

文章编号: 1000-0550(2002)04-0716-05

柯克亚凝析油气藏的油源研究^①

肖中尧^{1,2} 唐友军³ 侯读杰³ 张秋茶² 王福焕² 卢玉红²

1(中国科学院广州地球化学研究所 广州五山 510640)

2(中国石油塔里木油田分公司勘探开发研究院 新疆库尔勒 841000)

3(江汉石油学院分析测试研究中心 湖北荆州 434102)

摘要 柯克亚原油成因复杂。笔者重点解剖了塔西南地区两套烃源岩侏罗系和二叠系的生物标志物特征,并厘定了区分两套烃源岩的指标,在此基础上,全面研究了柯克亚原油中生物标志物,认为柯克亚原油主要来源于二叠系烃源岩,同时原油中检测出微量的二萜类化合物,表明侏罗系烃源岩有一定的贡献。

关键词 生物标志化合物 油-岩对比

第一作者简介 肖中尧 男 1969年出生 高级工程师 有机地球化学

中图分类号 P593 TE122.3 文献标识码 A

柯克亚油田位于塔里木盆地西南坳陷,于1977年发现。二十多年来,柯克亚油田的油源一直存在争论。归纳起来主要有三个基本来源,即石炭-二叠系、侏罗系和上白垩统一第三系,多数研究者都认为柯克亚油田油气具有多源性。

范成龙等认为柯克亚原油最可能的油源岩是上白垩统一第三系。吕鸣岗^①认为柯克亚原油为海相原油,其与四川三叠系海相原油相似,并根据原油和上白垩统一第三系生油岩沥青“A”族组成及碳同位素的相似性,认为原油源自上白垩统一第三系生油岩。杨斌和尹军平等^②认为中、下侏罗统为柯克亚油田的主要油气源;1987年5月中美塔里木石油勘探技术交流会上,杨斌和美国雪佛龙公司的Demason的报告均认为柯克亚原油为陆相原油,主要来自侏罗系含煤地层。兰州地质研究所江德昕等^③根据原油孢粉组合以侏罗系孢粉为主,认为侏罗系为油气的源岩。梅博文等^④主要根据Pr/Ph、C₁₄~C₁₆双环倍半萜、多环芳香烃中硫芴的分布特征等认为柯克亚原油为来源于石炭-二叠系海相生油岩和侏罗系湖相-沼泽相暗色泥岩的混合原油,与侏罗系含煤地层中的煤和炭质页岩缺乏明显的亲缘关系。杨斌等^⑤、刘得光等^⑥和杨坚强等根据多项地化资料,认为柯克亚油气主要源于石炭-二叠系,侏罗系中下统也有次要的贡献。Agip公司(1996)根据m/z191质量色谱图上C₃₀藿烷前一个很

弱的峰而认为其为奥利烷,并以此为依据认为柯克亚油田油气来自下第三系。

目前,柯克亚原油油源研究争论的焦点在有无侏罗系的贡献。事实上,侏罗系和二叠系烃源岩差别是显著的,尤其是侏罗系烃源岩发育二萜类化合物,可作为鉴定有无侏罗系烃源岩贡献的铁证。笔者的思路是采用高分辨率的GC/MS/MS,全面扫描原油中的化合物,检测有无二萜类化合物的存在。

