

鄂尔多斯盆地马岭油田延安组原油成因研究

段毅,张胜斌,郑朝阳,吴保祥

中国科学院兰州地质研究所,730000

内容提要:马岭油田是鄂尔多斯盆地发现最早的油田之一,也是大陆河流相油气藏的典型代表,可是以往对马岭油田原油及其烃源岩地球化学研究很少,原油的成因更多的依靠于地质推测。本文对采集于马岭油田的21个原油和鄂尔多斯盆地14个烃源岩的烃类生物标志化合物进行了系统的分析,研究了它们的地球化学特征。生物标志化合物的分布和组成特征,指示了原油形成于弱还原环境淡水湖相;原油的母质除了菌藻类外陆源高等植物作出了重要贡献;原油均为成熟原油;油源对比表明,马岭油田原油的源岩为延长组烃源岩,特别是长7油层组烃源岩。

关键词:鄂尔多斯盆地;原油和烃源岩;生物标志化合物;组成和分布特征;成因

马岭油田位于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡次级构造单元的南西部(图1),它是鄂尔多斯盆地发现最早的油田之一,该油田自1970年发现,1971年进入全面开发以来,至今已有37年的历史。前人对马岭油田石油地质研究做了大量卓有成效的工作,结果表明油田所在构造是由古地貌控制、经差异压实作用而形成的一个平缓鼻状隆起带;原油主要赋存于侏罗系延安组地层之中,该地层主要由河流和湖沼沉积碎屑岩构成,自上而下按沉积旋回和岩性组合特征划分为10个油层组(延₁—延₁₀),其中河流砂岩和三角洲前缘砂岩成为延安组重要的储集岩。油藏类型主要为鼻隆构造油藏、地层超覆油藏和岩性岩性油藏。马岭油田是大陆河流相油气藏的典型代表,认识这类油藏原油的成因对揭示该油藏的形成规律,指导鄂尔多斯盆地侏罗系石油勘探和开发都是非常重要的。可是,以往对马岭油田原油及其烃源岩地球化学研究很少,原油的成因更多的依靠地质推测。本文对马岭油田原油及其烃源岩样品进行了系统采集,分析了它们的生物标志化合物,研究了原油的母质性质、形成环境和成熟度,进而进行了油源对比。

1 样品与分析

样品均为2006年6月份采集,原油来自鄂尔多

斯盆地马岭油田(图1),烃源岩样品主要分布在鄂尔多斯盆地中西部。原油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,饱和烃馏分用色谱(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。MS为5973N,离子源温度为250℃,电离电压为70eV。GC为6890N,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300℃,然后恒温30 min。

2 结果与讨论

2.1 原油的母源来源

原油中生物标志化合物组成特征反映了原油的母质来源,这些化合物主要包括了正构烷烃、类异戊二烯烷烃和环烷烃等。马岭油田原油中生物标志化合物组成的显著特征是在各油区和各油层组具有相似性,反映了它们来自同一油源。原油中正构烷烃可以用来判识原油的形成母质(Duan et al., 2001)。马岭油田原油中正构烷烃分布极为相似,碳数分布在C₁₁~C₃₈之间;主峰碳为C₁₅~C₂₁;C₂₁- /

注:本文为国家重点基础研究发展计划“973”项目(编号2005CB422105)研究成果。

收稿日期:2007-03-28;改回日期:2007-08-20;责任编辑:周健。

作者简介:段毅,男,1956年生,博士。现为中国科学院兰州地质研究所研究员,博士生导师,主要从事油气地球化学和有机地球化学研究。通讯地址:730000,兰州市东岗西路324号;电话:0931-8277983;传真:0931-8278667。

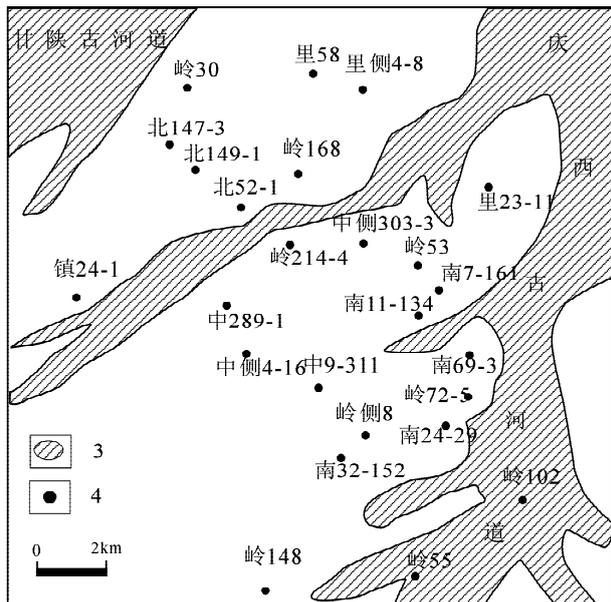
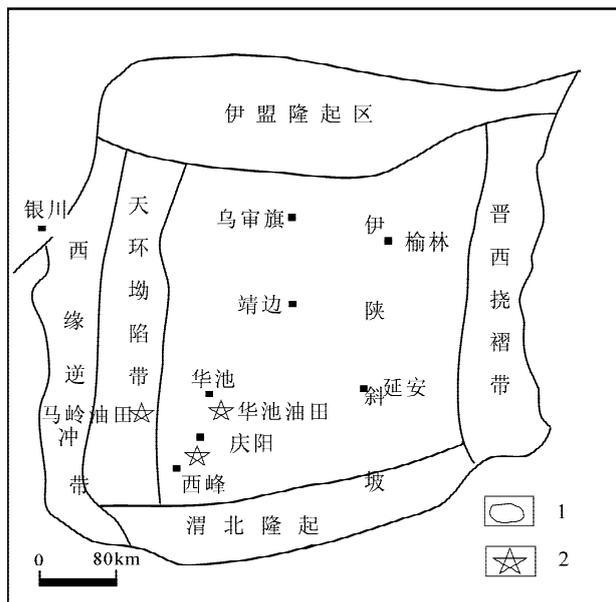


