

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

张枝焕¹ 向 奎² 秦黎明^{1,3} 庄文山² 席伟军^{1,2} 赵双丰¹

(1. 中国石油大学(北京)油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249; 2. 中国石化胜利油田有限责任公司新疆勘探开发中心, 山东 东营 257000; 3. 中国石化石油工程技术研究院, 北京 100101)

摘要: 准噶尔盆地西南缘四棵树凹陷主要分布侏罗系、白垩系和古近系 3 套潜在烃源岩, 其中侏罗系八道湾组烃源岩有机质丰度较高, 有机质类型以Ⅲ型为主, 部分为Ⅱ2型, 生烃潜力较高; 三工河组烃源岩有机质丰度、类型明显偏差, 生烃潜力较低; 西山窑组泥岩有机质丰度较高, 但由于受西山窑组沉积末期构造抬升导致地层剥蚀的影响, 烃源岩厚度较小, 总体上生烃条件较差; 白垩系烃源岩在四棵树凹陷最大厚度可达 300 m, 处于低熟阶段, 生烃潜力较小; 古近系烃源岩有机质丰度较高、类型好, 但成熟度偏低, 生烃条件较差。侏罗系八道湾组烃源岩处于主要生油阶段; 白垩系烃源岩已达到生烃门限, 处于低熟—中等成熟阶段; 古近系烃源岩成熟度偏低, 目前仍处于未熟到低熟阶段。油源对比表明, 四棵树凹陷北部斜坡及车排子凸起带原油主要来源于四棵树凹陷及沙湾凹陷侏罗系烃源灶, 后期受到白垩系低熟油源灶的侵染, 古近系烃源岩的油源贡献有限。

关键词: 四棵树凹陷; 烃源岩; 地球化学特征; 油源对比; 侵染作用

中图分类号: P593 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2012)02-0326-12

准噶尔盆地西北缘是该盆地油气最富集的地区之一, 具有多油气源、多套储盖组合、多种油气藏类型和多期成藏的特点^[1,2]。车排子凸起位于准噶尔盆地西缘, 面积约 10 800 km²。车排子地区油气勘探始于 20 世纪 50 年代, 中国石油新疆油田公司在 20 世纪 60 年代至 90 年代先后在该区发现了红山嘴、车排子和小拐等油田。近年来, 中国石化又先后在车排子地区白垩系、侏罗系、古近系和新近系获得了高产工业油气流。车排子地区分布有稠油和轻质油, 稠油主要来源于车拐断裂带油气藏后期幕式调整的产物, 烃源岩为昌吉凹陷二叠系泥岩, 轻质油来源比较复杂。车排子凸起南邻四棵树凹陷, 东南部紧靠昌吉凹陷西段(沙湾凹陷), 轻质油既可能来源于四棵树凹陷侏罗系、白垩系或古近系烃源岩, 又可能来源于沙湾凹陷侏罗系烃源岩, 目前还没有取得统一的认

识。对四棵树凹陷及昌吉凹陷中新生界烃源岩的生烃条件和油源贡献进行深入分析, 是解决这一问题的关键所在。本文在四棵树凹陷不同层位烃源岩地球化学特征分析及车排子地区轻质油地球化学特征精细剖析和油源对比的基础上, 重点讨论四棵树凹陷不同层位烃源岩的生烃条件及其对车排子地区油气聚集的贡献。

1 研究区石油地质概况

四棵树凹陷位于准噶尔盆地南缘西段的两端, 隶属于北天山山前拗陷的两端, 具有前寒武系结晶基底及古生界基底双层特征^[6,4]。其南邻北天山, 西北侧为西准噶尔界山, 向西直至艾比湖地区, 东侧是南北走向的火车断裂带, 向北逐渐过渡到车排子凸起(图 1)。

加里东运动末期, 西准地区发生了一次古洋壳

收稿日期: 2011-09-10; 改回日期: 2012-01-11

基金项目: 国家科技重大专项“准噶尔盆地及四川盆地碎屑岩领域油气富集规律与主控因素”(2011ZX05002-006)资助。

作者简介: 张枝焕, 男, 1962 年生, 教授, 博士生导师, 主要从事有机地球化学的科研与教学工作; E-mail: zhangzh3996@vip.163.com。

