

塔里木盆地沙雅隆起

星火 1 井寒武系烃源岩特征

朱传玲^{1,2}, 闫华¹, 云露¹, 韩强³, 马慧明³

(1. 中国石化西北油田分公司油气勘探中心, 乌鲁木齐 830011; 2. 成都理工大学能源学院, 成都 610059; 3. 中国石化西北油田分公司勘探开发研究院, 乌鲁木齐 830011)

摘要:在对塔里木盆地北部星火 1 井寒武系玉尔吐斯组灰黑、黑色碳质泥岩进行一系列有机地球化学特征测试分析的基础上, 从有机碳、氯仿沥青“*A*”、生烃潜量、热解峰温、海相镜状体反射率、烃源岩可溶抽提物和饱和烃色质特征等方面着手, 对该烃源岩的有机质丰度、成熟度及类型进行分析。结合前人研究成果, 讨论了这套烃源岩与以往报道的寒武系烃源岩的异同, 并开展了与塔河原油的油-岩对比分析。结果表明, 该套烃源岩有机质丰度高, 而且已达高成熟热演化阶段, 与柯坪露头肖尔布拉克剖面下寒武统玉尔吐斯组烃源岩特征类似; 星火 1 井下寒武统黑色碳质页岩有机质地化特征与塔河油田原油具亲源性。

关键词: 烃源岩; 地化特征; 寒武系; 星火 1 井; 沙雅隆起; 塔里木盆地

中图分类号: TE122.1⁺13

文献标识码: A

Characteristics of Cambrian source rocks in well XH1, Shaya Uplift, Tarim Basin

Zhu Chuanling^{1,2}, Yan Hua¹, Yun Lu¹, Han Qiang³, Ma Huiming³

(1. *Petroleum Exploration Center of SINOPEC Northwest Company, Urumqi, Xinjiang 830011, China;*

2. Energy College of Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China;

3. Institute of Exploration and Development of SINOPEC Northwest Company, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

Abstract: In the northwestern Shaya Uplift of the Tarim Basin, gray and black carbonaceous mudstones were collected from the Cambrian Yuertusi Formation in the well XH1, and were tested for organic geochemistry. The analyses included the determinations of organic carbon (TOC), chloroform bitumen “*A*”, hydrocarbon generation potential, pyrolysis peak temperature, marine vitrinite, soluble extraction of source rock, gas chromatography and so on. The organic matter abundance, maturity and type of source rocks were studied. The Cambrian source rocks in the well XH1 were compared with other Cambrian source rocks in previous reports. Oil-source correlation of the studied source rocks was made compared to those from the Tahe oilfield. The studied source rocks have high organic matter abundance, and have entered the high-mature stage for thermal evolution, which is similar with the source rocks in the Lower Cambrian Yuertusi Formation on the Xiaoerbulak profile in the Keping area. There are some similar geochemical characteristics between the Lower Cambrian black carbonaceous shale and the crude oil from the Tahe oilfield.

Key words: source rock; geochemistry characteristics; Cambrian; well XH1; Shaya uplift; Tarim Basin

塔里木盆地是我国典型的发育海相烃源岩的盆地之一, 近年来塔河、哈拉哈塘及塔中等地区探明储量不断增加, 油气产量持续稳定增长, 表明存在优质海相烃源岩^[1-3]。关于海相烃源岩的研究, 前人对野外露头的烃源岩做了大量研究工作^[4-7], 但盆地内因寒武—奥陶系烃源岩埋深大, 仅在满加尔坳陷周缘塔东 1、塔东 2 及库南 1 井等少量钻井揭示。2007 年中国石化西北油田分公司在沙雅隆