图1 马岭油田构造位置和样品井位分布

Fig.1 Study area showing the sampling location

1—构造单元;2—油田;3—古河道;4—井位

1—Tectonic unit;2—oil field;3—palaeochannel;4—well location

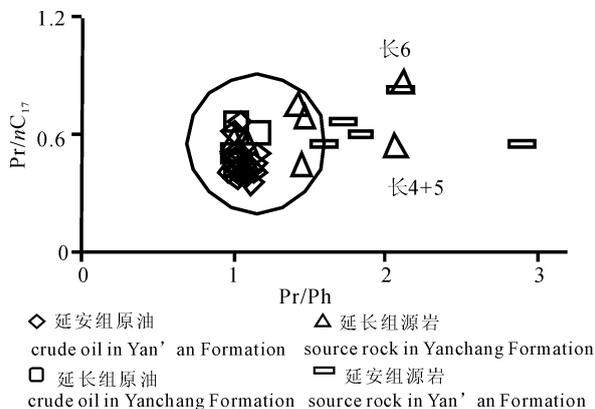


图2 原油中 Pr/nC₁₇ 与 Pr/Ph 比值相关图

Fig.2 Cross plots of Pr/nC₁₇ vs. Pr/Ph ratios of the crude oil samples

C₂₁₊ 分布在 1.04~1.26 之间(表 1),说明原油由水生生物和陆生植物混合母质构成。原油中 Pr/nC₁₇ 和 Ph/nC₁₈ 比值,通常用来研究母质类型、形成环境和成熟度(Connan and Cassou, 1980; Peters et al., 1999; Hanson et al., 2000)。马岭油田原油的这两个比值分布在一个较窄的范围内,反映了它们来自一个类似的生物源(图 2)(Li et al., 1999),其大小指示了原油母质为混合型(图 3)。

原油中存在甾烷,其中规则甾烷的组成可以反映原油母源性质(Moldowan et al., 1985; Philp et al., 1991; Duan et al., 2001)。马岭油田原油 C₂₇、

C₂₈ 和 C₂₉ 甾烷的相对含量分别为 22%~28%、25%~29%和 45%~53%(表 2);规则甾烷/藿烷比值在 0.15~0.35 之间。在图 4、5 中,这些样品分布于一个较窄的范围内,说明它们具有类似的成油母质。柴达木盆地存在着成因截然不同的两种原油,一种是柴达木西部地区形成于咸水—超咸水湖泊环境、以菌藻母质为主的原油,它们的 C₂₇、C₂₈ 和 C₂₉ 甾烷的相对含量分别为 39.0%~52.7%、17.4%~23.3%和 22.8%~39.8%,规则甾烷/藿烷比值在 1.60~4.15 之间;另一种是柴达木北部地区形成于淡水湖泊环境、以高等植物为重要母质的原油,它们的 C₂₇、C₂₈ 和 C₂₉ 甾烷的相对含量分别为 34.6%~38.3%、14.8%~21.5%和 40.7%~50.6%,规则甾烷/藿烷比值在 0.12~0.27 之间(段毅等,2003, 2004;Duan et al., 2006)。马岭油田原油中甾烷的组成与柴达木盆地北部地区原油的相似,甾烷以 C₂₉ 规则甾烷为主,并且含有更多的 C₂₈ 规则甾烷和较高的规则甾烷/藿烷比值,反映了它们成油母质为水生藻类、浮游动物和高等植物,并且高等植物是原油形成的重要贡献者。马岭油田原油中含有 4-甲基甾烷,4-甲基甾烷/规则甾烷比值分布在 0.08~0.19 之间。4-甲基甾烷一般来自甲藻类(Robinson et al., 1984),但是也存在于细菌之中(Philp et al., 1991)。原油中 4-甲基甾烷的存在,说明甲藻类对原油的形成也作出了一定的贡献。

表 1 原油和烃源岩中正构烷烃和类异戊二烯烷烃分析数据

Table 1 Analytical data of *n*-alkanes and isoprenoid alkanes in the studied crude oils and source rocks

