

塔里木盆地喀什凹陷

烃源岩地球化学特征和油源对比

孟苗苗^{1,2}, 康志宏¹, 徐耀辉³, 于超⁴, 刘琪⁵

(1. 中国地质大学(北京) 能源学院, 北京 100083; 2. 中国地质大学(北京) “海相储层演化与油气富集机理”教育部重点实验室, 北京 100083; 3. 长江大学 油气资源与勘探技术教育部重点实验室, 武汉 430100; 4. 中国石油 冀东油田分公司, 河北 唐山 063004; 5. 中国石油大学(北京) 地球科学学院, 北京 102249)

摘要:塔里木盆地喀什凹陷油气成藏条件优越, 有很好的勘探前景, 但除阿克莫木气田外, 并无其他突破, 一个重要原因是对于主力烃源岩层认识不清。通过对喀什凹陷 9 个野外剖面系统采样和地球化学分析, 认为下石炭统和中一下侏罗统为喀什凹陷的主要烃源岩层系, 其中下石炭统 II 型海相泥岩和泥灰岩为中等—好烃源岩, 分布广泛, 厚度大, 现今处于高成熟阶段, 以生气为主; 中侏罗统杨叶组 II 型湖相泥岩和下侏罗统康苏组 III 型沼泽相泥岩较次, 中一下侏罗统烃源岩处于成熟阶段, 以生油和轻质油为主。油源对比分析结果表明, 黑孜苇油苗、克拉托油砂和阿克 1 井油源均来自于石炭系, 研究认为石炭系为喀什凹陷的主力烃源岩层; 中一下侏罗统烃源岩生烃潜力有限且分布范围局限, 对油气成藏贡献较小。

关键词:地球化学特征; 油源对比; 石炭系; 侏罗系; 喀什凹陷; 塔里木盆地

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

Geochemical characteristics of source rocks and oil-source correlation in the Kashi Sag, Tarim Basin

Meng Miaomiao^{1,2}, Kang Zhihong¹, Xu Yaohui³, Yu Chao⁴, Liu Qi⁵

(1. School of Energy Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China; 2. Key Laboratory of Marine Reservoir Evolution and Hydrocarbon Enrichment Mechanism of Ministry of Education, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China; 3. Key Laboratory of Oil & Gas Resources and Exploration Technology of Ministry of Education, Yangtze University, Wuhan, Hubei 430100, China; 4. PetroChina Jidong Oilfield Company, Tangshan, Hebei 063004, China; 5. College of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: The Kashi Sag in Tarim Basin shows good hydrocarbon exploration prospects with superior accumulation conditions. However, the only discovery is the Akmomu gas field. One important reason is that there is no clear understanding of hydrocarbon source rocks. Through systematic sampling and geochemical analysis of 9 profiles in the Kashi Sag, we concluded that the Lower Carboniferous and Lower-Middle Jurassic are the main hydrocarbon source rocks in the Kashi Sag. The Lower Carboniferous marine mudstones and marlstones are medium-good hydrocarbon source rocks with type II organic matter that are widely distributed with large thickness. They are highly mature and mainly produce dry gas. Lacustrine mudstones of organic matter type II in the Middle Jurassic Yangye Formation and swamp facies mudstones of organic matter type III in the Lower Jurassic Kangsu Formation are lower quality potential sources. They are mature and mainly produce oil and light oil. Oil-source correlation indicated that the source rocks of Heiziwei oil seepage, Kelatuo oil sand and well Ake1 natural gas is Carboniferous, which is the main source rock sequence in the sag. The Lower-Middle Jurassic source rocks have restricted hydrocarbon generation potential and are distributed locally and were less important for hydrocarbon accumulation.

Key words: geochemical characteristics; oil-source correlation; Carboniferous; Jurassic; Kashi Sag; Tarim Basin

喀什凹陷发现地表油气显示(地表油砂、液体油苗、气苗、沥青) 20 余处, 是塔里木盆地地表油气

显示分布最多的地区之一。2001 年阿克莫木中型气田的发现成为该地区勘探 60 多年来的第一个重

收稿日期: 2015-07-03; 修订日期: 2016-01-04。

作者简介: 孟苗苗(1988—), 女, 博士研究生, 沉积学理论与应用专业。E-mail: mmm1988@126.com。

通信作者: 康志宏(1966—), 男, 满族, 教授, 主要从事油气资源调查评价工作。E-mail: kangzh98@163.com。

基金项目: 全国油气资源战略选区调查与评价国家专项(第二批)(2009GYXQ02)资助。

大突破。与喀什凹陷隔山相邻的费尔干纳盆地,面积仅 $3.8 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的区域共有 45 个油气田。孙龙德等认为喀什凹陷是塔里木盆地油气勘探的主攻方向之一,油气成藏条件优越^[1]。所有研究都展现了喀什凹陷良好的油气勘探前景,但是除阿克莫木中型气田外还没有其他的突破,喀什凹陷油气开发前景面临着巨大的挑战。前人研究认为喀什凹陷烃源岩自古生代到新生代均有发育(寒武—奥陶系、石炭—二叠系、侏罗系、上白垩统一古近系等)^[2-8],但对该区主力烃源岩层系的认识说法不一,该问题是限制该区勘探突破的主要因素之一。本次对潜在烃源岩层的地球化学特征进行详细的分析评价,结合对已发现油苗、油砂和阿克 1 井天然气进行油源对比,明确喀什凹陷主力烃源岩层,并对与主力烃源岩相关的成藏组合进行初步的讨论。