起西北部钻探的星火 1 井中, 钻遇寒武系烃源岩, 为塔里木盆地海相油气生烃母质研究提供了珍贵的资料。

1 地质背景与样品概况

星火 1 井位于塔里木盆地沙雅隆起二级构造单元雅克拉断凸的西段与沙西凸起的结合部, 北邻库车坳陷, 南接满加尔坳陷(图 1a)。雅克拉断凸

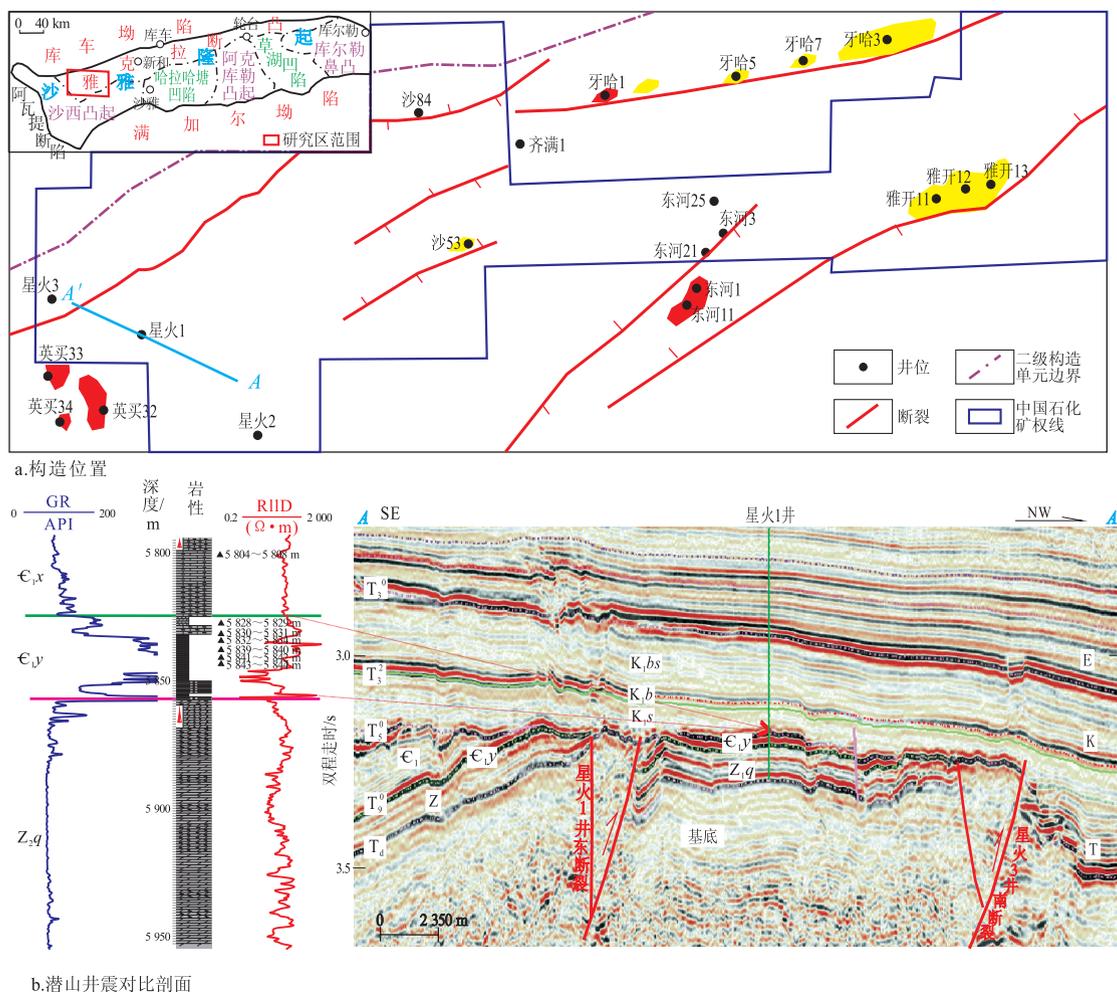


图1 塔里木盆地沙雅隆起西北部星火1井构造位置和过星火1井潜山井震对比剖面

Fig.1 Location of well XH1, drilling-logging correlation and seismic response crossing well XH1 in northwestern Shaya Uplift, Tarim Basin

是塔北古生代残余古隆起的核心,是夹持于轮台断裂和亚南断裂之间的断垒块体,主要形成于海西期。印支期,隆起继承性隆升,隆起高部位的中生界、古生界部分缺失;燕山—喜马拉雅早期,雅克拉断凸快速沉降,白垩系迅速超覆沉积在古生界寒武系—奥陶系或前震旦系基岩之上;喜马拉雅晚期开始区域性北倾,成为库车坳陷的南斜坡^[8]。

研究区是南北海陆相油气运移的有利指向区,潜山是主要勘探目标,已发现雅克拉碳酸盐岩潜山、托乎拉(沙53井)变质岩潜山、英买32、33井寒武系潜山等油气藏(图1a)。星火1井钻探的星火1号潜山是一个断块构造(图1b),钻遇寒武系和震旦系碳酸盐岩地层,及元古界变质岩基底。自上而下依次为下寒武统的肖尔布拉克组(ɛ_{1x})62 m、玉尔吐斯组(ɛ_{1y})31 m,震旦系奇格布拉克组(Z_{2q})240 m、苏盖特布拉克组(Z_{2s})16 m,前震旦系(AnZ)35 m。其中,ɛ_{1y} 烺源岩岩性为灰黑、黑色碳质泥岩及灰色含磷硅质岩、硅质泥岩,测井曲线具高伽

马(117~1 586 API)、中—高电阻率(1 389 Ω·m)特征,与上覆ɛ_{1x}、下伏Z_{2q}白云岩界限清晰;在北西向地震剖面A-A'上标为一强连续、低频、强振幅的红波谷反射,东南方向展布较稳定,向西北方向沙雅隆起上被剥蚀(图1b)。本次分别采集下寒武统7个岩屑样品进行地球化学分析测试,样品深度在5 804~5 844 m之间(图1b),其中ɛ_{1x}样品1个(样品XH-01),ɛ_{1y}样品6个(样品XH-02—XH-07)。

2 烺源岩地球化学特征

2.1 有机质丰度

烺源岩有机质丰度是油气生成的物质基础,评价其优劣的主要参数有有机碳含量(TOC)、氯仿沥青“A”含量、生烺潜量(S₁+S₂)等^[9-10]。星火1井ɛ_{1y} 灰黑色碳质页岩6个样品的有机碳含量值在1.00%~9.43%之间,平均值超过5.0%;下部与含磷层伴生的烺源岩有机质丰度高,纵向上具有下高上低特

