

张运波, 王明健, 杜治利, 等. 准噶尔盆地南缘四棵树一凹陷主力烃源岩及油源对比[J]. 海洋地质前沿, 2020, 36(12): 39-48.

准噶尔盆地南缘四棵树一凹陷主力烃源岩及油源对比

张运波¹, 王明健^{2,3*}, 杜治利¹, 袁庆东⁴

(1 中国地质调查局油气资源调查中心, 北京 100083; 2 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 青岛 266071; 3 青岛海洋科学与技术国家实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室, 青岛 266071; 4 中国石油勘探开发研究院地质所, 北京 100083)

摘要:2019 年部署于准噶尔盆地南缘西段四棵树一凹陷高泉东背斜的风险探井高探 1 井白垩系清水河组测试获日产千方高产油气流, 证实了四棵树一凹陷具备成为大型油气富集区的潜力。为了查明四棵树一凹陷油气富集规律、明确未来勘探方向, 通过收集整理重点探井油气地化数据, 对研究区进行了烃源岩评价、油源对比及油气运移特征研究。结果表明: ①卡因迪克地区主要发育八道湾组和安集海河组 2 套 3 类有效烃源岩, 其中八道湾组烃源岩有机质类型主要为 II 2 和 III 型, 处于低成熟阶段。安集海河组烃源岩埋深 > 4 000 m 才能成为有效烃源岩; ②西湖背斜原油可以分为 A 类和 B 类, 分别对应于卡因迪克地区侏罗系八道湾组泥质烃源岩和煤系烃源岩, 且 A 类原油原始生油母质总体优于 B 类原油; ③高泉背斜区原油与卡因迪克地区烃源岩不具备亲缘关系, 推测高探 1 井油气来自于其南部的山前生烃中心, 其南部是下一步油气勘探有利区。

关键词:烃源岩; 地球化学; 油源对比; 准噶尔盆地南缘; 四棵树一凹陷

中图分类号: P618.13

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2020.102

0 引言

准噶尔盆地南缘地区存在多套以沼泽相和滨湖相沉积为主体的有效烃源岩^[1-17], 包括侏罗系八道湾组、三工河组、西山窑组及头屯河组, 白垩系清水河组, 以及古近系+新近系紫泥泉子组和安集海河组等, 其物源为湖相低等生物和陆生高等植物, 以后者为主^[2-4]。这些烃源岩分布情况复杂, 导致关于本区的油-源关系争论不断^[1, 5-9]。如关于卡因迪克地区齐古组原油来源, 大多数学者认为原油来自于侏罗系煤系烃源岩^[8, 16, 18-21]。李学义等^[22]认为油气来自于侏罗系和二叠系烃源岩; 魏东涛等^[14]和张越迁等^[23]认为以侏罗系来源为主, 也有古近系

安集海河组烃源岩的贡献; 陈建平等^[5, 18]认为来源于侏罗系煤系烃源岩。对于紫泥泉子组原油, 郭春清等^[8]和李学义等^[22]认为是侏罗系与古近系的混源油, 对于安集海河组原油, 靳涛^[19]、郭春清等^[8]、魏东涛等^[14]、黄彦庆等^[16]认为其是侏罗系与古近系原油的混合, 而王绪龙^[21]及陈建平^[5, 18]认为其来源于安集海河组烃源岩。特别是近年来, 陈建平^[5, 18]针对四棵树一凹陷做了大量地化分析, 利用碳同位素和生物标志物组成特征将准噶尔盆地南缘原油分为 4 类, 提出卡因迪克侏罗系齐古组(白垩系图谷鲁组)原油和古近系紫泥泉子组原油都属于第 2 类原油, 特点是以 C₂₉ 规则甾烷(包括 αβ 构型异胆甾烷)和重排甾烷为主, 重排甾烷含量高。西湖背斜、高泉背斜和独山子背斜原油都属于第 4 类原油, 特点是原油甾烷组成简单, 以 ααα 构型甾烷为主, αβ 构型异胆甾烷含量低, 甲基甾烷相对于甾烷含量较高, 尤其是甲藻甾烷含量很高。总体而言, 目前研究^[2-3]较为一致的观点是, 准噶尔盆地南缘四棵树一凹陷西段主要发育 2 套有效烃源岩, 分别为侏罗系八道湾组烃源岩和古近系安集海河组烃源岩。其中, 在侏罗系八道湾组沉积期, 四棵树一

收稿日期: 2020-07-08

资助项目: 中国地质调查局项目“陆域油气资源战略选区与评价”(DD20190117)

作者简介: 张运波(1983—), 男, 高级工程师, 主要从事油气资源评价、沉积层序方面的研究工作。E-mail: zhangyb2014@foxmail.com

* 通讯作者: 王明健(1983—), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事盆地构造与油气成藏分析研究工作。E-mail: wangmingjian0328@qq.com

1.2 有机质类型

烃源岩的类型划分体现了有机质干酪根来源和演化的复杂性, 目前国内最常用的分类标准为 3 类 4 分法, 即按照母质特点分为腐泥型(I)、腐殖腐泥型(II₁)、腐泥腐殖型(II₂)、腐殖型(III)。

通过对四参 1 和卡 6 井八道湾组 8 个烃源岩样品的镜检结果分析表明, 壳质体含量介于 0~2, 表现为 III 型有机质; 四参 1 井镜质体含量为 0, 分析认为这种情况应为误差所致; 卡 6 井有机质镜质体含量介于 41~63, 表现为 II₂ 型有机质; Ti 表现为多种有机质类型(表 1)。综合认为, 四参 1 和卡 6 井八道湾组烃源岩主要为 II₂ 型和 III 型, 少量 II₁ 型和 I 型。而干酪根碳同位素含量分析结果显示, 卡 6 井八道湾组干酪根碳同位素含量介于 -22.27‰~-26.18‰, 干酪根类型有 II₂、III 型 2 类; 四参 1 井八道湾组烃源岩干酪根碳同位素介于 -23.20‰~-22.70‰, 干酪根类型以 III 型为主(图 2)。