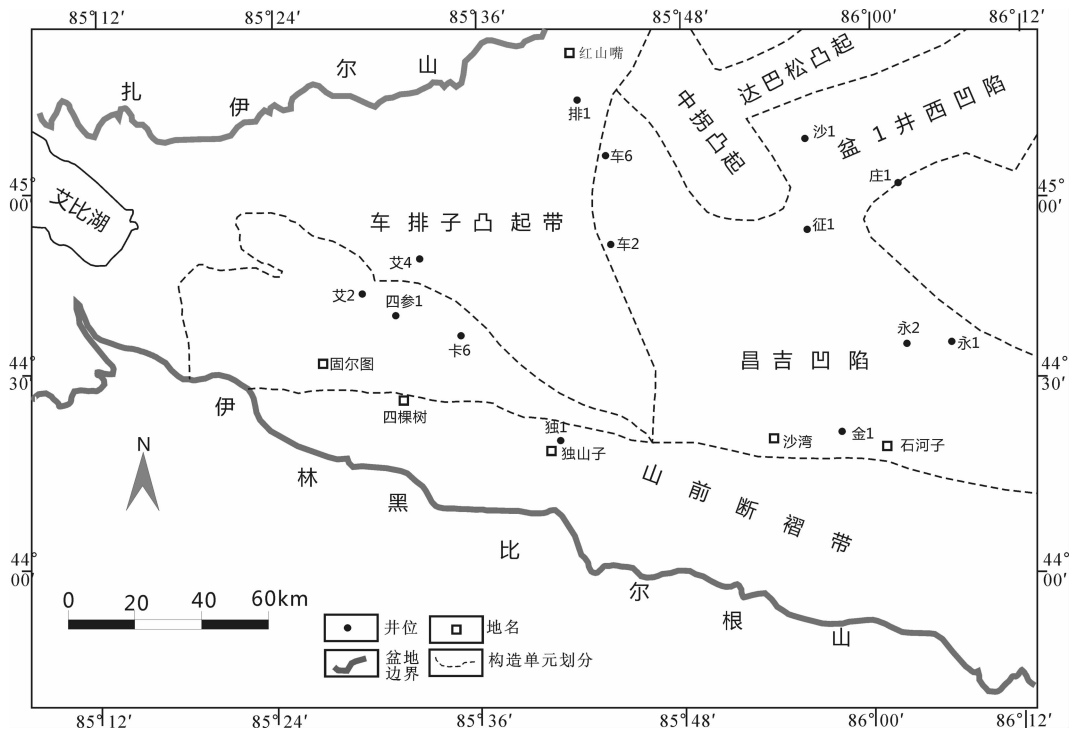


图 1 四棵树凹陷和车排子凸起构造位置图

Fig.1 Structural location of Sikeshu depression and Chepaizi relief

俯冲消亡,开始形成本区的海西期基底,海西末期的造山运动使得四棵树凹陷、车排子凸起形成,进入准噶尔盆地的演化序列,车排子凸起和四棵树凹陷在地质构造演化过程中曾遭受南北两大方向的强烈挤压,导致整体向上抬升而北高南低,形成了由北向南迅速下降的陡倾单斜,从而致使四棵树凹陷与车排子凸起二者之间没有明显的地质界限。在早石炭世,哈萨克斯坦板块与准噶尔地体碰撞形成西准噶尔造山带的主体部分,车排子凸起形成雏形,海西末期,西准噶尔造山带向东南方向推覆,受中天山构造带的影响,车排子地区强烈隆升,同时为了削减应力而产生红车断裂带,并向东冲断挤出,将四棵树凹陷与中央坳陷分割;晚石炭世,伊犁地体与准噶尔地体拼贴碰撞,形成北天山造山带,根据动力学机制分析,四棵树凹陷内部地壳主要沿近北北西向发生扭动变形,构造线近北北东向或近南北向。二叠纪,凹陷区处于碰撞造山后的应力松弛期,形成了下二叠统玄武岩。车排子凸起和四棵树凹陷接受了石炭纪、二叠纪的沉积,处于一种凹凸相间的构造格局。

早燕山运动早期,四棵树凹陷在八道湾组和三工河组沉积期都曾形成与准噶尔盆地其他地域相连

通的湖盆,地层厚度也与红车断裂带以东的坳陷区接近。在此稳定的构造背景下八道湾组发育了巨厚的煤层,是侏罗系烃源岩形成的主要时期。早侏罗世,四棵树凹陷继承了三叠纪时的构造格局,处于一种填平补齐的状态,卡因迪克地区形成了断背斜。中侏罗世早期,燕山中期构造运动开始加剧,艾卡断裂形成,西部隆起逐渐隆升,艾比湖一带隆升幅度较大,同时下伏地层沿前期主构造线方向发生褶曲和冲断。这一时期北天山也开始向北逆冲推覆,形成东西向构造带雏形,托斯台构造群在此时期出现,地层变形程度自南而北逐渐变弱。由于剥蚀作用,构造高部位地层不同程度缺失,卡因迪克地区断层上盘西山窑组被剥蚀,在头屯河组底部形成局部的不整合面。晚侏罗世晚期南北挤压增强,北天山隆升明显,在山前形成的东西向构造带更为明显,成为主构造线,此阶段卡因迪克背斜、卡西1号背斜已经形成。自白垩纪开始本区受北天山构造运动影响和控制更加显著,在遭受南面强烈挤压推覆作用下,山前地壳沿东西向发生弯曲,形成南陡北缓的沉降带,西湖地区成了沉积中心。至古近—新近纪,四棵树地区已经重新演化为统一的沉积凹陷,古近纪,东西方向除个

