

文章编号:1673-5005(2012)03-0044-10

开鲁盆地奈曼凹陷奈 1 区块原油地球化学特征及油源分析

赵兴齐¹, 陈践发¹, 张 晨^{1,2}, 郭 望¹, 师生宝¹

(1. 中国石油大学 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249; 2. 中国石油塔里木油田分公司, 新疆 库尔勒 841000)

摘要:对奈曼凹陷奈 1 区块源岩与原油的族组分、饱和烃 GC-MS 特征进行系统分析, 研究奈曼凹陷奈 1 区块源岩与原油的地球化学特征, 并且进行油源对比分析。结果表明:原油与九下段源岩的正构烷烃分布完整, 峰形呈双峰态, 主峰碳为 nC_{23} , 次主峰碳为 C_{17} , 具有明显的植烷优势, $w(Pr)/w(Ph)$ 分布在 0.36~0.53; 甾烷以规则甾烷为主, 孕甾烷、升孕甾烷、重排甾烷含量偏低, 规则甾烷呈“V”型分布, C_{29} 甾烷 $w(20S)/w(20S+20R)$ 和 $w(\beta\beta)/w(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 分别为 0.27~0.49 和 0.23~0.39; 萜烷以 C_{30} 藿烷系列为主, 三环萜烷比较发育, 重排甾烷含量低, 伽马蜡烷含量高, 在原油样品中检测出含量较高的 β -胡萝卜烷, $w(Ts) < w(Tm)$, C_{31} 升藿烷 $w(22S)/w(22S+22R)$ 、 C_{32} 藿烷 $w(22S)/w(22S+22R)$ 分别为 0.51~0.57 和 0.48~0.59, 这些特征表明该区原油主要来源于咸水深湖相强还原沉积环境; 成油母质既有低等水生生物, 又有陆生高等植物, 母质类型为混合型; 原油成熟度较低, 主要处于低熟—中等成熟阶段; 奈曼凹陷奈 1 区块原油主要来源于下白垩统九下段源岩。

关键词:奈曼凹陷; 奈 1 区块; 原油; 生物标志物; 地球化学特征; 油源对比

中图分类号:TE 122.2

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.1673-5005.2012.03.008

Geochemical characteristics of crude oil and oil-source analysis in Nai 1 block for Naiman depression, Kailu Basin

ZHAO Xing-qi¹, CHEN Jian-fa¹, ZHANG Chen^{1,2}, GUO Wang¹, SHI Sheng-bao¹

(1. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting in China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2. PetroChina Tarim Oilfield Company, Korla 841000, China)

Abstract: Based on systematic analysis of group compositions, saturated hydrocarbon GC-MS for source rocks and crude oil in Nai 1 block, the geochemical characteristics and oil-source correlation were studied. The following are the characteristics of crude oil and lower Jiufotang formation source rocks: The distribution of alkane is complete, possessing double peaks which are nC_{23} and C_{17} respectively. Content of phytane is obviously higher than pristane $w(Pr)/w(Ph)=0.36-0.53$. For sterane series, the content of regular sterane, distributing in the shape of “V”, is also obviously higher than the counterpart of pregnane and rearranged sterane. Besides, the value of the parameters of C_{29} $w(20S)/w(20S+20R)$ and $w(\beta\beta)/w(\alpha\alpha+\beta\beta)$ are respectively 0.27~0.49 and 0.23~0.39. The terpane series is characterized by major part of C_{30} Hopane, relatively higher content of tricyclic diterpane and gammacerane but lower content of rearranged sterane, $w(Ts) < w(Tm)$. The values of C_{31} $w(22S)/w(22S+22R)$ and C_{32} $w(22S)/w(22S+22R)$ are respectively 0.51~0.57 and 0.48~0.59. All of these characteristics mentioned above show that the crude oil in research area mainly origins from strong reducing environment of salt-water deep lacustrine facies. Parent materials come from both lower aquatic plants and terrestrial higher plants. Maturity of crude oil is low and mainly distributes from lower to middle stage. The crude oil in Nai 1 block is mainly from lower Jiufotang formation in Lower Cretaceous.

Key words: Naiman depression; Nai 1 block; crude oil; biomarkers; geochemical characteristics; oil source correlation

收稿日期:2012-01-05

基金项目:中国石油辽河油田分公司项目

作者简介:赵兴齐(1984-),男(布依族),贵州福泉人,博士研究生,研究方向为油气地球化学和石油地质学。

1 研究区概况

奈曼凹陷位于内蒙古自治区通辽市奈曼旗境内,是开鲁盆地西南侧的一个次级负向构造单元,是海西期褶皱基底上发育起来的中生代凹陷。其形成主要受红山八里罕和西拉木伦河断裂控制,西北与张三园子-新庙以及陆家堡凹陷相望,东与八仙筒凹陷为邻。凹陷走向NNE向,构造面积800 km²,呈狭长带状分布(图1)。受区内NNE向断裂控制,分

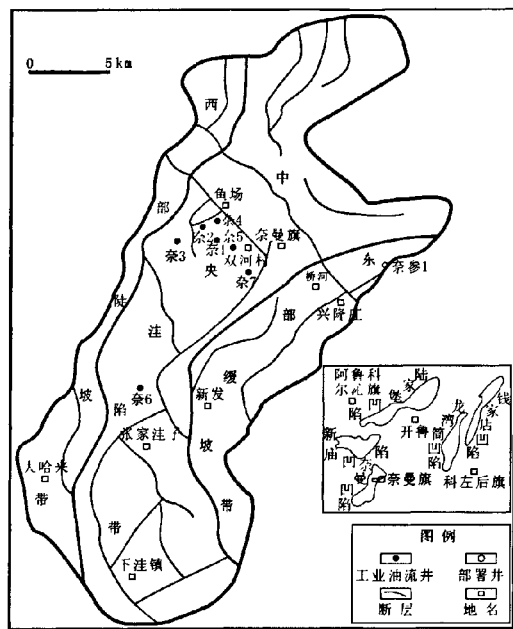


图1 奈曼凹陷区域构造图

Fig.1 Regional structural map of Naiman depression

为三个二级构造带,即西部陡坡带、中央洼陷带、东部缓坡带。奈曼凹陷地层自下而上依次为:前中生界基底,中生界三叠系下统哈达陶勒盖组,侏罗系中统海房沟组,白垩系下统九佛堂组、沙海组、阜新组,白垩系上统,新生界。凹陷在其演化过程中发育了白垩系下统九佛堂组、沙海组、阜新组3套生油岩系^[1]。九佛堂组的暗色泥岩为该区域主要的烃源岩,同时九佛堂组上段砂砾岩为较好的储集层,沙海组及阜新组的暗色泥岩为该区域主要盖层。奈1区块位于生油洼陷的中心,具有较好的油源条件,主要含油目的层为九佛堂组。根据构造发育史、地层厚度及沉积特征,可将奈曼凹陷构造演化划分为4个发育阶段:初始断裂期、快速断裂期、稳定沉降—萎缩期和拗陷期^[2]。2004年部署了奈1井,该井在白垩系九佛堂组上段、下段均获得了工业油流,拉开了奈曼

