

文章编号: 1001-6112(2007)06-0598-06

开鲁盆地陆西凹陷原油地球化学特征

周树青, 黄海平, 刘玉明

(中国地质大学 能源学院, 北京 100083)

摘要: 开鲁盆地陆西凹陷是辽河外围盆地中勘探程度最高、发现油藏最多的地区。通过原油样品的精细地球化学分析, 研究了陆西凹陷包 1 块和包 14 块原油的成熟度、生源输入和沉积环境特征。陆西凹陷包 1 块和包 14 块原油具有相似的地球化学特征: Pr/Ph 小于 0.6; 甾烷分布以 C₂₉ 甾烷为主; 三环萜明显小于五环萜, 三环萜/五环萜比值小于 0.15, 三环萜以 C₂₃ 为基峰, 五环萜以 C₃₀ 为基峰, Ts/Tm 在 0.7~1.0 左右, 含有一定量的 γ 蜡烷。但二者也有一定差异, 包 14 块成熟度略高; 正构烷烃分布包 1 块多以 C₂₀ 为基峰, 包 14 块多以 C₂₁ 为基峰; 包 1 块 C₁₅₋₂₁/C₂₂₋₂₈ 比值比包 14 块高; 包 1 块具有较高的 γ 蜡烷指数, 指示沉积时较强的盐度环境; 包 1 块藿烷/甾烷比值较低, 可能反映藻类比较发育和高盐度对细菌的抑制作用。

关键词: 生物标志物; 原油; 地球化学特征; 生源输入; 沉积环境; 陆西凹陷; 开鲁盆地

中图分类号: TE133.1

文献标识码: A

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE CRUDE OIL IN THE LUXI SAG, THE KAILU BASIN

Zhou Shuqing, Huang Haiping, Liu Yuming

(School of Energy Resources, Chinese University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: The Luxi Sag is the area which has the highest exploration degree and the most oil and gas discoveries among the peripheral basins of Liaohe Basin. The crude oil maturity, the organic matter input and the depositional environment of Bao 1 Block and Bao 14 Block in the Luxi Sag have been studied based on the precise geochemical analyses of the crude oil samples. Many similar geochemical characteristics between the crude oils from Bao 1 Block and Bao 14 Block have been found, including: the Pr/Ph ratio is less than 0.6; the regular sterane distribution is dominated by C₂₉-steranes; the tricyclic/pentacyclic terpane ratio is less than 0.15, with the content of tricyclic terpane being obviously less than pentacyclic terpane; the base peak of the tricyclic terpane is C₂₃ and that of the pentacyclic terpanes is C₃₀, with the Ts/Tm ratio ranging from 0.7 to 1.0 and certain amount of gamacerene. But some differences between the two blocks also exist. Bao 14 Block has a slightly higher maturity, the base peak of *n*-alkanes in Bao 1 Block is mostly characterized by C₂₀, and that in Bao 14 Block is mostly characterized by C₂₁; the ratio of C₁₅₋₂₁/C₂₂₋₂₈ in Bao 1 Block is higher than that in Bao 14 Block; and Bao 1 Block has higher gamacerene index, indicating that Bao 1 Block was deposited under a higher salinity environment. The hopane/sterane ratio in Bao 1 Block is lower, suggesting that the algae were rather developed and the higher salinity environment may suppress the bacteria.

Key words: biomarker; crude oil; geochemical characteristics; organic matter input; depositional environment; the Luxi Sag; the Kailu Basin

1 概况

陆西凹陷是开鲁盆地大型负向构造之一, 是在海西褶皱基底上发育起来的中、新生代断拗型凹

陷, 面积 760 km², 是目前辽河油田外围盆地中勘探程度最高、发现油藏最多的地区。陆西凹陷由包日温都断裂背斜构造带、马家铺高垒带、马北斜坡带、五十家子庙洼陷和小井子洼陷 5 个二级构造单

收稿日期: 2007-01-22; 修订日期: 2007-10-29。

作者简介: 周树青(1969—), 女(汉族), 河南浚县人, 博士研究生, 主要从事石油地质、成藏地球化学研究。

基金项目: 教育部科学技术研究重点项目(106112)。

元组成,形成了南断北超的构造格局。下白垩统地层自下而上为义县组、九佛堂组、沙海组和阜新组,其中九佛堂组是主要的成熟烃源岩和储集层,也是本区主要的产层。在包日温都断裂背斜带,形成了包 1、包 14、包 20、包 22 块等多个油气藏;在马家铺高垒带形成了庙 3、庙 5 和庙 7 块油藏。在好 1 井、好 2 井、好 6 井和好 10 井都见到了工业油流。本文主要研究包 1 块和包 14 块原油的地球化学特征,并初步推断其沉积环境和生源输入。

2 原油主要化合物特征

2.1 正构烷烃色谱特征

陆西凹陷包 1 块多以 C_{20} 为基峰, C_{21}^-/C_{22}^+ 为 1.33~1.41, C_{15-21}/C_{22-28} 为 1.25~1.36, Pr/Ph 为 0.55~0.57, Pr/ nC_{17} 和 Ph/ nC_{18} 分别为 0.32~

