

文章编号: 1000-0550(2011)05-1002-08

鄂尔多斯盆地董志—正宁地区原油 地球化学特征与成因^①

段毅¹ 马春林² 余永进² 刘军锋² 刘一仓³ 何金先¹
吴保祥¹ 徐丽¹ 张晓丽¹

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所油气资源研究重点实验室 兰州 730000;

2. 长庆油田分公司第二采油厂 甘肃庆阳 745000; 3. 长庆油田分公司第四超低渗项目部 甘肃庆阳 745000)

摘要 鄂尔多斯盆地董志—正宁地区是该盆地中生界油气勘探新区,对该地区原油的地球化学进行研究,了解原油的成因,可以为该地区石油勘探和开发提供科学依据。本研究首次对采集于董志—正宁地区原油和鄂尔多斯盆地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。原油中各类烃类生物标志化合物分布和组成特征指示了原油形成于淡水弱还原环境;油源对比研究反映了董志—正宁地区原油主要来自长7烃源岩。

关键词 鄂尔多斯盆地 董志—正宁地区原油 生物标志化合物 分布和组成特征 成因

第一作者简介 段毅 男 1956年出生 博士 研究员 有机地球化学 E-mail: duany@lzb.ac.cn

中图分类号 P593 文献标识码 A

鄂尔多斯盆地董志—正宁地区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),该地区油气勘探程度较低。近几年,在董志—正宁地区的油气勘探获得重要突破,西89、宁21、宁51、宁52、宁102等井在中生界长2油层组获得了工业油流,这充分说明董志—正宁地区中生界具有较大的勘探潜力,有望成为长庆油田增储上产的接替区块和层位。但是时至今日,有关董志—正宁地区原油的成因尚不清楚。该问题的解决将对鄂尔多斯盆地董志—正宁地区中生界石油勘探具有重要的指导意义。本文系统采集了董志—正宁地区原油及其烃源岩样品,分析了它们的生物标志化合物,研究了原油的成因,并且进行了油源对比。这些研究有助于了解该地区油藏的成因,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2009年6月份采集,原油来自鄂尔多斯盆地董志—正宁地区(图1),烃源岩样品主要采集于鄂尔多斯盆地董志—正宁地区及其西部地区。分析方法包括:先将原油沉淀沥青质,然后沉淀沥青质原油在氧化铝/硅胶柱色谱上分离出饱和烃。饱和烃的分析鉴定是在美国安捷伦科技公司(Agilent)制造的色谱(6890N)—质谱(5973N)联用仪上进行的。

^①中国科学院支甘项目、国家自然科学基金项目(批准号:40872092 #0772069)和“973”项目(编号:2005CB422105)资助。
收稿日期:2010-11-05; 收修改稿日期:2011-01-15

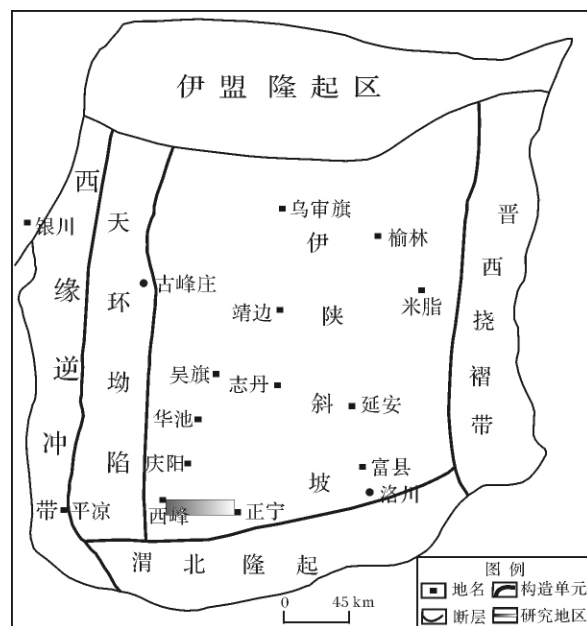


图1 研究地区构造位置

Fig. 1 Tectonic sketch map location of the study area

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℃,并且恒温30 min。质谱离子源温度为250℃,电离电压为70 eV。

2 结果与讨论

2.1 原油的母源来源

正构烷烃色谱特征蕴含了丰富的沉积环境、生源构成、保存条件和热演化的信息^[1-3]。鄂尔多斯盆地董志—正宁地区原油中正构烷烃碳数分布在 C₁₁ ~ C₃₇ 之间; 主峰碳为 C₁₅、C₁₇ 和 C₁₉; C₂₁₋/C₂₁₊ 为 0.92 ~ 1.40, OEP 分布在 1.02 ~ 1.11 之间(表 1), 说明原油

由水生生物和陆生植物混合母质构成。从图 2 可以看出, 董志—正宁地区原油样品分布在一个狭窄的区域内, 说明原油中正构烷烃、类异戊二烯烷烃分布极为相似, 反映了它们来自一个类似的生物源^[4-6]。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。董志—正宁地区原油中 Pr/nC₁₇ 和 Ph/nC₁₈ 比值分布特征指示了原油母质为混合型^[2,7,8](图 3)。

表 1 原油和烃源岩中正构烷烃、类异戊二烯烷烃分析数据

Table 1 Analytical data of *n*-alkanes and isoprenoid alkanes of the crude oil and source rock samples

