

塔里木盆地顺北地区白垩系原油成因类型与来源

吴 鲜¹, 曹自成¹, 路清华², 洪才均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. 中国石化 石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214126)

摘要:塔里木盆地白垩系含油层系具有良好的勘探潜力, 顺北地区在白垩系有较好的油气显示, 测试获得少量原油。为研究顺北地区白垩系原油地球化学特征、成因类型、油气来源, 系统开展了地球化学特征分析、油—油、油—源对比研究。顺北地区白垩系原油饱和烃色谱为单峰前峰型, 正构烷烃系列保存完整, 谱图基线平稳, 未见明显的“鼓包”, 原油 Pr/Ph 分布在 1.65~1.71, $C_{21}TT/C_{23}TT > 1$, 生标图谱中藿烷系列化合物占明显优势, Σ 三环萜烷/ Σ 藿烷 < 1 , 检测到丰度较高的伽马蜡烷和三芳甾烷化合物, 指示为保存条件良好的陆相成因类型原油; 顺北白垩系原油与北部库车坳陷周缘的英买、大宛齐、大涝坝白垩系原油、库车河三叠系黄山街组泥质烃源岩具有较好的亲源性, 指示油源来自库车坳陷三叠系黄山街组泥质烃源岩; 白垩系原油热演化程度从大宛齐到英买再到顺北呈现出降低的趋势, 推测顺北白垩系原油可能来源于库车坳陷三叠系烃源岩, 生成的早期陆相油气沿白垩系优质砂体、 T_4^0 不整合面、断裂由北向南远距离侧向运移。

关键词: 陆相原油; 油源; 成藏模式; 白垩系; 顺北地区; 塔里木盆地

中图分类号: TE121.11

文献标识码: A

Genetic types and sources of Cretaceous crude oil in Shunbei area, Tarim Basin

WU Xian¹, CAO Zicheng¹, LU Qinghua², HONG Caijun¹

(1. Research Institute of Petroleum Exploration and Production, SINOPEC Northwest Oilfield Company, Urumqi,

Xinjiang 830011, China; 2. Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214126, China)

Abstract: The Cretaceous oil-bearing strata in the Tarim Basin have a good exploration potential. The Shunbei area has good oil and gas shows in the Cretaceous, and a small amount of crude oil has been obtained by testing. The geochemical characteristics of the Cretaceous crude oil as well as the oil-oil and oil-source correlations were studied systematically in order to determine the genesis types and sources of crude oil in the Shunbei area. The saturated hydrocarbon chromatogram of the Cretaceous crude oil in the Shunbei area shows a unimodal distribution. The *n*-alkanes are intact and the distribution is unchanged without any obvious “UCM”. The Pr/Ph values of crude oil range 1.65–1.71. The $C_{21}TT/C_{23}TT$ ratio is > 1 . In biomarkers, the hopane series are dominant and the Σ tricyclic terpanes/ Σ hopanes ratio is < 1 . The gammacerane and triaryl stanine compounds are abundant, indicating that the crude oil of continental origin is well preserved. The Cretaceous crude oil in the Shunbei area and the Yingmai, Dawanqi and Dalaoba areas around the Kuqa Sag in the north, and the Triassic Huangshanjie mudstones in the Kuqa River area show similar *m/z* 191 biomarker patterns, which indicates that the crude oil was sourced from the Huangshanjie mudstones in the Kuqa Sag. The thermal evolution degrees of crude oil decrease from Dawanqi, Yingmai to Shunbei. We inferred that the early terrestrial hydrocarbon was sourced in the Triassic source rocks in the Kuqa Sag, and then migrated laterally from north to south through the Cretaceous sand bodies, the T_4^0 unconformity surface and the faults.

Key words: terrestrial crude oil; oil source; accumulation model; Cretaceous; Shunbei area; Tarim Basin

目前,塔里木盆地顺北地区以奥陶系超深断溶体油藏为主要勘探开发对象,但在以奥陶系为目的层的钻井过程中,在白垩系获得较好的油气显示,

气测组分齐全,部分井的岩心见到油斑显示。其中,SHBP2H井和SHB5-1X井钻至白垩系舒善河组(K_1s)时,槽面出现占25%的针尖状气泡,

收稿日期:2019-11-05;修订日期:2020-1-17。

作者简介:吴鲜(1982—),男,工程师,从事油气成藏相关研究。E-mail:182363258@qq.com。

基金项目:“十三五”国家科技重大专项(2017ZX05005-002-001)资助。

SHB5-1X 井在白垩系中途测试过程中获得少量原油,测井解释结论为油水同层。目前,顺北地区针对白垩系地层研究甚少,SHB5-1X 井测试获得少量原油,表明该层系可能具备较好的油气成藏条件,但顺北白垩系原油与深部奥陶系原油的关系、原油成因类型、勘探潜力等需要深入研究。针对以上关键问题,本文通过研究顺北白垩系原油有机地球化学特征,系统开展了顺北白垩系原油与库车坳陷三叠系黄山街组烃源岩的油—源对比,并开展了与周缘塔河、英买、大宛齐地区白垩系原油的油—油对比研究,明确了顺北白垩系原油的成因类型,以期为顺北地区白垩系下一步的勘探潜力评价提供依据。

1 地质概况

顺北地区位于塔里木盆地顺托果勒低隆西北部、沙雅隆起的西南倾没端,西跨阿瓦提坳陷东斜坡,东邻满加尔坳陷^[1-2],构造特征表现为北高南低、东高西低的斜坡形态,处于“左右逢源”的有利构造位置^[3-4](图 1)。区内除侏罗系地层沉积缺失,白垩系、二叠系、石炭系、泥盆系、志留系存在不同程度缺失外,其余地层均发育齐全。白垩系由下至上发育 3 套地层:舒善河组,厚度在 350 m 左右,岩性主要为粉砂—细粒砂岩和砂泥岩互层;巴西盖

