

# 塔西南地区原油轻烃特征及成因类型

崔景伟<sup>1</sup>, 王铁冠<sup>2</sup>, 李美俊<sup>2</sup>, 耿峰<sup>3</sup>, 唐友军<sup>4</sup>, 胡健<sup>1,2</sup>

(1. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 中国石油大学(北京), 北京 102249;

3. 中国石油化工有限公司西北油田分公司, 新疆 乌鲁木齐 830011;

4. 长江大学地球化学系, 湖北 荆州 434023)

**摘要:**塔西南地区是塔里木盆地石油勘探的后备区, 整体考虑区域内已发现轻质原油的轻烃地球化学特征, 对确定区域内原油成因类型和成藏过程具有重要意义。利用配置 PONA 毛细管柱的 GC 对区域内 22 件原油进行  $C_6-C_{13}$  轻烃族组成、族组分比值、 $MCyC_6/nC_7$  和  $m\text{-xylene}/(m\text{-xylene}+nC_8+nC_9)$  分析。结果表明, 塔西南地区原油可划分为巴什托轻质油族群、和田河轻质油族群和柯克亚轻质油族群 3 个族群。族群划分结果显示原油存在 3 套烃源岩, 部分原油存在混源特征, 轻烃结果受原油芳烃和碳同位素分析支持。

**关键词:**气相色谱; 原油; 轻烃; 成因类型; 塔西南地区

**中图分类号:** TE122.1<sup>+1</sup>

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1672-1926(2015)07-1354-11

**引用格式:** Cui Jingwei, Wang Tieguan, Li Meijun, *et al.* Light hydrocarbon characteristics and oil family classification of crude oils, southwest Tarim Basin, northwest China[J]. Natural Gas Geoscience, 2015, 26(7): 1354-1364. [崔景伟, 王铁冠, 李美俊, 等. 塔西南地区原油轻烃特征及成因类型[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(7): 1354-1364.]

## 0 引言

塔西南地区石油地质研究与油气勘探的程度都偏低, 作为下一步勘探的后备地区, 被多个学者和油田公司列为最具勘探前景的区块, 推测其资源量达到  $66.66 \times 10^8 \text{ t}$ <sup>[1-2]</sup>。但是目前发现的油田仅包括巴什托油田、和田河凝析气田以及柯克亚油田在内的少数油气田, 由于勘探区块割裂, 加之油气产层和原油产状多样, 对塔西南地区原油地球化学特征缺少统一的对比研究<sup>[3-7]</sup>。目前原油来源和类型判别主要依据生物标志化合物等证据。然而, 在一些凝析油和轻质油中轻烃质量含量可达到 80%~90%, 可能具有质量含量仅 1% 的生物标志化合物所不具备的信息和主体性<sup>[8]</sup>。

早期对于  $C_7$  轻烃的生成机制研究较丰富, 主要集中在过渡金属催化理论和热解理论 2 个方面, 而

$C_8-C_{13}$  的轻烃研究较少<sup>[9-12]</sup>。Odden 等<sup>[13]</sup>通过研究不同成熟度和沉积相的岩石样品, 得出有机相成熟度对于酪根热解产生的轻烃组成影响大。国内王培荣等<sup>[14-15]</sup>在原油  $C_5-C_{13}$  轻馏分谱图上, 对 286 个化合物作族组成定性检测分析, 并对国内不同沉积环境盆地不同有机相不同岩性烃源岩进行分析, 认为  $C_6-C_{13}$  轻馏分族组成和族组成的比值似乎主要受烃源岩沉积水体盐度的控制, 并认为原油的  $C_6-C_{13}$  轻馏分族组成和族组成的比值有可能成为油—油对比研究的一种新参数。

近年来, 塔西南地区陆续在麦盖提斜坡区和山前冲断带内发现新的油气产层并获得工业油流, 但是后续勘探获得工业油流的成功率较低。因此, 结合区域内已发现原油成熟度较高、油气比大、密度轻等特点, 选取上述轻烃分析技术, 特别是  $C_5-C_{13}$  轻烃组成和分布特征对该区域已经发现的原油进行族

收稿日期: 2014-12-16; 修回日期: 2015-04-27.

基金项目: 西北油田分公司项目“塔西南地区油源与成藏地球化学研究”(编号: KT2009-0904500030108); 国家科技重大专项“岩性地层油气藏成藏规律、关键技术及目标评价”(编号: 2011ZX05001) 联合资助。

作者简介: 崔景伟(1980-), 男, 河北衡水人, 工程师, 主要从事油藏地球化学和非常规油气地质研究. E-mail: cuijingwei@petrochina.com.cn.

群划分,为认识该区域原油来源和类型提供参考资料。

1 地质背景及采样

塔西南地区震旦纪—早寒武世属于大陆裂谷盆地;中寒武世—奥陶纪,该地区演化为被动大陆边缘型盆地;志留纪至泥盆纪处于前陆挤压环境;早石炭世,形成前陆拗陷和前缘隆起带;早二叠世,古特提斯洋北缘向北俯冲,该区域处于弧后伸展构造环境;晚二叠世至早三叠世,该区域由弧后伸展型盆地演化为弧后前陆盆地;侏罗纪—古近纪,该区域成为陆内断陷盆地;新近纪,该区成为对冲复合型前陆盆地;第四纪,该地区虽然总体上仍属于压扭性前陆型盆地,最终形成现今叶城凹陷、喀什凹陷和麦盖提斜坡及巴楚前缘断隆的构造格局<sup>[3-5]</sup>。塔西南地区发育寒武系、奥陶系、石炭系、二叠系、侏罗系为主的5套烃源岩,主要勘探目的层系是奥陶系、石炭系、二叠系、中生界白垩系与新生界。研究区内存在5套生储盖组合:①中、新生界储盖组合;②石炭系、二叠系储盖组合;③志留系储盖组合;④奥陶系储盖组合;⑤寒武系储盖组合。二叠纪后的构造运动,特别

是新生代的喜马拉雅运动使天山、昆仑山向前陆盆地的冲断作用形成大规模的逆冲断裂并形成大量与断层相关的褶皱,导致丰富圈闭的形成<sup>[3-4]</sup>。

塔西南地区采集原油位置和物性见图1和表1所示。巴什托油田原油密度为0.792 8~0.830 0g/cm<sup>3</sup>,运动黏度为1.826~5.250mm<sup>2</sup>/s,含蜡量为0.80%~24.5%,含硫量为0.06%~0.43%,属于低黏度、低蜡—含蜡、低硫、轻质油。亚松迪油田BT2井原油密度为0.861 2g/cm<sup>3</sup>,运动黏度为21.160mm<sup>2</sup>/s,含蜡量为2.38%,含硫量为0.14%,属于低蜡、低硫轻质油。和田河气田产轻质油,原油密度一般为0.750 0~0.840 0g/cm<sup>3</sup>,一般不含蜡且含硫量小于0.02%,属于低蜡、低硫轻质油。柯克亚油田原油密度分布范围为0.762 9~0.821 5g/cm<sup>3</sup>,具有轻质油的特点,原油含蜡量分布在7.01%~15.30%之间,属于含蜡—高蜡、低硫轻质油。值得注意的是,巴什托油田 Qun6 井 5 507.7m 处原油密度相对偏低(0.792 8g/cm<sup>3</sup>),含蜡量高(23.40%),而5 603.5m 处原油密度相对较高(0.817 9g/cm<sup>3</sup>),含蜡量低(4.40%),原油物性变化反映该井 5 507.7m 处浅层原油可能遭受天然气气洗蒸发分馏所致<sup>[16-17]</sup>。