井号	层位	碳数范围	主峰碳数	OEP	C ₂₁₋ /C ₂₂₊	Pr/Ph	Pr/nC ₁₇	Ph/nC ₁₈
原油								
庄 125	长 7	C ₁₁ ~ C ₃₇	C ₁₉	1.11	0.93	0.95	0.95	0.91
宁 33	长 7	C ₁₁ ~ C ₃₇	C ₁₅	1.06	1.01	0.96	0.78	0.75
宁 43	长 7	C ₁₁ ~ C ₃₇	C ₁₅	1.05	1.03	0.97	1.06	0.99
宁 45	长 7	C ₁₁ ~ C ₃₇	C ₁₅	1.05	1.35	0.98	0.73	0.72
宁 49	长 2	C ₁₁ ~ C ₃₇	C ₁₅	1.04	1.33	1.01	0.62	0.63
宁 51	长 2	C ₁₁ ~ C ₃₇	C ₁₉	1.01	0.84	1.34	0.79	0.51
宁 52	长 2	C ₁₁ ~ C ₃₇	C ₁₉	1.05	1.22	1.39	0.56	0.38
宁 53	长 2	C ₁₂ ~ C ₃₇	C ₁₉	1.04	1.16	1.21	0.53	0.41
宁 102	长 2	C ₁₁ ~ C ₃₇	C ₁₉	1.06	0.92	1.14	0.84	0.66
宁 16	长 2	C ₁₁ ~ C ₃₇	C ₁₉	1.08	0.96	1.13	0.82	0.64
西 78	长 2	C ₁₁ ~ C ₃₇	C ₁₇	1.02	1.05	1.23	0.90	0.66
西 87-4	长 2	C ₁₁ ~ C ₃₇	C ₁₉	1.07	1.11	1.18	0.93	0.72
西 88-2	长 2	C ₁₁ ~ C ₃₇	C ₁₉	1.06	1.11	1.10	0.71	0.58
西 89	长 2	C ₁₁ ~ C ₃₇	C ₁₉	1.06	1.40	1.12	0.66	0.55
西 281-4	长 3	C ₁₁ ~ C ₃₇	C ₁₉	1.04	1.01	1.18	0.88	0.69
烃源岩								
宁 33 岩	长 7	C ₁₂ ~ C ₃₇	C ₁₇	1.02	1.44	0.91	0.86	0.92
宁 44 岩	长 7	C ₁₁ ~ C ₃₇	C ₁₉	1.03	0.97	1.23	0.76	0.55
宁 202 岩	长 7	C ₁₂ ~ C ₃₅	C ₁₅	1.11	2.12	1.30	0.49	0.39
西 52 岩	长 7	C ₁₂ ~ C ₃₇	C ₁₇	0.34	0.92	0.46	0.23	0.46
西 77 岩	长 7	C ₁₂ ~ C ₃₃	C ₁₅	1.00	2.13	1.44	0.39	0.28
固 8 岩	长 7	C ₁₂ ~ C ₃₇	C ₁₉	0.99	1.11	1.46	0.55	0.36
午 61	长 7	C ₁₂ ~ C ₃₆	C ₁₅	1.07	2.06	1.44	0.44	0.39
庄 42	长 7	C ₁₁ ~ C ₃₅	C ₁₆	1.04	2.29	1.33	0.41	0.33
岭 120 井	延 6	C ₁₂ ~ C ₃₆	C ₁₆	1.07	1.68	2.14	0.46	0.42

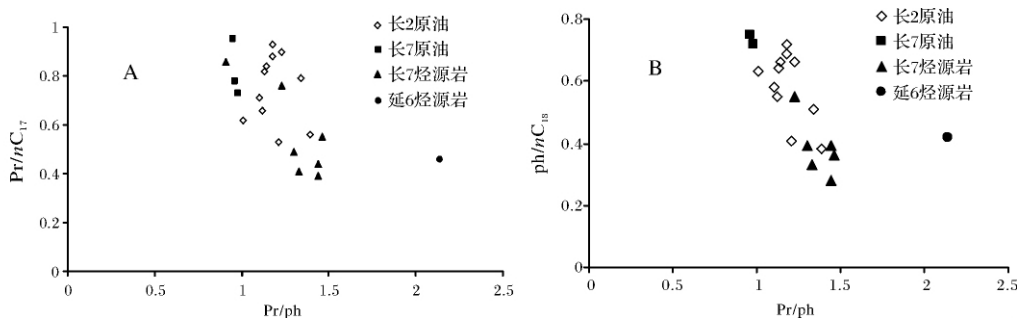


图 2 原油中 Pr/nC₁₇ 与 Pr/Ph (A) 和 Pr/nC₁₈ 与 Pr/Ph (B) 比值相关图

Fig. 2 Cross plots of Pr/nC₁₇ vs. Pr/Ph (A) and Pr/nC₁₈ vs. Pr/Ph (B) ratios of the crude oil samples

