

文章编号: 1000-0550(2012)06-1165-07

# 塔北隆起雅克拉油气田原油成因特征<sup>①</sup>

李洪波<sup>1,2,3</sup> 王铁冠<sup>1</sup> 李美俊<sup>1</sup> 陈金燕<sup>1</sup>

(1. 中国石油大学(北京)油气资源与探测国家重点实验室 北京 102249;

2. 长江大学油气资源与勘探技术教育部重点实验室 湖北荆州 434023; 3. 长江大学地球化学系 湖北荆州 434023)

**摘要** 针对雅克拉油气田多个含油气层位的原油,进行了一系列的地球化学测试分析,对雅克拉油气田原油的地球化学特征、成因特征进行了解剖。研究表明,雅克拉油气田深浅不同层位原油轻烃组成与轻烃单体烃碳同位素、类异戊二烯烷烃组成以及原油与馏分碳同位素组成具有明显的海相原油特征;深浅层原油三环萘烷、C<sub>28</sub>甾烷、三芳甾烷和甲基三芳甾烷以及原油与馏分碳同位素组成皆具有典型上奥陶统来源油的特征,与寒武—下奥陶统来源油特征差异明显,暗示雅克拉油气田原油来源于上奥陶统烃源层。

**关键词** 塔北隆起 雅克拉油气田 原油 地球化学 成因特征

**第一作者简介** 李洪波 男 1981年出生 博士 讲师 油气地球化学 E-mail: lihbyu@126.com

**中图分类号** TE122.3 **文献标识码** A

## 0 引言

塔北隆起北缘一直被认为是南、北海陆相油气的双重汇聚的有利地区<sup>[1]</sup>,具有多油气源、多含油气层位的特点,目前已发现八个含油气层位(Z、 $\epsilon$ 、O、J<sub>1</sub>、K<sub>1y</sub>、K<sub>1b</sub>、K<sub>1bs</sub>和E<sub>3s</sub>)。以往研究认为,塔北隆起北缘亚南断裂一侧的东段原油为煤成油,中—西段为湖相油<sup>[2,3]</sup>。虽然雅克拉油气田原油的地球化学研究已有报道,但仅仅局限于白垩系原油<sup>[4]</sup>。因此,对于该地区八大主要含油气层位原油的垂向成因分布特征鲜见报道。另外,已有研究指出,雅克拉油气田临近的牙哈构造带上,同一单井不同含油气层位原油成因差异明显,比如YH3井E原油具有陆相油特征,而J和O原油呈现海相油特征<sup>[5]</sup>,纵向上油气分布的复杂性可见一斑。基于此,本文选取塔北隆起北缘雅克拉油气田五套含油气层位(Z、 $\epsilon$ 、O、J<sub>1</sub>、K<sub>1y</sub>)原油进行原油轻、中、重分子组合特征与碳同位素组成剖析,揭示五套油气层中原油地球化学特征,进行油—油对比,判别原油的成因类型特征。雅克拉油气田多层位、多物性特征原油成因特征的研究,可为认识其垂向上原油分布规律与成藏特征提供有利的地质—地球化学信息。

## 1 地质概况

雅克拉油气田位于雅克拉构造带上,南邻轮台断

裂呈近东北向展布(图1)。雅克拉构造带为塔北隆起雅克拉断凸上的一个次级构造单元,是在前中生界背冲侵蚀断块残丘基础上,接受中、新生代沉积,进而形成的一个复合型构造单元。中生界背斜构造走向与轮台断裂基本平行,北翼倾角平缓,南翼稍陡。1984年9月SC2井钻至奥陶系,井深5391.18m时发生强烈井喷,由此发现了奥陶系凝析油气藏。雅克拉油气田分别在下白垩统K<sub>1y</sub>亚格列木组、下侏罗统、奥陶系、寒武系及震旦系等层位试获工业油气流,主要为凝析油气,原油密度主要位于0.7801~0.8229g/cm<sup>3</sup>,从而证明雅克拉凝析油气田为一多油气层、多类型的复合型凝析油气田。

## 2 实验条件与方法

**全油与饱和烃色谱分析:**仪器为Agilent 6890GC,色谱柱为HP-5MS,30m×0.25mm×0.25 $\mu$ m,载气为高纯氦气(99.999%)。以1ml/min的载气流速,从100℃开始程序升温,以4℃/min升至300℃,然后保持12min,利用FID检测。

**饱和烃和芳烃色谱—质谱分析:**仪器为Agilent 6890GC/5975iMS,色谱柱为HP-5MS,60m×0.25mm×0.25 $\mu$ m,载气为高纯氦气(99.999%)。以1ml/min的载气流速,初始炉温80℃保持1min,开始程序升温,以3℃/min升至310℃,恒定16min。离子化方式为EI,70eV,数据采集方式为全扫描/多离

