

文章编号: 0379-1726(2003)06-0582-09

准噶尔盆地三叠系生源油藏的发现及其意义

陈建平^{1,2,3}, 梁狄刚^{1,2}, 王绪龙⁴, 邓春萍^{1,2},
靳涛⁴, 向书政⁴, 刘宏伟⁴

(1. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 中国石油天然气集团公司 油气地球化学重点实验室, 北京 100083; 3. 中国矿业大学 煤炭资源教育部重点实验室, 北京 100083; 4. 中国石油新疆油田分公司, 新疆 克拉玛依 834000)

摘 要: 首次在准噶尔盆地发现了来源于三叠系烃源岩的典型原油, 其地球化学特征与以往发现的石炭系、二叠系和侏罗系烃源岩生成原油均不同。该原油全油碳同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 -31‰ 左右, 与石炭系和侏罗系原油差异很大; 生物标志物中富含重排甾烷、Ts、 C_{29}Ts 及 C_{30} 重排藿烷, 而伽马蜡烷和 β -胡萝卜素含量低, 与三叠系烃源岩抽提物中生物标志物的分布十分相似, 而与二叠系和侏罗系明显不同。二叠系、三叠系和侏罗系烃源岩的地球化学特征对比分析研究表明, 三叠系是仅次于二叠系的良好烃源岩, 具有较高的生烃潜力, 是该盆地中又一套重要的烃源岩层系。油源对比表明该原油来源于三叠系烃源岩。三叠系生源原油的发现对该盆地油气勘探具有十分重要的意义。

关键词: 三叠系; 原油; 烃源岩; 生物标志物; 地球化学; 准噶尔盆地

中图分类号: P593

文献标识码: A

0 引言

准噶尔盆地(图 1)是一个具有前寒武系结晶基底和下古生界基底双层基底的中央地块型复合叠加盆地, 面积 12 万 km^2 , 是中国西部第二大沉积盆地^[1,2]。自石炭纪盆地基底基本定型以来, 准噶尔盆地的演化可分为以下 4 个阶段: (1) 晚石炭世晚期—早二叠世: 前陆型海相—残留海相盆地; (2) 中晚二叠世: 前陆型陆内坳陷盆地; (3) 三叠纪—早第三纪: 陆内坳陷盆地; (4) 晚第三纪—第四纪复活碰撞前陆盆地。在盆地演化的前 3 个阶段都发育了烃源岩地层, 其中二叠系是该盆地中最主要的烃源岩层系, 其次是上三叠统一侏罗系, 局部地区还发育石炭系和下第三系烃源岩。

从 20 世纪 30 年代开始历经 70 多年的石油勘探, 在准噶尔盆地西北缘、腹部、南缘和东部发现了大量来自二叠系烃源岩的石油(图 1); 在盆地南缘发现了来源于侏罗系和下第三系烃源岩的石油; 在盆地东部发现了大量来源于石炭系烃源岩的石油, 但是始终没有找到来源于三叠系烃源岩的石

油^[1-6]。多年的勘探和研究表明, 晚三叠世是该盆地演化历史上最大的湖泛期, 上三叠统沉积地层几乎覆盖全盆地, 沉积面积达 10.5 万 km^2 , 是一套滨浅湖—半深湖相甚至深湖相沉积, 厚度达 100~450 m, 且具有较好的烃源岩^[1,5,6]。石油勘探家们一直疑惑, 既然三叠系是该盆地最大湖泛期, 烃源岩广泛分布, 为什么找不到三叠系生成的原油? 三叠系究竟是不是该盆地中一套重要烃源岩层系? 通过对该盆地东部各油田和探井 75 个原油样品以及 40 个二叠系、三叠系和侏罗系烃源岩样品地球化学特征的详细分析研究, 首次发现了来源于三叠系烃源岩的原油^[6-8], 本文将详细描述该原油的地球化学特征, 并将其与该地区其他原油及烃源岩进行对比, 确定其油源, 为今后勘探中新发现原油的油源判识提供可靠的依据。本文所分析原油和烃源岩样品的详细情况和实验方法参见文献[6~8]。

1 原油地球化学特征

在准噶尔盆地东部阜康凹陷北部斜坡带阜 5 井(图 1)井深 4 534~4 540 m 和 4 640~4 645 m 上

收稿日期: 2002-12-16; 接受日期: 2003-03-10

基金项目: 国家自然科学基金(49873001); 中国石油天然气股份有限公司资助项目(010109-3)

