

塔中北坡 SH9 井区 柯坪塔格组下段原油地球化学特征

马中远¹, 黄 苇¹, 李婧婧², 杨素举¹, 朱秀香¹, 张 黎¹

(1. 中国石化 西北油田分公司 勘探开发研究院, 乌鲁木齐 830011;

2. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要:塔中北坡 SH9 井区在柯坪塔格组下段首次发现了中—轻质黑油, 具有低粘度、低含硫、低凝固点、高含蜡等特征。族组分中总烃含量、饱芳比均较大, 碳同位素轻, 小于-31‰。正构烷烃总体为单峰、前峰型分布, 正构烷烃保存相对完整, 但有轻微的“鼓包”(UCM 峰), 具有轻微生物降解的特征; CPI 值为 1.04~1.05, Pr/Ph 值为 0.84~0.94, 不具备奇偶优势, 有明显的植烷优势。规则甾烷均呈“V”字形分布, C₂₈20R 甾烷相对含量小于 25%, C₂₉ 甾烷含量高于 C₂₇ 甾烷, 重排甾烷、升孕甾烷和孕甾烷的相对含量较高。三环萜烷系列的丰度高于藿烷系列, 并在三环萜烷中表现为 C₂₃ 三环萜烷的丰度优势, 伽马蜡烷含量也较高。原油具有硫芴优势, 三芳甲基甾烷和甲基甾烷欠发育; 成熟度指标表征其为成熟油。认为该原油主要来源于中、上奥陶统烃源岩, 中、下寒武统烃源岩贡献不明显。

关键词:生物标志物; 原油地球化学特征; 柯坪塔格组; 中、上奥陶统; 烃源岩; 塔中北坡

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

Geochemical characteristics of crude oil from lower Kalpintag Formation in SH9 well area, northern slope of middle Tarim Basin

Ma Zhongyuan¹, Huang Wei¹, Li Jingjing², Yang Suju¹, Zhu Xiuxiang¹, Zhang Li¹

(1. Research Institute of Petroleum Exploration & Production, SINOPEC Northwest Company, Urumqi, Xinjiang 830011, China; 2. SINOPEC Exploration & Production Research Institute, Beijing 100083, China)

Abstract: In the lower Kalpintag Formation in SH9 well area in the northern slope of the middle Tarim Basin, medium-light black oil has been discovered for the first time and is characterized by low viscosity, low sulphur content, low pour point and high wax content. The total hydrocarbon content and the saturated/aromatic hydrocarbon ratio are high, while the carbon isotope is light, usually less than -31‰. Normal alkane totally shows the features of single peak and front peak types. The preservation of normal alkane is relatively complete with slight “drum kits” (UCM peak), showing slight degradation characteristics. The CPI value is 1.04~1.05 and the Pr/Ph value is 0.84~0.94. Normal alkane has no odd-even predominance and has apparent phytane advantage. Regular sterane shows “V” type distribution. The relative content of C₂₈20R sterane is less than 25% and the content of C₂₉ sterane is higher than that of C₂₇ sterane. The relative contents of rearranged sterane, ascending pregnane and pregnane is relatively higher. The abundance of tricyclic terpane series is higher than that of hopane series, and the C₂₃ tricyclic terpane has abundance advantage in tricyclic terpane. The content of gammacerane is also higher. In the crude oil, sulfur fluorine is rich while triaromatic dinosterane and dinosterane are lack. Maturity parameter shows that the oil is mature. The Middle and Upper Ordovician serve as the main sources while the Middle and Lower Cambrian contribute little.

Key words: biological marker; geochemical feature of crude oil; Kalpintag Formation; Middle-Upper Ordovician; northern slope of middle Tarim Basin