别主要的古断裂仍有活动外,大部分断裂活动基本停止。新近纪以后,受喜马拉雅运动影响,北天山快速抬升并向北推覆,使山前推举带前期构造发生剧烈改造或破坏,构造更为复杂,古近系发生褶皱、冲断,下伏地层褶皱更加紧闭,常常形成不协调褶皱,独山子、西湖、卡东、独南背斜等右行雁列构造最终形成。断裂活动和地层变形总的趋势为南边强烈,向北逐渐减弱。艾卡断裂自白垩纪以来基本停止活动。

车排子地区地层组合较简单,隆起主体部位大面积缺失二叠系、三叠系和侏罗系,白垩系和古近一新近系超覆沉积于石炭系基底隆起顶面之上。据目前钻井揭示,在车排子凸起主体部位石炭系基底为凝灰岩和变质岩,在基底之上自下而上发育白垩系吐谷鲁群,古近系,新近系沙湾组、塔西河组、独山子组,以及第四系,只在凸起东部局部地区及部分沟谷内发育三叠系和侏罗系。车排子凸起区侏罗系、白垩系、新近系沙湾组和塔西河组等均有砂岩储集层分布,石炭系还分布有凝灰岩孔隙—裂缝型储集层,这些储集层中均有较好的油气显示。沙湾组中上部、古近系中上部、白垩系中上部泥质岩及与砂岩储集层互层的泥质岩,可分别作为沙湾组、古近系、白垩系、侏罗系及石炭系储集层的盖层。塔西河组泥质岩发育,其底部的砂岩泥质含量高,孔渗性差,是下伏储集层的一套区域性盖层。

2 四棵树凹陷烃源岩分布特征及生烃潜力

虽然车排子隆起区中新生界有部分暗色泥岩沉积,但均未进入生烃门限,有效烃源岩不发育,没有

油源贡献^⑤。油源分析表明,车排子凸起轻质油具有侏罗系煤系烃源岩和白垩系烃源岩提供油源的混源特征,且以侏罗系油源为主。原油中含氮化合物组成及相关的地球化学参数分析表明,车排子凸起带的油气运移方向主要为由南向北,油源灶位置主要位于四棵树凹陷(不排除可能有沙湾凹陷的油源贡献)。

2.1 四棵树凹陷烃源岩中有机质丰度分布特征

2.1.1 侏罗系烃源岩

从图2可以看出,八道湾组烃源岩有机质丰度非均质性很强,但大部分泥岩样品有机质丰度均较高,有机碳含量平均值为2.06%,大部分大于1.0%;“S₁+S₂”分布范围在0.07~33.43 mg/g,平均值为3.83 mg/g;氢指数平均值为332 mg/g;T_{max}平均值为435℃;煤样总有机碳含量平均值为63.7%,”S₁+S₂”平均值高达86.95 mg/g,氯仿沥青“A”含量高达1.14%。西山窑组泥岩有机碳含量平均值为2.61%,”S₁+S₂”平均值为2.15 mg/g,氯仿沥青“A”平均值为523 μg/g,总烃含量平均值为203.5 μg/g。

2.1.2 白垩系烃源岩

白垩系烃源岩主要分布在下白垩统吐谷鲁群,四棵树凹陷白垩系泥岩生烃潜力不高(图2),TOC为0.17%~1.01%,均值为0.37%;氯仿沥青“A”为0.0016~1 384 μg/g,均值为233 μg/g;总烃含量为15.70~326.90 μg/g,均值为92.45 μg/g;“S₁+S₂”为0.050~1.16 mg/g,均值为0.31 mg/g。但也存在一些有机质丰度较高的层段,卡6井白垩系吐谷鲁群烃源岩TOC一般大于0.6%,局部超过1.0%,沥青“A”含量在0.03%左右,接近中等烃源岩的标准。四参1井TOC为0.20%~1.17%,平均值为0.73%,氯仿沥青