1 地质概况

喀什凹陷位于塔里木盆地最西部,南北夹持于昆仑山和天山之间,西邻费尔干纳盆地,东接麦盖提斜坡,面积约 $2.4 \times 10^3 \text{ km}^2$ 。其地质演化历史受塔里木地块、西昆仑和南天山造山带的共同影响,具有独特的对冲地质结构。喀什凹陷在中生代处于拉张盆地阶段,到新生代转变为前陆盆地阶段,喜马拉雅晚期强烈的构造运动形成各种推覆构造及逆掩褶皱带。其北缘自北向南发育有阿图什北构造带、阿图什构造带和喀什构造带,南缘自南向北发育有乌依塔克构造带和乌帕尔逆冲推覆构造带(图 1)。喀什凹陷生储盖组合良好,各种断裂和不同型式的构造圈闭发育,石油地质条件优越,显示喀什凹陷具有巨大的油气勘探潜力^[3,9-12]。

2 烃源岩地球化学特征

通过对烃源岩分布范围、厚度和有机质丰度等方面的分析,认为喀什凹陷的重要烃源岩层系为石炭系和中—下侏罗统^[4,13]。本次研究选取喀什凹陷南缘和北缘与石炭系和中—下侏罗统典型潜在烃源岩相关的 7 条剖面进行野外地质考察和取样分析(图 1)。由于石炭系烃源岩在喀什凹陷出露甚少,同时喀什凹陷石炭纪海相地层在整个塔西南凹陷广泛分布,所以本次研究增加喀什凹陷北缘东侧相邻的乌什南库鲁村剖面和喀什凹陷南缘英吉莎地区昔力必里剖面进行取样分析以作对比研究。样品分析测试工作均在长江大学油气资源与勘探技术教育部重点实验室完成。

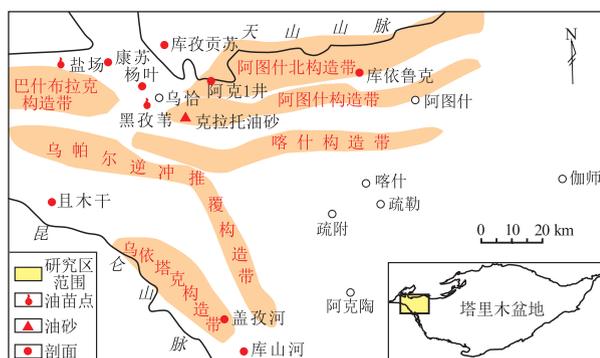


图 1 塔里木盆地喀什凹陷构造带分布

Fig.1 Distribution of structural belts in the Kashi Sag, Tarim Basin

2.1 石炭系烃源岩

石炭系是塔里木盆地西南坳陷重要的烃源岩层和油气储层,已发现的柯克亚、巴什托普、和田河油气田等均与石炭系有关。石炭系在喀什凹陷广泛分布且埋藏较深,下石炭统发育台缘—陆棚相沉积,厚度约 100~700 m。上石炭统发育开阔台地相沉积,厚度为 300~800 m^[14]。

喀什凹陷南缘库山河剖面下石炭统和什拉甫组(C_1h)为台缘—陆棚相灰色泥岩和泥灰岩,厚度约 1 200 m, $\omega(\text{TOC}) = 0.38\% \sim 5.98\%$, 平均值为 1.15%, $R_o = 1.4\% \sim 1.66\%$, $T_{\max} = 500 \sim 590 \text{ }^\circ\text{C}$; 昔力必里剖面下石炭统陆棚相黑色泥岩累计厚度约 100 m, $\omega(\text{TOC}) = 0.45\% \sim 1.06\%$, 平均值为 0.89%, 氯仿沥青“*A*”平均值为 0.006%, 总烃平均值为 0.047%。喀什凹陷北缘库鲁村下石炭统乌什组(C_1w)浅海陆棚相深灰色—灰黑色中层泥灰岩、泥页岩累计厚度约 900 m, $\omega(\text{TOC}) = 0.5\% \sim 1.0\%$, 均值为 0.60%, $R_o = 1.68\% \sim 2.71\%$, $T_{\max} = 500 \sim 525 \text{ }^\circ\text{C}$, 生烃潜力($S_1 + S_2$)为 0.01~0.13 mg/g, 均值为 0.05 mg/g。

昔力必里剖面上石炭统开阔台地相灰岩厚为 100 m, $\omega(\text{TOC}) = 0.25\% \sim 0.50\%$, 平均值为 0.38%, 氯仿沥青“*A*”平均值为 0.002%, 总烃平均值为 0.005%; 库鲁村上石炭统索格当他乌组(C_2s)滨岸相深灰色、灰绿色泥岩累计厚度约 600 m, $\omega(\text{TOC}) = 0.1\% \sim 1.53\%$, 均值为 0.53%, ($S_1 + S_2$)为 0.02~0.09 mg/g, 均值为 0.04 mg/g; $R_o = 2.44\% \sim 3.00\%$, $T_{\max} = 510 \sim 527 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