塔里木盆地塔中地区志留系的油气显示十分活跃, 尤以柯坪塔格组上段的下砂岩段(沥青砂岩段)油气显示及油气藏分布较多, 并取得了大量的研究

成果^[1-3], 其原油主要为稠油, 油源一直存在中、下寒武统和中、上奥陶统烃源岩的争论。典型的中、上奥陶统烃源岩生标特征表现为高重排甾烷、高硫芴

收稿日期: 2012-09-21; 修订日期: 2013-07-24。

作者简介: 马中远(1986—), 男, 硕士, 助理工程师, 从事油气成藏方面的研究。E-mail: mazhongyuan1986@126.com。

基金项目: 国家科技重大专项专题“塔里木盆地碎屑岩层系大中型油气田富集规律与勘探方向”(2011ZX05002-003)资助。

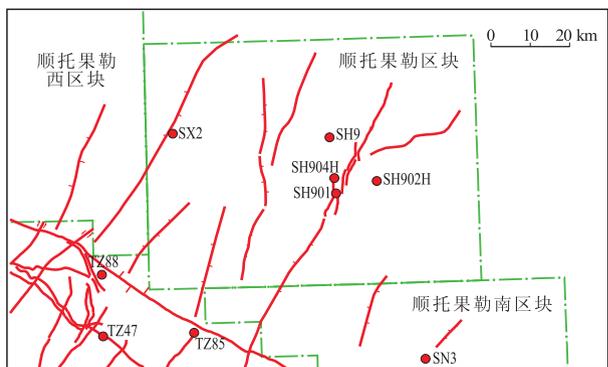


图1 塔中顺托果勒区块位置

Fig.1 Location of Shuntuoguole area, middle Tarim Basin

含量、低伽马蜡烷、低 C_{28} 规则甾烷 (小于 25%)、低 24-降胆甾烷、低 24-降重排胆甾烷、低三芳甲藻甾烷、低甲藻甾烷、原油碳同位素较轻等特征,而中下寒武统烃源岩的特征则表现为高伽马蜡烷、高 C_{28} 规则甾烷 (大于 25%)、原油碳同位素偏重等典型特征^[4-11]。

近期在塔中顺托果勒区块的 SH9 井首次发现了柯坪塔格组下段致密砂岩油藏 (图 1), SH901、SH902H、SH904H 等多口探评井也取得了良好的油气显示,油层厚度为 20 ~ 30 m,为中—轻质黑色原油。为研究该套新油层中原油的地球化学特征、油源等问题,本文对柯坪塔格组下段原油族组分、原油碳同位素、饱和烃色谱、生标化合物等地球化学特征进行了详尽分析。

1 原油基本地化特征

1.1 原油物性

塔中北坡志留系柯坪塔格组下段原油为中等—

轻质原油,具有低粘度、低含硫、低凝固点、高含蜡等物性特征 (表 1)。原油密度介于 0.864 ~ 0.876 g/cm^3 ,均值为 0.869 g/cm^3 ;在温度 30 $^{\circ}C$ 下,粘度介于 15.31 ~ 22.82 $mPa \cdot s$,均值为 18.10 $mPa \cdot s$,为低粘度特征;含硫量介于 0.44% ~ 0.48%,均值为 0.46%;凝固点介于 -34 ~ -28 $^{\circ}C$,均值为 -30 $^{\circ}C$;含蜡量介于 2.98% ~ 16.55%,均值为 11.86%,具有高含蜡的特征。

1.2 原油族组成

从塔中北坡 SH9 井区柯坪塔格组原油族组成 (表 2) 来看,工区内族组成特征较为一致。总烃含量高,介于 77.77% ~ 92.20%,均值高达 83.07%;其中,饱和烃介于 54.8% ~ 76.3%,均值 62.61%;芳烃介于 15.9% ~ 25.7%,均值 20.46%;非烃和沥青质含量低,介于 7.80% ~ 22.24%,均值 16.95%;饱芳比相对较高,介于 2.23 ~ 4.80,均值为 3.23。同时也可发现原油比油砂的饱芳比高,其原因可能是由于本区油藏具有多期成藏的特征,油砂中混杂有早期成熟度偏低的原油或遭破坏的沥青。

1.3 碳同位素特征

SH9 井区柯坪塔格组下段原油碳同位素均较轻,饱和烃、芳烃、非烃和沥青质的碳同位素均小于 -31‰ (表 3)。原油 $\delta^{13}C_{PDB}$ 均值为 -32.09‰,饱和烃 $\delta^{13}C_{PDB}$ 均值为 -32.03‰,芳烃 $\delta^{13}C_{PDB}$ 均值为 -31.79‰,非烃 $\delta^{13}C_{PDB}$ 均值为 -31.67‰,沥青质 $\delta^{13}C_{PDB}$ 均值为 -31.94‰。与多数塔中和塔北原油碳同位素对比来看,它们的特征较为一致,表明其母源性质与中、上奥陶统烃源岩相似,与源自寒武系烃源层的代表井 TD2 井原油碳同位素 (-28.5‰) 有较大差异。

