

塔里木盆地顺北油田油气来源研究

谷茸, 云露, 朱秀香, 朱猛

(中国石化 西北油田分公司, 乌鲁木齐 830011)

摘要: 基于塔里木盆地顺北地区原油和天然气样品的地球化学特征分析, 研究了顺北地区奥陶系中下统油气来源。通过饱和烃色谱及饱和烃、芳烃色谱—质谱、全油及族组分碳同位素检测, 发现原油样品中 C_{23} 三环萜烷占优势, 伽马蜡烷含量低, $C_{27}-C_{28}-C_{29}$ $\alpha\alpha\alpha 20R$ 规则甾烷表现为不规则的“V”字形分布, 规则甾烷相对重排甾烷含量高, 原油碳同位素偏轻, 与柯坪露头及孔探 1 井等下寒武统烃源岩有很好的亲缘性; 天然气 $\delta^{13}C_1$ 值为 $-50.7\text{‰} \sim -44.7\text{‰}$, 天然气 $\delta^{13}C_2$ 值为 $-36.1\text{‰} \sim -33.1\text{‰}$, 干燥系数为 $0.520 \sim 0.883$, 为原油伴生气, 油气同源, 判断顺北油田油气主要来源于下寒武统烃源岩。通过已钻井岩相、沉积相和全盆地地震相资料, 预测下寒武统烃源岩在塔里木盆地广泛分布, 厚度在 30 m 左右, 有机碳含量高, 生烃潜力大, 具有长期生烃、多期供烃的特点, 能提供充足的油气资源, 是塔里木盆地台盆区最主要的烃源岩。

关键词: 油源对比; 油气来源; 主力烃源岩; 奥陶系; 顺北地区; 塔里木盆地

中图分类号: TE122.11

文献标识码: A

Oil and gas sources in Shunbei Oilfield, Tarim Basin

GU Rong, YUN Lu, ZHU Xiuxiang, ZHU Meng

(SINOPEC Northwest Oilfield Company, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

Abstract: The hydrocarbon sources in the Middle and Lower Ordovician in the Shunbei area of the Tarim Basin were studied based on the geochemical characteristics of oil and gas samples. The saturated hydrocarbon gas chromatography, mass spectrometry of crude oil and natural gas, and the carbon isotope distribution of whole oil and group components were used. The C_{23} tricyclic terpane is dominant in crude oil samples from the Shunbei area, with a low content of gammacerane. The $C_{27}-C_{28}-C_{29}$ $\alpha\alpha\alpha 20R$ regular steranes show an irregular “V” shape distribution. The regular steranes account for a larger amount than the rearranged steranes, and the carbon isotope of the crude oils is light. The geochemical characteristics of crude oil samples from the Middle and Lower Ordovician in the Shunbei area have a good affinity with those from the Lower Cambrian in the Keping outcrop and the well KT1. The $\delta^{13}C_1$ and $\delta^{13}C_2$ values of natural gas samples are -50.7‰ to -44.7‰ and -36.1‰ to -33.1‰ , respectively. The gas dryness coefficient ranges from 0.520 to 0.883. The oil and natural gas in the Shunbei Oilfield have the same source, that is, the Lower Cambrian source rocks. The distribution of source rocks in the Lower Cambrian of the Tarim Basin was predicted by means of drilled lithofacies, sedimentary facies and seismic facies of the whole basin. The source rocks are about 30 m thick. They have a high TOC content and show a great hydrocarbon generation potential. They have experienced a long term of hydrocarbon generation and multiple stages of hydrocarbon supply, providing significant oil and gas resources for the Tarim Basin.

Key words: oil-source correlation; oil and gas source; main source rock; Ordovician; Shunbei area; Tarim Basin

塔里木盆地是典型的叠合盆地, 长期勘探实践表明, 下古生界碳酸盐岩领域生储盖配置好, 具有广阔的勘探前景; 古隆起、古斜坡是油气富集有利部位, 在此认识指导下, 相继发现了塔河、塔中、哈拉哈塘等一批大中型海相油气藏。2014 年以来, 中国石化西北油田分公司强化盆地成藏关键问

题研究, 认为在顺托果勒低隆起区广泛发育一套下寒武统斜坡—盆地相烃源岩, 与上覆的下古生界地层形成完整的生储盖组合; 同时, 多期断裂活动为储层发育、油气运移聚集提供了有利条件, 成藏条件优越。在此认识指导下, 发现了世界第一个特深断溶体油藏——顺北油气田。但由于下寒武统斜

收稿日期: 2019-10-17; 修订日期: 2020-02-27。

作者简介: 谷茸(1987—), 女, 助理研究员, 从事油气地质勘探研究。E-mail: skygrong@163.com。

基金项目: 国家科技重大专项“塔里木—鄂尔多斯盆地海相碳酸盐岩层系大中型油气田形成规律与勘探评价”(2017ZX05005-002) 和中国石化科技部项目(P16088)资助。

坡—盆地相烃源岩埋藏深,钻井尚未揭示,因此顺北油田主力烃源岩的分布仍存在争议。本文以顺北断溶体油藏原油与地表露头烃源岩地球化学特征对比分析为基础,探究顺北油气藏油气来源,进一步明确塔里木盆地主力烃源岩分布与勘探潜力。

