

马岭油田南部原油地球化学特征及其成藏模式

李 群^{1,2}, 肖晓光^{1,2}, 刘军峰³, 侯林惠^{1,2}

- (1. 中南大学 有色金属成矿预测教育部重点实验室, 长沙 410083;
2. 中南大学 地球科学与信息物理学院, 长沙 410083;
3. 中国石油长庆油田分公司 采油二厂, 庆城 745100)

摘要: 马岭油田位于鄂尔多斯盆地陕北斜坡带的西南部, 是鄂尔多斯盆地发现最早的油田之一。通过对鄂尔多斯盆地马岭油田南部原油进行系统的 GC 和 GC/MS 分析, 揭示原油的生物标志化合物组成特征及其来源, 建立油藏成藏模式。结果显示: 所分析的原油属于同一成因类型, 原油有机母质为混合型, 高等植物和水生生物为原油的形成作出了重要贡献; 原油形成于弱还原和淡水-微咸水环境; 原油成熟度高, 主要是生油高峰期形成的石油; 原油来自长 7 烃源岩, 在延安组和延长组形成下生上储型或自生自储型含油组合。

关键词: 马岭油田; 原油; 地球化学特征; 生物标志化合物; 成藏模式

中图分类号: TE125

文献标志码: A

Geochemical characteristic and reservoir forming model of southern Maling oilfield

LI Qun^{1,2}, XIAO Xiao-guang^{1,2}, LIU Jun-feng³, HOU Lin-hui^{1,2}

- (1. Key Laboratory of Metallogenetic Prediction of Nonferrous Metals, Ministry of Education,
Central South University, Changsha 410083, China;
2. School of Geosciences and Info-Physics, Central South University, Changsha 410083, China;
3. Second Production Plant, Changqing Oilfield Company of Petrochina, Qingcheng 745100, China)

Abstract: Maling oilfield is located in the southwest part of the Shanbei incline, Ordos Basin, which is one of the earliest discovered oilfields in this area. Systematic analysis on the crude oil in the southern Maling oilfield of Ordos Basin by using GC and GC/MS was carried out, the biomarkers compositions and sources of the crude oil were revealed, and the reservoir forming model was established. The results show that the oil belongs to the same genetic type and the oil-forming matrixes are mixed, and higher plants and aquatic organisms make important contributions. The crude oil forms in the weak reducing and fresh water environments, and generates predominately in the peak period of oil generating with high maturity. The crude oil is derived from the Chang-7 source rocks, and forms the combination pattern of self-generating and self-accumulating or lower-generating and upper-reservoiring in Yanchang formation and Yan'an formation.

Key words: Maling oilfield; crude oil; geochemical characteristic; biomarker; reservoir forming model

鄂尔多斯盆地是一典型的克拉通盆地, 中生界具有大面积多层次普遍含油的特点^[1-3]。马岭油田位于鄂尔多斯盆地陕北斜坡带的西南部, 是鄂尔多斯盆地发

现最早的油田之一, 至今已有 40 多年的勘探与开发历史。该油田原油主要赋存于侏罗系延安组和三叠系延长组的河流-三角洲砂岩储层中。油藏类型涵盖了鼻

基金项目: 国家科技重大专项课题(2008ZX05002-005-007HZ)

收稿日期: 2011-12-01; 修订日期: 2012-01-04

通信作者: 李 群, 高级工程师, 博士; 电话: 13975802145; E-mail: geo852lq@sina.com

隆构造油藏、地层超覆油藏、岩性油藏以及岩性-构造复合油藏。不同区块含油层位不同，同一区块不同层组油气富集程度也不同。以往有关原油成因的认识主要立足于盆地或区域背景^[4-6]，对研究区分区块分油层组的取样分析很少。

本文作者在前人研究的基础上，通过对马岭油田南部不同区块不同层位原油样品的系统采集和测试分析，从原油物性、族组分、饱和烃气相色谱及生物标志化合物等方面，剖析马岭地区南部延长组-延安组各含油层位原油的地球化学特征，研究原油的母质类型、形成环境和成熟度，并进行油源对比。旨在从烃源方面入手，结合其他地质要素，揭示油藏的形成模式，期望能对盆地类似油藏的勘探起到指导作用。

