

准噶尔盆地四棵树凹陷原油地球化学特征分析

黄彦庆^{1,2}, 侯读杰³

(1. 中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 中国石油大学, 北京 102249;

3. 中国地质大学(北京), 北京 100083)

摘要:对四棵树凹陷主要含油气构造进行了系统的取样, 然后对独山子背斜、西湖背斜和卡因迪克背斜主要含油层系进行了气相色谱和色谱—质谱分析, 最后对这些原油的成熟度、生油母质和来源等进行了综合分析, 取得了如下认识: 紫泥泉子组原油和齐古组原油具有类似的地球化学特征, 多数为成熟原油, 沙湾组原油与两者存在一定差别, 多数为低熟油; 沙湾组油藏原油主要来源于下伏安集海河组烃源岩, 少量来自于中下侏罗统烃源岩; 紫泥泉子组和齐古组原油生物标志化合物参数相同, 主要来自于下部中下侏罗统烃源岩。

关键词:准噶尔盆地; 四棵树凹陷; 原油地球化学特征; 油源分析

中图分类号: TE122.1⁺13

文献标识码: A

文章编号: 1672-1926(2009)02-0282-05

0 引言

四棵树凹陷位于准噶尔盆地南缘西段, 隶属于北天山山前冲断带^[1], 北部是车排子凸起, 西南边界是伊林黑比尔根山, 东邻昌吉凹陷。盆地内发育燕山期和喜马拉雅期断裂及其相关褶皱, 目前已发现独山子、西湖和卡因迪克等含油气构造(图1)。该凹陷发育中—新生界地层, 自下而上依次划分为中下侏罗统的八道湾组、三工河组、西山窑组和头屯河组, 上侏罗统的齐古组, 白垩系的吐谷鲁群和东沟组, 古近系的紫泥泉子组和安集海河组, 新近系的沙湾组、塔西河组和独山子组以及第四系。

研究区具备良好的生、储、盖及圈闭条件。①烃源岩: 主要包括中下侏罗统(八道湾组、三工河组、西山窑组)灰黑色泥岩、炭质泥岩及煤岩和古近系安集海河组黑色泥岩; ②储集层: 齐古组、紫泥泉子组、安集海河组和沙湾组4套砂岩和砂砾岩储层; ③盖层: 分别是吐谷鲁群湖泊相泥岩、安集海河组深湖相泥岩和塔西河组湖相泥岩; ④圈闭: 断层相关褶皱, 生成的油气沿着逆冲断裂进入这些构造有利储层中聚集成藏。目前已发现齐古组、紫泥泉子组、安集海河组和沙湾组4套含油气层系。

前人对这些层系的油源存在多种认识^[2-4], 本次研究收集了独山子和卡因迪克背斜关键井的油样以及西湖背斜探井的含油岩心(图1), 然后对其进行了气相色谱、色谱—质谱和碳同位素分析。最后系统分析了凹陷原油地化特征, 指明其油源, 为该凹陷成藏规律研究和勘探潜力分析打下坚实基础。

1 饱和烃馏分特征

饱和烃馏分是原油中的优势组成, 饱和烃馏分中的各类化合物的分布、组成特征反映了有机质的来源、成熟度及成藏中的次生变化^[5], 下面对馏分中各类化合物分别进行分析。

1.1 正构烷烃

正构烷烃是非生物降解原油饱和烃馏分中的优势组分, 沙湾组原油正构烷烃系列分布不完整, 普遍缺失C₁₆以前的正构烷烃, 独85井和独36井更是仅剩部分正构烷烃; 另外可见原油色谱基线发生了不同程度的“鼓包”(图2), 尤其是独185井, 独85井和独36井, 通常认为这是因生物降解引起的环烷烃和异构烷烃的富集, 而使色谱难以分辨的结果, 即原油遭受生物降解作用的标志。通过对原油族组分分析, 没有生物降解的迹象, 由于这5个样品取之地