表 1 塔里木盆地沙雅隆起西北部星火 1 井寒武系烃源岩有机质丰度、成熟度主要参数统计

Table 1 Organic matter abundance and maturity of Cambrian source rocks from well XH1 in northwestern Shaya Uplift, Tarim Basin

| 样品号 | 层位 | 深度/m | w(TOC)/% | 氯仿沥青“A”含量/ 10^{-6} | 饱和烃含量/% | 芳烃含量/% | 非烃含量/% | 沥青质含量/% | 饱和烃含量/芳烃含量 | $VR_o^{1)}$ /% | $(S_1+S_2)/$ ($mg \cdot g^{-1}$) | $T_{max}/$ $^{\circ}C$ | $I_H/$ ($mg \cdot g^{-1}$) |
|-------|-----------------|-------------|----------|----------------------|---------|--------|--------|---------|------------|----------------|---------------------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| XH-01 | ϵ_{1x} | 5 804~5 808 | 0.26 | 316 | 44.63 | 17.14 | 23.11 | 15.14 | 2.6 | 1.38 | 0.08 | 484 | 25 |
| XH-02 | ϵ_{1y} | 5 828~5 829 | 1 | 29.6 | 30 | 25 | 35 | 10 | 1.2 | 1.43 | 0.11 | 470 | 7 |
| XH-03 | ϵ_{1y} | 5 830~5 831 | 1.72 | 31.8 | 24.14 | 20.69 | 48.28 | 6.9 | 1.17 | 1.39 | 0.14 | 475 | 4 |
| XH-04 | ϵ_{1y} | 5 832~5 834 | 4.88 | 76.8 | 21.25 | 31.25 | 27.5 | 20 | 0.68 | 1.47 | 0.36 | 510 | 2 |
| XH-05 | ϵ_{1y} | 5 839~5 840 | 8.31 | 85.7 | 17.33 | 36 | 33.33 | 13.33 | 0.48 | 1.55 | 0.59 | 505 | 3 |
| XH-06 | ϵ_{1y} | 5 841~5 842 | 7.14 | 180.1 | 9.86 | 28.17 | 40.85 | 21.13 | 0.35 | 1.48 | 0.58 | 516 | 3 |
| XH-07 | ϵ_{1y} | 5 843~5 844 | 9.43 | 110.4 | 18.75 | 34.38 | 34.37 | 12.5 | 0.55 | 1.5 | 0.58 | 521 | 2 |

1) 根据王飞宇^[11]建立的换算公式: $VR_o = 0.533VLR_o + 0.667$ 。

征,从有机碳丰度来看,应为很好的烃源岩。 ϵ_{1x} 1 件泥晶灰岩样品有机碳含量为 0.26%,为差—非烃源岩(表 1)。

通过对上述样品进行可溶有机质的抽提,获得的氯仿沥青“A”含量都不高, ϵ_{1y} 6 件样品氯仿沥青“A”含量分布于 $(29.6 \sim 180.1) \times 10^{-6}$,普遍低于 200×10^{-6} ;而 ϵ_{1x} 样品的有机碳含量较低,氯仿沥青“A”含量却最高,为 316×10^{-6} 。尽管 ϵ_{1y} 黑色碳质页岩有机碳含量高,但残留的烃类很少,其原因可能是由于热演化程度高所致,故氯仿沥青“A”的含量并不高。

Rock-eval 热解分析结果表明,6 件 ϵ_{1y} 烃源岩样品生烃潜量值分布于 $0.11 \sim 0.59 \text{ mg/g}$ (表 1),样品生烃潜力非常低,生烃潜力指数 $(S_1+S_2)/w(\text{TOC})$ 值不足 1 mg/g 。

2.2 有机质成熟度及类型

作为沉积岩中的有机显微组分,镜质组是高等植物在沉积—成岩作用过程的产物。但在前泥盆纪高等植物尚未出现,典型海相沉积不存在镜质组分。前人研究寒武—奥陶系海相泥岩时,发现一种光学性质很像镜质组的显微组分,称之为“海相镜质组”或“类镜质体”。热模拟实验结果表明,随着热演化程度增高,海相镜质组的反射率,与镜质组反射率热演化特征一致,可以采用海相镜质组代替镜质组,表征前泥盆纪海相地层的有机质成熟度^[11]。本次对寒武系烃源岩实测的海相镜质组(VLR_o)为 $1.34\% \sim 1.53\%$,经公式换算其对应的等效镜质体反射率 VR_o 为 $1.38\% \sim 1.5\%$ (表 1),处于高成熟阶段。

烃源岩热解峰温(T_{max})是判定烃源岩成熟度指标之一,岩石热解结果表明,星火 1 井寒武系烃源岩有机质的最大热解峰温较高,大于 $470 \text{ }^{\circ}C$ (表 1),考虑到总烃/有机碳很低,生烃潜力 $S_2 < 1 \text{ mg/g}$,推测其

处于高成熟阶段。由于有机质热演化程度高,烃指数(I_H)也普遍较低。在确定有机质类型的 I_H-T_{max} 关系图版上,不能准确的判断有机质类型。

对氯仿沥青“A”进行族组分的分离,其中饱和烃含量分布范围为 $9.86\% \sim 30.00\%$,芳烃含量分布范围为 $20.69\% \sim 34.38\%$,非烃分布范围为 $27.50\% \sim 40.85\%$,沥青质分布范围为 $6.90\% \sim 21.13\%$,饱芳比达到 $0.35 \sim 1.2$ (表 1),也说明有机质成熟度高,不能用氯仿沥青特征来识别有机质类型。