0.39 和 0.56~0.69。包 14 块以 C_{21} 为基峰, C_{21}^-/C_{22}^+ 为 0.90~1.09, C_{15-21}/C_{22-28} 为 0.98~1.13, Pr/Ph 为 0.48~0.55, Pr/ nC_{17} 和 Ph/ nC_{18} 分别为 0.32~0.39 和 0.56~0.77(表 1,图 1)。

2.2 甾类生物标志物特征

包 1 块和包 14 块甾烷分布中, C_{29} 规则甾烷含量最高,绝对含量在 2 190~5 609 $\mu\text{g/g}$ 之间,相对含量在 50%左右;其次为 C_{28} 规则甾烷,绝对含量在 1 033~2 273 $\mu\text{g/g}$ 之间,相对含量在 20%左右;再次为 C_{27} 规则甾烷,绝对含量在 778~1 762 $\mu\text{g/g}$ 之间,相对含量在 14%~20%之间;孕甾烷和升孕甾烷含量较低,二者绝对含量之和在 137~207 $\mu\text{g/g}$ 之间,相对含量在 1.75%~2.89%之间。重排甾烷含量较低,包 1 块 C_{27} 重排/规则甾烷比值为 0.23~0.25,包 14 块为 0.15~0.25(表 1,图 2)。

表 1 开鲁盆地陆西凹陷原油的沉积环境与生源输入参数
Table 1 Parameters for depositional environment and organic matter input of the crude oil in the Luxi Sag, the Kailu Basin

区块	井号	Pr/Ph	$C_{29} \alpha\beta / C_{30} \alpha\beta$	C_{35} / C_{34} 升藿烷	γ 蜡烷/ C_{30} 藿烷	藿烷/ 甾烷	C_{27} 甾烷, %	C_{28} 甾烷, %	C_{29} 甾烷, %
包 1 块	包 25-27	0.56	0.42	0.68	0.67	3.51	16.75	27.37	55.88
	包 26-28	0.56	0.40	0.71	0.62	3.77	17.48	27.04	55.48
	包 27-30	0.57	0.42	0.88	0.65	3.46	19.47	26.77	53.76
	包 29-30	0.55	0.42	0.77	0.58	3.99	18.00	25.32	56.67
	包 30-32	0.57	0.39	1.09	0.58	3.82	19.43	25.89	54.68
	包 34-32	0.56	0.42	0.77	0.58	3.77	18.57	27.47	53.96
包 14 块	包 7-5	0.51	0.42	0.73	0.38	6.70	19.89	23.21	56.90
	包 8-6	0.53	0.44	0.79	0.37	6.35	20.89	21.85	57.25
	包 9-7	0.55	0.47	0.83	0.34	6.44	20.85	22.16	57.00
	包 10-8	0.49	0.46	0.88	0.45	5.08	19.52	24.82	55.66
	包 10-11	0.48	0.45	0.60	0.46	5.19	18.27	23.57	58.16
	包 13-11	0.52	0.45	0.83	0.37	5.88	20.64	22.04	57.32
	包 15-13	0.50	0.45	1.00	0.49	5.49	17.09	23.76	59.15
	包 11-01	0.52	0.45	0.82	0.37	6.03	21.07	23.26	55.67
	包 13-03	0.53	0.47	0.82	0.33	5.89	20.79	23.60	55.62
	包 15-05	0.53	0.48	0.80	0.35	6.13	21.17	22.86	55.98
包 17-07	0.55	0.46	0.87	0.32	6.21	20.91	21.70	57.39	
包 20-010	0.55	0.46	0.81	0.35	6.45	18.08	23.00	58.92	

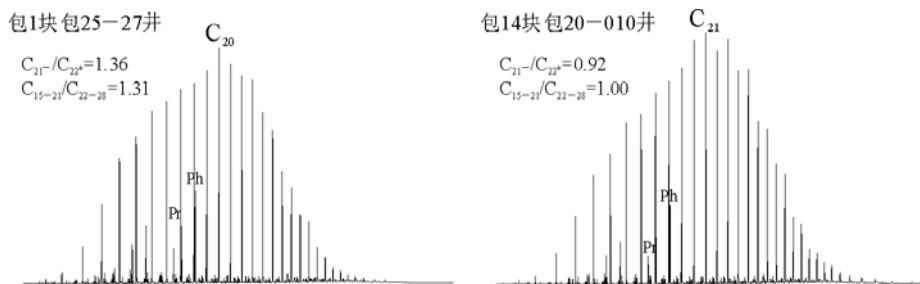


图 1 开鲁盆地陆西凹陷原油的正构烷烃分布

Fig. 1 Normal alkane distribution of the crude oil in the Luxi Sag, the Kailu Basin