<sup>①</sup>湖北省教育厅中青年人才项目(编号:Q20111303)资助。  
收稿日期:2011-07-20; 收修改稿日期:2012-03-26

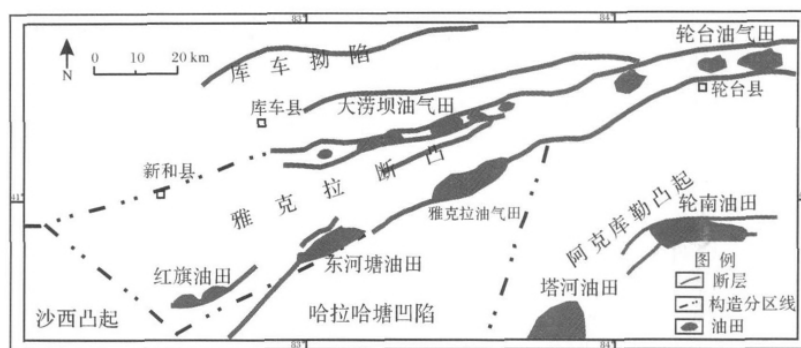


图1 雅克拉油气田平面位置示意图

Fig. 1 Geographic location of Yakela oilfield

子(SCAN/SIM)。

原油轻烃单体烃稳定碳同位素分析: 仪器为 Agilent 6890N 色谱与 Finnngen—MAT252 质谱仪, 色谱柱为 HP—PONA 50 m × 0.20 mm × 0.5 μm; 升温程序为 35℃ 保持 20 min, 以 1℃/min 升至 60℃, 保持 5 min, 然后以 10℃/min 升至 300℃, 保持 2 min; 全油进样, 溶解分离样品的试剂为 CCl<sub>4</sub>; 进样口温度为 220℃, 氧化炉温 850℃, 分析精度在 0.2‰ 以内, δ<sup>13</sup>C 值输出标准为 V—PDB。

原油与族组分碳同位素组成分析: 检测仪器 Finnngen—MAT252 质谱仪。溶解分离样品的试剂为 CCl<sub>4</sub>, 置于 800℃ 条件下燃烧, 然后在 250℃ 条件下还原后, 液氮冷却。测定的稳定碳同位素组成误差范围为 ±0.1‰。δ<sup>13</sup>C 值输出标准为 V—PDB。

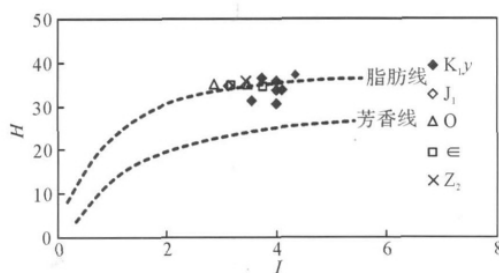
### 3 结果与讨论

#### 3.1 轻烃组成

雅克拉油气田原油主要以凝析油与轻质油为主, 轻烃为其重要组成部分。因此, 轻烃组成研究对于雅克拉构造原油地球化学研究尤为重要, 笔者试从轻烃化合物组成与单体烃碳同位素两方面进行研究。

Thompson 提出的原油轻烃庚烷值( $H$ )和异庚烷值( $I$ )在国内外研究中取得了良好的应用效果<sup>[6,7]</sup>。雅克拉构造原油  $H$  和  $I$  分布如图 2 所示, 下白垩统  $K_1y$  亚格列木组原油与  $Z_2$ 、 $\epsilon$ 、 $O$ 、 $J_1$  原油均位于脂肪线上, 与库车陆相原油差异明显<sup>[8]</sup>, 表现出海相原油的特征, 且不同层位原油具有非常一致的分布特征。

原油轻烃化合物中, 甲基环己烷具有明显的生源意义, 胡惕麟等提出了甲基环己烷指数  $I_{MCYC_6}$ , 作为区分不同母质类型原油的标志<sup>[9]</sup>。在对塔里木盆地不

图2 雅克拉油气田原油轻烃  $H$  和  $I$  值变化趋势图  
(底图据文献[7])Fig. 2 Trend chart of  $H$  and  $I$  index of light hydrocarbons in crude oils from Yakela oilfield (after Thompson, 1979)

同成因类型原油的统计分析基础之上, 张敏等认为<sup>[5]</sup>, 一般海相油  $I_{MCYC_6}$  值 15% ~ 35% ± 2%, 湖相油 35% ~ 65% ± 2%, 煤成油 > 65%。雅克拉各层位原油  $I_{MCYC_6}$  主要位于 31% ~ 38% (表 1), 同样指示其为典型海相原油, 且数值大小分布与层位分布无明显规律。图 3 显示了雅克拉油气田轻烃部分单体烃碳同位素变化特征, 可以发现, 位于浅层  $K_1y$  的原油 (YK9X 井、YK5H 井、YK6H 井、YK10 井和 S8 井原油) 单体烃碳同位素组成较重, 主要位于 -29.5‰ ~ -28.0‰, 深层  $J_1$ 、 $O$ 、 $\epsilon$  和  $Z_2$  的原油 (S15 井、YK12 井、YK7 井、S4 井和 YK11 原油) 单体烃碳同位素组成较轻, 主要位于 -31.0‰ ~ -29.5‰。为了探讨雅克拉油气田原油上述差异的原因, 笔者选取了最具代表性的  $MCYC_6$  碳同位素组成绘制了图 4, 可以看出碳同位素值同成熟度参数  $T_s / (T_s + T_m)$  具有较好的相关性。另外, 如果存在蒸发分馏过程, 根据 Dzou 已有的研究来看<sup>[11]</sup>, 浅层  $K_1y$  较深层  $J_1$ 、 $O$ 、 $\epsilon$  和  $Z_2$  油藏应该具有更轻的轻烃单体烃碳同位素组成。显然, 在图