作者简介: 陈建平(1962-), 男, 高级工程师, 油气地球化学专业。E-mail: chenjp@petrochina.com.cn

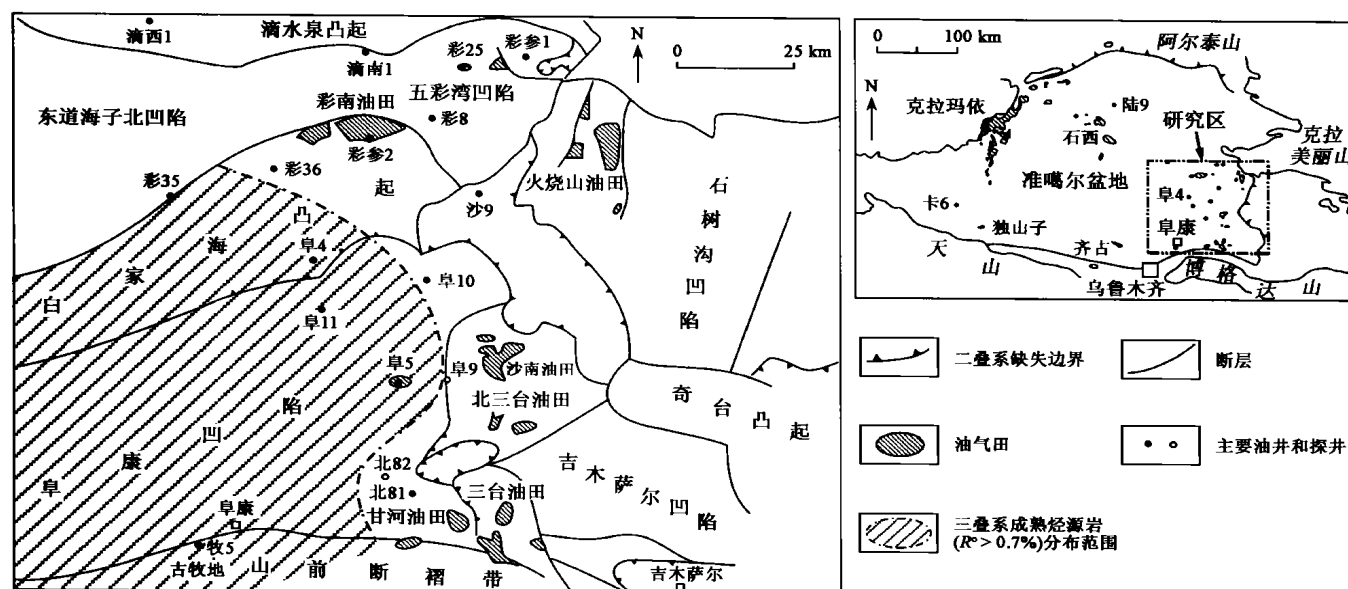


图 1 准噶尔盆地东部地区油田与主要探井分布图

Fig. 1 Location of the oil fields and key wells in the East Junggar Basin

三叠统地层中发现了两层原油,其地球化学特征与以往发现的石炭系、二叠系和侏罗系烃源岩来源的原油均不同。

1.1 原油族组成和碳同位素组成

阜5井三叠系两个原油样品呈褐黑色，为正常密度和黏度原油。原油族组成中均以饱和烃为主，约占82.0%，芳烃约占7.5%，非烃约占8.0%，沥青质约占2.5%。

两个原油的碳同位素组成很相似, 其中全油 $\delta^{13}\text{C}$ 值约为 -31.0‰ , 饱和烃 $\delta^{13}\text{C}$ 值约为 -31.5‰ , 芳烃约为 -30.4‰ , 非烃约为 -30.0‰ , 沥青质约为 -29.8‰ 。二叠系烃源岩生成的原油全油 $\delta^{13}\text{C}$ 值均小于 -29.5‰ , 一般在 $-30.0\text{‰} \sim -31.0\text{‰}$ 之间, 与阜 5 井原油很相似; 侏罗系烃源岩生产的原油全油 $\delta^{13}\text{C}$ 值一般在 -27.0‰ 左右, 比阜 5 井原油重 4.0‰ 左右; 石炭系烃源岩生成的原油全油 $\delta^{13}\text{C}$ 值均大于 -25.5‰ , 与阜 5 井原油有 $6.0\text{‰} \sim 7.0\text{‰}$ 的差异^[6~8]。

1.2 原油饱和烃色谱特征

阜5井三叠系地层中的两个原油样品饱和烃色谱中低碳数正构烷烃占有一定的优势(图2), C_{21}/C_{22} 比值在 2.1~2.3 之间, 主峰碳为 C_{17} 和 C_{19} , 正构烷烃没有奇偶优势, CPI 比值在 1.15 左右, OEP 比值为 1.05 左右, 表明原油已经属于成熟原油。

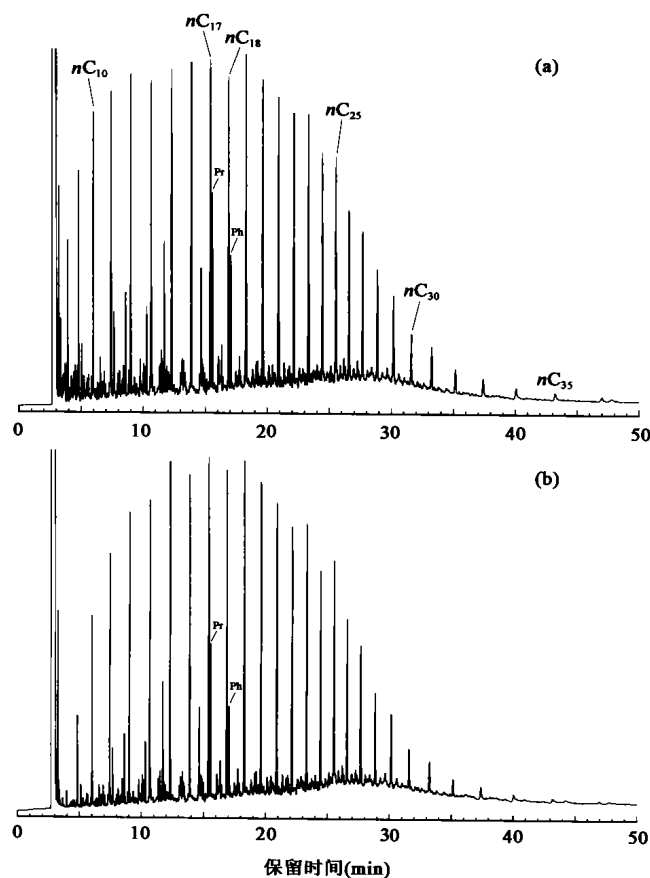


图2 阜5井三叠系原油饱和烃色谱图

Fig. 2 Gas chromatogram of saturated hydrocarbon from the crude oils in Well Fu 5

(a) 4 534 ~ 4 540 m, 原油; (b) 4 640 ~ 4 645 m, 原油。

(a) 4 534 ~ 4 540 m, crude oil; (b) 4 640 ~ 4 645 m, crude oil.