样号	地区与样品	井号	层位	碳数范围	主峰碳数	OEP	C ₂₁ ⁻ /C ₂₂ ⁺	Pr/Ph	Pr/ <i>n</i> C ₁₇	Ph/ <i>n</i> C ₁₈	β-胡萝卜素
M15	马岭北区 原油	北 166-1	延 8	C ₁₂ ~C ₃₆	C ₁₇	1.04	1.14	1.03	0.37	0.39	以 痕 迹 存 在
M14		北 52-1	延 9	C ₁₂ ~C ₃₆	C ₁₅	1.04	1.12	1.08	0.44	0.41	
M22		北 189	延 10	C ₁₂ ~C ₃₆	C ₁₅	1.05	1.20	1.08	0.39	0.38	
M18		木 16-06	延 10	C ₁₂ ~C ₃₆	C ₁₅	1.09	1.29	1.14	0.45	0.43	
M36	马岭中区 原油	中侧 303-3	延 7	C ₁₂ ~C ₃₆	C ₁₇ /C ₂₁	1.04	1.11	0.97	0.41	0.43	
M31		岭 211-1	延 8	C ₁₂ ~C ₃₆	C ₁₅	1.00	1.22	1.15	0.49	0.46	
M33		中侧 4-16	延 9	C ₁₂ ~C ₃₆	C ₁₅	1.04	1.09	1.06	0.39	0.37	
M29		中 289-1	延 9	C ₁₂ ~C ₃₆	C ₁₅	1.03	1.11	1.03	0.47	0.48	
M27		中 27-2	延 10	C ₁₂ ~C ₃₆	C ₁₉	1.05	1.07	1.00	0.61	0.64	
M34		中 311-1	延 10	C ₁₂ ~C ₃₆	C ₁₅	1.07	1.00	0.99	0.49	0.53	
M4	马岭南区 原油	岭侧 128	延 4+5	C ₁₂ ~C ₃₆	C ₁₇	1.02	1.26	1.14	0.41	0.39	
M12		南 174-5	延 6	C ₁₂ ~C ₃₆	C ₁₅	1.06	1.10	1.11	0.36	0.34	
M3		南 11-134	延 9	C ₁₂ ~C ₃₆	C ₁₅	1.01	1.30	1.04	0.50	0.53	
M7		岭侧 8	延 9	C ₁₂ ~C ₃₆	C ₁₅	1.06	1.26	1.08	0.43	0.42	
M11		岭 72-5	延 9	C ₁₂ ~C ₃₆	C ₁₇	1.02	1.09	1.05	0.66	0.67	
M2		南侧 8-15	延 10	C ₁₂ ~C ₃₆	C ₁₅	1.04	1.21	1.08	0.39	0.39	
M9		南侧 27-23	10 延	C ₁₂ ~C ₃₆	C ₁₅	1.06	1.24	1.08	0.43	0.47	
M23		南 69-3	延 10	C ₁₂ ~C ₃₆	C ₁₅	1.05	1.17	1.04	0.39	0.39	
M38	马岭上里 塬区原油	里 3-111	延 8	C ₁₂ ~C ₃₆	C ₁₅	1.03	1.04	1.11	0.42	0.39	
M39		里侧 4-8	延 9	C ₁₂ ~C ₃₆	C ₁₇	1.06	1.17	1.03	0.42	0.43	
M40		里 14-2	延 10	C ₁₂ ~C ₃₆	C ₁₉	1.04	1.18	1.05	0.43	0.42	
C13	西峰油田 原油	正 6 井	长 7	C ₁₀ ~C ₃₆	C ₁₃ /C ₁₅	1.03	1.39	1.01	0.44	0.42	
E-9		西 74	长 8	C ₁₁ ~C ₃₈	C ₂₁	1.01	0.77	1.17	0.61	0.51	
Zh-1		庄 12	长 8	C ₁₁ ~C ₃₈	C ₁₉	1.05	0.93	1.02	0.66	0.65	
ZH-6		宁 4	长 8	C ₁₃ ~C ₃₄	C ₁₉	1.04	0.76	1.00	0.49	0.48	
S-25	鄂尔多斯 盆地烃源岩	耿 105 井	长 4+5	C ₁₂ ~C ₃₆	C ₂₀	1.07	1.05	2.05	0.54	0.42	
S-10		黄 27 井	长 6	C ₁₂ ~C ₃₆	C ₁₅	0.99	1.05	1.00	0.57	0.42	
S-24		耿 187 井	长 6	C ₁₂ ~C ₃₆	C ₁₇	1.05	0.96	2.11	0.87	0.42	
R-1		西 17	长 7	C ₁₃ ~C ₃₅	C ₁₆	1.02	1.08	1.47	0.68	0.51	
S-35		镇 69 井	长 7	C ₁₂ ~C ₃₆	C ₁₅	1.03	1.29	1.10	0.55	0.42	
S-29		午 61 井	长 7	C ₁₂ ~C ₃₆	C ₁₆	1.02	2.21	1.79	0.11	0.42	
S-30		午 61 井	长 7	C ₁₂ ~C ₃₆	C ₁₅	1.07	2.06	1.44	0.44	0.42	
S-7-2		旺 9 井	长 7	C ₁₂ ~C ₃₆	C ₁₇	1.05	0.87	1.43	0.75	0.42	
S-42		岭 214 井	延 4+5	C ₁₂ ~C ₃₆	C ₁₇	1.05	1.55	1.70	0.67	0.42	
S-44		岭 214 井	延 9	C ₁₂ ~C ₃₆	C ₁₆	1.06	1.29	1.83	0.59	0.42	
S-45		岭 214 井	延 6	C ₁₂ ~C ₃₆	C ₁₇	1.05	1.21	2.08	0.84	0.42	
S-37		岭 214 井	延 7	C ₁₂ ~C ₃₆	C ₁₆	1.00	4.45	1.59	0.55	0.42	
S-38		镇 59 井	延 8	C ₁₂ ~C ₃₆	C ₁₇	1.11	0.81	5.11	2.05	0.42	
S-46		镇 59 井	延 9	C ₁₂ ~C ₃₆	C ₁₆	1.20	1.87	2.90	0.56	0.42	

马岭油田原油中含有丰富的二环萜烷,二环萜烷/藿烷比值分布在 0.22~0.72(表 3),明显地高于柴达木盆地西部以菌藻为主的成油母质的原油(0.03~0.22;Duan et al., 2006),低于柴达木盆地北部以高等植物为主的成油母质的原油(0.47~4.46;Duan et al., 2006),指示了马岭油田原油更多地来自陆源高等植物。原油中三环萜烷和四环萜烷的含量与母源性质密切相关(Seifert and Moldowan, 1978, Aquino Neto et al., 1983),并且 C₂₅ 三环萜烷/C₂₄ 四环萜烷、三环萜烷的 C₁₉+C₂₀/

C₂₃ 和 C₂₅/C₂₆ 及 C₂₄ 四环萜烷/(C₂₄ 四环萜烷+C₂₆ 三环萜烷) 比值已用来判识原油形成的母质(Hanson et al., 2000; Zhang et al., 2000)。马岭油田原油中三环萜烷/藿烷比值在 0.08~0.19 之间,与柴达木盆地北部原油的相似(0.09~0.20),低于柴达木盆地西部原油(0.09~0.20),反映了母源具有更多的陆源高等植物,另一个证据是马岭油田原油中存在低丰度的具有松香烷结构的三环萜烷,它们主要是松香烷和降松香烷化合物,松香类/αβ-C₃₀ 藿烷比值为 0.03~0.14,这类化合物来自陆源