表 1 八道湾组烃源岩有机质类型分析表
Table 1 Organic matter types of the source rocks in Badaowan Formation

井名	样品深度/m	样品编号	壳质体	镜质组	TI	有机质类型
四参1	4 644.5	R2001-1496	1	0	32	II ₂
	4 413.7	R2001-1495	2	0	55	II ₁
	4 295.4	R2001-1494	0	0	82	I
卡6	4 336	R2000-9437	1	41	21	II ₂
	4 324	R2000-9436	1	47	10	II ₂
	4 250	R2000-9435	1	63	-18	III
	4 170	R2000-9433	2	43	17	II ₂
	4 091	R2000-9434	2	57	-8	III

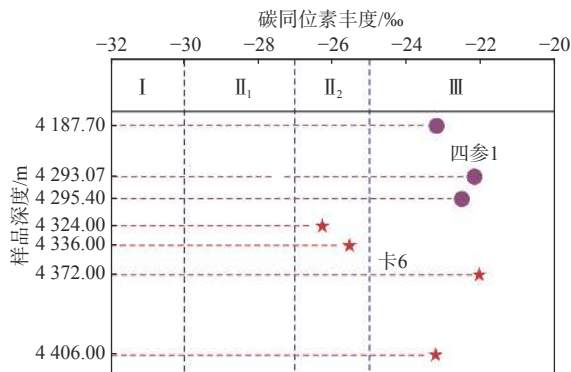


图 2 干酪根碳同位素丰度 ($\delta^{13}\text{C}$) 判断有机质类型^[29]
Fig.2 Carbon isotope abundance of kerogen ($\delta^{13}\text{C}$) to determine the organic matter type^[29]

1.3 有机质成熟度

烃源岩生烃潜力不仅取决于有机质类型和丰度, 还取决于其成熟度。只有当有机质演化到一定程度时才能大量生成和排出油气。大量研究已经证实, 镜质体反射率(R_0)、热解峰温(T_{max})及 C_{29} 甾烷异构化参数 $20\text{S}/20(\text{R}+\text{S})$ 是反映有机质成熟度的有效指标。

通常认为, 镜质体反射率 R_0 为 0.5% 是生油门限, 0.5% ~ 0.7% 为低成熟阶段, >0.7% 为成熟阶段。从现有烃源岩有机质样品的镜质体反射率来看, 八道湾组烃源岩成熟度全部进入了生油门限, 即 $R_0 > 0.5\%$, 绝大多数 >0.7%, 进入成熟阶段。而安集海河组烃源岩样品只有在深度 >4 000 m, 才能进入生油门限(图 3), 因此其作为有效烃源岩的分布范围较为局限。

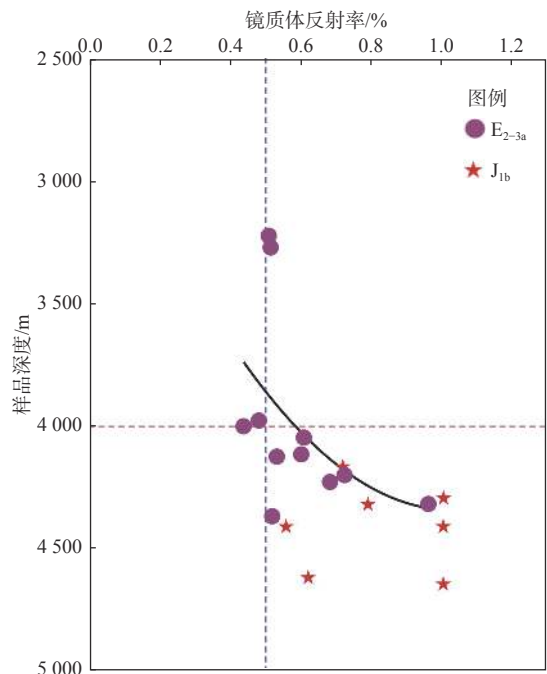


图 3 镜质体反射率垂向变化
Fig.3 Vertical change of the vitrinite reflectance

岩石热解峰温 T_{max} 随热演化程度的升高而增大, 大量统计数据显示: T_{max} 为 435 °C 时, 烃源岩达到生烃门限; T_{max} 介于 435 ~ 440 °C, 烃源岩处于低演化阶段; T_{max} 为 440 °C 时, 烃源岩进入大量生烃的成熟阶段。四棵树凹陷的 T_{max} 主要集中在 430 ~ 440 °C(表 2), 表明烃源岩有机质进入未熟—低熟阶段, 仅四参 1 井 4 644.5 m 处样品 T_{max} 为

表2 八道湾组烃源岩有机质热解峰温 (T_{\max}) [29]Table 2 Pyrolysis peak temperature (T_{\max}) of organic matter in source rocks of Badaowan Formation

井名	样品深度/m	样品编号	$T_{\max}/^{\circ}\text{C}$
四参1	4 548.00	R87-11323	432
四参1	4 524.00	R87-11322	433
四参1	4 514.00	R87-11321	434
卡6	4 170	R2000-09433	438
卡6	4 250	R2000-09435	412
卡6	4 324	R2000-09436	437
卡6	4 336	R2000-09437	437
四参1	4 644.5	R2001-01496	449
四参1	4 293.2	R87-10834	439
四参1	4 512.00	R87-11320	431
卡6	4 090	R2000-09434	433
四参1	4 642.15	R87-10855	386

449 $^{\circ}\text{C}$, 进入成熟阶段。

同样, C_{29} 甾烷异构化参数 $20\text{S}/20(\text{R}+\text{S})$ 值 < 0.25, 表明烃源岩处于未成熟阶段; 介于 0.25~0.42 处于低成熟阶段; >0.42 处于成熟阶段。从平面分布特征方面看, 卡6井、卡7及四参1井八道湾组烃源岩有机质成熟度最高, 已进入成熟阶段; 而西参2井区烃源岩有机质成熟度处于未熟—低熟阶段(表3)。据此可以推测, 烃源岩热演化程度最高的地区应处于卡6井区附近。