除正构烷烃外,原油中类异戊二烯烷烃的丰度也较高,而且姥鲛烷(Pr)比植烷(Ph)略占一点优势,其中 Pr/nC_{17} 和 Ph/nC_{18} 比值分别在 0.44 和 0.31 左右,Pr/Ph 比值均在 1.5 左右。二叠系来源的原油 Pr/Ph 比值与阜 5 井原油类似,但侏罗系和石炭系原油则均在 3 以上,与阜 5 井原油明显不同。

1.3 原油生物标志物特征

阜 5 井三叠系地层中原油生物标志物分布具有以下特点:(1)该原油最明显的特征之一是重排甾烷含量异常高,甚至高于规则甾烷,而且,不仅 C_{29} 重排甾烷含量高, C_{27} 重排甾烷的含量也很高(图 3a);(2)规则甾烷中以 C_{29} 甾烷为主, C_{27} 甾烷、 C_{28} 甾烷含量较低;(3)三环萜烷分布中以 C_{20} 、 C_{21} 和 C_{23} 为主, C_{19} 三环萜烷含量低, C_{26} 三环萜烷含量与 C_{24} 四环萜烷基本相当(图 3b);(4)五环萜烷中 Ts 、 $C_{29}Ts$ 和 C_{30} 重排藿烷含量特别高,其中 Ts/Tm 比值大于 2.0, $C_{29}Ts/C_{29}$ 藿烷的比值也达到 0.5 左右;(5)伽马蜡烷和 β -胡萝卜素含量较低。

准东地区二叠系原油生物标志物与阜 5 井原油存在较大差异(图 3e 和图 3f)。(1)二叠系原油中均含有较高的伽马蜡烷和 β -胡萝卜素,这两个化合物均是咸水沉积环境的标志物;(2)原油中 Ts 、 $C_{29}Ts$ 、 C_{30} 重排藿烷含量很低;(3)二叠系原油中基本没有重排甾烷;(4)甾烷中以 C_{28} 、 C_{29} 甾烷为主, C_{27} 甾烷含量很低。

侏罗系原油生物标志物的组成与阜 5 井原油也明显不同(图 3g 和图 3h)。(1)在三环萜烷的分布上以 C_{19} 和 C_{20} 为主,其他碳数的三环萜烷含量低,这也是我国西北地区侏罗系原油的普遍特征^[9,10],与阜 5 井原油明显不同;(2) Ts 、 $C_{29}Ts$ 含量明显低于阜 5 井原油;(3)基本没有伽马蜡烷和 β -胡萝卜素,比阜 5 井原油更低;(4)甾烷组成中以 C_{29} 规则甾烷和重排甾烷为主,而 C_{27} 、 C_{28} 规则甾烷和重排甾烷的含量明显较低,尤其是 C_{27} 甾烷和重排甾烷更低。

阜 5 井三叠系地层中原油与二叠系、侏罗系原油在生物标志物特征方面的这些差异表明,生成这些原油的有机质的来源与沉积环境不同,它们应该来源于不同的油源岩。

1.4 原油成熟度

首先,从上述原油组成中饱和烃含量在 80% 以上而非烃不到 10%、饱和烃中正构烷烃也已经没有奇偶优势可以看出,这两个原油已经是成熟原油。

其次,由生物标志物异构化情况看,原油中 $\alpha\alpha\alpha$ -20S 构型含量较高(图 3a), $\alpha\beta\beta$ 构型甾烷的含量已经超过了 $\alpha\alpha\alpha$ -20R 构型甾烷,其中 C_{29} 甾烷 $20S/(20S+20R)$ 比值已经达到 0.45 以上, $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 比值更是在 0.55 以上,表明原油已经属于完全成熟的原油。

第三,芳烃色谱-质谱分析表明,原油的甲基菲指数(MPI)均为 0.78,按照 MPI 比值与 R^o 之间的关系公式^[11]计算,这些原油的成熟度相当于镜质组反射率为 0.87%,表明为成熟原油。而且,该公式计算的原油成熟度比实际镜质组反射率低约 0.1%^[12],因此,原油的成熟度应该相当于镜质组反射率 0.97%,为烃源岩中有机质在生油高峰阶段的产物。

2 烃源岩地球化学特征

准噶尔盆地东部地区三叠系烃源岩有机质丰度高、以 II 型有机质为主,具有较高的生烃潜力,而且在阜康凹陷及其北部斜坡带达到了成熟—高成熟生烃演化阶段,具备了生成大量油气的地球化学条件,烃源岩的生物标志物分布特征也与二叠系和侏罗系明显不同。

2.1 烃源岩有机质丰度、类型和成烃潜力

在准噶尔盆地东部地区(图 1),二叠系烃源岩分布广泛,且主要为半深湖—深湖相泥岩、油页岩沉积;中上三叠统沉积地层为潮湿气候条件下的河流—湖泊相沉积,岩性为深灰色砂泥岩、泥岩夹炭质泥岩和薄煤层,泥岩的厚度一般在 0~250 m,主要分布在阜康凹陷及北斜坡。侏罗系以河流沼泽相和浅湖相沉积为主,分布也很广泛^[5]。

二叠系烃源岩的有机质丰度、生烃潜力和有机质类型在该地区最好,是很好的烃源岩(表 1)。三叠系烃源岩有机碳含量略高于侏罗系八道湾组烃源岩,但热解生烃潜力、氯仿沥青 A 和总烃含量明显高于侏罗系,仅次于二叠系烃源岩而位居第二。在阜康凹陷北斜坡带,绝大多数三叠系源岩样品有机碳含量在 2.0% 以上,热解烃在 6.0 mg/g 以上,氯仿沥青 A 含量在 1.0% 以上,氢指数在 200~400 mg/g 之间,干酪根 H/C 原子比基本在 0.8~1.2 之间,干酪根 $\delta^{13}C$ 值在 -24‰~-30‰之间,表明三叠系烃源岩以 II 型有机质为主,是仅次于二叠系的烃源岩,具有良好的成烃潜力。