表 1 雅克拉油气田原油地球化学参数

Table 1 Geochemical parameters of Crude oils in Yakela oilfield

井号	深度/m	层位	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l
S7	5301.0 ~ 5313.0	K <sub>1y</sub>				3.76	1.05	0.51	21.81	0.80	0.54			
YK1	5274.0 ~ 5383.0	K <sub>1y</sub>				4.47	1.02	0.48	26.47	0.50	0.28	0.36	0.50	0.58
YK2	5264.0 ~ 5303.0	K <sub>1y</sub>	37.24	4.36	31.67	4.24	1.00	0.49	22.10	0.53	0.31	0.04	0.38	0.45
YK5H	5428.62 ~ 5959.55	K <sub>1y</sub>	33.66	4.11	36.04	4.71	0.98	0.52	24.09	0.50	0.29	0.04	0.39	0.51
YK6H	5491.06 ~ 5982.0	K <sub>1y</sub>	35.73	4.02	35.80	4.13	1.13	0.52	24.90	0.51	0.28	0.03	0.40	0.50
YK8	5258.0 ~ 5274.5	K <sub>1y</sub>				4.55	1.09	0.48	25.08	0.55	0.31	0.28	0.65	0.61
YK8H	5296.0 ~ 5300.0	K <sub>1y</sub>	31.24	3.56	38.26	4.20	1.09	0.51	26.06	0.48	0.26	0.08	0.44	0.44
YK9X	5375.0 ~ 5390.0	K <sub>1y</sub>	36.42	3.75	36.63	3.50	1.12	0.50	22.88	0.48	0.27	0.03	0.37	0.46
YK10	5290.5 ~ 5327.0	K <sub>1y</sub>	33.65	4.02	34.94	3.16	1.08	0.51	24.99	0.51	0.26	0.03	0.40	0.51
S8	5324.0 ~ 5328.0	K <sub>1y</sub>	30.70	4.02	41.29	4.97	1.05	0.57	22.51	0.58	0.30	0.02	0.35	0.41
S4	5358.5 ~ 5380.0	J <sub>1</sub>	34.80	3.15	36.93	3.49	0.96	0.52	23.28	0.39	0.24	0.04	0.32	0.34
S15	5350.0 ~ 5379.0	O	35.08	2.88	41.60	3.37	0.97	0.52	22.25	0.44	0.29	0.04	0.33	0.35
SC2	5391.8	O				3.03	1.01	0.77	34.28	0.26	0.20	0.03	0.36	0.33
YK12	5361.2 ~ 5376.5	O <sub>1</sub>	35.05	3.49	32.21	4.64	1.05	0.54	24.19	0.37	0.23	0.00	0.37	0.28
YK7	5367.5 ~ 5388.16	ε	34.57	3.20	34.94	2.50	0.93	0.54	25.70	0.40	0.21	0.02	0.31	0.41
YK13	5412.5 ~ 5417.5	ε	34.37	3.77	31.43	6.49	1.15	0.46	20.96	0.53	0.30	0.09	0.38	0.42
YK11	5426.85 ~ 5431.0	Z	35.68	3.45	31.24	4.35	1.05	0.56	22.43	0.62	0.41	0.14	0.46	0.47

注: a. 庚烷值; b. 异庚烷值; c. 甲基环己烷指数; d.  $nC_{21} - /nC_{22} +$ ; e. Pr/Ph; f.  $C_{21} / C_{23}$  三环萜烷; g.  $C_{28}$  甾烷相对百分含量; h.  $Ts / (Ts + Tm)$ ;

i.  $C_{29} Ts / (C_{29} Ts + C_{29} H)$ ; j. 甲基三芳甾烷参数 1; k. 甲基三芳甾烷参数 2; l.  $(C_{26} + C_{27}) TAS / C_{28} TAS$