1 样品分布与物性特征

所采集的12个原油样品分布在马岭油田南一区、南二区、南试验区的12口井的5个产油层位，分别为侏罗系延安组延4+5、延6、延9、延10油层组及三叠系延长组长8油层组。分析结果表明：5个层位原油物性相似，物性参数为密度0.842~0.858 g/cm³，50℃时黏度5.0~7.3 mPa·s，凝固点14~17.6℃；硫含量0.1%~0.12%(质量分数)，蜡含量16%~21.7%(质量分数)，沥青质含量1.1%(质量分数)。原油具有中-低密度、低黏度、低硫含量、中-低凝固点的特点，物性较好。

表1 马岭油田南部不同区块原油族组分参数

Table 1 Parameters of crude oil components in various blocks of southern Maling oilfield

地区	井号	层位	w/%				$m(\text{烷烃})/m(\text{芳烃})$	$m(\text{非烃})/m(\text{沥青质})$
			烷烃	芳烃	非烃	沥青质		
南一区	新南9-14	延6	67.54	14.20	15.07	3.19	4.76	4.72
	南9-162	延10	64.17	14.17	15.83	5.83	4.53	2.72
	南10-11	延4+5	66.35	14.29	14.92	4.44	4.64	3.36
	南10-12	延9	67.45	14.17	14.70	3.67	4.76	4.01
南二区	新南27-24	延10	72.22	13.23	12.43	2.12	5.46	5.86
	南侧31-11	延4+5	66.94	13.44	15.86	3.76	4.98	4.22
	南32-111	延4+5	68.93	13.59	14.56	2.91	5.07	5.00
	南32-171	延9	70.07	14.84	13.38	1.70	4.72	7.87
南试验区	岭72-6	延9	69.95	15.14	12.74	2.16	4.62	5.90
	镇494-50	延9	69.10	15.74	13.41	1.75	4.39	7.66
	镇492-43	长8	73.14	13.30	11.70	1.86	5.50	6.29
	镇492-45	长8	73.21	12.50	11.73	2.55	5.86	4.60

2 氯仿沥青A族组分

在有机质性质相近的前提下，成熟度高的原油应具有较高含量的烃类组分和较低含量的极性组分^[7]，由表1可以看出，研究区各个层位原油烃类组成基本一致，具体表现为烷烃含量(质量分数)高，为64.17%~73.21%，平均值为69.09%；其次为芳烃和非烃，分别为13.23%~14.84%和12.43%~15.83%，平均值分别为14.05%和13.86%；沥青含量相对较低，平均值仅为3.00%；烷烃与芳烃的质量比为4.39~5.86，非烃与沥青质的质量比为2.71~7.87，总体表现出成熟原油的特征。

3 饱和烃色谱特征

正构烷烃色谱特征蕴含了丰富的沉积环境、生源构成、保存条件和热演化信息^[8-9]。研究区不同层位原油正构烷烃气相色谱参数非常相似(见图1和表2)。色谱峰型完整，为单峰型；碳数分布在C13~C37之间，主峰碳为C16~C19；奇偶优势指数OEP为1.04~1.13，平均为1.08，无明显的奇偶碳数优势分布；姥鲛烷Pr/n-C₁₇值为0.33~0.68，植烷Ph/n-C₁₈值为0.31~0.75，Pr/Ph比值为0.85~1.15，表明研究区不同层位的原油均来自弱还原的沉积环境，它们是同源的。 $n\text{-}C_{21}^-/n\text{-}C_{22}^+$

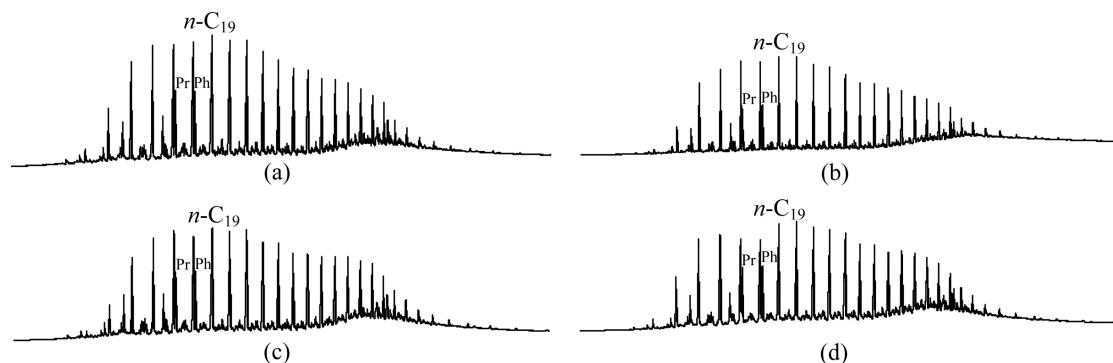


图1 马岭油田南部原油气相色谱图: (a) 新南 9-14, 延 6; (b) 南 9-162, 延 10; (c) 南侧 31-11, 延 4+5; (d) 南 32-171, 延 9