1 油藏特征与原油物性表征

柯克亚背斜位于昆仑山前第二排构造带,为一近

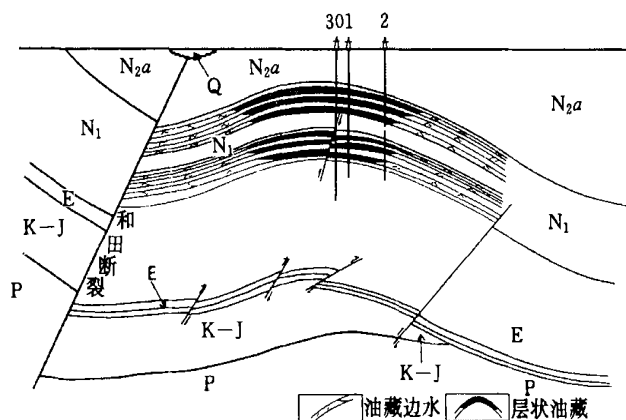


图1 柯克亚油藏剖面图

Fig. 1 The cross section of Kekeya oil pool

① 吕鸣岗,黄传波等. 塔里木盆地生油层评价和油源探讨. 1980

② 尹军平等. 柯克亚构造及其周围地区钻探目标与评价. 1994

③ 朱忠德,梅博文等. 塔里木盆地西南缘震旦纪-二叠纪地层沉积相及含油性研究. 1988

④ 杨斌,杨坚强,王绪龙等. 塔里木盆地西南坳陷烃源岩及含油系统研究. 1993

⑤ 刘得光,李勇广,王绪龙等. 塔里木盆地烃源岩评价与油源对比. 1994

表 1 生油岩及原油甾、萜烷参数

Table 1 Sterane and terpane parameter of source rock and crude oil

井号	层位	深度 /m	岩性	C ₂₁ /C ₂₃ 三环萜	2 * C ₂₄ 四环萜 / C ₂₆ 三环萜	T _s /T _m	重排 C ₃₀ / C ₃₀ H	C ₂₉ T _s / C ₂₉ H	G _a / C ₃₀ H	重排 C ₂₇ / 规则 C ₂₇	规则 C ₂₇	规则 C ₂₈	规则 C ₂₉	C ₂₉ S / S + R
阳 1 井	P	2 548.2		1.16	4.92	2.29	0.28	0.74	0.07	0.27	30.72	18.95	50.33	0.55
阳 1 井	P	3 464.4		1.17	2.75	1.47	0.55	0.71	0.41	0.46	25.39	32.71	41.90	0.48
阳 1 井	P	3 985.2		1.20	0.31	3.06	0.86	1.02	0.00					
杜瓦-28	J	露头		0.96	1.07	0.06	0.08	0.13	0.33	0.00	8.05	39.37	52.57	0.50
杜瓦-10	J	露头	泥	1.70	3.12	0.00	0.06	0.00	0.04	0.09	20.64	20.59	58.76	0.28
和什拉甫-12	J	露头		0.73	0.93	0.26	0.10	0.21	0.33	0.35	9.45	39.07	51.48	0.50
和什拉甫-32	J	露头	岩	0.74	0.91	0.19	0.11	0.21	0.33	0.00	8.99	38.86	52.15	0.51
和什拉甫-56	J	露头		0.82	0.89	0.25	0.11	0.23	0.36	0.00	9.02	39.60	51.38	0.50
柯 7011	N _x ²	6 676	原	1.33	1.94	5.66	2.93	1.48	0.00	0.46	27.96	27.02	45.02	0.54
柯深 101	E ₂ k	6 354	油	1.22	2.33	4.44	1.78	1.05	0.00	0.42	30.78	24.58	44.64	0.57

东西向的短轴背斜, 两翼不对称, 北南缓, 轴面略南倾 (图 1)。柯克亚背斜形成时间较晚, 晚第三纪中新世早期初具雏形, 定型于上新世晚期。油藏的主要含油气层系为上第三系的西河甫组和下第三系卡拉塔尔组。各油组具有独立的压力系统, 互不连通; 地温梯度为 1.8 °C/100m, 属低温系统。地层水为 CaCl₂ 型, 矿化度 110 000 ~ 160 000 mg/l, 氯根离子 60 000 ~ 90 000 mg/l, 属高矿化度封闭型地层水。

柯克亚原油是一种无色或淡黄色的透明液体, 密度低 (0.71 ~ 0.83 g/cm³)、粘度低和含硫量极低 (<0.045%); 含蜡量低—中等, 凝固点与含蜡量呈正相关关系。柯克亚原油 V/Ni 比为 0.01 ~ 0.82, 组份分析表明原油以饱和烃为主, 芳烃含量极低, 基本不含非烃和沥青质。