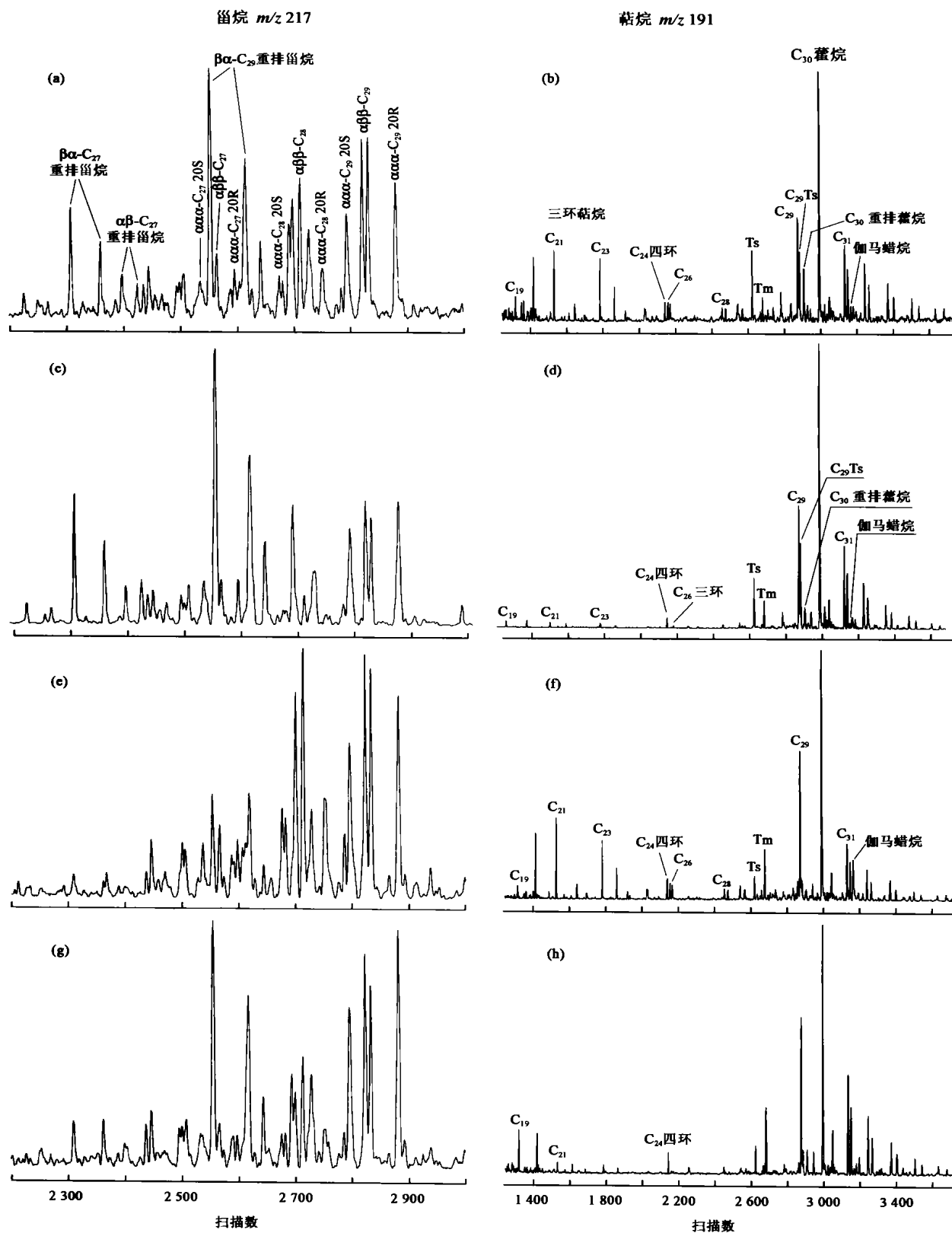


图 3 阜 5 井原油与烃源岩饱和烃甾烷 (m/z 217) 和萜烷 (m/z 191) 质量色谱图

Fig. 3 Mass chromatogram of steranes (m/z 217) and terpanes (m/z 191) of saturated hydrocarbons from crude oils and extract of source rock in Well Fu 5

a 和 b. 三叠系原油; c 和 d. 三叠系烃源岩; e 和 f. 典型二叠系原油; g 和 h. 典型侏罗系原油

a and b. Triassic-derived oil; c and d. Triassic source rock; e and f. typical Permian-derived oil; g and h. typical Jurassic-derived oil.

表 1 不同层位烃源岩有机质丰度

Table 1 Abundance of organic matter in different source rocks

层 位	有机碳 (%)	生烃潜力 (mg/g)	氯仿沥青 A (%)	总 烃 (%)
J _{1s}	0.95(33)	1.59(22)	0.30(6)	0.211(6)
J _{1b}	1.82(53)	2.99(21)	0.30(19)	0.202(12)
T ₂₋₃	1.92(43)	5.40(27)	0.65(22)	0.435(19)
P _{2p}	2.83(106)	13.72(95)	1.70(63)	0.925(60)

注: 括号中的数字为样品数。

本文进行生物标志物等精细分析研究的三叠系烃源岩样品, 其有机碳含量在 1.2% ~ 12% 之间, 热解生烃潜力在 2 ~ 50 mg/g 之间, 氢指数在 140 ~ 520 mg/g 之间, 以 II 型有机质为主^[7]。