干酪根显微组分镜检表明,藻类等低等生物为喀什凹陷石炭系烃源岩的原始有机质母质,有机质类型以具有较好生油潜力的 I 型和 II₁ 型为主;干酪根碳同位素 ($-23.4\text{‰} \sim -29.1\text{‰}$, 平均值为 -25.4‰) 也显示其有机质类型为 I—II 型。

喀什凹陷下石炭统有机碳含量和总烃达到中等—好烃源岩标准,处于高成熟阶段,以生干气为主;而上石炭统有机碳含量和总烃显示其为差—中等烃源岩,处于高一过成熟阶段(表1)。由于石炭系地表样品经受风化剥蚀等外因影响,致使实验测试的氯仿沥青“A”含量和生烃潜力很低^[15],所以对于凹陷内广泛分布、厚度可观的石炭系烃源岩需持乐观态度。

2.2 中—下侏罗统烃源岩

康苏组(J_1k)和杨叶组(J_2y)为侏罗系烃源岩发育地层,主要分布在喀什凹陷南缘昆仑山前地带和喀什凹陷北缘库孜贡苏地区。 J_1k 发育沼泽相灰绿色、灰色砂岩、砂砾岩与深灰色泥岩互层,夹灰黑色碳质泥岩及煤层,为区内首要的产煤层系。含丰富的植物化石和少量瓣鳃类。康苏煤矿区标准剖面 J_1k 总厚1 160 m; J_2y 发育湖相灰岩、灰黑色之片状泥岩,夹薄层—块状砂岩、碳质泥岩和泥灰岩薄条带。含有瓣鳃类及腹足类化石,植物化石贫乏,不含工业煤层。

喀什凹陷南缘盖孜河剖面中—下侏罗统烃源岩累计总厚度为42.5 m。 J_1k 沼泽相深灰色泥岩厚为14.5 m,有机碳含量平均值为2.14%,(S_1+S_2)平

均值为0.03 mg/g; J_2y 湖相灰黑色泥岩厚25.0 m,有机碳含量平均值为4.88%,(S_1+S_2)平均值为0.04 mg/g;中—下侏罗统烃源岩 $T_{\max}=445\sim 498\text{ }^\circ\text{C}$ (相当于 $R_o=0.80\%\sim 2.0\%$);且木干剖面 J_1k 沼泽相泥岩、碳质泥岩厚为135.8 m,有机碳含量平均值为4.98%;(S_1+S_2)平均值为0.04 mg/g, J_2y 湖相泥岩厚为11.4 m,有机碳含量平均值为6.15%;(S_1+S_2)平均值为0.06 mg/g,中—下侏罗统烃源岩 T_{\max} 为440~505 $^\circ\text{C}$ (相当于 R_o 为0.75%~2.2%)。

喀什凹陷北缘库孜贡苏剖面 J_1k 沼泽相碳质泥岩厚约35 m,有机碳含量平均值为1.43%,氯仿沥青“A”的平均值分别为0.04%,总烃平均含量为0.021%; J_2y 湖相深灰色泥岩厚264 m,有机碳含量平均值为1.87%,氯仿沥青“A”的平均值为0.09%,总烃平均含量为0.027%。

干酪根碳同位素分析表明, J_1k 烃源岩干酪根碳同位素为-20.7‰~-25.5‰,平均为-23.3‰,为Ⅲ型沼泽相有机质; J_2y 烃源岩的干酪根碳同位素为-25.5‰~-28.1‰,平均为-25.8‰,为湖相Ⅱ型有机质。

综合以上分析(表1),认为喀什凹陷中—下侏罗统有机碳含量和总烃达到中等烃源岩,氯仿沥

表1 塔里木盆地喀什凹陷石炭系和中—下侏罗统烃源岩地球化学特征

Table 1 Geochemical characteristics of the Carboniferous and Lower-Middle Jurassic source rocks in the Kashi Sag, Tarim Basin

剖面	地层	岩性	厚度/ m	沉积相	$\omega(\text{TOC})/\%$	氯仿沥青“A”/%	总烃/%	$(S_1+S_2)/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$	$R_o/\%$	$T_{\max}/^\circ\text{C}$
库山河	C_1h	泥岩、泥灰岩	1 200.0	台缘—陆棚相	$\frac{0.38\sim 5.98}{1.15}$				1.4~1.66	500~590
昔力必里	C_1	泥岩	100.0	陆棚相	$\frac{0.45\sim 1.06}{0.89}$	0.006	0.047			
库鲁村	C_1w	泥页岩	900.0	浅海陆棚相	$\frac{0.50\sim 1.0}{0.60}$			0.01~0.13	1.68~2.71	500~525
昔力必里	C_2	灰岩	100.0	开阔台地相	$\frac{0.25\sim 0.50}{0.38}$	0.002	0.005			
库鲁村	C_2s	泥岩	600.0	滨岸相	$\frac{0.10\sim 1.53}{0.53}$			0.02~0.09	2.44~3.00	510~527
盖孜河	J_1k	泥岩	14.5	沼泽相	$\frac{0.46\sim 4.94}{2.14}$	0.80~2.0		$\frac{0.01\sim 0.08}{0.03}$		445~498
且木干	J_1k	泥岩	135.8	沼泽相	$\frac{0.51\sim 14.65}{4.98}$	0.75~2.2		$\frac{0.01\sim 0.31}{0.04}$		440~505
库孜贡苏	J_1k	碳质泥岩	35.0	沼泽相	$\frac{1.06\sim 2.21}{1.43}$	0.04	0.021			
盖孜河	J_2y	泥岩	25.0	湖相	$\frac{0.37\sim 10.88}{4.88}$	0.80~2.0		$\frac{0.01\sim 0.08}{0.04}$		445~498
且木干	J_2y	泥岩	11.4	湖相	$\frac{0.23\sim 14.55}{6.15}$	0.75~2.2		$\frac{0.01\sim 0.22}{0.06}$		440~505
库孜贡苏	J_2y	泥岩	264.0	湖相	$\frac{0.68\sim 3.53}{1.87}$	0.09	0.027			