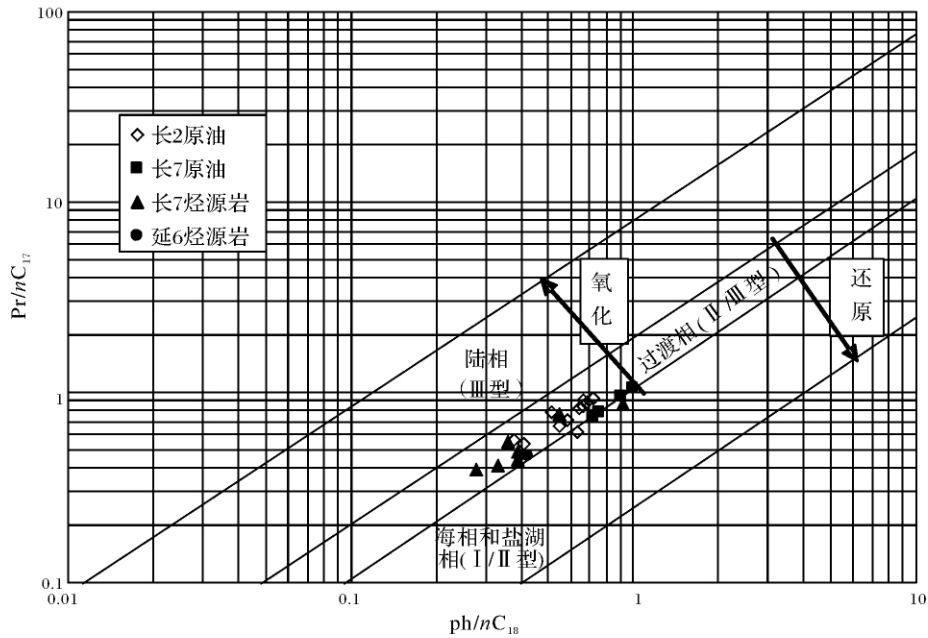


图3 原油中 Pr/nC₁₇与 Ph/nC₁₈比值相关图

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

表2 原油和烃源岩中甾烷分析数据

Table 2 Analytical data of steranes of the crude oil and source rock samples

样品	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						
原油									
庄125	24.6	26.2	49.3	0.18	0.18	0.12	0.50	0.53	0.50
宁33	23.6	28.7	47.7	0.25	0.23	0.15	0.52	0.59	0.55
宁43	22.1	27.4	50.5	0.16	0.18	0.13	0.50	0.56	0.52
宁45	25.9	29.3	44.8	0.26	0.24	0.14	0.55	0.58	0.56
宁49	24.2	28.1	47.8	0.25	0.18	0.16	0.51	0.59	0.50
宁51	26.4	29.7	43.9	0.25	0.22	0.14	0.52	0.55	0.50
宁52	27.1	28.6	44.3	0.26	0.19	0.14	0.49	0.53	0.45
宁53	28.2	29.4	42.4	0.26	0.26	0.14	0.54	0.56	0.52
宁102	25.7	26.1	48.2	0.19	0.23	0.14	0.53	0.58	0.56
宁16	25.8	26.9	47.3	0.18	0.24	0.15	0.51	0.56	0.51
西78	24.0	27.4	48.6	0.15	0.23	0.14	0.54	0.57	0.62
西87-4	24.7	26.6	48.8	0.20	0.26	0.14	0.53	0.59	0.53
西88-2	25.4	26.9	47.8	0.19	0.23	0.14	0.51	0.57	0.50
西89	25.3	26.4	48.3	0.19	0.24	0.15	0.54	0.58	0.50
西281-4	25.0	27.2	47.8	0.24	0.28	0.15	0.53	0.59	0.58
烃源岩									
宁33岩	30.8	28.7	40.4	0.37	0.37	0.16	0.56	0.57	0.60
宁44岩	27.7	20.8	51.4	0.12	0.34	0.16	0.55	0.54	0.59
宁202岩	29.4	25.1	45.5	0.17	0.20	0.16	0.53	0.53	0.46
西52岩	26.7	19.9	53.4	0.20	0.35	0.20	0.54	0.53	0.50
西77岩	30.7	23.2	46.1	0.22	0.22	0.16	0.54	0.54	0.58
固8岩	26.9	24.9	48.2	0.18	0.26	0.16	0.55	0.56	0.60
午61	33.0	27.0	39.0	1.26	0.41	0.14	0.55	0.58	
庄42	38.9	29.7	31.4	0.43	0.29	0.09	0.56	0.55	
岭120井	18.0	17.0	65.0	0.12	1.82	0.14	0.45	0.40	0.60

鄂尔多斯盆地董志—正宁地区原油中 C_{27} 、 C_{28} 和 C_{29} 规则甾烷的相对含量分别为 22.1% ~ 28.2%、26.1% ~ 29.4% 和 42.4% ~ 50.5%; 规则甾烷/藿烷比值在 0.15 ~ 0.26 之间(表 2)。这些值指示了董志—正宁地区原油中甾烷的分布特征是 C_{29} 规则甾烷含量最高, 其次为 C_{28} 规则甾烷, C_{27} 规则甾烷含量较低, 同时规则甾烷/藿烷比值也较高, 甾烷分布的这些特征反映了它们成油母质为水生生物和陆生高等植物^[3,9,10], 同时原油来自高等植物源占有重要的比例^[11,12]。在图 4 中, 这些样品分布于一个较窄的范围内, 并且研究区长 2 和长 7 原油的甾烷组成极为类似, 说明它们具有类似的成油母质。Robinson 等^[13] 研究认为, 4-甲基甾烷起源于甲藻类。可是, Philp 等^[3] 研究结果表明 4-甲基甾烷也可以来自细菌。董志—正宁地区原油中检出较丰富的 4-甲基甾烷, 4-甲基甾烷/规则甾烷比值分布在 0.12 ~ 0.16 之间。原油中含 4-甲基甾烷反映了甲藻类对原油的形成也作出了一定的贡献。

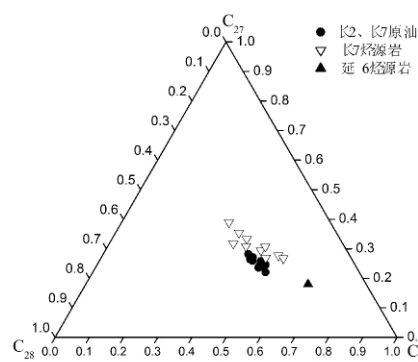


图 4 原油中不同碳数规则甾烷分布图
Fig. 4 Ternary diagram of C_{27} , C_{28} and C_{29} sterane compositions of the crude oil samples

