

鄂尔多斯盆地西峰油田原油芳烃地球化学研究

王传远^{1,2)} 段毅²⁾ 杜建国³⁾

1) 中国科学院烟台海岸带可持续发展研究所, 山东烟台 264003;

2) 中国科学院兰州地质研究所, 甘肃兰州 730000;

3) 中国地震局地震预测研究所, 北京 100036

摘要 通过对鄂尔多斯盆地西峰油田原油进行系统地采样和高分辨率的 GC-MS 分析, 研究了原油的芳烃组成特征, 进行了油源对比, 探讨了原油成因。结果表明: 所分析原油属于同一成因类型; 烷基萘和含硫芳烃的分布特征与有机质类型和沉积环境密切相关; 西峰油田原油形成于弱还原环境, 为菌藻类和高等植物母质来源, 特别是高等植物为原油的形成做出了重要贡献, 成熟度较高。原油地球化学特征和上三叠统延长组长 7 油层组烃源岩相似, 反映了原油主要来源于长 7 油层组。这些研究结果为盆地石油的进一步勘探提供了一定科学依据。

关键词 西峰油田; 原油; 烃源岩; 芳烃; 组成和分布; 油源对比

中图分类号: TE122.113

文献标识码: A

文章编号: 1006-3021(2008)05-613-06

Geochemical Characteristics of Aromatic Hydrocarbon in Crude Oils from the Xifeng Oilfield of the Ordos Basin

WANG Chuanyuan^{1,2)} DUAN Yi²⁾ DU Jianguo³⁾

1) Yantai Institute of Coastal Zone Research for Sustainable Development, CA S, Yantai, Shandong 264003;

2) Lanzhou Institute of Geology, CAS, Lanzhou, Gansu 730000;

3) Institute of Earthquake Science, China Earthquake Administration, Beijing 100036

Abstract Crude oil samples were collected systematically from the Xifeng Oilfield in Ordos Basin and analyzed by means of high-resolution GC-MS. In this paper, biomarkers of aromatic hydrocarbon in crude oils were studied, and the oil-source correlation and their genesis were investigated. The results show that the studied oils are of the same genetic type, and that alkyl naphthalene and aromatic sulfur compounds are indicative of depositional environment and thermal maturation. The oil-forming matrixes are algae and higher plants, and the higher plants have made an especially great contribution to the oil formation. The crude oils were formed under weak reduction and fresh water environments and are now mature. Geochemical characteristics of crude oils are closely correlated to those of the Upper Triassic Chang-7 subsection, suggesting that crude oils mainly originated from the Chang-7 oil bed group.

Key words Xifeng oilfield; crude oil; source rock; aromatic hydrocarbon; composition and distribution; oil-source correlation

鄂尔多斯盆地区域拗陷复合、地质构造平缓, 缺少背斜与断层, 总体上呈东部翘起向西部倾伏的区域性斜坡面貌(图 1)(杨俊杰, 2002)。西峰油田位

于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡的西南部, 为近年新发现的一个大型油田; 岩性油藏是油藏的主要类型, 岩性圈闭的分布主要受控于沉积微相(付金华等,

本文由中国科学院“优秀博士学位论文、院长奖获得者科研启动专项资金”和“强地震孕育和发生的实验研究”项目(编号: B07002)联合资助。

收稿日期: 2007-12-10; 改回日期: 2008-03-14。责任编辑: 刘志强。

第一作者简介: 王传远, 男, 1975 年生, 助理研究员, 博士, 主要从事油气地球化学和环境学研究工作; 通信地址: 264003, 山东省烟台市莱山区银海路 26 号; 电话: 0535-7390527; E-mail: wangchy6111@163.com。

