

文章编号: 0253- 9985(2004) 01- 0044- 05

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

常俊合, 李新军, 吕红玉, 王又杰, 孙 青, 段红梅

(中国石化中原油田分公司, 河南濮阳 457001)

摘要: 油源对比是追溯新的油层和指导勘探的重要手段之一。在对文古 2 井原油地球化学特征研究的基础上, 应用碳同位素和生物标志化合物对比方法, 结合区域地质背景, 综合分析了原油与潜在源岩的关系。研究表明, 文古 2 井原油具有族组成中烃类组分含量高, 极性组分含量低, 组分和全烃碳同位素轻, 主峰碳为 nC_{17} , 呈前峰型单峰分布, 伽马蜡烷和奥利烷生物标志物化合物含量丰富的特征。油源对比结果显示, 文古 2 井潜山油藏属“新生古储”型, 油源岩以下第三系泥岩为主。主要表现在文古 2 井原油和下第三系湖相暗色泥岩碳同位素值及曲线分布趋势非常相近, 均含有高的伽马蜡烷和奥利烷化合物; 煤系源岩抽提物和模拟油碳同位素重, 伽马蜡烷含量低, 无奥利烷, 与文古 2 井原油差异显著。

关键词: 原油; 地球化学; 碳同位素; 生物标志化合物; 油源对比; 下第三系; 东濮凹陷

中图分类号: TE112. 114

文献标识码: A

A study on geochemical characteristics and sources of oil produced from Wengu 2 well in Wenliu buried hill in Dongpu depression

Chang Junhe Li Xinjun Lü Hongyu Wang Youjie Sun Qing Duan Hongmei

(Zhongyuan Oilfield Company, SINOPEC, Puyang, Henan)

Abstract: Oil source correlation is one of the important methods to trace new oil layers and guide exploration. Based on analysis of geochemical behaviors of oil produced from Wengu 2 well, correlation of crude oil and potential source rocks has been made through comparing carbon isotopes and biomarkers in combination with the regional geologic setting. As for the crude oil in Wengu 2 well, hydrocarbon content is high, while nonhydrocarbons + asphaltenes content is low in its group components; the $\delta^{13}C$ in the components and whole hydrocarbon is light; the main peak's carbon is nC_{17} ; and gammacerane and oleanane are abundant. Oil-source correlation indicates that the Wengu 2 well buried hill reservoir belongs to young source rock and old reservoir rock type, and the Paleogene mudstone is the main source rock. The crude oil and the extract from Paleogene dark-colored mudstone have very similar $\delta^{13}C$ value and distribution, and both of them have high gammacerane and oleanane contents. The extract from coal-measure source rock and simulated oil have large $\delta^{13}C$ value, low gammacerane content and no oleanane, significantly different from the crude oil in Wengu 2 well.

Key words: crude oil; geochemistry; carbon isotope; biomarker; oil-source correlation; Paleogene; Dongpu depression

文留潜山构造位于东濮凹陷中央隆起带北部。文古 2 井在上古生界石千峰组 3 813. 5~3 834. 3 m 井段, 日产天然气 11 000 m^3 、油 6. 3 m^3 , 成为东濮凹陷古生界第一口工业油气流井, 揭示了区内良好的油气前景。油气地球化学特征及成

因、油气是否同源、油气藏属“新生古储”, 还是“古生古储”等问题, 迫切需要有机地球化学和地质人员共同来研究。本文主要应用油、岩组分和全烃同位素及生物标志化合物等特征和潜在源岩进行对比, 并结合区域地质背景探讨了原油的地球化

学特征、油源。其成果和认识对追溯新的油气层和指导勘探具有现实意义。

1 原油地球化学特征

1.1 族组成

原油的族组成含量一般受源岩的沉积背景和母质组成、类型,原油的演化程度,原油遭受的后期改造作用,包括水洗、氧化等因素的影响,因此,原油的族组成也具有地球化学内涵。在有机质性质相近的前提下,成熟度高的原油应具有较高的

烃类和较低的极性组分。

由表 1 可以看出,文古 2 井原油族组成中烃类含量高达 87.31% (饱和烃 67.03%、芳烃 20.28%),极性组分含量较低,仅为 12.68%;相反,文留地区浅层文 10-25 井、文 10-95 井、文 106 井(E_{s3}^3)和卫 371 井(E_{s3}^4)原油族组成中极性组分含量较高,烃类含量相对偏低,分别为 17.0%~25.0%、69.37%~82.98%。从一个侧面反映文古 2 井(P_2sh)原油成熟度相对文留地区 E_{s3}^3 高的特征,也可能与原油运移距离有关。