2.3 可溶有机质地球化学特征

通过对寒武系烃源岩可溶有机质的饱和烃色质谱—质谱分析(图 2),获得其分子标志化合物特征。

2.3.1 萜烷系列化合物组成特征

样品中广泛存在三环萜烷、藿烷系列化合物(图 2a, b)。星火 1 井寒武系黑色碳质页岩均具有

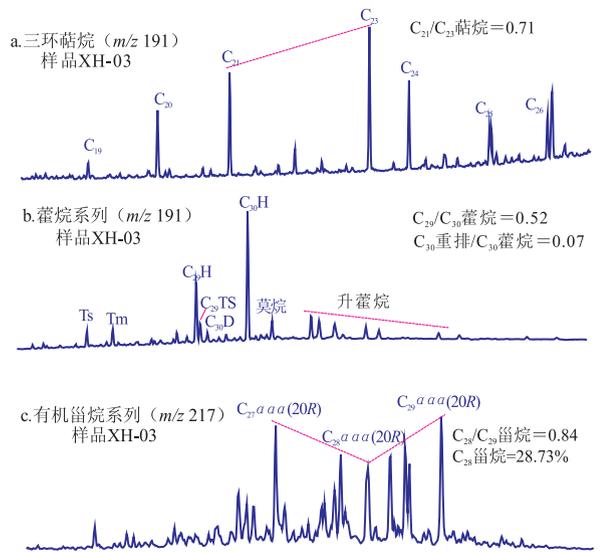


图 2 塔里木盆地沙雅隆起西北部星火 1 井寒武系烃源岩饱和烃 m/z 191 和 m/z 217 质量色谱图

Fig.2 Mass chromatograms of m/z 191 and m/z 217 of saturated hydrocarbon from Cambrian source rocks from well XH1 in northwestern Shaya Uplift, Tarim Basin

表 2 塔里木盆地沙雅隆起西北部星火 1 井寒武系烃源岩生物分子标志物参数统计

Table 2 Statistics of biological molecular markers for Cambrian source rocks from well XH1 in northwestern Shaya Uplift, Tarim Basin

| 样品号 | 深度/m | C ₂₁ / C ₂₃ TT | C ₃₀ DH/ C ₃₀ H | C ₂₉ / C ₃₀ H | 甾烷相对含量/% | | | Pr/Ph | DBJ/P |
|-------|-------------|---|--|--|-----------------|-----------------|-----------------|-------|-------|
| | | | | | C ₂₈ | C ₂₉ | C ₃₀ | | |
| XH-01 | 5 828~5 829 | 0.66 | 0.15 | 0.56 | 26.09 | 34.78 | 39.13 | 0.83 | 0.13 |
| XH-02 | 5 830~5 831 | 0.65 | 0.1 | 0.52 | 27.71 | 31.85 | 40.44 | 0.74 | 0.17 |
| XH-03 | 5 832~5 834 | 0.71 | 0.07 | 0.52 | 28.73 | 34.2 | 37.07 | 1.05 | 0.46 |
| XH-04 | 5 839~5 840 | 0.62 | 0.06 | 0.5 | 27.75 | 32.27 | 39.98 | 0.75 | 0.68 |
| XH-05 | 5 841~5 842 | 0.62 | 0.07 | 0.51 | 29.43 | 35.89 | 34.68 | 0.85 | 0.65 |
| XH-06 | 5 843~5 844 | 0.81 | 0.07 | 0.5 | 29.51 | 38.32 | 32.17 | 0.89 | 0.42 |

注: C₂₁/C₂₃TT: C₂₁三环萜烷/C₂₃三环萜烷; C₃₀DH/C₃₀H: C₃₀重排藿烷/C₃₀藿烷; C₂₉/C₃₀H: C₂₉藿烷/C₃₀藿烷; Pr/Ph: 姥鲛烷/植烷; DBJ/P: 二苯并噻吩/菲。

C₂₃三环萜烷化合物优势,呈 C₂₀<C₂₁<C₂₃分布特征, C₂₁/C₂₃三环萜烷比值在 0.62~0.81 之间,小于 1.0(表 2),与塔河油田海相原油的特征相似,这种三环萜烷系列化合物可能与原始藻类有关^[12]。

藿烷系列化合物中具有较高丰度的 C₂₉藿烷,一定丰度的 C₃₀重排藿烷, C₃₁-C₃₅升藿烷呈逐渐降低的梯状分布, C₂₉/C₃₀藿烷比值在 0.50~0.56 之间, C₃₀重排藿烷/C₃₀藿烷比值分布于 0.07~0.15 之间(表 2)。这种特征与亚氧化底水条件相符,是一般还原环境的海相泥页岩及其原油中常见分布样式^[13]。

2.3.2 甾烷系列化合物特征

依据 m/z217 质量色谱图(图 2c)明显识别出规则甾烷、重排甾烷系列化合物。规则甾烷是海相烃源岩样品中含量最高的,尽管利用规则甾烷指示有机母源输入的观点受到越来越多相反证据的批判^[14],但特定盆地不同烃源岩甾烷的总体组成特征总存在一定差异,可以成为良好的油源对比参数。研究区规则甾烷系列化合物中, ααα20R-C₂₇, C₂₈, C₂₉甾烷均呈“V”字型分布,即 C₂₇>C₂₈<C₂₉的特征(图 2)。C₂₈甾烷相对丰度占 26.1%~29.5%, C₂₉甾烷相对丰度占 31.85%~38.32%, C₃₀甾烷相对丰度占 32.17%~40.44%(表 2)。高含量的 C₂₉甾烷并不一定是高等植物的输入,古生界和更老时代的源岩或者原油中的 C₂₉甾烷可能归因于浮游藻类。重排甾烷的含量受多种因素的影响,缺氧贫黏土矿物的沉积环境通常含有较少的重排甾烷,对于具有相同有机相的样品则随成熟度增加而增加。本次样品具有较低的重排甾烷含量,可能与其偏还原的环境相对应。