原油中四环萜烷和三环萜烷的含量与母源性密切相关^[14,15], C_{24} 四环萜烷/(C_{24} 四环萜烷 + C_{26} 三环萜烷)、三环萜烷的 $C_{19} + C_{20} / C_{23}、C_{25} / C_{26}$ 和 C_{25} 三环萜烷/ C_{24} 四环萜烷比值可以判识原油形成的母质^[7,16]。

表 3 原油和烃源岩中萜烷分析数据

Table 3 Analytical data of terpanes of the crude oil and source rock samples

样品	井号	A	三环萜烷			B	C	D	藿烷相对含量/%				Ts/Tm	E	F	G	H	K	M
			C_{19+20} / C_{23}	C_{25} / C_{26}							C_{27+29}	C_{30}							
原油	庄 125	0.39	0.71	0.42	0.031	0.52	0.020	33.9	47.0	19.1	2.0	0.29	0.031	0.09	0.16	0.09	0.59	0.025	
	宁 33	0.57	0.72	0.53	0.064	0.48	0.043	34.4	43.0	22.6	2.8	0.52	0.048	0.17	0.47	0.07	0.57	0.059	
	宁 43	0.43	0.68	0.40	0.030	0.48	0.020	32.5	47.2	20.3	2.4	0.32	0.034	0.08	0.14	0.08	0.57	0.021	
	宁 45	0.47	0.71	0.48	0.064	0.50	0.043	31.6	44.2	24.2	2.9	0.59	0.046	0.17	0.54	0.07	0.55	0.071	
	宁 49	0.49	0.76	0.50	0.065	0.51	0.049	35.2	42.3	22.5	2.9	0.55	0.046	0.17	0.47	0.08	0.56	0.069	
	宁 51	0.55	0.80	0.52	0.120	0.49	0.060	33.1	40.9	25.9	2.6	0.65	0.040	0.29	0.92	0.08	0.56	0.136	
	宁 52	0.57	0.76	0.52	0.118	0.48	0.057	34.9	38.7	26.5	2.9	0.70	0.052	0.27	0.70	0.08	0.58	0.125	
	宁 53	0.54	0.82	0.55	0.122	0.50	0.062	39.4	38.8	21.8	2.6	0.64	0.031	0.40	1.40	0.10	0.55	0.247	
	宁 102	0.54	0.75	0.49	0.053	0.48	0.038	33.5	44.6	21.8	2.7	0.73	0.038	0.14	0.43	0.07	0.55	0.060	
	宁 16	0.54	0.63	0.42	0.050	0.44	0.023	34.2	44.4	21.4	2.4	0.76	0.035	0.13	0.36	0.07	0.58	0.051	
	西 78	0.55	0.61	0.41	0.049	0.43	0.030	34.7	45.4	19.9	2.4	0.58	0.036	0.13	0.30	0.08	0.58	0.045	
	西 87-4	0.56	0.69	0.41	0.061	0.42	0.038	35.2	43.6	21.1	2.4	0.84	0.044	0.16	0.53	0.07	0.56	0.074	
	西 88-2	0.51	0.65	0.41	0.050	0.45	0.034	34.4	44.2	21.4	2.8	0.75	0.041	0.13	0.39	0.07	0.58	0.054	
	西 89	0.57	0.67	0.40	0.056	0.41	0.039	34.8	43.7	21.5	2.6	0.82	0.036	0.15	0.46	0.07	0.58	0.066	
	西 281-1	0.48	0.73	0.43	0.064	0.47	0.051	35.4	41.9	22.7	2.9	0.88	0.051	0.17	0.60	0.07	0.56	0.083	
烃源岩	宁 33 岩	0.43	0.88	0.38	0.075	0.47	0.087	35.6	32.4	32.1	4.1	3.92	0.126	0.18	0.95	0.07	0.54	0.227	
	宁 44 岩	0.28	1.14	0.53	0.033	0.65	0.037	31.6	41.0	27.4	2.7	0.94	0.034	0.09	0.23	0.09	0.57	0.046	
	宁 202 岩	0.29	0.90	0.40	0.054	0.58	0.054	35.4	38.9	25.7	2.4	1.29	0.037	0.14	0.69	0.09	0.56	0.098	
	西 52 岩	0.32	2.12	0.73	0.031	0.70	0.025	27.8	35.8	36.4	4.2	1.34	0.055	0.08	0.64	0.09	0.58	0.079	
	西 77 岩	0.18	1.51	0.43	0.051	0.70	0.045	42.1	39.5	18.4	1.3	1.30	0.031	0.13	0.89	0.08	0.57	0.131	
	固 8 岩	0.46	0.78	0.45	0.081	0.49	0.057	35.5	37.3	27.2	3.3	0.98	0.039	0.19	0.50	0.07	0.56	0.117	
	午 61	0.92	2.54	0.52	0.330	0.36	0.330	61.4	28.3	10.4	-	2.06	0.004	1.19	11.77	0.21	0.58		
	庄 42	0.41	0.78	0.28	0.110	0.41	0.150	42.5	33.5	24.0	2.7	3.96	0.090	0.35	0.19	0.17	0.61		
	岭 120 井	0.23	2.57	0.96	0.032	0.81	0.020	42.0	29.0	29.0	0.026	0.05	0.031	0.08	0.26	0.28	0.59	0.11	