Fig. 1 Gas chromatograms of crude oil in southern Maling oilfield

表2 马岭油田南部不同区块原油正构烷烃与类异戊间二烯烷烃参数

Table 2 N-alkanes and isoprenoid alkanes parameters of crude oil in various blocks of southern Maling oilfield

区块	井号	层位	碳数范围	主峰碳	OEP	$n\text{-C}_{21}^-/n\text{-C}_{22}^+$	$\text{Pr}/n\text{-C}_{17}$	$\text{Ph}/n\text{-C}_{18}$	Pr/Ph
南一区	新南 9-14	延 6	13~37	C ₁₉	1.09	1.23	0.38	0.41	0.91
	南 9-162	延 10	13~37	C ₁₉	1.05	1.17	0.41	0.44	0.9
	南 10-11	延 4+5	13~37	C ₁₉	1.10	1.17	0.5	0.56	0.88
	南 10-12	延 9	13~37	C ₁₉	1.12	1.15	0.5	0.55	0.9
南二区	新南 27-24	延 10	13~37	C ₁₉	1.04	1.07	0.4	0.45	0.88
	南侧 31-11	延 4+5	13~37	C ₁₉	1.08	1.02	0.47	0.44	1.04
	南 32-111	延 4+5	13~37	C ₁₉	1.11	1.25	0.44	0.45	1.01
	南 32-171	延 9	13~37	C ₁₉	1.08	1.09	0.44	0.45	0.92
南试验区	岭 72-6	延 9	13~37	C ₁₉	1.13	0.84	0.68	0.75	0.91
	镇 494-50	延 9	13~37	C ₁₉	1.09	0.98	0.36	0.41	0.85
	镇 492-43	长 8	13~37	C ₁₆	1.04	1.47	0.33	0.31	1.15
	镇 492-45	长 8	13~37	C ₁₆	1.04	1.58	0.35	0.36	1.02

$n\text{-C}_{22}^+$ 分布在 0.84~1.58 之间, 大部分大于 1, 反映了低碳数正构烷烃稍占优势的特征, 说明原油的母质由水生生物和陆生植物构成, 生油母质为混合型。

4 生物标志物特征

马岭地区南部原油甾烷类生物标志物的色谱-质谱图(见图2)非常相似, 表明其母源、沉积环境和成熟度的均一性^[10~12]。

4.1 胆甾烷类生物标志物特征

12 块原油样品均检出了明显的胆甾烷系列(五环三萜烷)、三环萜烷和少量的四环萜烷。从 $m/z=191$ 质量色谱图上可见, 各层段原油中萜烷化合物均以 C₃₀-胆甾烷为主。

烷占优势。丰富的三环二萜烷反映低等水生生物的输入。原油中普遍检出的 C₂₉T_s 和 C₃₀^{*}(C₃₀-重排藿烷)两种化合物反映了湖相沉积环境。低丰度的伽玛蜡烷(指数大多处于 0.1 左右, 见表 3)反映水体盐度不高, 水体分层不明显, 为淡水或微咸水湖泊环境。

原油的 C₂₇-藿烷 $T_s/(T_s+T_m)$ 比值(两个立体异构体质量比)处于 0.44~0.78 之间, C₃₁-藿烷 22S/(22S+22R) 处于 0.54~0.58 之间, 两参数表明藿烷已基本达到异构化平衡阶段, 反映其成熟原油的性质。

4.2 甾类生物标志物特征

甾类中最重要的化合物是来源于动物和水生藻类、菌藻类的 C₂₇-胆甾烷和 C₂₈-麦角甾烷以及以陆相高等植物为生源的 C₂₉-谷甾烷。12 块原油样品 C₂₇-、C₂₈-和 C₂₉-甾烷的含量(质量分数)分别为 24.85%~