上述资料表明,星火 1 井烃源岩生物标志物 C₂₃三环萜烷、C₂₉藿烷及 C₂₈甾烷的含量相对较高, C₂₁三环萜烷、重排甾烷含量相对低的特点,与其偏还原的沉积环境相对应,其生烃母质可能为原始藻类。此外,通过饱和和烃、芳烃分析还获得了姥鲛烷/

植烷、二苯并噻吩/菲等分子标志物参数(表 2)。

3 讨论

3.1 寒武系烃源岩区域分布

前人报道过库鲁克塔格南雅尔当山露头、柯坪肖尔布拉克露头等地区的寒武系烃源岩^[15],塔里木东部沿满加尔坳陷的塔东 1、塔东 2、尉犁 1、库南 1 等 4 口井钻遇寒武系烃源岩(表 3)。星火 1 井寒武系烃源岩的岩性、有机碳丰度、成熟度等特征与柯坪地表露头肖尔布拉克剖面 ε_{1y} 烃源岩是可对比的,与南雅尔当山露头及其他钻井具有一定差异。

据顾忆等人最新研究,柯坪地表露头肖尔布拉克剖面 ε_{1y} 实测地层厚度为 9.2 m,岩性为黑色碳质页岩,属陆棚边缘盆地相沉积,其下部未经风化的黑色碳质页岩具有高有机质丰度,4 块样品有机碳含量分布于 13.89%~22.39%,平均有机碳含量 17.99%,纵向上具有下高上低特征,其氯仿沥青“A”含量也不高。通过沥青反射率(VR_b)获得的肖尔布拉克剖面 ε_{1y} 烃源岩等效镜质体反射率(VR_o)分布于 1.34%~1.41%,与星火 1 井有机质成熟度大致相当^[16]。有机显微组分中反映原始有机质倾油能力的腐泥组+藻类组在下寒武统玉尔吐斯组中高达 70.6%,反映降解能力的腐泥质/藻类体(降解系数)亦高达 2.08,干酪根碳同位素最轻,分布于 -34.63‰~-33.83‰,都表明 ε_{1y} 烃源岩有机质类型属典型的腐泥型。

南雅尔当山剖面 ε_{1x} 为灰色泥晶—细晶白云岩, w(TOC)<0.1%,为非烃源岩。西大山组(ε_{1xd})中下部为灰—灰黑色页岩夹白云岩,上部为灰—灰黑色中薄层泥晶灰岩,有机碳分布于 0.11%~0.92%,平均为 0.46%,属较好烃源岩。莫合尔山组(ε_{2m})中下部为灰—灰黑色泥页岩夹灰色灰岩,上部为页岩与灰岩呈不等厚互层,有机碳含量分布于 0.06%~

表 3 塔里木盆地部分钻井寒武系泥质烃源岩特征统计

Table 3 Characteristics of Cambrian mudstones from some wells in Tarim Basin

| 井名 | 构造位置 | 岩性特征 | 沉积相 | 有机碳含量和厚度 | VR _o /% |
|------|-------|--------------------------------|---------|---|--|
| 塔东 1 | 古城墟隆起 | 上部为巨厚层深灰色含泥质泥晶灰岩 | 斜坡相 | 3 件样品 $w(\text{TOC})$ 为 1.14%, 1.59%, 0.17%, 厚度大于 80 m | 2.23 |
| | | 中部为巨厚层灰黑色泥灰岩夹厚层同色泥岩 | 深水陆棚相 | $w(\text{TOC})$ 在 0.70% ~ 5.52%, 平均为 3.47%, 厚度 150 m | 2.40 |
| | | 下部为巨厚层黑色硅质泥岩 | 欠补偿盆地相 | | |
| 塔东 2 | 古城墟隆起 | 上部为瘤状泥质灰岩 | 斜坡相 | 烃源岩厚约 376 m, 差烃源岩占 6.38%, 较好烃源岩占 10.64%, $w(\text{TOC}) > 1\%$ 的占 76.60% | |
| | | 中部为灰黑色泥灰岩夹泥岩 | 深水陆棚相 | | |
| | | 下部为含碳、硅、磷的灰质、白云质泥页岩 | 欠补偿盆地相 | | |
| 尉犁 1 | 孔雀河斜坡 | 上寒武统为一套灰色泥质灰岩 | 欠补偿盆地相 | $w(\text{TOC}) \geq 0.50\%$ 的平均值为 0.91%, 最高可达 2.33%, 烃源岩累计厚度达 45 m | 2.46 |
| | | 中下寒武统主要是硅质泥岩、灰质泥岩、页岩夹薄层状泥质泥晶灰岩 | 欠补偿盆地相 | $w(\text{TOC}) \geq 0.50\%$ 的平均值为 1.56%, 最高可达 3.52%, 烃源岩累计厚度可达 265 m | (ϵ_2m)、 2.75 (ϵ_1xd) |
| | | | | | |
| 库南 1 | 孔雀河斜坡 | 上寒武统为薄层状泥质泥晶灰岩夹灰质泥岩 | 斜坡相 | $w(\text{TOC})$ 分布于 0.17% ~ 2.13%, 平均为 1.15%, $w(\text{TOC}) \geq 0.5\%$ 的烃源岩累计厚度达 98 m | |
| | | 下寒武统为灰黑色、灰色灰质泥岩、泥质泥晶灰岩夹薄层泥岩 | 欠补偿盆地相 | $w(\text{TOC})$ 平均值为 1.24%, 累计厚度为 336 m (其中碳酸盐岩厚 239 m、泥质岩厚 97 m); | |
| 星火 1 | 沙雅隆起 | 灰黑、黑色碳质泥岩及灰色含磷硅质岩、硅质泥岩 | 陆棚边缘盆地相 | 1.00% ~ 9.43% 之间, 平均超过了 5.0%, 厚度 31 m | 1.38 ~ 1.5 |