此外, 卡6井^[2]、四参1井^[10]和西湖1井 R_0 演化史^[17]揭示, 卡因迪克地区烃源岩整体演化程度较低, 在距今 10 Ma, 八道湾组烃源岩 R_0 值达到 0.6%, 而安集海河组烃源岩至今未成熟(埋深多 < 3 000 m),

表3 生物标记化合物成熟度指标分析

Table 3 Analysis of maturity indicators of biomarker compounds

井名	样品深度/m	备注	样品编号	$\text{aaaC}_{29}20\text{S}$	$\text{aaaC}_{29}20\text{R}$	$\text{aaaC}_{29}20\text{S}/20(\text{R}+\text{S})$
西参2	4 049	灰色粉砂质泥岩	R97-11105	9 504	116 864	0.075 2
西参2	4 081.62	深灰色泥岩	R97-11103	14 927	177 472	0.077 6
西参2	4 000	灰色砂质泥岩	R97-11104	12 320	130 584	0.086 2
卡6	3 240	灰绿色泥岩	R2000-08035	16 069	145 205	0.099 6
西湖1	4 034	灰色泥岩	R2010-08378	664 928	4 854 988	0.120 5
西参2	4 081.62	200 $^{\circ}\text{C}$ 深灰色泥岩	R97-11420	43 662	310 974	0.123 1
西参2	4 081.62	250 $^{\circ}\text{C}$ 深灰色泥岩	R97-11163	4 286	25 460	0.144 1
西参2	4 081.62	380 $^{\circ}\text{C}$ 热解油	O98-00507	16 978	88 952	0.160 3
卡6	4 170	灰褐色泥岩	R2000-09433	18 938	61 434	0.235 6
西参2	4 081.62	380 $^{\circ}\text{C}$ 深灰色泥岩	R97-11166	16 924	54 027	0.238 5
西参2	4 081.62	300 $^{\circ}\text{C}$ 深灰色泥岩	R97-11164	37 072	115 797	0.242 5
西参2	4 081.62	350 $^{\circ}\text{C}$ 深灰色泥岩	R97-11165	10 974	28 249	0.279 8
西参2	4 081.62	200 $^{\circ}\text{C}$ 热解油	O98-00506	8 015	18 914	0.297 6
卡6	3 266	灰绿色泥岩	R2000-08036	13 369	29 814	0.309 6
西参2	4 081.62	420 $^{\circ}\text{C}$ 热解油	O98-00508	4 484	9 872	0.312 3
卡6	3 220	灰绿色泥岩	R2000-08034	13 708	30 159	0.312 5
西4	4 310.95	灰绿色泥岩	R98-10931	28 061	58 425	0.324 5
西参2	4 081.62	460 $^{\circ}\text{C}$ 热解油	O98-00509	8 592	16 748	0.339 1
卡6	4 336	灰绿色泥岩	R2000-09437	7 921	14 577	0.352 1
卡6	4 090	褐灰绿色泥岩	R2000-09434	33 163	59 450	0.358 1
卡6	4 296	泥岩	R2000-09438	16 255	28 220	0.365 5
卡6	4 324	褐灰色泥岩	R2000-09436	28 227	45 265	0.384 1
西4	4 126	灰绿色泥岩	R98-10959	146 221	212 266	0.407 9
西4	3 981	灰绿色泥岩	R99-05264	102 841	147 961	0.410 0
西参2	4 081.62	500 $^{\circ}\text{C}$ 深灰色泥岩	R97-11169	7 104	10 202	0.410 5
西4	3 981	灰绿色泥岩	R98-10958	109 147	151 425	0.418 9
西参2	4 081.62	420 $^{\circ}\text{C}$ 深灰色泥岩	R97-11167	11 111	15 008	0.425 4
西参2	4 081.62	460 $^{\circ}\text{C}$ 深灰色泥岩	R97-11168	12 703	16 481	0.435 3
卡6	3 259.21	深灰绿色泥岩	R2000-05951	31 495	40 155	0.439 6
卡7	3 879.04	灰绿色粉砂质泥岩	R2001-02963	2 736	3 456	0.441 9
卡6	4 250	褐灰色泥岩	R2000-09435	34 086	42 534	0.444 9
西4	4 370	灰绿色泥岩	R98-10961	65 642	69 104	0.487 2
四参1	4 413.7	灰色泥岩	R2007-11968	686 962	693 569	0.497 6
四参1	4 295.4	粉砂质泥岩	R2001-01494	3 098	1 005	0.755 1
四参1	4 413.7	灰色泥岩	R2001-01495	82 459	13 244	0.861 6

注: 部分数据引自文献[29]。

准噶尔盆地南缘西段烃源岩演化程度总体偏低。这一结果与本次研究结果一致, 据此可以判定侏罗系八道湾组是本区的主力烃源岩。

2 原油分类及油源对比

生物标志物被称为分子化石, 其在原油中的分布是相对稳定的, 轻度或中等程度的生物降解作用对其没有明显的影响, 且运移效应对大部分生物标志物参数也没有明显的影响。因此生物标志物参数是划分对比原油族群、追索有机质的来源、分析原始沉积环境、母质性质等研究最理想的参数。因此本次研究主要根据生物标记化合物特征开展原油分类及油源对比研究。

2.1 原油分类

本次研究样品生物标志化合物中的萘烷系列特征较为接近, 因此本次研究主要采用甾烷系列生

物标记化合物进行。众所周知, 伽玛蜡烷在陆相盆地盐湖相或咸化环境的烃源岩和原油中含量高, 而在淡水环境的样品或腐殖煤中含量低。而规则甾烷碳数的内分布能够从分子水平上反映有机质输入的影响, 不同碳数的甾烷反映不同类型生物的贡献。其主要依据是: 在陆相沉积环境下, C_{27} 规则甾烷主要来源于低等水生生物藻类, C_{29} 规则甾烷主要来源于高等植物, C_{28} 规则甾烷也通常被认为主要来源于低等水生生物。据此选择伽玛蜡烷指数和规则甾烷及相对含量等能够反映母质原始形成环境的参数开展原油分类研究。