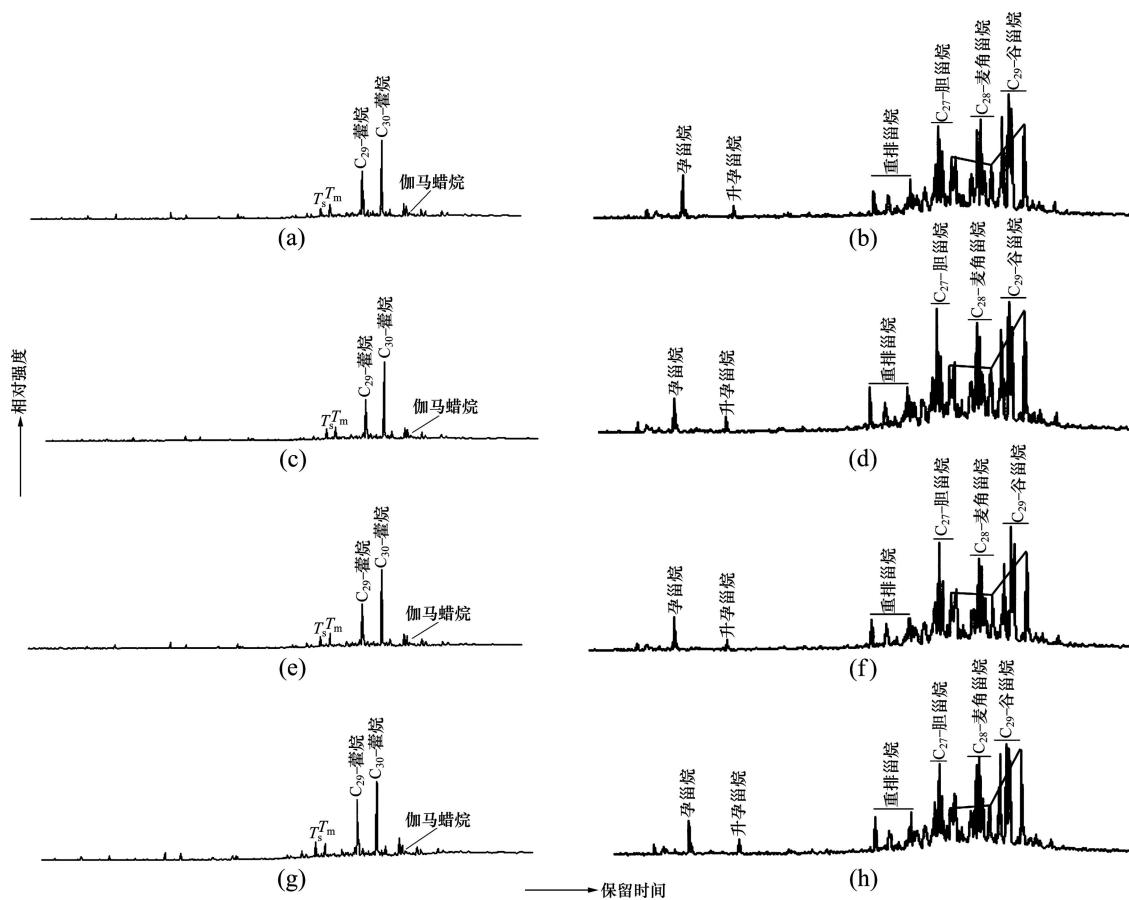


图2 马岭地区南部原油萜烷($m/z=191$)和甾烷($m/z=217$)质量色谱图: (a) 南侧31-11, 延4+5萜烷; (b) 南侧31-11, 延4+5甾烷; (c) 新南9-14, 延6萜烷; (d) 新南9-14, 延6甾烷; (e) 南32-171, 延9萜烷; (f) 南32-171, 延9甾烷; (g) 南9-162, 延10萜烷; (h) 南9-162, 延10甾烷

Fig. 2 Mass chromatograms showing terpane ($m/z=191$) and sterane ($m/z=217$) of crude oil in southern Maling oilfield

表3 马岭油田南部不同区块原油饱和烃馏分中甾萜类化合物参数

Table 3 Parameters of steranes and terpanes in fractions of saturated hydrocarbons of crude oil in various blocks of southern Maling oilfield