1 油气藏基本地质特征

1.1 勘探概况

顺北油田主体位于两隆(沙雅隆起、卡塔克隆起)、两坳(阿瓦提坳陷、满加尔坳陷)夹持的似“马鞍形”顺托果勒低隆起上(图1),是塔里木盆地发现的一种新的油气藏类型——超深断溶体油气藏^[1]。油气藏沿走滑断裂带呈条带状展布,走滑断裂控制碳酸盐岩缝洞储层形成与油气运聚。顺北地区目前落实主干走滑断裂带18条,其中1号、3号、5号及7号断裂带已获得了油气突破,预计2020年底可建成百万吨产能阵地。

1.2 构造特征

顺北地区在加里东早期拉张环境下,沉积了一套斜坡—陆棚相的玉尔吐斯组优质烃源岩,以及厚达3 000 m的寒武系—中奥陶统台地相碳酸盐岩地层^[2]。加里东中期I幕开始,持续会聚背景下碳酸盐岩克拉通消亡,转变为混积陆棚,沉积了巨厚泥岩地层,同时发育北东向、北东东向、北西向和近南北向4组走滑断裂,以压扭活动为主。志留

纪—中泥盆世为克拉通内拗陷阶段,主体以海相碎屑岩沉积为特征,走滑断裂继承性发育,以张扭活动为主。晚泥盆世—二叠纪的克拉通周缘拗陷、内裂陷阶段,以无障壁海岸—陆棚、碳酸盐台地—台缘—斜坡、河流—三角洲—泻湖沉积为特征,广泛发育二叠系火成岩,走滑断裂活动减弱,部分主干断裂走滑方向反转,走滑断裂复杂化;三叠纪沉积期为前陆盆地沉积阶段,主体发育河流、三角洲和湖泊沉积,发育数量众多的小正断层,与前期走滑断裂没有继承性关系;侏罗纪—新近纪为前陆盆地阶段,顺北地区一直处于陆内拗陷的沉积格局,持续深埋,形成北低南高的构造格局,走滑断裂活动不明显。

1.3 烃源岩特征

塔里木盆地寒武系—奥陶系发育中—下寒武统、中—下奥陶统和上奥陶统3套海相烃源岩^[3]。下寒武统烃源岩主要分布于巴楚隆起—卡塔克隆起以北的广大地区,其中满加尔坳陷及以东地区烃源岩发育于西大山组与西山布拉克组,顺托果勒低隆起—沙雅隆起及其他地区烃源岩发育于玉尔吐斯组。中下奥陶统黑土凹组烃源岩主要分布于满加尔坳陷—库鲁克塔格隆起。上奥陶统萨尔干组仅在阿瓦提坳陷西部、柯坪露头等少数地区局部分布。烃源岩热演化研究认为:下寒武统烃源岩具有多期、持续生烃的特点,志留纪—泥盆纪进入生油