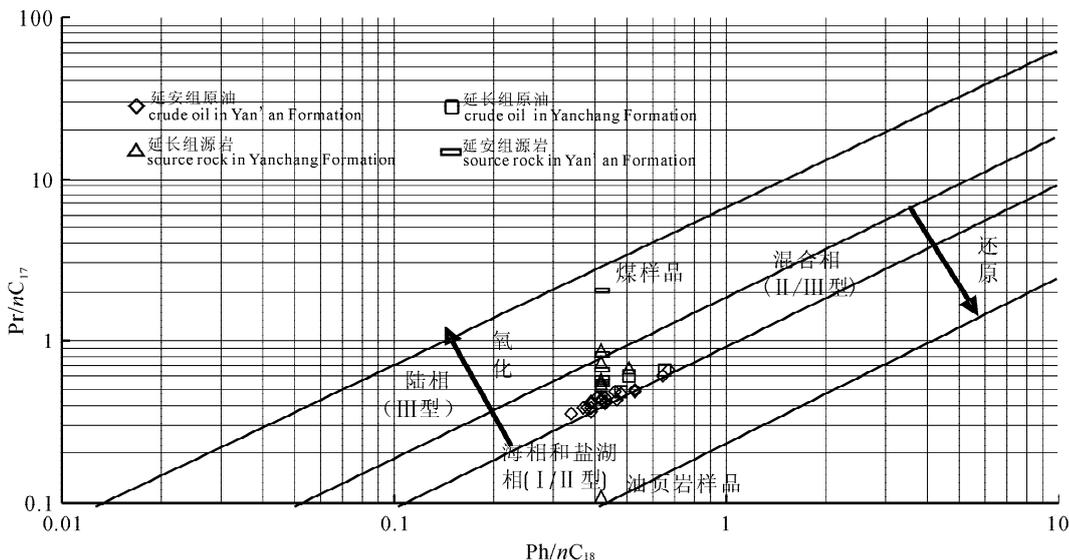


图 3 原油中 Pr/nC₁₇ 与 Ph/nC₁₈ 比值相关图

Fig. 3 Cross plot of Pr/nC₁₇ vs. Ph/nC₁₈ ratios of the crude oil samples

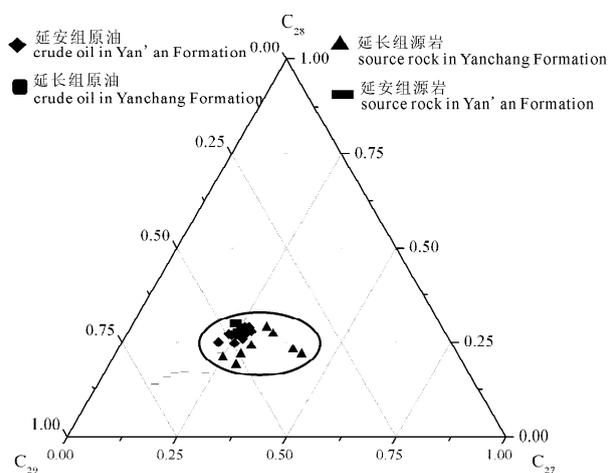


图 4 原油中不同碳数规则甾烷分布图

Fig. 4 Ternary diagram of C₂₇, C₂₈ and

C₂₉ sterane compositions of the crude oil samples

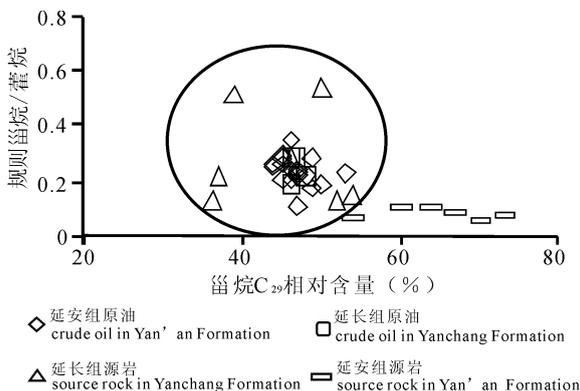


图 5 原油中规则甾烷/藿烷比值与甾烷 C₂₉ 相对含量相关图

Fig. 5 Cross plot of regular sterane/hopane ratios vs. C₂₉ sterane relative content of the crude oil samples

高等植物。已有的研究表明,三环萜烷 C₂₅/C₂₆ 比值在海相原油中 >1,陆相原油中 <1(Burwood et al., 1992),该比值在马岭原油中为 0.38~0.77 (表 3); C₂₄ 四环萜烷一般在陆源有机质中含量较高, C₂₅ 三环萜烷/ C₂₄ 四环萜烷比值在塔里木盆地海相原油中一般大于 1,在陆相原油中几乎都小于 1(Hanson et al., 2000),马岭油田原油中该比值分布在 0.39~0.72 之间,这些都反映了马岭油田原油成油母质具有更多的陆源有机质。在 C₂₄ 四环萜烷/(C₂₄ 四环萜烷+C₂₆ 三环萜烷)与三环萜烷/藿烷比值相关图(图 6)中,研究样品分布于一个较窄的范围内,说明

它们具有类似的成油母质。

2.2 原油的形成环境

Pr/Ph 比值可以反映原油烃源岩的形成环境(Moldowan et al., 1985)。马岭原油中 Pr/Ph 比值为 0.97~1.15(表 1),与柴达木盆地原油相比较,该比值较高,大部分样品中姥姣烷和植烷值处于均衡。柴达木盆地西部强还原环境形成的原油 Pr/Ph 比值为 0.51~0.64,柴达木盆地北部原油该比值为 1.98~4.67(Duan et al., 2006)。这说明马岭原油形成于淡水湖泊相弱还原环境。另一个证据是在图 3 中这些原油位于氧化和还原环境的交汇区域。原油中含 β-胡萝卜素,但是以痕迹存在(表 1),一般高 β-胡萝卜素存在于还原环境,这进一步说明马岭油