表 1 文古 2 井与文留、卫城原油族组成、碳同位素数据表

Table 1 Group composition and isotope analyses of crude oil from Wengu 2 well and Wenliu and Weicheng areas

井号	层位	井深/m	族组成				$\delta^{13}C/ \%$
			烷烃/ %	芳香烃/ %	非烃/ %	沥青质/ %	
文古 2	P_2sh	3 813.5~ 3834	67.03~ 28.7	20.28~ 27.2	11.59~ 27.0	1.09~ 26.5	- 2.75
文 10- 25	E_{s3}^3	2 130.4~ 2 166	60.35~ 28.9	22.63~ 27.8	15.25~ 27.4	1.76~ 26.9	- 2.77
文 10- 95	E_{s3}^3	2 255.1~ 2 446	51.68~ 28.7	24.02~ 27.8	18.44~ 27.1	5.87~ 26.5	- 2.77
文 106	E_{s3}^3	2 784.8~ 2 827	53.29~ 28.1	16.08~ 26.9	22.02~ 26.7	2.88~ 27.2	/
卫 371	E_{s3}^4	2 991.8~ 3 008	50.55~ 28.6	27.00~ 27.5	18.69~ 27.2	3.74~ 26.3	- 2.76
卫 319	E_{s3}^4	3 330.0	50.23~ 30.1	25.7~ 27.3	16.82~ 26.8	7.24~ 26.8	/
文 23 气田	E_{s4}	3 个凝析油样品					- 2.5~ - 2.54
毛 4、丰 2	C- P	热模拟产液“ A”(丰 2 井碳质泥岩;毛 4 井煤岩、泥岩)					- 2.37~ - 2.57

1.2 碳同位素

碳同位素具有继承效应,其值分布能反映源岩有机质的性质。表 1 数据显示:原油族组成碳同位素,文古 2 井(P_2sh)原油饱和烃- 2.87%、芳烃- 2.72%、非烃- 2.7%、沥青质- 2.65%,与文留、卫城原油(E_{s3})的族组成碳同位素值除饱和烃有差异外,其余组分的值非常接近,反映了成烃源岩有机质类型的相似性;原油全烃碳同位素,文古 2(P_2sh)原油 $\delta^{13}C$ 为- 2.75%,与文留、卫城原油

(E_{s3}) $\delta^{13}C$ 分布范围- 2.76%~ - 2.77%相近,而与文 23 井、开 33 井(E_{s4})凝析油、石炭-二叠系源岩模拟液态烃 $\delta^{13}C$ 值- 2.37%~ - 2.57%相差 0.2%~ 0.4%,表明烃源母质明显不同。

1.3 原油饱和烃色谱

原油的饱和烃色谱特征蕴涵了丰富的沉积环境、生源构成、保存条件和热演化信息。表 2 为文古 2 井原油(P_2sh)、文 23 井凝析油和文留原油的主要色谱分析参数。

表 2 文古 2 井与文留、卫城地区原油饱和烃色谱特征

Table 2 Chromatographic components of saturated hydrocarbons in crude oil from Wengu 2 well and Wenliu and Weicheng areas

井号	层位	井深/m	主峰碳	<i>CPI</i>	<i>OEP</i>	Pr/ Ph	Pr/ nC_{17}	Ph/ nC_{18}
文古 2	P_2sh	3 813.5~ 3 834	nC_{17}	0.980	1.022	0.454	0.419	0.978
文 10- 25	E_{s3}^3	2 130.4~ 2 166	nC_{17}	0.970	0.987	0.374	0.564	1.599
文 10- 95		2 251.2~ 2 446	nC_{20}	1.001	0.911	0.396	0.718	1.631
卫 371	E_{s3}^4	2 991.8~ 3 008	nC_{20}	0.925	0.898	0.409	0.725	1.625
文 23	E_{s4}	2 813.2~ 3 028	/	/	/	0.60	0.117	0.313