表 1 塔中北坡 SH9 井区原油物性数据

Table 1 Physical property of crude oil from SH9 well area, northern slope of middle Tarim Basin

样号	样品类型	深度/m	层位	密度/ ($g \cdot cm^{-3}$)	粘度 (30 $^{\circ}C$)/ $mPa \cdot s$	含硫量/ %	含蜡量/ %	凝固点/ $^{\circ}C$
SH9-1	原油	5 560 ~ 5 583	$S_1 k^1$	0.872	17.37	0.48		-30
SH9-2	原油	5560 ~ 5 583	$S_1 k^1$	0.867	16.89	0.46	16.55	-28
SH9-3	原油	5 560 ~ 5 583	$S_1 k^1$	0.864	15.31	0.44	16.06	-28
SH901-1	原油	5 496 ~ 5 504	$S_1 k^1$	0.876	22.82	0.46	2.98	-34

注:SH9-1、SH9-2、SH9-3 原油样品为同一时间采集的平行样。

表 2 塔中北坡 SH9 井区原油族组成特征

Table 2 Group composition of crude oil from SH9 well area, northern slope of middle Tarim Basin

样号	样品类型	深度/m	层位	族组分/%					非烃+ 沥青质/%	饱芳比
				饱和烃	芳烃	总烃	非烃	沥青质		
SH9-4	原油	5 560 ~ 5 583	$S_1 k^1$	76.30	15.90	92.20	4.90	2.90	7.80	4.80
SH9-5	油砂	5 587	$S_1 k^1$	63.40	16.70	80.10	9.70	10.20	19.90	3.80
SH901-2	油砂	5 500	$S_1 k^1$	57.40	25.70	83.10	9.10	7.90	17.00	2.23
SH902H-1	油砂	5 517.1	$S_1 k^1$	54.80	22.97	77.77	11.19	11.05	22.24	2.39
SH904H-1	油砂	5 568.1	$S_1 k^1$	61.16	21.03	82.19	10.97	6.84	17.81	2.91

表3 塔中北坡 SH9 井区及邻区原油碳同位素特征

Table 3 Carbon isotope characteristics of crude oil from SH9 well and adjacent area, northern slope of middle Tarim Basin

样号	样品类型	深度/m	层位	$\delta^{13}C_{PDB}/\text{‰}$				
				原油	饱和烃	芳烃	非烃	沥青质
SH9-4	原油	5 560 ~ 5 583	S_1k^1	-32.30	-32.30	-31.80	-31.90	-32.10
SH9-5	油砂	5 587	S_1k^1	-32.35	-32.60	-32.07	-31.69	-32.27
SH901-1	原油	5 496 ~ 5 504	S_1k^1	-31.50	-31.50	-31.40	-31.70	-32.20
SH901-2	油砂	5 500	S_1k^1	-32.21	-31.73	-31.87	-31.37	-31.20
TZ11	原油	4 301 ~ 4 307	S_1k^3	-32.00	-31.80	-31.70	-31.60	-32.60
TZ47	原油	4 878 ~ 4 986	S_1k^3	-32.00	-31.70	-31.80	-31.80	-32.20
S48	原油	5 357 ~ 5 364	O	-32.90	-32.90	-32.90	-32.70	-33.50
TD2	原油	4 562 ~ 5 054	ϵ	-28.50	-29.30	-28.10	-27.90	-27.40

2 原油生物标志物及地球化学特征

2.1 饱和烃气相色谱

该原油正构烷烃总体为单峰、前峰型分布,正构烷烃保存相对完整,但也有所损失,基线均呈现了轻微的“鼓包”(UCM 峰),主峰碳数均有所前移(图2),Pr/C₁₇ 值为 0.33 ~ 0.53, Ph/C₁₈ 值为 0.43 ~ 0.55,均表明原油具有轻微生物降解的特征。原油的 OEP 值为 0.99 ~ 1.05, CPI 值为 1.04 ~ 1.05, Pr/Ph 值为 0.84 ~ 0.94(表4),不具备奇偶优势,有明显的植烷优势特征,表明原油的成烃母质为低等水生生物,原油表现为成熟油的特征。