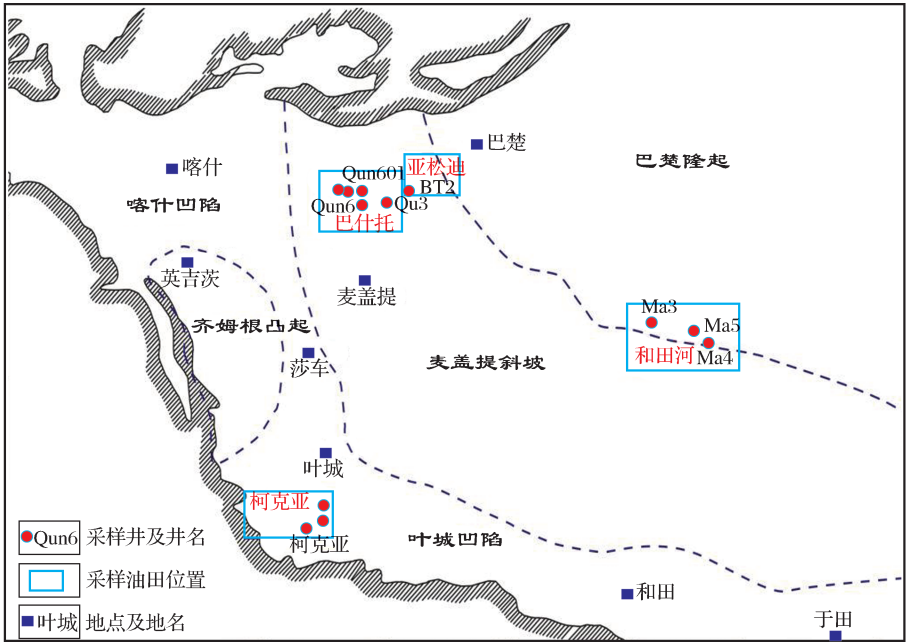


图1 塔西南地区构造分区以及采样油田分布

Fig. 1 Tectonic division and sample collection site, southwest Tarim Basin

2 实验条件

原油 C<sub>5</sub>—C<sub>13</sub> 轻烃气相色谱分析使用美国 Agilent 6890 型气相色谱仪,配用 PONA 色谱柱。测

试条件:标样为 1-己烯;全油进样;载气为 99.999% He,流速为 1mL/min;色谱柱为 HP-PONA(50m×200μm×0.25μm);进样口温度为 230℃;分馏进样,分流比为 100:1;升温程序设定初始温度为 35℃,

表 1 塔西南地区采集原油物性信息  
Table 1 Physical characteristics of oil,southwest Tarim Basin

油气田	井号	井深/m	层位	密度/(g/cm <sup>3</sup> )	运动黏度(30℃)/(mm <sup>2</sup> /s)	含蜡量/%	含硫量/%	原油类型
巴什托	BK3H	4 772.0~4 775.0	C <sub>1</sub> b	0.800 5	2.100	5.29	0.16	轻质油
	BK4H	4 951.6~4 956.0	C <sub>1</sub> b	0.813 0	2.640	9.71	0.22	轻质油
	Mai4	4 755.5~4 767.0	C <sub>1</sub> b	0.806 6	1.860	1.16	0.43	轻质油
	Qu3	4 798.0~4 802.0	C <sub>1</sub> b	0.816 9	3.930	0.80	0.06	轻质油
	Qu1	4 745.5~4 731.4	C <sub>1</sub> b	0.830 0	—	1.19	0.27	轻质油
	BT4	4 880.0~4 913.9	D <sub>3</sub> d	0.824 4	5.250	9.75	0.11	轻质油
	Qun601	5 397.9~5 420.2	D <sub>3</sub> d	0.827 8	2.999	6.88	0.27	轻质油
	Qun6	5 507.7~5 588.7	D <sub>3</sub> d	0.792 8	1.826	24.50	0.10	轻质油
		5 603.5~5 606.5	D <sub>3</sub> d	0.817 9	2.858	4.40	0.26	轻质油
	BK2	4 944.0~4 991.0	D <sub>1+2</sub> k	0.813 7	3.990	5.63	0.08	轻质油
	BK8H	4 950.5~4 999.5	D <sub>1+2</sub> k	0.822 6	4.020	9.06	—	轻质油
亚松迪	BT2	2 516.1~2 551.2	C <sub>1</sub> b	0.861 2	21.160	2.38	0.14	轻质油
和田河	Ma3	1 414.0~1 424.0	C <sub>1</sub> b	0.800~0.820 0	—	0.00	0.02	轻质油
		1 508.0~1 518.0	O <sub>1+2</sub> y	0.820 0~0.840 0	—	0.00	0.02	轻质油
	Ma4	2 044.0~2 104.0	O <sub>1+2</sub> y	0.810 0	—	0.69		轻质油
	Ma5	1 960.0~1 967.0	C <sub>1</sub> b	0.750 0~0.800 0	—	0.00	0.08~0.20	轻质油
柯克亚	K2	—	N <sub>1</sub> x <sub>4</sub>	0.762 9~0.821 5	1.846~4.27 1	7.01~15.30	0.08~0.28	轻质油
	K21	—	N <sub>1</sub> x					轻质油
	KX6	—	N <sub>1</sub> x					轻质油
	K10	—	N <sub>1</sub> x					轻质油
	KX2	—	N <sub>1</sub> x					轻质油
	K18	—	N <sub>1</sub> x <sub>4-x6</sub>					轻质油

注:“—”表示未获数据

以0.5℃/min速率升至60℃,再以2℃/min速率升至200℃,最后以6℃/min速率升至230℃并保持40min;检测方式为FID。化合物定性主要依据标样、质谱图的解析与文献查找比对等方法<sup>[14-15]</sup>。鉴定出标准样品的色谱图后,依据化合物的保留时间比对,运用王培荣等<sup>[14-15]</sup>编制的PONA分析软件进行定量分析。

3 结果与讨论

3.1 C<sub>5</sub>—C<sub>7</sub>轻烃特征

C<sub>5</sub>—C<sub>7</sub>饱和烃组成(正构烷烃、异构烷烃和环烷烃)三角图和C<sub>7</sub>轻烃化合物组成(nC<sub>7</sub>、DMCyC<sub>5</sub>和MCyC<sub>6</sub>)三角图是常用的区分不同有机质来源的图版,芳烃化合物主要来源于陆相有机质,正构烷烃主要来源于藻类和细菌,为腐泥型有机质来源,DMCyC<sub>5</sub>一般来源于水生生物的一类脂化合物,甲基环己烷来源于高等植物木质素等,故随甲基环己烷相对含量的增加,一般表征陆源高等植物贡献的增加<sup>[12,18]</sup>。塔西南地区巴什托轻质油大都具有相对

较高的正构烷烃(35.0%~55.0%)和支链烷烃(20.0%~30.0%),和田河轻质油具有较高的环烷烃含量(40.0%~60.0%),柯克亚原油具有最高的正构烷烃(55.0%~70.0%),分别聚集成为3类原油。此外,巴什托油田的Qu1井、Qu3井轻质油的C<sub>5</sub>—C<sub>7</sub>轻烃相对组成与和田河轻质油相近,亚松迪油田BT2井轻质油和柯克亚K2井轻质油具有最高的环烷烃含量(>80.0%)。塔西南地区的原油C<sub>7</sub>轻烃组成存在较大的差异,柯克亚地区凝析油中具有最高含量的nC<sub>7</sub>,巴什托轻质原油以正庚烷占优势(48.2%~66.6%),和田河轻质油显示甲基环己烷优势(占50.0%~60.6%)。值得注意的是巴什托轻质油中,Qu1井轻质油C<sub>7</sub>轻烃组成与和田河轻质油相近,甲基环己烷相对含量为68.5%;而Qu3井原油则具以二甲基环戊烷相对含量居绝对优势(占74.1%);BT2井原油和K2井原油甲基环己烷占绝对优势,相对含量达到85.0%(图2)。

按照Thompson<sup>[19]</sup>提出的H值和I值成熟度划分标准,塔西南地区原油都聚类于脂肪族线上方

的区域或者脂肪族线与芳香族线之间的区域,反映塔西南原油具有 I—II 型有机质烃源岩特征。根据王培荣等<sup>[20]</sup>对 Thompson 图版作出一些修正与补充,不仅可以区分原油的有机质类型,还可以判定成熟度。图 3 显示,塔西南地区巴什托油田原油大部分处于高一过成熟阶段,其中泥盆系原油为过成熟阶段,而石炭系为高成熟阶段;柯克亚原油处于过成熟阶段;而和田河气田轻质油处于成熟阶段。巴什托油田原油中 Qu1 井、Qu3 井、BT2 井以及 K2 井