注: A: C_{25} 三环萜烷/ C_{24} 四环萜烷; B: C_{23} 三环萜烷/(C_{23} 三环萜烷 + C_{30} 藿烷); C: C_{24} 四环萜烷/(C_{24} 四环萜烷 + C_{26} 三环萜烷); D: C_{29} 三环萜烷/(C_{29} 三环萜烷 + C_{30} 藿烷); E: 伽玛蜡烷/ $\alpha\beta$ - C_{30} 藿烷; F: 三环萜烷/ Σ 藿烷; G: 二环萜烷/ Σ 藿烷; H: C_{30} 莫烷/ C_{30} 藿烷; K: $C_{31} 22S / (22S + 22R)$; M: 松香类/ $\alpha\beta$ - C_{30} 藿烷

董志—正宁地区原油中三环萜烷/藿烷比值除了一个样品为 0.40 外,其它原油样品分布在 0.08 ~ 0.29 之间,低的三环萜烷/藿烷比值指示了陆源高等植物对原油做出了重要贡献,董志—正宁地区原油中也检出了低丰度的具有松香烷结构的三环萜烷(图 5) 松香类/ $\alpha\beta$ - C_{30} 藿烷比值为 0.021 ~ 0.136,这类化合物来自陆源高等植物。三环萜烷 C_{25}/C_{26} 和 C_{25} 三环萜烷/ C_{24} 四环萜烷比值可以用来划分海陆相原油。 C_{24} 四环萜烷一般在陆源有机质中含量较高。

Hanson 等对塔里木盆地原油研究表明,海相原油中 C_{25} 三环萜烷/ C_{24} 四环萜烷比值大于 1,陆相原油中几乎都小于 1;原油中三环萜烷 C_{25}/C_{26} 比值 >1 ,一般指示了海相原油,该比值 <1 指示了陆相原油^[17]。在董志—正宁地区原油中,这两个比值分别为 0.40 ~ 0.53 和 0.39 ~ 0.57(表 3),反映了董志—正宁地区原油成油母质具有更多的陆源有机质。在图 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。

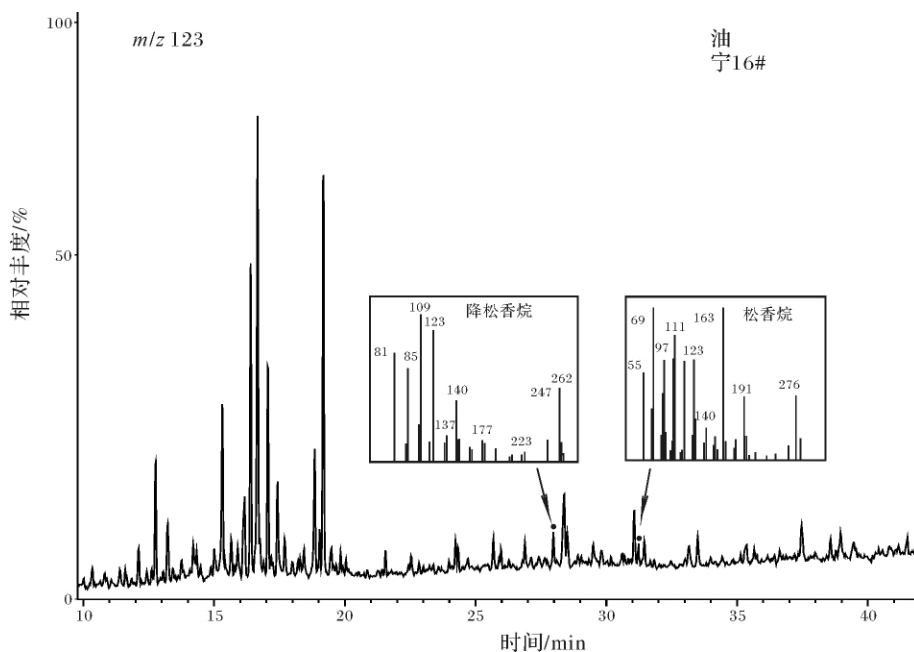


图 5 宁 16 原油饱和烃中 m/z 123 质量色谱图

Fig. 5 Mass chromatogram for m/z 123 of diterpenoid hydrocarbons in crude oil from the sample Ning 16

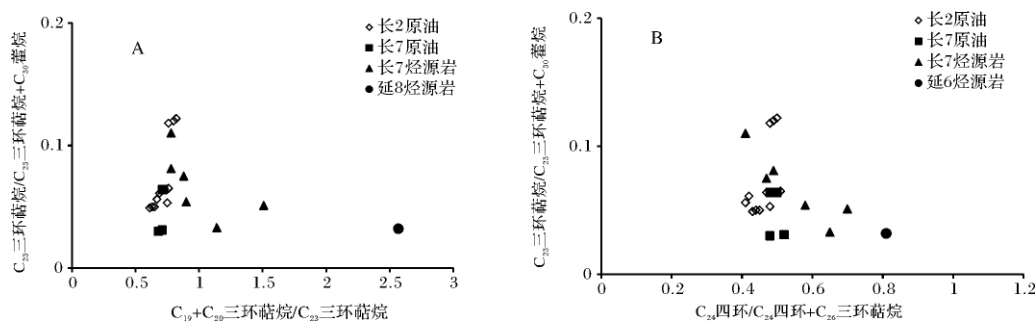


图 6 原油中 C_{23} 三环萜烷 / (C_{23} 三环萜烷 + C_{30} 藿烷) 与 C_{24} 四环 / (C_{24} 四环 + C_{26} 三环萜烷) (A) 和 C_{23} 三环萜烷 / (C_{23} 三环萜烷 + C_{30} 藿烷) 与 $C_{19} + C_{20}$ 三环萜烷 / C_{23} 三环萜烷 (B) 比值相关图