通过建立伽玛蜡烷指数- $\alpha\alpha\alpha C_{29}20R$ 甾烷交会图和伽玛蜡烷指数- $C_{28}/C_{29}20R$ 甾烷交会图, 可以将原油划分为 2 类: A 类和 B 类(表 4, 图 4)。其中, A 类原油伽玛蜡烷指数 > 0.20 , 介于 $0.22 \sim 0.30$, $\alpha\alpha\alpha C_{29}20R$ 甾烷在 3 种规则甾烷中的百分含量介于 $45.78 \sim 49.68$, 且 $C_{28}/C_{29}20R$ 甾烷值介于 $0.55 \sim 0.70$, 表明生油母质主要来源于低盐度湖相沉积环

表 4 四棵树凹陷齐古组原油分类

Table 4 Classification of crude oils in Qigu Formation in Sikeshu Sag

井名	样品编号	样品深度/m	备注	$C_{27}20R$ 甾烷含量/%	$C_{28}20R$ 甾烷含量/%	$C_{29}20R$ 甾烷含量/%	$C_{28}/C_{29}20R$ 甾烷	伽玛蜡烷指数	原油类型
西湖1	O2011-01302	5 996	原油	12.44	16.94	70.62	0.24	0.05	
西湖1	O2011-01836	5 996	原油	11.5	17.68	70.82	0.25	0.06	
西湖1	O2010-12577	6 139	原油	8.59	13.89	77.52	0.18	0.06	B
卡10	R2003-07505	3 702.74	灰色细砂岩	18.75	16.03	65.22	0.25	0.1	
卡6	O2007-13912	3 956	原油	30.05	16.25	53.7	0.3	0.07	
西湖1	O2010-11567	5 992	原油	27.08	25.8	47.12	0.55	0.22	
卡10	R2003-9051	3 844.62	灰色含砾粗砂岩	21.41	28.9	49.68	0.58	0.24	
卡10	R2003-9050	3 843.93	灰色砂砾岩	24.07	28.55	47.39	0.6	0.26	A
卡10	R2003-09057	3 849.78	浅灰色细砂岩	21.97	32.25	45.78	0.7	0.28	
卡10	R2003-09055	3 847.52	浅灰色中砂岩	21.68	31.36	46.96	0.67	0.3	

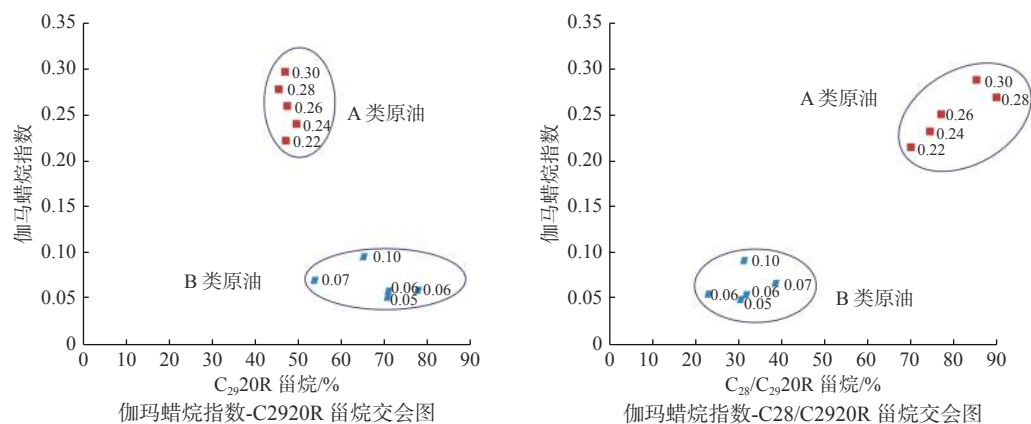


图 4 四棵树凹陷齐古组原油分类^[29]

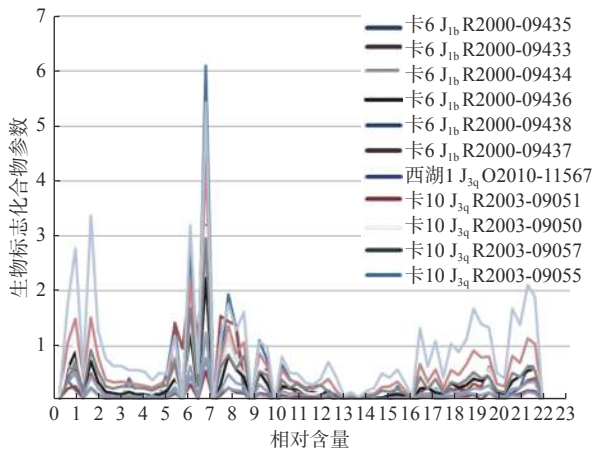
Fig.4 Classification of crude oils in Qigu Formation in Sikeshu Sag^[29]

境,低等水生生物贡献较大(表4);与之对应,B类原油伽玛蜡烷指数介于0.05~0.10, $\alpha\alpha\alpha\text{C}_{29}20\text{R}$ 甾烷在3种规则甾烷中的百分含量介于53.70~77.52,绝大多数>65.22,且 $\text{C}_{28}/\text{C}_{29}20\text{R}$ 甾烷值介于0.18~0.30,绝大多数<0.25,表明生油母质主要来源于高等植物(表4)。因此A类原油原始生油母质优于B类原油。

2.2 油源对比

油源对比的目的在于追踪油层中石油的来源,这对于石油勘探具有重要的意义。生物标志化合物多参数对比、生物标志物系列组分指纹图对比是进行油源对比最为有效的手段。四棵树凹陷齐古组A类原油和B类原油的指纹对比图也证实了这一点(图5)。前文已述,研究区主要发育2套3类烃源岩,包括侏罗系八道湾组灰色泥岩、炭质泥岩,以及安集海河组暗色泥岩。鉴于进入生油门限的安集海河组烃源岩分布较为局限,提出八道湾组烃源岩是本区的主力烃源岩。