区块	井号	层位	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
南一区	新南9-14	延6	0.50	0.19	0.06	0.09	0.57	0.54	0.47	27.13	31.31	41.56
	南9-162	延10	0.47	0.18	0.05	0.10	0.57	0.55	0.50	28.01	29.77	42.21
	南10-11	延4+5	0.57	0.20	0.06	0.09	0.56	0.49	0.45	27.58	29.24	43.18
	南10-12	延9	0.44	0.17	0.06	0.09	0.57	0.57	0.47	25.55	30.92	43.53
南二区	新南27-24	延10	0.63	0.27	0.09	0.13	0.56	0.58	0.48	26.09	30.26	43.64
	南侧31-11	延4+5	0.45	0.18	0.06	0.08	0.57	0.57	0.46	24.85	31.20	43.95
	南32-111	延4+5	0.54	0.18	0.05	0.08	0.58	0.54	0.48	28.28	30.06	41.65
	南32-171	延9	0.53	0.18	0.07	0.09	0.58	0.55	0.47	27.04	30.56	42.40
南试验区	岭72-6	延9	0.56	0.21	0.08	0.10	0.56	0.55	0.47	26.73	30.70	42.58
	镇494-50	延9	0.45	0.17	0.05	0.09	0.56	0.54	0.50	27.94	30.56	41.50
	镇492-43	长8	0.78	0.30	0.45	0.09	0.54	0.56	0.50	28.16	29.87	41.97
	镇492-45	长8	0.75	0.24	0.29	0.19	0.54	0.61	0.48	28.88	29.64	41.48

$A=T_s/(T_s+T_m)$; $B=C_{29}T_s/C_{29}-\text{藿烷}$; $C=C_{30}^*/C_{29}T_s$; $D=\gamma-\text{蜡烷}/C_{30}-\text{藿烷}$; $E=C_{31}\text{升藿烷 } 22S/(22S+22R)$; $F=aaaC_{29}-\text{甾烷 } 20S/(20S+20R)$; $G=C_{29}-\text{甾烷 } \beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$; $H=C_{27}$ 规则甾烷的质量分数, %; $I=C_{28}$ 规则甾烷的质量分数, %; $J=C_{29}$ 规则甾烷的质量分数, %。

28.88%、29.24%~31.31%和41.48%~43.95%(见表3), 含量由高到低的顺序为C₂₉-甾烷、C₂₈-甾烷和C₂₇-甾烷。这表明其沉积环境有丰富的陆源有机质来源, 原油具有陆源高等植物与低等水生藻类和菌藻类有机质混合母源的特征。原始构型化合物(20R)的碳数分布三角图(见图3)显示12块原油的甾烷分布非常接近, 表明原油之间有很好的可比性。

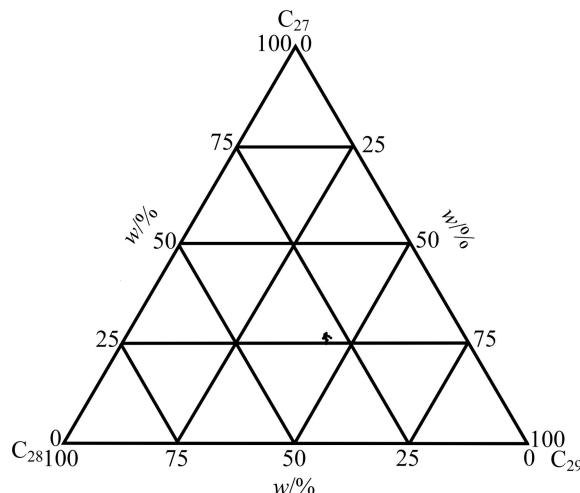


图3 马岭地区南部原油规则甾烷分布三角图

Fig. 3 Triangular diagram of formula sterane distribution of crude oil in southern Maling oilfield

此外, 原油中孕甾烷及升孕甾烷均有检出, 尤其以5 α (H), 14 β (H)-孕甾烷含量较高。孕甾烷除表明成熟度较高外, 也显示了水生生物有机质的参与。此外, 三环萜烷和孕甾烷含量异常高, 表明烃源岩形成于水体较深、还原性较强、富含藻类的沉积环境^[13], 同时还在一定程度上反映了原油的运移效应。

原油的C₂₉-甾烷 $\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ 值为0.45~0.50, 平均值为0.48, 接近于平衡值0.5; C₂₉-甾烷20S/(20S+20R)值为0.54~0.61, 平均值为0.58, 达到了平衡值, 且两个参数变化范围很小。一般来说, 原油中这两个参数大于0.4就为成熟原油, 表明马岭油田原油均为成熟原油。

5 原油来源与成藏模式

5.1 油源分析

鄂尔多斯盆地是以中生界为主体的大型陆相沉积盆地, 勘探开发实践表明, 在中生界有两套含油层系, 即三叠系延长组及侏罗系延安组。研究认为, 两套含油岩系均有生油的可能。延长组烃源岩形成于淡水湖