原油处于生物降解和低成熟油区间,显示这些原油可能存在次生生物降解或者成熟度较低。此外,Thompson<sup>[21]</sup>建立了蒸发分馏过程中轻烃的变化模式,提出了 B(甲苯/正庚烷)逐渐增大而 F(正庚烷/甲基环己烷)逐渐减小指示蒸发分馏。柯克亚油田原油具有较高的 F 值,较低的 B 值,而和田河气田凝析油具有较高的 B 值和较低的 F 值,显示可能存在蒸发分馏效应。油田原油可以划分为明显的 3 个族群。

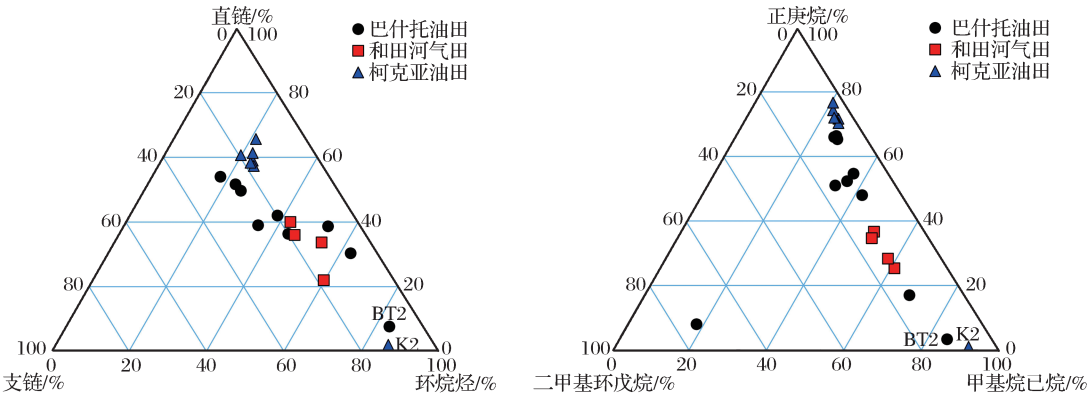


图 2 原油轻烃 C<sub>5</sub>—C<sub>7</sub> 饱和烃组成和 C<sub>7</sub> 轻烃化合物组成三角图

Fig. 2 Triangular plot of C<sub>5</sub>—C<sub>7</sub> hydrocarbons and C<sub>7</sub> hydrocarbons of crude oils

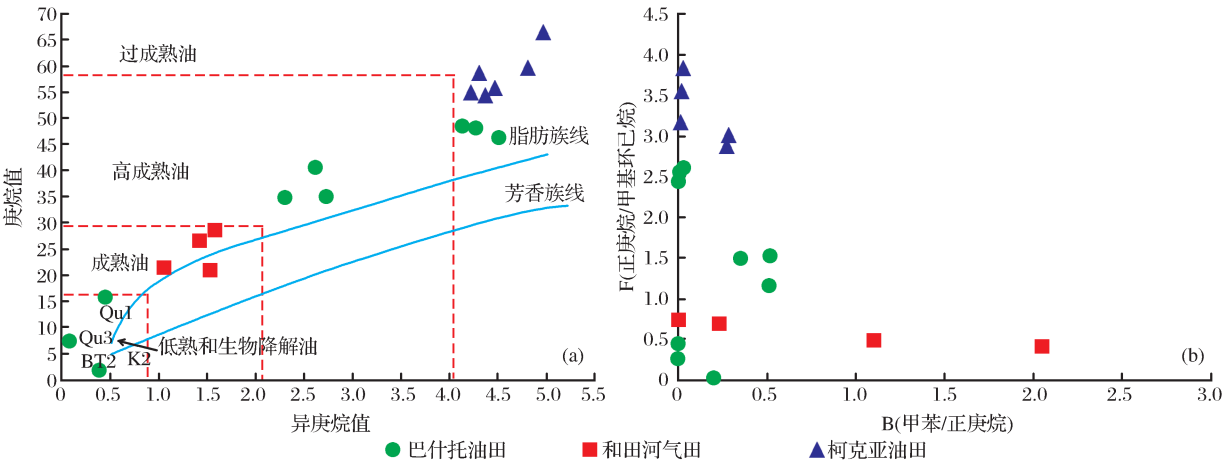


图 3 原油轻烃 H—I(a)以及 F—B(b)图版

Fig. 3 H—I(a)and F—B(b)index of light hydrocarbons of crude oils

3.2 C<sub>6</sub>—C<sub>13</sub> 轻烃组成

塔西南地区采集原油普遍具有较高的成熟度<sup>[22-23]</sup>。巴什托油田与亚松迪油田轻质油族组成相当,饱和烃含量和芳烃含量分别为 60.6%~84.5%和 12.2%~25.5%，“非烃+沥青质”含量为 4.3%~14.6%。和田河凝析油气田的轻质油族组成基本上以饱和烃为主(占 47.2%~79.3%)，芳烃含量(7.3%~30.6%)与非烃含量(8.1%~22.2%)

变化较大,基本不含沥青质。柯克亚原油饱和烃含量和芳烃含量分别为 64.2%~85.9%和 8.9%~25.2%，“非烃+沥青质”含量则稍偏低。

C<sub>8</sub>—C<sub>13</sub> 轻烃组分是油气地球化学的薄弱环节。尝试并利用 C<sub>6</sub>—C<sub>13</sub> 轻烃化合物中各碳数族组成之和与族组成之和的比值对塔西南地区的原油进行油—油对比和族群划分。塔西南地区原油中 C<sub>6</sub>—C<sub>13</sub> 轻烃各碳数族组成之和与族组成之和的比值可

以将塔西南地区的原油分成明显的 3 类。根据  $C_6$ — $C_{13}$  各碳数族组成之和百分含量如图 4, 柯克亚原油具有明显较高的正构烷烃(P) 含量(55%~65%), 巴什托油田原油正构烷烃的含量在 35%~45% 之间, 和田河气田轻质油具有较低的正构烷烃含量(20%~30%); 和田河气田轻质油具有较高的异构烷烃(I) 含量和环烷烃(N) 含量以及最高的芳香烃(A) 含量, 柯克亚地区具有最低的异构烷烃含量和芳香烃含量。

根据  $C_6$ — $C_{13}$  轻烃各碳数族组成之和的比值可以将塔西南地区原油分成明显的 3 类(图 5)。和田河轻质油具有最高的 A/P 值和 I/P 值, 分别处于 0.7~1.2 和 0.9~1.1 之间; 巴什托原油 A/P 值和 I/P 值处于中间, 分别为 0.1~0.3 和 0.6~0.8; 而柯克亚轻质油具有最低的 A/P 值和 I/P 值, 分别处于 0.0~0.2 和 0.2~0.4 之间。图 5 显示 BT2 井具有和田河气田基本一致的族组成比值, 显示可能具有相似的生源。

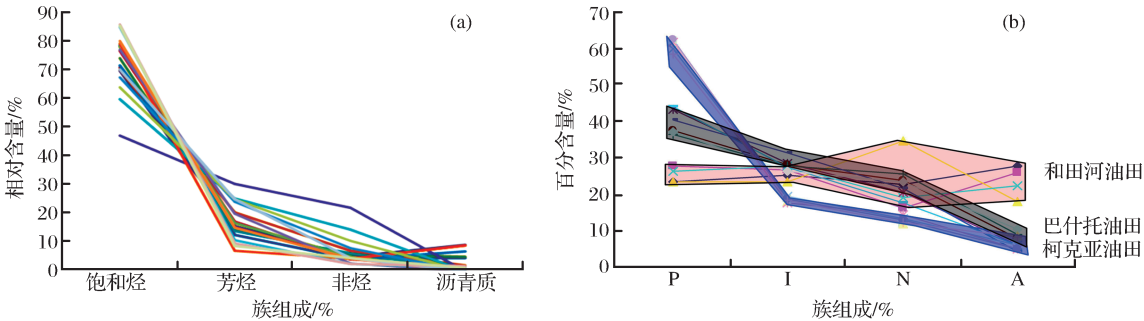


图 4 塔西南地区原油族组成和轻烃组分含量  
Fig. 4 Percentage distribution of oils and light hydrocarbons fraction, southwest Tarim Basin

