

文章编号: 0253-9985(2006)02-0218-07

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

郭艳琴, 李文厚, 陈全红, 曹红霞, 张道锋

(西北大学 地质学系, 大陆动力学国家重点实验室, 陕西 西安 710069)

摘要: 原油族组成、碳同位素、饱和烃气相色谱及萜烷、甾烷等生物标志化合物特征分析显示, 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相近, 为低成熟-成熟原油。原油饱和烃含量在 70% 以上; 碳同位素值偏轻, $\delta^{13}\text{C}$ 值一般小于 -31‰ ; 正构烷烃分布完整, 呈单峰型, 主峰碳为 $\text{C}_{17}-\text{C}_{23}$ 。原油生物标志物特征是, 五环萜烷含量高于三环萜烷, 以 C_{30} -藿烷、 C_{29} -降藿烷为主, 伽马蜡烷含量少; 甾烷以 C_{27} -胆甾烷、 C_{28} -麦角甾烷及 C_{29} -谷甾烷为主, 规则甾烷呈不对称“V”字型分布, C_{28} -甾烷含量较低, C_{27} -甾烷与 C_{29} -甾烷含量相近。原油和源岩的地球化学特征分析对比表明, 长 8-长 4+5 半深湖-深湖相腐泥-混合型泥岩是主要烃源岩。生物标志物特征显示原油具有一定的运移效应。

关键词: 碳同位素; 饱和烃气相色谱; 生物标志物; 油源对比; 安塞-富县地区; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE125 文献标识码: A

Geochemical behaviors of oil and oil-source correlation in Yanchang-Yan' an Formations in Ansai-Fuxian area, Ordos basin

Guo Yanqin, LiWenhui, Chen Quanhong, Cao Hongxia, Zhang Daofeng

(Department of Geology, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069)

Abstract Crude oil analyses such as group compositions, carbon isotopes and gas chromatograms of saturated hydrocarbon, as well as characteristics of terpane, sterane and other biomarkers indicate that crude oil in Yanchang-Yan' an Formations in Ansai-Fuxian area have similar geochemical behaviors and are of low maturity-mature oil. The content of saturated hydrocarbon is over 70%, and the carbon isotope value is relatively light with $\delta^{13}\text{C}$ commonly lower than -31‰ . The distribution of normal alkane is complete and appears as single-peak type, with the main peak carbons to be $\text{C}_{17}-\text{C}_{23}$. The biomarkers of the oil are characterized by the following: the content of pentacyclic terpane is larger than that of tricyclic terpane, with C_{30} hopane and C_{29} norhopane as the dominant components, and gammacerane as the minor component; sterane is dominated by C_{27} cholestane and C_{28} ergostane and C_{29} sitostane; the homosteranes appear to be in asymmetrical “V” distribution, with relatively low C_{28} sterane content and about the same C_{27} and C_{29} sterane contents. Analyses of geochemical behaviors and correlation of oil and source rocks show that the semi-deep-deep lake facies sapropelic mixed type mudstones that occur between Chang 8 and Chang 4+5 reservoirs are the main source rocks. The characteristics of biomarkers reveal that the oil has a certain migration effects.

Key words carbon isotope; gas chromatogram of saturated hydrocarbon; biomarker; oil-source correlation; Ansai-Fuxian area; Ordos basin

收稿日期: 2006-01-17

第一作者简介: 郭艳琴 (1972-), 女, 博士, 沉积学及石油地质学

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (973) 项目 (2003CB214602); 长江学者和创新团队发展计划资助项目 (RT0559)

鄂尔多斯盆地在晚三叠世由于受印支运动的影响,在其南部出现大型的湖泊。盆地中生界主要油气储集层以低渗透-特低渗透为显著特征,具有大面积、多层段普遍含油气的特点^[1]。安塞-富县地区位于鄂尔多斯盆地陕北斜坡的南部。其中上三叠统延长组及侏罗系延安组是一套在河流-内陆湖泊三角洲沉积体系上发育的重要油气储集层^[2~4],主要含油层位为长 8、长 6、长 3、长 2、长 1 油层组及延安组。但是,不同探区主要含油层位不同,同一层位在不同探区含油气规模也不同。因此,近年来有人提出中生界各油层组的原油是否属同源,认为“烃源条件可能是制约中生界油气勘探前景的决定因素”。