2 烃源岩地球化学特征

不同时代的烃源岩因为其沉积环境不同, 生物标志化合物特征也不同, 即便沉积环境类似, 也由于年代效应的影响 (指生物由低等向高等的演化), 其生物标志化合物特征也会不同。与柯克亚油气有关的两套烃源岩为侏罗系和二叠系, 沉积环境迥异, 导致其生物标志化合物特征差异显著。

侏罗系烃源岩生物标志化合物特征为 (表 1、图 2): 倍半萜系列中, 重排补身烷占优势; 三环萜烷分布以 C₂₃-三环萜烷为主峰, C₂₄-四环萜烷中等发育; T_s<T_m, 伽玛蜡烷发育, 重排藿烷、新藿烷系列不发育; C₂₉ 规则甾烷含量占优势, C₂₈ 甾烷次之, C₂₇ 甾烷含量较低, 呈 C₂₉>C₂₈>C₂₇ 分布, 重排甾烷不发育。

二叠系烃源岩生物标志化合物特征为 (表 1、图 2): 倍半萜系列中, 8β(H)-升补身烷占优势, 重排补身

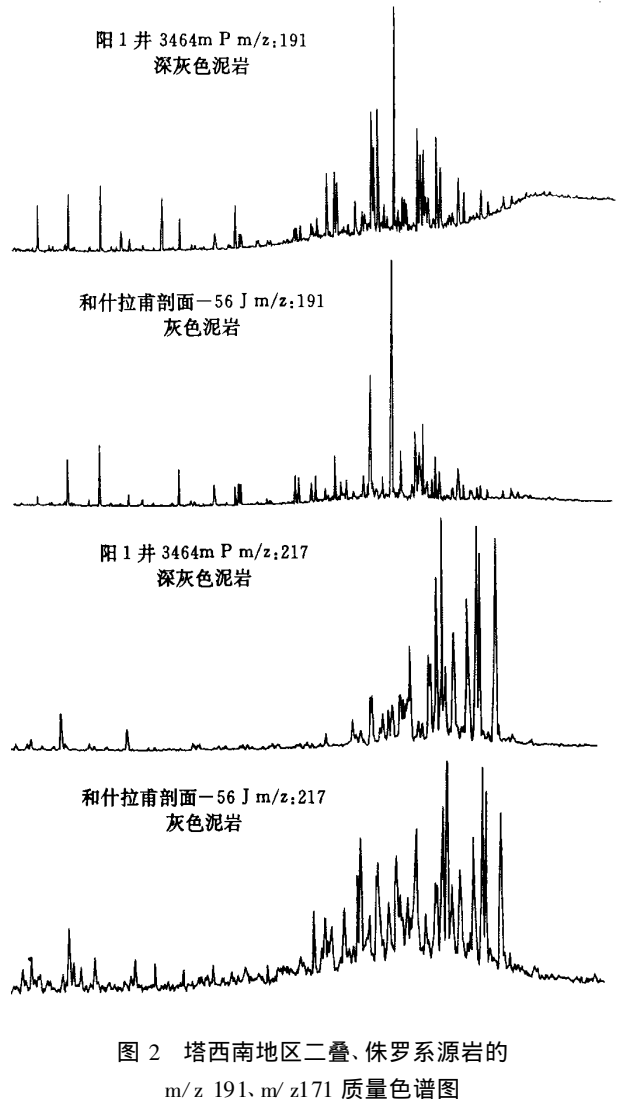


图 2 塔西南地区二叠、侏罗系源岩的 m/z 191, m/z 171 质量色谱图
Fig. 2 m/z 191, m/z 171 GC-MS chromatogram of Permian and Jurassic source rocks in the Southwest of Tarim basin

烷含量较低;三环萜烷分布以 C_{21} -三环萜为主峰, C_{24} -四环萜烷含量丰富; $T_s \gg T_m$, 重排藿烷、新藿烷、 C_{30} 未知萜烷系列发育,伽玛蜡烷中等发育; C_{29} 规则甾烷含量占优势, C_{27} 甾烷次之, C_{28} 甾烷含量较低,呈 $C_{29} > C_{27} > C_{28}$ 分布,重排甾烷发育,尤其是 C_{29} 重排甾烷。