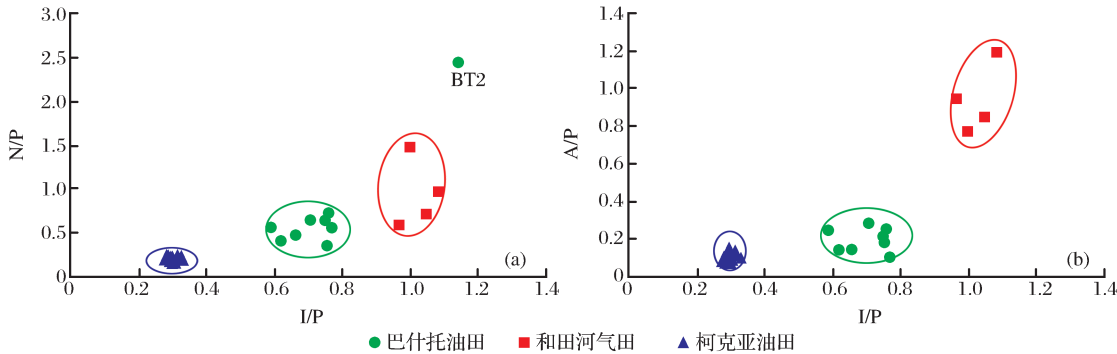


图 5 塔西南地区原油轻烃组分比值  
Fig. 5 Correlation chart of N/P-N/I and A/P-I/P in  $C_6$ — $C_{13}$  light hydrocarbons of oils, southwest Tarim Basin

根据塔西南地区轻质油中  $C_6$ — $C_{13}$  轻烃化合物族组成和族组成比值作为油—油对比参数进行了尝试。图 6(a)—图 6(c)、图 6(d)—图 6(f) 和图 6(g)—图 6(i) 分别为巴什托—亚松迪轻质油、和田河轻质油和柯克亚轻质油  $C_6$ — $C_{13}$  轻烃中链烷烃含量、环烷烃含量和芳香烃含量。链烷烃在柯克亚原油中含量较高且基本稳定且随着碳数的增加略有增加; 在巴什托原油中含量中等且随碳数的增加先下降再增加, 在  $C_8$  处降为最低; 在和田河原油中含量较低且先下降后增加,  $C_8$  处降为最低, 后增加的幅度高于巴什托原油。亚松迪 BT2 井轻质油中链烷烃含量最低, 且随着碳数的增加呈锯齿状上升, 在  $C_{12}$  处链烷烃含量最高, Qu1 井链烷烃的含量相较于巴什托

其他原油略低, 与和田河原油相似。图 6(d)—图 6(f) 环烷烃含量的分布得出: 原油环烷烃含量在巴什托处于中等且随着碳数的增加先增加后降低, 在  $C_8$  处最大; 在柯克亚原油中含量偏低稳定且随着碳数增加逐渐降低; 在和田河轻质油含量较高, 且随着碳数的增加而降低。环烷烃含量在 BT2 井轻质油随着碳数的增加具有“U”型,  $C_8$  处含量低, Qu1 井环烷烃的含量较其他原油偏高, 特别是在  $C_8$ — $C_{11}$  之间,  $C_{11}$  之后含量与其他原油趋同, 最近的非烃化合物研究显示 Qu1 井具有陆海混源的特征<sup>[24]</sup>。据图 6(g)—图 6(i) 芳香烃含量得出: 巴什托原油中芳香烃含量中等且随着碳数的增加先增后降, 最大含量值处于  $C_{10}$  处; 和田河轻质油具有较高的芳香烃

含量,随着碳数的增加先增加后降低;柯克亚轻质油中芳香烃含量低而且稳定。BT2 井轻质油具有最

高的芳香烃含量,随着碳数的增加先增后降,最大含量处于  $C_8$  处。

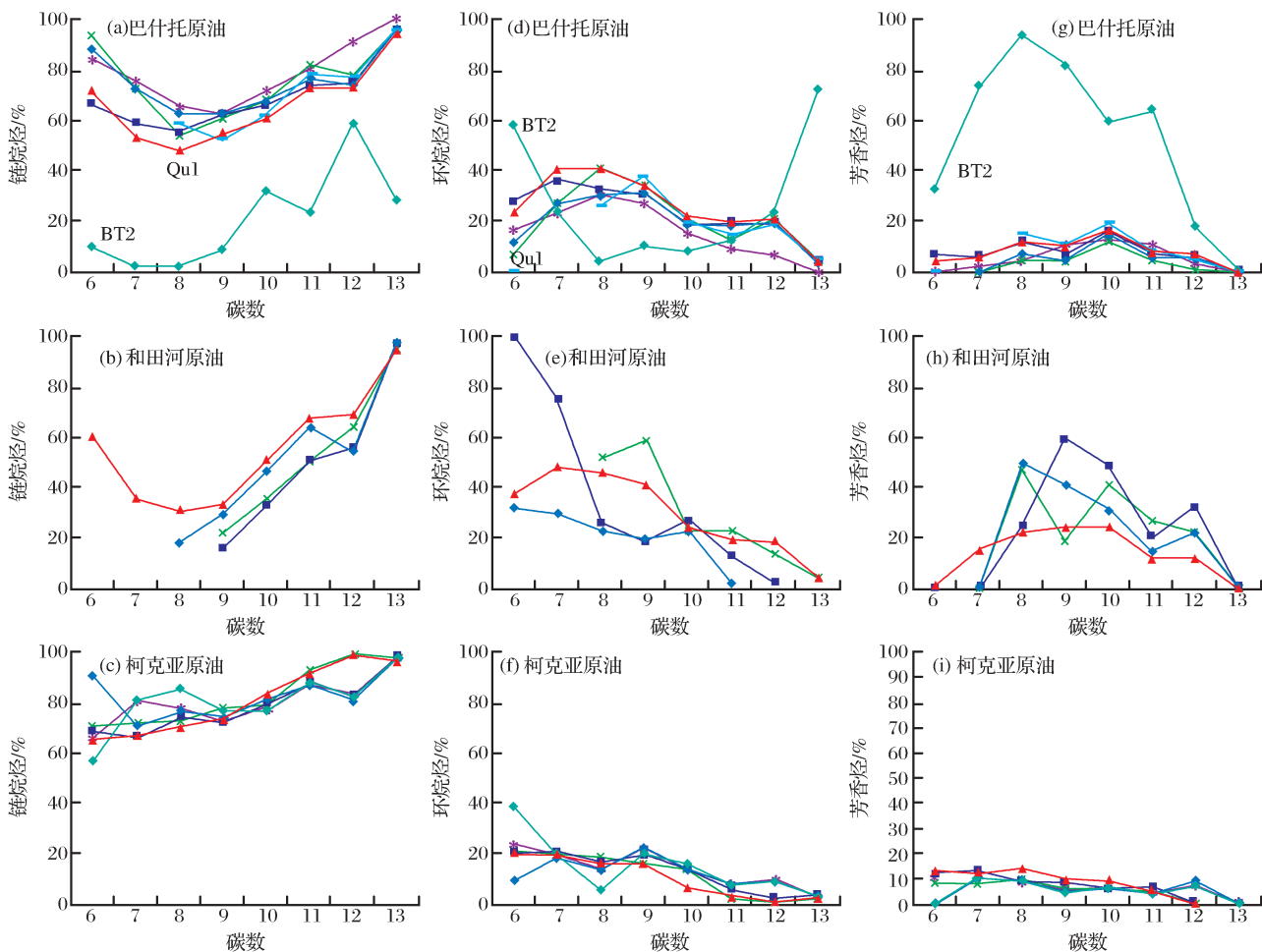


图 6 塔西南地区原油  $C_6$ — $C_{13}$  轻烃组成含量

Fig. 6 Percentage distribution of  $C_6$ — $C_{13}$  alkanes, naphthenic, and aromatic in oils, southwest Tarim Basin