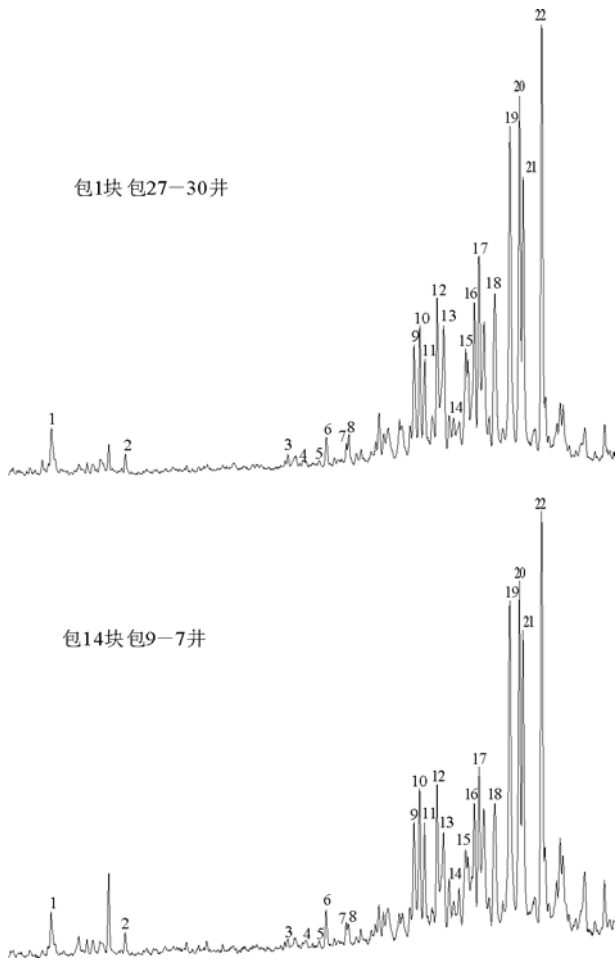


图2 开鲁盆地陆西凹陷原油的甾烷质量色谱

1. C₂₁ 孕甾烷; 2. C₂₂ 孕甾烷; 3. C₂₇ βa20 S; 4. C₂₇ βa20 R;
5. C₂₇ αβ20 S; 6. C₂₇ αβ20 R; 7. C₂₈ βa20 S; 8. C₂₈ βa20 R;
9. C₂₈ αβ20 S+C₂₇ aaa20 S; 10. C₂₉ βa20 S+C₂₇ αββ20 R;
11. C₂₈ αβ20 R+C₂₇ αββ20 S; 12. C₂₇ aaa20 R; 13. C₂₉ βa20 R;
14. C₂₉ αβ20 S; 15. C₂₈ aaa20 S; 16. C₂₉ αβ20 R+C₂₈ αββ20 R;
17. C₂₈ αββ20 S; 18. C₂₈ aaa20 R; 19. C₂₉ aaa20 S;
20. C₂₉ αββ20 R; 21. C₂₉ αββ20 S; 22. C₂₉ aaa20 R

Fig. 2 Mass chromatograms of the sterane in the crude oil from the Luxi Sag, the Kailu Basin

2.3 萜类生物标志物特征

在萜烷分布中,三环萜远小于五环萜,包1块三环萜/五环萜比值为0.10~0.12,包14块为0.06~0.07。三环萜中,C₂₃三环萜含量最高,一般在19%~22%之间;其次为C₂₁,C₂₄,C₂₀,C₁₉三环萜,C₂₄三环萜含量明显较高,含量大于C₂₀,C₁₉三环萜,与C₂₁三环萜含量接近,一般在13%~15%之间。(C₂₃+C₂₄)/(C₂₀+C₂₁)可以反映陆源有机质的贡献,包1块该比值为1.20~1.31,包14块该比值为1.24~1.52,反映有机质的主要来源为低等水生生物。C₂₅三环萜含量也比较高,一般在10%~15%之间。2个C₂₆三环萜含量较低,一般小于10%;C₂₂含量最低,一般不大于5%。四环萜含量与2个

C₂₆三环萜接近,但低于这2个三环萜。五环萜中,C₃₀αβ藿烷含量最高,一般在30%~35%之间;其次为C₂₉αβ藿烷和γ蜡烷,含量一般在10%~15%之间,包1块γ蜡烷含量可高达20%(表1,图3)。

3 原油成熟度特征

表2概括了研究区测量的部分分子成熟度参数。研究表明,C₃₁22S/(22S+22R)升藿烷指数的平衡值为0.57~0.62^[1],该值在包1块和包14块分别为0.61~0.62和0.59~0.61,基本达到平衡点,属成熟原油,但升藿烷异构化参数不能有效区分原油间的成熟度差异。C₂₉甾烷的20S/(20S+20R)比值的最大平衡值为0.50~0.55,ββ/(αα+ββ)比值的最大平衡值为0.7^[2],包1块两个比值分