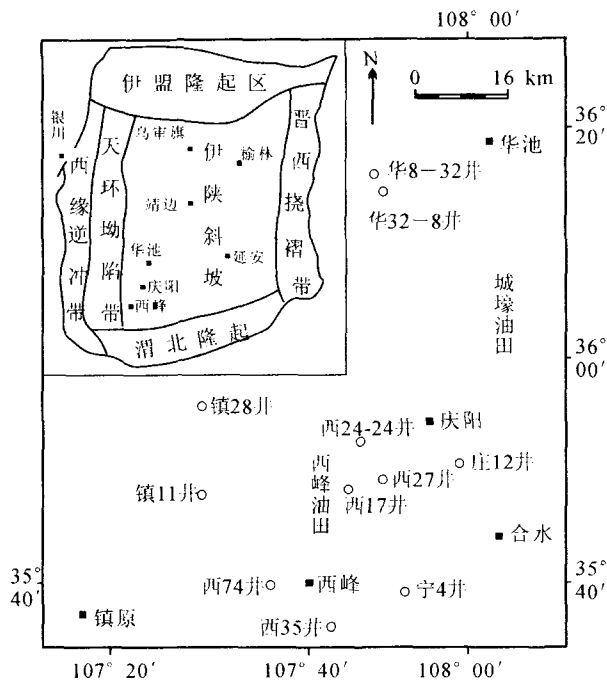


图1 研究区地质构造和样品采样位置图
Fig. 1 Geological structure of the study area, showing the sampling sites

2004)。鄂尔多斯盆地上三叠统延长组—中侏罗统储层中的原油均为典型的淡水—微咸水湖相型原油；油源对比结果表明，它们主要来自上三叠统延长组源岩，侏罗统延安组源岩很少形成原油（沈玉林等，2007）。姬塬—西峰地区油源分析表明，该区原油主要来源于三叠系长7段泥岩，有机质形成于水体较深、淡水湖相沉积环境（段毅等，2006；侯林慧等，2007；Duan et al., 2008）。西峰油田石油地质的以往研究主要集中在储层和油源岩评价等方面，尚未进行芳烃的原油地球化学特征研究。芳烃化合物较为复杂而稳定，可利用来进行油源对比、估算生油岩和原油的成熟度、确定沉积环境以及生油的初次运移等（Radke et al., 1986, 1994；刘洛夫等，1996）。笔者系统地采集了西峰油田原油样品，利用芳烃生物标志化合物分析了原油的母质性质、形成环境和成熟度，进而进行了油源对比。这些分析有助于进一步了解此类大油田的成因，并为盆地中石油勘探提供了科学依据。

1 样品与分析

样品均为2003年3月份采集，来自鄂尔多斯盆地西峰油田。为了进行对比分析，分析样品中还包括了盆地中2个延安组油样、1个太原组和1个山

表1 采集样品资料分析

Table 1 Analytical data of the collected samples

样品类型	油田	样号	井号	层位	深度/m
油	二叠系含油层	Sh-1-A	莺探1	P ₂ ^s	1239
		Sh-4A	图东1	P ₁ ⁱ	2271
样	西峰油田	Zh-1-A	庄12	长 ₈ ⁱ	1539
		E-3-A	西35	长 ₈ ⁱ	1328
		E-9-A	西74	长 ₈ ⁱ	1660
		E-12-A	西24-24	长 ₈ ⁱ	1450
		E-17A	镇28	长 ₃	1603
岩样	西峰油田	Y-5-A	华8-32	Y ₈	1208
		Y-7-A	华32-8	Y ₁₀	1376
岩样	西峰油田	Rock-17-A	西17	长 ₇ ⁱ	2043

西组油样（表1）。样品都是来自近几年开采的油井，并且以前均未进行过原油地球化学分析；样品采集时，对油水进行了分离；运回实验室在低温下保存。取原油经沉淀沥青质后，用氧化铝/硅胶柱色谱进行分离。饱和烃和芳烃馏分分别用正己烷和苯冲洗，非烃馏分用乙醇冲洗。然后，芳烃馏分用色谱（GC）和美国安捷伦科技公司（Agilent）制造的色谱—质谱联用仪（GC-MS）进行分析鉴定。GC为6890 N，色谱柱为HP-5（30 m × 0.32 mm），固定相涂膜厚度0.25 μm，载气为He，起始温度80℃，以4℃/min升温至少300℃，然后恒温30 min。MS为5973 N，离子源温度为250℃，电离电压为70 eV。