2.2 甾烷特征

SH9 井区原油甾烷分布特征一致,具有以下特征(图3):①规则甾烷均呈“V”字形, C₂₈20R 甾烷

相对含量小于 25%, C₂₉ 甾烷含量高于 C₂₇ 甾烷(表5),规则甾烷的分布形式与中、上奥陶系烃源岩相似。②重排甾烷的相对含量较高。重排甾烷受沉积环境和成熟度的影响,粘土矿物含量的多寡与重排甾烷数量成正比^[12],与中、上奥陶系烃源岩重排甾烷含量特征一致。③发育低碳数的升孕甾烷和孕甾烷, C₂₁ 孕甾烷可代表浅水环境下的菌藻类物质^[13]。因此,甾烷生标特征证实 SH9 井区原油的生烃母源为浅水沉积环境中的低等水生生物,与中、上奥陶统烃源岩发育特征更为相似。

2.3 萜烷特征

三环萜烷的富集一般认为生源为浅水环境中的菌类物质^[12], SH9 井区原油萜类系列化合物中,三环萜烷系列的丰度高于藿烷系列;在三环萜烷中, C₂₁/C₂₃ TT (C₂₁ 三环萜烷/C₂₃ 三环萜烷) 值为 0.46,

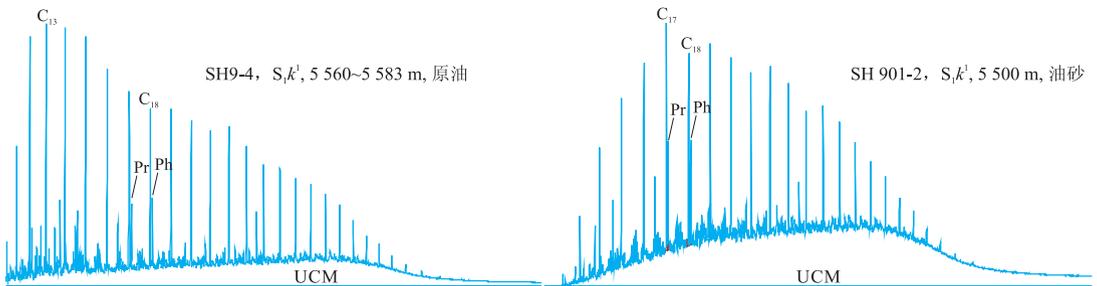


图2 塔中北坡原油饱和烃色谱

Fig. 2 Gas chromatograms of saturated hydrocarbon fraction of crude oil in northern slope of middle Tarim Basin

表4 塔中北坡 SH9 井区饱和烃气相色谱参数

Table 4 Gas chromatography parameters of saturated hydrocarbon from SH9 well area, northern slope of middle Tarim Basin

样号	样品类型	深度/m	层位	饱和烃气相色谱参数						
				主峰碳数	$n_{C_{21}}/n_{C_{22}+}$	OEP	CPI	Pr/C ₁₇	Ph/C ₁₈	Pr/Ph
SH9-4	原油	5 560 ~ 5 583	S_1k^1	C ₁₃	2.55	1.04	1.04	0.33	0.43	0.84
SH9-5	油砂	5 587	S_1k^1	C ₁₇	2.17	0.99	1.04	0.36	0.45	0.85
SH901-2	油砂	5 500	S_1k^1	C ₁₇	1.86	1.05	1.05	0.53	0.55	0.94