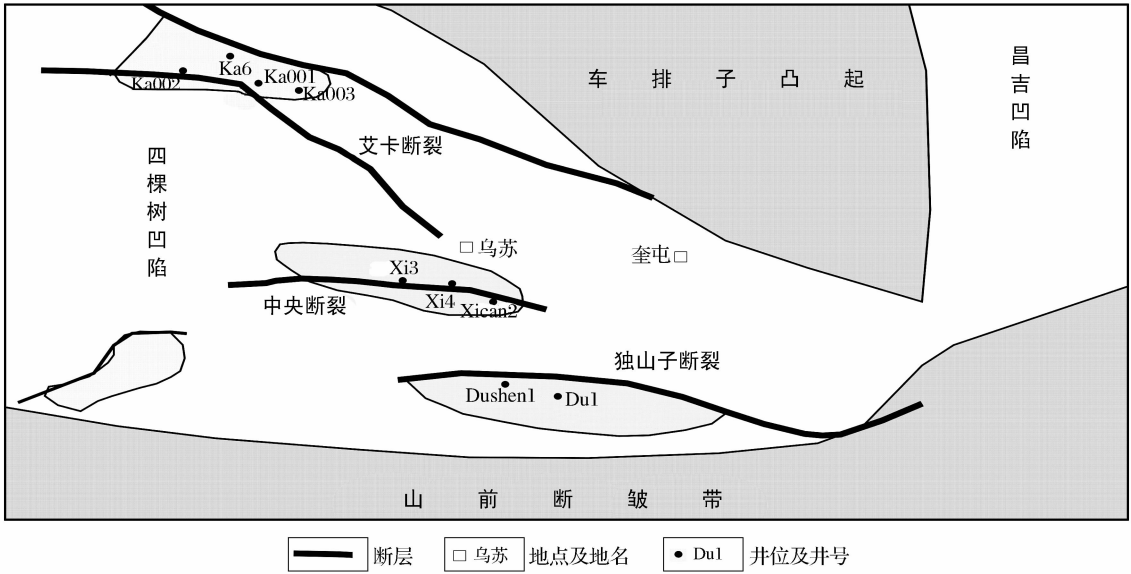


图 1 四棵树凹陷主要含油气构造位置及主要取样点分布

表,长期暴露于大气过程中遭受了生物降解,不代表地下原油的真实富存状态,所以不能应用这几个样品正构烷烃来判断沙湾组原油成熟度。

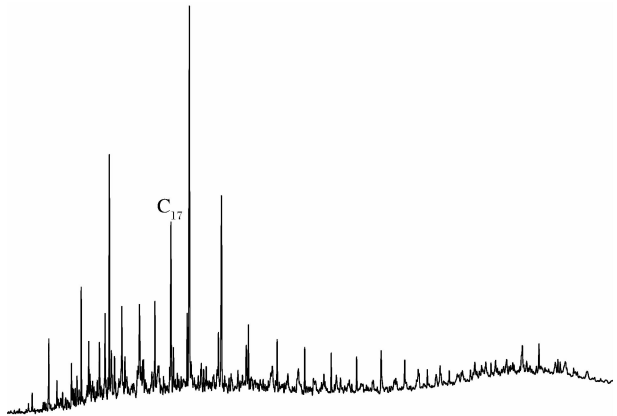


图 2 独 36 井沙湾组原油气相色谱

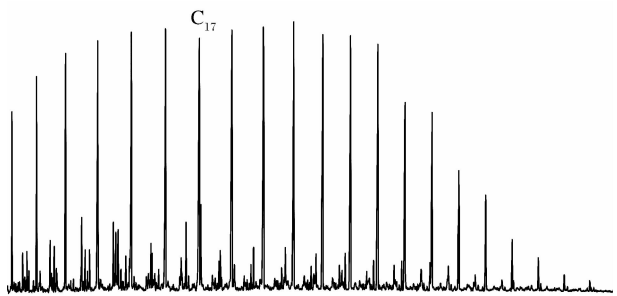


图 3 卡 6 井齐古组原油总离子流

卡因迪克背斜紫泥泉子组和齐古组原油具有完整的正构烷烃系列, C_{25} 以前的低分子量正构烷烃占优势,基本上不具有奇偶优势(图 3),CPI,OEP 接近 1,反映了这部分原油具有较高的成熟度;同时这 2 部分原油的 $(C_{21} + C_{22}) / (C_{28} + C_{29})$ 值都在 4.2 以