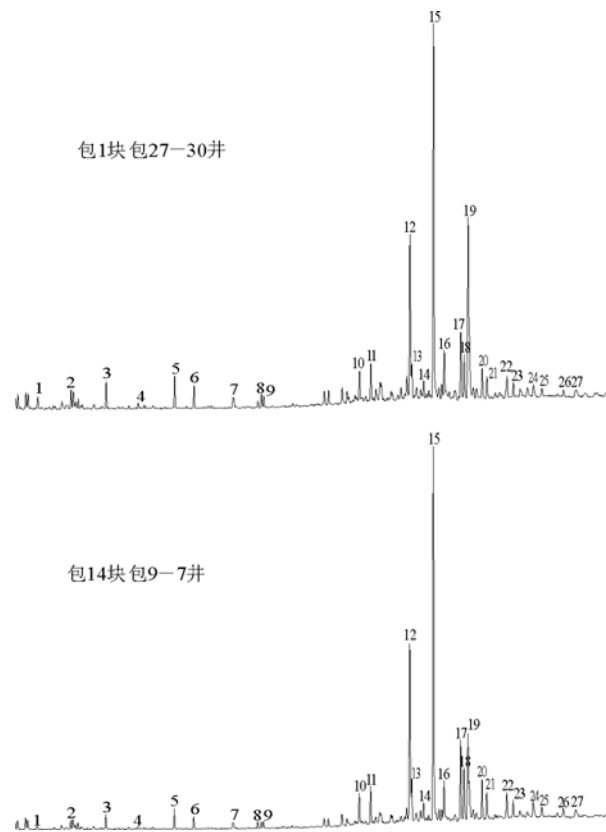


图3 开鲁盆地陆西凹陷原油的萜烷质量色谱

1. C₁₉三环萜; 2. C₂₀三环萜; 3. C₂₁三环萜; 4. C₂₂三环萜;
5. C₂₃三环萜; 6. C₂₄三环萜; 7. C₂₅三环萜;
8. C₂₄四环萜; 9. C₂₆三环萜; 10. 三降藿烷(Ts);
11. 三降藿烷(Tm); 12. C₂₉αβ降藿烷; 13. 降新藿烷(C₂₉Ts);
14. C₂₉βa降藿烷; 15. C₃₀αβ藿烷; 16. C₃₀βa藿烷;
17. C₃₁升藿烷(22S); 18. C₃₁升藿烷(22R); 19. C₃₀γ蜡烷;
20. C₃₂二升藿烷(22S); 21. C₃₂二升藿烷(22R);
22. C₃₃三升藿烷(22S); 23. C₃₃三升藿烷(22R);
24. C₃₄四升藿烷(22S); 25. C₃₄四升藿烷(22R);
26. C₃₅五升藿烷(22S); 27. C₃₅五升藿烷(22R)

Fig. 3 Mass chromatograms of the terpane in the crude oil from the Luxi Sag, the Kailu Basin

表2 开鲁盆地陆西凹陷原油成熟度参数

Table 2 Maturity parameters of the crude oil in the Luxi Sag, the Kailu Basin

区块	井号	甾烷			萜烷		TA/ (TA+MA)
		$C_{29} \beta\beta / (\alpha\alpha + \beta\beta)$	$C_{29} 20S / (S+R)$	$C_{31} 22S / (S+R)$	T_s / T_m	$C_{29} T_s / C_{29} \alpha\beta$	
包1块	包25-27	0.42	0.45	0.62	0.69	0.16	0.65
	包26-28	0.42	0.46	0.61	0.80	0.20	0.70
	包27-30	0.43	0.48	0.61	0.84	0.18	0.68
	包29-30	0.41	0.47	0.61	0.87	0.18	0.70
	包30-32	0.43	0.47	0.61	0.85	0.23	0.68
	包34-32	0.41	0.48	0.61	0.99	0.19	0.69
包14块	包7-5	0.42	0.50	0.60	1.03	0.25	0.71
	包8-6	0.41	0.49	0.60	0.94	0.22	0.69
	包9-7	0.42	0.49	0.60	0.95	0.22	0.68
	包10-8	0.39	0.48	0.59	0.67	0.19	0.70
	包10-11	0.37	0.48	0.60	0.69	0.19	0.70
	包13-11	0.41	0.49	0.59	0.80	0.22	0.72
	包15-13	0.38	0.47	0.61	0.82	0.24	0.72
	包11-01	0.43	0.51	0.59	0.95	0.23	0.72
	包13-03	0.42	0.51	0.59	0.82	0.21	0.71
	包15-05	0.41	0.49	0.59	0.84	0.21	0.71
包17-07	0.41	0.50	0.59	0.91	0.23	0.73	
包20-010	0.41	0.49	0.59	0.89	0.23	0.70	

别为0.45~0.48和0.41~0.42,包14块两个比值分别为0.47~0.51和0.38~0.43,表明陆西凹陷具有较高的成熟度。相比之下,包14块成熟度更高。