2 油岩的芳烃组成和分布特征

2.1 油岩芳烃的宏观组成特征

原油和生油岩的沉积环境及成熟度等不同，其芳烃色谱图特征也不相同。芳烃总离子流图表明，未熟—低熟样品的色谱图呈后峰型或双峰型分布，四环、五环化合物占优势；中高熟样品呈前峰型分布，且以二环、三环化合物为主（陈致林等，1997）。所分析原油的芳烃色谱图均呈前峰型分布，第一、第二峰群芳烃化合物含量高，第三峰群的芳香甾烷类化合物含量低或消失，这也是原油成熟度比较高的一个标志。西峰油田烃源岩呈前强后弱的双峰型分布，与原油相比，成熟度稍低。分析样品中检测出了丰富的多环芳烃，包括荧蒹（FL）、苯并荧蒹（B-FL）、苯联蒹（B-An）、屈（CH）、芘（Py）、苯并芘（B-Py）和芘（Pe）等典型的高等植物输入标志的芳烃类化合物（孟仟祥等，1999），反映了西峰油田高等植物为原油的形成做出了重要贡献。

2.2 萘系列化合物

烷基萘化合物的分布与有机质类型和沉积环境

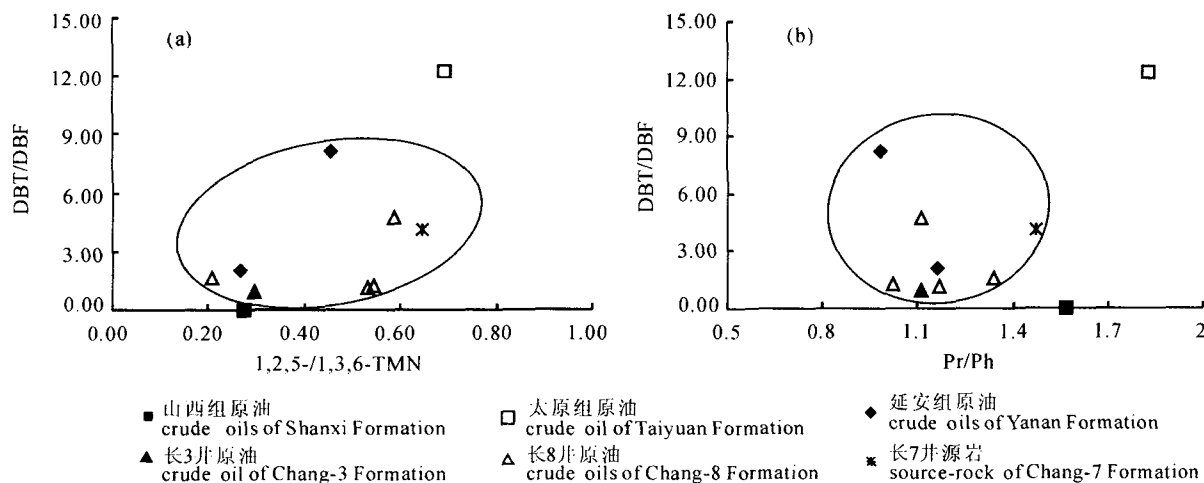


图2 鄂尔多斯盆地原油和烃源岩 DBT/DBF 与 1,2,5-/1,3,5-TMN (a) 和 DBT/DBF 与 Pr/Ph (b) 相关图

Fig. 2 Correlation plots of DBT/DBF versus 1,2,5-/1,3,5-TMN (a) and DBT/DBF versus Pr/Ph (b) of the studied crude oil and source rocks in Ordos Basin

有关(Radke et al., 1994)。鄂尔多斯盆地原油和烃源岩样品中所检出的菲系列化合物包括萘(N)、甲基萘(MN)、二甲基萘(DMN)、三甲基萘(TMN)、四甲基萘(TeMN),其中二甲基萘含量最多,三甲基萘次之,四甲基萘最低。1,2,5-三甲基萘和1,2,5,6-四甲基萘可能有两种形成途径,即源于高等植物生源的五环三萜香树素或树脂生源的双环二萜刺柏酸,可作为高等植物生源的标志物(Alexander et al., 1988)。1,2,5-/1,3,6-TMN 值在塔里木海相原油中较低,介于0.15~0.29之间;而陆相原油比值均在0.3以上,高者达1.48,其中煤成油较高,为0.71~1.48(朱扬明,1998)。西峰油田原油该比值在0.21~0.59之间;华池油田原油在0.26~0.46之间,而烃源岩为0.65。这说明与二叠系含油气盆地样品不同,西峰油田原油和华池油田原油性质类似(图2(a)),是以菌藻类和高等植物为主的混源型成油母质来源。