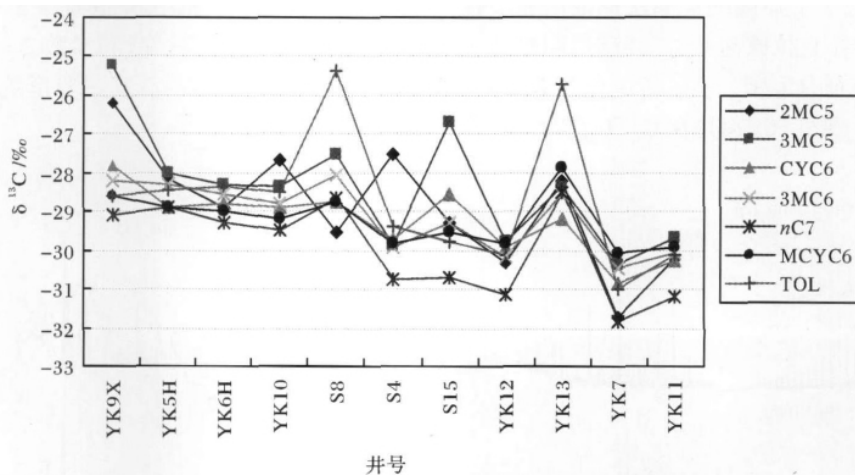


图 3 雅克拉油气田原油轻烃单体烃碳同位素组成变化

Fig. 3 Variation diagram of specific compound  $\delta^{13}C$  of light hydrocarbons in Yakela oilfield

3 的碳同位素变化中并不存在这种特征。因此,推测雅克拉构造原油之间的轻烃单体烃碳同位素组成差异可能主要受到成熟度的控制。

张文正等对我国主要含油气盆地原油轻烃单体烃碳同位素组成对比研究发现,雅克拉构造 SC2 井奥陶系原油主要轻烃单体烃碳同位素位于  $-32.0‰ \sim -29.0‰$  之间<sup>[12]</sup>,与本次雅克拉油气田原油数据一致,暗示其非煤系、非混合成因的特点。结合张文正等人研究的我国其他盆地湖相油与煤成油轻烃单体烃碳同位素组成的分布特征<sup>[12]</sup>,可进一步佐证雅克拉油气田各层位原油为海相原油。

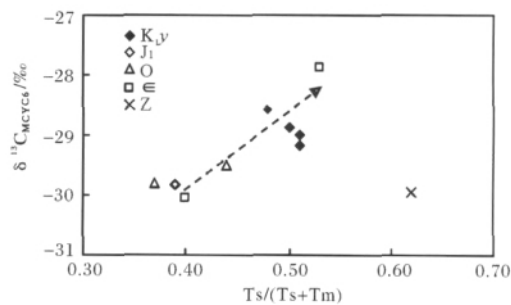


图 4 雅克拉油气田原油  $MCYC_6$  碳同位素值与  $Ts / (Ts + Tm)$  相关图

Fig. 4 Correlation diagram of  $\delta^{13}C_{MCYC_6}$  and  $Ts / (Ts + Tm)$  of crude oils among Yakela oilfield

### 3.2 饱和烃与芳烃分子组成

正烷烃与类异戊二烯烷烃分布可以较为宏观地反映原油的分子组成特征。雅克拉油气田各含油气层位典型原油样品正烷烃组成特征如图5,正烷烃都呈现前峰型分布,轻重比 $nC_{21-}/nC_{22+}$ 介于3.0~5.0之间(表1),浅层 $K_{1y}$ 与深层 $J_1$ 、 $O$ 、 $\epsilon$ 和 $Z$ 原油轻重比无明显差异,仅仅浅层 $K_{1y}$ 正烷烃前峰型更偏向低碳数一些,这种特征可能正如前文所述,反映了原油成熟度的差异。雅克拉构造原油姥植比( $Pr/Ph$ )分布也较为接近,位于0.93~1.15之间(表1)。图6雅克拉原油 $Ph/nC_{18}$ 与 $Pr/nC_{17}$ 变化图揭示了雅克拉油气田原油来源于I或II型有机质且偏还原沉积环境的烃源岩,结合轻烃组成特征更进一步暗示雅克拉原油可能为海相油。

图5中雅克拉油气田不同层位原油的萘烷分布特征揭示了浅层与深层原油非常一致的萘烷化合物分布特征。王铁冠等将 $C_{21}$ 和 $C_{23}$ 三环萘烷的分布作为塔里木盆地来源于上奥陶统烃源层原油的典型特征<sup>②</sup>。图5呈现出雅克拉原油 $C_{23}$ 三环萘烷明显高于 $C_{21}$ 三环萘烷的特征, $C_{21}/C_{23}$ 三环萘烷位于0.46~0.56之间(表1)。另外, $C_{28}$ 甾烷在 $C_{27}$ 、 $C_{28}$ 和 $C_{29}$ 甾烷

的相对含量也是可靠区分塔里木盆地海相原油的指标<sup>[13]</sup>。雅克拉原油 $C_{28}$ 甾烷相对百分含量主要位于21%~25%之间(表1)。综合上述甾萘化合物分布特征,结合以往研究认为的上奥陶统来源油特征<sup>[13,14]</sup>,可以初步推测雅克拉油气田原油为典型上奥陶统来源的海相原油。