$C_{27} 18\alpha(H) - 22, 29, 30 -$ 三降藿烷(T_s)与 $C_{27} 17\alpha(H) - 22, 29, 30 -$ 三降藿烷(T_m)相对丰度可用于指示热成熟度^[3]。陆西凹陷包1块的 T_s/T_m 值在0.69~0.99之间,包14块2条剖面 T_s/T_m 值较高(0.67~1.03),靠近洼陷中心的包7-5井具有最高的 T_s/T_m 值(1.03)。这些油中较高的 T_s 含量指示了较高的成熟度。

$18\alpha(H) - 30 -$ 降新藿烷($C_{29} T_s$)与 $C_{29} \alpha\beta$ 藿烷的比值也是一个常用的成熟度参数^[4]。这个比值表现了与 T_s/T_m 相似的变化方式,随成熟度增加而增加。陆西凹陷包1块该比值为0.16~0.23,包14块2条剖面该比值均较高(0.19~0.25),靠近洼陷中心的包7-5井具有最高的值(0.25),反映相似的成熟度变化。

三芳甾(TA)和单芳甾(MA)的相对丰度是一个最普遍使用的成熟度参数^[5],随源岩演化程度增高,甾烷芳构化程度增强,单芳甾逐渐向三芳甾转化,TA/(TA+MA)比值随成熟度增加而增加。陆西凹陷包1块TA/(TA+MA)比值变化范围为0.65~0.70,包14块该比值变化范围为0.68~0.73,反映包14块接受了更成熟石油的充注。

4 沉积环境

生物标志物从生物有机体继承了碳骨架结构,是建立原油和沉积环境间关系的有用工具^[2,6]。基于生物标志物资料的有机质沉积环境条件重建,是目前有机地化领域最热门的研究课题。石油和沥青中特定有机化合物的分子组成和浓度可在以下方面发挥作用:1)重建盆地的氧化还原条件^[7~9];2)确定特定有机质沉积的盐度水平^[10~12];3)确定沉积有机质的生物来源^[13~15]和生物降解程度^[6,16]。表1列出了反映陆西凹陷包14块和包1块源岩沉积环境和生源输入的一些参数。

姥鲨烷对植烷的相对量(表示为Pr/Ph比值)曾经被用作源岩沉积环境指标。根据Didyk等^[7]和ten Haven等^[17]的研究,Pr/Ph低值(小于2)指示海相、淡水和咸水还原条件下的大气水沉积环境,中间值(2~4)指示河流三角洲和滨岸的沼泽环境,而高值(可达10)则与泥炭沉积环境有关(氧化条件)。 C_{35}/C_{34} 升藿烷比值(C_{35} 升藿烷指数)也是良好的沉积环境标志^[6]。高 C_{35} 升藿烷浓度通常指示沉积在缺氧和高盐度条件下的有机质^[18]。 γ 蜡烷——一种特殊的 C_{30} 三萜的出现对古环境解释很重要,这种化合物来自原生动物中的四膜虫醇,一般指示原油和沥青来源于高盐度沉积环境的源岩^[18~20],丰富的 γ 蜡烷被作为源岩沉积环境中高

盐度和水体分层的诊断性指示^[21]。γ蜡烷也被用作碳酸盐岩或蒸发岩的指标^[22,23]。这些参数均为沉积环境参数。

陆西凹陷包 14 块的 Pr/Ph 比值均介于 0.48~0.55 之间;包 1 块样品的 Pr/Ph 比值均介于 0.56~0.57 之间;包 1 块 C₃₅ 升藿烷指数为 0.68~1.09,包 14 块 C₃₅ 升藿烷指数为 0.60~1.0;包 1 块原油 γ蜡烷/C₃₀17α,21β藿烷比值为 0.58~0.67;包 14 块原油 γ蜡烷/C₃₀17α,21β藿烷比值为 0.34~0.49。包 1 块和包 14 块具有相似的氧化还原条件,但包 1 块较高的 C₃₅ 升藿烷指数和 γ蜡烷指数明显指示了较高的盐度环境(表 1,图 4)。

5 生源输入

5.1 藿烷/甾烷比值

藿烷和甾烷浓度的相对比率反映了不同沉积环境有机质化学特征的差异。藿烷/甾烷比值常常用来判别原核和真核生物的相对输入^[6]。带有藿烷骨架的萜类主要出现在原始细菌有机体和少量的高等植物中,升藿烷(假同系物:C₃₁—C₃₅)直接来源于许多原核生物细胞膜中的特殊细菌藿烷多醇(例如细菌藿烷四醇),藿烷和降藿烷(假同系物:C₃₀和更低)可能来源于包含 30 个碳原子的前驱物^[6,24,25]。相反,甾烷出现在与真核生物有关的沉积有机质中,甾醇^[26]是甾烷的前驱物,广泛出现在现代微藻的细胞膜中,四环甾醇结构提高了真核有机质细胞膜的刚度和强度^[6]。