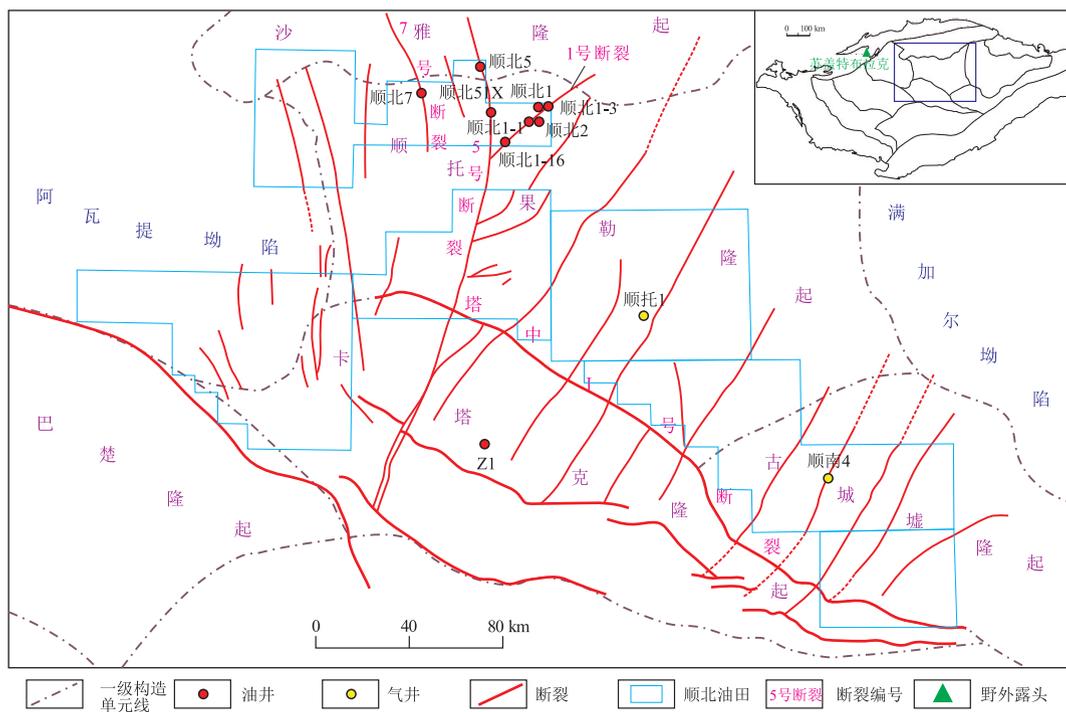


图1 塔里木盆地顺北油田构造位置

Fig.1 Structure map and location of Shunbei Oilfield, Tarim Basin

高峰期,二叠纪进入生高成熟油气阶段,新生代进入生凝析油气—干气阶段。上奥陶统烃源岩海西晚期进入生油门限,喜马拉雅期进入生油高峰期。

1.4 储集层及储盖组合

顺北地区主要发育 2 类缝洞系统:一是受走滑断裂体系多期活动影响的缝洞系统;二是顺断裂溶蚀作用形成的与走滑断裂系统相关的沿断裂带发育的缝洞系统^[4]。顺北地区实钻证实多数井在断裂带内部主断裂面上钻遇放空或规模性漏失,主要储集空间为走滑断裂控制的洞穴、构造裂缝、沿缝溶蚀孔洞。洞穴横向宽度较小,根据目前所有钻遇放空斜井估算,其洞穴宽度一般小于 5 m,大多数在数十厘米至 2 m 之间,直井一般难以直接钻遇放空或规模性漏失;裂缝带以构造裂缝为主,裂缝多呈高角度—近垂直状,延伸远,缝壁较平直,溶蚀现象不明显,裂缝带伴生少量溶蚀孔洞和孔隙。

顺北地区钻井揭示了上奥陶统一—中下奥陶统优质储盖组合。其储盖组合模式为上奥陶统巨厚泥岩与下伏沿断裂带分布的碳酸盐岩缝洞储集体构成的储盖组合。

1.5 油气性质

顺北地区断溶体油藏主要沿断裂带展布,分布在中下奥陶统储集层中。原油性质见表 1,顺北 1 号断裂带北段为挥发油,南段及顺北 5 号、7 号断裂带为轻质油,原油密度为 0.789 3~0.859 1 g/cm³。天然气性质见表 2,甲烷含量低—中等,为 42.5%~83.6%,天然气干燥系数为 0.52~0.88,为原油伴生的湿气。

2 油气源研究

塔里木盆地台盆区存在中—下寒武统、中—下奥陶统和上奥陶统 3 套潜在海相烃源岩^[3,5,8-9]。

表 1 塔里木盆地顺北地区原油性质

Table 1 Nature of crude oil in Shunbei area of Tarim Basin

断裂带	井号	层位	深度/m		原油密度 (20℃)/ (g·cm ⁻³)	黏度(50℃)/ (mP·s)	凝固点/ ℃	含硫量/ %	含蜡量/ %
			斜深	垂深					
1 号带 北段	SHB1-3	中奥陶统	7 255.70~7 389.50	7 255.70~7 357.89	0.795 5	2.52	-20	0.103	8.23
	SHB1-6H	中奥陶统	7 288.16~7 789.07	7 288.16~7 399.75	0.789 3	2.16	-16	0.104	2.84
	SHB1-1H	中奥陶统	7 458.00~7 613.05	7 458.00~7 557.66	0.795 5	3.11	-4	0.120	2.82
	SHB1-4H	中奥陶统	7 459.00~8 049.50	7 459.00~7 561.96	0.796 9	2.88	-14	0.133	5.29
	SHB1-2H	中奥陶统	7 469.00~7 778.11	7 469.00~7 569.47	0.808 8	3.28	-14	0.109	2.28
1 号带 南段	SHB1-11H	中奥陶统	7 572.00~7 732.17	7 572.00~7 732.17	0.793 4	2.56	-34	0.106	4.58
	SHB1-15H	中下奥陶统	7 614.00~8 010.00	7 614.00~8 007.13	0.793 8	2.52	-24	0.115	3.94
5 号带	SHB5	中下奥陶统	7 315.00~7 950.06	7 315.00~7 650.64	0.829 6	4.37	< -34	0.198	4.38
	SHB5-2	中奥陶统	7 460.33~7 527.16	7 460.33~7 527.16	0.823 4	5.18	-24	0.195	1.05
	SHB51X	中奥陶统	7 556.00~7 876.00	7 556.00~7 683.64	0.802 4	3.66	-14	0.094	4.24
	SHB5-6	中下奥陶统	7 518.00~8 026.00	7 518.00~7 942.65	0.809 8	5.38	-10	0.093	
7 号带	SHB7	中下奥陶统	7 568.46~8 121.00	7 568.46~7 863.66	0.859 1	18.72	-16	0.159	3.65

