今后的油源对比研究及勘探预测提供了可靠的依据。

致谢: 感谢辽河油田勘探开发研究院实验地质分析所吴拓、韩霞工程师在样品采集、实验分析等方面提供的许多有益帮助, 同时也感谢中国石油大学朱丹、朱雷、王广利等各位老师的悉心指导, 在此一并表示最诚挚的谢意。

参考文献:

1 马青. 辽河断陷西部凹陷原油的地球化学特征及对辽东湾油气性质的预测[J]. 西南石油学院学报, 1986, 24(1): 13~27

2 史建南, 邹华耀, 郝芳. 辽河拗陷西部凹陷低熟油成藏机理[J]. 油气地质与采收率, 2007, 14(1): 42~45, 111

3 李红南, 徐怀民, 许宁等. 低渗透储层非均质模式与剩余油分布; 以辽河西部凹陷齐 9—欢 50 区块杜家台油层为例[J]. 石油实验地质, 2006, 28(4): 404~408

4 鲁卫华, 谷团, 鞠俊成等. 辽河盆地深层油气成藏条件与勘探前景[J]. 油气地质与采收率, 2007, 14(6): 30~32, 116

5 Huang Haiping, Bowler Bernard F J, Zhang Zhanwen, et al. Influence of biodegradation on carbazole and benzocarbazole distributions in oil columns from the Liaohe basin, NE China[J]. Organic Geochemistry, 2003, 34: 951~969

6 卢松年, 李伟民. 辽河盆地西部凹陷下第三系原油和生油岩的生物标记化合物研究[J]. 地球科学——武汉地质学院学报, 1986, 11(3): 295~302

7 常振恒, 陈中红, 张玉体等. 渤海湾盆地东濮凹陷原油地球化学特征研究[J]. 石油实验地质, 2007, 29(2): 179~18

8 朱芳冰, 肖伶俐, 唐小云. 辽河盆地西部凹陷稠油成因类型及其油源分析[J]. 地质科技情报, 2004, 23(4): 55~58

9 王启军, 陈建渝. 油气地球化学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1988

10 张渠, 宋晓莹, 张志荣. 原油中甾烷的生物降解模拟实验研究[J]. 石油实验地质 2007, 29(1): 99~102

(编辑 徐文明)



《石油实验地质》期刊影响因子持续扬升

据中国科学技术信息研究所最新公布的 2008 年版《中国期刊引证报告》(扩刊版)显示,《石油实验地质》期刊影响因子为 1.974, 比去年的 1.527 提高了 0.447; 其总被引频次为 1645, 比去年的 1315 增加了 330。期刊评价指标的连年持续扬升, 表明该刊被读者利用和重视的程度越来越高, 凸显该刊在学科交流中的作用与价值。

该刊是报道我国油气普查、勘探及开发领域最新研究成果的最具代表性的刊物之一, 是我国中文核心期刊。已被美国《化学文摘(CA)》、俄罗斯《文摘杂志(AJ)》、《中国石油文摘》和《中国地质文摘》等国内外著名检索系统收录, 是“中国科学引文数据库”、“中国学术期刊综合评价数据库”、“中国科技论文统计源刊”、“中文核心期刊要目总览”等来源期刊, 并全文收录于“中国期刊网”、“中国学术期刊(光盘版)”及“万方数据—数字化期刊群”、“维普中文科技期刊数据库”中。

该刊由中国石化石油勘探开发研究院、中国地质学会石油地质专业委员会主办, 中国石化石油勘探开发研究院无锡石油地质研究所承办。

(杨建超)