组(K_1b),厚度在 40 m 左右,岩性为细粒砂岩与棕色泥岩、不等厚粉砂质泥岩;巴什基奇克组(K_1bs),厚度在 450 m 左右,上部为灰色、棕色细粒砂岩与棕褐色泥岩、粉砂质泥岩呈略等厚互层,下部为棕色细粒砂岩与棕褐色泥岩、粉砂质泥岩呈不等厚互层。

2 样品与实验

本次研究采集了白垩系油砂样品和原油样品及大量的顺北奥陶系原油样品。其中,白垩系油砂样品来自 SHBP2H 井 3 818 m 舒善河组浅灰色油斑细粒岩屑石英砂岩岩心。原油样品来自 SHB5-1X 井舒善河组中途测试获得流动性较好的含水油样。由于样品含水量较高,按常规流程进行简单前处理基本无法进行常规地球化学分析。通过氯仿反复萃取的方法进行了油水分离(含水油样添加氯仿溶解→震荡静止→油水分离→离心蒸发→转移干燥),对获得的产物进行后续的地球化学测试与分析,确保了原油样品的纯度和后续测试数据的可靠性。

实验过程中,岩心样品用索氏抽提法提取可溶有机质,与原油样品共同开展相关的地球化学分析,主要包括饱和烃组分的气相色谱仪(GC)和气

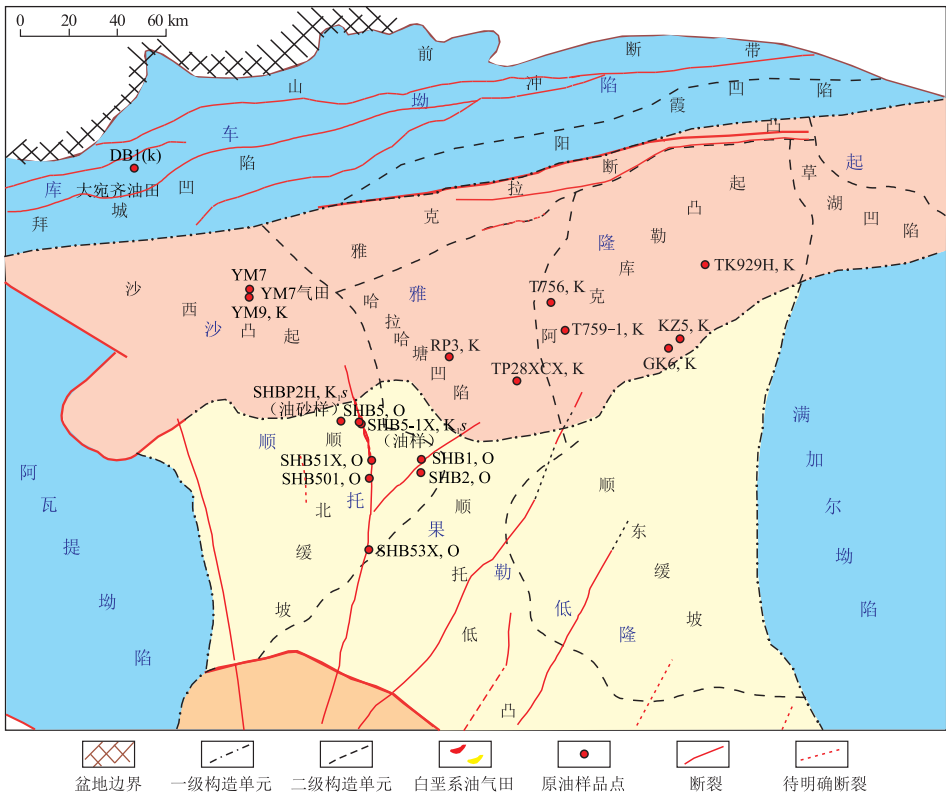


图 1 塔里木盆地顺北地区研究区构造位置及样品分布

Fig.1 Structural location and sample distribution of study area, Shunbei area, Tarim Basin

相色谱—质谱联用仪(GC-MS)分析,芳香烃组分的气相色谱—质谱联用仪(GC-MS)分析,和全烃及其族组分的碳同位素分析。全部分析测试在中国石化油气成藏重点实验室完成。

3 原油地球化学特征

3.1 原油物性与族组分特征

顺北白垩系原油样品由于含水量较高,未测出原油密度,地化分析原油提取过程中轻质组分散失严重,推测可能为轻质原油。顺北地区东北边的塔河地区白垩系原油密度分布在 $0.75 \sim 0.82 \text{ g/cm}^3$,为凝析油和轻质油。顺北地区北部库车坳陷周缘的白垩系原油以凝析油和轻质油为主。

SHBP2H井白垩系油砂抽提原油族组分中,饱和烃含量 72.77%,芳香烃含量 16.31%,沥青质含量 6.15%,饱芳比为 4,饱和烃占绝对优势;塔河地区白垩系原油饱和烃含量分布在 72.52%~96.61%,芳香烃 3.10%~17.57%,沥青质含量 0~6.15%;顺北奥陶系原油饱和烃含量分布在 71.93%~82.07%,芳烃含量 7.35%~18.47%,沥青质含量 0.80%~9.71%(表 1)。

3.2 原油气相色谱特征

3.2.1 正构烷烃

顺北地区白垩系原油饱和烃色谱均为单峰前峰型,正构烷烃系列保存完整,碳数分布在 $nC_{13} \sim nC_{36}$,主峰碳分布在 $nC_{17} \sim nC_{19}$ (图 2)。谱图基线平稳,未见明显的“鼓包”, $\sum C_{21-} / \sum C_{22+}$ 比值分布在 1.81~1.85,轻质组分占明显优势,表明原油保存条件良好,未经历后期生物降解和破坏作用。奇偶优势比(OEP)分布在 1.013~1.025,非常接近于平衡值 1,反映奇偶碳优势非常微弱,指示原油处