注:表中分式含义为 $\frac{\text{最小值}\sim\text{最大值}}{\text{平均值}}$ 。

青“*A*”达到好—极好标准,处于成熟—高成熟阶段,以生油和轻质油为主。*J_{2y}*为湖相Ⅱ型有机质,较*J_{1k}*Ⅲ型沼泽相有机质好,且有机质丰度比*J_{1k}*高,整体而言*J_{2y}*烃源岩比*J_{1k}*好。

3 油源对比

本次研究对乌恰县西南的黑孜苇油苗、乌恰县东南的克拉托油砂和乌恰县东北的阿克1井天然气进行了地球化学分析,结合石炭系和侏罗系潜在烃源岩的有机地球化学分析,进而对油气的来源问题进行分析,明确喀什凹陷油气的主要来源。

3.1 黑孜苇油苗

周新源、赵孟军等认为喀什凹陷杨叶古油藏和克拉托浅油藏的油源为中—下侏罗统烃源岩^[2,4,13],但并没有充分的证据证明油气来源的唯一性。笔者选取黑孜苇油苗为测试样品,根据油苗的有机地球化学特征与石炭系和侏罗系烃源岩进行油源对比。

库孜贡苏剖面中侏罗统*J_{2y}*泥质砂岩中17(α)*C₂₉*重排藿烷和17(α)*C₃₀*重排藿烷含量较高;重排甾烷含量也相对较高,三环萜烷的含量相对偏低,且呈*C₂₀*>*C₂₁*>*C₂₃*分布特征。下侏罗统*J_{1k}*砂质泥岩中孕甾烷含量高,规则甾烷含量低,三环萜烷含量较高且呈*C₂₁*>*C₂₃*分布特征,藿烷含量较低。昔力必里剖面下石炭统泥岩的低碳数饱和烃含量较高,显示了海相有机质的特征。孕甾烷和升孕甾烷含量较高,规则甾烷含量呈*C₂₇*>*C₂₈*<*C₂₉*分

布特征。三环萜烷含量中等,且呈*C₂₀*<*C₂₁*<*C₂₃*的升高特征。17(α)*C₃₀*重排藿烷含量偏低。

黑孜苇油苗三环萜烷含量呈*C₂₁*<*C₂₃*的分布特征,同时重排藿烷含量相对较低,与下石炭统和中—下侏罗统烃源岩进行对比分析显示其与下石炭统烃源岩具有相似的分子地球化学特征(图2,3)。综合三环萜烷和五环三萜烷的对比研究,认为黑孜苇油苗来自于下石炭统烃源岩。

3.2 克拉托油砂

前人认为克拉托油砂来源于侏罗系,在中新世—上新世成藏,并认为现今地表发现的油砂是由于上新世的构造运动导致早期油藏的破坏形成^[16],赵孟军等研究认为*J_{2y}*湖相烃源岩为克拉托油砂油源^[4,13]。为了验证其油气来源的可靠性,分析了克拉托油砂的分子地球化学特征,并与下石炭统和中—下侏罗统烃源岩进行了对比。

通过对克拉托油砂进行抽提并分析其分子地球化学特征,正构烷烃具有单峰型前峰态分布模式,孕甾烷和升孕甾烷含量较高,规则甾烷呈*C₂₇*>*C₂₈*<*C₂₉*分布,三环萜烷呈*C₂₁*>*C₂₃*分布,重排藿烷含量较低^[17]。与昔力必里剖面石炭系和库孜贡苏剖面的侏罗系烃源岩样品的甾烷和萜烷特征进行对比分析,克拉托油砂与下石炭统泥岩样品甾烷和萜烷的分布特征非常相似。