盆地中生界油-岩对比研究前人已经做了很多工作^[5~9]。烃源岩与油气地球化学研究表明,上三叠统延长组-中侏罗统延安组储层中的原油均为典型的淡水-微咸水湖相油型油,其源岩是深水沉积的腐泥-混合型生油岩,油源岩为处于低成熟-高成熟阶段的长 4+5-长 8 段半深湖-深湖相暗色泥页岩^[5,7,8]。陈安定依据地化特征对陇东、安塞、灵盐地区油-岩对比进行了详尽阐述,提出灵盐地区原油中 r -羽扇烷及 C_{29} 未知萜烷较为丰富,含量和长 7 层及部分地区的长 4+5、长 6 层相当,而此类化合物在安塞和陇东地区原油中所含甚少,因此推测陇东、安塞地区可能是另一种形式的生油岩。

本文在前人研究的基础上,综合以往和最新的地化分析资料,从原油物性、族组分、单体烃碳同位素、饱和烃气相色谱及生物标志化合物等方面,剖析了安塞-富县地区延长组-延安组各含油层位原油及生油岩的地球化学特征,旨在从烃源条件方面探讨研究区的油气勘探前景。

1 原油物性

安塞-富县地区安塞、甘泉和富县 3 个区块(图 1)上三叠统延长组和侏罗系延安组原油物性相似,其物性参数为:密度 $0.844 \sim 0.854 \text{ g/cm}^3$; 50°C 时粘度为 $5.00 \sim 8.73 \text{ mPa} \cdot \text{s}$;

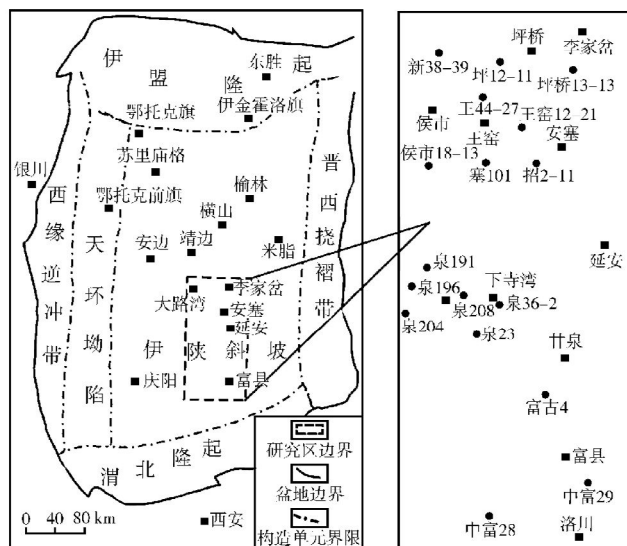


图 1 研究区地理位置及样品分布

Fig. 1 Location of the study area and distribution of samples

2 氯仿沥青“A”及族组分

原油的族组分含量一般受源岩沉积背景、母质组成及类型、原油演化程度及遭受后期改造作用等因素的影响。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^[10]。由表 1 可以看出,研究区各个层位(除长 7 之外)原油族组成中烃类含量高(饱和烃 $69.02\% \sim 87.91\%$ 、芳烃 $8.77\% \sim 17.45\%$),极性组分含量较低($3.04\% \sim 22.17\%$),饱芳比较高($4.33 \sim 9.86$),非沥比较低($2.05 \sim 7.51$);中富 29 井长 7 原油族组成中极性组分含量较高(27.85%),烃类含量相对偏低(饱和烃 56.86% 、芳烃 15.29%),饱芳比偏低(3.72),非沥比较高(9.13)。这些说明原油整体为低成熟-成熟油,与镜质体反射率反映的成熟度极为一致,其成熟度相当于镜煤反射率 0.75% 左右^[11],从侧面反映了其他层位原油成熟度相对长 7 层高的特征,这也可能与原油的运移距离有关。