通过图 7(a)—图 7(c)可以得出,巴什托油田原油具有较低的  $N/I$  值,柯克亚原油中  $N/I$  值偏高,但均低于和田河轻质油,BT2 井轻质油作为特殊样品具有较高的  $N/I$  值。图 7(d)—图 7(f)显示,巴什托轻质油  $N/P$  值处于 0~1.5 之间,仅有 Qu1 井和 BT2 井轻质油具有较高的  $N/P$  值,特别是 BT2 井,且随着碳数的增加呈降低的趋势,而柯克亚轻质油具有较低的  $N/P$  值,处于 0~0.5 之间,仅 KX2 井略高,约为 1.0 左右, $N/P$  值稳定且随着碳数的增加缓慢降低,和田河轻质油具有较高的  $N/P$  值,且随着碳数的增加快速降低。图 7(g)—图 7(i)显示,巴什托油田具有较高的  $I/P$  值,而柯克亚轻质油比值较低且稳定,而和田河轻质油处于中等。图 7(j)—图 7(l)显示,和田河轻质油具有较高的  $A/P$  值,基本随着碳数的增加比值降低,而柯克亚原油

和巴什托轻质油具有较低的  $A/P$  值,亚松迪油田 BT2 井  $A/P$  值最高且随着碳数增加先增加后降低。

根据图 8 中  $C_7$ — $C_{13}$  轻烃分布,可以看出塔西南柯克亚油藏原油(以 K10 井为例)、塔西南巴什托油藏原油(以 Mai4 井为例)的甲基环己烷( $MCyC_6$ )含量相对于正庚烷( $nC_7$ )含量偏低,即  $MCyC_6/nC_7 < 1$ ,而间二甲苯( $m$ -xylene)含量相对于正辛烷( $nC_8$ )和正壬烷( $nC_9$ )较低,呈“V”型分布,即  $m$ -xylene/( $m$ -xylene +  $nC_8$  +  $nC_9$ ) 值较低;而亚松迪油田 BT2 井原油具有异常高的甲苯(Toluene)含量和间二甲苯( $m$ -xylene)含量,同时甲基环己烷含量高于正庚烷( $nC_7$ )含量,即  $MCyC_6/nC_7 > 1$ 。塔西南地区和田河气田轻质油(以 Ma4 井为例)的甲基环己烷( $MCyC_6$ )含量相对于正庚烷( $nC_7$ )含量偏高,即  $MCyC_6/nC_7 > 1$ ,同时含量相对于正辛烷( $nC_8$ )含量



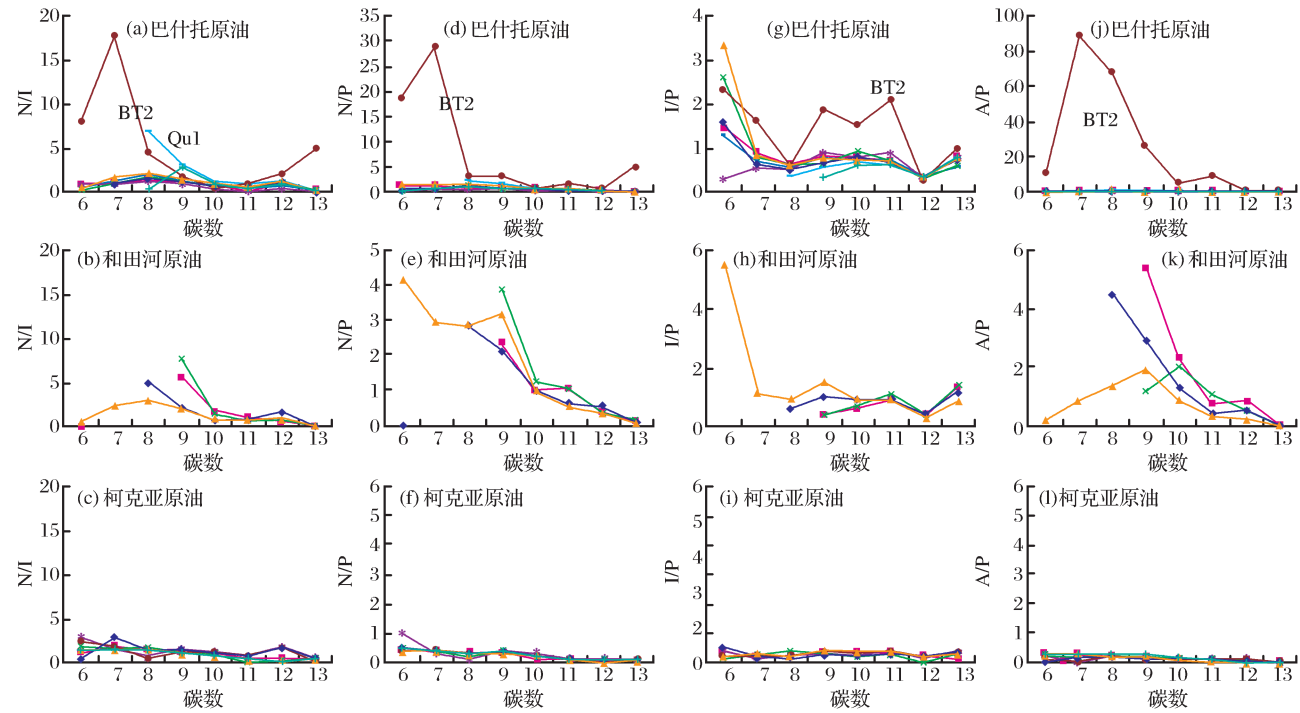


图 7 塔西南地区原油 C<sub>6</sub>—C<sub>13</sub> 轻烃族组成比值

Fig. 7 Chart of N/I,N/P,I/P, and A/P of C<sub>6</sub>-C<sub>13</sub> light hydrocarbons in oils,southwest Tarim Basin

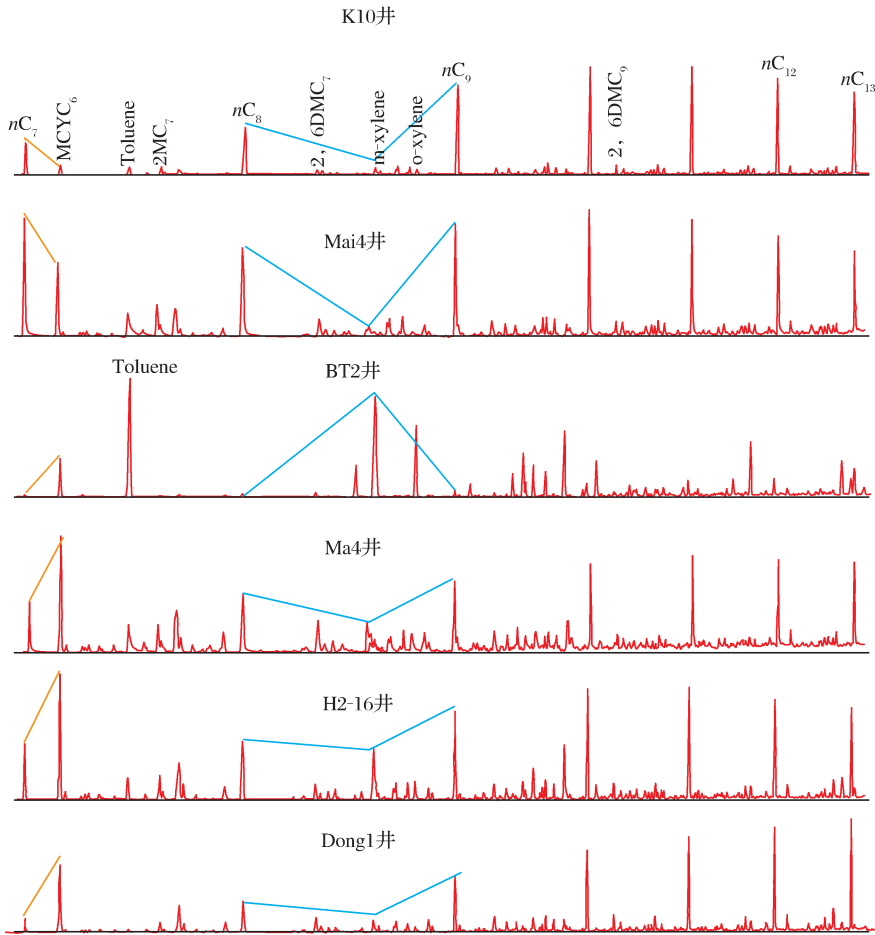


图 8 典型原油中 C<sub>7</sub>—C<sub>13</sub> 化合物分布对比

Fig. 8 Distribution of C<sub>7</sub>-C<sub>13</sub> light hydrocarbons in typical oil