显然,文古 2 井原油属正常成熟原油。其中,表征成熟度的 *OEP*, *CPI*, *Pr/ nC₁₇*, *Ph/ nC₁₈* 值分别为 1.022, 0.980, 0.419, 0.978, 主峰碳为 *nC₁₇*, 呈前峰型单峰偏态分布(图 1)。而文留地区浅层文 10-25 井、文 10-95 井原油(*Es₃³*)和卫 371 井(*Es₄⁴*)原油的 *Pr/ nC₁₇*, *Ph/ nC₁₈* 明显较大,分布在 0.564~0.725 和 1.599~1.631, 反映其成熟度较文古 2 井原油成熟度偏低。文古 2 井原油与文留、卫城原油的 *Pr/ Ph* 比值分布范围相似,为 0.374~0.454, 具有明显的植烷优势,表明形成原油的母源环境相近,属还原盐湖环境。

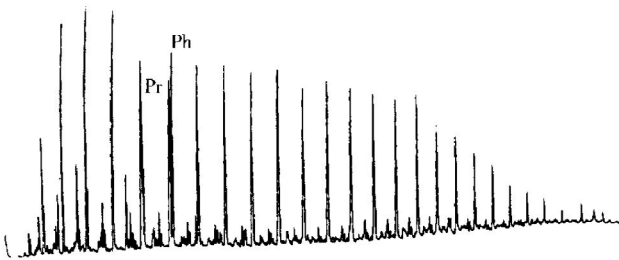


图 1 文古 2 井(*P_{2sh}*)原油饱和烃色谱特征
Fig. 1 Chromatographic components of saturated hydrocarbons in oil from Wengu 2 well (*P_{2sh}*)

文 23 井凝析油由于成熟度更高,缺少高碳数烷烃,其 *Pr/ Ph* 比值为 0.60, 比文古 2 井、文 10-25 井、文 10-95 井原油值稍大。

1.4 原油生物标记物

生物标记物系指地质体中多环的、具有稳定碳骨架的烷烃类化合物,其稳定的碳骨架特征是对其生物先质的继承。因此,生物标记物可以为原油有机母源输入、原始沉积环境及其有机质的演化提供重要信息,最常用的生物标记物是甾烷和萜烷类。

由表 3、图 2 可以看出:文古 2 井石千峰组原油 *C₂₇~ C₂₉* 甾烷分布为对称“V”型,以 *C₂₇* 甾烷含量高(*C₂₇ > C₂₉ > C₂₈*)为特征, *C₂₇* 甾烷和 *C₂₉* 甾烷比值约为 0.97,反映了以低等生物为主的生源构成特征。重排甾烷/规则甾烷比值高达 0.44, *C₂₉* 甾烷成熟度参数 *20S/ (20S+ 20R)* 比值为 0.53,已接近或达到平衡终点,属于成熟度高的原油;文 10-25 井、文 10-95 井、卫 371 井原油 *C₂₇~ C₂₉* 甾烷分布与文古 2 井相同,也为对称“V”型,但重排甾烷/规则甾烷比值均 < 0.15, *C₂₉* 甾烷成熟度参数 *20S/ (20S+ 20R)* 比值分布在 0.27~0.36,具有低熟原油的特征。

表 3 文古 2 井与文留、卫城地区原油生物标志物参数

Table 3 Biomarker parameters of crude oil from Wengu 2 well and Wenliu and Weicheng areas

井号	甾 烷 特 征					萜 烷 特 征				
	<i>C₂₇</i> / %	<i>C₂₈</i> / %	<i>C₂₉</i> / %	<i>C₂₇</i> / <i>C₂₉</i>	<i>C₂₈</i> / <i>C₂₉</i>	<i>20S/ (20S+ 20R)</i>	重排/规则	伽马蜡烷 / <i>C₃₀</i> 藿烷	三环萜烷 / 五环三萜烷	奥利烷 / <i>C₃₀</i> 藿烷
文古 2	34	31	35	0.97	0.89	0.53	0.44	2.0	0.33	0.76
文 10-25	37	28	35	1.04	0.79	0.27	0.12	0.80	0.10	0.22
文 10-95	36	26	38	1.08	0.78	0.30	0.11	0.78	0.08	0.21
卫 371	35	28	37	0.94	0.76	0.36	0.12	0.45	0.04	0.15