于成熟—高成熟演化阶段。

3.2.2 植烷系列

原油中类异戊二烯烷烃是反映烃源岩有机相特征的一个重要参数,同时也受成熟度的影响,可以侧面反映烃源岩演化程度,其中,姥植比(Pr/Ph)可以有效地反映生源沉积环境的氧化还原性,是确定原油成因的重要参数之一^[5-6]。顺北白垩系原油饱和烃中,Pr/ nC_{17} 分布在 0.185~0.207,Ph/ nC_{18} 分布在 0.111~0.126,姥鲛烷与植烷的比值(Pr/Ph)分布在 1.65~1.71,姥鲛烷占明显优势,指示原油生烃母质沉积环境为弱还原环境。通过 Pr/ nC_{17} —Ph/ nC_{18} 图版(图 3)可见顺北白垩系原油与塔里木盆地北部的大涝坝地区白垩系原油具有相同的母质类型——腐殖型干酪根,明显区别于顺北、塔河奥陶系原油和塔河白垩系原油的藻类干酪根类型,指示顺北白垩系原油可能与奥陶系海相原油不同源。

3.3 原油碳同位素特征

烃类的碳同位素组成继承其母源有机质,但该参数也受到成熟度差异的影响^[5]。顺北地区白垩系原油碳同位素为-31.0‰,相对顺北深部奥陶系

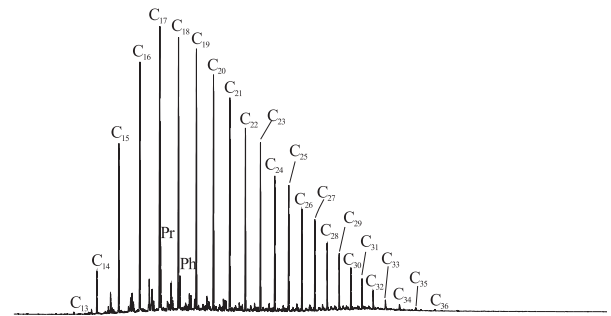


图 2 塔里木盆地 SHB5-1X 白垩系原油饱和烃色谱
Fig.2 Saturated hydrocarbon chromatogram of Cretaceous crude oil from well SHB5-1X, Tarim Basin

表 1 塔里木盆地顺北及周缘地区白垩系、奥陶系原油性质统计

Table 1 Statistics of Cretaceous and Ordovician crude oil in Shunbei and adjacent areas, Tarim Basin

位置	井号	类型	层位	井段/m	密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	族组分					全油 同位素/‰
						饱和烃/%	芳香烃/%	非 烃/%	沥青质/%	饱芳比	
顺北油田	SHBP2H	油砂	K_1s	3 805~3 826		72.77	16.31	4.77	6.15	4	-31.0
	SHB1	原油	O	7 270~7 320	0.83	71.93	18.47	7.29	2.31	4	-32.5
	SHB5	原油	O	7 314~7 651	0.83	80.05	7.35	2.89	9.71	11	-32.1
	SHB51X	原油	O	7 554~7 876	0.80	73.39	8.63	17.18	0.80	9	-32.6
	SHB53X	原油	O	7 740~8 362	0.80	82.07	11.75	3.03	3.15	7	
塔河油田	T759-1	原油	K_1hp	4 040~4 045	0.75	96.12	3.88	0	0	24.8	-31.8
	TK929H	原油	K_1s	4 138~4 143		72.52	17.57	6.01	3.89	4	-30.2
	TP28XCX	原油	K_1s		0.77	96.61	3.10	0.26	0.03	31	-31.8
	KZ5-1	原油	K_1s	4 045~4 160	0.82	74.50	16.58	5.99	2.93	4	-31.0
	GK6	原油	K_1s	3 745~3 751	0.82	72.77	16.31	4.77	6.15	4	-29.7
英买	YM9	原油	K_1bs	4 945~4 956	0.84						-31.2

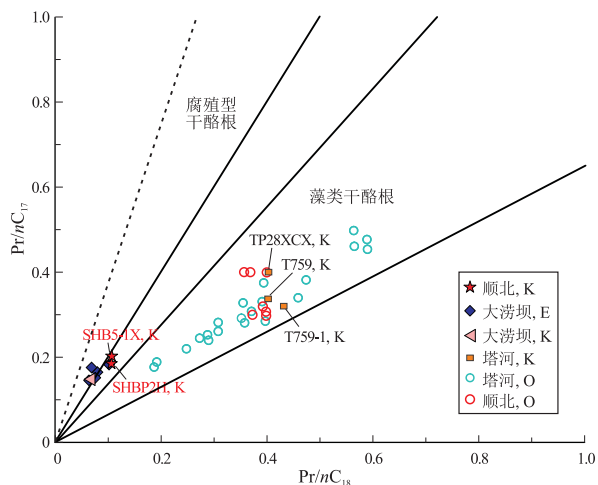


图 3 塔里木盆地不同层系原油母质类型识别图版

Fig.3 Identification of crude oil parent material types in different layers, Tarim Basin

原油同位素 (-32.1‰~ -32.6‰) 更重, 与英买地区 YM9 井白垩系原油同位素 (-31.2‰) 具有较好的可比性。塔河西部地区的 TP28XCX、T759-1 井区白垩系原油同位素分布在 -30.8‰~ -31.8‰, 由于原油类型为凝析油, 测得原油同位素相对顺北地区奥陶系原油较重。