利用倍半萜补身烷系列和三芳甾烷分布特征进行油源对比,*J_{1k}*和*J_{2y}*样品中倍半萜化合物均具有较高的4,4,8,8,9-五甲基全氢萘,中侏罗统

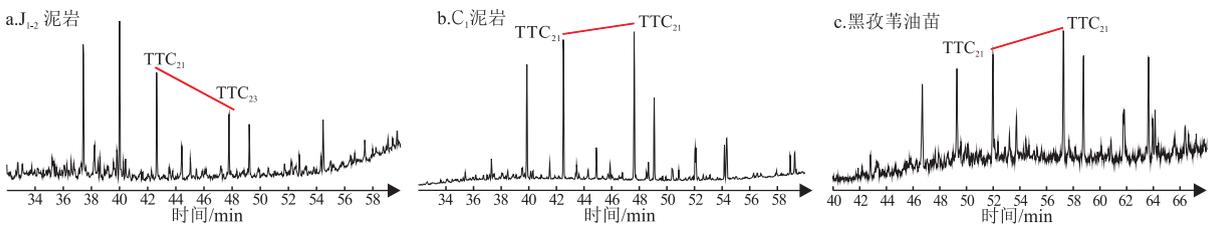


图2 塔里木盆地喀什凹陷潜在烃源岩与黑孜苇油苗三环萜烷对比

Fig.2 Mass chromatogram comparison of tricyclic terpene from potential hydrocarbon source rocks and Heiziwei oil seepage in the Kashi Sag, Tarim Basin

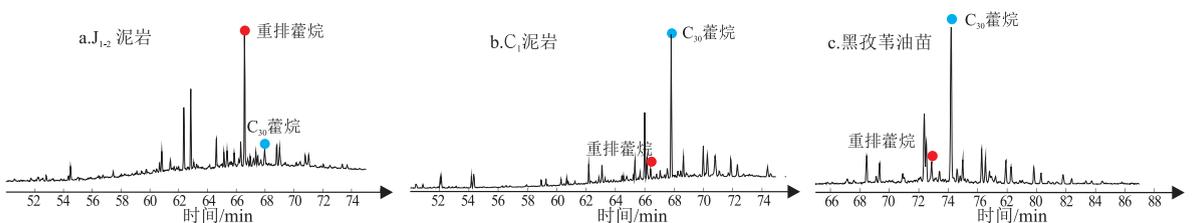


图3 塔里木盆地喀什凹陷潜在烃源岩与黑孜苇油苗五环三萜烷对比

Fig.3 Mass chromatogram comparison of pentacyclic triterpene from potential hydrocarbon source rocks and Heiziwei oil seepage in the Kashi Sag, Tarim Basin

J_{2y} 煤系具有较高的 8β(H) 升补身烷, 而克拉托油砂和石炭系烃源岩中缺失倍半萜化合物。而且克拉托油砂提物中三芳甾烷的主峰碳为三芳胆甾烷(20R)+24-甲基三芳胆甾烷(20S), 与石炭系泥岩具有相似的特征。表明克拉托油砂中油源来自下石炭统泥岩, 而非中一下侏罗统烃源岩。

芳烃中的芴、硫芴(二苯并噻吩)和氧芴(二苯并呋喃)被称为“三芴”系列化合物, 其在判断沉积环境方面有广泛的应用, 硫芴含量高说明其原油和烃源岩为海相(咸水)强还原环境, 而氧芴含量较高则说明原油和烃源岩为弱氧化—氧化环境。克拉托油砂抽提物中较高的硫芴含量, 显示油源来自较强的还原环境。石炭系烃源岩硫芴含量大于 70%, 氧芴含量小于 20%, 显示沉积环境为还原环境; 而中一下侏罗统烃源岩硫芴含量小于 20%, 氧芴含量大于 30%(图 4)。因此, 可以说克拉托油砂提取物来源于石炭系烃源岩。

3.3 阿克 1 井天然气

阿克 1 井下白垩统克孜勒苏群天然气具有干燥系数高(99.7%)、非烃气体含量高(N₂ 达到 9.04%, CO₂ 达到 11.39%)和甲、乙烷碳同位素含量高(平均分别为-24.63‰和-21.1‰)的特征, 反映其烃源岩演化程度高^[4, 18-19]。碳同位素动力学模拟计算结果也认为阿克 1 井天然气是烃源岩过成熟演化阶段的产物^[20]。

天然气内稀有气体氦、氩同位素显示该气藏为壳源气, 将稀有气体同位素与源岩时代进行回归, 得出源岩对应的时代为晚古生代, 所以应排除侏罗系为阿克 1 井天然气的油气来源; 另外, 侏罗系烃

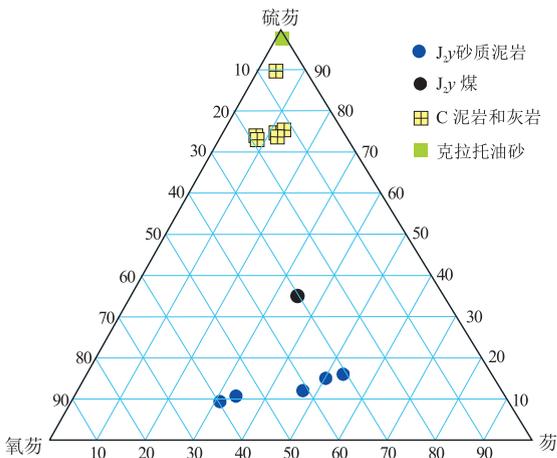


图 4 塔里木盆地喀什凹陷潜在烃源岩和克拉托油砂中“三芴”组成对比

Fig.4 Triangular chart of fluorene, dibenzofuran and dibenzothiophene from potential hydrocarbon source rocks and Kelatuo oil sand in the Kashi Sag, Tarim Basin