对比结果表明,齐古组A类原油与四参1井八道湾组2个烃源岩样品(4413.7 m深度)以及卡6、卡10八道湾组烃源岩具有良好的亲缘关系(图5、



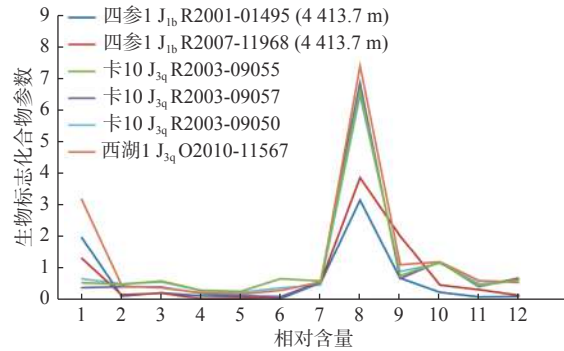
1- C_{19} 三环萜烷峰高值; 2- C_{22} 三环萜烷峰高值; 3- C_{25} 三环萜烷峰高值; 4- C_{24} 四环萜烷峰高值; 5- C_{29} 三环萜烷1峰高值; 6-十七 α 藿烷 TM 峰高值; 7- C_{29} 莫烷峰高值; 8- C_{30} 莫烷峰高值; 9- C_{30} 伽玛蜡烷峰高值; 10- C_{32} 藿烷2峰高值; 11- C_{33} 藿烷2峰高值; 12- C_{35} 藿烷1峰高值; 13-高妊烷峰高值; 14- βC_{27} 重排甾烷峰高值; 15- $\beta\alpha\text{C}_{28} 20\text{R}$ 重排甾烷峰高值; 16- $\alpha\beta\text{C}_{27} 20\text{S}+\alpha\alpha\text{C}_{28} 20\text{S}$ 重排甾烷; 17- $\alpha\alpha\alpha\text{C}_{27} 20\text{R}$ 峰高值; 18- $\alpha\beta\text{C}_{28} 20\text{S}1$ 峰高值; 19- $\alpha\beta\text{C}_{29} 20\text{R}1$ 峰高值; 20- $\alpha\beta\text{C}_{27} 20\text{R}$ 峰高值; 21- $\alpha\beta\text{C}_{28} 20\text{S}2$ 峰高值; 22- $\alpha\alpha\alpha\text{C}_{30} 20\text{S}$ 峰高值; 23- $\alpha\alpha\alpha\text{C}_{30} 20\text{R}$ 峰高值

图6 齐古组A类原油与八道湾组烃源岩对比^[29]

Fig.6 Comparison between type A crude oil in Qigu Formation and source rocks in Badaowan Formation^[29]

高泉1井原油和卡6井A类原油具有一定的相似性,但存在明显的差异(图8),推测高泉1井原油存在混源现象,又或者与卡6井原油来自不同的

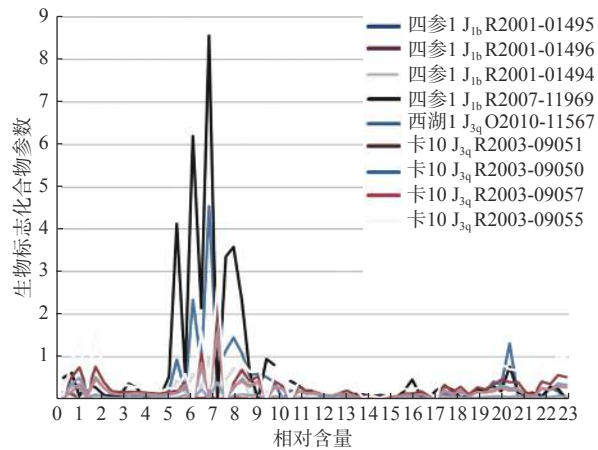
图6),而与四参1井八道湾组其他烃源岩样品亲缘关系差(图6),因此四参1井八道湾组烃源岩有机质具有多种来源。这一推论得到了八道湾组干酪根碳同位素的证实(表5)。齐古组B类原油与四参1井八道湾组烃源岩(不包括四参1井4413.7 m处的2个样品)特征具有良好的亲缘关系(图7)。因此,齐古组B类原油也来自于八道湾组烃源岩。



1- $\text{C}_{20}/\text{C}_{23}$ 三环萜烷; 2- $\alpha\alpha\alpha\text{C}_{29} 20\text{S}/(20\text{S}+20\text{R})$; 3-Ts/Tm; 4-伽玛蜡烷指数; 5-伽玛蜡烷/ C_{30} (藿烷+莫烷); 6- C_{23} 三环萜烷/ C_{30} 藿烷; 7- C_{29} (藿烷+莫烷)/ C_{30} (藿烷+莫烷); 8- C_{29} 藿烷/莫烷; 9- $\text{C}_{27} 20\text{R}/\text{C}_{28} 20\text{R}$ 甾烷; 10- $(\text{C}_{27}+\text{C}_{28})/\text{C}_{29} 20\text{R}$ 甾烷; 11- $\text{C}_{27} 20\text{R}/\text{C}_{29} 20\text{R}$ 甾烷; 12- $\text{C}_{28} 20\text{R}/\text{C}_{29} 20\text{R}$ 甾烷

图5 齐古组A类原油与八道湾组烃源岩对比^[29]

Fig.5 Comparison between type A crude oil in Qigu Formation and source rocks in Badaowan Formation^[29]



1- C_{19} 三环萜烷峰高值; 2- C_{22} 三环萜烷峰高值; 3- C_{25} 三环萜烷峰高值; 4- C_{24} 四环萜烷峰高值; 5- C_{29} 三环萜烷1峰高值; 6-十七 α 藿烷 TM 峰高值; 7- C_{29} 莫烷峰高值; 8- C_{30} 莫烷峰高值; 9- C_{30} 伽玛蜡烷峰高值; 10- C_{32} 藿烷2峰高值; 11- C_{33} 藿烷2峰高值; 12- C_{35} 藿烷1峰高值; 13-高妊烷峰高值; 14- βC_{27} 重排甾烷峰高值; 15- $\beta\alpha\text{C}_{28} 20\text{R}$ 重排甾烷峰高值; 16- $\alpha\beta\text{C}_{27} 20\text{S}+\alpha\alpha\text{C}_{28} 20\text{S}$ 重排甾烷; 17- $\alpha\alpha\alpha\text{C}_{27} 20\text{R}$ 峰高值; 18- $\alpha\beta\text{C}_{28} 20\text{S}1$ 峰高值; 19- $\alpha\beta\text{C}_{29} 20\text{R}1$ 峰高值; 20- $\alpha\beta\text{C}_{27} 20\text{R}$ 峰高值; 21- $\alpha\beta\text{C}_{28} 20\text{S}2$ 峰高值; 22- $\alpha\alpha\alpha\text{C}_{30} 20\text{S}$ 峰高值; 23- $\alpha\alpha\alpha\text{C}_{30} 20\text{R}$ 峰高值