不难发现,两套烃源岩生物标志化合物特征差异集中体现在重排藿烷、新藿烷、 C_{30} 未知萜和 C_{29} 重排甾烷的含量上。为了获得更多信息,笔者将两套烃源岩进行了 GC/MS/MS 扫描分析。扫描分析结果如下:①二叠系样品中重排藿烷、未知萜烷呈系列分布,含量丰富;侏罗系样品中重排藿烷含量较低。②侏罗系烃源岩中检测到三环二萜类化合物为异海松烷,二叠系样品中未检测到该类化合物(图3)。

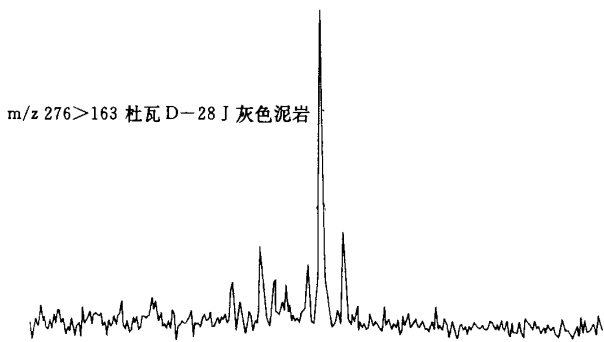


图3 侏罗系源岩中的二萜类化合物分布

Fig. 3 The distribution of diterpenoid in Jurassic source rock

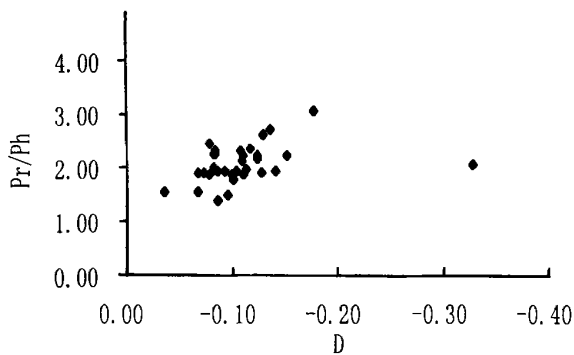


图4 柯克亚原油的 $Pr/Ph-D$ 相关图

Fig. 4 Plot of $Pr/Ph-D$ of Kekeya crude oil

3 原油地球化学特征

柯克亚原油的色谱面貌为单峰型,主要以轻质组分为主, C_{21}/C_{22} 的变化范围较大,在 2.79~196.02 之间分布,主峰碳基本上为 C_9 或 C_{10} ;反映成熟度参数的 CPI 和 OEP 指数接近 1.0,表明原油已成熟; Pr/Ph 为 1.4~3.0,说明源岩的沉积环境为弱氧化环境。

根据王培荣等的研究,可以根据 Pr/Ph 比值和

$Ph/nC_{18}-Pr/nC_{17}(D)$ 来判断源岩的沉积相。他们认为 $Pr/Ph > 1.30$, $D < -0.025$ 为陆相原油, $Pr/Ph < 1.30$, $D > -0.025$ 为海相原油。从柯克亚原油的 $Pr/Ph-D$ 相关图(图4)可看出柯克亚原油具陆相原油的特征。

原油中倍半萜的分布特征为重排补身烷占优势,补身烷含量相对较低; C_{24} -四环萜含量较高,三环萜烷以 C_{21} -三环萜烷为主峰, $T_s \gg T_m$, 重排藿烷、新藿烷和 C_{30} 未知萜烷发育,除柯103和柯50原油外,原油藿烷类以 C_{30} 重排藿烷为主峰,重排甾烷发育。GC-MS-MS 分析表明,重排藿烷和未知萜烷呈系列分布(图5)。

原油 C_{30} 甾烷仅检测到 3-甲基甾烷和 2-甲基甾烷,不含 4-甲基甾烷(图6)。根据文献资料^[2], 4-甲基甾烷缺失时, 3-甲基甾烷和 2-甲基甾烷的存在,可能与油源的时代有关,指示前中生界来源的原油。