表 2 塔里木盆地顺北地区天然气烃类组成

Table 2 Hydrocarbon composition of natural gas in Shunbei area, Tarim Basin

断裂带	井号	层位	天然气 相对密度	烃类组分含量/%			干燥系数/ %	非烃类组分含量/%		天然气 类型
				甲烷	乙烷	丙烷以上		N ₂	CO ₂	
1 号带 北段	SHB1-3	中奥陶统	0.68	83.37	6.63	5.32	87.62	2.40	2.27	湿气
	SHB1-6H	中奥陶统	0.68	83.61	6.63	4.54	88.33	2.66	2.56	
	SHB1-1H	中奥陶统	0.70	81.14	7.55	5.99	85.83	2.88	2.43	
	SHB1-4H	中奥陶统	0.71	78.60	8.98	6.18	83.94	4.12	2.14	
	SHB1-2H	中奥陶统	0.72	78.32	8.52	6.78	83.81	4.28	2.10	
1 号带 南段	SHB1-11H	中奥陶统	0.75	74.67	9.76	8.67	80.40	4.83	2.08	
	SHB1-15H	中下奥陶统	0.77	71.99	10.46	8.60	79.23	4.75	4.19	
5 号带	SHB5	中下奥陶统	0.91	48.90	17.58	14.88	60.29	15.17	3.48	
	SHB5-2	中奥陶统	0.89	52.78	17.04	14.36	62.88	12.93	2.81	
	SHB51X	中奥陶统	0.75	73.51	9.51	7.63	81.28	6.27	2.55	
	SHB5-6	中下奥陶统	0.74	73.21	9.88	7.31	81.17	8.19	1.40	
7 号带	SHB7	中下奥陶统	1.00	42.54	19.37	20.22	52.03	11.02	5.48	

由于顺北油田所处的构造位置有利,满加尔坳陷区中一下寒武统、中一下奥陶统、本地下部寒武统及西部阿瓦提断陷中一上奥陶统烃源岩均可以为该区提供油气,但哪个层系是主力烃源岩仍不确定。本次研究在顺北油田遴选了多个原油样品,经常规族组分离后,进行饱和烃色谱以及饱和烃、芳烃色谱—质谱、全油及族组分碳同位素分析,对原油样品与柯坪露头下寒武统烃源岩进行了萜烷类、甾烷类、三萜系列及碳同位素组成的对比分析,并结合顺北地区储层条件,来最终确定该区的油气来源。

2.1 油源研究

2.1.1 萜烷类生物标志化合物特征对比

萜类化合物是分布广泛、含量较丰富的化合物,其中长链三环萜主要广泛存在于未接受大量高等植物输入的海相沉积物和所生原油中,因而部分

学者提出长链三环萜为藻菌成因,可能来源于水生藻类有机质^[6-8],表现在海相烃源岩和原油中以C₂₃三环萜烷占优势,含量高于C₂₁三环萜烷。

顺北奥陶系原油与苏盖特布拉克剖面下寒武统玉尔吐斯组烃源岩和孔探1井下寒武统西山布拉克组泥页岩烃源岩抽提有机质的C₂₁/C₂₃TT(C₂₁三环萜烷/C₂₃三环萜烷)、伽马蜡烷/C₃₀藿烷指示具有较好的亲缘性。在三环萜烷中,顺北奥陶系原油C₂₁/C₂₃TT值为0.52~0.64,苏盖特布拉克剖面孔探1井的寒武系烃源岩的C₂₁/C₂₃TT值分别为0.79和0.56,均表现为C₂₃TT占绝对优势,形成于海相沉积环境。顺北奥陶系原油伽马蜡烷/C₃₀藿烷比值为0.118,苏盖特布拉克剖面孔探1井的寒武系烃源岩该值分别为0.295和0.380(图2a,表3),都指示其形成于咸水、还原沉积环境。