表 2 原油和烃源岩中甾烷分析数据

Table 2 Analytical data of steranes in the studied crude oils and source rocks

样号	规则甾烷含量(%)			规则甾烷/ 藿烷	重排甾烷/ 规则甾烷	4-甲基甾烷/ 规则甾烷	C ₂₉ 20S/ (20S+20R)	C ₂₉ ββ/ (αα+ββ)	Dia-C ₂₉ 20S/ (20S+20R)
	C ₂₇	C ₂₈	C ₂₉						
M15	28	28	44	0.26	0.13	0.13	0.52	0.56	0.57
M14	26	27	47	0.22	0.12	0.11	0.50	0.57	0.58
M22	27	27	46	0.24	0.12	0.13	0.52	0.60	0.60
M18	26	27	47	0.24	0.15	0.13	0.51	0.58	0.52
M36	27	28	45	0.28	0.11	0.11	0.52	0.57	0.50
M31	25	27	48	0.22	0.11	0.13	0.49	0.55	0.52
M33	26	28	46	0.35	0.09	0.09	0.54	0.57	0.55
M29	26	28	46	0.21	0.10	0.12	0.49	0.55	0.53
M27	24	27	49	0.17	0.12	0.11	0.48	0.52	0.58
M34	27	26	47	0.11	0.17	0.15	0.51	0.51	0.55
M4	26	28	46	0.21	0.11	0.13	0.50	0.57	0.55
M12	25	28	47	0.23	0.12	0.12	0.50	0.58	0.57
M3	25	25	50	0.18	0.13	0.13	0.49	0.56	0.56
M7	26	27	47	0.22	0.12	0.17	0.48	0.56	0.52
M11	22	25	53	0.23	0.13	0.08	0.50	0.56	0.46
M2	26	29	45	0.26	0.15	0.11	0.50	0.57	0.58
M9	23	27	49	0.28	0.15	0.13	0.52	0.61	0.52
M23	25	28	47	0.24	0.12	0.11	0.52	0.58	0.55
M38	26	29	45	0.21	0.12	0.11	0.49	0.55	0.56
M39	27	29	44	0.25	0.13	0.11	0.51	0.56	0.56
M40	26	29	45	0.29	0.13	0.12	0.51	0.59	0.58
C13	25	29	46	0.28	0.12	0.13	0.51	0.58	0.46
E-9	23	30	47	0.19	0.14	0.21	0.53	0.58	0.52
Zh-1	23	30	47	0.28	0.16	0.20	0.51	0.60	0.54
Zh-6	25	27	48	0.22	0.16	0.19	0.52	0.58	0.58
S-25	42	22	36	0.13	0.56	0.15	0.55	0.52	0.58
S-10	40	23	37	0.22	0.60	0.09	0.53	0.54	0.60
S-24	29	19	52	0.13	0.61	0.12	0.53	0.51	0.56
R-1	30	24	46	0.28	0.48	0.21	0.54	0.52	0.58
S-35	29	21	50	0.53	0.39	0.10	0.47	0.61	0.56
S-29	31	29	40		0.32	0.00	0.41	0.57	0.60
S-30	33	27	40	0.51	0.41	0.14	0.45	0.58	0.56
S-7-2	25	21	54	0.15	0.26	0.15	0.52	0.47	0.57
S-42	24	22	54	0.07	0.23	0.13	0.44	0.37	0.60
S-44	13	14	73	0.08	0.22	0.10	0.42	0.41	0.58
S-45	18	17	65	0.11	0.21	0.12	0.44	0.40	0.56
S-37	15	16	69	0.05	0.20	0.13	0.45	0.43	0.59
S-38	23	17	60	0.11	0.72	0.09	0.46	0.43	0.58
S-46	16	17	67	0.09	0.15	0.16	0.44	0.35	0.57

田原油形成于弱还原环境。

伽玛蜡烷和升藿烷具有指示沉积环境的作用,原油高丰度的伽玛蜡烷和升藿烷一般与高盐度沉积环境有关(Moldowan et al., 1985; Fu et al., 1986; Philp et al., 1991;段毅等,2004)。马岭油田原油伽玛蜡烷/ $\alpha\beta$ -C₃₀藿烷比值分布在 0.029~0.035 之间,>C₃₀藿烷相对含量分布在 19%~24% 之间(表 3)。柴达木盆地西部盐湖相成因的原油中伽玛蜡烷/ $\alpha\beta$ -C₃₀藿烷比值和>C₃₀藿烷相对含量分

别为 0.27%~1.00%和 26.3%~51.3%,柴达木盆地北部淡水湖相成因的原油中这两个参数分别为 0.03%~0.08%和 30.0%~36.5%(Duan et al., 2006)。相比之下,马岭油田原油中这些值都很低,并且与柴达木盆地北部淡水湖相成因原油的相近,说明马岭油田原油形成于淡水湖泊环境。