3 碳同位素特征及油源对比

表 1 安塞-富县地区不同区块原油族组成数据

Table 1 Group composition of crude oil in different blocks in Ansai-Fuxian area

区块	井号	层位	岩性	含量 /%						饱和烃 / 非烃 沥青	
				沥青“A”	饱和烃	芳烃	非烃	沥青质	非烃+沥青质	芳烃	青质
安塞	王 44-27	长 6	原油	—	76.84	16.19	4.73	2.24	6.97	4.75	2.11
	新 38-39	延 9	原油	—	74.87	16.18	6.02	2.93	8.95	4.63	2.05
	坪 12-11	长 3	原油	—	77.57	15.71	5.49	1.23	6.72	4.94	4.46
	招 2-11	长 2	原油	—	75.58	17.45	5.67	1.30	6.97	4.33	4.36
甘泉	泉 191	长 2	油砂	0.39	86.46	8.77	4.09	0.68	4.77	9.86	6.01
	泉 208	长 2	油砂	0.52	87.91	9.05	2.54	0.50	3.04	9.71	5.08
	泉 204	长 6	油砂	0.94	84.96	10.10	4.04	0.90	4.94	8.41	4.49
	泉 196	长 1	油砂	0.01	69.02	8.81	18.09	4.08	22.17	7.83	4.43
富县	中富 28	长 8	油砂	0.70	78.99	12.41	7.59	1.01	8.60	6.37	7.51
	中富 29	长 7	油砂	1.20	56.86	15.29	25.10	2.75	27.85	3.72	9.13

合-腐泥型有机母质生成的“油型油”富含¹²C,而腐植型生油母质所生成的“煤成油”富含¹³C。与总碳同位素相比,由单体烃分子系列的碳同位素判识油气源及成因更为清楚,它能反映原油的混合特征。研究区所有区块和层位的原油单体烃分子系列均呈富¹²C的同位素特征。 C_5-C_7 单体烃 nC_{5-7} , iC_{5-7} 和 cyC_{5-7} 的碳同位素值分布区间分别为 $-34.06‰ \sim -31.02‰$ 、 $-31.99‰ \sim -30.32‰$ 和 $-28.72‰ \sim -27.67‰$,且碳同位素分馏模式也表现出明显的一致性,即 C_5-C_7 中环烷烃的 $\delta^{13}C$ 值明显比正、异构烷烃偏正(图 2)。另外,原油中姥鲛烷、植烷及 nC_{12-15} , nC_{19}^+ 也显示出富¹²C的同位素特征,它们的分布区间分别为 $-33.08‰ \sim -28.75‰$ 、 $-33.41‰ \sim -28.85‰$ 、 $-32.69‰ \sim -31.56‰$ 和 $-34.35‰ \sim -32.03‰$ 。可见,原油中正构烷烃分子系列、姥鲛烷和植烷的碳同位素也显示出良好的对比关系,说明研究区不同产层原油在成因特征和来源上具同一性,反映了淡水-微咸水湖相混合型生油岩的碳同位素特征,并且与盆地内长 8—长 6 半深湖-深湖相的暗色泥岩十分吻合^[7]。

3.2 油-源碳同位素对比

油-源碳同位素对比可以直接反映出原油与源岩的亲缘关系。表 2 是研究区部分油井的油-

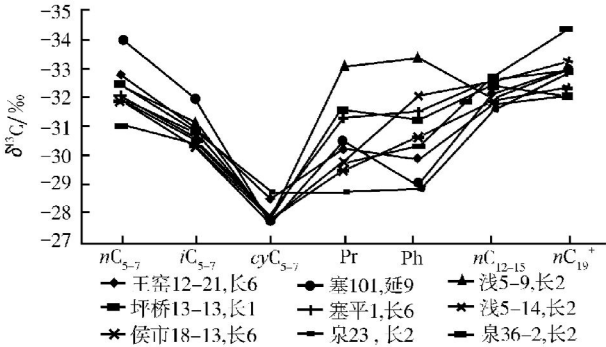


图 2 安塞-富县地区原油组分碳同位素特征

Fig. 2 Characteristics of carbon isotopes of crude oil components in Ansai-Fuxian area