三芳甾烷和甲基三芳甾烷是芳烃馏分中一类重要的化合物。梁狄刚等在研究南方海相高—过成熟原油油源时,发现三芳甾烷和甲基三芳甾烷组成并不受烃源岩成熟度控制,而是反映了不同生源组成特征,并将其良好的运用到了油源对比之中<sup>[15]</sup>。从前人的研究来看<sup>[13,14]</sup>,塔里木盆地海相原油也是如此,运用三芳甾烷和甲基三芳甾烷的组成分布较易区分塔里木盆地寒武—下奥陶统和上奥陶统烃源层来源油。雅克拉油气田不同层位原油的甲基三芳甾烷( $m/z$  245)组成分布特征如图5所示,基于其分布特征,本文采用甲基三芳甾烷参数 $1 = \text{三芳甲藻甾烷} / (\text{4-甲基-24-乙基三芳甾烷} + \text{3-甲基-24-乙基三芳甾烷} + \text{三芳甲藻甾烷})$ 和参数 $2 = \text{4-甲基-24-乙基三芳甾烷} / \text{3-甲基-24-乙基三芳甾烷}$ ,来区分两者的特征。

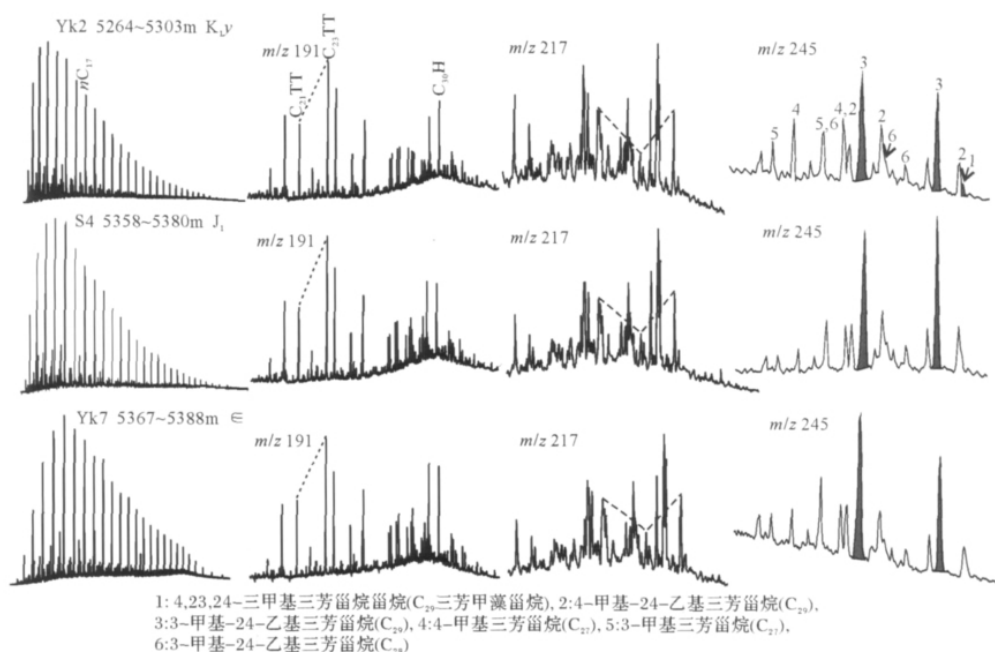


图5 雅克拉油气田原油气相色谱图与典型质量色谱图

Fig. 5 Gas chromatograms and typical mass chromatograms of crude oils among Yakela oilfield

②王铁冠,何发岐,王春江,等.塔河油田奥陶系油气成藏地球化学研究.中国石油大学(北京)2003

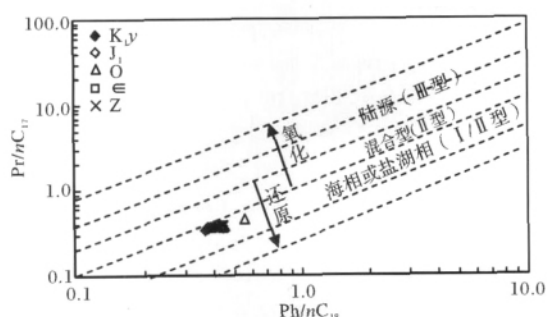


图 6 雅克拉油气田原油  $Ph/nC_{18}$  与  $Pr/nC_{17}$  变化图

Fig. 6 The cross plot of  $Ph/nC_{18}$  and  $Pr/nC_{17}$  of crude oils among Yakela oilfield

图 7 (a) 为甲基三芳甾烷参数 1 与参数 2 分布变化图, 图 7 (b) 甲基三芳甾烷参数 1 与  $(C_{26} + C_{27})TAS/C_{28}TAS$  参数分布变化图。雅克拉构造原油落入两参数的低值区, 与典型的上奥陶统来源的塔东油田