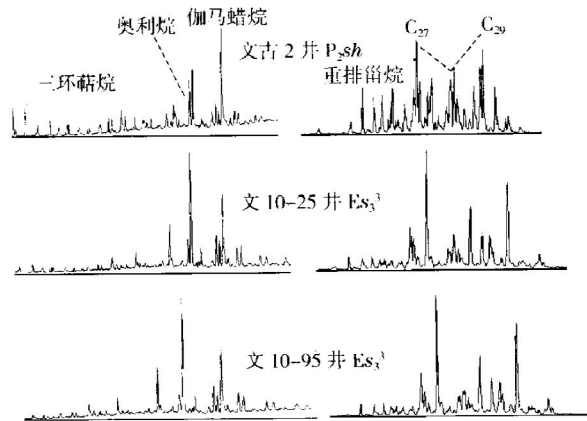


图 2 文古 2 井原油(*P_{2sh}*)与文留原油甾烷、萜烷对比图
Fig. 2 Comparison of steranes and terpanes of crude oil from Wengu 2 well (*P_{2sh}*) and Wenliu area

文古 2 井原油中三环萜烷、*C₃₀* 重排藿烷含量较高,更为显著的特征是,伽马蜡烷、奥利烷含量非常高,伽马蜡烷/*C₃₁R* 比值为 2.0, 奥利烷/*C₃₀* 藿烷比值为 0.76;文 10-25 井、文 10-95 井、卫 371 井原油萜烷中三环萜烷、*C₃₀* 重排藿烷含量较低,伽马蜡烷和奥利烷较文古 2 井原油中的含量要低一些,伽马蜡烷/*C₃₁R* 比值分布在 0.45~0.80, 奥利烷/*C₃₀* 藿烷在 0.15~0.22。一般认为,古沉积环境对源岩生成油气的性质有一定的控制作用^[1]。因此,这些特征反映文古 2 井(*P_{2sh}*)与文留地区(*Es₃*)原油的源岩沉积水体为强还原环境。

2 文古2井油源对比

石油和源岩的地球化学参数(生物标记物、同位素等)存在着明显的继承性,即已经运移了的石油中的地球化学参数与残留在源岩中沥青的这些参数没有明显差异,石油与源岩之间的这种继承性是油源对比的基础。

2.1 碳同位素对比

采用抽提物或原油族组成“碳同位素类型”曲线对比是油源研究领域有效的手段之一。有机成因原生烷烃气的碳同位素系列一般为正碳同位素系列^[2],抽提物或原油族组成碳同位素也具有此特征^[3]。

通过绘制“碳同位素类型”曲线(图3)可以看出:文古2井原油与文65-84井、卫319井、胡12-11井、卫95井原油碳同位素类型曲线分布趋势,碳同位素值非常相近,一般为 $\delta^{13}\text{C}$ 饱和烃 $< \delta^{13}\text{C}$ 芳烃 $< \delta^{13}\text{C}$ 非烃 $< \delta^{13}\text{C}$ 沥青质;并与卫371井、胡16井下第三系源岩具有明显的亲缘关系。相反,与文古2井(煤)和文古2井(泥岩)、庆古2井(泥岩)相比,不论是曲线分布趋势,还是碳同位素值均有较大差别。

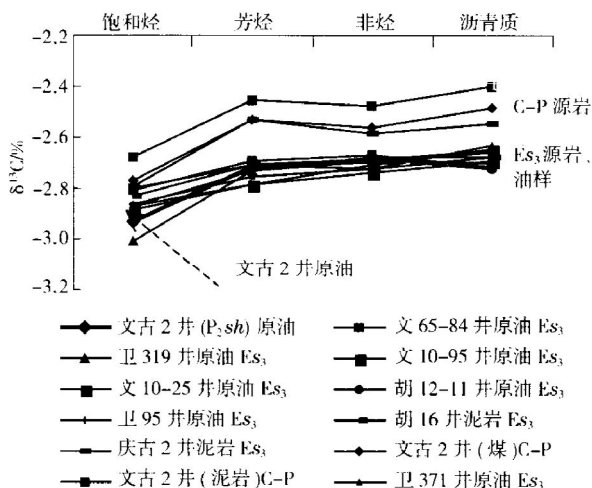


图3 文古2井、文留原油和Es₃ C-P源岩同位素类型曲线

Fig. 3 Isotope curves of crude oil and Es₃, C-P source rocks in Wengu 2 well and Wenliu areas

原油全烃碳同位素一般反映母源有机质的性质,不受成熟演化的影响^[4],因此可用于分析原油的成因,准噶尔盆地侏罗系煤模拟油 $\delta^{13}\text{C}$ 为 $-2.59\% \sim -2.44\%$,碳质泥岩为 -2.51% ^[5]。国