2.3 菲系列化合物

菲系列化合物的分布特征受多种因素控制,除成熟度外,有机质类型和沉积环境对之亦有一定影响(Budzinski et al., 1995)。分析样品中检出了菲(P)、甲基菲(MP)、二甲基菲(DMP)、三甲基菲(TMP)、四甲基菲(TeMP)等系列化合物,其中二甲基菲含量最高。除考虑到成熟度因素外,不同原油之间甲基菲异构体中3-,2-和1-甲基菲的变化并不明显,差别主要反映在9-MP上。海相原油的甲基菲系列中9-MP异构体含量较低,在塔北、塔中原油中其相对含量平均值分别为27.4%和27.7%;而在

陆相原油中该化合物丰富,湖相油和煤成油中分别占29.6%和33.9%(朱扬明,1998)。所分析原油中9-MP异构体含量最高,其中太原组、山西组和延安组原油分别为27%、29%和27%~30%;西峰油田延长组原油稍高,为29%~33%;而长7烃源岩含量为24%。这些原油中甲基菲异构体的上述分布特征差异与前人的研究结果相一致,反映了西峰油田原油以陆相成因为主。

Radke等(1981)最早提出了甲基菲指数(Methylphenanthrene index, MPI)的概念,并用用于烃源岩有机质成熟度研究;而后国内外学者对此进行了大量有益的研究工作(Budzinski et al., 1995;曾凡刚等,1998)。由MPI₁计算的成熟度参数Rc值,鄂尔多斯盆地山西组和太原组原油分别为0.90%和1.16%;西峰油田长8油层组原油介于0.83%~0.88%之间,长3油层组原油为0.89%;华池油田延安组原油介于0.91%~1.00%之间;而长7油层组烃源岩为0.88%。由甲基菲分馏系数(Methylphenanthrene distribution fraction, MPDF)(George et al., 1998)计算出的Ro值,山西组和太原组原油分别为1.00%和0.95%;西峰油田长8油层组原油介于0.82%~0.91%之间,长3油层组原油为0.93%;延安组原油介于0.89%~0.99%之间;而长7油层组烃源岩为0.91%,这与Rc对应关系较好。另外,其他甲基菲指数和二甲基菲比(Dimethylphenanthrene ratio, DPR)(George et al., 1998)皆反映了类似的规律(图3)。这说明西峰油田原油和烃源岩中的有机质来源基本相似,并且演化程度较高;