和正壬烷( $nC_9$ )含量较低,呈“V”字型分布,但  $m\text{-xylene}/(m\text{-xylene} + nC_8 + nC_9)$  值高与前面  $MCyC_6/nC_7 < 1$  的原油、北部湾盆地福山凹陷 H2-16 井湖相原油、准噶尔盆地董 1 井侏罗系煤系烃源岩来源的原油基本一致。

利用  $C_7-C_{13}$  轻烃单个组分参数  $MCyC_6/nC_7$  和  $m\text{-xylene}/(m\text{-xylene} + nC_8 + nC_9)$  将塔西南坳陷原油分为 3 类。第一类原油是以柯 10 井为代表的柯克亚原油与以麦 4 井为代表的巴什托原油具有基本一致的特征,即  $MCyC_6/nC_7 < 1, m\text{-xylene}/(m\text{-xylene} + nC_8 + nC_9) < 0.1$ 。第二类原油是以玛 4(O)井原油为代表的和田河原油  $MCyC_6/nC_7 > 1, m\text{-xylene}/(m\text{-xylene} + nC_8 + nC_9) > 0.1$ , 且与典型的陆相原油北部湾盆地福山凹陷 H2-16 井湖相原油、准噶尔盆地 Dong1 井侏罗系煤系烃源岩来源原油具有一致的特征。第三类是以 BT2 井为代表的亚松迪原油,该原油具有异常高的甲苯(Toluene)和间二甲苯( $m\text{-xylene}$ ),可能表明存在特殊的烃源岩的贡献,或者是该原油次生变化所致,通过  $MCyC_6/nC_7 < 1$ ,推测可能存在陆源有机质贡献。

3.3 芳烃和同位素证据

“三芳”系列是一类反映烃源岩沉积环境的重要化合物,已有的研究认为在弱氧化—氧化环境下茚中五元环的  $C_9$  位上的碳原子容易被氧化为氧茚,在还原环境中容易被硫取代成硫茚(图 9)<sup>[25]</sup>。

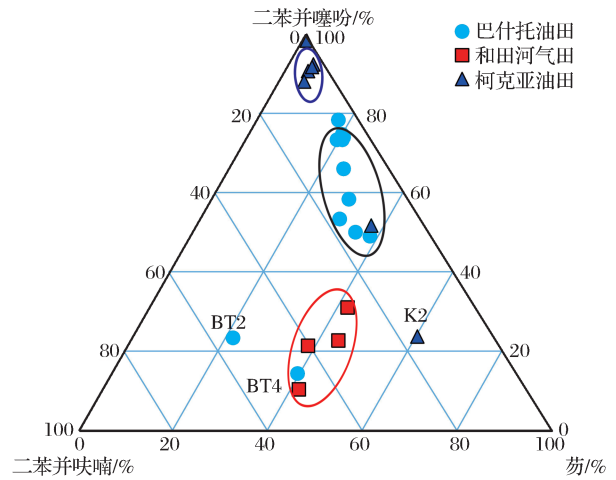


图 9 塔西南地区芳烃组成特征三角图  
Fig. 9 Triangular plot of fluorene, dibenzothiophene and dibenzofuran of oils of southwest Tarim Basin

图 9 显示巴什托轻质油中二苯并噻吩含量相对丰度为 45%~80%,二苯并呋喃含量小于 20%;和田河气田轻质油中二苯并噻吩含量为 10%~30%,而二苯并呋喃含量为 25%~50%;柯克亚轻质油中

二苯并噻吩含量大于 85%,二苯并呋喃含量小于 10%。这显示 3 个油气田轻质油的烃源岩存在不同的沉积环境,柯克亚油田轻质油的烃源岩沉积环境为强还原环境,而巴什托油田轻质油的烃源岩沉积环境为中等还原环境,和田河气田轻质油的烃源岩

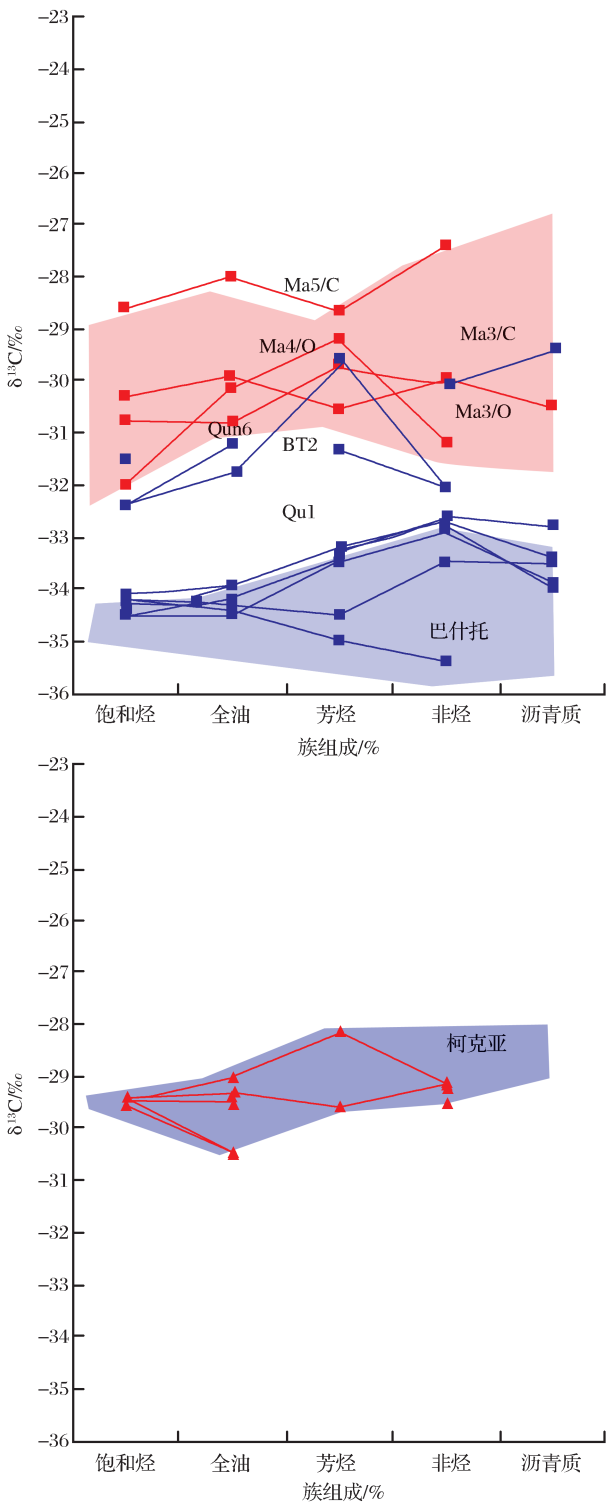


图 10 塔西南地区原油族组成稳定碳同位素值  
Fig. 10 Carbon isotopic curve of oils and source rocks of southwest Tarim Basin



沉积环境为弱还原—弱氧化环境。值得注意的是,柯克亚油田 K2 井轻质油、亚松迪油气田 BT2 井轻质油和巴什托油田 BT4 井轻质油与和田河油田轻质油具有相似的“三芴”组成,显示可能是烃源岩偏弱还原环境沉积,也可能是存在和田河气田轻质油的混合所致。