图6 齐古组A类原油与八道湾组烃源岩对比^[29]

Fig.6 Comparison between type A crude oil in Qigu Formation and source rocks in Badaowan Formation^[29]

烃源岩。何海清等^[25]通过研究侏罗系八道湾组烃源岩发育特征发现,淮南侏罗系烃源岩现今以生气为主,高探1井天然气组分中甲烷含量为72.39%~

表 5 四棵树凹陷侏罗系八道湾组烃源岩干酪根中碳同位素分布特征^[29]

Table 5 Distribution characteristics of the kerogen carbon isotope of source rocks in Badaowan Formation in Sikeshe Sag^[29]

井名	样品深度/m	样品编号	干酪根碳同位素	备注
卡6	4 324	R2000-09436	-26.18	褐灰色泥岩
卡6	4 336	R2000-09437	-25.58	灰绿色泥岩
四参1	4 293.18	R87-10834	-22.695	黑灰色泥质粉砂岩
四参1	4 295.4	R2001-01494	-22.75	粉砂质泥岩

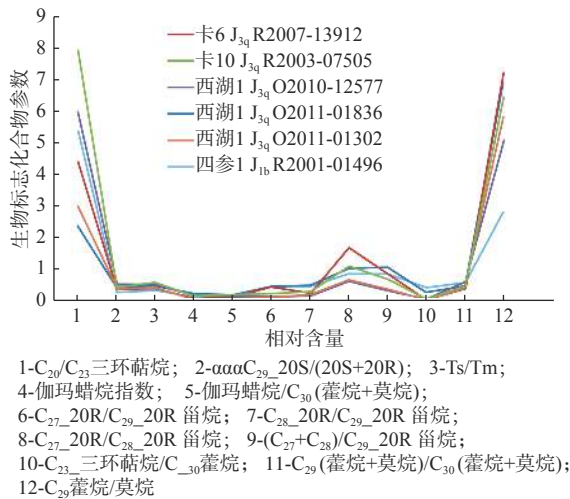


图 7 齐古组 B 类原油与八道湾组烃源岩对比^[29]

Fig.7 Comparison between Type B crude oil in Qigu Formation and source rocks in Badaowan Formation^[29]

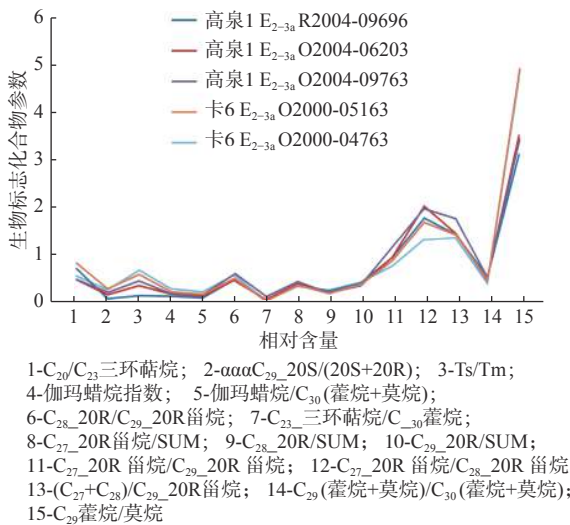


图 8 高泉 1 和卡 6 井油油对综合对比

Fig.8 Comprehensive oil-oil comparison between Gaoquan-1 and Ka-6 wells

75.14%, 干燥系数为 0.75~0.78, 甲烷碳同位素值为 -40.49‰, 乙烷碳同位素值为 -29.14‰, 丙烷碳同位

素值为 -26.90‰, 天然气组分碳同位素偏轻, 反映天然气来源于处于成熟阶段的烃源岩。除此之外, 四棵树凹陷南缘山前凹陷侏罗系八道湾组烃源岩厚度大、埋深大, 与高探 1 井距离近。而高泉构造西侧侏罗系烃源岩成熟度相对较低, 以生油为主, 与高探 1 井油气特征差异大。据此认为高探 1 井中油气应主要来源于其南部的山前生烃凹陷, 高泉凸起南部山前地带具有巨大的勘探潜力。

3 油气运移分析

由于地层对不同生物标志物吸附能力的差异, 生物标志化合物在原油的运移过程中, 其相对损失量会出现差异。据此可以选择性质稳定的生物标志化合物构建出能够反映出油气运移变化的新参数, 通过分析这类参数在平面上的变化趋势, 分析原油的运移方向。本次研究主要选用了三环萜烷/五环三萜烷、重排甾烷/规则甾烷比值参数, 分别对 A 类和 B 类原油开展了油气运移分析。需要注意的是, 卡 6 井样品位于断裂发育带, 可能存在混源现象, 故分析油气运移时未采用这一样点。

三环萜烷/五环三萜烷、重排甾烷/规则甾烷比值具有随运移距离增加而增大的趋势。对于 A 类原油而言, 随深度逐渐变小, 油气运移距离的增加, 卡 10 井齐古组有 3 个样品点逐渐变大。平面上运移效应更为明显, 西湖 1 井三环萜烷/五环三萜烷高达 0.728 4(表 6)。重排甾烷/规则甾烷垂向运移效应不明显, 但平面上从 0.370 9(卡 10 井重排甾烷/规则甾烷平均值)转变成西湖 1 井齐古组的 0.377 8。