藿烷由 C₂₇到 C₃₅假同系物组成(包括 22S 和 22R 同系物),甾烷由 C₂₇,C₂₈,C₂₉(20S+20R)规则甾烷同系物组成。陆西凹陷包 1 块藿烷/甾烷比值为 3.46~3.99,包 14 块藿烷/甾烷比值为 5.08~6.70,反映淡水环境有利于细菌繁盛(图 5)。

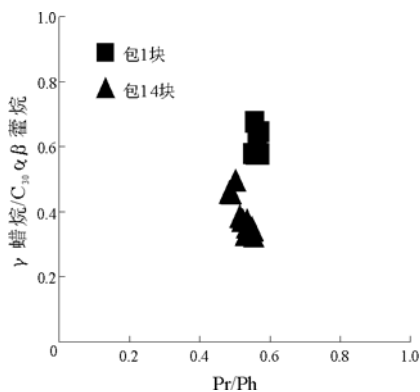


图 4 开鲁盆地陆西凹陷沉积环境特征
Fig. 4 Depositional environment characteristics of the Luxi Sag, the Kailu Basin

5.2 C₂₇—C₂₈—C₂₉甾烷三角图

通常认为,C₂₇—C₂₈—C₂₉甾烷的相对含量可以指示不同的源岩,Huang 和 Meinschein^[27]为了建立甾烷组成与沉积环境类型的相关性,提出了 C₂₇—C₂₈—C₂₉甾烷相对含量三角图。在早期出版物中,一般假定 C₂₇甾烷占优势的原油和岩石抽提物表示藻类或海相输入,而 C₂₉甾烷表示高等植物的出现或陆源输入。在最近二、三十年中,在原油和岩石抽提物的甾烷分布解释方面取得了许多重要进展。现已明确,C₂₉甾烷出现并不一定意味着高等植物的输入,因为 C₂₉甾醇也可有藻类来源^[6,28]。陆西凹陷较高的 C₂₉甾烷含量可能反映了更多的湖相藻类输入(图 6)。

6 结论

陆西凹陷包 1 块和包 14 块原油具有以下相似的地球化学特征:Pr/Ph 小于 0.6;甾烷分布以 C₂₉甾烷为主;三环萜明显小于五环萜,三环萜/五

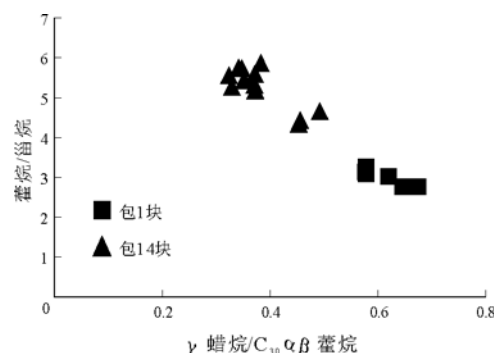


图 5 开鲁盆地陆西凹陷有机质输入特征
Fig. 5 Characteristics of the organic matter input in the Luxi Sag, the Kailu Basin

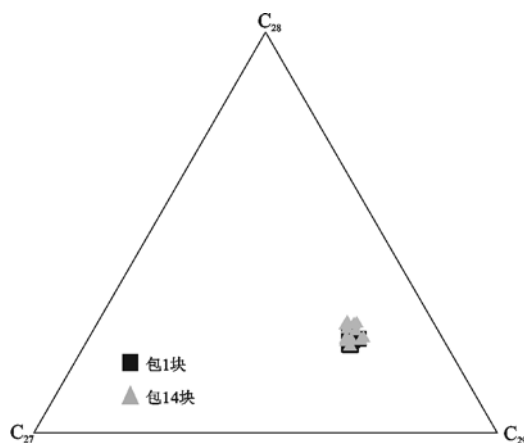


图 6 开鲁盆地陆西凹陷原油甾烷分布三角图
Fig. 6 Triangular diagram showing the relative abundances of C₂₇—, C₂₈— and C₂₉—regular sterane in the crude oil from the Luxi Sag, the Kailu Basin

环萜比值小于 0.15,三环萜以 C_{23} 为基峰,五环萜以 C_{30} 为基峰, T_s/T_m 在 0.7~1.0 左右,含有一定量的 γ 蜡烷。但二者也有一定差异,包 14 块成熟度略高;正构烷烃分布包 1 块多以 C_{20} 为基峰,包 14 块多以 C_{21} 为基峰,包 1 块 C_{15-21}/C_{22-28} 比值比包 14 块高;包 1 块具有较高的 γ 蜡烷含量和较低的藿烷/甾烷比值。较高的 γ 蜡烷含量指示沉积时较高的盐度环境,而较低的藿烷/甾烷比值可能反映高盐度对细菌的抑制作用。

参考文献:

- Seifert W K, Moldowan J M. Use of biological markers in petroleum exploration[A]. In: Johns R B, ed. *Methods in Geochemistry and Geophysics, Biological Markers in Sedimentary Record* 24[C]. Amsterdam: Elsevier, 1986. 261~290
- Mackenzie A S. Application of biological markers in petroleum geochemistry[A]. In: Brooks J, Welte D, eds. *Advances in Petroleum Geochemistry I* [C]. London: Academic Press, 1984. 115~214
- Seifert W K, Moldowan J M. Paleoreconstruction by biological markers[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1981, 45: 783~794
- Moldowan J M, Fago F J, Carlson R M K, et al. Rearranged hopanes in sediments and petroleum[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1991, 55: 3333~3353
- Mackenzie A S, Hoffmann C F, Maxwell J R. Molecular parameters of maturation in the Toarcian shales, Paris Basin, France III. Changes in aromatic steroid hydrocarbons [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1981, 45: 1345~1355
- Peters K E, Moldowan J. M. The biomarker guide: interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments[M]. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1993. 1~363
- Didyk B M, Simoneit B R T, Brassell S C, et al. Organic geochemical indicators of palaeoenvironmental conditions of sedimentation[J]. *Nature*, 1978, 272: 216~222
- Peters K E, Moldowan J M, Schoell M, et al. Petroleum isotopic and biomarker composition related to source rock organic matter and depositional environment[J]. *Organic Geochemistry*, 1986, 10: 17~27
- Hughes W B, Holba A G, Dzou L I P. The ratios of dibenzothiophene to phenanthrene and pristane to phytane as indicators of depositional environment and lithology of petroleum source rocks[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1995, 59: 3581~3598
- ten Haven H L, de Leeuw J W, Sinninghe Damsté J S, et al. Application of biological markers in the recognition of palaeohypersaline environments[A]. In: Kdts K, Fleet A J, Talbot M, eds. *Lacustrine Petroleum Source-rocks*, Geological Society Special Publication 40 [C]. London: Blackwell, 1988. 123~130
- Volkman J K. Biological marker compounds as indicators of the depositional environments of petroleum source-rocks[A]. In: Kdts K, Fleet A J, Talbot M, eds. *Lacustrine Petroleum Source-rocks*, Geological Society Special Publication 40 [C]. London: Blackwell, 1988. 103~121
- Volkman J K, Barrett S M, Blackburn S I, et al. Microalgal biomarkers: A review of recent research developments[J]. *Organic Geochemistry*, 1998, 29: 1163~1179
- Philp R P, Gilbert T D. Biomarker distribution in oils predominantly derived from terrigenous source material[J]. *Organic Geochemistry*, 1986, 10: 73~84
- Mello M R, Telnaes N, Gaglianone P C, et al. Organic geochemical characterization of depositional paleoenvironments in Brazilian marginal basins[J]. *Organic Geochemistry*, 1988, 13: 31~46
- Moldowan J M, Seifert W K, Gallegos E J. Relationship between petroleum composition and depositional environment of petroleum source-rocks[J]. *AAPG Bulletin*, 1985, 69: 1255~1268
- Connan J. Biodegradation of crude oils in reservoirs[A]. In: Brooks J, Welte D, eds. *Advances in Petroleum Geochemistry I* [C]. London: Academic Press, 1984. 299~335
- ten Haven H L, de Leeuw J W, Rullkötter J, et al. Restricted utility of the pristane/phytane ratio as a palaeoenvironmental indicator[J]. *Nature*, 1987, 330: 641~643
- Dahl J E P, Moldowan J M, Teerman S C, et al. Source-rock quality determination from oil biomarkers I. A new geochemical technique [J]. *AAPG Bulletin*, 1994, 78: 1507~1526
- Moldowan J M, Lee C Y, Sundararaman P, et al. Source correlation and maturity assessment of select oils and rocks from the Central Adriatic basin (Italy and Yugoslavia) [A]. In: Moldowan J M, Albrecht P, Philp R P, eds. *Biological Markers in Sediments and Petroleum* [C]. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1992. 370~401
- Peters K E, Moldowan J M, McCaffrey M A, et al. Selective biodegradation of extended hopanes to 25-norhopanes in petroleum reservoirs; Insights from molecular mechanics[J]. *Organic Geochemistry*, 1996, 24: 765~783
- Damsté J S, Kenig F, Koopmans M P, et al. Evidence of gammacerane as an indicator of water column stratification [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1995, 59: 1895~1900
- Mello M R, Telnaes N, Gaglianone P C, et al. Organic geochemical characterization of depositional paleoenvironments in Brazilian marginal basins[J]. *Organic Geochemistry*, 1988, 13: 31~46
- Peters K E, Moldowan J M. Effects of source, thermal maturity and biodegradation on the distribution and isomerization of homohopanes in petroleum[J]. *Organic Geochemistry*, 1991, 17: 47~61
- Rohmer M, Bissert P, Neunlist S. The hopanoids, prokaryotic triterpenoids and precursors of ubiquitous molecular fossils[A]. In: Moldowan J M, Albrecht P, Philp R P, eds. *Biological Markers in Sediments and Petroleum* [C]. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1992. 1~17