Fig. 6 Cross plot of C_{23} tricyclic terpane / (C_{23} tricyclic terpane + C_{30} hopane) vs. C_{24} tetracyclic terpane / (C_{24} tetracyclic terpane + C_{26} tricyclic terpane) ratios (A) and C_{23} tricyclic terpane / (C_{23} tricyclic terpane + C_{30} hopane) vs. $C_{19} + C_{20}$ tricyclic terpanes / C_{23} tricyclic terpane ratios (B) in the crude oil samples

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^[10]。鄂尔多斯盆地董志—正宁地区原油中 Pr/Ph 比值为 0.95 ~ 1.39(表 1), 与柴达木盆地西部强还原环境形成的原油 Pr/Ph 比值(0.51 ~ 0.64)相比较^[11], 董志—正宁地区原油中 Pr/Ph 比值属于中度, 说明董志—正宁地区原油形成于淡水湖泊相弱还原环境, 图 3 也说明了研究原油形成于这种环境。

许多研究都证明了伽马蜡烷和升霍烷可以指示沉积环境的盐度^[3, 10, 12, 18]。伽马蜡烷/ $\alpha\beta$ -C₃₀ 霍烷比值在董志—正宁地区原油中为 0.031 ~ 0.052, > C₃₀ 霍烷相对含量为 19.1% ~ 26.5% 之间(表 3 和图 7)。董志—正宁地区原油中这些值很低, 说明董志—正宁地区原油形成于淡水湖泊环境。

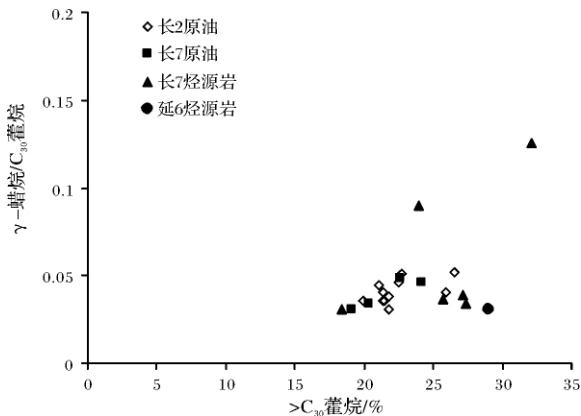


图 7 原油中 γ -蜡烷/ C_{30} 霍烷比值与 $> C_{30}$ 霍烷相对含量(%) 相关图

Fig. 7 Cross plot of gammacerane/ $\alpha\beta$ - C_{30} hopane ratio vs. relative abundance of $> C_{30}$ hopane of the crude oil samples

2.3 原油的成熟度

许多生物标志化合物参数可以用来确定研究原油的成熟度。鄂尔多斯盆地董志—正宁地区原油 C_{29} 甾烷 20S/(20S + 20R) 和 $\beta\beta / (\alpha\alpha + \beta\beta)$ 比值分别为 0.49 ~ 0.55 和 0.53 ~ 0.59(表 2), Huang 等^[19] 提出成熟原油中这两个参数大于 0.4, 图 8 指示董志—正宁地区原油均为成熟原油。图 9 为重排甾烷/规则甾烷与 C_{31} 霍烷 22S/(22S + 22R) 相关图, 图中原油样品分布在较小的范围内, 并且分布特征反映了原油均为成熟原油。另外, C_{29} 重排甾烷 20S/(20S + 20R) 和 C_{29} 三环萜烷/(C_{29} 三环萜烷 + C_{30} 霍烷) 比值都已用来研究原油的成熟度^[6, 12, 16]。董志—正宁地区原油中 C_{29} 重排甾烷 20S/(20S + 20R) 比值为 0.45 ~ 0.62, 该比值大都达到了平衡值; 董志—正宁地区原

油中 C_{29} 三环萜烷/(C_{29} 三环萜烷 + C_{30} 霍烷) 比值为 0.020 ~ 0.062, 类似于塔里木盆地陆相成熟原油^[16]; 正构烷烃不存在奇偶优势, OEP 为 1.01 ~ 1.11, 数值接近于 1, 这些参数均反映了成熟原油的特征。

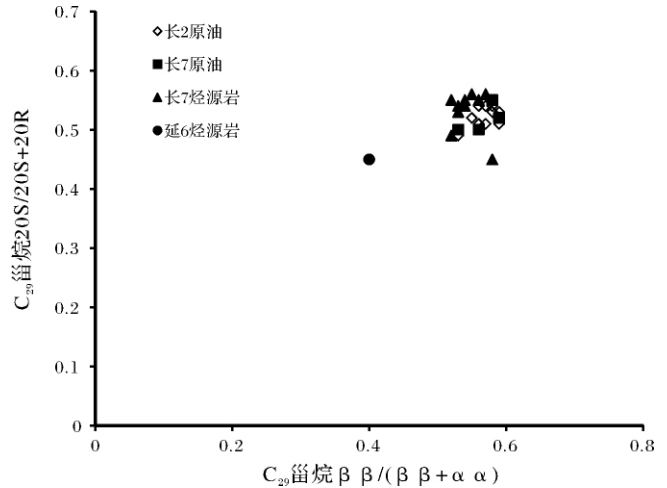


图 8 原油中 C_{29} 甾烷 20S/(20S + 20R) 与 $\beta\beta / (\alpha\alpha + \beta\beta)$ 比值相关图