3.4 原油生标特征

3.4.1 甾烷系列化合物

C₂₇甾烷通常来源于低等水生生物和藻类, C₂₉甾烷可以来源于藻类和陆源高等植物。C₂₇、C₂₈、C₂₉甾烷的分布形式往往反映其生源特征, 通常情况下, 陆源高等植物有机质具有较高丰度的 C₂₉甾烷^[7-8]。顺北白垩系原油和油砂生标检测到 C₂₇、C₂₈、C₂₉规则甾烷的 ααα20R 构型组成占比分别为 23.3%、17.2%、59.5% 和 32.5%、23.3%、44.2%, 均表现为 C₂₇规则甾烷含量较低, C₂₉规则甾烷占绝对优势, 呈现不对称的“V”字形分布, 指示属于藻类和高等植物的双重生源特征(图 4)。

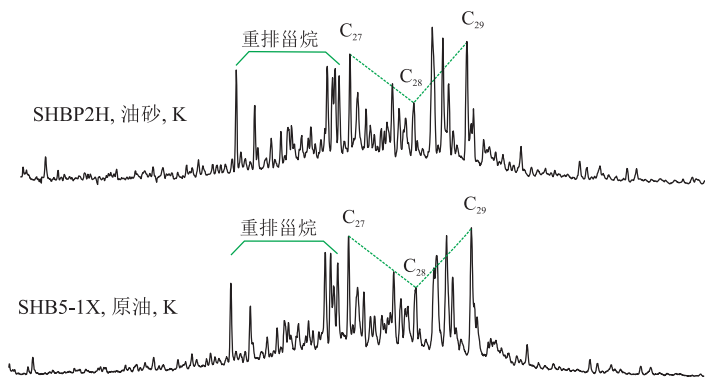


图 4 塔里木盆地顺北白垩系原油和油砂样品 m/z 217 生标图谱

Fig.4 m/z 217 biomarkers of Cretaceous crude oils and oil sands in Shunbei area, Tarim Basin

3.4.2 三环萜烷

萜烷系列化合物是识别原油生源类型的一个重要参数。目前, 普遍认为海相烃源岩含有大量水生藻类有机质, 陆相烃源岩则富含二萜类先质的陆源高等植物, 表现在海相原油三环萜烷以碳数 C₂₃TT 占优势, 含量上高于 C₂₁TT, 而陆相烃源岩富含高等植物生源的有机质, 三环萜烷中以低碳数的 C₁₉TT、C₂₁TT 化合物占优势, 以 C₂₁TT 化合物为主峰^[9](图 5)。顺北白垩系原油和油砂中检测到的三环萜烷化合物中均以 C₂₁TT 为主峰, 其中 C₂₁TT/C₂₃TT 分别为 1.27 和 1.33(表 2), 指示原油属于高等植物生源的有机质类型, 以陆相输入为主。

3.4.3 藿烷、伽马蜡烷化合物

藿烷系列是常见的生物标志化合物, 可以有效地指示烃源岩的沉积环境、母质输入以及热演化程度^[10]。顺北白垩系原油和油砂的生物标志化合物 m/z 191 图谱表现为藿烷(五环萜)类化合物占明显优势的特征(图 5), 其中, 藿烷类化合物占总峰面积的 75.60%~78.88%, 三环萜烷类占比为 10.69%~12.70%, 伽马蜡烷占比 2.8%~5.0%, 莫烷类化合物占比 5.00%~5.77%(表 2)。高含量的藿烷含量和伽马蜡烷指示顺北白垩系原油来源于偏咸水的陆相沉积环境。

3.5 原油芳烃特征

芳烃组分中三芴系列化合物(硫芴 SF—二苯并噻吩, 氧芴 OF—二苯并呋喃, 芴—吡咯类化合物)被认为是烃源岩沉积环境的良好指标^[9-10]。顺北白垩系原油芳烃化合物组成中, 菲系列化合物含量占比 63.9%, 其次是萘系列化合物, 占比 9.6%。其中“三芴”系列化合物中, 硫芴占比 41.43%, 氧芴占比 16.51%, 芴占比 42.07%, 高硫芴、高芴, 较低氧芴, 指示原油形成于偏弱还原、半咸水的沉积环境。