源对比及原油与可能源岩之间的 nC_{13}^+ 正构烷烃分子和芳烃的碳同位素比较。很明显,原油与长 6、长 7 湖相暗色泥岩之间具良好的可比性,而与延安组一长 3 暗色泥岩无亲缘关系。

4 饱和烃色谱特征及油源

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^[12]。

研究区不同层位原油正构烷烃气相色谱参数非常相近或相似(图 3)。色谱峰型完整、为单峰型,主峰碳为 $C_{17}-C_{23}$,表明其有机质母质类型为低等水生生物为主,也说明其生油岩为偏腐泥型

表 2 安塞-富县地区延长组-延安组油源碳同位素对比

Table 2 Oil-source correlation of carbon isotopes of Yanchang-Yan'an Fms in Ansai-Fuxian area

区块	井号	层位	岩性	沉积环境	$\delta^{13}C / ‰$	
					nC_{13}^+	芳烃
安塞	吴 250-2	延 9	油砂		$-34.00 \sim -32.00$	-30.03
	吴 250-2	延 9	暗色泥岩	河、湖沼为主	$-31.00 \sim -27.00$	-23.39
富县	中富 28	延安组一长 3	暗色泥岩	河、湖沼为主	$-32.00 \sim -28.00$	$-28.00 \sim -24.00$
	中富 28	长 6	暗色泥岩	半深-深水湖相	-31.75	-29.07
	中富 29	长 7	油砂		-30.99	-29.02
	中富 29	长 7	暗色泥岩	半深-深水湖相	-32.97	-30.71

暗色泥岩。轻碳优势不明显, C_{21}^-/C_{22}^+ 值为 0.55~2.17, C_{21+22}/C_{28+29} 值为 1.16~5.26 Pr/nC_{17} 值为 0.28~0.59, Ph/nC_{18} 值为 0.24~1.54, 奇偶优势不明显, 正构烷烃碳优势指数 CPI 值为 1.06~1.29, 奇偶优势指数 OEP 值为 1.01~1.32, Pr/Ph

比值为 0.50~1.25, 表明研究区不同层位的原油是同源的, 母源为还原-弱还原环境的长 8—长 4+5 段半深湖-深湖相泥岩 (Pr/Ph 值小于 2), 与长 3—延安组的河流、湖沼相弱氧化环境的泥岩 (Pr/Ph 值大于 2) 明显不同 (表 3)。