2.3 原油的成熟度

原油的成熟度是研究其成因的一个重要指示,许多生物标示化合物参数可以用来确定研究原油的

表3 原油和烃源岩中萜烷分析数据

Table 3 Analytical data of terpanes in the studied crude oils and source rocks

样号	A	三环萜烷		B	C	D	藿烷相对含量(%)			Ts/Tm	E	F	G	H	I
		C ₁₉₊₂₀ /C ₂₃	C ₂₅ /C ₂₆				C ₂₇₊₂₉	C ₃₀	>C ₃₀						
M15	0.50	0.72	0.44	0.064	0.47	0.052	40	40	20	0.97	0.035	0.17	0.53	0.59	0.10
M14	0.43	0.81	0.42	0.046	0.50	0.039	38	43	19	0.80	0.030	0.13	0.39	0.61	0.06
M22	0.49	0.85	0.44	0.053	0.47	0.046	40	41	19	0.89	0.032	0.15	0.50	0.60	0.08
M18	0.58	0.83	0.48	0.053	0.46	0.051	39	39	22	1.31	0.032	0.15	0.83	0.60	0.11
M36	0.61	0.75	0.48	0.072	0.44	0.060	41	39	20	0.90	0.033	0.19	0.38	0.60	0.09
M31	0.57	0.82	0.55	0.040	0.49	0.038	38	42	20	0.77	0.035	0.12	0.50	0.59	0.07
M33	0.53	0.66	0.44	0.062	0.45	0.048	40	40	20	0.79	0.034	0.15	0.68	0.59	0.11
M29	0.52	0.78	0.50	0.043	0.49	0.033	37	42	21	0.77	0.033	0.11	0.35	0.61	0.06
M27	0.64	0.71	0.77	0.037	0.55	0.031	35	41	24	0.64	0.022	0.09	0.27	0.59	0.05
M34	0.44	0.71	0.48	0.030	0.52	0.028	39	42	20	0.65	0.031	0.08	0.23	0.59	0.04
M4	0.48	0.80	0.42	0.049	0.47	0.041	38	42	20	0.80	0.030	0.13	0.53	0.60	0.08
M12	0.48	0.72	0.42	0.045	0.47	0.037	38	43	20	0.85	0.033	0.12	0.48	0.59	0.07
M3	0.47	0.77	0.48	0.037	0.51	0.032	37	42	21	0.79	0.029	0.10	0.46	0.60	0.06
M7	0.46	0.70	0.39	0.050	0.46	0.042	39	41	20	0.82	0.032	0.13	0.41	0.62	0.08
M11	0.72	0.72	0.65	0.043	0.48	0.051	37	41	22	0.96	0.030	0.13	0.34	0.59	0.07
M2	0.57	0.74	0.43	0.062	0.43	0.048	41	40	19	0.81	0.033	0.16	0.60	0.59	0.10
M9	0.75	0.99	0.51	0.058	0.40	0.063	39	41	20	1.04	0.039	0.19	0.64	0.60	0.13
M23	0.50	0.60	0.41	0.070	0.45	0.053	42	39	19	0.70	0.034	0.16	0.43	0.60	0.09
M38	0.42	0.77	0.38	0.049	0.47	0.045	40	40	20	0.83	0.030	0.13	0.40	0.59	0.07
M39	0.54	0.72	0.38	0.071	0.42	0.058	41	40	20	0.91	0.035	0.19	0.70	0.60	0.12
M40	0.48	0.72	0.40	0.073	0.46	0.063	42	39	19	0.99	0.041	0.19	0.72	0.61	0.13
C13	0.61	0.67	0.49	0.086	0.45	0.072	37	40	23	0.76	0.046	0.23	0.64	0.59	0.06
E-9	0.50	0.44	0.42	0.08	0.45	0.04	33	43	24	0.93	0.04	0.25	0.47	0.58	0.08
Zh-1	0.50	0.64	0.30	0.09	0.38	0.08	35	42	23	0.76	0.06	0.36	0.79	0.59	0.06
Zh-6	0.38	0.58	0.25	0.05	0.40	0.04	31	46	23	0.92	0.04	0.23	0.19	0.59	0.07
S-25	0.34	1.71	0.61	0.033	0.64	0.084	38	33	29	3.61	0.064	0.11	0.71	0.59	0.11
S-10	0.54	0.91	0.26	0.056	0.33	0.143	40	32	27	4.93	0.052	0.18	1.37	0.58	0.20
S-24	0.16	3.03	0.68	0.042	0.81	0.084	39	31	30	0.70	0.052	0.14	0.59	0.60	0.13
R-1	0.50	1.56	0.33	0.06	0.40	0.09	30	39	31	3.89	0.08	0.29	0.63	0.56	0.12
S-35	1.23	1.45	0.52	0.098	0.30	0.128	36	33	31	2.51	0.118	0.28	2.11	0.61	0.28
S-30	0.92	2.54	0.52	0.099	0.36	0.328	61	28	10	2.06	0.07	1.19	14.46	0.68	8.40
S-7-2	0.70	1.46	0.70	0.052	0.50	0.053	31	38	31	1.02	0.046	0.16	0.13	0.59	0.07
S-42	0.37	0.77	0.54	0.068	0.59	0.021	37	28	35	0.06	0.030	0.10	0.08	0.59	0.12
S-44	0.22	3.61	0.85	0.018	0.83	0.017	37	28	35	0.03	0.011	0.05	0.13	0.58	0.10
S-45	0.25	2.26	0.50	0.056	0.66	0.028	37	29	34	0.06	0.022	0.12	0.31	0.60	0.19
S-37	0.17	3.14	0.56	0.006	0.76	0.011	34	26	40	0.03	0.015	0.02	0.04	0.58	0.27
S-38	0.33	3.14	0.74	0.024	0.69	0.026	38	29	33	0.06	0.023	0.07	0.22	0.60	0.13
S-46	0.17	3.75	0.72	0.017	0.81	0.018	42	30	28	0.04	0.028	0.06	0.10	0.57	0.07

注: A—C₂₅三环萜烷/C₂₄四环萜烷; B—C₂₃三环萜烷/(C₂₃三环萜烷+C₃₀藿烷); C—C₂₄四环萜烷/(C₂₄四环萜烷+C₂₆三环萜烷); D—C₂₉三环萜烷/(C₂₉三环萜烷+C₃₀藿烷); E—伽玛蜡烷/ $\alpha\beta$ -C₃₀藿烷; F—三环萜烷/ Σ 藿烷; G—二环萜烷/ Σ 藿烷; H—C₃₁22S/(22S+22R); I—松香类/ $\alpha\beta$ -C₃₀藿烷。

成熟度。马岭油田原油 C₂₉ 甾烷 20S/(20S+20R) 和 $\beta/(\alpha+\beta)$ 比值分别为 0.48~54 和 0.52~0.61 (表 1), 并且在图 7 中, 马岭油田原油分布在较小的范围内。一般来说, 原油中这两个参数大于 0.4 就为成熟原油 (Huang et al., 1991), 表明马岭油田原油均为成熟原油。另外, 重排甾烷/规则甾烷、C₂₉ 重排甾烷 20S/(20S+20R)、C₂₉ 三环萜烷/(C₂₉ 三环萜烷+C₃₀ 藿烷) 和 C₃₁ 藿烷 22S/(22S+22R) 都已用来

研究原油的成熟度 (Li et al., 1998; Zhang et al., 2000; Hanson et al., 2000; 段毅等, 2004)。原油中重排甾烷的相对含量随成熟度增加, 是一个很好的成熟度指标, 虽然人们已经注意到了粘土含量较低的碳酸盐岩和蒸发盐岩含低的重排甾烷 (Mello et al., 1988, Peters and Moldowan, 1993)。这是因为所研究原油的源岩性质均相同 (见下文讨论), 因此

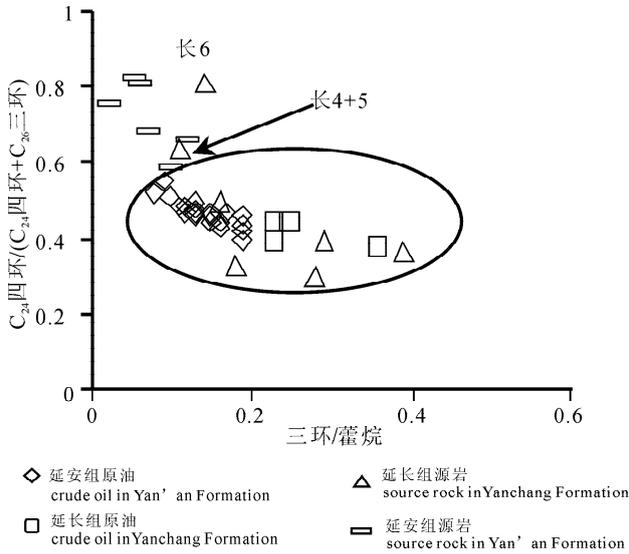


图 6 原油中 C_{24} 四环萜烷/(C_{24} 四环萜烷 + C_{26} 三环萜烷)与三环萜烷/藿烷比值相关图

Fig. 6 Cross plot of C_{24} tetracyclic terpane/ (C_{24} tetracyclic terpane + C_{26} tricyclic terpane) vs. C_{23} tricyclic terpane/ hopane ratios of the crude oil samples