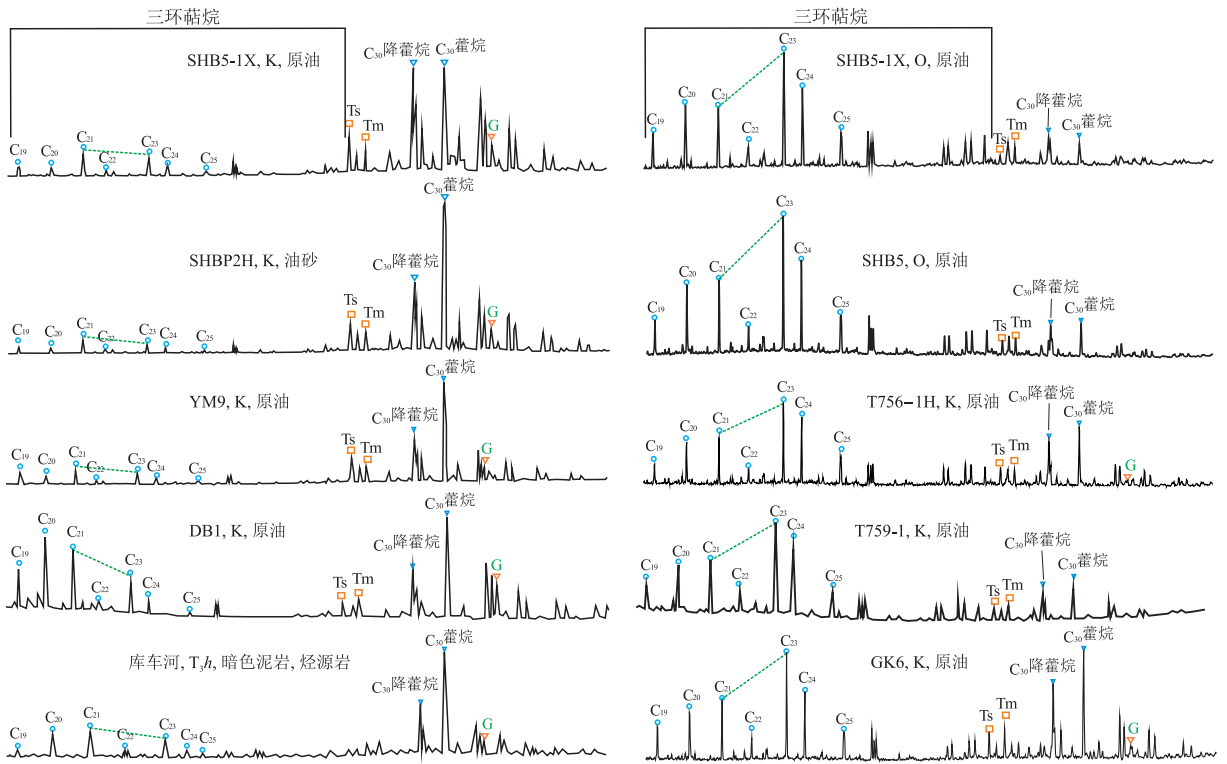


图 5 塔里木盆地顺北及周缘白垩系、奥陶系原油生物标志化合物 m/z 191 生标图谱

Fig.5 m/z 191 biomarkers of Cretaceous and Ordovician crude oils in Shunbei and adjacent areas, Tarim Basin

表 2 塔里木盆地顺北地区及周缘白垩系、奥陶系原油地化指标对比

Table 2 Geochemical biomarkers of Cretaceous and Ordovician crude oils in Shunbei and adjacent areas, Tarim Basin

位置	井位	层位	类型	Pr/Ph	规则甾烷含量/%			d	e	f	g/%	h/%	类型
					a	b	c						
顺北油田	SHB5-1X	K _{1s}	原油	1.65	23.0	17.0	60.0	1.27	10.0	0.1	2.8	1.9	陆相
	SHBP2H	K _{1s}	油砂	1.71	32.5	23.3	44.2	1.33	9.1	0.1	5.0	2.6	陆相
	SHB5-1X	O	原油	0.97	27.8	12.2	60.0	0.53	2.5	4.0	0	0	海相
	SHB1	O	原油	0.96	33.2	15.3	51.6	0.53	2.0	7.7	0	0	海相
	SHB5	O	原油	0.98	33.4	14.6	52.0	0.54	2.4	3.2	0	0	海相
英买	YM9	K	原油	2.20	30.0	23.0	47.0	>1		<1	10.7		陆相
塔河油田	T759-1	K _{1s}	原油	1.33	27.4	14.6	58.0	0.58	5.3	1.1	0	0.3	海相为主,混少量陆相原油
	TP28XCX	K _{1s}	原油	1.24	32.6	20.8	46.6	0.59	15.6	1.9	0.5	0.6	海相为主,混少量陆相原油

注: a, b, c 分别为 $aaaC_{27}-20R$, $aaaC_{28}-20R$, $aaaC_{29}-20R$ 规则甾烷; d. $C_{21}TT/C_{23}TT$; e. Σ 萘烷/ Σ 甾烷; f. Σ 三环萘烷/ Σ 藿烷; g. 伽马蜡烷含量; h. 三芳甾烷含量

三芳甾烷通常被认为是单芳甾烷在地层深度受热后芳构化的产物,其分布特征主要受到沉积环境、成熟度的影响、在咸水或者半咸水环境中形成的有机质中三芳甾烷含量较高,芳烃化合物中的丰富的三芳甾烷化合物可以作为陆源输入的一个指标^[11-12]。顺北白垩系原油中三芳甾烷化合物的含量明显高于顺北深部的奥陶系原油。其中,顺北白垩系原油和油砂芳烃中均检测到三芳甾烷化合物,含量在 1.9%~2.6%,而顺北深部的奥陶系原油中很少检测到这种化合物,表明顺北白垩系与深部奥陶系原油来源于不同的油源。

4 油气成因

原油全油碳同位素、饱和烃色谱、生物标志化合物对比分析表明,顺北白垩系原油地化特征与顺北深部奥陶系海相原油具有明显的差异。顺北白垩系原油 Pr/Ph 分布在 1.65~1.71, $C_{21}TT/C_{23}TT>1$, m/z 191 生标图谱中藿烷系列化合物占明显优势, Σ 三环萘烷/ Σ 藿烷 <1 ,检测到较高丰度的伽马蜡烷和三芳甾烷化合物,均指示为陆相油气成因类型。

顺北白垩系原油与周缘白垩系原油和深部奥

陶系原油对比结果表明,顺北白垩系原油与奥陶系原油和塔河白垩系原油成因不同,与英买、大宛齐地区的白垩系原油具有非常好的亲源性。其中,塔河 T759-1、TP28XCX 井区白垩系原油 $C_{21}TT/C_{23}TT < 1$, 三环萜烷/藿烷 > 1 , Pr/Ph 分布在 1.24~1.33, 指示为海相原油输入为主的海陆混合原油。以 YM9 井为代表的英买地区白垩系原油 $C_{21}TT/C_{23}TT > 1$, Σ 三环萜烷/ Σ 藿烷 < 1 , Pr/Ph = 2.5, 为陆相成因类型。顺北白垩系原油和油砂 $C_{21}TT/C_{23}TT > 1$, Σ 三环萜烷/ Σ 藿烷 < 1 , Pr/Ph 分布在 1.65~1.71, 指示为陆相原油成因类型(表 2)。通过 Pr/Ph、三环萜烷识别原油类型图版也有效识别出顺北、英买、热普、大涝坝地区的白垩系原油均为陆相原油(图 6)。