B 类原油也表现出明显的运移效应。西湖 1 井 3 个样品点重排甾烷/规则甾烷垂向运移效应明显, 而三环萜烷/五环三萜烷的运移效应不明显, 但平面上的运移效应极为明显。三环萜烷/五环三萜烷从卡 10 井样品点的 0.058 0 增大至西湖 1 井的 0.083 0(西湖 1 井三环萜烷/五环三萜烷平均值); 重排甾烷/规则甾烷从卡 10 井的 0.335 0 增大至西湖 1 井的 0.342 4(西湖 1 井重排甾烷/规则甾烷平均值)。据此可以判定油气运移方向应该为自西(卡 10 井区)向东(西湖 1 井区)方向。这一认识也得到了原油碳同位素特征的证实(表 7)。四棵树凹陷齐古组原油碳同位素组成介于 -25.93‰~-28.86‰,

主要分布在-26.48‰~-26.55‰(表7)。在平面上看,卡6井与西湖1井碳同位素值相近,推测西湖

背斜原油来源于西部卡因迪克地区的侏罗系八道湾组烃源岩。

表6 油气运移生物标记化合物参数^[29]

Table 6 Parameters of biomarker compounds for oil and gas migration

井号	样品深度/m	样品编号	样品类型	三环萜烷/五环三萜烷	重排甾烷/规则甾烷	伽玛蜡烷指数	原油类别	
卡10	3 849.78	R2003-09057	浅灰色细砂岩	0.383 7	0.406 1	0.276 9	A	
卡10	3 847.52	R2003-09055	浅灰色中砂岩	0.644 7	0.353 6	0.296 2		
卡10	3 843.93	R2003-09050	灰色砂砾岩	0.446 5	0.353 1	0.258 2		
西湖1	5 992	O2010-11567	原油	0.728 4	0.377 8	0.221 4	卡6	
卡6	3 956	O2007-13912	原油	0.120 6	0.427 9	0.070 5		
卡10	3 702.74	R2003-07505	灰色细砂岩	0.058 0	0.335 0	0.096 2		
西湖1	6 139	O2010-12577	原油	0.104 4	0.302 4	0.058 7		B
西湖1	5 996	O2011-01836	原油	0.071 6	0.355 1	0.058 2		
西湖1	5 996	O2011-01302	原油	0.072 9	0.369 7	0.052 4		

表7 四棵树凹陷侏罗系齐古组原油中碳同位素分布特征

Table 7 Carbon isotope distribution characteristics of the Jurassic Qigu Formation in the Sikeshe Sag

井名	样品深度/m	样品编号	原油碳同位素/‰
卡6	3 956	02007-13912	-26.54
西湖1	5 992	02010-11567	-28.8
西湖1	5 996	02011-01302	-26.48
西湖1	6 139	02010-12577	-25.93
西湖1	5 996	02011-01836	-26.55
西湖1	6 139	02010-12484	-26.33

4 结论

通过本次研究取得如下认识:①研究区主要发育八道湾组和安集海河组2套有效烃源岩,八道湾组烃源岩有机质类型主要为Ⅱ₂和Ⅲ型,处于低成熟阶段,而安集海河组烃源岩多未达到成熟阶段;②准噶尔盆地南缘西段原油可以分为A类和B类,分别对应于卡因迪克地区侏罗系八道湾组泥质烃源岩和煤系烃源岩,且A类原油原始生油母质优于B类;③高泉构造区原油与卡因迪克地区烃源岩不具备油源关系,高探1井原油主要来源于其南部的山前生烃凹陷。

根据这些认识可以认为,西湖构造区和卡因迪克地区隶属于同一个成藏体系;高泉构造及其南部地区隶属于另一个成藏体系。前人研究^[5-7]证实,独山子油田及其东部地区隶属于另外一个成藏体系。其中,卡因迪克地区成藏体系中的有效烃源岩成熟度相对较低,限制了该区烃源岩的排烃量,且

以生油为主,其生烃能力和油气运移距离限制了这一地区的油气分布范围,针对这一含油气系统的油气勘探应该围绕卡因迪克地区周缘潜在的构造。针对高泉构造及其南部成藏体系,油气来源于其南部优势运移通道。这一成藏体系中的有效烃源岩成熟度高,排烃量大,因此针对该区的油气勘探应该向东南方向逐步推进。

参考文献:

- [1] 陈建平,王绪龙,邓春萍,等.准噶尔盆地南缘油气生成与分布规律:典型类型原油油源对比[J].石油学报,2016,37(2):160-171.
- [2] 林小云,覃军,聂婉,等.准噶尔盆地南缘卡因迪克地区油气成藏模式研究[J].石油实验地质,2014,36(3):304-309.
- [3] 林小云,覃军,陈哲,等.淮南四棵树凹陷烃源岩评价及分布研究[J].石油天然气学报(江汉石油学院学报),2013,35(11):1-5.
- [4] 覃军,林小云,潘虹,等.准噶尔盆地南缘四棵树凹陷及周缘油源关系研究[J].矿物岩石地球化学通报,2014,33(3):395-400.
- [5] 陈建平,王绪龙,邓春萍,等.准噶尔盆地南缘油气生成与分布规律:原油地球化学特征与分类[J].石油学报,2015,36(11):