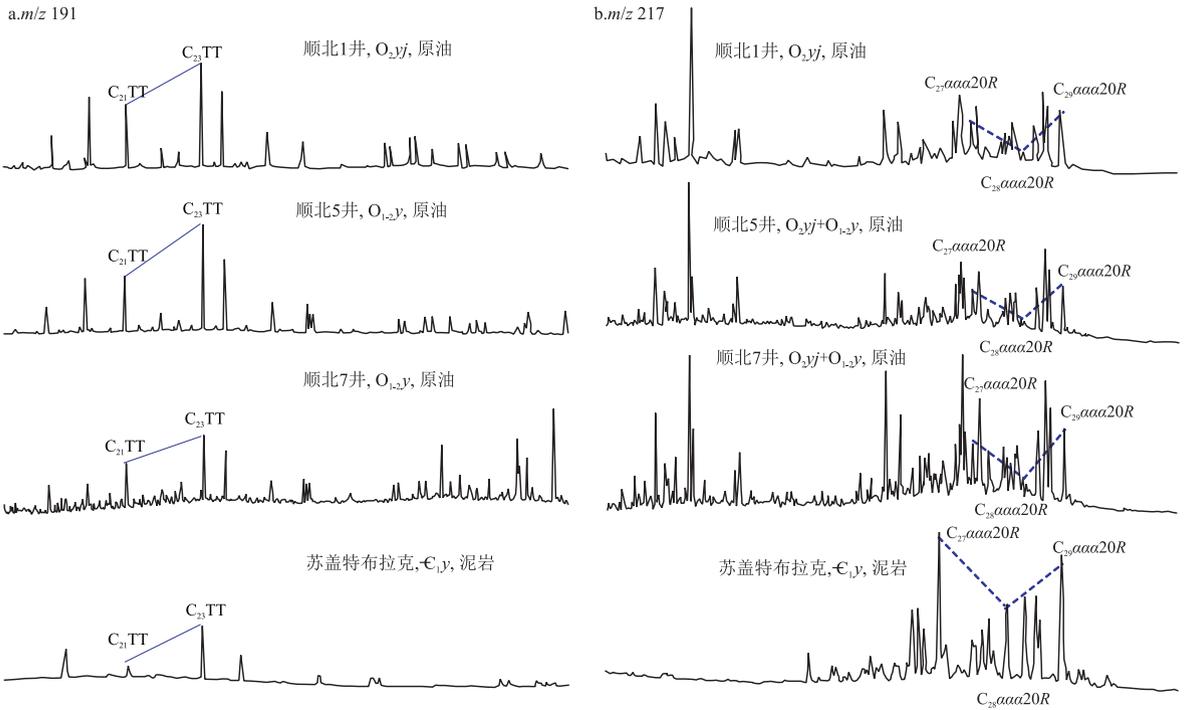


图2 塔里木盆地顺北地区奥陶系原油与下寒武统玉尔吐斯组烃源岩 m/z 191 和 m/z 217 图谱对比

Fig.2 m/z 191 and m/z 217 mass chromatograms of Ordovician crude oil and ε₁y source rocks in Shunbei area, Tarim Basin

表3 塔里木盆地顺北地区奥陶系原油与下寒武统烃源岩生标参数对比

Table 3 Biomarkers of Ordovician crude oil and Lower Cambrian source rocks in Shunbei area, Tarim Basin

采样点	样品	层位	三类规则甾烷相对含量/%			Ts/ (Ts+Tm)	重排甾烷/ 规则甾烷	C ₂₁ / C ₂₃ 三环萜烷	G/ C ₃₀ 藿烷
			C ₂₇ ααα20R	C ₂₈ ααα20R	C ₂₉ ααα20R				
顺北1井	原油	O _{2j}	33	15	52	0.780	0.410	0.520	-
顺北1-4井	原油	O _{2j}	35	28	38	0.475	0.456	0.515	-
顺北5井	原油	O _{2j} +O _{1-2y}	33	15	52	0.497	0.416	0.540	-
顺北7井	原油	O _{2j} +O _{1-2y}	25	15	60	0.657	0.510	0.640	0.118
苏盖特布拉克剖面	泥岩	ε _{1y}	35	30	36	0.440	0.170	0.790	0.295
孔探1井	泥岩	ε _{1xs}	36	30	34	0.380	0.110	0.560	0.380

2.1.2 甾烷类生物标志化合物特征对比

甾烷类化合物是常见的生物标志化合物,广泛存在于石油中,其来源包括低等浮游水生生物、高等植物等,常用来判断原油和烃源岩的成熟度和沉积环境特征^[6-7]。顺北地区奥陶系原油与下寒武统烃源岩甾烷系列化合物 $C_{27}-C_{28}-C_{29}$ $\alpha\alpha\alpha 20R$ 规则甾烷均表现为不规则的“V”字形分布,规则甾烷相对重排甾烷占绝对优势(图 2b,表 3),孕甾烷含量较高,这些相同的特征,指示其都为典型的海相原油,二者具有较好的亲缘性。

2.1.3 三萜系列化合物特征对比

芳烃组成中三萜系列的相对含量常用来表征生烃母质的沉积环境,硫萜含量高代表盐湖相、海相强还原环境^[9]。顺北奥陶系原油芳烃组分中的硫萜化合物含量较高,分布在 2.0%~32.4%,平均 19.5%,氧萜化合物含量非常低,分布在 0~0.76%,平均 0.09%,硫萜化合物明显占优势。苏盖特布拉克剖面 and 孔探 1 井下寒武统烃源岩有机质抽提物芳烃三萜化合物组成中,硫萜化合物含量占明显优势,分别为 15%和 36.3%,氧萜化合物含量低,分别为 2.06%和 2.03%。顺北奥陶系原油与下寒武统玉尔吐斯组烃源岩三萜系列化合物组成上表现一致,均表现为氧萜含量非常低,硫萜含量占绝对优势,指示都形成于高盐度的强还原沉积环境。

2.1.4 原油碳同位素组成特征对比

原油碳同位素组成继承其母源有机质的组成,烃源岩热演化程度差异对于同源原油稳定碳同位素组成 $\delta^{13}C$ 值差异一般不超过 2‰~3‰,因此,一般认为 $\delta^{13}C$ 值相差在 3‰以下的是同源的^[10-11]。顺北地区的原油碳同位素分布在 -31‰~-32.1‰,平均 -31.8‰,星火 1 井和柯坪地区东二沟下寒武统烃源岩演化程度较高,抽提出的沥青“A”碳同位素相对较重,分别为 -29.65‰和 -29.7‰,与原油相差 1.3‰~2.4‰,具有亲缘特征。另外,位于塔中地区的中深 1 井在寒武系阿瓦塔格组获得原油,王招明等人^[5]研究证实该油来自下部的寒武系玉尔吐斯组烃源岩。该原油的全油碳同位素为 -32.8‰,与顺北原油碳同位素非常接近,表明都来自同一套烃源岩。