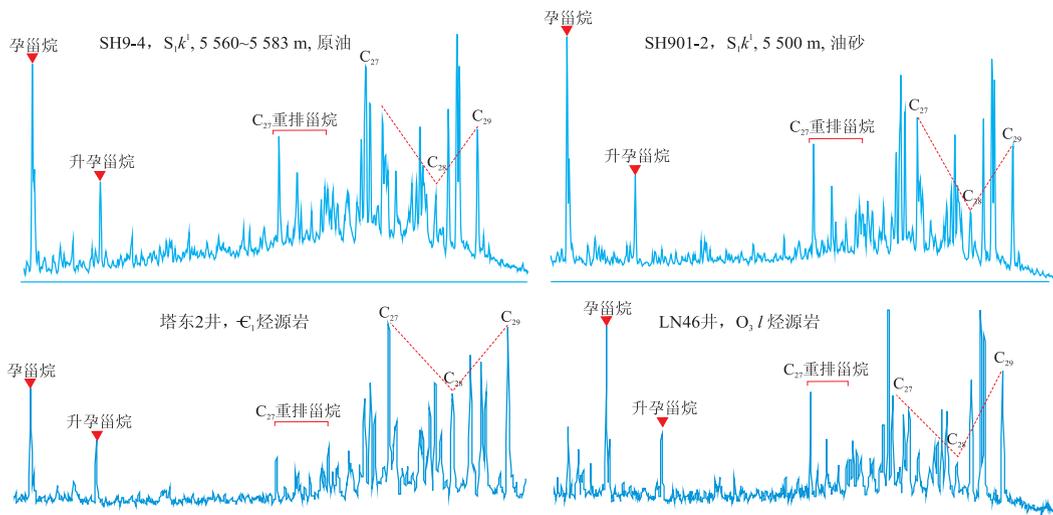


图3 塔中北坡 SH9、SH901 井原油与烃源岩 m/z 217 质量色谱对比

Fig.3 Mass chromatography (m/z 217) of crude oil and source rock from wells SH9 and SH901 in northern slope of middle Tarim Basin

表5 塔中北坡 SH9 井区原油甾烷参数

Table 5 Sterane parameters of crude oil from SH9 well and adjacent area, northern slope of middle Tarim Basin

样品	样品类型	深度/m	层位	规则甾烷含量/%			$C_{29}\alpha\alpha\alpha/20S/(20S+20R)$	$C_{29}\alpha\beta\beta/(\alpha\beta\beta+\alpha\alpha\alpha)$
				C_{27}	C_{28}	C_{29}		
SH9-4	原油	5 560 ~ 5 583	$S_1 k^1$	0.34	0.20	0.46	0.51	0.54
SH9-5	油砂	5 587	$S_1 k^1$	0.33	0.22	0.45	0.51	0.54
SH901-2	油砂	5 500	$S_1 k^1$	0.31	0.23	0.46	0.51	0.57

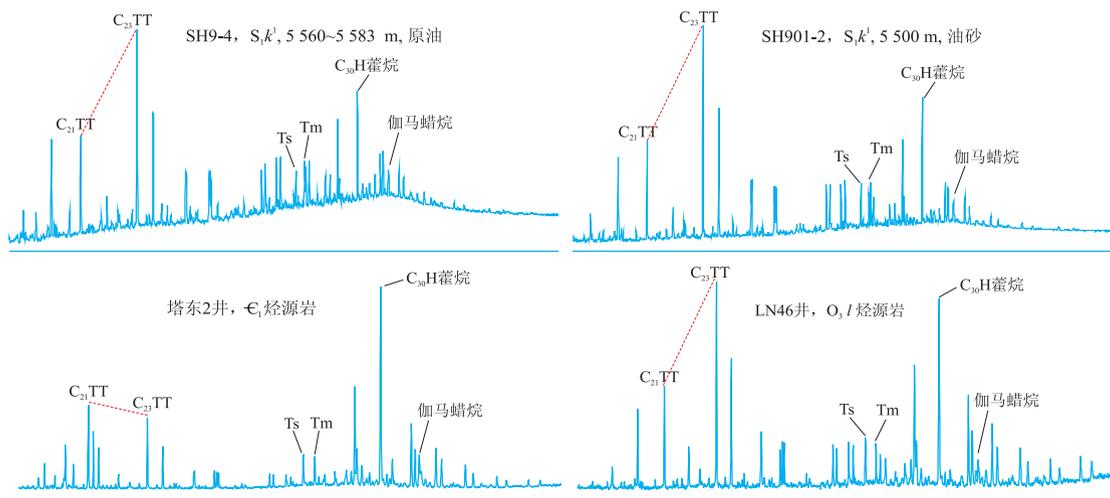


图4 塔中北坡 SH9、SH901 井原油与烃源岩 m/z 191 质量色谱对比

Fig.4 Mass chromatography (m/z 191) of crude oil and source rock from wells SH9 and SH901 in northern slope of middle Tarim Basin