泊沉积环境, 特别是延长组中部(长4+5~长8)烃源岩形成于浅湖一半深湖沉积环境, 发育有暗色泥岩、碳酸泥岩和油页岩。晚三叠世长7油层组沉积早期, 强烈的构造活动使得湖盆快速扩张, 形成了大范围的深水沉积, 为优质烃源岩的大规模发育提供了基本地质条件。长7烃源岩有机质类型属于腐殖-腐泥型; 有机碳含量绝大部分都在1.5%以上, 甚至超过3.5%; 镜下观察表明, 长7烃源岩干酪根以无定形类脂体为主, 存在少量的刺球藻和孢子, 成分单一^[14]; 同时, 镜质体反射率 R_o 值在0.5%~1.0%之间, 有机质达到生烃门限的热成熟演化阶段。由此认为, 长7烃源层组处于湖盆发育全盛期, 烃源岩厚度大, 分布稳定, 成熟度较高, 生油性能明显好于其他层段的, 是盆地中生界的主力烃源岩。

延安组为湖沼环境下形成的烃源岩, 包括煤层、碳酸泥岩和暗色泥岩。虽然它们具有较高的有机碳含量, 但是有机质类型主要为腐植型, 烃转化率低, 镜质体反射率较低($R_o=0.53\% \sim 0.65\%$)^[15], 因此, 形成工业性油藏的可能性较小。

根据12块原油样品母质性质、生烃环境和成熟度资料, 对比盆地上述两套烃源岩的各项指标(见表4), 有以下几方面认识: 1)延安组潜在烃源岩的正构烷烃和类异戊二烯烃组成与马岭油田原油的明显不同, 前者具有较高的Pr/Ph; 2)规则甾烷含量和甾烷成熟度参数(C₂₉20S/(20S+20R)和 $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$)是重要的油源对比指标, 延安组潜在烃源岩规则甾烷的组成与马岭油田原油完全不同, 其含有较多的C₂₉规则甾烷, C₂₉/C₂₇比值大, 而延长组烃源岩的规则甾烷组成与马岭油田原油的相似, C₂₉/C₂₇比值接近; 延安组潜在烃源岩的甾烷C₂₉20S/(20S+20R)和 $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 值比马岭油田原油的小, 特别是C₂₉ $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 比值很小, 而延长组烃源岩与马岭油田原油的相似; 3)同样作为反应成熟度的参数(T_s/T_m), 马岭油田原油的 T_s/T_m 要远大于延安组潜在烃源岩的 T_s/T_m , 而与长7烃源岩的 T_s/T_m 相近。上述指示沉积环境、生烃母质、成熟度的各项参数均表明马岭油田南部原油来自延长组长7烃源岩。

5.2 成藏模式

马岭油田烃源主要来自三叠系延长组长7浅湖-半深湖烃源岩系, 该烃源岩生烃中心围绕鄂尔多斯盆地中部庆阳、富县、吴旗呈环带状展布, 面积大, 生油能力强, 马岭油田临近该生烃中心。以延安组为例, 延安组发育的河流-三角洲砂体具有较好的储集条件, 尤其是延4+5及延9三角洲砂岩, 粒度适中, 以

表4 马岭地区南部原油与烃源岩地化参数对比

Table 4 Geochemical parameters correlation of source rocks and crude oil in southern Maling oilfield

样品	层位	正异构烷烃			萜烷			甾烷		
		A	B	C	D	E	F	G	H	
原油	延4+5—延10	0.85—1.04	0.84—1.25	0.08—0.13	0.56—0.58	1.02	1.47—1.77	0.49—0.58	0.45—0.50	
	长8	1.02—1.15	1.47—1.58	0.09—0.19	0.54—0.54	1.02	1.44—1.49	0.56—0.61	0.48—0.50	
烃源岩	长7	1.10—2.52	0.58—2.21	0—0.40	0.56—0.68	0.67—3.89	1.21—2.16	0.47—0.54	0.47—0.61	
	延安组	1.70—5.11	0.81—4.45	0.01—0.03	0.57—0.60	0.03—0.06	2.25—5.61	0.42—0.46	0.35—0.43	

$A=Pr/Ph$; $B=n-C_{21}^-/n-C_{22}^+$; $C=\gamma$ -蜡烷/ C_{30} -藿烷; $D=C_{31}$ 升藿烷 $22S/(22S+22R)$; $E=T_s/T_m$; $F=C_{29}/C_{27}$; $G=C_{29}20S/(20S+20R)$; $H=C_{29}\beta\beta/(B\beta+\alpha\alpha)$ 。