上,而 C_{21}^- / C_{22}^+ 值在 2.24 以上,原油均具有轻组分优势,反映了原油的成熟度较高。

1.2 类异戊二烯烷烃

Pr/Ph、Ph/nC₁₈ 和 Pr/nC₁₇ 值通常反映烃源岩有机相特征,由于这些参数受成熟度的影响,所以在同等成熟度范围内其有机相的意义是非常重大的。

图 4 展示了研究区不同含油层段原油 Pr/Ph 和 Ph/nC₁₈ 值分布和变化具有明显的规律性,沙湾组原油 Pr/Ph 值最小,普遍小于 1.55,反映了其母质沉积于弱还原环境;而紫泥泉子组和齐古组原油 Pr/Ph 值较大,普遍大于 2,两者母源的有机相是相似的,都沉积于弱氧化环境。由此判断,沙湾组油层与下部 2 套油层的原油具有不同来源。

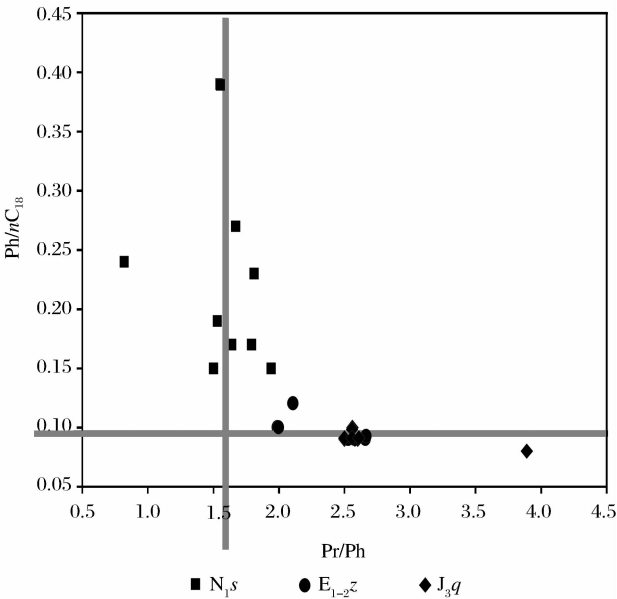


图 4 原油 Pr/Ph 值和 Ph/nC₁₈ 值相关特征

1.3 三环萜烷和四环萜烷

三环萜烷抗生物降解能力较藿烷和甾烷强,在严重生物降解原油中,甾烷和藿烷完全被改变,而三环萜烷没有受到影响;在严重降解原油中,三环萜烷可作为油源对比指标^[6]。

研究区内不同含油层系三环萜烷含量相对较少,这是陆相原油的普遍特征,相比较而言,沙湾组原油 C_{19} 三环萜烷含量较低,普遍小于 40%,而 C_{19}/C_{21} 值普遍小于 2;紫泥泉子组和齐古组原油 C_{19} 三环萜烷普遍大于 50%,而 C_{19}/C_{21} 值普遍大于 3,这些指标反映了后者生油母质中高等植物注入量较前者多。

1.4 藿烷系列和伽马蜡烷

藿烷由一个六元环和一个五元环组成的三萜类,其前驱物为细胞壁中的细菌藿烷四醇和一般存在于原核微生物中的其他多功能团 C_{35} 藿烷类化合物^[7]。沙湾组原油藿烷系列 C_{31} 藿烷含量较高, $C_{31}H/C_{30}H$ 值分布范围是 0.56~0.63;卡因迪克背斜紫泥泉子组和齐古组原油 C_{31} 藿烷含量较低,一般为 0.47~0.5,表明其成因的不同。