地区奈1区块的勘探序幕。而后又相继实施完钻了奈2、奈3、奈4井,均获工业油流,初步展示了该区域良好的油气勘探开发前景。笔者在对该区3个原油样品及4个源岩样品的族组成、饱和烃色谱—质谱(GC—MS)分析的基础上,结合原油物性、生物标志物等方面对该区原油地球化学特征进行综合剖析,探讨奈1区块原油的来源,为该区域油气资源评价与进一步的油气勘探提供依据。

2 样品与实验

在奈1区块采集了3个原油样品以及在奈1井不同深度段采集了4个源岩样品。烃源岩样品经索氏抽提72 h,称取适量氯仿沥青“A”和原油,用正己烷(30 mL)沉淀沥青质,之后用柱层法(氧化铝2 g+硅胶3 g)进行分离,分别用石油醚(30 mL)、二氯甲烷和石油醚(20 mL,体积比2:1混合),氯仿(10 mL)和无水乙醇(10 mL)依次分离得到饱和烃、芳烃和非烃组分。

饱和烃色谱—质谱分析仪器为美国Finnigan公司生产的Trace-DSQ,执行标准为GB/T18606-2001气相色谱质谱法测定沉积物和原油中生物标志物。检测环境:温度25℃,相对湿度57%,室内清洁无尘。GC分析条件:采用纯度99.999%的氦作载气,进样器口温度300℃,不分流进样。色谱柱为HP-5MS弹性石英毛细柱(60 m×0.25 mm×0.25 μm)。饱和烃馏分升温程序:柱始温50℃,恒温1 min后,以20℃/min的升温到120℃,再以3℃/min的升温速率升温到310℃,恒温25 min。MS分析条件:采用EI离子化模式,电子能量70 eV,离子源温度230℃,倍增器电压1800 eV,采用全扫描/选择离子(SCAN/SIM)采集方式。

3 烃源岩地球化学特征

采集的4个源岩样品均来自奈1井,根据奈1井录井资料,其4个样品分别来自两个层位,自下而上依次为九佛堂组下段(九下段)和沙海组。该区域源岩有机碳含量较高,总有机碳含量($w(\text{TOC})$)为1.13%~2.30%;生烃潜力大, S_1+S_2 在 $(4.95 \sim 14.13) \times 10^{-3}$,呈现出较好—好烃源岩的特征; T_{max} 在435~440℃,氢指数(I_H)在 $(0.437 \sim 0.668) \times 10^{-3}$,降解率(D)在36.36%~63.05%(表1),表明奈1区块沙海组、九下段源岩有机质类型好,主要为I和II₁型,有机质热演化程度较低,主要处于低熟—中等成熟的热演化阶段。

表 1 奈 1 区块源岩热解参数与族组分特征

Table 1 Thermal evolution properties and group composition of source rock in Nai 1 Block

井号	井深 H/km	层位	w(TOC)/ %	S ₁ +S ₂ / 10 ⁻³	T _{max} /℃	I _H /10 ⁻³	降解 率/%	饱和烃 含量/%	芳烃含 量/%	非烃+沥青 质含量/%	w(饱和烃)/ w(芳烃)
奈 1 井	1.109 5	沙海组	2.30	10.40	440	0.437	37.53	25.99	12.95	61.06	2.01
	2.030 7		1.86	14.13	436	0.668	63.05	36.72	16.80	46.48	2.19
	2.243 0	九下段	2.25	11.88	438	0.496	43.82	43.82	13.42	42.76	3.27
	2.461 7		1.13	4.95	435	0.350	36.36	38.86	14.36	46.78	2.71

沙海组源岩与九下段源岩饱和烃馏分的 GC-MS 谱图有明显区别(图 2),但其基线均较为平缓,

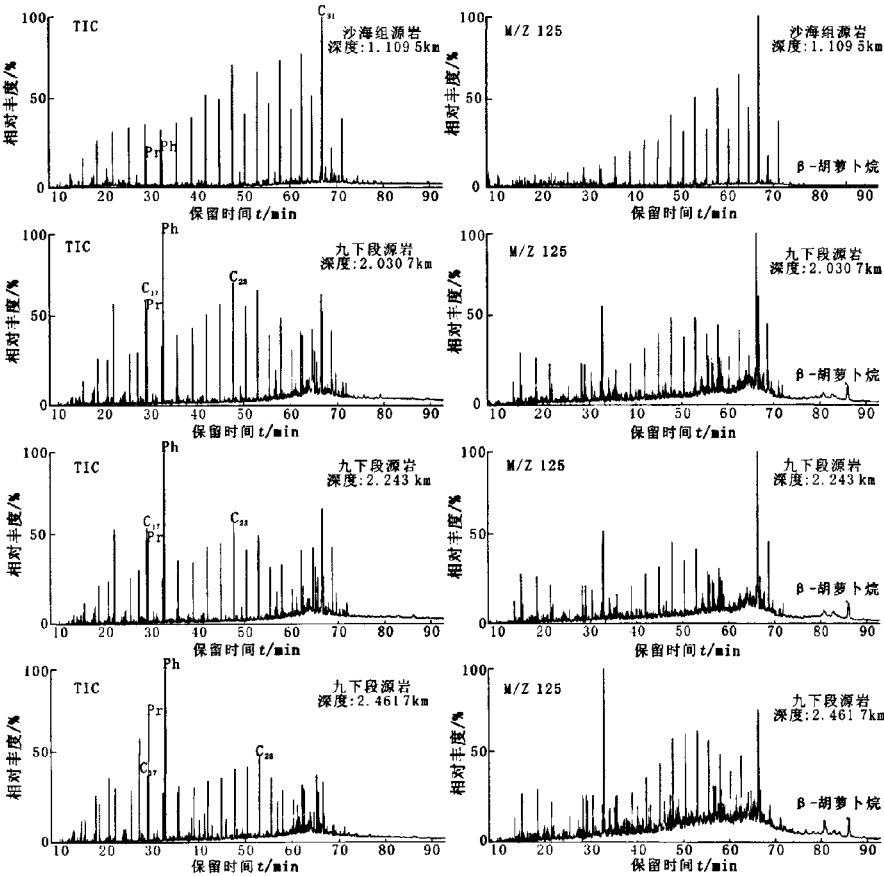


图 2 奈 1 区块源岩饱和烃 TIC 及 M/Z125 质量色谱图

Fig.2 TIC and M/Z 125 mass chromatogram of saturated hydrocarbons of source rocks in Nai 1 block