一般认为相同来源的原油其稳定碳同位素值变化应该不超过 3‰<sup>[26]</sup>。巴什托油田、亚松迪油田以及和田河轻质油气田全油与馏分碳同位素  $\delta^{13}\text{C}$  值分布曲线见图 10,和田河轻质油的碳同位素组成最重,全油与馏分  $\delta^{13}\text{C}$  值分布范围为  $-27.4\text{‰}\sim-32\text{‰}$ ;亚松迪轻质油的全油与馏分碳同位素  $\delta^{13}\text{C}$  值范围为  $-31.2\text{‰}\sim-32.2\text{‰}$ ,与和田河轻质油大

体处于同一范围;巴什托轻质油的碳同位素组成最轻,全油与馏分碳同位素  $\delta^{13}\text{C}$  值范围为  $-29.4\text{‰}\sim-35.4\text{‰}$ 。柯克亚原油全油及族组分  $\delta^{13}\text{C}$  值分布范围为  $-29.0\text{‰}\sim-30.5\text{‰}$ ,介于和田河轻质油分布范围内,低于玛 5 井原油的碳同位素值,高于其他和田河轻质油碳同位素值。

### 3.4 成因类型划分结果

根据塔西南地区原油物理性质与族组成、全油轻烃色谱、三芴系列芳烃化合物和碳同位素特征等,将塔西南地区 22 口井的原油划分为巴什托轻质油族群、和田河轻质油族群、柯克亚轻质油族群 3 个原油族群(表 2)。

表 2 塔西南地区原油族/族群地球化学特征  
Table 2 Geochemical characteristics of different oil families of the southwest Tarim Basin

原油族群	代表性油样	分子地球化学特征
巴什托族群	巴什托油田轻质油 (不包括:Qu1 井、Qun6 井浅层轻质油)	(1)低蜡—含蜡、低硫、低黏度、中—低轻质油; (2)族组成具高饱和烃含量(一般达 70%~80%)、高饱和芳比(2~20)、低“非烃+沥青质”含量(<15%); (3) $\text{C}_5\text{—C}_7$ 轻烃组分以链烷烃占优势( $\geq 40\%$ ), $\text{C}_7$ 轻烃化合物组成以 $n\text{C}_7$ 占优势( $\geq 50\%$ ); (4)“三芴”系列以硫芴占优势,相对丰度为 45%~80%; (5)全油与馏分的碳同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 值最低,分布范围为 $-33.2\text{‰}\sim-35.4\text{‰}$ ; (6)H—I 成熟度指标厘定总体上处于高成熟阶段,部分为过成熟阶段,成熟度高于和田河凝析油。
和田河族群	和田河气田凝析油与亚松迪 BT2 井轻质油	(1)低蜡、低硫轻质油; (2)族组成以饱和烃为主,含量基本低于 70%,芳烃、非烃含量相对偏高,沥青质含量偏低; (3) $\text{C}_5\text{—C}_7$ 轻烃组分以环烷烃为主( $\geq 40\%$ ),支链烷烃相对含量低, $\text{C}_7$ 轻烃化合物组成,甲基环己烷为主( $\geq 50\%$ ); (4)“三芴”系列以氧芴或芴占优势,相对丰度达 40%以上; (5)和田河全油与馏分的碳同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 值较高,分布范围为 $-28\text{‰}\sim-30.8\text{‰}$ ,亚松迪 BT2 井轻质油 $\delta^{13}\text{C}$ 值居中,分布范围为 $-29.6\text{‰}\sim-32.4\text{‰}$ ; (6)H—I 成熟度指标厘定总体上处于高成熟阶段,成熟度低于巴什托轻质油,BT2 井轻质油成熟度最低。
柯克亚族群	柯克亚凝析油(除 K2 井)	(1)含蜡—高蜡、低硫中质油; (2)族组成以饱和烃为主,含量基本 $>80.00\%$ ,高饱和芳比,低“非烃+沥青质”含量; (3) $\text{C}_5\text{—C}_7$ 轻烃组分以直链烷烃主,相对含量为 50%~70%,支链烷烃相对含量低, $\text{C}_7$ 轻烃化合物分析,以 $n\text{C}_7$ 为主( $\geq 70\%$ );MCyC <sub>6</sub> 含量较低仅为 20%~30%; (4)“三芴”系列二苯并噻吩含量大于 85%; (5)原油族组分和全油碳同位素值偏高,分布范围分别为 $-29.2\text{‰}\sim-29.5\text{‰}$ 和 $-29\text{‰}\sim-30\text{‰}$ ; (6)H—I 成熟度指标厘定总体上处于过成熟阶段。

## 4 结论

塔西南地区轻质原油中  $\text{C}_6\text{—C}_{13}$  轻烃族组成、族组分比值、 $\text{C}_7$  化合物组成 H—I 类型(成熟度)等将塔西南地区原油划分为巴什托轻质油族群、和田河轻质油族群和柯克亚轻质油族群 3 个族群。族群划分结果显示至少存在 3 套烃源岩,部分原油存在混源特征,K2 井原油成熟度较低,可能受到陆源成

因原油贡献或者陆源有机质地层的浸染,而 Qun6 井受到气侵等次生调整,Qu1 井也存在陆源有机质贡献。轻烃研究结果受原油芳烃和碳同位素分析支持。同时,MCyC<sub>6</sub>/ $n\text{C}_7$  和 m-xylene/(m-xylene +  $n\text{C}_8 + n\text{C}_9$ )是轻烃中识别陆源高等植物有机质贡献的潜在指标。