该比值主要反映了原油的成熟度。马岭油田原油中重排甾烷/规则甾烷比值分布在 0.10~0.15 之间,与柴达木盆地北部淡水湖泊相成熟原油的相近(0.25~0.35; 段毅等, 2006); C_{29} 重排甾烷 20S/(20S+20R)、 C_{31} 藿烷 22S/(22S+22R) 比值分别为 0.46~0.64 和 0.58~0.62, 这些比值大都达到了平衡值; 马岭油田原油中 C_{29} 三环萜烷/(C_{29} 三环萜烷 + C_{30} 藿烷) 比值为 0.028~0.072, 类似于塔里木盆地陆相成熟原油(Zhang et al., 2000); 正构烷烃不存在奇偶优势, OEP 为 1.00~1.07, 接近于 1。这些参数均反映了成熟原油的特征。

2.4 油源对比

为了进行油源对比,我们对延安组延 4+5 至延 9 和延长组长 4+5 至长 7 潜在在源岩进行了生物标志化合物分析,结果列于表 1~3 和图 2~7。延安组烃源岩 S37 样品为煤, S38、S42、S44 为碳质泥岩,其他样品为黑色泥岩; 延长组烃源岩除了 S29 样品为油页岩外,其他样品均为黑色泥岩。由表 1 和图 2 可知,延安组潜在在源岩的正构烷烃和类异戊二烯烷烃组成与马岭油田原油的明显不同,前者具有较高的 Pr/Ph 比值; 但是延长组的长 7 和黄 27 井长 6 与马岭油田原油的相似,长 4+5 和耿 187 井长 6 与马岭油田原油的明显不同。规则甾烷含量和甾烷成熟度参数 [C_{29} 20S/(20S+20R) 和 $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$] 是重

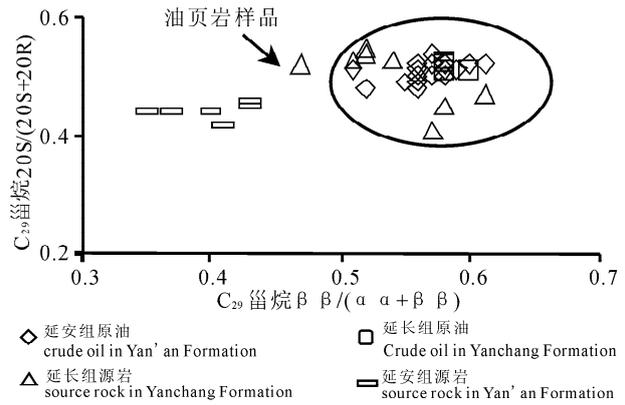


图 7 原油中 C_{29} 甾烷 20S/20S+20R 与 $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 比值相关图

Fig. 7 Cross plot of C_{29} sterane 20S/20S+20R vs. $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ ratios of the crude oil samples

要的油源对比指标。与其他样品相比较,延安组潜在在源岩含有较多的 C_{29} 规则甾烷(表 2 和图 4),其规则甾烷的组成与马岭油田原油的完全不同,延长组烃源岩的规则甾烷组成与马岭油田原油的相似。延安组潜在在源岩的甾烷 C_{29} 20S/(20S+20R) 和 $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 值比马岭油田原油的低,特别是 C_{29} $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 比值; 可是,延长组烃源岩的该比值与马岭油田原油的相似(表 2 和图 7)。规则甾烷/藿烷比值在这次油源对比研究中也是有意义的,该比值在延安组烃源岩中低(0.05~0.11),在延长组烃源岩中高(0.13~0.53),后者与马岭油田原油的(0.11~0.28)相似(表 2 和图 5)。延安组烃源岩中萜烷的 C_{24} 四环萜烷/(C_{24} 四环萜烷 + C_{26} 三环萜烷) 比值较低,三环萜烷/藿烷比值较高,延长组烃源岩中这些比值与延安组烃源岩的相反,但是与马岭油田原油的相似(表 3 和图 6)。从上述资料可以看出,马岭油田原油主要产于长 7 烃源岩,部分产于长 6 烃源岩具有可对比性,这说明马岭油田原油主要来自长 7 烃源岩,部分可以来自长 6 烃源岩。另一个证据是马岭油田原油的上述生物标志化合物组成与长 7 和长 8 原油的相似(表 1~2 和图 3~7),后者已经证明主要来自长 7 烃源岩(段毅等, 2006)。油源这种对比结果与鄂尔多斯盆地中生界延安组(J_1)和延长组(T_3)两套烃源岩的地质与生烃能力研究是一致的。已有的研究表明,延安组为湖沼环境下形成的烃源岩,包括煤层、碳质泥岩和暗色泥岩,虽然它们具有较高的有机碳含量,但是烃转化率低,有机质类型主要为腐植型,成熟度较低($R_o = 0.53\% \sim 0.65\%$;

Wang et al., 1995), 因此形成工业性油藏的可能性小。延长组烃源岩形成于淡水湖泊, 特别是延长组中部(长4+5—长8)烃源岩形成于浅湖—半深湖, 发育有暗色泥岩、碳质泥岩和油页岩烃源岩。该烃源岩有机碳含量较高, 主要分布在0.6%~6.0%之间; 有机质类型为混合型; 有机质已成熟, R_o 值主要分布在0.70%~0.96%之间(未发表资料), 从而延长组应是马岭油田原油可能的烃源岩。其中下部长7生油层组, 为湖盆发育全盛期生物, 生油性能明显好于其他层段, 是马岭油田原油的主力烃源岩。