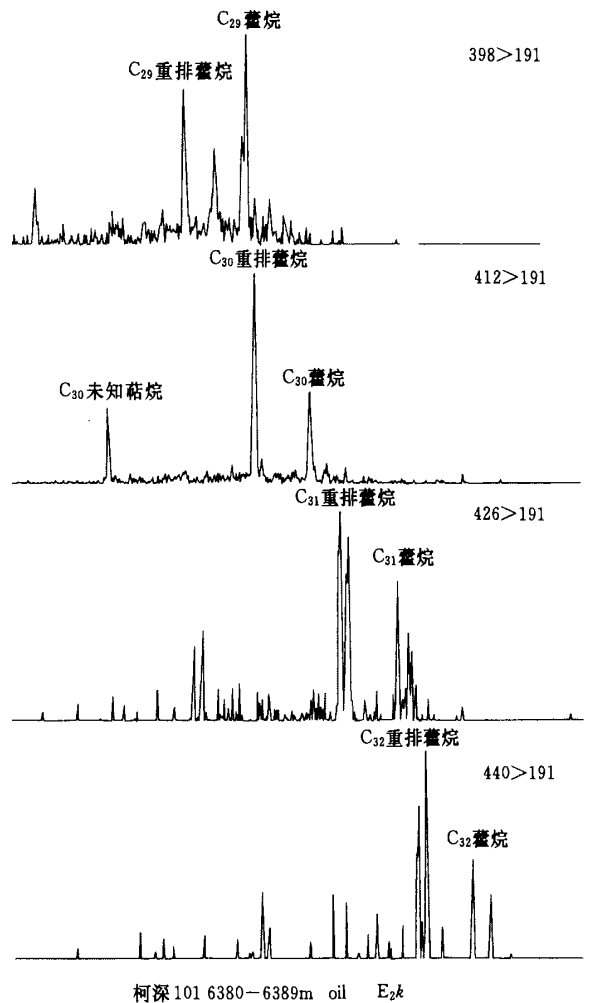


图5 柯克亚地区原油中重排藿烷、未知萜烷系列分布
Fig. 5 The distribution of rearranged hopanes and unknown terpane in Kekeya crude oil

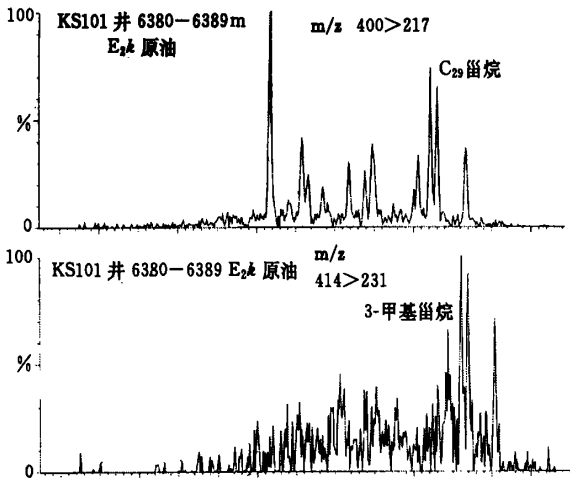


图 6 柯克亚地区原油中 3-甲基甾烷分布

Fig. 6 The distribution of 3-methyl sterane in Kekeya crude oil

4 油—岩对比

研究业已证实, 重排藿烷和 C₃₀-未知萜烷在二叠系烃源岩样品中富集, 是区分侏罗系和二叠系两套烃源岩的有效指标。重排藿烷和 C₃₀-未知萜烷生源意义是什么? 能否作为有效的油—岩对比指标?