表明该区源岩未遭受生物降解作用的影响。沙海组源岩的正构烷烃与九下段源岩有明显的区别,沙海组源岩的正构烷烃分布较完整,碳数范围为 $nC_{11} \sim nC_{35}$,呈单峰态分布,主峰碳位于 C_{31} , $C_{21} \sim C_{33}$ 具有明显的奇偶优势(f_{OEP}),碳优势指数(f_{CPI})为 2.75, $w(\Sigma C_{21}^-)/w(\Sigma C_{22}^+)$ 为 0.37,反映生源母质以陆生高等植物为主,植烷略占优势, $w(Pr)/w(Ph)$ 为 0.80, $w(Pr)/w(nC_{17})$ 为 0.52, $w(Ph)/w(nC_{18})$ 为 0.65,表明源岩形成于还原性的沉积环境且热演化程度较低。九下段 3 个源岩样品正构烷烃特征较为

相似,碳数范围为 $nC_{11} \sim nC_{35}$,呈双峰态分布,主峰碳为 nC_{23} ,次主峰碳为 nC_{17} ,植烷占有明显优势, $w(Pr)/w(Ph)$ 低而 $w(Ph)/w(nC_{18})$ 高,表明九下段源岩形成于咸度较高的强还原沉积环境,且源岩的热演化程度较低^[3], $w(\Sigma C_{21}^-)/w(\Sigma C_{22}^+)$ 为 0.73~0.94,表明成烃母质中低等水生生物的贡献加大^[4]。其中深度为 2.030 7 km 和 2.243 0 km 两个源岩的 f_{OEP} 为 2.09 和 2.47, f_{CPI} 为 1.70 和 1.40, $w(Pr)/w(Ph)$ 为 0.37 和 0.36, $w(Pr)$ 小于 $w(nC_{17})$, $w(Ph)$ 大于 $w(nC_{18})$,表明该深度段源岩形成于咸

水深湖相强还原沉积环境^[5-7]。2.461 7 km 源岩的 f_{OEP} 为 1.35, f_{CP} 为 1.32, $w(\text{Pr})/w(\text{Ph})$ 为 0.53, $w(\text{Pr})$ 大于 $w(n\text{C}_{17})$, $w(\text{Ph})$ 大于 $w(n\text{C}_{18})$ (表 2), 表明该深度段源岩形成于咸水深水湖相强还原沉积环境, 且源岩成熟度比浅部源岩高。

表 2 奈 1 区块源岩饱和烃色谱特征

Table 2 Characteristics of gas chromatography of source rocks in Nai 1 block

井号	深度 H/m	层位	$w(\text{Pr})/$ $w(\text{Ph})$	$w(\text{Pr})/$ $w(n\text{C}_{17})$	$w(\text{Ph})/$ $w(n\text{C}_{18})$	f_{CP}	f_{OEP}	$w(\sum \text{C}_{21-})/$ $w(\sum \text{C}_{22-})$	主峰碳
奈 1 井	1 109.5	沙海组	0.80	0.52	0.65	2.75	1.03	0.37	C_{31}
	2 030.7	九	0.37	0.91	5.09	1.70	2.09	0.73	C_{23}
	2 243.0	下	0.36	0.92	6.44	1.40	2.47	0.94	C_{23}
	2 461.7	段	0.53	2.52	6.28	1.32	1.35	0.81	C_{23}

沙海组源岩样品的甾、萜烷类化合物与九下段源岩有明显的区别(图 3)。该区 4 个源岩样品在 M/Z217 质量色谱图上都呈现出“V”型分布的特征, 即 $w(\text{C}_{27}) > w(\text{C}_{28}) < w(\text{C}_{29})$, 表明源岩来源于低等水生生物、藻类和高等植物混源的特征。沙海组源岩与九下段源岩相比, 其孕甾烷、升孕甾烷丰度高, $w(\text{孕甾烷} + \text{升孕甾烷})/w(\text{规则甾烷})$ 为 0.049, $w(\text{C}_{27})/w(\text{C}_{29})$ 较高, C_{28} 丰度较低, 其 $w(\text{C}_{28})/w(\text{C}_{29})$ 明显低于九下段源岩。该区 4 个源岩样品甾烷、萜烷的异构化程度都较低, $\text{C}_{29}w(20\text{S})/w(20\text{S}+20\text{R})$ 和 $w(\beta\beta)/w(\alpha\alpha + \beta\beta)$ 分别为 0.11~0.49 和 0.23~0.39, $\text{C}_{31}w(22\text{S})/w(22\text{S}+22\text{R})$ 以及 $\text{C}_{32}w(22\text{S})/w(22\text{S}+22\text{R})$ 分别为

0.32~0.54 和 0.40~0.59, 表明该区源岩的热演化程度较低, 主要处于低熟—中等成熟阶段^[8-9]。沙海组源岩的萜类化合物 M/Z191 质量色谱特征与九下段源岩存在较大差异, 沙海组源岩的 $w(\text{C}_{21})/w(\text{C}_{23} - \text{Tri})$, $w(\text{M})/w(\gamma)$ 明显高于九下段源岩, β -胡萝卜烷, $w(\gamma)/w(\text{H})$, $\text{C}_{31}w(22\text{S})/w(22\text{S}+22\text{R})$ 和 $\text{C}_{32}w(22\text{S})/w(22\text{S}+22\text{R})$ 明显较九下段源岩低(表 3、表 4)。值得一提的是九下段 3 个源岩样品中埋深较浅的 2 个样品(2.030 7 和 2.243 0 km)与埋深较深(2.461 7 km)样品的正构烷烃以及甾、萜类化合物有一定的差异, 分析认为这些差异主要是由于源岩的沉积环境和成熟度不同所致。

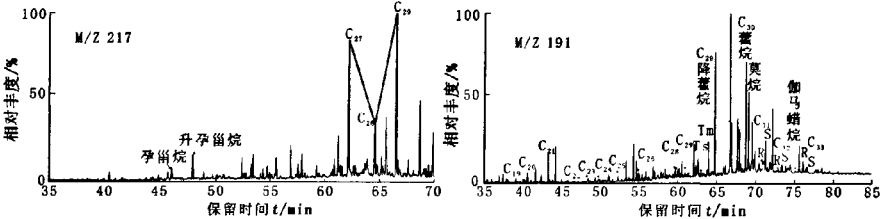


图 3 奈 1 区块沙海组源岩饱和烃馏分 M/Z217、M/Z191 质量色谱图

Fig.3 M/Z 217 and m/z 191 mass chromatograms of saturated hydrocarbons from source rocks of Shahai formation in Nai 1 block