表现为 C_{23} 三环萜烷的丰度优势(图4),与中、上奥陶统烃源岩的甾烷分布形式相似,而寒武系泥质烃源岩的三环萜烷则呈 C_{21} 三环萜烷丰度优势, $C_{21}/C_{23}TT > 1$,与之存在差异。然而,原油中伽马蜡烷含量高, $G/C_{30}H$ 值为 0.29 ~ 0.35,与中、下寒武统烃源岩沉积环境更为接近(图4),反映了一种咸水、还原的沉积环境。

2.4 芳烃组成特征

“三芳”系列(芴、硫芴、氧芴)的相对组成具有沉积环境的指示意义,硫芴系列含量通常指示还原沉积环境,而氧芴则指示偏氧化的还原环境。SH9-5 原油的硫芴为 56.34%,具有硫芴优势,指示海相还原沉积环境。顺9 井区原油在 m/z 245 色质谱图上仅能检测出少量的三芳甲藻甾烷和甲藻甾烷

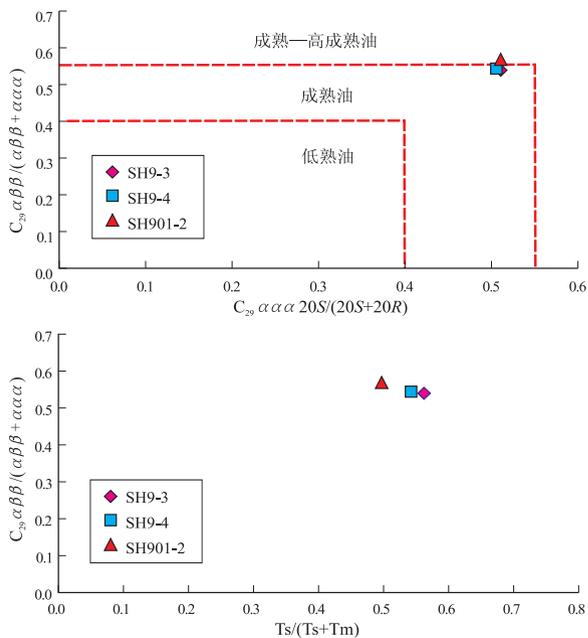


图5 塔中北坡 SH9 井区原油成熟度参数交会图

Fig. 5 Cross plots of crude oil maturity parameter in SH9 well area, northern slope of middle Tarim Basin

化合物,与中、上奥陶统烃源岩特征更为相似。

2.5 成熟度特征

原油饱和烃中甾、萜烷的 $C_{29}\alpha\alpha\alpha 20S / (20S + 20R)$ 、 $C_{29}\alpha\beta\beta / (\alpha\beta\beta + \alpha\alpha\alpha)$ 、 $Ts / (Ts + Tm)$ 参数均为可靠且常用的反映原油成熟度的参数^[14-16],从图5中可以看出, $C_{29}\alpha\alpha\alpha 20S / (20S + 20R)$ 值为 0.51, $C_{29}\alpha\beta\beta / (\alpha\beta\beta + \alpha\alpha\alpha)$ 值为 0.54 ~ 0.57, $Ts / (Ts + Tm)$ 值为 0.50 ~ 0.56, 这些参数均表明 SH9 井区原油处于成熟油阶段,与该区柯坪塔格组上段原油成熟度基本一致。

芳烃化合物中的甲基菲指数也是判断原油成熟度的有效参数^[17-18], SH9 井区原油生物降解轻微,对甲基菲指数影响小, MPI_1 值为 0.68 ~ 0.72, MPI_2 值为 0.85 ~ 0.87, 换算得到的原油成熟度值 (R_0) 为 0.81% ~ 0.83%, 与上述生标物判识结果一致,原油处于成熟油阶段。

3 结论

1) 柯坪塔格组下段原油为中—轻质原油,具有低粘度、低含硫、低凝固点、高含蜡等特征;原油族组分中总烃含量、饱芳比均较大,原油碳同位素轻,小于-31‰,有别于 TD2 井碳同位素较重的原油。