Moldowan 等^[3]发现重排藿烷与相应原油中正常藿烷具有相同的 δ³C 值, 应来源于相同或相近的先质, 其成因是正常的藿烷在 D 环发生重排而形成。重排藿烷存在与细菌藿烷类先质有关, 不应当做为陆源标志物。由于重排藿烷的形成必须经历 D 环的氧化作用和酸性介质催化, 因而其存在主要是反映了富含粘土矿物的氧化—亚氧化环境。C₃₀-未知萜烷是陆相有机质指示指标, 其出峰位置在 Ts 和 T_m 之间^[5]。因此, 这两类化合物可作为有效的油—岩对比指标。

三萜类对比结果表明(图 7), 柯克亚原油富含重排藿烷和 C₃₀-未知萜烷, 与二叠系烃源岩特征类似, 对比较好。尤其值得指出的是, 二叠系烃源岩随深度的增加, 重排藿烷和 C₃₀-未知萜烷的含量也在上升, 一方面说明了成熟度对重排藿烷和 C₃₀-未知萜烷含量的影响, 另一方面也说明柯克亚原油主要来源二叠系下部烃源岩。

笔者关注的另一个问题是有无侏罗系烃源岩的贡献。二萜类化合物是侏罗系煤系烃源岩的标志性化合物, 可以为本区油源的对比提供重要的信息。对侏罗系和二叠系烃源岩的 GC-MS-MS 分析检测表明, 在侏罗系源岩存在着二萜类化合物(异海松烷), 柯克亚地区原油的二萜类检测表明, 绝大多数原油中存在着微量的二萜类化合物—异海松烷(图8), 这些特征均说