表 3 奈 1 区块源岩甾类化合物构成特征参数

Table 3 Characteristics parameters of steranes from source rocks in Nai 1 block

井号	深度/ km	层位	$w(\text{C}_{27}):w(\text{C}_{28}):w(\text{C}_{29})$	$w(\text{C}_{27})/$ $w(\text{C}_{29})$	$w(\text{C}_{28})/$ $w(\text{C}_{29})$	$w(\text{孕} + \text{升孕})/$ $w(\text{规则甾烷})$	$\text{C}_{29}w(20\text{S})/$ $w(20\text{R}+20\text{S})$	$\text{C}_{29}w(\beta\beta)/$ $w(\alpha\alpha + \beta\beta)$
奈 1 井	1.1095	沙海组	34.19 : 20.77 : 45.04	0.76	0.46	0.049	0.11	0.31
	2.0307	九	22.93 : 31.05 : 44.57	0.54	0.71	0.003	0.27	0.23
	2.2430	下	23.58 : 30.94 : 45.48	0.52	0.68	0.003	0.27	0.24
	2.4617	段	32.56 : 26.26 : 41.17	0.79	0.64	0.006	0.49	0.39

表 4 奈 1 区块源岩萜类化合物构成特征参数

Table 4 Characteristic parameters of terpane from source rocks in studying area

井号	深度/ H/km	层位	$w(\text{Ts})/$ $w(\text{Tm})$	$w(\text{C}_{21})/$ $w(\text{C}_{23} - \text{Tri})$	$w(\text{M})/$ $w(\gamma)$	$w(\text{M})/$ $w(\text{H})$	$w(\gamma)/$ $w(\text{H})$	$\text{C}_{31}w(22\text{S})/$ $w(22\text{S}+22\text{R})$	$\text{C}_{32}w(22\text{S})/$ $w(22\text{S}+22\text{R})$
奈 1 井	1.1095	沙海组	0.14	5.46	5.61	0.75	0.14	0.32	0.40
	2.0307	九	0.10	1.16	1.51	0.43	0.28	0.51	0.49
	2.2430	下	0.10	1.11	1.50	0.43	0.29	0.54	0.48
	2.4617	段	0.24	0.84	0.72	0.23	0.31	0.54	0.59

注: Tri 为三环萜烷; M 为 $\beta\alpha$ - C_{30} 萜烷(莫烷); γ 为伽马萜烷; H 为 $\alpha\beta$ - C_{30} 萜烷。

4 奈1区块原油地球化学特征

4.1 原油族组分特征

对该区3个原油样品进行族组分分离抽提,其中76-36井饱和烃、芳烃、非烃+沥青质含量分别为39.74%、15.73%和44.53%,48-46井分别为56.84%、10.94%和32.22%,40-50井分别为

34.07%、25.66%和40.27%(表5)。结果表明,该区原油饱和烃含量低,芳烃、非烃及沥青质含量高,原油成熟度较低。 $w(\text{饱和烃})/w(\text{芳烃})$ 为1.33~5.20,饱和烃明显占优势,总烃含量较高,为55.47%~67.78%,表明干酪根类型较好。芳烃、非烃含量高是造成该区原油黏度较高、密度大的主要原因。

表5 奈1区块原油饱和和烃色谱特征

Table 5 Characteristics of gas chromatography of crude oils in Nai 1 block

井号	$w(\text{Pr})/$ $w(\text{Ph})$	$w(\text{Pr})/$ $w(n\text{C}_{17})$	$w(\text{Ph})/$ $w(n\text{C}_{18})$	f_{CPI}	f_{OEP}	$w(\sum n\text{C}_{21}^-)/$ $w(\sum n\text{C}_{22}^+)$	主峰 碳	饱和烃 含量/%	芳烃含 量/%	非烃+沥青 质含量/%	$w(\text{饱和烃})/$ $w(\text{芳烃})$
40-50	0.44	0.71	2.04	1.20	1.17	0.78	C_{23}	34.07	25.66	40.27	1.33
48-46	0.50	0.61	1.56	1.18	1.12	0.87	C_{23}	56.84	10.94	32.22	5.20
76-36	0.48	0.59	1.66	1.17	1.14	0.79	C_{23}	39.74	15.73	44.53	2.53

4.2 生物标志物特征

4.2.1 饱和烃色谱特征

该区3个原油样品饱和烃色谱—质谱图相似(图4),基线较为平缓,表明该区原油未遭受生物降解作用的影响。正构烷烃分布较完整,碳数范围为 $n\text{C}_{14} \sim n\text{C}_{34}$,呈双峰态分布,主峰碳为 $n\text{C}_{23}$,次主峰碳为 $n\text{C}_{17}$,表明该区原油为混源的特征;奇偶优势较

明显, f_{CPI} 为1.17~1.20, f_{OEP} 为1.12~1.17, $w(\sum n\text{C}_{21}^-)/w(\sum n\text{C}_{22}^+)$ 分布在0.78~0.87(表5),反映母源以低等水生生物与陆生高等植物混源的特征。植烷占明显优势, $w(\text{Pr})/w(\text{Ph})$ 为0.44~0.50, $w(\text{Pr})/w(n\text{C}_{17})$ 为0.59~0.71, $w(\text{Ph})/w(n\text{C}_{18})$ 在1.56~2.04,表明原油的成油母质形成于咸水深湖相强还原沉积环境且原油成熟度较低。

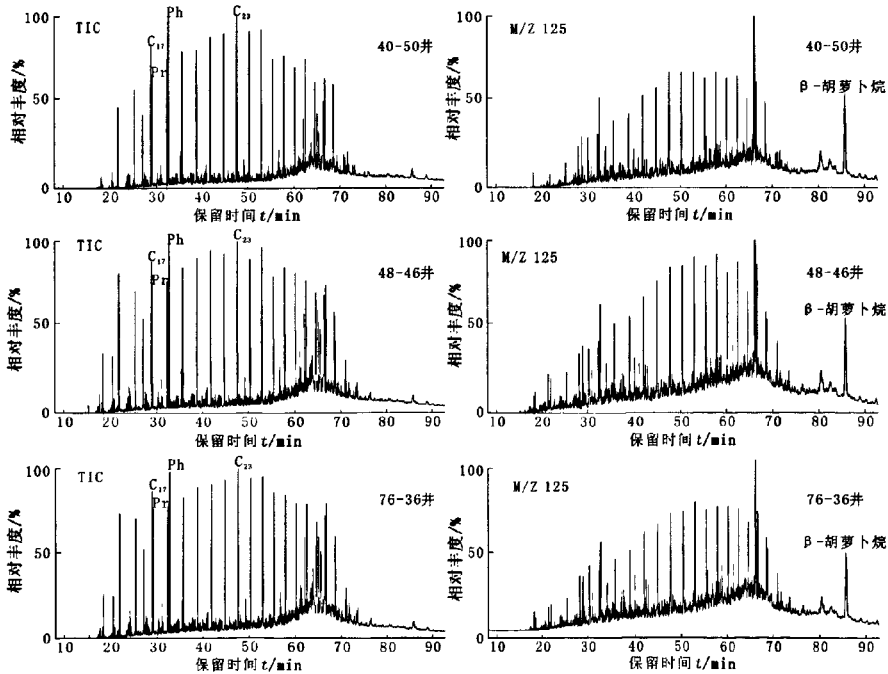


图4 奈1区块原油饱和和烃馏分TIC及M/Z125质量色谱图

Fig. 4 TIC and M/Z 125 mass chromatogram of saturated hydrocarbons of crude oils in Nai 1 block