2.2 气源研究

顺北地区奥陶系天然气 $\delta^{13}C_1$ 值为 -50.7‰~-44.7‰,天然气 $\delta^{13}C_2$ 值为 -36.1‰~-33.1‰,远低于腐泥型和腐殖型母质来源天然气的分界 -28‰^[10-11],属于腐泥型母质来源。顺北地区奥陶系天然气碳同位素组成偏重,干燥系数低(0.52~

0.88)。戴金星^[10]统计发现,油藏伴生气的 $\delta^{13}C_1$ 值为 -55‰~-40‰,据此认为,顺北地区奥陶系天然气属于原油伴生气,油气同源,均来自下寒武统烃源岩。

3 烃源岩分布预测与生烃潜力评价

3.1 沉积相特征与相模式

塔里木盆地寒武统黑色岩系可分为 2 类,分别是以阿克苏地区为代表的台地相沉积和以库鲁克塔格地区为代表的深水陆棚相—盆地相沉积。阿克苏地区黑色岩系为玉尔吐斯组,主要岩性为页岩、硅质岩、磷块岩和白云岩,各种岩性均呈薄层状或透镜状分布;下部以硅质岩和磷块岩为主,上部则以泥粉晶白云岩为主。塔东北库鲁克塔格地区的西山布拉克组在地质年代上与玉尔吐斯组相近,其组成是以硅质岩为主夹少量含磷硅质岩的黑色岩系^[12],为玉尔吐斯组等时异相地层。

研究认为薄层硅质岩、页岩等黑色岩系为深水沉积,其中黑色页岩沉积水深大约在 200~5 000 m 之间,硅质岩沉积水深大约在 200~2 000 m 之间^[13];泥质岩代表深水陆棚相沉积^[14-16],泥质灰岩/瘤状灰岩代表半深水沉积物,白云岩代表较浅水深沉积物,最浅水深的为砂质鲕粒白云岩,代表高能环境,并有陆源碎屑输入^[17-18]。

孔探 1 井下寒武统西大山组(相当于阿克苏的玉尔吐斯组)泥质岩代表深水下缓坡相沉积,星火 1 井岩性组合以硅质岩与黑色页岩为主,代表了中缓坡深水相沉积。次深水为肖尔布拉克剖面,下段岩石类型以硅质岩为主,中段岩石类型以黑色页岩为主,上段岩石类型以云灰岩为主^[17]。南部的舒探 1 井、夏河 1 井、方 1 井、和 4 井及中寒 1 井,岩石类型以含陆源碎屑的白云岩为主,沉积水体较浅,代表了潮坪相浅水沉积。基于玉尔吐斯组烃源岩在露头剖面和钻井的特征,推测玉尔吐斯组沉积模式为缓坡型分布模式^[19](图 3)。

3.2 下寒武统烃源岩分布预测

盆地内钻遇寒武系—震旦系的钻井统计分析发现,下寒武统玉尔吐斯组往往与震旦系呈现一种“伴生”沉积关系,即有震旦系沉积的地方往往有玉尔吐斯组沉积,反之亦然。如柯坪地区野外露头剖面玉尔吐斯组与震旦系呈平行不整合接触关系;盆内星火 1 井钻遇了震旦系奇格布拉克组白云岩,同时也钻遇了玉尔吐斯组烃源岩;而卡塔克隆起中深 1 井、塔参 1 井、中深 5 井及巴楚隆起的玛北 1 井、巴探 5 井等井实钻未钻遇玉尔吐斯组烃源岩,

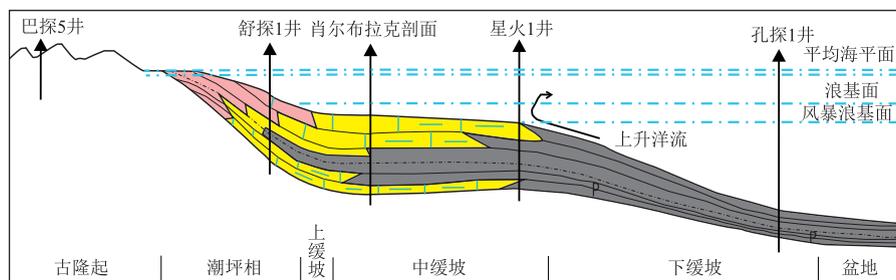


图3 塔里木盆地地下寒武统烃源岩发育模式^[19]

Fig.3 Development model of Lower Cambrian source rocks in Tarim Basin

同时也未钻遇震旦系奇格布拉克组的白云岩,表明玉尔吐斯组烃源岩与震旦系奇格布拉克组的白云岩在古隆起高部位表现为同步缺失的现象^[17]。

盆地内多口井地震精细标定 T_0^0 界面之上为强振幅负相位连续反射地震相时,认为该区发育烃源岩,而 T_0^0 界面之上为多组中弱振幅断续—较连续亚平行地震相时,则认为该区烃源岩可能不发育。结合露头与钻井钻遇下寒武统玉尔吐斯组沉积相、厚度,结合二维地震大剖面,编制了玉尔吐斯组烃源岩沉积相及厚度预测图^[19](图4)。由图4分析,下寒武统烃源岩分布广,阿瓦提坳陷—塔北—顺托果勒—古城墟西部、满加尔坳陷大部分地区及塘古巴斯坳陷—玉北南部地区主要为上缓坡、中缓坡、下缓坡相沉积,预测烃源岩厚度在10~40 m之间,满加尔坳陷东北部小部分区域主要是深海盆地相沉积,预测烃源岩厚度在5~10 m之间。巴楚—塔中古隆起区,多口钻井揭示前寒武系基底为一套基性喷发的火成岩及变质岩系列,寒武系底部缺失