内已知煤成油 $\delta^{13}\text{C}$ 为 $-2.45\% \sim -2.84\%$ (平均 -2.63%)。冀中 $-2.66\% \sim -2.89\%$,四川 $-2.51\% \sim -2.89\%$ ^[3],吐哈 $-2.48\% \sim -2.66\%$;国外澳大利亚库珀盆地的煤成油 $\delta^{13}\text{C}$ 为 $-2.28\% \sim -2.61\%$,平均 -2.53% ^[6]。

东濮凹陷下第三系储集层原油全烃碳同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 分布在 $-2.79\% \sim -2.9\%$,上古生界煤、泥岩模拟全烃碳同位素为 $-2.37\% \sim -2.57\%$,文23井、开33井凝析油为 $-2.45\% \sim -2.62\%$ 。原油全烃碳同位素显然可以分为两类。文古2井原油全烃碳同位素为 -2.75% ,与下第三系储集层原油全烃碳同位素分布在同一区域,而与文23井、开33井凝析油和国内外典型煤成油相比差异明显(图4)。

2.2 生物标志物特征对比

文古2井(P₂sh)原油与下第三系源岩, C₂₇~C₂₉甾烷分布呈对称“V”型(C₂₇ $\geq$ C₂₉ > C₂₈),而上古生界源岩呈倒“L”型(C₂₉ > C₂₇ > C₂₈),反映其生源构成应与下第三系源岩有亲缘关系(图2, 5, 表5)。

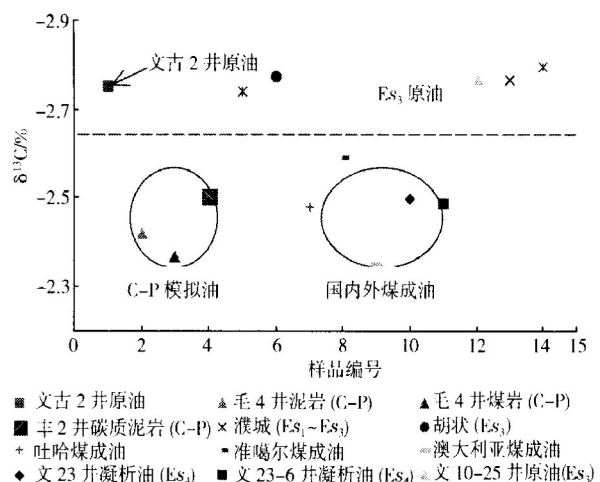


图4 文古2井、下第三系原油与煤成油碳同位素对比

Fig. 4 Comparison of $\delta^{13}\text{C}$ of Es₃ crude oil from Wengu 2 well and that of humic oil

研究表明,奥利烷作为“断代”生物标志化合物出现在白垩系以后^[7]。文古2井原油、文留构造下第三系储集层原油和文128井下第三系源岩均检测出奥利烷,而上古生界源岩无此特征。反映文古2井原油应为下第三系泥岩排烃的产物(表4,图5)。

文古2井原油中伽马蜡烷化合物含量甚高,伽马蜡烷/C₃₀藿烷比值达2.0。文128井下第三系

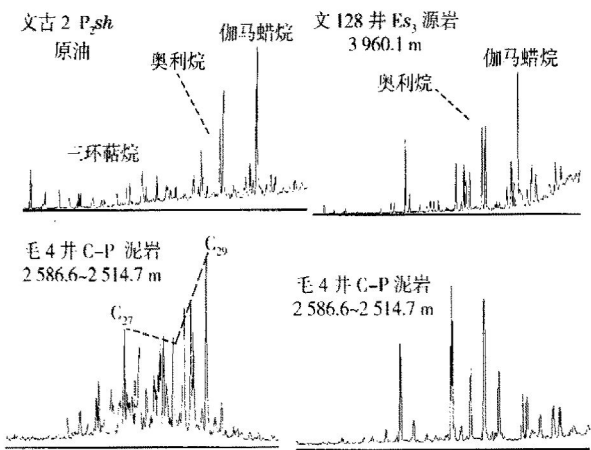


图 5 文古 2 井原油与 Es₃、石炭-二叠系源岩甾烷-萜烷对比图

Fig. 5 Comparison of steranes and terpanes of crude oil from Wengu 2 well and those of Paleogene and Permian-Carboniferous source rocks