2) 原油正构烷烃总体为单峰、前峰型分布,正构烷烃保存相对完整,但有轻微的“鼓包”,具有轻微生物降解的特征。原油不具备奇偶优势,有明显的植烷优势。

3) 原油规则甾烷均呈“V”字形分布, $C_{28}20R$ 甾烷相对含量小于 25%, C_{29} 甾烷含量高于 C_{27} 甾烷,重排甾烷、升孕甾烷和孕甾烷的含量相对含量较高;三环萜烷系列的丰度高于藿烷系列,并在三环萜烷中表现为 C_{23} 三环萜烷的丰度优势,伽马蜡烷含量也较高, $G/C_{30}H$ 值为 0.29 ~ 0.35。原油具有硫芬优势,三芳甲藻甾烷和甲藻甾烷欠发育。

4) SH9 井区原油处于成熟油阶段,生标参数较为可靠,从以上分析来看,初步认为该井区原油的油源主要来源于中、上奥陶统烃源岩,中、下寒武统烃源岩的贡献不明显。

参考文献:

- [1] 唐友军,王铁冠,钱一雄. 卡塔克隆起中 1 井储层沥青地球化学特征与成因[J]. 沉积学报,2007,25(4):640-645.
- [2] 钱一雄,马安来,陈强路,等. 塔中西北部中 1 井区志留系油砂的地球化学特征[J]. 石油实验地质,2007,20(3):286-291.
- [3] 刘洛夫,赵建章,张水昌,等. 塔里木盆地志留系沥青砂岩的形成期次及演化[J]. 沉积学报,2000,18(3):475-479.
- [4] 梁狄刚,张水昌,张宝民,等. 从塔里木盆地看中国海相生油问题[J]. 地质前缘,2000,7(4):534-547.
- [5] 马安来,张水昌,张大江,等. 塔里木盆地塔东 2 井稠油地球化学研究[J]. 地质科技情报,2004,23(4):59-63.
- [6] 赵孟军,廖志勤,黄第藩,等. 从原油地球化学特征浅谈奥陶系原油生成的几个问题[J]. 沉积学报,1997,15(4):72-77.
- [7] 王飞宇,刘长伟,朱雷,等. 塔里木盆地台盆区寒武系烃源岩有机成熟度[J]. 新疆石油地质,2002,23(5):372-375.
- [8] 马安来,张水昌,张大江,等. 轮南塔河油田稠油油源对比[J]. 石油与天然气地质,2004,25(1):1-38.
- [9] 王大锐,宋力生. 论我国海相中上奥陶统烃源岩的形成条件:以塔里木盆地为例[J]. 石油学报,2002,23(1):31-34.
- [10] 赵宗举,周新源,郑兴平,等. 塔里木盆地主力烃源岩的诸多证据[J]. 石油学报,2005,26(3):10-15.
- [11] 杨威,魏国齐,王清华,等. 塔里木盆地寒武系两类优质烃源岩及其形成的含油气系统[J]. 石油与天然气地质,2004,25(3):263-267.
- [12] 李政,徐兴友,宋来亮,等. 伊朗卡山区原油地球化学特征[J]. 石油勘探与开发,2005,32(5):130-133.
- [13] 胥菊珍,罗小平,王海宏. 东非 M 盆地福拉凹陷烃源岩及原油地球化学特征[J]. 石油勘探与开发,2003,30(4):122-125.
- [14] 马安来,张水昌,张大江,等. 生物降解原油地球化学研究新进展[J]. 地球科学进展,2005,20(4):449-453.
- [15] 张敏,朱扬明. 塔里木盆地库车油气系统原油地球化学特征[J]. 地质论评,1996,42(增刊):229-234.
- [16] 赵孟军,张宝民,肖中尧,等. 塔里木盆地奥陶系偏腐殖型烃源岩的发现[J]. 天然气工业,1998,18(5):32-38.
- [17] 倪春华,包建平,梁世友. 渤海湾盆地渤中凹陷原油成熟度的多参数综合评价[J]. 石油实验地质,2009,31(4):399-402.
- [18] 倪春华,包建平,顾忆. 生物降解作用对芳烃生物标志物参数的影响研究[J]. 石油实验地质,2008,30(4):386-389.

(编辑 徐文明)