与玉尔吐斯组同期的沉积。古隆起围斜区,下寒武统底部主要是半咸化潮坪相碎屑岩和硅藻岩,以潮坪相沉积为主,烃源岩厚度很薄、有机碳含量低,预测烃源岩厚度在0~10 m之间。

3.3 下寒武统烃源岩生烃潜力评价

玉尔吐斯组沉积期具有广泛的上—中—下缓坡及深水盆地相的沉积,烃源岩分布广,厚度在30 m左右;岩性主要是泥灰岩、碳质泥岩、硅质页岩,野外多个露头和实钻井分析有机碳含量高、生烃潜力大。昆盖阔坦东沟剖面该套烃源岩厚32 m,有机碳含量在1.16%~16.50%,平均值为4.66%;昆盖阔坦西沟剖面玉尔吐斯组黑色泥岩有机碳含量在1.16%~6.00%之间,有机碳含量大于1.0%的层段厚度约为12 m。什艾日克剖面玉尔吐斯组黑色页岩出露厚度为19.5 m,有机碳含量最大值为11.5%。星火1井玉尔吐斯组烃源岩厚度为31 m,有机碳含量1.00%~9.43%,平均值为4.31%。孔探1井下寒武统西山布拉克组厚约16 m,有机碳

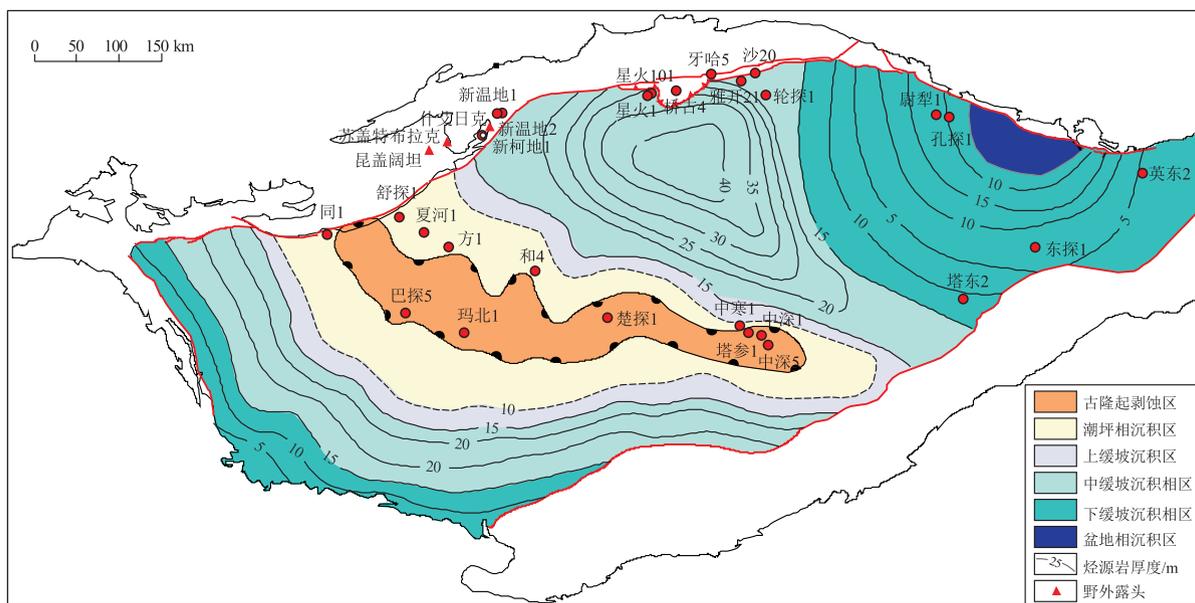


图4 塔里木盆地地下寒武统沉积相及烃源岩厚度预测^[19]

Fig.4 Prediction of sedimentary facies and source rock thickness of Lower Cambrian, Tarim Basin

含量 1.64%~33.10%, 平均值为 11.11%。

烃源岩热演化研究认为, 玉尔吐斯组烃源岩具有长期生烃、多期供烃的特点^[2]。顺托果勒低隆起在“大埋深、高压”环境下, 下寒武统烃源岩在燕山期以来仍处于生高成熟液态油—凝析油气阶段, 其石油实际生成量和资源量远高于传统理论计算值^[20]。下寒武统玉尔吐斯组烃源岩分布广、有机碳含量高、生烃潜力大, 能提供充足的油气资源, 是塔里木盆地台盆区最主要烃源岩。