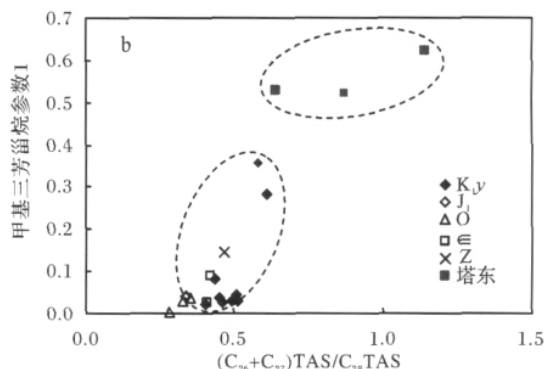
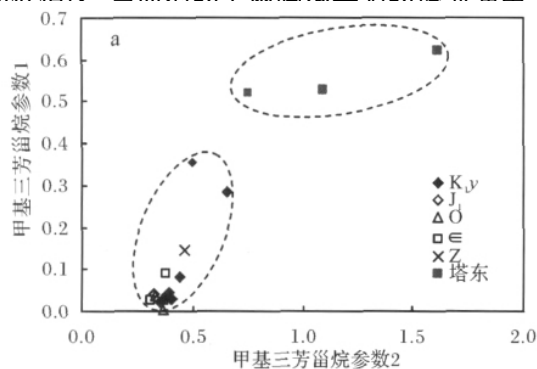


图 7 雅克拉油气田原油三芳甾烷和甲基三芳甾烷参数分布图

Fig. 7 The cross plot of methyl triaromatic sterane parameter 1 and 2 of crude oils among Yakela oilfield

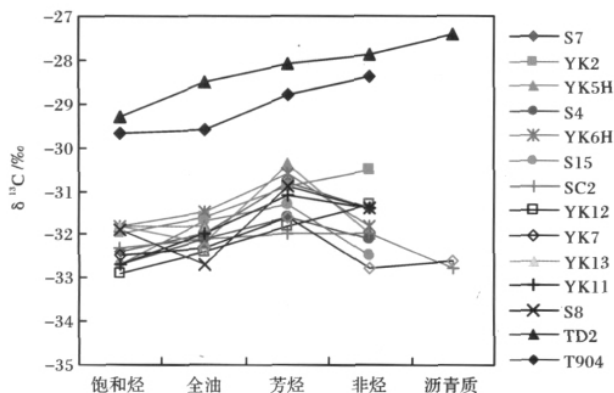


图 8 雅克拉油气田、塔东 2 井与 T904 井原油及馏分碳同位素组成分布图

Fig. 8 Carbon isotope distribution curves of crude oils and fraction compositions from Yakela oilfield, Well TD2 and T904

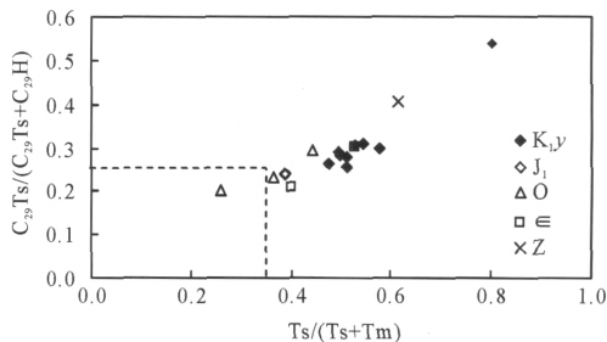


图 9 雅克拉油气田原油  $Ts/(Ts + Tm)$  与  $C_{29}Ts/(C_{29}Ts + C_{29}H)$  参数分布图

Fig. 9 Scatter plot of  $Ts/(Ts + Tm)$  with  $C_{29}Ts/(C_{29}Ts + C_{29}H)$  of crude oils among Yakela oilfield

原油分布特征极其一致<sup>③</sup>。为了研究对比的需要, 特意引入了典型寒武一下奥陶统来源油的塔东原油的参数数据, 图中塔东原油无一例外的落入了两参数的高值区。与以往研究认为的上奥陶统来源油的相似性及其与典型寒武一下奥陶统来源油的显著差异性<sup>[13, 14, 16]</sup>, 揭示雅克拉油气田各层位原油应该来源于上奥陶统烃源层。

### 3.3 原油与族组分碳同位素组成

原油与族组分碳同位素组成继承其母源有机质的组成, 一定程度上也受热成熟过程中的同位素分馏效应影响。一般来说, 同源原油因成熟度不同而产生的稳定碳同位素组成  $\delta^{13}C$  差异不超过  $2\text{‰} \sim 3\text{‰}$ <sup>[17]</sup>。因此, 对于成熟度相近的原油, 若稳定碳同位素  $\delta^{13}C$  值相差  $2\text{‰} \sim 3\text{‰}$  以上, 则一般认为是非同源的。图 8 展示了雅克拉油气田原油、塔东 2 井与塔河东部 T904 井寒武系原油及族组分碳同位素组成分布。雅

③王铁冠, 王春江, 李美俊, 等. 塔河—塔中—塔西南地区成藏地球化学与油源对比研究. 中国石油大学(北京). 2003

克拉油气田原油与族组分  $\delta^{13}\text{C}$  值基本位于  $-33.0\%$  ~  $-31.0\%$  之间,不同层位原油之间分布较为相似,整体上与上奥陶统油源的塔北隆起塔河油田原油与族组分碳同位素组成一致<sup>[16]</sup>。与前人研究的典型寒武—下奥陶统油源的塔东地区 TD2 井与塔河油田东区 T904 井原油与族组分碳同位素存在明显的差异。原油与馏分的碳同位素组成特征更加证实雅克拉原油来源于上奥陶统烃源层的判断。