伽马蜡烷是一种 C_{30} 三萜烷,它常常出现在高盐度水体环境。沙湾组原油中伽马蜡烷含量相对较高, $G/C_{30}H$ 值一般大于 0.26,主要分布在 0.26~0.34 之间;而紫泥泉子组和齐古组原油中伽马蜡烷含量较低, $G/C_{30}H$ 值一般小于 0.1,主要分布在 0.06~0.1 之间;上下油层伽马蜡烷含量相差较大,反映了两者生油母质沉积环境具有较大差异,前者为半咸化湖相沉积,后者为淡水环境沉积。

1.5 甾烷特征

甾烷类化合物起源于甾醇,许多研究表明,不同生物体内甾醇的分布是不同的,高等植物主要含 C_{29} 胆甾醇,即 β -谷甾醇 C_{29} 、豆甾醇 C_{29} 、麦角甾醇 C_{28} 和菜油甾醇 C_{28} 。而动物和水生浮游生物(主要是藻类)以 C_{27} 胆甾醇为主,其次是 C_{28} 胆甾醇^[8]。

沙湾组和安集海河组 C_{27} — C_{28} — C_{29} 指纹基本一致,呈不规则的“V”字型,表现为 $C_{27} > C_{28} < C_{29}$, C_{27}/C_{29} 值为 0.7~0.79,既没有表现出典型的湖相特征,也没有典型的河—湖沼泽相特征,而是介于两者之间的一种类型,即生油母质以水生生物为主,同时有部分陆源生物注入,通过与四棵树凹陷主要烃源岩对比,发现与安集海河组烃源岩 C_{27} — C_{28} — C_{29} 甾烷分布较一致(图 5)。

紫泥泉子组和齐古组 C_{27} — C_{28} — C_{29} 指纹较一致,均表现为 $C_{27} \approx C_{28} < C_{29}$, C_{27}/C_{29} 值在 0.5 左右,