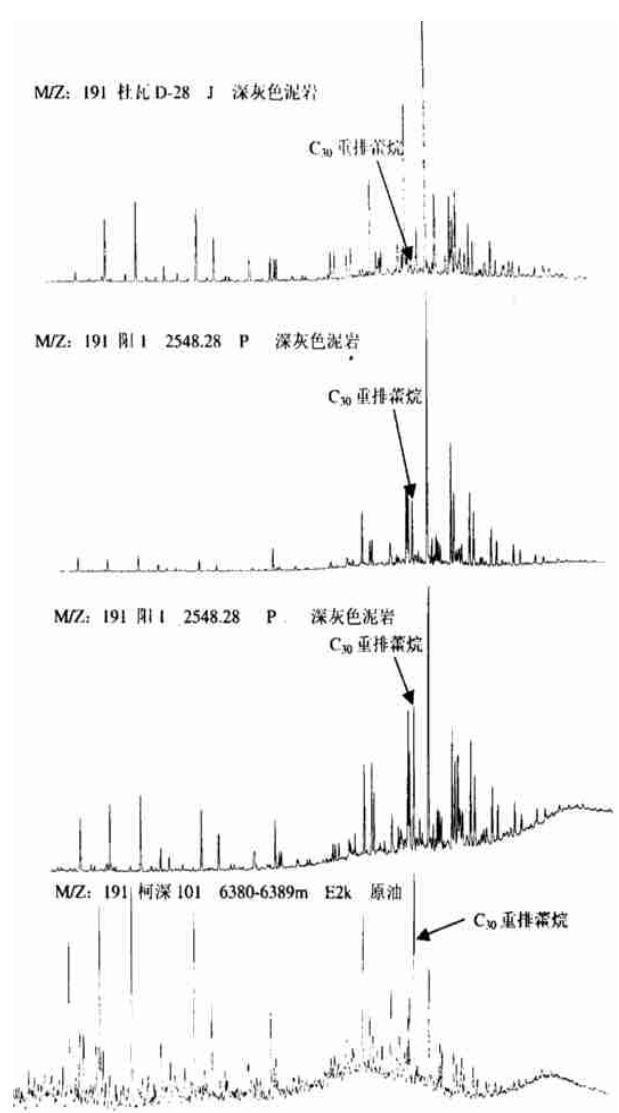


图 7 柯克亚地区油—岩对比

Fig. 7 Oil and source rock correlation in Kekeya region

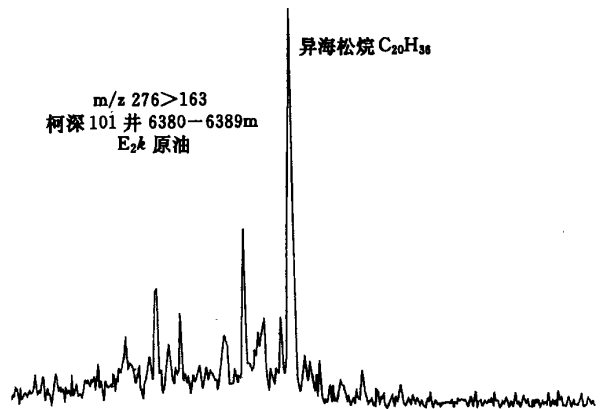


图 8 柯克亚地区原油中二萜类分布

Fig. 8 The distribution of diterpenoid in Kekeya crude oil

明本区原油也存在着一定的侏罗系源岩的贡献。但因为二萜类化合物含量较低,因而本区原油的主要来源仍以二叠系源岩为主。

5 结论

(1) 塔西南地区两套烃源岩侏罗系和二叠系,其生物标志化合物特征差异显著。①二叠系样品中富集重排藿烷、新藿烷和未知萜烷,并且重排藿烷和未知萜呈系列分布,侏罗系烃源岩贫乏重排藿烷、新藿烷和未知萜烷;②侏罗系烃源岩中检测到二萜类化合物,二叠系样品中未检测到该类化合物;③C₃₀甾烷的检测表明,两套烃源岩都富含3-甲基甾烷。

(2) 柯克亚原油的色谱面貌为单峰型,主要以轻质组分为主;CPI和OEP接近1,表明原油已成熟;Pr/Ph为1.4~3.0,说明源岩的沉积环境为弱氧化环境。原油C₂₄-四环萜烷含量较高,三环萜烷以C₂₁-三环萜烷为主峰, T_s >> T_m, 重排藿烷、新藿烷和C₃₀未知萜烷

发育,进一步说明了富含粘土介质的弱氧化沉积环境。原油C₃₀甾烷仅检测到3-甲基甾烷和2-甲基甾烷,不含4-甲基甾烷,指示其为前中生界来源的原油。

(3) 油-岩对比结果表明,柯克亚原油主要来源于二叠系烃源岩,同时原油中检测出微量的二萜类化合物,说明侏罗系烃源岩也有一定的贡献。

参考文献(References)

- 1 江德昕等. 塔里木盆地原油孢粉集合[J]. 沉积学报, 2000, 18(1): 80~85[Jiang De-Xin. Petroleum Spore-Pollen Assemblages of Tarim Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica 2000, 18(1): 80~85]
- 2 Summons R E, Capon R J. Identification and significance of 3 β -methylsterane in sediments and petroleum[J]. Geochim Cosmochim Acta, 1991, 55: 2 391~2 395
- 3 Moldovan J M, Fango F, *et al.* Rearranged hopanes in sediments and petroleum[J]. Geochim Cosmochim Acta, 1991, 55: 3 333~3 353
- 4 Philp R P, Gilbert T C. Biomarker distribution in Australian oils predominantly derived from terrigenous source material[J]. Org Geochem, 1986, 10: 73~84

Study on Oil Source of Kekeya Condensate Oil-Gas Pool

XIAO Zhong-yao^{1,2} TANG You-jun³ HOU Du-jie³ ZHANG Qiu-cha²
WANG Fu-huan² LU Yu-hong²

1 (Guangzhou Institute of Geochemistry Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640)

2 (Exploitation and Development Research Institute of Tarim Oil Field Company, CNPC Korla Xinjiang 841000)

3 (Analytical Center of Jiangnan Petroleum College, Jingzhou, Hubei 434102)

Abstract The origin of Kekeya crude oil is very complex. The author emphatically analyzes the biological marker features of two sets of hydrocarbon source rocks, i. e. Jurassic and Permian, in the Southwest of Tarim, and defines the standard that could differentiate the two sets of hydrocarbon source rocks. On this foundation, we have comprehensively scan the biological marker of Kekeya crude oil, and the result indicates that Kekeya crude oil mainly derived from Permian hydrocarbon source rock. Moreover, we measure tiny diterpenoid in crude oil, indicating that the Jurassic hydrocarbon source rock has important contribution.

Key words biological marker, oil and source rock correlation