5 油气来源

通过油—油、油—源生物标志化合物 m/z 191 图谱(图 5)对比表明:顺北、YM9、DB1 井白垩系原油和库车河三叠系黄山街组暗色泥岩烃源岩 m/z 191 图谱形态非常类似,均是藿烷含量占优势,以 C_{30} 藿烷为主峰,识别出含量较高的伽马蜡烷化合物,指示具有较好的亲源性。而顺北奥陶系原油和塔河白垩系原油 m/z 191 图谱则明显不同:三环萜烷化合物为主, $C_{22}TT$ 为主峰, C_{30} 藿烷含量相对较低,均未识别出伽马蜡烷化合物。因此,基本可以明确顺北白垩系原油与顺北深部奥陶系原油和塔河白垩系原油属于不同成因类型和来源。顺北白垩系原油与库车坳陷周缘的大宛齐、英买地区白垩系原油同源,油源均为来自库车坳陷三叠系黄山街组泥质烃源岩。

顺北白垩系油砂和原油的三降藿烷和三甲基萘化合物指标表明原油演化程度具有差异性,其中 $Ts/(Ts+Tm)$ 指标分布在 0.36~0.57; 2,3,6-TMN/

(2,3,6-TMN+1,2,5-TMN) 指标分布在 0.44~0.59, 指示原油处于成熟演化阶段。英买地区白垩系原油 $Ts/(Ts+Tm)$ 指标分布在 0.54~0.58, 距库车坳陷更近的大宛地区白垩系原油 $Ts/(Ts+Tm)$ 指标分布在 0.52~0.71。区域上白垩系原油呈现由北—南,由大宛齐—英买—顺北演化程度由高—低的分布特征,指示顺北白垩系原油属于早期演化程度较低原油长距离侧向输导在顺北白垩系砂体聚集^[13-14]。在白垩纪,构造特征呈现南低北高的特征,为库车坳陷陆相油气向南输导提供了势能基础^[15-18]。白垩系舒善河组、巴什基奇克组均发育物性较好的优质砂体,加上白垩系底界(T_4^0)为不整合界面、断裂发育,为油气长距离侧向运移奠定了基础。综上,认为顺北白垩系陆相原油可能形成于库车坳陷三叠系烃源岩原油沿优质砂体、 T_4^0 不整合面、断裂向南远距离侧向运移至顺北地区白垩系砂体聚集,成藏模式如图 7 所示。

6 结论

(1) 顺北白垩系原油饱和烃色谱为单峰前峰型,正构烷烃系列保存完整,谱图基线平稳,未见明显的“鼓包”。原油姥鲛烷与植烷的比值(Pr/Ph)分布在 1.65~1.71, $C_{21}TT/C_{23}TT > 1$, m/z 191 生标图谱中藿烷系列化合物占明显优势, Σ 三环萜烷/ Σ 藿烷 < 1 , 检测到丰富的伽马蜡烷和三芳甾烷化合物,属于陆相成因类型。

(2) 顺北白垩系原油与顺北深部奥陶系原油和塔河白垩系原油成因不同。顺北白垩系原油与北部库车坳陷周缘的英买、大宛齐、大涝坝白垩系原油、库车河三叠系黄山街组泥岩烃源岩具有较好亲源性,油源来自库车坳陷三叠系黄山街组泥质烃源岩。

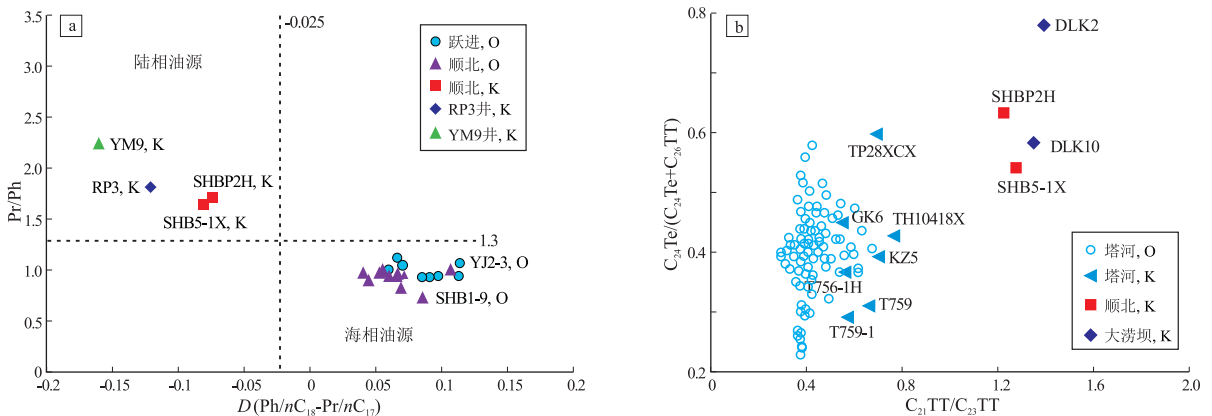


图 6 塔里木盆地顺北白垩系 Pr/Ph、三环萜烷识别原油类型图版

Fig.6 Crude oil types identified by Pr/Ph and tricyclic terpanes of Cretaceous, Shunbei area, Tarim Basin