源岩干酪根碳同位素值(-23‰~-26‰)较阿克 1 井天然气轻; 而且侏罗系煤系烃源岩的分布局限、成熟度未达到生气阶段, 不具备形成有效聚集的气藏条件。刘伟认为阿克莫木气田的天然气来源于二叠系^[21], 但是在叶城凹陷二叠系烃源岩较为发育, 为主力烃源岩层, 而在喀什凹陷不发育, 不具有生烃潜力。

石炭系烃源岩具有厚度大、有机质丰度高、演化程度高的特征, 处于过成熟生干气演化阶段; 烃源岩钻井和露头样品模拟实验表明, 石炭系烃源岩在过成熟阶段生成的天然气与阿克 1 井天然气最为接近; 源岩热压模拟气组分和碳同位素动力学方法分析也证明石炭系为阿克莫木气藏主力烃源岩^[5]。所以阿克莫木气田的天然气应该主要来源于石炭系烃源岩。

4 讨论

综合以上分析可以看出, 黑孜苇油苗、克拉托油砂和阿克 1 井天然气均来源于石炭系烃源岩。喀什凹陷主力烃源岩为石炭系烃源岩, 下白垩统克孜勒苏群砂岩为优质储集层, 覆盖其上的上白垩统和古近系为封盖性好的区域盖层, 尤其是古新统阿尔塔什组石膏层为非常理想的盖层。它们在纵横向上构成了有利的油气生储盖组合(图 5)。位于喀什凹陷阿图什北构造带阿克莫木背斜上的阿克 1 气藏, 天然气主要来源于过成熟的石炭系烃源岩, 储层为下白垩统克孜勒苏群砂岩; 盖层有下白垩统库克拜组泥岩、膏泥岩、泥页岩互层和古近系阿尔塔什组石膏。

石炭系烃源岩在白垩纪—古近纪处于成熟生烃阶段, 有少量烃类生成, 但是这一时期没有形成圈闭, 致使所生烃类无处聚集; 中新世喀什凹陷受

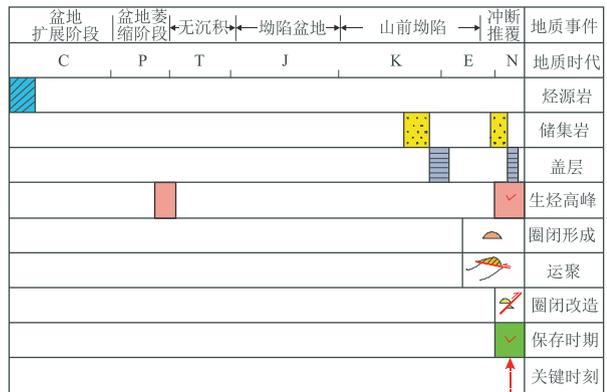


图 5 塔里木盆地喀什凹陷阿图什北构造带成藏条件分析

Fig.5 Reservoir forming conditions in the Atushibei tectonic belt in the Kashi Sag Tarim Basin

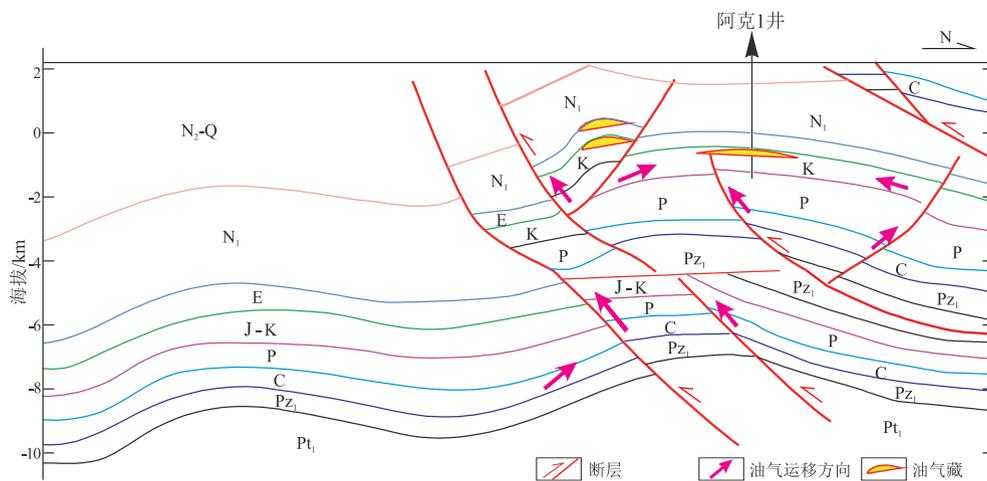


图6 塔里木盆地喀什凹陷北缘油气成藏示意

Fig.6 Hydrocarbon accumulation in the northern edge of Kashi Sag, Tarim Basin

南天山与西昆仑的强烈挤压作用,在阿图什北构造带上形成北倾的逆冲前展式断层,进一步形成双重逆冲推覆构造,石炭系烃源岩产生的烃类以断层为运移通道向上运移到白垩系砂岩储集层中,形成早期油藏。此时石炭系烃源岩完全进入成熟阶段,上新世—第四纪圈闭定型,构造运动导致的各种断裂和不同型式的构造圈闭发育。喀什凹陷南缘与北缘褶皱—冲断带主体是在上新世期间成型的,第四系地层内部广泛发育的生长地层表明,第四纪期间也受到构造活动的改造^[22],此时石炭系烃源岩处于高一过成熟生气阶段,生成的气态烃沿断裂运移至圈闭中,阿克莫木气田形成。