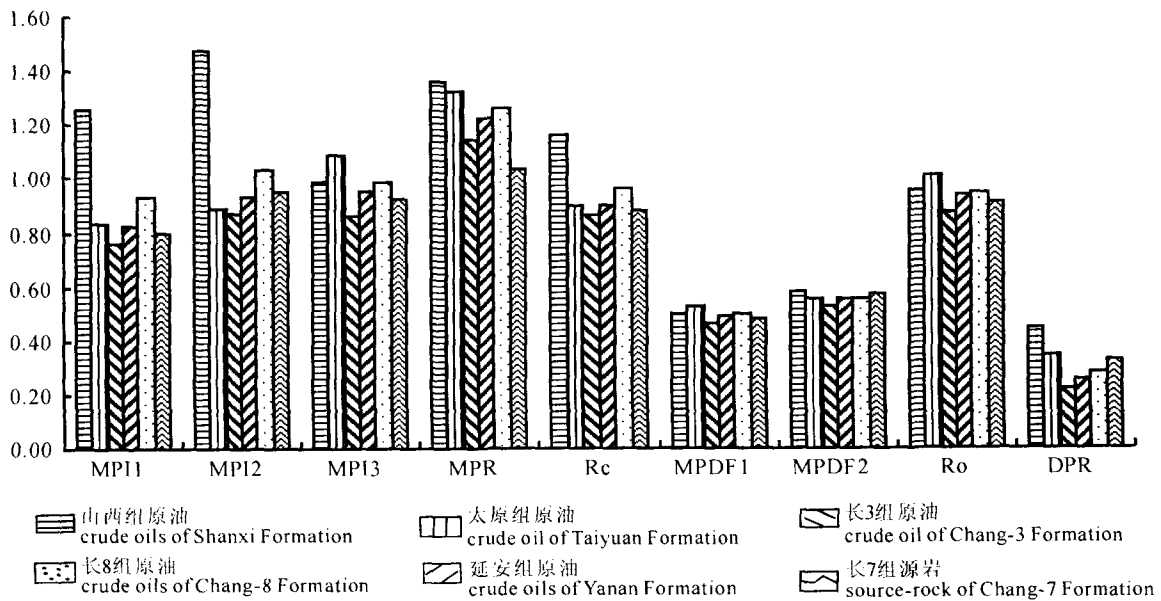


图3 鄂尔多斯盆地不同层位原油和烃源岩菲系列平均成熟度参数图

Fig. 3 Average maturity parameters of phenanthrene from the studied crude oil and source rocks beneath different strata in Ordos Basin
 注: $MPI_1 = 1.5(3-MP+2-MP)/(P+1-MP+9-MP)$; $MPI_2 = 3 * 2-MP/(1-MP+9-MP)$; $MPI_3 = (3-MP+2-MP)/(1-MP+9-MP)$; $MPR = 2-MP/1-MP$; $MPDF_1 = (3-MP+2-MP)/(3-MP+2-MP+9-MP+1-MP)$; $MPDF_2 = 2 * 2-MP/(3-MP+2-MP+9-MP+1-MP)$; $DPR = (2,6-DMP+3,5-DMP+2,7-DMP)/(1,3-DMP+3,9-DMP+3,10-DMP+2,9-DMP+2,10-DMP+1,6-DMP+2,5-DMP)$; $Rc = 0.6MPI_1 + 0.40$; $Ro = -0.166 + 2.242F_1$

鄂尔多斯盆地二叠系原油成熟度最高,西峰油田延长组和华池油田延安组原油成熟度较高。

2.4 “三芴”系列化合物

“三芴”系列可能来源于相同的先质,在弱氧化和弱还原的环境中以氧化作用为主,氧芴-二苯并呋喃(Dibenzofuran, DBF)含量可能较高;在正常还原环境中,芴系列可能较为丰富;在海相、盐湖相强还原环境中则可被还原成含硫芳烃,以硫芴-二苯并噻吩-(Dibenzothiophene, DBT)占优势(曾凡刚等, 1998; Huang et al., 2006)。除西峰油田长3油层组样品外,鄂尔多斯盆地原油三芴相对含量皆为 $F > DBT > DBF$ (图3)。华池油田延安组原油 DBT/DBF 介于 2.10 ~ 8.14 之间,样品点偏离氧芴,偏向硫芴和芴一端,与 Pr/Ph(0.98 ~ 1.16)所指示的弱还原环境意义一致(图2)。而西峰油田延长组原油 DBT/DBF 介于 0.92 ~ 1.59 之间,虽然比华池油田低,但同样与 Pr/Ph(1.02 ~ 1.34)所指示的意义一致(图2),反映原油在弱还原环境中形成。多种指标表明,延长组生油岩形成于水体较深的淡水湖相、非强还原的沉积环境(侯林慧等, 2007),其中下部长7生油层组,为湖盆发育全盛期生物,是西峰油田原油的主力油源岩,这也与本研究中长7油层组烃源岩所指示的还原环境(DBT/DBF = 4.10)相一致。

2.5 其他芳烃化合物

苯并荧蒽与苯并(e)芘虽然都是5个环的稠环芳烃,但苯并荧蒽有一个环是五元环,显然不如5个环都是六元环的苯并(e)芘稳定,随着成熟度增加,苯并荧蒽/苯并(e)芘值(B-Fl/B-Py)必然减小,因此该比值可作为有机质热演化程度的指标(陈致林等, 1997)。西峰油田长3油层组和长8油层组原油 B-Fl/B-Py 值分别为 0.32 和 0.22 ~ 0.42;山西组和太原组原油该值分别为 0.50 和 0.59;华池油田延安组原油该值为 0.37 ~ 0.63;长7油层组烃源岩该值为 0.56。该参数指示了鄂尔多斯盆地二叠系原油成熟度最高,西峰油田延长组和华池油田延安组原油成熟度较高,这与菲系列成熟度参数反映的规律相一致。