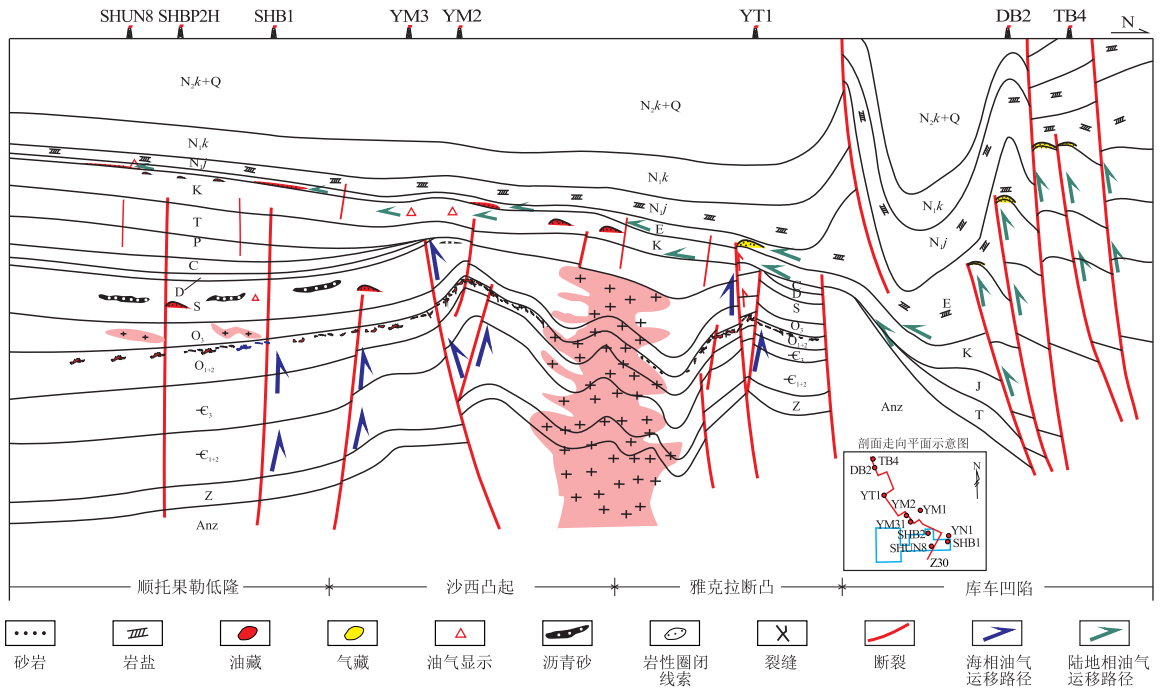


图7 塔里木盆地顺北白垩系原油成藏模式示意

Fig.7 Accumulation model of Cretaceous oil in Shunbei area, Tarim Basin

(3) 顺北白垩系原油处于成熟演化阶段,由北—南,原油热演化程度大宛齐—英买—顺北呈降低的分布特征,推测顺北白垩系原油可能来自于库车坳陷三叠系烃源岩生成的早期陆相油气沿白垩系优质砂体、 T_4^0 不整合面、断裂由北—南远距离侧向运移。

参考文献:

[1] 焦方正.塔里木盆地顺北特深碳酸盐岩断溶体油气藏发现意义与前景[J].石油与天然气地质,2018,39(2):207-216. JIAO Fangzheng.Significance and prospect of ultra-deep carbonate fault-karst reservoirs in Shunbei area,Tarim Basin[J].Oil & Gas Geology,2018,39(2):207-216.

[2] 焦方正.塔里木盆地顺托果勒地区北东向走滑断裂带的油气勘探意义[J].石油与天然气地质,2017,38(5):831-839. JIAO Fangzheng.Significance of oil and gas exploration in NE strike-slip fault belts in Shuntuoguole area of Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology,2017,38(5):831-839.

[3] 吕海涛,耿锋,毛庆言,等.塔里木盆地阿瓦提北—顺托果勒北地区有利勘探方向分析[J].石油实验地质,2012,34(1):8-13. LÜ Haitao,GENG Feng,MAO Qingyan,et al.Favorable exploration targets in northern Avat and northern Shuntuoguole areas,Tarim Basin[J].Petroleum Geology & Experiment,2012,34(1):8-13.

[4] 云露,曹自成.塔里木盆地顺南地区奥陶系油气富集与勘探潜力[J].石油与天然气地质,2014,35(6):788-797. YUN Lu,CAO Zicheng.Hydrocarbon enrichment pattern and exploration potential of the Ordovician in Shunnan area,Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology,2014,35(6):788-797.

[5] 罗明霞,夏永涛,邵小明,等.塔里木盆地顺北油气田不同层系原油地球化学特征对比及成因分析[J].石油实验地质,2019,41(6):849-854. LUO Mingxia,XIA Yongtao,SHAO Xiaoming,et al.Geochemical characteristics and origin of oil from different strata in Shunbei oil and gas field,Tarim Basin[J].Petroleum Geology & Experiment,2019,41(6):849-854.

[6] 崔景伟,王铁冠,李美俊,等.塔河油田白垩系原油地化特征与成因类型[J].中国矿业大学学报,2011,40(3):430-437. CUI Jingwei,WANG Tieguan,LI Meijun,et al.Geochemical characteristics and genetic types of Cretaceous oils,Tahe oilfield[J].Journal of China University of Mining & Technology,2011,40(3):430-437.

[7] 张斌.塔里木盆地库车坳陷典型油气藏成因机制与分布规律[D].北京:中国地质大学(北京),2012. ZHANG Bin.Petroleum accumulation system formation and occurrence in the Kuqa Depression,Tarim Basin[D].Beijing:China University of Geosciences(Beijing),2012.

[8] 顾忆.塔里木盆地北部塔河油田油气藏成藏机制[J].石油实验地质,2000,22(4):307-312. GU Yi.Forming mechanism of hydrocarbon pools in Tahe oilfield of the northern Tarim Basin[J].Experimental Petroleum Geology,2000,22(4):307-312.

[9] 顾忆,黄继文,邵志兵.塔河油田奥陶系油气地球化学特征与油气运移[J].石油实验地质,2003,16(2):746-750. GU Yi,HUANG Jiwen,SHAO Zhibing.Petroleum geochemistry and hydrocarbon migration in Tahe oilfield of the Tarim Basin[J].Petroleum Geology & Experiment,2003,16(2):746-750.

[10] 李景贵,刘文汇,郑建京,等.库车坳陷陆相烃源岩及原油中

的氧芴系列化合物[J].石油学报,2004,25(1):40-43.

LI Jinggui, LIU Wenhui, ZHENG Jianjing, et al. Dibenzofuran series of terrestrial source rocks and crude oils in Kuqa Depression [J]. Acta Petrolei Sinica, 2004, 25(1): 40-43.