阿克1井揭示了喀什凹陷以石炭系烃源岩为基础的油气成藏组合的重要性。阿克莫木背斜主要形成于新近纪,属于推覆体和楔状体。与石炭系烃源岩的生排烃期相匹配,且南邻喀什深洼区,是油气运移的长期指向区,为较有利的油气聚集场所(图6)。

5 结论

(1)喀什凹陷下石炭统Ⅱ型海相泥岩、泥灰岩为中等—好烃源岩,分布广泛,厚度大,处于高成熟度生气阶段;断裂的发育为油气的运移提供了良好的通道,成藏条件优越。中—下侏罗统杨叶组Ⅱ型湖相泥岩和康苏组Ⅲ型沼泽相泥岩为中等—好烃源岩,但分布范围局限,成熟低较低。

(2)黑孜苇油苗、克拉托油砂与阿克1井一样,油源均来自于石炭系,而不是来自于中—下侏罗统烃源岩。所以石炭系为喀什凹陷的主力烃源岩层,杨叶油苗的油源来自于中—下侏罗统,说明中—下侏罗统烃源岩也有一定的贡献,但是受限于其分布范围,可能仅在喀什凹陷北缘库孜贡苏地区

为有利烃源岩。

(3)喀什凹陷下石炭统烃源岩具有很大的研究意义,但是因埋藏较深,有待应用新理论和新技术对其进行有利烃源岩展布特征和烃源岩热演化的进一步研究,同时需要加强与石炭系有利烃源岩展布相关的成藏组合研究,为喀什凹陷油气勘探突破助力。

致谢:本文得到了中国地质大学(北京)李宁熙博士和重庆地质矿产研究院汪生秀、王巧丽工程师的热情帮助,审稿专家和编辑部老师对本文的修改提供了宝贵的建设性意见,在此表示衷心的感谢!

参考文献:

- [1] 孙龙德,周新源,王国林.塔里木盆地石油地质研究新进展和油气勘探主攻方向[J].地质科学,2005,40(2):167-178.
Sun Longde,Zhou Xinyuan,Wang Guolin.Contributions of petroleum geology and main directions of oil-gas exploration in the Tarim Basin[J].Chinese Journal of Geology,2005,40(2):167-178.
- [2] 周新源,胡煜昭,刘胜.塔里木盆地喀什凹陷北部露头区油气地质[M].北京:石油工业出版社,2003.
Zhou Xinyuan,Hu Yizhao,Liu Sheng.Petroleum geology in the outcrop area of northern Kashi Sag,Tarim Basin[M].Beijing:Petroleum Industry Press,2003.
- [3] 周新源,罗金海,买光荣.塔里木盆地喀什凹陷及其周边地区构造特征与油气地质[M].北京:石油工业出版社,2005.
Zhou Xinyuan,Luo Jinhai,Mai Guangrong.Tectonic characteristic and petroleum geology in the Kashi Sag and surrounding areas,Tarim Basin[M].Beijing:Petroleum Industry Press,2005.
- [4] 赵孟军,夏新宇,秦胜飞,等.塔里木盆地阿克1井气藏气源研究[J].天然气工业,2003,23(2):31-33.
Zhao Mengjun,Xia Xinyu,Qin Shengfei,et al.Gas source study of AKE 1 well resource in Tarim Basin[J].Natural Gas Industry,2003,23(2):31-33.