4.2.2 甾类化合物

沉积环境的不同导致生物种类的不同,并造成了生物标志化合物组成的差异。人们常用 $\text{C}_{27} \sim \text{C}_{29}$

生物构型甾烷系列在原油中分布的相对丰度来评价原油的母质类型,进而进行油源追踪^[10]。一般认为, C_{27} 和 C_{28} 甾烷主要来源于低等水生藻类,而相对

高含量的 C_{29} 甾烷可以指示高等植物生源^[11]。

奈 1 区块 3 个原油样品甾烷中都以规则甾烷为主(图 5), 孕甾烷、升孕甾烷以及重排甾烷含量较低。 $\alpha\alpha$ 规则甾烷 $w(C_{27}) > w(C_{28}) < w(C_{29})$, $\alpha\alpha C_{29}(20R)$ 规则甾烷相对含量略高, 呈“V”型分布, $w(C_{27})/w(C_{29})$ 在 0.68 ~ 0.72, $w(C_{28})/w(C_{29})$ 约为 0.7, 反映了该区成油母质来源于低等水生生物、藻类和高等植物混源的特征。通常规则甾烷的“V”型分布见于海相与湖相烃源岩中, 往往是 I 型或 II 型原油与烃源岩的特征^[12]。结合该区烃源岩的地球化学特征分析认为, 奈 1 区块源岩为湖相烃源岩, 有机质类型主要为 I 型和 II₁ 型。甾烷异构

化参数 $C_{29}w(20S)/w(20S+20R)$ 、 $w(\beta\beta)/w(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 是判别油气成熟程度的重要参数, 随着成熟度的增加, $C_{29}5\alpha(H)$, $4\alpha(H)$, $17\alpha(H)$ -甾烷的 C-20 位的异构化作用增强使得 $C_{29}w(20S)/w(20S+20R)$ 从 0 升到约 0.5 (0.52 ~ 0.55 为平衡状态)。同时, 规则甾烷的 C-14, C-17 位上的异构化作用使得 $\alpha\alpha$ 构型向 $\alpha\beta$ 转化, 使得 $C_{29}w(\beta\beta)/w(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 从近零值增加到约 0.7 (0.67 ~ 0.70 为平衡状态)^[13]。该区原油规则甾烷的异构化程度较低, 其 $C_{29}w(20S)/w(20S+20R)$ 和 $w(\beta\beta)/w(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 分别为 0.41 ~ 0.44 和 0.32 ~ 0.35 (表 6), 表现出低熟—中等成熟原油的特征。

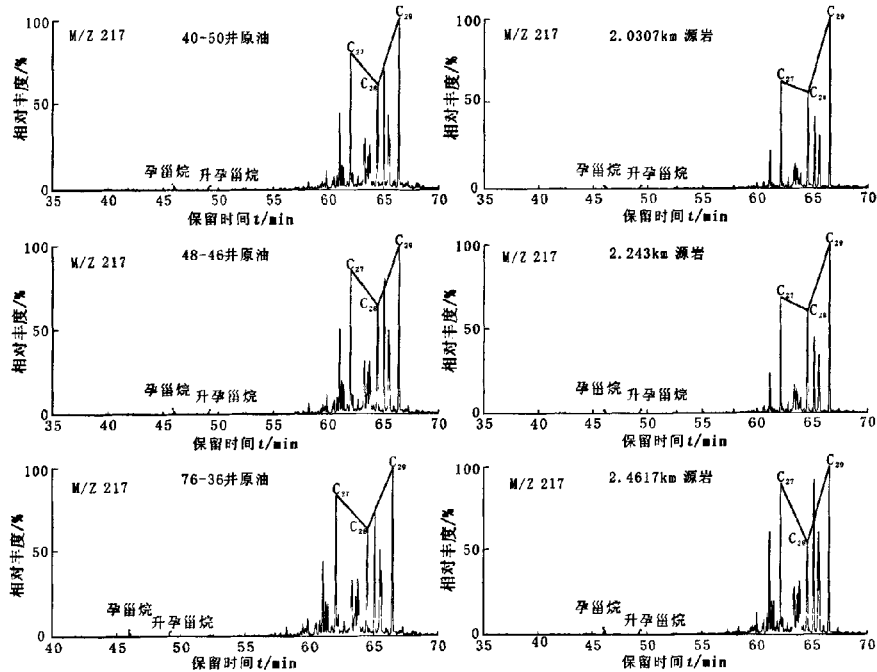


图 5 奈 1 区块原油与九下段源岩 M/Z217 质量色谱图

Fig.5 M/Z 217 mass chromatograms of crude oils and source rocks from lower Jiufotang formation in Nai 1 block

表 6 奈 1 区块原油 M/Z217 参数特征

Table 6 Characteristics parameters of sterane from crude oils in Nai 1 block

井号	$w(C_{27}) : w(C_{28}) : w(C_{29})$	$w(C_{27})/w(C_{29})$	$w(C_{28})/w(C_{29})$	$w(\text{孕}+\text{升孕})/w(\text{规则甾烷})$	$C_{29}w(20S)/w(20R+20S)$	$C_{29}w(\beta\beta)/w(\alpha\alpha+\beta\beta)$
40-50	28.67 : 29.26 : 42.07	0.68	0.70	0.006	0.41	0.32
48-46	29.66 : 29.14 : 41.20	0.72	0.71	0.004	0.44	0.35
76-36	28.62 : 9.45 : 41.92	0.68	0.70	0.007	0.41	0.34

4.2.3 萜类化合物

该区 3 个原油样品的萜类生物标志物比较相似(图 6), 表明了其母源的均一性。萜类化合物以五环萜烷为主, 其中又以 $17\alpha(H)$ 藿烷系列为主要成分。三环萜烷(Tri)比较发育, 碳数分布范围为 C_{19}

~ C_{29} , 缺失 C_{27} , $w(C_{21})/w(C_{23}-Tri)$ 约为 1.0。Ourisson^[14] 认为三环萜烷来源于微生物的细胞膜, 也可能与藻类生源有关^[15-16]。三环萜烷属于某类特定微生物源, 因此可用 $w(Tri)/w(\text{藿烷})$ 来比较某类细菌或藻类(三环萜烷)和原核生物(藿烷)对母源的