2.2 烃源岩成熟度

阜康凹陷北部斜坡阜 9 井、阜 10 井 (图 1) 三叠系烃源岩样品热解 t_{\max} 一般在 440 °C 左右, 氯仿抽提物的转化率大于 5%, 镜质组反射率为 0.6% ~ 0.7%。饱和烃色谱中 CPI 值在 1.33 ~ 1.35 之间。生物标志物中 20S 构型甾烷含量较高, C_{29} 甾烷 20S/(20S + 20R) 比值为 0.32 ~ 0.33, 表明烃源岩处于低成熟阶段。阜 5 井和阜 11 井 (图 1) 三叠系比阜 9 井、阜 10 井埋藏深 500 ~ 800 m, 烃源岩的成熟度增加, 其中镜质组反射率已大于 0.70%, 热解 t_{\max} 在 445 °C 以上, 饱和烃色谱正构烷烃奇偶优势已经不明显, 甾烷 20S/(20S + 20R) 比值在 0.4 左右, 异胆甾烷含量已比较高, $\beta\beta/(\alpha\alpha + \beta\beta)$ 比值也已在 0.4 以上, 芳烃甲基菲指数 MPI 在 0.54 左右, 相应的反射率也在 0.7% 以上, 表明烃源岩达到成熟生烃阶段。由阜 5 井、阜 11 井向西南, 三叠系埋藏越来越深, 至阜康凹陷可达 8 ~ 10 km, 烃源岩的成熟度更高, 完全具备生成大量油气的热演化条件。

2.3 烃源岩生物标志物特征

准东地区大量二叠系、三叠系和侏罗系烃源岩抽提物生物标志物分析显示, 各层系烃源岩甾烷和萜烷等生物标志物的分布各有特色, 呈现出较大差异。

阜康凹陷北部斜坡带三叠系烃源岩抽提物中甾烷分布最重要的特点是重排甾烷含量很高, 甚至超过规则甾烷 (图 3c), 这一特征也是与二叠系和侏罗系源岩的重要区别之一。南部山前三叠系烃源岩则重排甾烷含量较低。二叠系烃源岩基本不含重排甾烷^[3, 4, 6, 7, 13]。侏罗系烃源岩虽然含有重排甾烷, 但

通常以 C_{29} 重排甾烷为主, C_{27} 重排甾烷含量较低^[3, 6, 9, 14]。一般认为, 重排甾烷的丰度与有机质的沉积成岩环境有关^[15]。高重排甾烷指示有机质赋存于富含粘土矿物的烃源岩, 粘土矿物酸性催化有利于甾醇向重排甾烷转化^[15]。重排甾烷含量的差异说明二叠系、三叠系和侏罗系烃源岩有机质在来源和沉积环境上存在较大差异。

三叠系烃源岩抽提物中规则甾烷以 C_{29} 甾烷为主 (50% ~ 80%), C_{27} 甾烷含量也较高, 常常占到 20% ~ 30%, 而 C_{28} 甾烷含量相对较低, 甚至低于 C_{27} 甾烷, 只占 5% ~ 15%。侏罗系烃源岩虽然也是以 C_{29} 甾烷为主, 但 C_{27} 和 C_{28} 甾烷的含量都很低, 通常是 C_{27} 甾烷的含量还低于 C_{28} 甾烷^[3, 6 ~ 9, 14]。二叠系烃源岩非常明显的、普遍的特征是规则甾烷的分布是以 C_{28} 和 C_{29} 甾烷为主^[3, 6, 7, 13], 且两者含量相差不多, C_{29} 甾烷仅比 C_{28} 甾烷高一点, C_{27} 甾烷的含量很低, 这与三叠系烃源岩完全不同。

三叠系烃源岩抽提物中萜烷分布 (图 3d) 最明显的、也是普遍的特征是, 无论源岩的成熟度高低, 它们都含有十分丰富的 Ts 和 C_{29} Ts, 这也是与侏罗系和二叠系源岩萜烷分布的重要差别之一。三叠系烃源岩 Ts 的含量均大于 Tm 的含量, Ts/Tm 比值大于 1.5, C_{29} Ts/ C_{29} 藿烷比值也在 0.5 以上; 二叠系烃源岩 Ts/Tm 比值均小于 1; 侏罗系烃源岩 Ts/Tm 比值远小于 1。Ts 和 C_{29} Ts 被认为与成熟度或者沉积成岩环境有关^[15, 16], 但是有些三叠系烃源岩成熟度很低, 而 Ts 和 C_{29} Ts 却也很丰富, 这表明 Ts 和 C_{29} Ts 化合物的来源并不是完全依赖于成熟度或沉积环境, 与母源输入也密切相关。三叠系烃源岩中丰富的 Ts 和 C_{29} Ts 与丰富的重排甾烷共同表明, 其有机质沉积于富含粘土矿物、对有机质具有酸性催化作用的沉积成岩环境, 同时还表明, 可能具有不同于二叠系和侏罗系烃源岩有机质的特殊母质。

此外, 三叠系烃源岩抽提物含有少量伽马蜡烷和 β - 胡萝卜烷, 而二叠系烃源岩富含伽马蜡烷和 β - 胡萝卜烷, 其含量远远高于三叠系烃源岩, 侏罗系烃源岩中则几乎没有伽马蜡烷和 β - 胡萝卜烷。伽马蜡烷和 β - 胡萝卜烷的存在主要归因于缺氧的、含盐湖相沉积环境中的藻类有机质, 指示有机质沉积于咸水—半咸水环境^[15, 17 ~ 19]。伽马蜡烷和 β - 胡萝卜烷是二叠系烃源岩和原油的典型生物标志物特征之一^[3, 4, 6, 7, 13, 19], 有别于其他层系的烃源岩和相应的原油。

由于三叠系烃源岩抽提物生物标志物特征与二

叠系和侏罗系烃源岩抽提物以及各自相应的原油差异明显,因此三叠系烃源岩中的沥青是原生的沥青,没有受到外来烃类的浸染,生物标志物分布特征是三叠系烃源岩中有机质的真实反映。

3 烃源岩 - 原油油源对比

阜 5 井三叠系地层中的两个原油样品的 $\delta^{13}\text{C}$ 值和生物标志物等地球化学特征与侏罗系、二叠系和石炭系原油存在较大差异,而与三叠系烃源岩抽提物十分相似,表明它们应该来源于三叠系烃源岩。