1.28%, 平均 0.46%, 达标样品平均有机碳为 0.92%, 与西大山组相近, 属较好的烃源岩。突尔沙克塔克群 (ϵ_3t) 为灰岩、白云岩、泥灰岩夹灰岩组合, 有机碳含量小于 0.1% 的样品占 72.2%, 最大值仅为 0.32%, 属非烃源岩。

满加尔周缘的塔东 1、塔东 2、库南 1、尉犁 1 等钻井揭示, 中下寒武统烃源岩为欠补偿盆地相, 局部发育台地边缘斜坡相, 岩性主要为夹薄层的泥质灰岩、泥晶灰岩的含碳的硅磷黑色页岩。烃源岩厚度大, 有机碳含量相对较高, 多数样品有机碳含量小于 2%, 塔东 1 井有机碳含量在 0.70% ~ 5.52%, 平均为 3.47%。塔东 1 井及尉犁 1 井所测等效镜质组值分别为 2.40%, 2.46%, 2.75%, 均处于过成熟演化阶段 (表 3)。

以上资料表明, 星火 1 井所钻寒武系烃源岩与柯坪露头肖尔布拉克剖面 ϵ_{1y} 烃源岩均具有厚度薄, 有机碳含量高, 演化程度高的特征, 推测这套烃源岩可能分布于西部的柯坪、沙雅隆起西部的新和、沙西地区及沙雅隆起北翼的台地斜坡至盆地相区, 向塔里木盆地东部满加尔下寒武统烃源岩烃源岩厚度增大, 有机碳含量相对变小, 烃源岩演化程度变高。

3.2 与塔河原油的油源对比

近年来, 在塔河油田及其外围地区取得了大量的油气成藏研究成果^[17-18], 结合本次星火 1 井烃源岩抽提物的地化特征, 开展了油源对比研究。

姥鲛烷/植烷 (Pr/Ph) 与二苯并噻吩/菲可以反映烃源岩沉积水体的氧化—还原性, 或水体的含盐度的差异^[19]。星火 1 井寒武系烃源岩的 Pr/Ph 比值在 0.74 ~ 1.05 之间, 二苯并噻吩/菲比值除 XH-01 和 XH-02 样品小于 0.2, 其余样品比值在 0.4 ~ 0.68 之间, 与塔河油田奥陶系主体区原油及英买 2 井原油具有较好集群性, 与英买 32—英买 35 井来自北部库车的陆相油气差异明显 (图 3a^[20])。

C_{19} — C_{26} 长链三环萜烷在原油和烃源岩中分布比较广泛。沙雅隆起海相原油 C_{23} 三环萜烷为主峰, $C_{21}TT/C_{23}TT < 1$ 为特点。从 C_{27} 、 C_{28} 、 C_{29} 规则甾烷的分布来看, 寒武系烃源岩 C_{27} 、 C_{28} 、 C_{29} 规则甾烷的分布呈反斜线或反“L”型分布 ($C_{27} < C_{28} < C_{29}$), 在相对含量上, C_{27} 甾烷大于 C_{29} 胆甾烷, 少数呈反“L”型分布^[21]。而目前塔里木盆地发现的海相原油则主要呈不对称的“V”字型。从星火 1 井寒武系烃源岩与塔河油田原油 C_{21}/C_{23} 三环萜烷与 C_{28}/C_{29} 规则甾烷相关图 (图 3b) 特征来看, 星火 1 井烃源