贡献^[17],该区 $w(\text{Tri})/w(\text{藿烷})$ 为 0.086~0.104,表明该区原油的成油母质中细菌或藻类对原油贡献相对较小。升藿烷系列从 $\text{C}_{31} \sim \text{C}_{35}$ 相对含量呈逐渐降低的梯状分布,重排甾烷含量低,伽马蜡烷含量高。伽马蜡烷主要来源于原生物, C_{30} 藿烷主要是典型的细菌生源产物,因此 $w(\gamma)/w(\text{H})$ 能反映母质类型,即原生物与细菌的生物源输入比率,还可以指示母源的形成环境。该区原油样品的 $w(\gamma)/w(\text{H})$ 为 0.28~0.35,高的伽马蜡烷含量指示生物源中低等水生生物的贡献,还指示母源形成于咸水的强还原沉积环境。在该区 3 个原油样品的 M/Z125 质量色谱图上可检测出含量较高的 β -胡萝卜素(图 4),一般认为, β -胡萝卜素是全饱和的 C_{40} 双环烷烃,来源

于缺氧的含盐湖相环境中的藻类有机质,与伽马蜡烷一样,指示咸水—半咸水沉积环境,是湖相环境的特征标志^[17]。 Ts 和 Tm 相对丰度较低,且 $w(\text{Ts}) < w(\text{Tm})$, $w(\text{Ts})/w(\text{Tm})$ 为 0.12~0.24,表明该区原油成熟度较低^[17]; C_{31} 、 C_{32} 升藿烷的 22S 构型丰度高于 22R 构型,成熟度参数 $\text{C}_{31}w(22\text{S})/w(22\text{S}+22\text{R})$ 、 $\text{C}_{32}w(22\text{S})/w(22\text{S}+22\text{R})$ 分别为 0.55~0.57 和 0.54~0.55(表 7),表明原油成熟度相对较低,勉强进入生油阶段。以上萜类化合物特征表明,奈 1 区块原油的成油母质以湖相低等水生生物、藻类和高等植物混源为特征,形成环境为较咸化的强还原环境,原油处于低熟—中等成熟阶段。

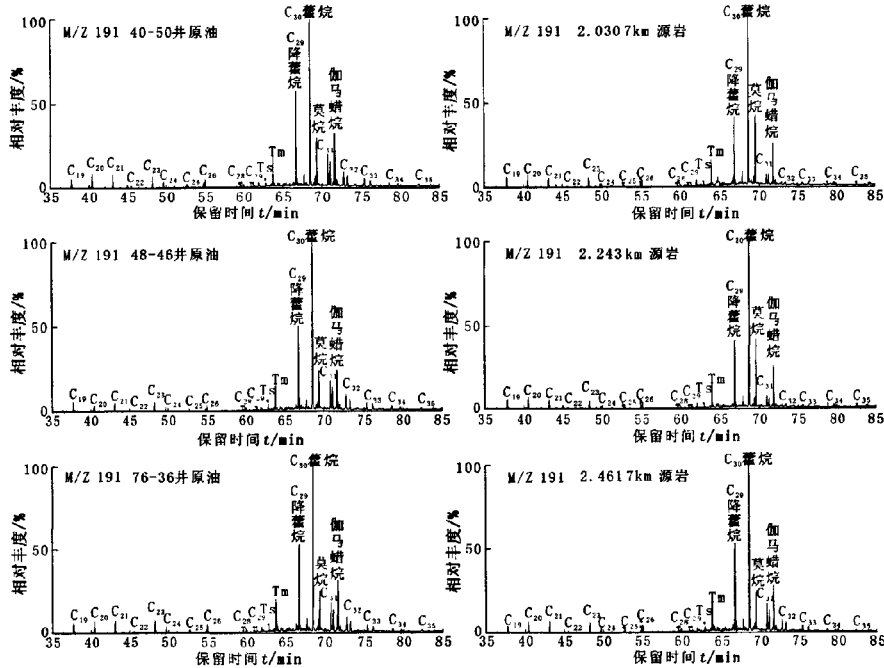


图 6 奈 1 区块原油与九下段源岩 M/Z191 质量色谱图

Fig. 6 M/Z 191 mass chromatograms of crude oils and source rocks form lower Jiufootang formation in Nai 1 block

表 7 奈 1 区块原油样品萜类化合物构成特征参数

Table 7 Characteristic parameters of terpane of crude oils in Nai 1 block

井号	$w(\text{Ts})/$ $w(\text{Tm})$	$w(\text{C}_{21})/$ $w(\text{C}_{23}-\text{Tri})$	$w(\text{M})/$ $w(\gamma)$	$w(\text{M})/$ $w(\text{H})$	$w(\gamma)/$ $w(\text{H})$	$\text{C}_{31}w(22\text{S})/$ $w(22\text{S}+22\text{R})$	$\text{C}_{32}w(22\text{S})/$ $w(22\text{S}+22\text{R})$
40-50	0.12	0.99	0.74	0.26	0.35	0.57	0.55
48-46	0.24	0.96	0.80	0.22	0.28	0.57	0.55
76-36	0.14	1.01	0.70	0.22	0.32	0.55	0.54

5 油源对比

5.1 饱和烃色谱特征对比

奈1区块3个原油样品与4个源岩样品的饱和烃色谱特征表明,奈1区块原油与沙海组源岩的差别较大,而与该区下白垩统九佛堂组(九下段)源岩抽提物组分较相似(图2、图4),其正构烷烃均呈双峰态分布,主峰碳为 C_{23} ,次主峰碳为 C_{17} , $w(\text{Pr})/w(\text{Ph})$ 以及 $w(\sum nC_{21}^-)/w(\sum nC_{22}^+)$ 分布范围相近(表2和表5)。

5.2 甾烷特征对比

奈1区块原油与沙海组源岩甾烷特征差异较大,而与九下段源岩特征相似(图7、图8)。该区源岩及原油样品的 C_{27} 、 C_{28} 、 C_{29} 相对丰度都呈“V”型分布,表明源岩来源于低等水生生物、藻类和高等植物混源的特征。但是,沙海组源岩的孕甾烷、升孕甾烷丰度较高,重排甾烷含量高, $w(\text{孕甾烷}+\text{升孕甾烷})/w(\text{规则甾烷})$ 明显高于3个原油样品, $w(C_{28})/w(C_{29})$ 较3个原油样品低。甾烷的成熟度参数 $C_{29}w(20S)/w(20S+20R)$ 明显较原油低,表明沙海组源