- [5] 张君峰,王东良,王招明,等.喀什凹陷阿克莫木气田天然气成藏地球化学[J].天然气地球科学,2005,16(4):507-513.
Zhang Junfeng, Wang Dongliang, Wang Zhaoming, et al. Natural gas deposit formation geochemistry of Akmomu gas field Kashi sag in Tarim basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2005, 16(4): 507-513.
- [6] 达江,宋岩,赵孟军,等.塔里木盆地喀什凹陷北缘烃源岩潜力探讨[J].新疆地质,2007,25(1):77-80.
Da Jiang, Song Yan, Zhao Mengjun, et al. Evaluation and potential discussion of hydrocarbon source rock in north margin of Kashi Sag, Tarim Basin[J]. Xinjiang Geology, 2007, 25(1): 77-80.
- [7] 傅国友,宋岩,赵孟军,等.烃源岩对大中型气田形成的控制作用:以塔里木盆地喀什凹陷为例[J].天然气地球科学,2007,18(1):62-66.
Fu Guoyou, Song Yan, Zhao Mengjun, et al. Analysis of the controlling effects of source rocks on middle-large sized gas field formation: Taking Kashi Sag in Tarim Basin as an example[J]. Natural Gas Geoscience, 2007, 18(1): 62-66.
- [8] 钱玲,卢玉红,黄龙藏,等.塔里木盆地喀什凹陷克拉托天然气来源分析及聚气特征[J].地质科学,2007,42(2):253-266.
Qian Ling, Lu Yuhong, Huang Longcang, et al. Source and gathering features of Kelatuo natural gas in the Kashi Sag, Tarim Basin[J]. Chinese Journal of Geology, 2007, 42(2): 253-266.
- [9] 胡剑风,郑多明,胡轩,等.塔西南前陆盆地战略接替区天然气勘探的突破[J].中国石油勘探,2002,7(1):74-78.
Hu Jianfeng, Zheng Duoming, Hu Xuan, et al. Breakthrough of gas exploration in southwest Tarim foreland basin: The strategic replacement area of CNPC and TOC[J]. China Petroleum Exploration, 2002, 7(1): 74-78.
- [10] 陈荣林,胡民,朱宏发,等.塔西南喀什凹陷石油地质特征的再认识[J].石油实验地质,1993,15(4):319-324.
Chen Ronglin, Hu Min, Zhu Hongfa, et al. A new understanding of the characteristics of petroleum geology in the Kashi depression, southwest Tarim[J]. Experimental Petroleum Geology, 1993, 15(4): 319-324.
- [11] 李溪滨.喀什凹陷石油地质特征[J].新疆石油地质,1995,16(4):285-289.
Li Xibing. Petroleum geology of Kashi Depression[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1995, 16(4): 285-289.
- [12] 罗金海,车自成,刘良.喀什凹陷的成因及找油方向[J].西北大学学报:自然科学版,1998,28(5):435-438.
Luo Jinhai, Che Zicheng, Liu Liang. The origin of Kashi depression and the guide for exploration[J]. Journal of Northwest University: Natural Science Edition, 1998, 28(5): 435-438.
- [13] 赵孟军,王招明,宋岩,等.塔里木盆地喀什凹陷油气来源及其成藏过程[J].石油勘探与开发,2005,32(2):50-54.
Zhao Mengjun, Wang Zhaoming, Song Yan, et al. Source and accumulation of oil and gas in Kashi Sag, Tarim Basin, NW China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(2): 50-54.
- [14] 谭开俊,牟中海,吕锡敏,等.塔里木盆地西南地区石炭系油气勘探潜力[J].天然气地球科学,2004,15(6):610-613.
Tan Kaijun, Mou Zhonghai, Lv Ximin, et al. The exploration potential of oil and gas of the Carboniferous system in the Tarim Southwest area[J]. Natural Gas Geoscience, 2004, 15(6): 610-613.
- [15] 孟元林,王建国,肖丽华.野外露头的盆地模拟研究与地下烃源岩有机质成熟度的预测[J].中国海上油气(地质),1996,10(1):13-16.
Meng Yuanlin, Wang Jianguo, Xiao Lihua. Research of basin simulation in field and prediction of organic matter maturity of underground hydrocarbon source rocks[J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 1996, 10(1): 13-16.
- [16] 魏伟,杨海军,杨芝林,等.塔里木盆地喀什凹陷北部油砂分布特征[J].中国石油勘探,2006,11(3):76-78.
Wei Wei, Yang Haijun, Yang Zhilin, et al. Distribution characteristics of oilsand in Northern Kashi Sag, Tarim Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2006, 11(3): 76-78.
- [17] 崔景伟,王 Tieguan, Zou Caineng, 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.
- [18] 张秋茶,王福焕,肖中尧,等.阿克 1 井天然气气源探讨[J].天然气地球科学,2003,14(6):484-487.
Zhang Qiucha, Wang Fuhuan, Xiao Zhongyao, et al. The discussion of natural gas source in well AKE 1[J]. Natural Gas Geoscience, 2003, 14(6): 484-487.
- [19] 周新源,王清华,肖忠尧,等.新疆南天山山前地区中生界成藏条件及勘探潜力[J].地质科学,2004,39(4):463-474.
Zhou Xinyuan, Wang Qinghua, Xiao Zhongyao, et al. Accumulation conditions and potentials of the Mesozoic in area south of the Nan-Tianshan mountains, Xinjiang[J]. Chinese Journal of Geology, 2004, 39(4): 463-474.
- [20] 李贤庆,肖贤明,肖中尧,等.塔里木盆地阿克 1 气藏天然气的地球化学特征和成因[J].天然气地球科学,2005,16(1):48-53.
Li Xianqing, Xiao Xianming, Xiao Zhongyao, et al. Geochemical characteristics and origin of natural gas from AKE-1 Gas pool in the Tarim Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2005, 16(1): 48-53.
- [21] 刘伟,杨飞,吴金才,等.喀什凹陷北缘阿克莫木气田气源探讨[J].天然气地球科学,2015,26(3):486-494.
Liu Wei, Yang Fei, Wu Jincai, et al. The discussion on natural gas source in Akmomu Gasfield, Northern Margin of Kashi Sag[J]. Natural Gas Geoscience, 2015, 26(3): 486-494.
- [22] 陈杰,李涛,李文巧,等.帕米尔构造结及邻区的晚新生代构造与现今变形[J].地震地质,2011,33(2):241-259.
Chen Jie, Li Tao, Li Wenqiao, et al. Late Cenozoic and present tectonic deformation in the Pamir Salient, northwestern China[J]. Seismology and Geology, 2011, 33(2): 241-259.