3.1 碳同位素组成对比

阜 5 井三叠系地层中两个原油的 $\delta^{13}\text{C}$ 值在 -31‰ 左右; 三叠系烃源岩抽提物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值在 $-31.5\text{‰} \sim -27.5\text{‰}$ 之间,两者可以对比(图 4a)。准东地区侏罗系原油全油 $\delta^{13}\text{C}$ 值一般在 -27.0‰ 左右,与西北地区其他盆地侏罗系原油^[9]十分相似,侏罗系烃源岩抽提物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值一般在 $-28.0\text{‰} \sim -24.5\text{‰}$ 之间。准东五彩湾油田石炭系原油全油碳同位素更重, $\delta^{13}\text{C}$ 值均大于 -25.5‰ 。一般来说,如果原油的成熟度相近,若 $\delta^{13}\text{C}$ 值相差 $2\text{‰} \sim 3\text{‰}$,那么可以认为它们是来自不同源的^[15]。准东地区石炭系、

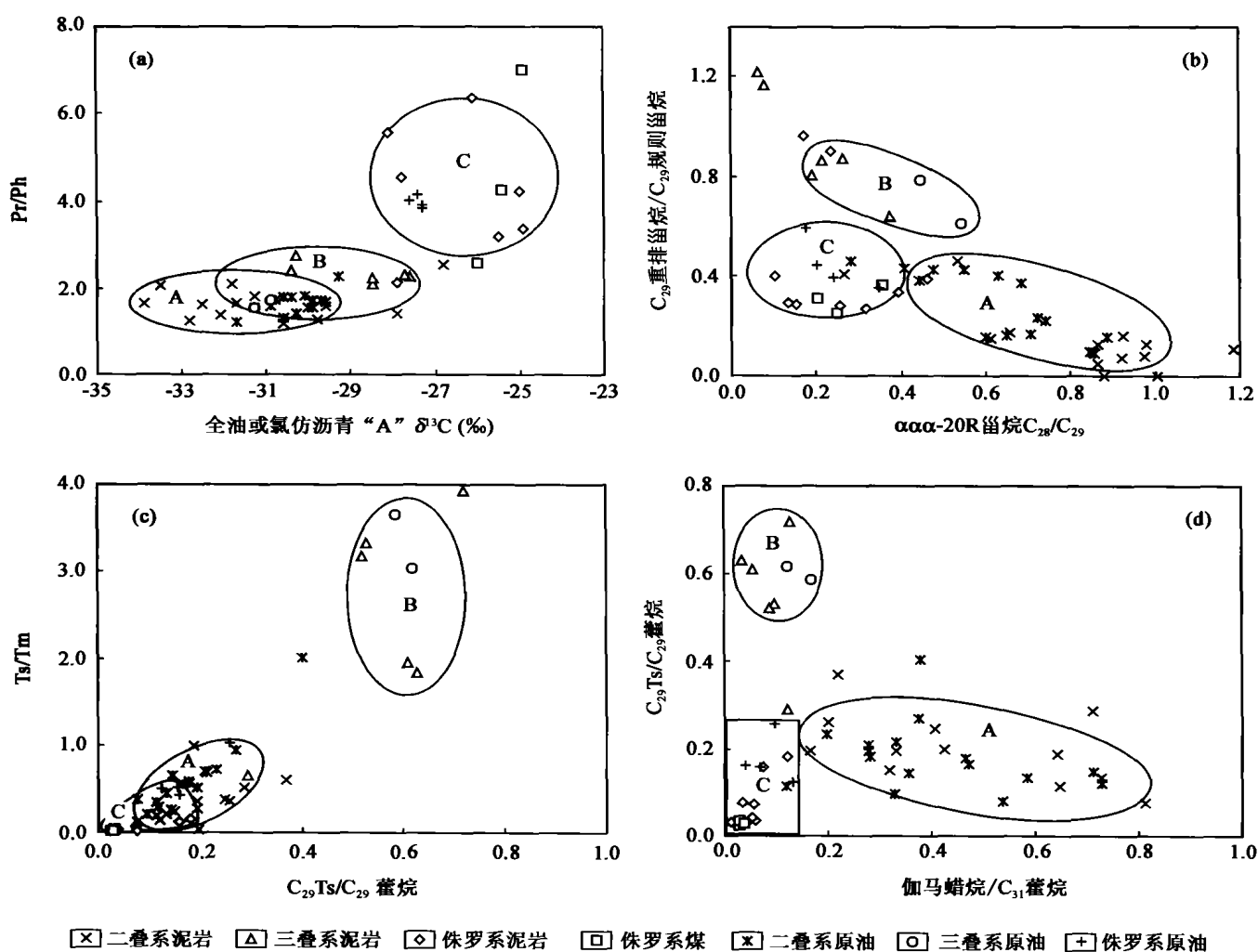


图 4 原油与烃源岩油源对比

Fig. 4 Cross plots of oil to source rock correlation

A. 二叠系烃源岩和原油; B. 三叠系烃源岩和原油; C. 侏罗系烃源岩和原油。实际上,二叠系烃源岩和原油重排甾烷很低或者没有重排甾烷,但在 m/z 217 质量色谱图上, $\beta\alpha\text{-C}_{29}$ 重排甾烷 20R 的位置存在一个未知物。由于 $\beta\alpha\text{-C}_{29}$ 重排甾烷 20S 和 20R 分别与 $\alpha\beta\beta\text{-C}_{27}$ 异胆甾烷 20R 和该未知物共馏, GCMS 分析不能将它们有效地区分开来,所以在二叠系烃源岩和原油重排甾烷含量中包含了 $\alpha\beta\beta\text{-C}_{27}$ 异胆甾烷 20R 和该未知物的量,使重排甾烷的含量增高了。

二叠系和侏罗系原油以及阜 5 井原油均为成熟原油,成熟度基本一致^[3,4,6,7,13,14]。阜 5 井三叠系原油全油 $\delta^{13}\text{C}$ 值比石炭系原油低 6‰~7‰,比侏罗系原油及侏罗系烃源岩抽提物低 3‰~6‰。显然,阜 5 井三叠系地层中的原油不可能来源于石炭系或者侏罗系烃源岩。