致谢:中国石油化工股份有限公司西北油田分公司

提供部分油样,中国石油大学地球化学实验室师生宝老师协助气相色谱检测和分析,王培荣教授提供轻烃化合物类型鉴定结果,在此一并表示感谢。

#### 参考文献(References):

- [1] Kang Yuzhu. Backlook and prospect on the exploitation work of the oil-gas resources in Xinjiang[J]. Xinjiang Geology, 2000, 18(2): 97-104. [康玉柱. 新疆油气资源开发工作回顾与展望[J]. 新疆地质, 2000, 18(2): 97-104.]
- [2] Wang Zongli, Xu Xiaofeng, Li Jun, *et al.* Reservoir forming patterns and exploration analysis of new area and new field in Tarim Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2011, 22(1): 73-80. [王宗礼, 徐晓峰, 李君, 等. 塔里木盆地油气成藏模式及新区新领域勘探方向分析[J]. 天然气地球科学, 2011, 22(1): 73-80.]
- [3] Zhou Lu, Zhao Wenzhi, He Dengfa. Petroleum Geology and Exploration Markit Slop, Tarim Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2006: 100-120. [周路, 赵文智, 何登发. 塔里木盆地麦盖提斜坡油气地质与勘探[M]. 北京: 石油工业出版社, 2006: 100-120.]
- [4] Zhao Wenzhi, Zhang Guangya, Li Honghui, *et al.* Passive Continental Margin Evolution and Petroleum Geology: A Case Study in Southwest Tarim Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2007: 208-218. [赵文智, 张光亚, 李洪辉, 等. 被动大陆边缘演化与油气地质——以塔西南地区为例[M]. 北京: 石油工业出版社, 2007: 208-218.]
- [5] Dong Dazhong, Xiao Ancheng. Petroleum Geology and Oil/Gas Resource of Southwest Tarim Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1998: 50-54. [董大忠, 肖安成. 塔里木盆地西南凹陷油气地质特征及油气资源[J]. 北京: 石油工业出版社, 1998: 50-54]
- [6] Cui J, Wang T, Zou C, *et al.* Geochemical characteristics and oil-source correlation of oil-sand extracts of Kelatuo Anticline in the northern Kashi Sag, NW Tarim Basin, China[J]. Energy, Exploration & Exploitation, 2012, 30(4): 609-622.
- [7] Hou Dujie, Xiao Zhongyao, Tang Yongjun, *et al.* Geochemical characterization of mixing natural gas in Kekeya Field, Tarim Basin, China[J]. Natural Gas Geoscience, 2003, 14(6): 474-479. [侯读杰, 肖中尧, 唐友军, 等. 柯克亚油气田混合来源天然气的地球化学特征[J]. 天然气地球科学, 2003, 14(6): 474-479.]
- [8] Hunt I M. Generation and migration of Light hydrocarbons[J]. Science, 1984, 226(4680): 1265-1270.
- [9] Mango F D. The origin of light cycloalkanes in petroleum[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1990, 54(1): 23-27.
- [10] Mango F D. The light hydrocarbons in petroleum: A critical review[J]. Organic Geochemistry, 1997, 26(7/8): 417-440.
- [11] Thompson K F M. Light hydrocarbons in subsurface sediments[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1979, 43(5): 657-672.
- [12] Leythaeuser D, Schaefer R G, Cornford C, *et al.* Generation and migration of light hydrocarbons(C<sub>2</sub>-C<sub>7</sub>) in sedimentary basins[J]. Organic Geochemistry, 1979, 1(4): 191-204.
- [13] Odden W, Patience R L, Van Graas G W. Application of light hydrocarbons(C<sub>4</sub>-C<sub>13</sub>) to oil-source rock correlations[J]. Organic Geochemistry, 1998, 28(12): 823-847.
- [14] Wang Peirong, Xu Guanjun, Zhang Dajiang, *et al.* Correlation of light hydrocarbon between source rock and crude: An example from Dongying and Zhanhua Depressions in Jiyang Subbasin, Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(1): 1-10. [王培荣, 徐冠军, 张大江, 等. 烃源岩和原油中轻馏分烃的对比——以胜利油田东营、沾化凹陷为例[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(1): 1-10.]
- [15] Wang Peirong, Zhao Hong, Xiao Tingrong, *et al.* Application of backflush and micro-flow techniques to the analysis of C<sub>5</sub>-C<sub>13</sub> hydrocarbons in crude oils and its geochemical significance[J]. Progress in Natural Science, 2007, 17(8): 1144-1149. [王培荣, 赵红, 肖廷荣, 等. 采用气相色谱“反吹、微流控”技术分析原油 C<sub>5</sub>—C<sub>13</sub> 轻馏分及其地球化学意义[J]. 自然科学进展, 2007, 17(8): 1144-1149.]
- [16] Cui Jingwei, Wang Tieguang, Li Meijun, *et al.* Oil filling history of the Bashituo Oilfield in the Markit Slope, SW Tarim Basin, China[J]. Petroleum Science, 2013, 10(1): 58-64.
- [17] Cui J, Wang T, Wang C, *et al.* Quantitative assessment and significance of gas washing of oil in Block 9 of the Tahe Oilfield, Tarim Basin, NW China[J]. Chinese Journal of Geochemistry, 2012, 31(2): 165-173.
- [18] Dai Jinxing. Identification of coal formed gas and oil type gas by light hydrocarbons[J]. Petroleum Exploration and Development, 1993, 20(5): 26-32. [戴金星. 利用轻烃鉴别煤成气和油型气[J]. 石油勘探与开发, 1993, 20(5): 26-32.]
- [19] Thompson K F M. Classification and thermal history of petroleum based on light hydrocarbons[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1983, 47(2): 303-316.
- [20] 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. [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.]
- [21] Thompson K F M. Fractionated aromatic petroleums and the generation of gas-condensates[J]. Organic Geochemistry, 1987, 11(6): 573-590.
- [22] Cui Jingwei, Wang Tieguan, Hu Jian, *et al.* Maturity of light oil and its significance in indicating oil source in Hetianhe Gasfield, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(1): 27-36. [崔景伟, 王铁冠, 胡健, 等. 塔里木盆地和田河气田轻质油成熟度判定及其油源意义[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(1): 27-36.]
- [23] Cui Jingwei, Wang Tieguan, Li Meijun. Geochemical characteristics and oil family classification of crude oils from the Markit slope in the southwestern of Tarim Basin, northwest China[J]. Chinese Journal of Geochemistry, 2011, 30(3): 359-365.

- [24] Cui J, Zhu R, Hu J. Identification and geochemical significance of polarized macromolecular compounds in lacustrine and marine oils[J]. Chinese Journal of Geochemistry, 2014, 33(4): 431-438.
- [25] Li Shuifu, He Sheng. Geochemical characteristics of dibenzothiophene, dibenzofuran and fluorene and their homologues and their environmental indication[J]. Geochemica, 2008, 37(1): 45-50. [李水福, 何生. 原油芳烃中三芴系列化合物的环境指示作用[J]. 地球化学, 2008, 37(1): 45-50.]
- [26] Peters K E, Moldowan J M. The Biomarker Guide: Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments [M]. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1993: 50-100.

## Light Hydrocarbon Characteristics and Oil Family Classification of Crude Oils, Southwest Tarim Basin, Northwest China

CUI Jing-wei<sup>1</sup>, WANG Tie-guan<sup>2</sup>, LI Mei-jun<sup>2</sup>, GENG Feng<sup>3</sup>, TANG You-jun<sup>4</sup>, HU Jian<sup>1,2</sup>

(1. Petrochina Research Institute of Petroleum Exploration & Development, PetroChina, Beijing 100083, China;

2. Faculty of Geology Science, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

3. Northwest Branch Company, SINOPEC, Urumqi 830011, China;

4. Yangtze University, Jingzhou 434023, China)

**Abstract:** As an oil exploration candidate area, many light crude oilfields have been found in the Southwest Tarim Basin. Research on the light hydrocarbon geochemical characteristics of oil in the whole area has great significance for the oil exploration in this area. Using the GC equipment with PONA capillary column, we analyzed C<sub>6</sub>-C<sub>13</sub> light hydrocarbons of 22 oil samples collected from Southwest Tarim Basin. Based on the composition, component ratio, MCyC<sub>6</sub>/nC<sub>7</sub>, and m-xylene/(m-xylene + nC<sub>8</sub> + nC<sub>9</sub>), 22 crude oils were divided into three groups, i. e., Bashituo light oil groups, Hetian River light oil groups, and Kekeya light oil groups. Results show there are three layers of source rocks at least, and some oils are mixed oils, based on the aromatic parameters and carbon isotope data.

**Key words:** GC; Crude oil; Light hydrocarbon; Genetic type; Southwest Tarim Basin

### 会议消息

## 2015 年全国沉积学大会定于 10 月 23—29 日在武汉举行

由中国地质学会沉积地质专业委员会、中国矿物岩石地球化学学会沉积学专业委员会、中国石油学会石油地质专业委员会、湖北省石油学会、新疆石油学会、天津市石油学会、甘肃省石油学会主办,长江大学、中国地质大学(武汉)承办,中国石油股份有限公司新疆油田分公司、中国石油化工股份有限公司江汉油田分公司、中国海洋石油总公司天津分公司、非常规油气湖北省协同创新中心协办的 2015 年全国沉积学大会将于 10 月 23—29 日在武汉举行。会议将围绕“沉积学与非常规资源”这一主题,检阅我国沉积学近几年的研究成果,总结成功经验,引领下步发展方向,探索沉积学如何服务于国家经济建设,实现民族富强的有效途径。

大会共设 12 个议题:①陆相沉积环境;②海洋及海岸带沉积环境;③沉积后作用与环境;④沉积实验、模拟与新技术新方法;⑤沉积动力过程与沉积调查;⑥沉积学与生态环境;⑦事件、灾害沉积作用;⑧细粒沉积及非常规沉积矿产资源;⑨煤及煤系地层沉积学;⑩深水沉积与天然气水合物;⑪生物与沉积学;⑫沉积学教学与学生培养。以及 5 个专题:①中国沉积学战略规划研讨;②准噶尔盆地砾岩储层沉积学;③非常规油气储层沉积学;④中国近海含油气盆地沉积学;⑤地震沉积学。详情请参见会议二号通知。

会议网址: <http://ccas2015.yangtzeu.edu.cn/html/2015/6/520.htm>。

(据会议二号通知)