中-细粒为主，储层非均质性减弱，孔渗性能良好，样品渗透率可达 $850 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，孔隙度可达 23%，如此好的储渗性能为油气富集创造了有利的条件。延安组纵向上砂泥岩间相互叠置，横向互为消长、交接，特别是河间沼泽、平原湖沼相泥岩、炭质泥岩及煤层是延安组最好的盖层，防止了下伏地层中的油气逸散。鄂尔多斯盆地现今构造形态为西倾不到 1°的单斜，马岭地区受抬升、风化、剥蚀作用及多期构造叠加改造作用，表现为轴向近东西向的短轴背斜，该背斜圈闭的形成早于或与油气运移期同步，从而成为油气的有利聚集场所。盆地周缘发育有北西、北东和近东西向 3 组裂缝，构成裂缝网络输导系统，为延长组油气向上覆延安组储层中运移提供了垂向通道；三叠系顶部不整合面侵蚀切割延长组烃源岩，它可以作为输导层，接受延长组运移上来的大量油气，然后顺该输导层的低力势方向，向上或向两侧层间运移，配合以裂缝垂向运移通道、延安组河流-三角洲储层侧向运移通道，油气在各种构造或岩性圈闭中聚集成藏(见图 4)，形成

下生上储型含油组合。而在延长组三角洲储层中，则形成自生自储型含油组合。

6 结论

1) 从马岭油田南部油井系统采样，对生物标志化合物进行研究，发现马岭油田南部各区块和各层位原油具有相似的地球化学特征，它们均来自同一油源。

2) 原油的甾烷以 C_{29} 稍占优势，含有较多的藿烷系列(五环三萜烷)、三环萜烷和少量的四环萜烷，这些说明原油的母质除了菌藻类外，陆源高等植物作出了重要贡献。

3) 姥姣烷和植烷基本处于均势，表明原油形成于弱还原的沉积环境；低丰度的伽玛蜡烷和 C_n -藿烷($n > 30$)表明淡水或微咸水的湖泊环境。

4) 原油中 C_{27} -藿烷、 C_{31} -藿烷和 C_{29} -甾烷的异构体参数接近或达到平衡值以及高含量的烷烃组分，均说明原油为成熟原油。

5) 油源对比研究表明：马岭油田原油不可能来自延安组烃源岩，而主要来自延长组长 7 烃源岩，形成下生上储型或自生自储型含油组合。

REFERENCES

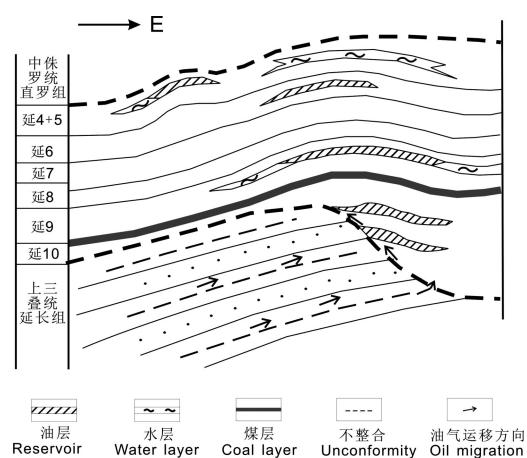


图4 马岭油田延安组成藏模式示意图

Fig. 4 Reservoir forming model of Yan'an formation in Maling oilfield

- [1] 李德生. 重新认识鄂尔多斯盆地油气地质学[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(6): 1—7.

- LI De-sheng. Return to petroleum geology of Ordos Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(6): 1—7.

- [2] 王居峰, 赵文智, 郭彦如, 张延玲. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组石油资源现状与勘探潜力分析[J]. 现代地质, 2010, 24(5): 957—964.

- WANG Ju-feng, ZHAO Wen-zhi, GUO Yan-ru, ZHANG Yan-ling. Analyses of petroleum resources status and exploration