反映了两者生油母质较一致,即生油母质主要以陆源高等植物为主,通过与四棵树凹陷主要烃源岩对比,发现与中下侏罗统煤系烃源岩较一致(图 6)。

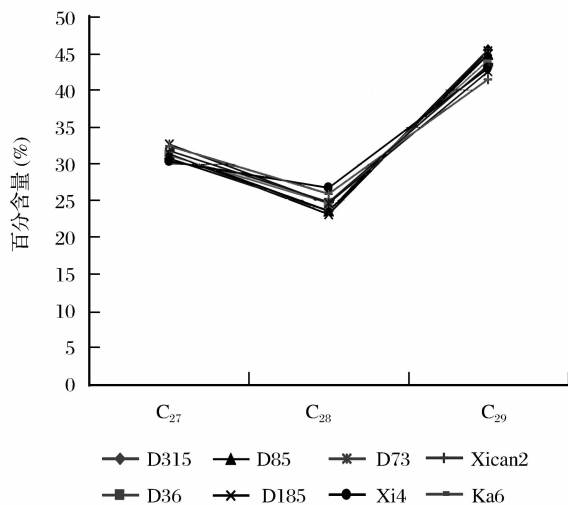


图 5 沙湾组和安集海河组原油规则甾烷指纹对比

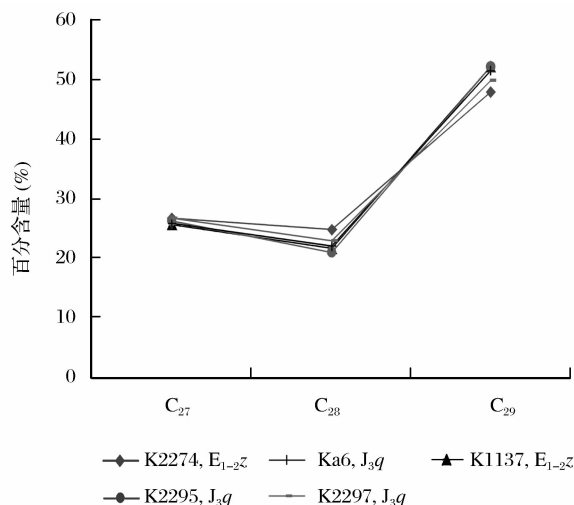


图 6 紫泥泉子组和齐古组原油规则甾烷指纹对比

2 原油成熟度分析

研究区原油藿烷 $C_{32} 20S/R$ 值和 C_{29} 甾烷 $20S/(20S+20R)$ 值分布如图 7 所示。

沙湾组原油藿烷 $C_{32} 20S/R$ 值介于 0.684 和 1.295 之间,全部小于 1.45,甾烷 $C_{29} 20S/(20S+20R)$ 值介于 0.34 和 0.42 之间,综合判断,这些原油为低熟油。

紫泥泉子组长 003 井 2 个油样藿烷 $C_{32} 20S/R$ 值分别是 1.161 和 1.275,对应的甾烷 $C_{29} 20S/(20S+20R)$ 值分别是 0.364 和 0.407,属于低熟油;而卡 2274 井和卡 1137 井原油属于成熟油。

齐古组 3 个油样藿烷 $C_{32} 20S/R$ 介于 1.325 和

1.445 之间,甾烷 $C_{29} 20S/(20S+20R)$ 介于 0.431 和 0.454 之间,综合判断,这些原油为成熟油。

沙湾组原油 C_{29} 甾烷 $20S/(20S+20R)$ 小于 0.39, C_{29} 甾烷 $20R\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 小于 0.42,根据甾烷参数划分原油成熟度标准,属于低熟油;紫泥泉子组原油除了卡 003 井以外,其他井为成熟油;齐古组 3 个油样全部为成熟油。

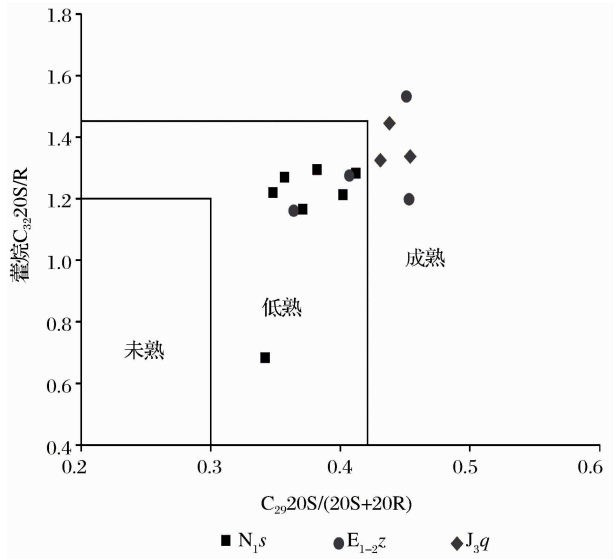


图 7 研究区原油甾烷 $C_{32} 20S/R$ 值和 C_{29} 甾烷 $20S/(20S+20R)$ 值关系

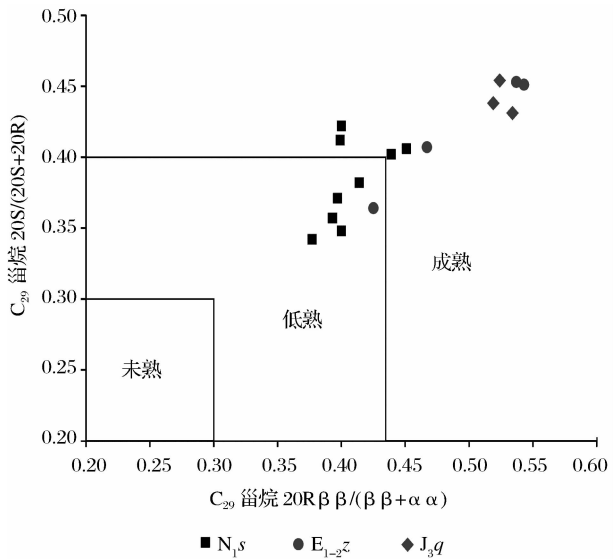


图 8 原油 C_{29} 甾烷 $20S/(20S+20R)$ 和 C_{29} 甾烷 $20R\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 关系