表 4 文古 2 井原油与下第三系、石炭-二叠系源岩生物标志物对比

Table 4 Comparison of biomarkers of crude oil from Wengu 2 well and that of Palaeogene and Permian-Carboniferous source rocks

井号	层位	样品类型	甾 烷					萜 烷	
			C ₂₇	C ₂₈	C ₂₉	20S/(20S+20R)	重排/规则	伽马蜡烷/C ₃₀ 藿烷	奥利烷/C ₃₀ 藿烷
文古 2	P ₂ sh	原油	34	31	35	0.53	0.44	2.0	0.76
文 128	Es ₃	泥岩	35	30	35	0.45	0.24	1.85	0.89
文古 2	C-P	泥岩	32	24	44	0.43	0.05	0.15	未检
丰 2	C-P	碳质泥岩	30	24	46	0.40	0.04	0.15	测到
毛 4	C-P	泥岩	30	25	45	0.42	0.03	0.10	奥利
庆古 1	C-P	煤岩	28	23	49	0.40	0.04	0.15	烷

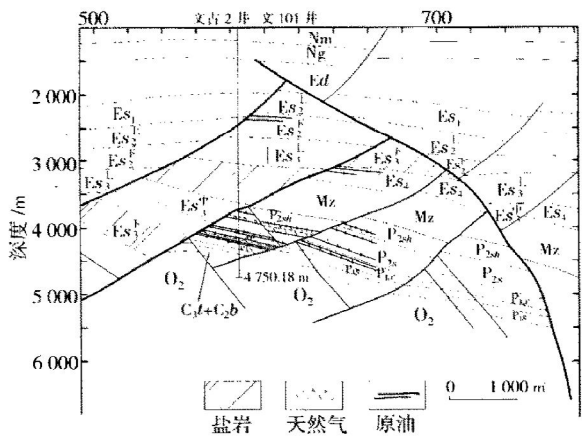


图 6 文古 2 井(P₂sh)油藏剖面图

Fig. 6 Profile showing Wengu 2 well(P₂sh) oil reservoir

抬升剥蚀使东濮凹陷煤系源岩海西-印支期形成的油气散失殆尽, 烃源岩表现为二次生烃。由于源岩有机质类型差, 主要为 II₂~ II₃型, 以生成天然

源岩也检测出伽马蜡烷化合物, 伽马蜡烷/C₃₀藿烷比值 1.85, 而上古生界源岩中伽马蜡烷含量非常低, 基本未检测到。说明文古 2 井原油来源于高盐环境的下第三系源岩。

2.3 文古 2 井(P₂sh)油藏聚集条件

从油藏地质背景分析(图 6), 文古 2 井位于东濮凹陷北部, 处于由文卫西断裂系及文卫东断裂系切割东倾的上古生界所形成的地垒式隆起带上。上古生界二叠系砂岩储层发育, 单层厚度大, 向下倾方向过渡到上古生界生烃中心前梨园洼陷, 上倾方向隔文卫西断层与下第三系沙河街组三段中、下亚段烃源岩相接触。

上古生界煤系源岩印支期末有机质成熟度(R_o)分布在 0.61%~0.85%。同海西早期运动对塔里木油气的破坏相似^[8], 印支运动造成的强烈

气为特征。

下第三系沙河街组三段中、下亚段烃源岩有机质丰度高, 类型好, 主要为 II₁~ II₂ 型。今埋深一般在 3000~4500 m, 有机质成熟度 R_o 分布在 0.8%~1.3%, 处于生成液态烃的高峰期。因此, 当下第三系烃源岩生成的油气在排替压力差较大的情况下可进入地垒带石炭-二叠系中, 在断层附近富集, 形成新生古储的潜山油气藏。这与应用碳同位素和生物标志物方法得到的文古 2 井原油主要来源于下第三系烃源岩是统一的。

3 结论与认识

1) 地球化学特征研究表明, 文古 2 井原油族组成中, 烃类含量高达 87.31%, 极性组分含量仅为 12.68%; 碳同位素与文留、卫城(Es₃)原油非常

(下转第 69 页)