3 油源对比

通过上述资料可以看出,西峰油田长3油层组和长8油层组储层的原油芳烃地球化学特征极为相似,它们来自同一油源;但是,从原油母质性质和成熟度方面来看,它们都与二叠系原油的油源截然不同。这表明西峰油田原油来自中生界;二叠系原油来自成熟度较高的二叠系煤系地层。鄂尔多斯盆地中生界有两套生油岩,即延安组(J_1)和延长组

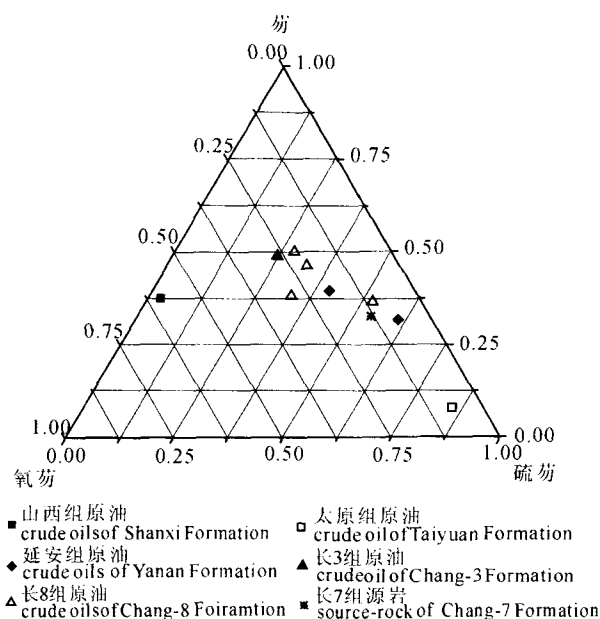


图4 鄂尔多斯盆地原油和烃源岩的芴、硫芴、氧芴三角图

Fig. 4 Ternary diagram of fluorene, dibenzothiophene and dibenzofuran of the studied crude oil and source rocks in Ordos Basin

(T_3)。延安组为湖沼环境下形成的生油岩,其可溶有机质碳同位素组成较重, $\delta^{13}C$ 值分布在 -23.9% ~ -27.1% 之间; C_{29} 甾烷含量较高;成熟度较低($Ro=0.53\% \sim 0.65\%$)(Wang et al., 1995)。这些主要地球化学特征与西峰油田原油的差别显著,反映了西峰油田原油不可能来自延安组生油岩。延长组生油岩形成于淡水湖泊环境,特别是延长组中部(长4+5段—长8段)生油岩形成于浅湖—半深湖环境,发育有暗色泥岩、碳质泥岩和油页岩生油系。该生油岩在西峰油田的有机碳含量较高,主要分布在 $0.6\% \sim 6.0\%$ 之间;有机质类型为混合型;有机质已成熟, Ro 值主要分布在 $0.70\% \sim 0.96\%$ 之间,从而延长组烃源岩应是西峰油田原油可能的油源岩(杨华等,2005;卢龙飞等,2006)。长7生油层组,为湖盆发育全盛期产物,生油性能明显好于其他层段,是西峰油田原油的主力油源岩。为了证明这一点,我们对西峰油田的长7生油岩样品进行了与原油相同的分析(图1~4),以便进行油源研究。上述资料表明,分别位于西峰油田中部西17井的长7油层组生油岩,其芳烃分布及组成特征与该油田原油的相似,两者生物标志化合物参数分布范围相近,而不同于太原组原油和山西组原油,反映了西峰油田原油与长7油层组生油岩具有亲缘关系。

4 结论

(1)样品中检测出了丰富的多环芳烃,包括蒽、苯并蒽、苯并芘、苯并荧蒽、屈、芘、苯并芘和菲等化合物;西峰油田原油1,2,5-/1,3,6-TMN值在 $0.21 \sim 0.59$ 之间,这些说明原油的母质除了菌藻类外,陆源高等植物做出了重要贡献。西峰油田原油三芴相对含量皆为 $F > DBT > DBF$,反映了原油形成于弱还原环境。