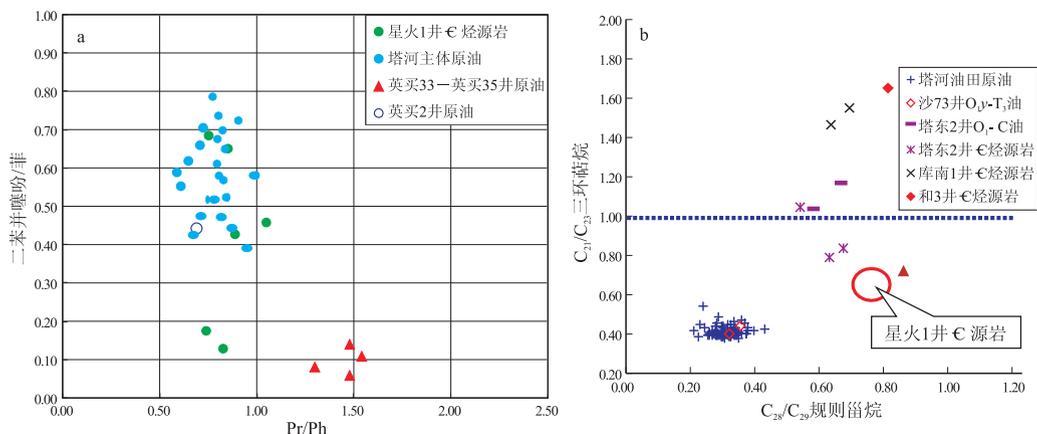


图3 塔里木盆地沙雅隆起西北部星火1井寒武系烃源岩与塔河油田原油的地化特征对比

Fig.3 Comparison of geochemical features between Cambrian source rocks from well XH1 in northwestern Shaya Uplift and crude oils from Tahe oilfield

岩的 C_{28}/C_{29} 规则甾烷比值远大于塔河油田原油,与塔东2井、库南1及和3井的寒武系烃源岩相当,在0.5~0.9之间。星火1井烃源岩 C_{21}/C_{23} 三环萜烷比值小于1,普遍高于塔河奥陶系原油,低于塔东2井、库南1及和3井的寒武系烃源岩的比值,这可能由烃源岩和原油的成熟度不同所导致。

综合上述分析,星火1井寒武系烃源岩特征明显与塔河油田及外围地区海相原油有较好的可对比性,说明寒武系烃源岩与沙雅隆起海相原油具有一定的亲缘性。

4 结论

(1)有机碳含量、氯仿沥青“A”含量、热解生烃潜力指数及有机质地化特征等研究表明,星火1井所钻遇的这套寒武系玉尔吐斯组烃源岩有机质丰度高,目前处于高成熟演化阶段,有机质类型为腐泥型。

(2)星火1井所钻寒武系烃源岩与柯坪地表露头肖尔布拉克剖面 ϵ_{1y} 烃源岩可比,均具有厚度薄、有机碳含量高、演化程度高的特征,这套烃源岩可能分布于柯坪、沙雅隆起西部的新和、沙西地区及沙雅隆起北翼的台地斜坡至盆地相区。

(3)Pr/Ph、二苯并噻吩/菲、甾烷等地球化学指标参数对比表明,星火1井下寒武统黑色碳质页岩与塔河原油具有一定的亲缘性;而 C_{21}/C_{23} 三环萜烷、 C_{28}/C_{29} 规则甾烷等地球化学参数的差异,可能是星火1井下寒武统烃源岩与库鲁克塔格地区、塔东1井等寒武系烃源岩的不同的沉积背景和演化程度差异所致。

致谢:感谢中国石油大学(北京)地球化学实验室李美俊副教授在样品地球化学分析测试过程中对

本人的指导,感谢外审专家所提供的宝贵修改意见。

参考文献:

[1] 翟晓先.塔里木盆地塔河特大型油气田勘探实践与认识[J].石油实验地质,2011,33(4):323-331.
Zhai Xiaoxian.Exploration practice and experience of Tahe oil-and-gas field,Tarim Basin[J].Petroleum Geology & Experiment,2011,33(4):323-331.

[2] 云露,蒋华山.塔河油田成藏条件与富集规律[J].石油与天然气地质,2007,28(6):768-775.
Yun Lu, Jiang Huashan. Hydrocarbon accumulation conditions and enrichment rules in Tahe Oilfield[J].Oil & Gas Geology,2007,28(6):768-775.

[3] 黄太柱.塔里木盆地塔中北坡构造解析与油气勘探方向[J].石油实验地质,2014,36(3):257-266.
Huang Taizhu.Structural interpretation and petroleum exploration targets in northern slope of middle Tarim Basin[J].Petroleum Geology & Experiment,2014,36(3):257-266.

[4] 张水昌,张保民,王飞宇,等.塔里木盆地两套海相有效烃源岩层:I.有机质性质、发育环境及控制因素[J].自然科学进展,2001,11(3):261-268.
Zhang Shuichang,Zhang Baomin,Wang Feiyu, et al.Two sets of effective marine source rocks in Tarim Basin:I.Properties of organic matter,developmental environment and its controlling factors[J].Progress in Natural Science,2001,11(3):261-268.

[5] 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].地学前缘,2000,7(4):534-547.
Liang Digang,Zhang Shuichang,Zhang Baomin, et al.Understanding on marine oil generation in China based on Tarim Basin[J].Earth Science Frontiers,2000,7(4):534-547.

[6] 赵靖舟.塔里木盆地北部寒武-奥陶系海相烃源岩重新认识[J].沉积学报,2001,19(1):117-124.
Zhao Jingzhou.Evaluation on the Cambrian-Ordovician marine source rocks from the north Tarim Basin[J].Acta Sedimentologica Sinica,2001,19(1):117-124.