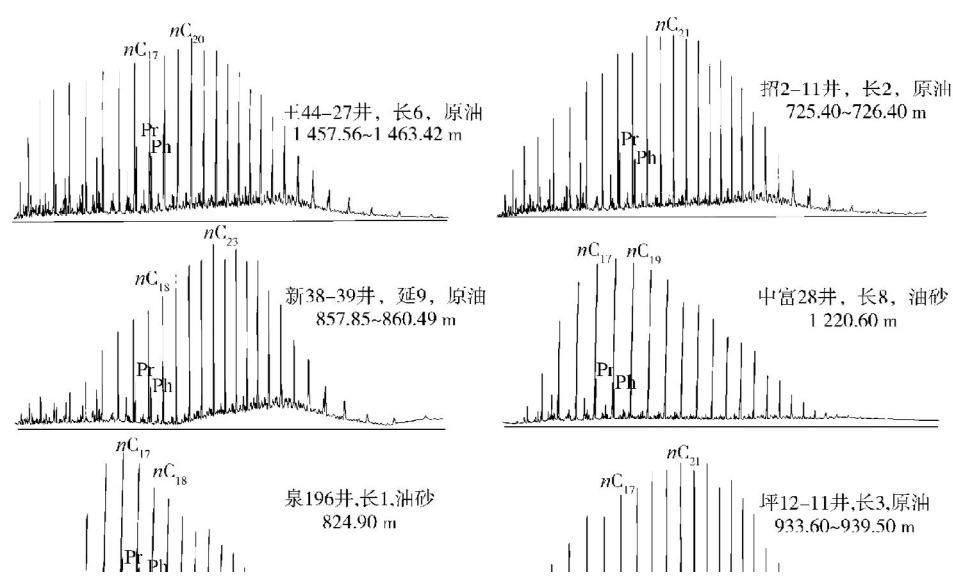


Table 5 Characteristics of gas chromatograms of saturated hydrocarbons of crude oil and source rocks in Ansaifuxian area

区块	井号	层位	岩性	主峰碳	C_{21}^-/C_{22}^+	C_{21+22}/C_{28+29}	Pr/Ph	Pr/nC_{17}	Ph/nC_{18}	CPI	OEP
安塞	王 44-27	长 6	原油	C_{20}	1.07	1.98	1.06	0.28	0.24	1.07	1.01
	新 38-39	延 9	原油	C_{23}	0.55	1.16	1.10	0.44	0.36	1.06	1.07
	坪 12-11	长 3	原油	C_{21}	0.93	1.70	1.08	0.30	0.25	1.09	1.03
	招 2-11	长 2	原油	C_{21}	1.03	1.77	1.08	0.36	0.30	1.08	1.04
甘泉	泉 196	长 1	油砂	C_{17}	1.62	2.39	1.09	0.40	0.39	1.15	1.02
	泉 204	长 6	油砂	C_{21}	0.68	1.96	0.72	0.48	0.53	1.13	1.05
富县	中富 29	长 7	油砂	C_{17}	2.17	5.26	0.50	0.59	1.54	1.29	1.32
	中富 28	长 8	油砂	C_{19}	1.48	3.21	1.25	0.23	0.18	1.07	1.02
	中富 29	长 7	泥岩	C_{19}	2.00	4.96	1.16	0.22	0.18	1.14	1.09
	中富 29	长 8	泥岩	C_{19}	1.04	2.60	1.44	0.30	0.19	1.17	1.01
	中富 28	长 8	泥岩	C_{19}	2.85	5.89	1.25	0.19	0.16	1.09	1.23
	中富 28	长 7	泥岩	C_{17}	2.27	4.26	1.12	0.17	0.16	1.07	1.02
	中富 28	长 6	泥岩	C_{20}	0.91	1.86	1.22	0.60	0.44	1.18	0.95
	富古 4	长 4+5	泥岩	C_{20}	1.00	2.15	1.49	0.39	0.28	1.02	1.02
	中富 28	延安组	泥岩	C_{19}	1.05	2.64	2.03	1.12	0.38	1.19	1.19
	中富 28	长 3	泥岩	C_{19}	0.82	2.83	2.75	1.43	0.36	1.20	1.18

5 生物标志物特征及油源

研究区不同层位原油样品及长 4+5—长 8 段泥岩的萜类、甾类化合物的色谱—质谱图非常相似,说明它们具有明确的油源关系。它们具有以下特征(图 4)。

相泥岩的 T_s/T_m 值为 0.63~6.21, 平均为 1.6 重排藿烷/降藿烷值平均为 3.78 $C_{29}-T_s$ /藿烷值平均为 0.22。这表明有机质成熟度较高。

3) 二环倍半萜类中以 C_{16} -升补升烷、 C_{15} -补升烷峰型突出为特征: 原油的升补升烷/补升烷值为 0.4~0.8 长 4+5—长 8 段半深湖—深湖相泥岩的升补升烷/补升烷值为 0.5~2.2。其次, 含有