3 结论

马岭油田是鄂尔多斯盆地发现最早的油田之一, 它是大陆河流相油气藏的典型代表, 认识这类油藏原油的成因对揭示该油藏的形成规律, 指导鄂尔多斯盆地侏罗系石油勘探和开发都是非常重要的。可是, 以往对马岭油田原油及其烃源岩地球化学研究很少, 原油的成因更多的依靠地质推测。本文对马岭油田系统采样, 进行生物标志化合物研究, 发现马岭油田各区块和各层位原油具有相似的地球化学特征, 反映了它们来自同一油源。原油的甾烷以 C_{29} 含量较高, 含有较多的二环萜烷、四环萜烷, 存在具有松香烷结构的三环萜烷, 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。大部分原油中姥姣烷和植烷值处于均衡, β -胡萝卜烷以痕迹存在, 反映了原油形成于弱还原环境; 原油中伽玛蜡烷和 $>C_{30}$ 藿烷含量很低, 指示了原油形成于淡水环境。原油中 C_{29} 甾烷和 C_{31} 藿烷异构体参数接近或达到平衡值, 重排甾烷/规则甾烷和 T_s/T_m 比值较高, 正构烷烃CPI值接近于1, 说明原油为成熟原油。油源对比表明, 马岭油田原油不可能来自延安组烃源岩, 主要来自长7烃源岩, 部分可以来自长6烃源岩。

参 考 文 献

- 段毅, 王智平, 张晓宝, 张辉, 周世新. 2003. 柴达木盆地西部原油极性化合物特征及其地球化学意义. 地质学报, (3): 414~422.
- 段毅, 王智平, 张辉, 吴保祥, 王传远, 孟自芳, 张晓宝, 周世新. 2004. 柴达木盆地原油烃类地球化学特征. 石油实验地质, 26(4): 359~364.
- 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其成因. 地质学报, 80(2): 301~310.
- Aquino Neto F R, Trendel J M, Restle A, Connan J, Albrecht P. 1983. Occurrence and formation of tricyclic and tetracyclic terpanes in sediments and petroleum. In: Bjorøy M, et al., Advances in Organic Geochemistry 1981. John Wiley, ed. Chichester, 659~667.
- Connan J, Cassou A M. 1980. Properties of gases and petroleum liquids derived from terrestrial kerogen at various maturation levels. Geochimica et Cosmochimica Acta, 44: 1~23.
- Duan Y, Ma L H. 2001. Lipid geochemistry in a sediment core from Ruergai Marsh deposit (Eastern Qinghai-Tibet plateau, China). Organic Geochemistry, 32: 1429~1442.
- Duan Yi, Zheng Chaoyang, Wang Zhiping, Wu Baoxiang, Wang Chuanyuan, Zhang Hui, Zhang Xiaobao, Qian Yaorong, Zheng Guodong. 2006. Biomarker geochemistry of crude oils from Qaidam basin, northwestern China. J. Petrol. Geol., 29(2): 175~188.
- Fu J G, Sheng P, Peng S C, Brassell S C, Eglinton G. 1986. Peculiarities of salt lake sediments as potential source rocks in China. Organic Geochemistry, 10: 119~126.
- Hanson A D, Zhang S C, Moldowan J M, Liang D G, Zhang B M. 2000. Molecular organic geochemistry of the Tarim basin, Northwest China. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 84: 1109~1128.
- Huang D F, Li J C, Zhang D J, Huang X M, Zhou Z H. 1991. Maturation sequence of Tertiary crude oils in the Qaidam Basin and its significance in petroleum resource assessment. Journal of Southeast Asian Earth Science, 5: 359~366.
- Li M W, Lin R Z, Liao Y S, Snowdon L R, Wang P R, Li P L. 1999. Organic geochemistry of oils and condensates in the Kekeya field, southwest depression of the Tarim basin (China). Organic Geochemistry, 30: 15~37.
- Moldowan J M, Seifert W K, Gallegos E J. 1985. Relationship between petroleum composition and depositional environment of petroleum source rocks. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 69: 1255~1268.
- Peters K E, Moldowan J M. 1993. The Biomarker Guide: Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall, 1~363.
- Peters K E, Fraser T H, Amris W, Rustanto B, Hermanto E. 1999. Geochemistry of crude oils from eastern Indonesia. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 83(12): 1927~1942.
- Philp R P, Fan P, Lewis C A, Li J, Zhu H, Wang H. 1991. Geochemical characteristics of oils from Chaidamu, Shanganning and Jiangnan basins, China. Journal of Southeast Asian Earth Science, 5: 351~358.
- Robinson N, Eglinton G, Brassell S C, Cranwell P A. 1984. Dinoflagellate origin for sedimentary 4 α -methylsteroids and 5 α (H) stanols. Nature, 308: 439~441.
- Seifert W K, Moldowan J M. 1978. Application of steranes, terpanes and monoaromatics to the maturation, migration and source of crude oils. Geochimica et Cosmochimica Acta, 42: 77~95.
- 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. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 11: 277~288.

Zhang S C, Hanson A D, Moldowan J M, Graham S A, Liang D G,

Chang E, Fago F. 2000. Paleozoic oil-source rock correlations in the Tarim basin, NW China. *Organic Geochemistry*, 31: 273~286.

Study on Genesis of Crude Oil in the Yan'an Formation of the Maling Oilfield, Ordos Basin

DUAN Yi, ZHANG Shengbin, ZHENG Zhaoyang, WU Baoxiang

Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu Province, 730000

Abstract

Maling oilfield is one of the earliest-discovered oilfields in the Ordos basin. It is also typical representative of the pool reservoir land fluvial sandstones. However, previous study on geochemistry of crude oils and source rocks in the Maling oilfield is not enough and the genesis of crude oil depends mainly on geology suppositions. In this paper, 21 crude oils from the Maling oilfield and 14 source rocks in the Ordos Basin have been systematically analyzed and geochemical characteristics of biomarkers in these samples have been studied. The distribution and composition of the biomarkers indicate that the crude oils were formed under weak reducing fresh water lacustrine environments. Besides algae, land higher plants have also made important contribution. The studied crude oils are fully developed. The comparison study shows that source the crude oils of the Maling oilfield are derived from Yanchang Formation source rocks, especially from Chang-7 subformation.

Key words: Ordos basin; crude oil and source rock; biomarker; characteristics of composition and distribution; genesis