(2)西峰油田原油和烃源岩中的有机质来源基本相似, MPI_1 和 Ro 值、 R_c 对应关系较好,皆说明了鄂尔多斯盆地总体上二叠系原油成熟度最高,西峰油田延长组原油和华池油田延安组原油成熟度较高。另外,甲基菲指数、甲基菲系数和 $B-FI/B-Py$ 等参数皆反映了类似的规律。

(3)西峰油田长3油层组和长8油层组储层的原油芳烃地球化学特征极为相似,它们来自同一油源;西峰油田原油与长7油层组烃油岩具有亲缘关系。

参考文献

- 陈致林,李素娟,王忠. 1997. 低-中成熟演化阶段芳烃成熟度指标的研究[J]. 沉积学报,15(2):192~197.
- 段毅,吴保祥,张辉,郑朝阳,王传远. 2006. 鄂尔多斯盆地西峰油田原油地球化学特征及成因[J]. 地质学报,80(2):301~310.
- 付金华,罗安湘,喻建,毛明陆. 2004. 西峰油田成藏地质特征与勘探方向[J]. 石油学报,25(2):25~29.
- 侯林慧,彭平安,于赤灵,张文正,张辉. 2007. 鄂尔多斯盆地姬塬—西峰地区原油地球化学特征及油源分析[J]. 地球化学,36(5):497~506.
- 刘洛夫,王伟华,徐新德,毛东风. 1996. 塔里木盆地群5井原油芳烃地球化学研究[J]. 沉积学报,14(2):47~55.
- 卢龙飞,史基安,蔡进功,王金鹏,赵欣,王琪. 2006. 鄂尔多斯盆地西峰油田三叠系延长组浊流沉积及成因模式[J]. 地球学报,27(4):298~303.
- 孟仟祥,张松林,崔明中,李振西,王有孝,范璞. 1999. 不同沉积环境湖相低熟原油的芳烃分布特征[J]. 沉积学报,17(1):112~120.
- 沈玉林,郭英海,李壮福,孙粉锦. 2007. 鄂尔多斯盆地北部苏里格庙含油气区上古生界层序地层研究[J]. 地球学报,28(1):72~79.
- 杨华,张文正. 2005. 论鄂尔多斯盆地长7段优质油源岩在低渗透油气成藏富集中的主导作用:地质地球化学特征[J]. 地球化学,34(2):147~154.
- 杨俊杰. 2002. 鄂尔多斯盆地构造演化与油气分布规律[M]. 北京:石油工业出版社.
- 朱扬明. 1998. 生油岩五环芳烃的热演化及成熟度参数[J]. 地质地球化学,1:75~80.
- 曾凡刚,程克明. 1998. 华北地区下古生界海相烃源岩芳烃生物标志物地球化学特征——兼论饱和烃、芳烃生源组合特征[J]. 地质地球化学,26(3):33~39.