3 生油母质分析

综合分析,研究区内油藏可以分为 3 种类型,它们之间地化特征的差异反映了生油母质的差异,下面就对其进行分析。

3.1 独山子和西湖背斜沙湾组油藏

沙湾组原油碳同位素相对较轻,排除了煤系地层生油的可能;Pr/Ph 值一般小于 1.5,反映了弱还原环境;三环萜烷 C_{19}/C_{21} 值小于 2,反映了生油母质以水生生物为主;伽马蜡烷/ C_{30} 藿烷值大于 0.26,反映了半咸水环境;规则甾烷 $C_{27}-C_{28}-C_{29}$ 分布呈半“V”字型(图 9),但仍然以 C_{29} 为主,既非典型的湖相环境,又非典型的河—湖沼泽相环境^[9-10]。

综合判断,沙湾组油藏生油母质应为水生生物和陆源高等植物的混和物,但以水生生物为主;其沉积环境是弱还原、半咸水的湖泊相。

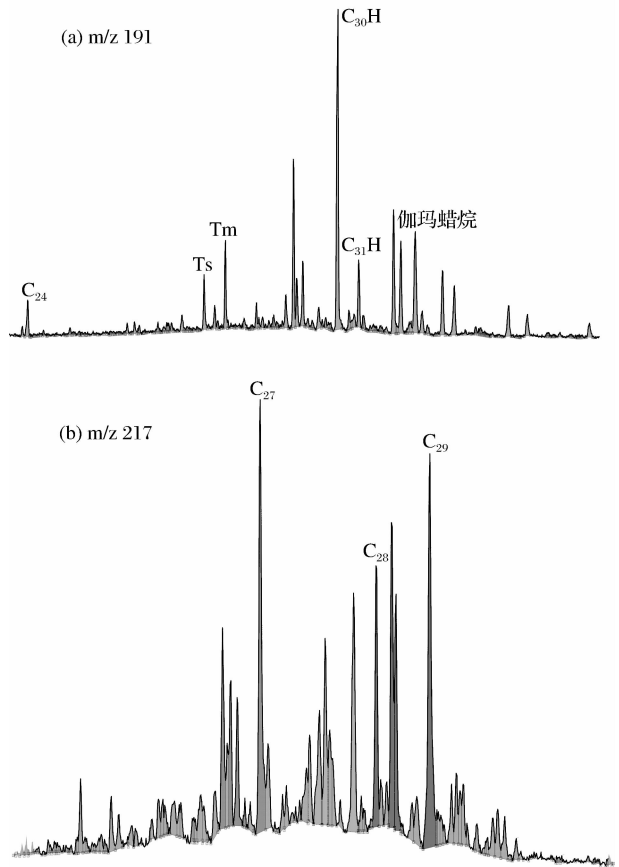


图 9 独 36 井沙湾组原油甾烷、萜烷指纹分布

3.2 安集海河组油藏

安集海河组油样较少,不能进行系统分析,但是收集到的样品地化特征与沙湾组相似。碳同位素值较轻,介于 $-27.72\text{‰} \sim -28.66\text{‰}$ 之间,近似于深湖相原油;Pr/Ph 值为 1.15,具有植烷优势,反映了弱还原沉积环境;规则甾烷 $C_{27}-C_{28}-C_{29}$ 分布呈半“V”字型, C_{27}/C_{29} 值为 0.73。