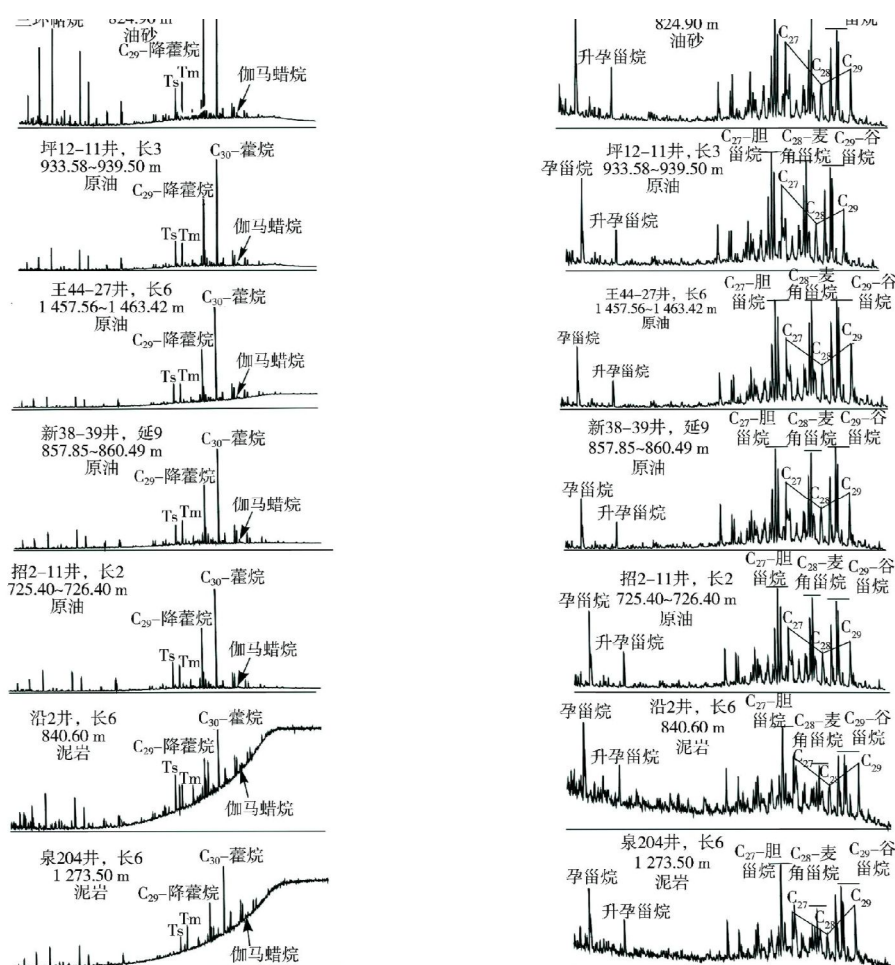


图 4 安塞—富县地区原油及烃源岩萜烷 (m/z 191) 和甾烷 (m/z 217) 质量色谱

Fig. 4 Mass chromatograms of terpane (m/z 191) and sterane (m/z 217) of crude oil and source rocks in Ansaifuxian area

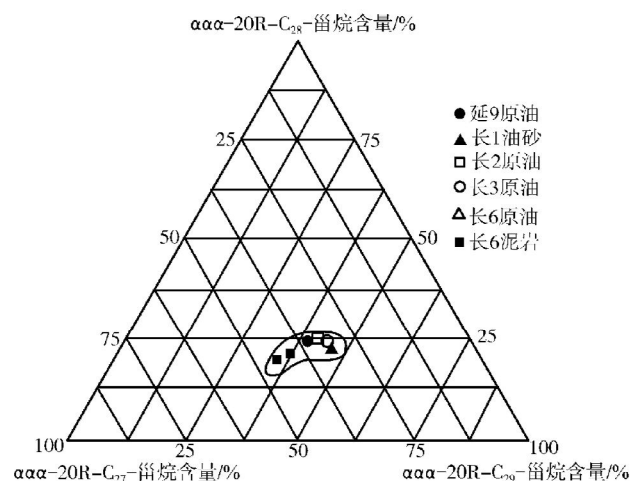


图5 安塞-富县地区原油及源岩的 $\alpha\alpha\alpha-20R$ -甾烷组成

Fig 5 $\alpha\alpha\alpha(20R)$ sterane components of crude oil and source rocks in Anse-Fuxian area