4 结论

(1) 顺北油田中下奥陶统原油为轻质—挥发性原油, 天然气为原油伴生气, 油气同源。原油中三环萜烷表现为 C_{23} 三环萜烷丰度优势, 伽马蜡烷含量低, C_{27} - C_{28} - C_{29} $\alpha\alpha\alpha 20R$ 规则甾烷表现为不规则的“V”字形分布, 规则甾烷相对重排甾烷含量高, 原油碳同位素偏轻, 与柯坪露头及孔探 1 井等下寒武统烃源岩有很好的亲缘性, 该区油气主要来源于下寒武统烃源岩。

(2) 下寒武统烃源岩分布广、有机碳含量高、生烃潜力大, 是塔里木盆地台盆区最主要烃源岩。主力烃源岩的厘定, 指导形成了“立足原地烃源岩、沿深大断裂带寻找晚期形成的原生油气藏”勘探方向和勘探思路, 实现了顺北油田新领域的重大突破。

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] 漆立新. 塔里木盆地顺托果勒隆起奥陶系碳酸盐岩超深层油气突破及其意义[J]. 中国石油勘探, 2016, 21(3): 38-51. QI Lixin. Oil and gas breakthrough in ultra-deep Ordovician carbonate formations in Shuntuoguole uplift, Tarim Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2016, 21(3): 38-51.
- [3] 翟晓先, 顾忆, 钱一雄, 等. 塔里木盆地塔深 1 井寒武系油气地球化学特征[J]. 石油实验地质, 2007, 29(4): 329-333. ZHAI Xiaoxian, GU Yi, QIAN Yixiong, et al. Geochemical characteristics of the Cambrian oil and gas in well Tashen 1, the Tarim Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2007, 29(4): 329-333.
- [4] 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.

- [5] 王招明, 谢会文, 陈永权, 等. 塔里木盆地中深 1 井寒武系盐下白云岩原生油气藏的发现与勘探意义[J]. 中国石油勘探, 2014, 19(2): 1-13. WANG Zhaoming, XIE Huiwen, CHEN Yongquan, et al. Discovery and exploration of Cambrian subsalt dolomite original hydrocarbon reservoir at Zhongshen-1 Well in Tarim Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2014, 19(2): 1-13.
- [6] 李政, 徐兴友, 宋来亮, 等. 伊朗卡山区块原油地球化学特征[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(5): 130-133. LI Zheng, XU Xingyou, SONG Lailiang, et al. Oil geochemical characteristics in the Kashan block, Iran[J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(5): 130-133.
- [7] K.E. 彼得斯, C.C. 沃尔特斯, J.M. 莫尔多万. 生物标记化合物指南: 古代沉积物和石油中分子化石的解释[M]. 姜乃煌, 译. 北京: 石油工业出版社, 1995. PETERS K E, WALTERS C C, MOLODOWAN. The biomarker guide[M]. JIANG Naihuang, trans. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995.
- [8] K.E. 彼得斯, C.C. 沃尔特斯, J.M. 莫尔多万. 生物标志化合物指南下册[M]. 2 版. 张水昌, 李振西, 译. 北京: 石油工业出版社, 2011. PETERS K E, WALTERS C C, MOLODOWAN J M. The biomarker guide[M]. 2nd ed. ZHANG Shuichang, LI Zhenxi, trans. Beijing: Petroleum Industry Press, 2011.
- [9] 侯读杰, 张林晔. 实用油气地球化学图鉴[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003. HOU Dujie, ZHANG Linye. Practical geochemical atlas[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003.
- [10] 戴金星. 天然气碳氢同位素特征和各类天然气鉴别[J]. 天然气地球科学, 1993, 4(2/3): 1-40. DAI Jinxing. Characteristics of carbon and hydrogen isotopes of natural gas and its identification[J]. Natural Gas Geoscience, 1993, 4(2/3): 1-40.
- [11] 杨瑞东, 张传林, 罗新荣, 等. 新疆库鲁克塔格地区早寒武世硅质岩地球化学特征及其意义[J]. 地质学报, 2006, 80(4): 598-605. YANG Ruidong, ZHANG Chuanlin, LUO Xingrong, et al. Geochemical characteristics of early Cambrian cherts in Quruqtagh, Xinjiang, West China[J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(4): 589-605.
- [12] 杨鑫, 徐旭辉, 陈强路, 等. 塔里木盆地前寒武纪古构造格局及其对下寒武统烃源岩发育的控制作用[J]. 天然气地球科学, 2014, 25(8): 1164-1171. YANG Xin, XU Xuhui, CHEN Qianglu, et al. Palaeotectonics pattern in Pre-Cambrian and its control on the deposition of the Lower Cambrian source rocks in Tarim Basin, NW China[J]. Natural Gas Geoscience, 2014, 25(8): 1164-1171.
- [13] HALLAM A. Palaeobiogeography[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 1978, 24(4): 367-368.
- [14] 贾承造, 魏国齐, 姚慧君, 等. 盆地构造演化与区域构造地质[M]. 北京: 石油工业出版社, 1995: 1-50. JIA Chengzao, WEI Guoqi, YAO Huijun, et al. Tectonic evolution and regional structural geology[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995: 1-50.

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,万晓璐,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 Yanlu, 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)