大、分布广泛且稳定, 油气源具有多源性、多期性、多成因等特点。

参 考 文 献

- 1 覃建雄. 层序地层学进展及其在油气勘探中应用的研究现状[J]. 世界石油科学, 1992, 1(1): 6~ 12
- 2 覃建雄. 层序地层学在油气勘探领域中的应用[J]. 天然气地球科学, 1995, 6(6): 1~ 12
- 3 Zhang Zuqi. The carboniferous system in China[J]. Newsletter on Stratigraphy, 1998, 18(2): 51~ 73
- 4 覃建雄, 田景春, 夏竹, 等. 西昌盆地层序界面成因研究及意义[J]. 地球学报, 2001, 22(4): 22~ 30
- 5 侯方浩. 西南地区上古生界海相碳酸盐岩沉积相模式及其在油气勘探中的应用[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1984. 10~ 20
- 6 侯方浩. 华南陆块西南部晚古生代深水碳酸盐岩的控油气性[J]. 石油勘探与开发, 1990, 10(2): 1~ 9
- 7 陈洪德, 覃建雄, 田景春, 等. 右江盆地层序充填动力学初探[J]. 沉积学报, 2000, 18(2): 165~ 171
- 8 方少仙, 侯方浩, 董兆雄. 黔桂泥盆、石炭系白云岩的形成模式[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(1): 33~ 38

- 9 覃建雄. 西昌盆地层序充填序列与沉积动力学初探[J]. 古地理学报, 2001, 3(4): 10~ 21
- 10 覃建雄, 陈洪德, 田景春, 等. 川黔桂二叠系层序地层与油气勘探[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(1): 30~ 33
- 11 朱筱敏, 康安, 张琴, 等. 准噶尔盆地东北缘侏罗系含煤岩系层序地层和隐蔽圈闭[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(2): 121~ 125
- 12 王振奇, 张昌民, 张尚锋, 等. 油气储层的层次划分和对比技术[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(2): 70~ 75
- 13 Krapez B. Sequence stratigraphic concepts applied to the identification of depositional basins and global tectonic cycles[J]. Australian Journal of Earth Sciences, 1997, 44(1): 1~ 36
- 14 Juan Contreras. Evolution of stratigraphic sequence in mutisegmented continental rift basin[J]. AAPG Bull, 2001, 85(9): 1 544~ 1 565
- 15 Smith G T. Tectonic and eustatic signals in the sequence stratigraphy of the Upper Devonian, New York[J]. AAPG Bull, 2001, 85(2): 309~ 325
- 16 Bedir M. Tectonics, sequence deposit distribution and hydrocarbon potential[J]. AAPG Bull, 2001, 85(5): 861~ 884
- 17 Brett C E. Sequence, cycle and basin dynamics in the Silurian of foreland basin[J]. Sedimentary Geology, 1999, 78(2): 191~ 224

(上接第 48 页)

接近, 而与文 23(Es₄) 凝析油、石炭—二叠系源岩模拟液态烃的 $\delta^{13}\text{C}$ 相差 0.2%~ 0.4%; 生物标志化合物参数反映原油成熟度高, 生源构成以低等生物为主, 源岩沉积水体为强还原环境。尤其是含有丰富的伽马蜡烷和奥利烷成为文古 2 井原油的一个显著特征。

2) 油源对比结果显示, 文古 2 井潜山油藏属“新生古储”型, 源岩应以下第三系湖相暗色泥岩为主。主要表现在原油族组成、全烃同位素与第三系泥岩抽提物具有强的亲缘性, 而与煤系模拟油、上古生界源岩具有明显差异; 其次是伽马蜡烷化合物含量高, 与研究区下第三系高盐湖沉积环境吻合; 原油中检测出丰富的奥利烷“断代”生物标志化合物, 充分佐证油源岩为下第三系泥岩。

参 考 文 献

- 1 李素梅, 李雪, 张庆红, 等. 牛庄洼陷第三系古沉积环境及其控油作用[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 269~ 273
- 2 戴金星, 夏新宇, 秦胜飞, 等. 中国有机烷烃碳同位素系列倒转的成因[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(1): 1~ 6
- 3 王大锐. 稳定同位素地球化学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2000
- 4 徐永昌, 沈平. 中国化石燃料的同位素地球化学[J]. 中国科学(B 辑), 1990, 020(004): 409~ 418
- 5 王昌桂, 程克明. 吐哈盆地侏罗系煤成烃地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1998
- 6 徐永昌. 天然气成因理论及应用[M]. 北京: 科学出版社, 1994
- 7 林壬子. 油气勘探与油藏地球化学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1998
- 8 孙德君, 张绍臣, 刘文龙, 等. 塔中地区 C III 油组成藏特征[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(2): 164~ 167