### 3.4 原油成熟度特征

甾烷异构化成熟度适用的成熟度范畴已不能较好的评价雅克拉油气田原油的成熟度特征。笔者主要利用成熟—高成熟原油应用越来越广泛的  $18\alpha$  (H)-新藿烷成熟度参数  $T_s/(T_s + T_m)$  和  $C_{29}T_s/(C_{29}T_s + C_{29}H)$ <sup>[18]</sup> 评价原油成熟度。在图 9 中,雅克拉原油新藿烷参数  $T_s/(T_s + T_m)$  与  $C_{29}T_s/(C_{29}T_s + C_{29}H)$  展现出良好的线性相关,雅克拉油气田原油  $T_s/(T_s + T_m)$  基本位于  $0.37 \sim 0.80$ ,  $C_{29}T_s/(C_{29}T_s + C_{29}H)$  位于  $0.20 \sim 0.54$ (表 1),已达到了成熟的范围。

对比图 9 中深浅层不同层位原油样品可发现,不同层位原油成熟度呈现出不同的特征,浅层下白垩统  $K_{1Y}$  亚格列木组原油成熟度整体偏高,应该处于高成熟度阶段,而深层  $J_1$ 、 $O$ 、 $\epsilon$  和  $Z$  原油成熟度相对偏低,应该位于成熟—高成熟阶段。

## 4 结论

(1) 雅克拉油气田浅层  $K_{1Y}$  和深层  $J_1$ 、 $O$ 、 $\epsilon$  和  $Z$  原油具有相似的分子组成与原油及族组分碳同位素组成特征,应该为同一来源油,只是深层原油成熟度相对较低,且无明显证据证明深浅层原油存在蒸发分馏作用。

(2) 雅克拉油气田原油的  $C_{23}$  与  $C_{21}$  三环萜烷相对组成、 $C_{28}$  甾烷相对百分含量、三芳甾烷、甲基三芳甾烷与原油和族组分碳同位素组成无一例外的表明其具有非常典型的上奥陶统海相油特征,与塔东和塔北地区典型寒武—下奥陶统来源油具有明显差异性。

### 参考文献 (References)

- 1 梁狄刚,顾乔元,皮学军. 塔里木盆地塔北隆起凝析气藏的分布规律[J]. 天然气工业, 1998, 18(3): 5-9 [Liang Digang, Gu Qiaoyuan, Pi Xuejun. Distribution law of the condensate gas reservoirs in Tabei uplift[J]. Natural Gas Industry, 1998, 18(3): 5-9]
- 2 张水昌,邓攀,彭燕,等. 塔里木盆地轮台断隆带中生代陆相原油成因及其源岩潜力评价[J]. 新疆石油地质, 1995, 16(4): 307-311 [Zhang Shuichang, Deng Pan, Peng Yan, et al. Origin of Mesozoic-Ce-

- nozoic continental facies oil and hydrocarbon-generated potential evaluation of source rock, Luntai faulted uplift zone in Tarim Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1995, 16(4): 307-311]
- 3 包建平,朱翠山,张秋茶,等. 库车坳陷前缘隆起带上原油地球化学特征[J]. 石油天然气学报, 2007, 29(4): 40-44 [Bao Jianping, Zhu Cuishan, Zhang Qiucha, et al. Geochemical characteristics of crude oil from frontal uplift in Kuqa depression[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2007, 29(4): 40-44]
- 4 高波,刘文汇,张殿伟,等. 雅克拉凝析气田油气地球化学特征[J]. 海相油气地质, 2008, 13(3): 49-54 [Gao Bo, Liu Wenhui, Zhang Dianwei, et al. Geochemical characteristics of hydrocarbon in Yakela gas condensate field, Tarim Basin[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2008, 13(3): 49-54]
- 5 张敏,林王子,梅博文. 西藏地球化学—塔里木盆地库车含油气系统研究[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1997 [Zhang Min, Lin Renzi, Mei Bowen. Reservoir Geochemistry: Approach to Kuche Petroleum System of Tarim Basin, China[M]. Chongqing: Chongqing University Press, 1997]
- 6 Thompson K F M. Light hydrocarbons in subsurface sediments[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1979, 43(5): 657-672
- 7 Thompson K F M. Classification and thermal history of petroleum based on light hydrocarbons[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1983, 47(2): 303-316
- 8 王培荣,徐冠军,张大江,等. 常用轻烃参数正、异庚烷值应用中的问题[J]. 石油勘探与开发, 2010, 37(1): 121-128 [Wang Peirong, Xu Guanjun, Zhang Dajiang, et al. Problems with application of heptane and isoheptane values as light hydrocarbon parameters[J]. Petroleum Exploration and Development, 2010, 37(1): 121-128]
- 9 胡惕麟,戈葆雄,张义纲,等. 源岩吸附烃和天然气轻烃指纹参数的开发和应用[J]. 石油实验地质, 1990, 12(4): 375-393 [Hu Tilin, Ge Baoxiong, Chang Yigang, et al. The development and application of fingerprint parameters for hydrocarbons absorbed by source rocks and light hydrocarbons in natural gas[J]. Petroleum Geology & Experiment, 1990, 12(4): 375-393]
- 10 Rooney M A, Vuletich A K, Griffith C E. Compound-specific isotope analysis as a tool for characterizing mixed oils: An example from the West of Shetlands area[J]. Organic Geochemistry, 1998, 29(1-3): 241-254
- 11 Dzo L I P, Hughes W B. Geochemistry of oils and condensates, K Field, offshore Taiwan: A case study in migration fractionation[J]. Organic Geochemistry, 1993, 20(4): 437-462
- 12 张文正,裴戈,关德师,等. 中国几个盆地原油轻烃单体和正构烷烃系列分子碳同位素研究[J]. 地质论评, 1993, 39(1): 79-87 [Zhang Wenzheng, Pei Ge, Guan Deshi, et al. The carbon isotopic composition of the light hydrocarbon monomer and normal alkane series molecules from crude oil of some petroliferous basins in China[J]. Geological Review, 1993, 39(1): 79-87]
- 13 张水昌,张宝民,王飞宇,等. 中—上奥陶统一塔里木盆地的主要油源层[J]. 海相油气地质, 2000, 5(1-2): 16-22 [Zhang Shuichang, Zhang Baomin, Wang Feiyu, et al. Mid-Upper Ordovician: one of the main source rocks of Tarim Basin[J]. Marine Origin