岩对该区原油的形成没有贡献。而来源于九下段的源岩与原油样品的甾烷分布特征较为一致,其源岩的 $C_{27} \sim C_{29}$ 规则甾烷的含量、 $w(C_{28})/w(C_{29})$ 、 $w(\text{孕甾烷}+\text{升孕甾烷})/w(\text{规则甾烷})$ 以及甾烷成熟度参数都与原油有较好的相关性(表3、表6)。来源于九下段相对较浅部位(2.030和2.243 km)的两个源岩样品的正规甾烷分布与原油有一定的差异,主要表现在正规甾烷中 $w(C_{27})/w(C_{29})$ 、甾烷异构化程度都稍比原油低。较深层段(2.467 km)的源岩甾烷分布特征与原油也存在一些差异,表现为甾烷的成熟度参数、 $w(C_{27})/w(C_{29})$ 较原油高。综合以上特征认为原油应来源于九下段源岩,其中较深部位源岩对原油的贡献可能较大(图7)。其中,K1为 $w(C_{27})/w(C_{29})$,K2为 $w(C_{28})/w(C_{29})$,K3为 $w(\text{孕甾烷}+\text{升孕甾烷})/w(\text{规则甾烷})$,K4为 $C_{29}w(20S)/w(20S+20R)$,K5为 $C_{29}w(\beta\beta)/w(\alpha\alpha+\beta\beta)$,P1为 $w(\text{Ts})/w(\text{Tm})$,P2为 $w(C_{21})/w(C_{23}-\text{Tri})$,P3为 $w(\text{M})/w(\gamma)$,P4为 $w(\text{M})/w(\text{H})$,P5为 $w(\gamma)/w(\text{H})$,P6为 $C_{31}w(22S)/w(22S+22R)$,P7为 $C_{32}w(22S)/w(22S+22R)$ 。

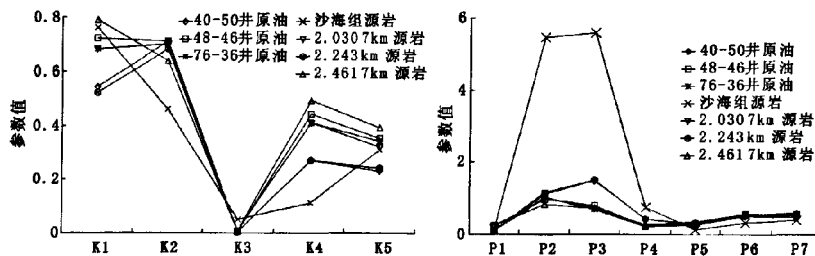


图7 奈1区块原油及源岩生物标志物参数指纹对比

Fig. 7 Comparison of biomarker index fingerprints from crude oils and source rocks in Nai 1 block

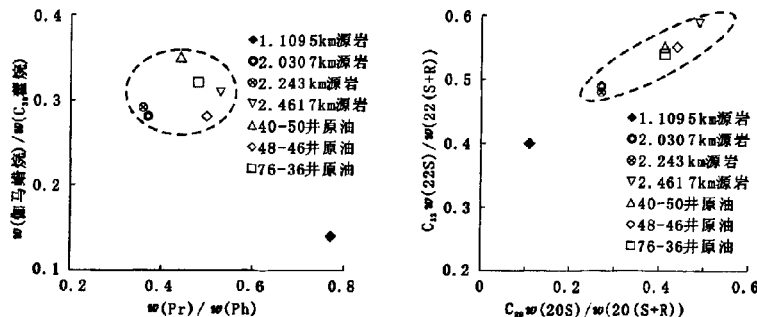


图8 奈1区块源岩与原油生物标志化合物参数对比图

Fig. 8 Comparison of biomarker index from source rocks and crude oils in Nai 1 block

5.3 藿烷特征对比

奈1区块原油与源岩抽提物的藿烷M/Z191质量色谱对比结果表明,该区原油与九下段源岩有较

好的亲缘关系,而与沙海组源岩有明显的区别(图7、8)。沙海组源岩较原油样品,其三环藿烷含量高,三环藿烷以 C_{21} 为基峰 $w(C_{21})/w(C_{23}-\text{Tri})$ 比值

明显高于原油样品; $w(M)/w(H)$ 为0.75, $C_{31}w(22S)/w(22S+22R)$ 为0.32,表明沙海组源岩成熟度较原油低。从M/Z191质量色谱图上可以直观地看出(图6),来源于九下段的源岩与原油有较好的亲缘关系,其三环萜烷含量、 $w(M)/w(H)$ 、 $w(\gamma)/w(H)$ 、 $w(\beta\text{-胡萝卜素})$ 、 $w(Ts)/w(Tm)$ 以及 $C_{31}w(22S)/w(22S+22R)$ 和 $C_{32}w(22S)/w(22S+22R)$ 都与原油有较好的相关性(表4、表6)。利用 $w(\text{伽马蜡烷})/w(C_{30}\text{藿烷})$ 与 $w(Pt/Ph)$ 关系图以及 $C_{32}w(22S)/w(22S+22R)$ 与 $C_{29}w(20S)/w(20S+20R)$ 关系图(图8)可以明显看出原油与九下段源岩有较好的亲缘性,而与沙海组源岩亲缘性较差。

6 结 论

(1) 奈曼凹陷奈1区块源岩有机质丰度高、生烃潜力大;有机质类型好,主要为I和II型;有机质成熟度较低,主要处于低熟—中等成熟的热演化阶段。源岩饱和烃生物标志化合物特征表明,源岩形成于强还原性的且盐度较大的半深湖—深湖沉积环境,源岩有机质以低等水生生物、藻类和高等植物混源为特征。

(2) 奈1区块原油饱和烃生物标志化合物特征极为相似,其相对丰度特征值表明该区原油的成油母质形成于强还原的、盐度较大的半深湖—深湖沉积环境;原油的生油母质类型较好,主要来源于低等水生生物、藻类和高等植物,其中藻类的贡献相对较小;原油成熟度较低,主要处于低熟—中等成熟阶段。

(3) 奈1区块原油与沙海组源岩存在较大的差异,油-源相关性较差;九下段源岩与原油的族组分、饱和烃、甾、萜类化合物较为相似,综合分析认为该区原油主要来源于下白垩统九佛堂组(九下段)源岩。

参考文献:

- [1] 许坤,李瑜.开鲁盆地晚中生代地层[J].地层学杂志,1995,19(2):88-95.
XU Kun, LI Yu. Late Mesozoic strata of the Kailu Basin [J]. Journal of Stratigraphy, 1995, 19(2): 88-95.
- [2] 苑洪瑞.奈曼地区奈1区块储集层特征及评价[J].录井工程,2007,18(3):29-33.
YUAN Hong-rui. Reservoir features and evaluation for No.1 Block in Naiman Area [J]. Mud Logging Engineering, 2007, 18(3): 29-33.
- [3] 谈玉明,冯建辉,靳广兴,等.白音查干凹陷达尔其油田原油地球化学与物性特征[J].地球化学,2003,32(3):271-281.
TAN Yu-ming, FENG Jian-hui, JIN Guang-xing, et al. Geochemical characteristics and physical features of Daerqi oilfield from Baiyingchagan depression [J]. Geochimica, 2003, 32(3): 271-281.
- [4] 高福红,樊馥,高红梅.孙吴—嘉荫盆地太平林场组烃源岩生物标志化合物地球化学特征[J].中国石油大学学报:自然科学版,2010,34(4):33-37.
GAO Fu-hong, FAN Fu, GAO Hong-mei. Geochemical characteristics of biomarkers of source rocks from Taipinglingchang formation in Sunwu-Jiayin Basin [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2010, 34(4): 33-37.
- [5] 侯林慧,彭平安,于赤灵,等.鄂尔多斯盆地姬塬—西峰地区原油地球化学特征及油源分析[J].地球化学,2007,36(5):497-506.
HOU Lin-hui, PENG Ping-an, YU Chi-ling, et al. Geochemical characteristics and oil-source analysis of crude oils in Jiyuan-Xifeng Oilfield, Ordos Basin [J]. Geochimica, 2007, 36(5): 497-506.
- [6] 王雅春,徐光波,刘洛夫,等.宋站南地区葡萄花和扶杨油层的油源分析[J].中国石油大学学报:自然科学版,2011,35(3):36-41.
WANG Ya-chun, XU Guang-bo, LIU Luo-fu, et al. Oil-source correlation of Putaohua and Fuyang oil layers in South Songzhan area, Songliao Basin [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2011, 35(3): 36-41.
- [7] 郭艳琴,李文厚,陈全红,等.鄂尔多斯盆地安塞—富县地区延长组—延安组原油地球化学特征及油源对比[J].石油与天然气地质,2006,27(2):218-224.
GUO Yan-qin, LI Wen-hou, CHEN Quan-hong, et al. Geochemical behaviors of oil and oil-source correlation in Yanchang-Yan'an formations in Ansai-Fuxian area, Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(2): 218-224.
- [8] 黄龙威.东濮凹陷西斜坡地区原油成熟度研究[J].石油学报,2006,27(5):51-55.
HUANG Long-wei. Maturity of crude oil in west slope of Dongpu depression [J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(5): 51-55.
- [9] 沈忠民,周光甲,洪志华.低成熟石油生成环境的生物标志化合物特征[J].成都理工大学学报,1999,26(4):396-401.
SHEN Zhong-min, ZHOU Guang-jia, HONG Zhi-hua. Biomarker characteristic of generator environment for low maturation oil [J]. Journal of Chengdu University of Technology, 1999, 26(4): 396-401.

- [10] 张虎权,王廷栋,林卫东,等. 民和盆地原油地球化学特征与油源对比[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(3):305-308.
ZHANG Hu-quan, WANG Ting-dong, LIN Wei-dong, et al. Geochemical characteristics of crude oil and correlation of oil-source in Minhe Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2006, 17(3):305-308.
- [11] HUANG W Y, MEINCHEIN W G. Sterols as ecological indicators [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1997, 43(5):739-745.
- [12] 王杰,王铁冠,陈践发,等. 松辽盆地双城—太平川地区原油地球化学特征及其成熟度差异[J]. 海相油气地质, 2009, 14(1):65-70.
WANG Jie, WANG Tie-guan, CHEN Jian-fa, et al. Geochemical characteristics and maturity difference of crude oil from Shuangcheng-Taipingchuan area in Songliao Basin[J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 2009, 14(1):65-70.
- [13] 彼得斯 K E, 莫尔多万 J M. 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, 张永昌, 林永汉. 译. 北京: 石油工业出版社, 1995: 100-187.
- [14] AQUINO Neto F R, TRENDLE J M, RESTLE A, et al. Occurrence and formation of tricyclic and tetracyclic terpanes in sediments and petroleum[M]. New York: John Wiley and Sons, 1983:659-676.
- [15] SIMONEIT B R T. Cyclic terpenoids of the geosphere [M]. New York: Elsevier, 1986:43-99.
- [16] PETERS K E, MOLDOWAN J M. The biomarker guide: interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments[M]. England: Prentice Hall Inc Press, 1993: 109-126, 159.
- [17] 张枝焕, 杨藩, 李东明, 等. 中国新生界咸化湖相有机地球化学研究进展[J]. 地球科学进展, 2000, 15(1):65-70.
ZHANG Zhi-huan, YANG fan, LI Dong-ming, et al. The organic geochemistry research progress in Cenozoic salified lake in China[J]. *Advance in Earth Sciences*, 2000, 15(1):65-70.

(编辑 刘为清)

(上接第43页)

- [12] BERGER G, LACHARPAGNE J C, VELDE B, et al. Kinetic constraints on illitization reactions and the effects of organic diagenesis in sandstone/shale sequences [J]. *Applied Geochemistry*, 1997, 12:23-35.
- [13] 朱筱敏. 沉积岩石学[M]. 4版. 北京:石油工业出版社, 2008:126-137.
- [14] THYNE G, BOUDREAU B, RAMM M, et al. Simulation of potassium feldspar dissolution and illitization in the Statfjord formation, North Sea [J]. *AAPG Bulletin*, 2001, 85(4):621-635.
- [15] 殷辉安. 岩石学相平衡[M]. 北京:地质出版社, 1988:264-275.
- [16] ABID I, HESSE R. Illitizing fluids as precursors of hydrocarbon migration along transfer and boundary faults of the Jeanne d'Arc Basin offshore Newfoundland, Canada [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2007, 24: 237-245.
- [17] 冯乔, 柳益群, 郝建荣. 三塘湖盆地芦草沟组烃源岩及其古环境[J]. 沉积学报, 2004, 22(3):513-517.
FENG Qiao, LIU Yi-qun, HAO Jian-rong. The source rock and its palaeo-environment of Lucaogou formation, Permian in Santanghu Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22(3):513-517.
- [18] 李红, 柳益群, 朱玉双. 新疆三塘湖盆地二叠系湖相白云岩形成机理初探[J]. 沉积学报, 2007, 25(1): 75-81.
LI Hong, LIU Yi-qun, ZHU Yu-shuang. Primary study on the origin of lacustrine dolostones of Permian, Santanghu basin, Xinjiang [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2007, 25(1):75-81.
- [19] 王京, 赵彦超, 刘琨, 等. 鄂尔多斯盆地塔巴庙地区上古生界砂岩储层“酸性+碱性”叠加溶蚀作用与储层质量主控因素[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2006, 31(2):221-228.
WANG Jing, ZHAO Yan-chao, LIU Kun, et al. Superimposing controls of acidic and alkaline dissolutions on sandstone reservoir quality of the paleozoic Xiashihezi and Shanxi formations in Tabamiao area, Ordos Basin [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2006, 31(2):221-228.

(编辑 徐会永)