5) 原油和油砂的 C_{29} -甾烷 $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 值为 0.45~0.50 平均为 0.49, 长 4+5—长 8 段半深湖-深湖相泥岩的 C_{29} -甾烷 $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 值为 0.37~0.42 平均为 0.40。一般认为, $\alpha\beta\beta$ 构型的甾烷分子比 $\alpha\alpha\alpha$ 构型的甾烷分子容易运移^[13-14]。原油和油砂中的甾烷 $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 值高于烃源岩, 表示原油有运移。原油的 $\alpha\alpha\alpha-C_{29}$ -甾烷 $20S/(20S+20R)$ 值为 0.45~0.62 平均为 0.50, 长 4+5—长 8 段半深湖-深湖相泥岩的 $\alpha\alpha\alpha-C_{29}$ -甾烷 $20S/(20S+20R)$ 值为 0.47~0.58 平均为 0.54。这说明, 烃源岩与原油都达到了成熟阶段。

6) 规则甾烷呈不对称“V”字型分布。 C_{28} 规则甾烷含量较低, 约占 23% 左右; C_{27} 规则甾烷与 C_{28} 规则甾烷含量相近, 分别为 10% 和 37% 左右。

烃气相色谱及生物标志化合物等各种参数均表明, 安塞-富县地区延长组及侏罗系延安组不同层位的原油是同源的, 为成熟原油, 其成熟度相当于镜煤反射率值 0.75% 左右, 是生油高峰阶段的产物。

2) 碳同位素对比、饱和烃气相色谱特征及甾烷的分布及相对含量均揭示, 安塞-富县地区延长组-延安组原油为典型的淡水-微咸水湖相混合型原油, 其油源为长 8—长 4+5 半深湖-深湖相的偏腐泥-混合型生油岩。

3) 原油氯仿沥青“A”及族组分、饱芳比、非沥青比及生物标志化合物特征反映了原油有一定的运移效应。

参考文献

- 1 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 Wenzheng. Leading effect of the seventh member high-quality source rock of Yanchang Formation in Ordos basin during the enrichment of low-permeability oil-gas accumulation: geology and geochemistry [J]. Geochimica, 2005, 34(2): 147~154
- 2 罗静兰, Ketzer JM, 李文厚, 等. 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 Jinglan, Ketzer JM, Li Wenhui, et al. Sequence stratigraphy and source-reservoir-cap assemblages of Jurassic-Upper Triassic in Yanchang oil province [J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(4): 337~341
- 3 罗静兰, 张晓莉, 张云翔, 等. 成岩作用对河流-三角洲相砂岩

6 结论

1) 原油物性、族组分、单体烃碳同位素、饱和

influence on the reservoir quality evolution—evidence from Jurassic and Triassic sandstones, Yanchang oil Field, Ordos basin [J]. Science in China (Series D), 2001, 31(12): 1006~1016