References

- ALEXANDER R, LARCHER A V, KAGI R I, PRICE P L. 1988. The use of plant-derived biomarker for correlation of oils with source rocks in the Cooper/Eromango basin systems, Australia [J]. *APEA*, 28: 310 ~ 323.
- BUDZINSKI H, CIRRIQUES P, CANNAN J, DEVILLERS J, DOMINE D, RADKE M, OUDINS J L. 1995. Alkylated phenanthrene distribution as maturity and origin indicators in crude oils and rock extracts[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59 (10): 2043 ~ 2056.
- CENG Fangang, CHENG Keming. 1998. Characteristics of aromatic of hydrocarbon biomarkers from lower palaeozoic marine carbonate rocks in north China [J]. *Geology-Geochemistry*, 26 (3): 33 ~ 3933 (in Chinese with English abstract).
- CHEN Zhilin, LI Sujuan, WANG Zhong. 1997. A Study on maturity indicators of some aromatics in low-midmature thermal evolution zones [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 15(2): 192 ~ 197 (in Chinese with English abstract).
- DUAN Yi, WU Baoxiang, ZHANG Hui, ZHENG Zhaoyang, WANG Chuanyuan. 2006. Geochemistry and genesis of crude oils of the Xifeng oilfield in the Ordos basin [J]. *Acta Geologica Sinica*, 80 (2): 301 ~ 310 (in Chinese with English abstract).
- DUAN Y, WANG C Y, ZHENG C Y, WU B X, ZHENG G D. 2008. Geochemical study of crude oils from Xifeng oilfield of Ordos basin, China [J]. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 31(4 ~ 6): 341 ~ 356.
- FU Jinhua, LUO Anxiang, YU Jian, MAO Minglu. 2004. Geological features of reservoir formation and exploration strategy of Xifeng Oilfield [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 25 (2): 25 ~ 29 (in Chinese with English abstract).
- HUANG Xianyu, JIAO Dan, LU Liqiang, HUANG Junhua, XIE Shucheng. 2006. Distribution and Geochemical Implication of Aromatic Hydrocarbons across the Meishan Permian-Triassic Boundary [J]. *Journal of China University of Geosciences*, 17(1): 49 ~ 54.
- GEORGE S C, LISK M, SUMMONS R E, QUEZADA R A. 1998. Constraining the oil charge history of the south Pepper oilfield from the analysis of oil-bearing fluid inclusions [J]. *Organic Geochemistry*, 29 (1 ~ 3): 631 ~ 648.
- HEPPENHEIMER H, STEFFENS K, PUTTMANN W, KALLKREUTH W. 1992. Comparison of resinite-related aromatic biomarker distribution in Cretaceous-Tertiary coals from Canada and Germany [J]. *Organic Geochemistry*, 18 (3): 273 ~ 287.
- HOU Linhui, PENG Pinan, YU Chilin, ZHANG Wenzheng, ZHANG Hui. 2007. Geochemical characteristics and oil-source analysis of crude oils in Jiyuan -Xifeng Oilfield, Ordos Basin [J]. *Geochimica*, 36(5): 497 ~ 506 (in Chinese with English abstract).
- LIU Luofu, WANG Weihua, XU Xinde, MAO Dongfeng. 1996. Study on aromatic hydrocarbons of crude oils from Quan 5 well in Tarim Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 14(2): 47 ~ 55 (in Chinese with English abstract).
- LU Longfei, SHI Jian, CAI Jingong, WANG Jinpeng, ZHAO Xin, WANG Qi. 2006. Triassic Turbidity Current Deposit and Genetic Model of Yanchang Formation of Xifeng Oilfield, Ordos Basin [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 27(4): 298 ~ 303.
- MENG Qianxiang, ZHANGT Songlin, CUI Mingzhong, LI Zhenxi, WANG Yongxiao, FAN Pu. 1999. Distribution features of aromatics in Lacustrine low mature crude oils from different environments [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 17(1): 112 ~ 120 (in Chinese with English abstract).
- RADKE M, WELTE D H, WILLSCH H. 1986. Maturity parameters based on aromatic hydrocarbon: influence of the organic matter type [J]. *Organic Geochemistry*, 10(1 ~ 3): 51 ~ 63.
- RADKE M, RULLKÖTTER J, VRIEND S P. 1994. Distribution of naphthalenes in crude oils from Java Sea: Source and maturation effects [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58(17): 3675 ~ 3689.
- SHEN Yulin, GUO Haiying, LI Zhuangfu, SUN Fenjin. 2007. Sequence Stratigraphy Study of the Upper Paleozoic of the Suligemiao Oil and Gas-bearing Area, North Ordos Basin [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 28(1): 72 ~ 79.
- WANG H D, ALLEN J, PHILP R P. 1995. An organic geochemical investigation of oils and source rocks from two Mesozoic formations of Shanganning basin, China [J]. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 11: 277 ~ 288.
- YANG Hua, ZHANG Wenzheng. 2005. Leading effect of the Seventh Member high-quality source rock of Yanchang Formation in Ordos Basin during the enrichment of low-penetrating oil-gas accumulation [J]. *Geology and geochemistry. Geochimica*, 34(2): 147 ~ 154 (in Chinese with English abstract).
- YANG Junjie. 2002. Tectonic evolution and oil-gas distribution in Ordos basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press (in Chinese with English abstract).
- ZHU Yangming. 1998. Thermal evolution and maturity parameters of Pentaclac aromatic hydrocarbons in source rocks [J]. *Geology-Geochemistry*, 1: 75 ~ 80 (in Chinese with English abstract).