- Petroleum Geology, 2000, 5(2): 16-22]
- 14 张水昌, 梁狄刚, 张宝民, 等. 塔里木盆地海相油气的生成 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2004 [Zhang Shuichang, Liang Digang, Zhang Baomin, *et al.* Generation of Marine Oils and Gas in Tarim Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004]
- 15 梁狄刚, 陈建平. 中国南方高—过成熟区海相油源对比问题 [J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(3): 8-14 [Liang Digang, Chen Jianping. Oil-source correlations for high and over matured marine source rocks in South China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(3): 8-14]
- 16 王传刚, 王铁冠, 张卫彪, 等. 塔里木盆地北部塔河油田原油分子地球化学特征及成因类型划分 [J]. 沉积学报, 2006, 24(6): 901-909 [Wang Chuangang, Wang Tieguan, Zhang Weibiao, *et al.* Molecular geochemistry and classifications of genetic types of petroleum from Tahe oilfield of the northern Tarim Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24(6): 901-909]
- 17 Peters K E, Moldowan J M. The Biomarker Guide: Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments [M]. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1993
- 18 王春江, 傅家谟, 盛国英, 等. 18 $\alpha$ (H) 新藿烷及 17 $\alpha$ (H) 重排藿烷类化合物的地球化学属性与应用 [J]. 科学通报, 2000, 45(13): 1366-1372 [Wang Chunjiang, Fu Jiamo, Sheng Guoying, *et al.* Geochemical characteristics and applications of 18 $\alpha$ (H) neohopanes and 17 $\alpha$ (H) diahopanes [J]. Chinese Science Bulletin, 2000, 45(13): 1366-1372]

## Genetic Characteristics of Crude Oils from Yakela Oilfield in Tabei Uplift

LI Hong-bo<sup>1, 2, 3</sup> WANG Tie-guan<sup>1</sup> LI Mei-jun<sup>1</sup> CHEN Jin-yan<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249;

2. Key Laboratory of Exploration Technologies for Oil and Gas Resources, Ministry of Education, Yangtze University, Jingzhou, Hubei 434023;

3. Department of Geochemistry, Yangtze University, Jingzhou, Hubei 434023)

**Abstract:** Geochemical analysis was completed for crude oils from Yakela oilfield to investigate geochemical characteristics and genetic type of crude oils. The heptane value, isoheptane value and MCYC<sub>6</sub> index of crude oils in Yakela oilfield provided excellent evidence for marine oils characteristics. Compound-specific carbon isotope of light hydrocarbons indicated that oils in Yakela oilfield were marine oils with relative high maturity for lower oils. C<sub>21</sub>/C<sub>23</sub> tricyclic diterpane and C<sub>28</sub> steranes relative content in C<sub>27</sub> ~ C<sub>29</sub> steranes were consistent with oils derived from O<sub>3</sub> source rock in Tarim Basin. Characteristics of triaromatic steroids and methyl triaromatic steroids further proved the O<sub>3</sub> source rock was the source of oils in Yakela oilfield. A significant difference was found in carbon isotope composition of whole oil and fractions of TD2 well, T904 well and Yakela oilfield, which suggested the crude oils among deeper and shallower layers in Yakela oilfield were marine oils and had obvious differences with crude oils derived from  $\epsilon$ -O<sub>1</sub>. Based on the light hydrocarbons, tricyclic terpanes, C<sub>28</sub> steranes, triaromatic steranes and methyl triaromatic steranes, and carbon isotope composition of whole oil and fractions, it is suggested that the crude oils of Yakela oilfield in deeper and shallower layers had the common source and derived from O<sub>3</sub> source rock.

**Key words:** Tabei Uplift; Yakela oilfield; crude oil; geochemistry; genetic characteristics