- potentialities, Yanchang formation of Triassic in Ordos Basin [J]. *Geoscience*, 2010, 24(5): 957–964.
- [3] 罗静兰, KETZER J M, 李文厚. 延长油区侏罗系—上三叠统层序地层与生储盖组合[J]. *石油与天然气地质*, 2001, 22(4): 337–341.
- LUO Jing-lan, KETZER J M, LI Wen-hou. Sequence stratigraphy and source-reservoir-cap assemblages of Jurassic—Upper Triassic in Yanchang oil province [J]. *Oil & Gas Geology*, 2001, 22(4): 337–341.
- [4] 段毅, 张胜斌, 郑朝阳, 吴保祥. 鄂尔多斯盆地马岭油田延安组原油成因研究[J]. *地质学报*, 2007, 81(10): 1407–1415.
- DUAN Yi, ZHANG Sheng-bin, ZHENG Zhao-yang, WU Bao-xiang. Study on genesis of crude oil in the Yan'an formation of the Maling oilfield, Ordos basin [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2007, 81(10): 1407–1415.
- [5] 王传远, 段毅, 车桂美, 翟瑞华, 郑朝阳, 吴保祥, 康晏. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组原油地球化学特征及油源分析[J]. *高校地质学报*, 2009, 15(3): 380–386.
- WANG Chuan-yuan, DUAN Yi, CHE Gui-me, ZHAI Rui-hua, ZHENG Chao-yang, WU Bao-xiang, KANG Yan. Geochemical characteristics and oil-source analysis of crude oil in the Yanchang formation of Upper Triassic from Qaidam Basin [J]. *Geological Journal of China University*, 2009, 15(3): 380–386.
- [6] 侯林慧, 彭平安, 于赤灵, 张文正, 张辉. 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*, 2007, 36(5): 497–506.
- HOU Lin-hui, PENG Pin-gan, YU Chi-ling, ZHANG Wen-zheng, ZHANG Hui. Geochemical characteristic and oil-source analysis of crude oil in Jiyuan—Xifeng oilfield, Ordos Basin [J]. *Geochimica*, 2007, 36(5): 497–506.
- [7] 郭艳琴, 李文厚, 陈全红, 曹红霞, 张道锋. 鄂尔多斯盆地安塞—富县地区延长组—延安组原油地球化学特征及油源对比[J]. *石油与天然气地质*, 2006, 27(2): 218–224.
- GUO Yan-qin, LI Wen-hou, CHEN Quan-hong, CAO Hong-xia, ZHANG Dao-feng. Geochemical behaviors of oil and oil-source correlation in Yanchang—Yan'an formations in Ansai—Fuxian area, Ordos Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2006, 27(2): 218–224.
- [8] HANSON A D, ZHANG S C, MOLDOWAN J M, LIANG D G, ZHANG B M. Molecular organic geochemistry of the Tarim basin, North China [J]. *American Association of Petroleum Geologist Bulletin*, 2000, 84: 1109–1128.
- [9] KORKMAZ, GULBAY R K. Organic geochemical characteristics and depositional environments of the Jurassic coals in the eastern Taurus of southern Turkey [J]. *International Journal of Coal*, 2007, 70(4): 292–304.
- [10] 段毅, 王智平, 张辉. 柴达木盆地原油烃类地球化学特征[J]. *石油实验地质*, 2004, 26(4): 359–364.
- DUAN Yi, WANG Zhi-ping, ZHANG Hui. Geochemical characteristics of hydrocarbons in the crude oils from Qaidam Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2004, 26(4): 359–364.
- [11] HUANG D F, LI J C, ZHANG D J, HUANG X M, ZHOU Z H. Maturation sequence of Tertiary crude oils in the Qaidam Basin and its significance in petroleum resource assessment [J]. *Journal of Southeast Asian Earth Science*, 1991, 5: 359–366.
- [12] ZHANG S C, HANSON A D, MOLDOWAN J M, GRAHAM S A, LIANG D G, CHANG E, FAGO F. Paleozoic oil-source rock correlations in the Tarim Basin, NW China [J]. *Organic Geochemistry*, 2000, 31: 273–286.
- [13] 包建平, 刘玉瑞, 朱翠山, 倪春华. 北部湾盆地原油地球化学特征与成因类型[J]. *石油与天然气地质*, 2007, 28(2): 293–298.
- BAO Jian-ping, LIU Yu-rui, ZHU Cui-shan, NI Chun-hua. Geochemical characteristics and genetic types of crude oils [J]. *Oil & Gas Geology*, 2007, 28(2): 293–298.
- [14] 杨华, 张文正. 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*, 2005, 34(2): 147–154.
- YANG Hua, ZHANG Wen-zheng. 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: Geology and geochemistry [J]. *Geochimica*, 2005, 34(2): 147–154.
- [15] WANG H D, ALLEN J, PHILP R P. An organic geochemical investigation of oils and source rocks from two Mesozoic formations of Shangnanning Basin, China [J]. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 1995, 11: 277–288.

(编辑 陈卫萍)