- 1315-1331.
- [6] 陈建平, 王绪龙, 邓春萍, 等. 准噶尔盆地南缘油气生成与分布规律: 烃源岩地球化学特征与生烃史[J]. *石油学报*, 2015, 36(7): 767-780.
- [7] 陈建平, 王绪龙, 邓春萍, 等. 准噶尔盆地南缘油气生成与分布规律: 典型油藏油源解剖与原油分布规律[J]. *石油学报*, 2016, 37(4): 415-429.
- [8] 郭春清, 沈忠民, 张林晔, 等. 准噶尔盆地南缘烃源岩生源特征及原油分类[J]. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 2005, 32(3): 257-262.
- [9] 孔祥星. 准噶尔盆地南缘西部山前断褶带油源分析[J]. *石油勘探与开发*, 2007, 34(4): 413-418.
- [10] 黄彦庆, 钱门辉, 张民伟. 准噶尔盆地南缘四棵树凹陷油气成藏综合分析[J]. *石油天然气学报(江汉石油学院学报)*, 2009, 31(5): 7-11.
- [11] 魏东涛, 贾东, 赵应成, 等. 准噶尔盆地南缘白垩系原油成藏特征[J]. *地质论评*, 2008, 54(3): 399-409.
- [12] 张枝焕, 向奎, 秦黎明, 等. 准噶尔盆地四棵树凹陷烃源岩地球化学特征及其对车排子凸起油气聚集的贡献[J]. *中国地质*, 2012, 39(2): 326-337.
- [13] 邵雨. 准噶尔盆地南缘深层下组合侏罗系油气成藏研究[J]. *高校地质学报*, 2013, 19(1): 86-94.
- [14] 魏东涛, 贾东, 赵应成, 等. 准噶尔盆地南缘原油地球化学特征[J]. *石油与天然气地质*, 2007, 28(3): 433-440.
- [15] 况军. 准噶尔盆地四棵树凹陷油气生成、运移及聚集探讨[J]. *石油实验地质*, 1992, 14(3): 272-281.
- [16] 黄彦庆, 侯读杰. 准噶尔盆地四棵树凹陷原油地球化学特征分析[J]. *天然气地球科学*, 2009, 20(2): 282-286.
- [17] 张兴雅, 赵龙, 党思思, 等. 准噶尔盆地白垩系烃源岩与原油地球化学特征[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2015, 34(3): 626-632.
- [18] 陈建平, 赵喆, 梁狄刚, 等. 准噶尔盆地多烃源岩资源潜力及成藏地球化学研究[R]. 北京: 中国石油勘探开发研究院, 2008.
- [19] 靳涛. 准噶尔盆地南缘原油地球化学特征[R]. 克拉玛依: 中国石油天然气集团公司新疆石油管理局勘探开发研究院, 2008.
- [20] 吴晓智, 吴鉴, 夏显佰, 等. 准噶尔盆地南缘四棵树凹陷油气成藏条件及勘探目标评价[R]. 克拉玛依: 中国石油新疆油田公司勘探开发研究院, 2001.
- [21] 王绪龙, 陈建渝, 吴晓智. 准噶尔盆地南缘四棵树凹陷区含油气系统形成、演化与评价[R]. 克拉玛依: 中国石油新疆油田公司勘探开发研究院, 2002.
- [22] 李学义, 邵雨, 李天明. 准噶尔盆地南缘三个油气成藏组合研究[J]. *石油勘探与开发*, 2003, 30(6): 32-35.
- [23] 张越迁, 唐勇, 曹剑, 等. 腹部重点区块复杂油气源识别与成藏主控因素研究[R]. 克拉玛依: 中国石油新疆油田公司勘探开发研究院, 2011.
- [24] 杜金虎, 支东明, 李建忠, 等. 准噶尔盆地南缘高探1井重大发现及下组合勘探前景展望[J]. *石油勘探与开发*, 2019, 46(2): 205-215.
- [25] 何海清, 支东明, 雷德文, 等. 准噶尔盆地南缘高泉背斜战略突破与下组合勘探领域评价[J]. *中国石油勘探*, 2019, 24(2): 137-146.
- [26] 靳军, 王飞宇, 任江玲, 等. 四棵树凹陷高探1井高产油气成因与烃源岩特征[J]. *新疆石油地质*, 2019, 40(2): 145-151.
- [27] 梁宝兴, 周伟, 刘勇, 等. 四棵树凹陷高探1井流体特征及油藏类型分析[J]. *新疆石油地质*, 2019, 40(2): 152-155.
- [28] 中国石油天然气总公司. SY/T 5735—1995, 陆相烃源岩地球化学评价方法[S]. 北京: 石油工业出版社.
- [29] 石新朴, 齐雪峰, 史全党等. 准噶尔盆地四棵树凹陷侏罗系烃源岩特征及油源分析[J]. *地质科学*, 2020, 55(4): 974-988.

MAIN OIL SOURCE ROCKS AND OIL-SOURCE CORRELATION IN THE SIKESHU SAG, THE SOUTHERN MARGIN OF JUNGGAR BASIN

ZHANG Yunbo¹, WANG Mingjian^{2,3*}, DU Zhili¹, YUAN Qingdong⁴

(1 Oil and Gas Survey, China Geological Survey, Beijing 100083, China; 2 Qingdao Institute of Marine Geology, China Geological Survey, Qingdao 266071, China; 3 Laboratory for Marine Mineral Resources, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071, China; 4 PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Beijing 100083, China)

Abstract: The risk exploration well Gaotan-1 was operated in 2019 on the Gaoquan east anticline of the Sikesu Sag on the southern margin of the Junggar Basin. The Cretaceous Qingshuihe Formation was tested and obtained a daily high-yield oil-producing gas stream, confirming that the Sikesu Sag is a potentially enriched area for oil and gas. In order to ascertain the oil and gas enrichment process in the Sikesu Sag and clarify the future exploration direction, by collecting and sorting out the oil and gas geochemical data from key exploration wells, we made a detailed study in this paper on source rock evaluation, oil source comparison, and oil and gas migration characteristics. The results show that: ① Two sets of effective source rocks in the Badaowan Formation and Anjihaihe Formation respectively are well developed in the Kayindike area. The organic matters of the source rocks in the Badaowan Formation are dominated by types II₂ and III in low-maturity stage. The source rocks in the Anjihaihe Formation, however, must be buried deeper than 4 000 m to become effective source rocks; ② The West Lake anticline crude oil can be classified into types of A and B, corresponding to the argillaceous source rocks of the Jurassic Badaowan Formation in the Kayindike area and the coal series source rocks, and the original crude oil parent materials of Type A crude oil is better than that of Type B; ③ The crude oil in the Gaoquan structural area has no oil source relationship with the source rocks in Kayindike area. It is speculated that the crude oil from Well Gaotan 1 came from the piedmont hydrocarbon generation center in the south, and, therefore, the south is a favorable area for oil and gas exploration.

Key words: source rocks; geochemistry; oil-source correlation; southern margin of Junggar Basin; Sikesu Sag