Fig. 8 Cross plot of C_{29} sterane 20S/(20S + 20R) vs. $\beta\beta / (\alpha\alpha + \beta\beta)$ ratios of the crude oil samples

2.4 油源对比

为了进行油源对比, 我们对鄂尔多斯盆地延长组长 7 和延安组延 6 潜在烃源岩进行了生物标志化合物分析, 结果列于表 1 ~ 3 和图 2 ~ 8。所研究的延长组长 7 和延安组延 6 烃源岩均为黑色泥岩。由表 1 和图 2 可知, 延安组潜在烃源岩的正构烷烃和类异戊二烯烷烃组成与董志—正宁地区原油的明显不同, 前者具有较高的 Pr/Ph 比值; 可是延长组的长 7 烃源岩该比值与董志—正宁地区原油的相似。规则甾烷含量和甾烷成熟度参数 (C_{29} 甾烷 20S/(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是 C_{29} 甾烷含量很高(表 2 和图 4), 甾烷 C_{29} 甾烷 20S/(20S + 20R) 和 $\beta\beta / (\alpha\alpha + \beta\beta)$ 值低, 这些值与董志—正宁地区原油没有可对比性, 可是延长组烃源岩的该比值与董志—正宁地区原油的相似(表 2 和图 7)。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)、 C_{25}/C_{26} 三环萜烷和 C_{19+20}/C_{23} 三环萜烷比值较高, 三环萜烷/霍烷比值较高; 但是延长组烃源岩中这些比值与延安组烃源岩的相反, 与董志—正宁地区原油的相似(表 3 和图 5)。从上述资料可以看出, 董志—正宁地区原油主要与长 7 烃源岩具有亲缘关系, 说明董志—正宁地区原油主

要来自长7烃源岩。以前的研究已经证明了延安组烃源岩形成于湖沼环境,有机质为腐植型,烃转化率低,有机质成熟度较低^[20]($R_o = 0.53\% \sim 0.65\%$),因此形成工业性油藏的可能性小。延长组烃源岩形成于浅湖—半深湖,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)从而延长组应是董志—正宁地区原油可能的烃源岩。其中下部长7生油层组,为湖盆发育全盛期产物,生油性能明显好于其他层段,是董志—正宁地区原油的主力烃源岩。

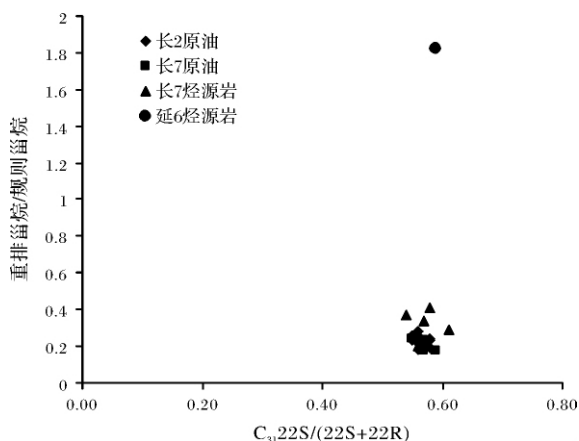


图9 原油中重排甾烷/规则甾烷比值与 $C_{31} 22S/(22S+22R)$ 相关图

Fig. 9 Cross plot of diasterane/regular steranes vs. C_{31} hopane 22S/(22S+22R) ratio of the crude oil samples

3 结论

鄂尔多斯盆地董志—正宁地区是鄂尔多斯盆地中生界油气勘探新区,以往对该地区原油及其烃源岩地球化学研究尚未见报道过,对该地区原油的成因知之甚少。本文对董志—正宁地区原油中生物标志化合物研究进行了较为系统地研究。该地区原油的甾烷以 C_{29} 含量较高,含有较多的四环萜烷,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。原油中类异戊二烯烷烃组成,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,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,董志—正宁地区原油主要来自长7烃源岩。

参考文献(References)