准噶尔盆地二叠系原油全油 $\delta^{13}\text{C}$ 值一般在 -29‰~-33‰之间^[3],准东地区二叠系原油也不例外^[3,6,7]。阜 5 井三叠系原油的全油碳同位素组成与二叠系原油基本相似,而且与二叠系和三叠系烃源岩抽提物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值(-28‰~-33‰)均可以对比(图 4a)。因此,碳同位素无法判断这两个原油究竟来源于二叠系还是三叠系烃源岩,但两套烃源岩的生物标志物呈现很大差异,为确定这两个原油的油源提供了有力的证据。

3.2 类异戊二烯烷烃组成对比

三叠系和二叠系烃源岩的 Pr/Ph 比值相近,一般在 1.5~2.5 之间(二叠系略低一些)。阜 5 井三叠系原油 Pr/Ph 比值均在 1.5 左右,姥鲛烷略占一点优势(图 2),与三叠系、二叠系烃源岩及其相应的原油较相似,但明显低于侏罗系原油和烃源岩抽提物(一般在 2.5~6.0 之间,图 4a)。另外,阜 5 井原油中类异戊二烯烷烃相对于正构烷烃的丰度也比典型的侏罗系原油高,尤其是植烷相对于 $n\text{C}_{18}$ 正构烷烃的丰度差异更明显(前者为 0.31,而后者低于 0.1),表明两类原油来源不同。

3.3 生物标志物对比

阜 5 井三叠系原油生物标志物的分布特征与三叠系烃源岩抽提物十分相似。(1)两者均特别富含重排甾烷,而且规则甾烷的分布也相似(图 3a 和图 3c),与二叠系和侏罗系原油(图 3e 和图 3g)和源岩差别明显(图 4b);(2)两者均特别富含 Ts 、 C_{29}Ts 和 C_{30} 重排藿烷(图 3b 和图 3d),而二叠系烃源岩和原油(图 3f)这些化合物含量很低,侏罗系烃源岩和原油(图 3h)其含量也低得多(图 4c);(3)两者伽马蜡烷含量较低(图 3b 和图 3d),而二叠系原油(图 3f)和烃源岩抽提物伽马蜡烷含量均很高,侏罗系原油(图 3h)和烃源岩抽提物中则几乎没有伽马蜡烷(图 4d);(4)阜 5 井三叠系原油三环萜烷的分布类似于二叠系原油,而明显与侏罗系原油不同(图 3b、图 3f 和图 3h)。因此,生物标志物特征对比表明,阜 5 井三叠系原油来源于富含粘土矿物的三叠系烃源岩。

4 结 论

准东地区阜康斜坡带阜 5 井三叠系地层中的原油为成熟原油,其碳同位素组成、生物标志物分布等地球化学特征与三叠系烃源岩抽提物十分相似,而与二叠系和侏罗系烃源岩抽提物及相应的原油差异很大,表明这些原油来源于三叠系烃源岩。

三叠系烃源岩在准噶尔盆地分布广泛,其典型原油的发现使人们对其地球化学特征有了清楚的认识,不仅为其作为该盆地中二叠系和侏罗系以外的又一套重要烃源岩层系提供了有力证据,而且提醒人们对以往一些油田油源必须重新认识,这对该盆地油气资源潜力评估和勘探具有十分重要的意义。

张义杰博士、况军博士、吴晓智博士和马建壁工程师等在样品采集和基础资料收集等方面提供了许多有益的帮助,在此表示衷心的感谢。

参考文献(References):

- [1] 张国俊,彭希龄,雍天寿,等.中国石油地质志(卷十五)——新疆油气区(上册):准噶尔盆地[M].北京:石油工业出版社,1993.1~390.
Zhang Guo-jun, Peng Xi-ling, Yong Tian-shou, et al. Petroleum Geology of China (vol. 15) — Xinjing Oil and Gas Field (Part One): Junggar Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1993. 1~390 (in Chinese).
- [2] 邱中健,龚再升.中国油气勘探(第二卷)——西部油气区[M].北京:石油工业出版社,1999.304~361.
Qiu Zhong-jian, Gong Zai-sheng. Petroleum Exploration in China (vol. 2): Oil and Gas Field in West China [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999. 304~361 (in Chinese).
- [3] 杨斌,贺晓苏,李建新,等.准噶尔盆地油气形成与分布规律[R].克拉玛依:新疆石油管理局研究院,1991.1~370.
Yang Bin, He Xiao-su, Li Jian-xin, et al. Petroleum Formation and Distribution in the Junggar Basin [R]. Karamay: Xinjiang Bureau of Petroleum Administration, 1991. 1~370 (in Chinese).
- [4] 王绪龙,康素芳.准噶尔盆地腹部及西北缘斜坡区原油成因分析[J].新疆石油地质,1999,20(2):108~112.
Wang Xu-long, Kang Su-fang. Analysis of crude oil origin in hinterland and slope of northwestern margin, Junggar Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geol, 1999, 20(2): 108~112 (in Chinese with English abstract).
- [5] 李新兵,靳涛,王俊怀,等.准噶尔盆地东部阜康凹陷含油气系统研究[R].克拉玛依:新疆油田公司勘探开发研究院,2000.1~80.
Li Xin-bing, Jin Tao, Wang Jun-huai. A study of the petroleum system in the Fukang sag of the East Junggar Basin [R]. Karamay: Research Institute of Petroleum Exploration and Development of