[11] 程斌,王铁冠,常象春. C₅—C₇轻烃在原油地球化学研究中的应用:以塔北隆起哈拉哈塘凹陷奥陶系原油为例[J].天然气地球科学,2013,24(2):398-405.

CHENG Bin, WANG Tieguan, CHANG Xiangchun. Application of C₅-C₇ light hydrocarbons in geochemical studies: a case study of Ordovician crude oils from the Halahatang Depression, Tabei Uplift [J]. Natural Gas Geoscience, 2013, 24(2): 398-405.

[12] 玉伟,陈红汉,郭会芳,等.塔里木盆地顺1走滑断裂带超深储层油气充注历史[J].石油与天然气地质,2019,40(5):972-989.

WANG Yuwei, CHEN Honghan, GUO Huifang, et al. Hydrocarbon charging history of the ultra-deep reservoir in Shun 1 strike-slip fault zone, Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2019, 40(5): 972-989.

[13] 邓尚,李慧莉,韩俊,等.塔里木盆地顺北5号走滑断裂中段活动特征及其地质意义[J].石油与天然气地质,2019,40(5):990-998.

DENG Shang, LI Huili, HAN Jun, et al. Characteristics of the central segment of Shunbei 5 strike-slip fault zone in Tarim Basin and its geological significance [J]. Oil & Gas Geology, 2019, 40(5): 990-998.

[14] 邓尚,李慧莉,张仲培,等.塔里木盆地顺北及邻区主干走滑断裂带差异活动特征及其与油气富集的关系[J].石油与天然气地质,2018,39(5):878-888.

DENG Shang, LI Huili, ZHANG Zhongpei, et al. Characteristics

of differential activities in major strike-slip fault zones and their control on hydrocarbon enrichment in Shunbei area and its surroundings, Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2018, 39(5): 878-888.

[15] 黄诚.叠合盆地内部小尺度走滑断裂幕式活动特征及期次判别:以塔里木盆地顺北地区为例[J].石油实验地质,2019,41(3):379-389.

HUANG Cheng. Multi-stage activity characteristics of small-scale strike-slip faults in superimposed basin and its identification method: a case study of Shunbei area, Tarim Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2019, 41(3): 379-389.

[16] 朱光有,杨海军,张斌,等.油气超长运移距离[J].岩石学报,2013,29(9):3192-3212.

ZHU Guangyou, YANG Haijun, ZHANG Bin, et al. Ultra-long distance migration of hydrocarbon [J]. Acta Petrologica Sinica, 2013, 29(9): 3192-3212.

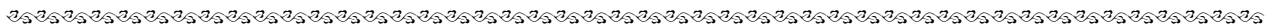
[17] 田鹏,马庆佑,吕海涛.塔里木盆地北部跃参区块走滑断裂对油气成藏的控制[J].石油实验地质,2016,38(2):156-161.

TIAN Peng, MA Qingyou, LÜ Haitao. Strike-slip faults and their controls on hydrocarbon reservoirs in the Yuecan block of the Northern Tarim Uplift, Tarim Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2016, 38(2): 156-161.

[18] 何登发,李德生,何金有,等.塔里木盆地库车坳陷和塔西南坳陷油气地质特征类比及勘探启示[J].石油学报,2013,34(2):201-218.

HE Dengfa, LI Desheng, HE Jinyou, et al. Comparison in petroleum geology between Kuqa Depression and southwest depression in Tarim Basin and its exploration significance [J]. Acta Petrolei Sinica, 2013, 34(2): 201-218.

(编辑 黄娟)



(上接第 254 页)

[15] 高志前,樊太亮,焦志峰,等.塔里木盆地寒武—奥陶系碳酸盐岩台地样式及其沉积响应特征[J].沉积学报,2006,24(1):19-27.

GAO Zhiqian, FAN Taiyang, JIAO Zhifeng, et al. The structural types and depositional characteristics of carbonate platform in the Cambrian-Ordovician of Tarim Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24(1): 19-27.

[16] 赵宗举,罗家洪,张运波,等.塔里木盆地寒武纪层序岩相古地理[J].石油学报,2011,32(6):937-948.

ZHAO Zongju, LUO Jiahong, ZHANG Yunbo, et al. Lithofacies paleogeography of Cambrian sequences in the Tarim basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(6): 937-948.

[17] 潘文庆,陈永权,熊益学,等.塔里木盆地地下寒武统烃源岩沉积相研究及其油气勘探指导意义[J].天然气地球科学,2015,26(7):1224-1232.

PAN Wenqing, CHEN Yongquan, XIONG Yixue, et al. Sedimentary facies research and implications to advantaged exploration regions on Lower Cambrian source rocks, Tarim Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2015, 26(7): 1224-1232.

[18] 朱光有,陈斐然,陈志勇,等.塔里木盆地寒武系玉尔吐斯组优质烃源岩的发现及其基本特征[J].天然气地球科学,2016,27(1):8-21.

ZHU Guangyou, CHEN Feiran, CHEN Zhiyong, et al. Discovery and basic characteristics of the high-quality source rocks of the Cambrian Yuertusi Formation in Tarim Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2016, 27(1): 8-21.

[19] 顾忆,黄继文,贾存善,等.塔里木盆地海相油气成藏研究进展[J].石油实验地质,2020,42(1):1-12.

GU Yi, HUANG Jiwen, JIA Cunshan, et al. Research progress on marine oil and gas accumulation in Tarim Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2020, 42(1): 1-12.

[20] 顾忆,万咏璐,黄继文,等.“大埋深、高压”条件下塔里木盆地超深层油气勘探前景[J].石油实验地质,2019,41(2):157-164.

GU Yi, WANG Yanglu, HUANG Jiwen, et al. Prospects for ultra-deep oil and gas in the “deep burial and high pressure” Tarim Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2019, 41(2): 157-164.

(编辑 徐文明)