[7] 辛艳朋,邱楠生,秦建中,等.塔里木盆地奥陶系烃源岩二次

- 生烃研究[J].地球科学与环境学报,2011,33(3):261-267.
Xin Yanpeng, Qiu Nansheng, Qin Jianzhong, et al. Study on Secondary Hydrocarbon Generation of Ordovician Hydrocarbon Source Rock in Tarim Basin [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2011, 33(3): 261-267.
- [8] 汤良杰,金之均.塔里木盆地北部隆起牙哈断裂带负反转过程与油气聚集[J].沉积学报,2000,18(2):302-309.
Tang Liangjie, Jin Zhijun. Negative inversion process and hydrocarbon accumulation of Yaha fault belt in northern uplift, Tarim Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(2): 302-309.
- [9] 郑伦举,马中良,王强,等.烃源岩有限空间热解生油气潜力定量评价研究[J].石油实验地质,2011,33(5):452-459.
Zheng Lunju, Ma Zhongliang, Wang Qiang, et al. Quantitative evaluation of hydrocarbon yielding potential of source rock: Application of pyrolysis in finite space [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(5): 452-459.
- [10] 程克明,王兆云.高成熟和过成熟海相碳酸盐岩生烃条件评价方法研究[J].中国科学:D辑,1996,26(6):537-543.
Cheng Keming, Wang Zhaoyun. Study on evaluation method of high and over mature marine carbonate hydrocarbon generating conditions [J]. Science in China; Series D, 1996, 26(6): 537-543.
- [11] 王飞宇,陈敬轶,高岗,等.源于宏观藻类的镜状体反射率:前泥盆纪海相地层成熟度标尺[J].石油勘探与开发,2010,37(2):250-256.
Wang Feiyu, Chen Jingyi, Gao Gang, et al. Reflectance of macroalgae-derived vitrinite-like macerals: An organic maturity indicator for pre-Devonian marine strata [J]. Petroleum Exploration and Development, 2010, 37(2): 250-256.
- [12] 边立曾,张水昌,梁狄刚,等.塔里木盆地晚奥陶世古海藻果实状化石及塔中油田生物母质特征[J].微体古生物学报,2003,20(1):89-96.
Bian Lizeng, Zhang Shuichang, Liang Digang, et al. Fruit-like fossils of ancient seaweeds from late Ordovician, central area of the Tarim Basin and the characters of bioprecursors of Tazhong oil and gas field [J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 2003, 20(1): 89-96.
- [13] 孟凡巍,周传明,燕夔,等.通过 C_{27}/C_{29} 甾烷和有机碳同位素来判断早古生代和前寒武纪的烃源岩的生物来源[J].微体古生物学报,2006,23(1):51-56.
Meng Fanwei, Zhou Chuanming, Yan Kui, et al. Biological origin of early Palaeozoic and PreCambrian hydrocarbon source rocks based on C_{27}/C_{29} sterane ratio and organic carbon isotope [J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 2006, 23(1): 51-56.
- [14] 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.
Zhao Zongju, Zhou Xinyuan, Zheng Xingping, et al. Evidences of chief source rock in Tarim Basin [J]. Acta Petroli Sinica, 2005, 26(3): 10-15.
- [15] 李丕龙,冯建辉,樊太亮,等.塔里木盆地构造沉积与成藏[M].北京:地质出版社,2010:159-163.
Li Pilong, Feng Jianhui, Fan Tailiang, et al. Structural-depositional feature and oil-gas reservoir formatin of Tarim Basin [M]. Beijing: Geological Press, 2010: 159-163.
- [16] 顾忆,赵永强,贾存善,等.塔里木盆地阿瓦提坳陷油气资源潜力分析[J].石油实验地质,2012,34(3):257-266.
Gu Yi, Zhao Yongqiang, Jia Cunshan, et al. Analysis of hydrocarbon resource potential in Awati depression of Tarim Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2012, 34(3): 257-266.
- [17] 丁勇,彭涛涛,李会军.塔河油田及塔北碳酸盐岩油藏特征与成藏主控因素[J].石油实验地质,2011,33(5):488-494.
Ding Yong, Peng Shoutao, Li Huijun. Features and main controlling factors of carbonate reservoirs in Tahe oil field and northern Tarim Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(5): 488-494.
- [18] 饶丹,秦建中,许锦,等.塔河油田奥陶系油藏成藏期次研究[J].石油实验地质,2014,36(1):83-88.
Rao Dan, Qin Jianzhong, Xu Jin, et al. Accumulation periods of ordovician reservoirs in Tahe oil field [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(1): 83-88.
- [19] 段毅,于文修,郑朝阳,等.塔里木盆地塔河油田原油与源岩对比研究[J].沉积学报,2009,27(1):164-171.
Duan Yi, Yu Wenxiu, Zheng Zhaoyang, et al. Study of oil-source correlation for Tahe oilfield of Tarim Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27(1): 164-171.
- [20] 王铁冠,何发岐,李美俊,等.烷基二苯并噻吩类:示踪油藏充注途径的分子标志物[J].科学通报,2005,50(2):176-182.
Wang Tieguan, He Faqi, Li Meijun, et al. Dibenzoth iophenes: Molecular markers of tracing the pathway of crude oil filling [J]. Chinese Science Bulletin, 2005, 50(2): 176-182.
- [21] 王铁冠,王春江,何发岐,等.塔河油田奥陶系油藏二期成藏原油充注比率测算方法[J].石油实验地质,2004,26(1):74-79.
Wang Tieguan, Wang Chunjiang, He Faqi, et al. Determination of double filling ratio of mixed crude oils in the Ordovician oil reservoir, Tahe oilfield [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2004, 26(1): 74-79.

(编辑 黄娟)