综合分析,安集海河组油藏生油母质以水生生物为主,含有少量陆源高等植物;其沉积环境是弱还原的深湖相。

3.3 紫泥泉子组和齐古组油藏

紫泥泉子组和齐古组油藏原油地化特征相一致,故将其放在一起进行分析。其碳同位素较重,介于-26.8‰和-25.51‰之间,更接近于煤成油;Pr/Ph 值一般大于 2,反映了生油母质沉积于弱氧化环境;三环萜烷 C₁₉/C₂₁ 值大于 3,反映了陆源高等植物输入较多;伽马蜡烷/C₃₀ 藿烷值介于 0.06~0.1 之间,反映了微咸水—淡水沉积环境;规则甾烷 C₂₇—C₂₈—C₂₉ 分布呈反“L”型,反映了生油母质中陆源生物含量较多。

表 1 不同油藏生油母质指示参数统计					
层位	碳同位素	Pr/Ph	C ₁₉ /C ₂₁	G/C ₃₀ H	C ₂₇ —C ₂₈ —C ₂₉
沙湾组	较轻	<1.5	<2	>0.26	“V”字型
安集海河组	较轻	1.15			“V”字型
紫泥泉子组和齐古组	较重	>2	>3	0.06~0.1	反“L”型

综合分析,紫泥泉子组和齐古组油藏生油母质以陆源高等植物为主,含有少量水生生物;其沉积环境是弱氧化、微咸水—淡水河湖相。

4 结论

- (1)沙湾组原油多数为低熟油,个别为成熟油,紫泥泉子组和齐古组原油为成熟油。
- (2)沙湾组油藏原油主要来自于下伏安集海河

- 组烃源岩,少量来自于中下侏罗统烃源岩。
- (3)安集海河组原油来自于安集海河组烃源岩,该油藏属于自生自储油藏。
- (4)紫泥泉子组和齐古组原油生物标志化合物参数相同,主要来自于下部中下侏罗统烃源岩。

参考文献:

[1] 况军,齐雪峰.准噶尔前陆盆地构造特征与油气勘探方向[J].新疆石油地质,2006,27(1):5-9.

[2] 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类型[J].成都理工大学学报:自然科学版,2005,32(3):257-262.

[3] 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.

[4] 黄彦庆,侯读杰,张民伟.准噶尔盆地独山子背斜油水特征及油气成藏规模探讨[J].天然气地球科学,2008,19(4):475-479.

[5] 李素梅,刘洛夫,王铁冠.尕斯库勒渐新统下部油藏原油成因地球化学[J].石油与天然气地质,2004,25(6):666-670.

[6] 段云鹏,包建平,马安来,等.辽河双南油田油气地球化学特征[J].天然气地球科学,2003,14(6):496-501.

[7] 张云献,沈忠民,王英,等.东濮凹陷东营组原油地球化学特征与成藏期分析[J].石油学报,2008,29(3):345-349.

[8] 朱俊章,施和生,谢泰俊,等.惠州 26-2 油田油藏地球化学特征及其地质意义[J].中国石油勘探,2007,12(2):34-40.

[9] 段云鹏,包建平,马安来,等.辽河双南油田油气地球化学特征[J].天然气地球科学,2003,14(6):496-501.

[10] 赵鹏,陈世加,李丽萍,等.酒东盆地营垒凹陷下白垩统油源对比[J].天然气地球科学,2006,17(2):192-195.

Geochemical Characteristics of Oil in Sikeshu Sag of Junggar Basin

HUANG Yan-qing^{1, 2}, HOU Du-jie³

(1. Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China;
2. China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 3. China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract:On the basis of geochemical analysis of crude oil, this paper analyzed saturated hydrocarbon fraction, maturity and original source material of the crude oil. The oil in Ziniqianzi Formation and that in Qigu Formation are similar in geochemistry, and most of them are mature. The oil in Shawan Formation is different, and most of which is under-mature. Oil sources are determined. Most oil in Shawan Formation comes from the source rock in Anjihai Formation, a little of the oil comes from the source rock in the middle and lower Jurassic. The oil in Ziniqianzi and Qigu Formations comes from the source rock in the middle and lower Jurassic.

Key words:Junggar basin; Sikeshu sag; Geochemical characteristics; Oil source.