- Xinjiang Oilfield Company, 2000. 1 ~ 80 (in Chinese).
- [6] 陈建平, 梁狄刚, 王绪龙, 等. 准噶尔盆地东部地区彩南油田及其外围油源精细对比[R]. 北京: 中国石油天然气集团公司油气地球化学重点实验室, 2001. 1 ~ 195.
- Chen Jian-ping, Liang Di-gang, Wang Xu-long, *et al.* Oil source correlation of the Cainan and its surrounding oilfields in the East Junggar Basin [R]. Beijing: Key Laboratory of Petroleum Geochemistry of CNPC, 2001. 1 ~ 195 (in Chinese).
- [7] Chen Jianping, Liang Digang, Wang Xulong, *et al.* Mixed oils derived from multiple source rocks in the Cainan oilfield, Junggar Basin, Northwest China. Part I: Genetic potential of source rocks, features of biomarkers and oil sources of typical crude oils [J]. *Org Geochem*, 2003, 34(7): 889 ~ 909.
- [8] Chen Jianping, Deng Chunping, Liang Digang, *et al.* Mixed oils derived from multiple source rocks in the Cainan oilfield, Junggar Basin, Northwest China. Part II: Artificial mixing experiments on typical crude oils and quantitative oil-source correlation [J]. *Org Geochem*, 2003, 34(7): 911 ~ 930.
- [9] 陈建平, 赵长毅, 王兆云, 等. 西北地区侏罗纪煤系烃源岩和油气地球化学特征[J]. *地质论评*, 1998, 44(2): 149 ~ 159.
- Chen Jian-ping, Zhao Chang-yi, Wang Zhao-yun, *et al.* Organic geochemical characteristics of oil, gas, and source rocks of Jurassic coal measures in northwestern China [J]. *Geol Rev*, 1998, 44(2): 149 ~ 159 (in Chinese with English abstract).
- [10] Chen Jianping, Qin Yong, Huff B G, *et al.* Geochemistry evidence for mudstone as the possible major oil source rock in the Jurassic Turpan Basin, Northwest China [J]. *Org Geochem*, 2001, 32(9): 1 103 ~ 1 125.
- [11] Radke M, Welte D H. The methylphenanthrene index (MPI): A maturity parameter based on aromatic hydrocarbons [A]. Bjorøy, M, Albrecht C, Cornford C, *et al.* *Advances in Organic Geochemistry 1981* [C]. New York: Wiley, 1983. 504 ~ 512.
- [12] Moore P S, Burns B J, Emmett J K, *et al.* Integrated source, maturation and migration analysis, Gippsland basin, Australia [J]. *APEA J*, 1992, 32: 313 ~ 324.
- [13] Clayton J L, Yang J, King J D, *et al.* Geochemistry of oil from the Junggar basin, Northwest China [J]. *AAPG Bull*, 1997, 81(11): 1 926 ~ 1 944.
- [14] 李建新, 杨斌. 准噶尔盆地煤成油的地球化学特征与侏罗系煤系的含油远景[A]. 罗斌杰, 王祖国, 林禾杰, 等. 准噶尔盆地油气地质综合研究 [C]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1992. 97 ~ 109.
- Li Jian-xin, Yang Bin. The geochemical properties of coal-derived oil and the oil-bearing prospect in the Jurassic coal-bearing strata in the Junggar Basin [A]. Luo Bin-jie, Wang Zu-guo, Lin He-jie, *et al.* *A Comprehensive Study of Petroleum Geology in the Junggar Basin* [C]. Lanzhou: Gansu Science and Technology Press, 1992. 97 ~ 109 (in Chinese).
- [15] Peters K E, Moldowan J M. *The Biomarker Guide: Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments* [M]. Englewood Cliffs (NJ): Prentice Hall, 1993. 1 ~ 363.
- [16] Moldowan J M, Fago F J, Carlson R M K, *et al.* Rearranged hopanes in sediments and petroleum [J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1991, 55(11): 3 333 ~ 3 353.
- [17] Hall P B, Douglas A G. The distribution of cyclic alkanes in two lacustrine deposits [A]. Bjorøy M, Albrecht C, Cornford C, *et al.* *Advances in Organic Geochemistry 1981* [C]. New York: Wiley, 1983. 576 ~ 578.
- [18] Irwin H, Meyer T. Lacustrine organic facies: A biomarker study using multi-variate statistical analysis [J]. *Org Geochem*, 1990, 16(1-3): 197 ~ 210.
- [19] Jiang Z S, Fowler M G. Carotenoid-derived alkanes in oils from northwestern China [J]. *Org Geochem*, 1986, 10(4-6): 831 ~ 839.

The discovery and significance of the crude oils derived from Triassic source rocks in the Junggar Basin

CHEN Jian-ping^{1,2,3}, LIANG Di-gang^{1,2}, WANG Xu-long⁴, DENG Chun-ping^{1,2},
JIN Tao⁴, XIANG Shu-zheng⁴, LIU Hong-wei⁴

(1. *Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083, China*; 2. *Key Laboratory of Petroleum Geochemistry of CNPC, Beijing 100083, China*; 3. *Key Laboratory of Coal Resources, Ministry of Education, China, Beijing 100083, China*; 4. *Xinjiang Oil Field Company of PetroChina, Karamay 834000, China*)

Abstract: It is the first discovery of the crude oils derived from Triassic source rocks in the Junggar Basin. The geochemical characteristics of the oils differ from those of the oils derived from Carboniferous, Permian and Jurassic source rocks in the basin. The Triassic-derived oils are mature crude oil with a normal density and viscosity, and are dominated by over 80% of saturated hydrocarbons. The oils are rich in isoprenoids, with Pr/Ph ratios around 1.0, and are isotopically light, with $\delta^{13}\text{C}$ values generally around -31‰ , are characteristically rich in diasteranes, Ts, C_{29}Ts , C_{30} diahopane, and have a low content of β -carotane and gammacerane. These biomarker features of the oils are similar to those of Triassic extracts, and are different from those of Permian and Jurassic extracts, which indicates the oils are derived from Triassic source rocks. The comparison of TOC content and the genetic potential of Triassic source rock with those of the Permian and Jurassic source rocks indicates that Triassic is a set of good and important source rock, with high hydrocarbon generating potential. The discovery of Triassic-derived oils has an important significance for petroleum exploration in the Junggar basin.

Key words: Triassic; crude oil; source rock; biomarker; geochemistry; Junggar Basin