- Duan Yi, Zheng Chaoyang, Wang Zhiping, *et al.* Biomarker geochemistry of crude oils from Qaidam basin, northwestern China [J]. *Journal of Petroleum Geology*, 2006, 29(2): 175-188
- Peters K E, Fraser T H, Amris W, *et al.* Geochemistry of crude oils from eastern Indonesia [J]. *AAPG Bulletin*, 1999, 83(12): 1927-1942
- Philp R P, Fan P, Lewis C A, *et al.* Geochemical characteristics of oils from Qaidamu, Shanganning and Jiangnan basins, China [J]. *Journal of Southeast Asian Earth Science*, 1991, 5: 351-358
- 段毅, 吴保祥, 张辉, 等. 鄂尔多斯盆地西峰油田原油地球化学特征及其成因 [J]. *地质学报*, 2006, 80(2): 301-310 [Duan Yi, Wu Baoxiang, Zhang Hui, *et al.* Geochemistry and genesis of crude oils of the Xifeng Oilfield in the Ordos Basin [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006, 80(2): 301-310]
- Li M W, Yao H X, Fowler M G, *et al.* Geochemical constraints on models for secondary petroleum migration along the upper Devonian Rimbey-Meadow brook reef trend in central Alberta [J]. *Canada Organic Geochemistry*, 1998, 29: 163-182
- Li M W, Lin R Z, Liao Y S, *et al.* Organic geochemistry of oils and condensates in the Kekeya field, southwest depression of the Tarim basin (China) [J]. *Organic Geochemistry*, 1999, 30: 15-37
- Hanson A D, Zhang S C, Moldowan J M, *et al.* Molecular organic geochemistry of the Tarim basin, Northwest China [J]. *AAPG Bulletin*, 2000, 84: 1109-1128
- Connan J, Cassou A M. Properties of gases and petroleum liquids derived from terrestrial kerogen at various maturation levels [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1980, 44: 1-23
- Duan Y, Ma L H. Lipid geochemistry in a sediment core from Ruergai Marsh deposit (Eastern Qinghai-Tibet plateau, China) [J]. *Organic Geochemistry*, 2001, 32: 1429-1442
- 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
- 段毅, 王智平, 张晓宝, 等. 柴达木盆地西部原油极性化合物特征及其地球化学意义 [J]. *地质学报*, 2003, (3): 414-422 [Duan Yi, Wang Zhiping, Zhang Xiaobao, *et al.* Characteristics and geochemical significance of polar compounds in crude oils [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2003, (3): 414-422]
- 段毅, 王智平, 张辉, 等. 柴达木盆地原油烃类地球化学特征 [J]. *石油实验地质*, 2004, 6(4): 359-364 [Duan Yi, Wang Zhiping, Zhang Hui, *et al.* Geochemical characteristics of hydrocarbons in crude oils from the Qaidam basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2004, 6(4): 359-364]
- Robinson N, Eglinton G, Brassell S C, *et al.* Dinoflagellate origin for sedimentary 4 α -methylsteroids and 5 α (H) stanols [J]. *Nature*, 1984, 308: 439-441
- Aquino Neto F R, Trendel J M, Restle A, *et al.* Occurrence and Formation of Tricyclic and Tetracyclic Terpanes in Sediments and Petroleum [M] // Bjorøy M, *et al.* Ed. *Advances in Organic Geochemistry*

1981. John Wiley , Chichester , 1983: 659-667
- 15 Seifert W K , Moldowan J M. Application of steranes , terpanes and monoaromatics to the maturation , migration and source of crude oils [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta* , 1978 , 42: 77-95
- 16 Zhang S C , Hanson A D , Moldowan J M , *et al.* Paleozoic oil-source rock correlations in the Tarim basin , NW China [J]. *Organic Geochemistry* , 2000 , 31: 273-286
- 17 Burwood R , Leplat P , Mycke B , *et al.* Rifted margin source rock deposition: a carbon isotope and biomarker study of a West African lower Cretaceous " Lacustrine " section [J]. *Organic Geochemistry* , 1992 , 19(1-3) : 41-52
- 18 Fu J G , Sheng P , Peng S C , *et al.* Peculiarities of salt lake sediments as potential source rocks in China [J]. *Organic Geochemistry* , 1986 , 10: 119-126
- 19 Huang D F , Li J C , Zhang D J , *et al.* 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: 359-366
- 20 Wang H D , Allen J , Philp R P. An organic geochemical investigation of oils and source rocks from two Mesozoic formations of Shanganning basin , China [J]. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences* , 1995 , 11: 277-288

Geochemical Characteristics and Genesis of Crude Oil from Dongzhi-Zhengning Area of Ordos Basin

DUAN Yi¹ MA Chun-lin² YU Yong-jin² LIU Jun-feng² LIU Yi-cang³ HE Jin-xian¹
WU Bao-xiang¹ XU Li¹ ZHANG Xiao-li¹

(1. Key Laboratory of Gas Geochemistry; Institute of Geology and Geophysics; CAS , Lanzhou 730000;

2. The Second Oil Production Plant of Changqing Oilfield Company , Qingyang , Gansu 745000;

3. The fourth Project of Low Permeability of Changqing Oilfield Company , Qingyang , Gansu 745000)

Abstract Ordos basin is a large inner continental sedimentary basin in China , with an area of about $37 \times 10^4 \text{ km}^2$. It contains abundant Mesozoic crude oil resources with an reserve estimation of up to 10×10^8 metric tons of oil from Mesozoic reservoirs. These crude oils are derived nonmarine source rocks , so that it has also been used as a typical model of a nonmarine sedimentary basin generating oil. It contains six structural units. Stratigraphic sequences involving Mesozoic petroleum geology principally are Upper Triassic Yanchang Formation and Lower Jurassic Yanan Formation , which are both hydrocarbon source rocks and reservoirs of Mesozoic oils and gases in Ordos basin. Dongzhi - Zhengning area is a new Mesozoic petroleum exploration target in the Ordos basin. Understanding the genesis of oil from this area is very important for revealing the formation law of oil reservoir and guiding petroleum exploration and development in this area. However , the research on geochemistry of crude oils from Dongzhi-Zhengning area has been not performed and genesis of the oil is still known little. In this paper , biomarker compounds in oils from the region and Mesozoic source rock from Ordos basin were systematically analyzed. The genesis of the oil was discussed by studying the geochemical characteristics of these biomarker compounds. Similar geochemical features of oils from Dongzhi-Zhengning area suggest generation from a source with mixed terrigenous and algal-bacterial organic matter. The biomarker distributions of the oils show that they were formed under a weak reducing and freshwater environment. Molecular maturity parameters indicate that the crude oils are mature. The results of oil-source rock correlation showed that the oil was mainly derived from Chang-7 source rock.

Key words Ordos Basin; crude oil from Dongzhi-Zhengning area; biomarker compound; compositional and distributional characteristics; genesis