5 陈安定. 陕甘宁盆地中生界生油层特征 [A]. 见: 中国含油气

- 盆地烃源岩评价编委会. 中国含油气盆地烃源岩评价 [C]. 北京: 石油工业出版社, 1989. 421~ 437
- Chen Anding. Characteristics of the Mesozoic source rocks in Shaan-Gan-Ning basin [A]. Editorial Board of Hydrocarbon Source Rock Evaluation of Oil and Gas-bearing Basins in China. Hydrocarbon source rock evaluation of oil and gas-bearing basins in China [C]. Beijing Petroleum Industry Press, 1989. 421~ 437
- 6 陈建平, 黄第藩. 鄂尔多斯盆地东南缘煤矿侏罗系原油油源 [J]. 沉积学报, 1997, 15(2): 100~ 104
- Chen Jianping. Huang Difan. Oil/source correlation of crude oils from the coal mines in the southeast of the Ordos basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15(2): 100~ 104
- 7 张文正, 咎川莉. 烃源岩残留沥青中正构烷烃分子的碳同位素研究 [J]. 沉积学报, 1997, 15(2): 212~ 215
- Zhang Wenzheng. Zan Chuanli. Carbon isotope research on *n*-alkane elements of asphaltic residues in hydrocarbon source rock [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15(2): 212~ 215
- 8 张文正, 关德师. 液态烃分子系列碳同位素地球化学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 132~ 142
- Zhang Wenzheng. Guan Dishi. Carbon isotope geochemistry of liquid hydrocarbon molecular series [M]. Beijing Petroleum Industry Press, 1997. 132~ 142
- 9 罗霞, 李剑, 胡国艺, 等. 鄂尔多斯盆地侏罗系煤生、排油能力实验及其形成煤成油可能性探讨 [J]. 石油实验地质, 2003, 25(1): 76~ 80
- Luo Xia. Li Jian. Hu Guoyi et al. An experiment of generation and expulsion of oil from the Jurassic coals and its implication of coal generated oil in the Ordos basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2003, 25(1): 76~ 80
- 10 常俊合, 李新军, 吕红玉, 等. 东濮凹陷文留潜山构造文古 2 井原油地球化学特征和油源研究 [J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(1): 44~ 48
- Chang Junhe. Li Xinjun. Lü Hongyu et al. A study on geochemical characteristics and sources of oil produced from Wengu 2 well in Wenli buried hill in Dongpu depression [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(1): 44~ 48
- 11 温爱琴, 范久霄. 鄂尔多斯盆地镇-泾地区三叠系烃源岩地化特征及勘探前景 [J]. 河南石油, 2003, 17(2): 15~ 17
- Wen Aiqin. Fan Jiuxiao. Geochemical features of source rock of Triassic and prospects within Zhenyuan-Jingchuan area in Ordos basin [J]. Henan Petroleum, 2003, 17(2): 15~ 17
- 12 尹伟, 郑和荣, 孟闲龙, 等. 准噶尔盆地中部原油地球化学特征 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(4): 461~ 466, 472
- Yin Wei. Zheng Herong. Meng Xianlong et al. Geochemical behaviors of crude oils in central Junggar basin [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(4): 461~ 466, 472
- 13 Peters K E, Moldowan J M. The biomarker guide: interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments [M]. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1993. 106~ 126
- 14 Seifert W K, Moldowan J M. Paleoreconstruction by biological markers [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1981, 45(6): 783~ 794
- 15 陈建平, 何忠华, 魏志彬, 等. 银额盆地查干凹陷原油地化特征及油源对比 [J]. 沉积学报, 2001, 19(2): 299~ 305
- Chen Jianping. He Zhonghua. Wei Zhibin et al. Geochemical characteristics of oil and source rock correlation in the Chagan sag of Yingen-Ejinaqi basin, NW China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(2): 299~ 305
- 16 Radke M. Organic geochemistry of aromatic hydrocarbons [A]. In: Brooks J, Welte D, eds. Advances in petroleum geochemistry [C]. New York: Academic Press, 1987. 141~ 207

(编辑 李 军)

中国石化发现大型整装海相天然气田

苏里格气田 探明储量: $5\,336.52 \times 10^8 \text{ m}^3$; 可采储量: $3\,330.68 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

克拉 2 气田 探明储量: $2\,840.29 \times 10^8 \text{ m}^3$; 可采储量: $2\,290 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

大牛地气田 探明储量: $2\,615.71 \times 10^8 \text{ m}^3$; 可采储量: $1\,183.86 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

普光气田 探明储量: $2\,511 \times 10^8 \text{ m}^3$; 可采储量: $1\,883.04 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

(摘自《中国石化报》)