进入二叠纪以后,四川地块与龙门山北段连为一体,再次为海洋所覆盖。中三叠世末进入印支运动旋回期后,因地壳从张裂活动转变为压扭活动,盆地开始收缩,变成陆相沉积盆地。早印支旋回的抬升运动,天井山古隆起范围扩大,形成江油—广元隆起,而古隆起带的隆起期,正是寒武系烃源岩生烃高峰期,生成的油气沿断裂面进入江油—广元隆起的三叠—二叠系储层的储集空间内,成为继天井山古油藏后继续扩大的古油藏。

印支期既是寒武系烃源岩生成的油气大量运移、聚集的高峰期,同时也是油气被破坏和生物降解的高峰期。印支晚幕,龙门山山前带内的油气多次运移、聚集、破坏、生物降解。喜山运动使龙门山系全面褶皱回返,构造分析表明,自白田坝组以下,有一组印支期断裂向地腹深处延伸至海拔-4 000 m 以下,成为深部古油藏与浅部侏罗系之间的连接通道。

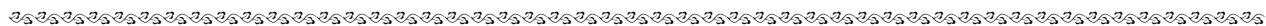
3 结论

龙门山北段山前带处于推覆体构造带的断层隐伏前锋构造带,已发现了中坝、河湾场气田和较多的油气显示,无疑是最有利的勘探区带。根据油砂岩中原油族组成碳同位素和裂解产物轻烃及生物标志化合物分布特征,认为侏罗系油砂岩中原油是寒武系泥质烃源岩在生油高峰期生成的原油,在加里东运动和印支运动期形成古油藏,并经历了不同程度的生物降解,喜山期再次运移、分配进入侏罗系储层中。高角度断裂成为深部古油藏与浅部侏罗系之间油气运移的通道;油砂岩良好的储集条件,为油气的聚集提供了储集空间;油气运移、聚集

时间与古隆起的形成及构造多期次活动时期相匹配,是形成侏罗系油砂岩独特的成藏模式。

参考文献:

- 1 宋文海. 论龙门山北段推覆构造及其油气前景[J]. 天然气工业,1989,19(3):2~9
- 2 何 鲤,刘莉萍,罗 潇等. 川西龙门山推覆构造特征及有利油气勘探区块预测[J]. 石油实验地质,2007,29(3):247~252
- 3 王兰生,韩克猷,谢邦华等. 龙门山推覆构造带北段油气田形成条件探讨[J]. 天然气工业,2005,25(S1):1~5
- 4 张 林,魏国齐. 四川盆地震旦系—下古生界沥青产烃潜力及分布特征[J]. 石油实验地质,2005,27(3):276~280
- 5 徐世琦,曾 庆,唐大海等. 江油厚坝油砂岩成藏条件分析[J]. 天然气勘探与开发,2005, 28(3):1~4
- 6 刘云生,郭战峰,梁西文等. 中上扬子地区晚三叠世—侏罗纪砂岩构造意义及盆地耦合关系[J]. 石油实验地质,2006,28(3): 201~205
- 7 胡晓强,陈洪德. 川西前陆盆地侏罗系三角洲沉积体系与沉积模式[J]. 石油实验地质,2005,27(3):226~231
- 8 Stahl W J. Compositional changes and ¹³C/¹²C fractionations during the degradation of hydrocarbons by bacteria [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta,1980,44:1903~1907
- 9 Leytaeuser D A. Generation and migration of C₂—C₇ light hydrocarbons in sedimentary basin[J]. Org Geochem. ,1979 ,1:119~124
- 10 戴金星,裴锡古,戚厚发. 中国天然气地质学(卷一)[M]. 北京:石油工业出版社,1992. 75~76
- 11 Thompson K F M. Light hydrocarbons in subsurface sediments[J]. Geochim et Cosmochim Acta, 1979, 43:657~672
- 12 Thompson K F M. Classification and thermal history of petroleum based on light hydrocarbons[J]. Geochim et Cosmochim Acta, 1983, 47:307~316
- 13 谢邦华,王兰生,张 鉴等. 龙门山北段烃源岩纵向分布及地化特征[J]. 天然气工业,2003, 23(5):21~23
- 14 陈昭国. 四川盆地川西坳陷深盆地气探讨[J]. 石油实验地质, 2005,27(1):32~38



(上接第 603 页)

- 25 Farrimond P, Fox P A, Innes H E, et al. Bacterial sources of hopanoids in recent sediments: improving our understanding of ancient hopane biomarkers [J]. Ancient Biomolecules, 1998, 2: 147~166
- 26 Volkman J K, Barrett S M, Dunstan G A, et al. Sterol biomarkers for microalgae from the green algal class prasino-phyceae[J]. Organic Geochemistry, 1994, 21: 1211~1218
- 27 Huang Y, Meinschein W G. Sterols as ecological indicators [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1979, 43: 739~745
- 28 Obermajer M, Fowler M G, Snowdon L R. Depositional environment and oil generation in Ordovician source rocks from southwestern Ontario, Canada: Organic geochemical and petrological approach [J]. AAPG Bulletin, 1999, 83: 1426~1453