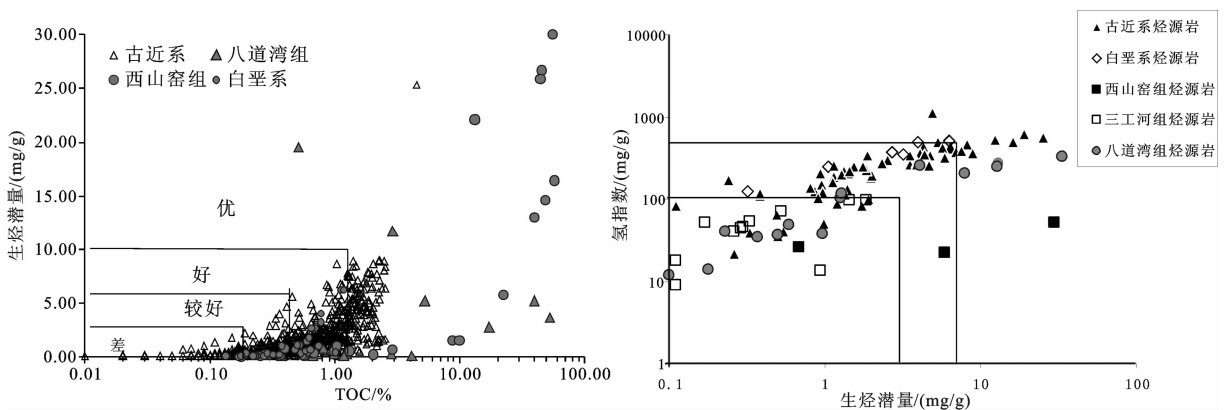


图2 四棵树凹陷不同层位烃源岩有机质丰度分布特征

Fig.2 Distribution characteristics of organic matter abundance of source rocks in Sikeshu depression

“A”含量为 12~900 $\mu\text{g/g}$, 平均值为 208 $\mu\text{g/g}$, “S₁+S₂”为 0.32~6.27 mg/g, 均值为 4.391 mg/g, 为较好烃源岩。

2.1.3 古近系烃源岩

四棵树凹陷古近系安集海河组烃源岩有机质含量相对较高(图 2), TOC 为 0.20%~1.00%, 平均值为 0.60%; 氯仿沥青“A”含量为 63~515 $\mu\text{g/g}$, 平均值为 296 $\mu\text{g/g}$; 总烃含量为 48.65~401.44 $\mu\text{g/g}$, 平均值为 224.96 $\mu\text{g/g}$; “S₁+S₂”为 0.06~3.24 mg/g, 平均值为 1.38 mg/g, 属于中等生油岩。

2.2 四棵树凹陷烃源岩中有机质类型

四棵树凹陷八道湾组烃源岩形态有机质含量变化较大, 为 1.9%~21.4%, 其中壳质组相对含量较高, 一般大于 20%, 富氢组分主要为红黄色荧光孢子体以及少量的壳屑体。煤的有机质类型主要为 II₂、III 型, 含少量富氢组分暗黄色角质体。西山窑组烃源岩形态有机质含量为 8.1%~91.4%, 其中壳质组相对含量较高, 为 14.8%~77.2%, 富氢组分为绿—黄色角质体以及少量黄色荧光壳屑体, 有机质类型为 II₂ 与 III 型。下白垩统烃源岩中形态有机质含量较低, 为 0.4%~9.5%, 其中镜质组相对含量为 43.2%~75%; 壳质组相对含量为 21.9%~25%, 富氢组分主要为分散状的绿色壳屑体, 生烃潜力较差, 有机质类型以 I 型和 II₁ 型为主, 部分为 III 型; 古近系泥岩干酪根类型主要为 I 型和 II 型, 部分为 III 型(图 3)。

2.3 有机质成熟度

钻井揭示的四棵树凹陷侏罗系八道湾组和西山窑组烃源岩样品成熟度不高, R_o 为 0.5%~0.8%, 处于低熟阶段—临界成熟阶段, 但南部凹陷中心区达到生烃高峰^①; 四棵树凹陷白垩系底界烃源岩 R_o 为 0.5%~0.7%; 古近系烃源岩顶界在整个盆地内均处于未熟阶段, 而其底界在四棵树凹陷南部刚进入低熟阶段, R_o 值为 0.5%, 在其余地区均处于未成熟阶段。

3 不同层位烃源岩的油源贡献

3.1 车排子地区油气分布特征

车排子地区分布有稠油和轻质油两类不同成因的原油。其中稠油在车排子地区分布广泛, 含油层从石炭系到新近系都有分布。石炭系油气主要分布在断块和裂缝中, 油气显示级别不高, 目前未获得工业

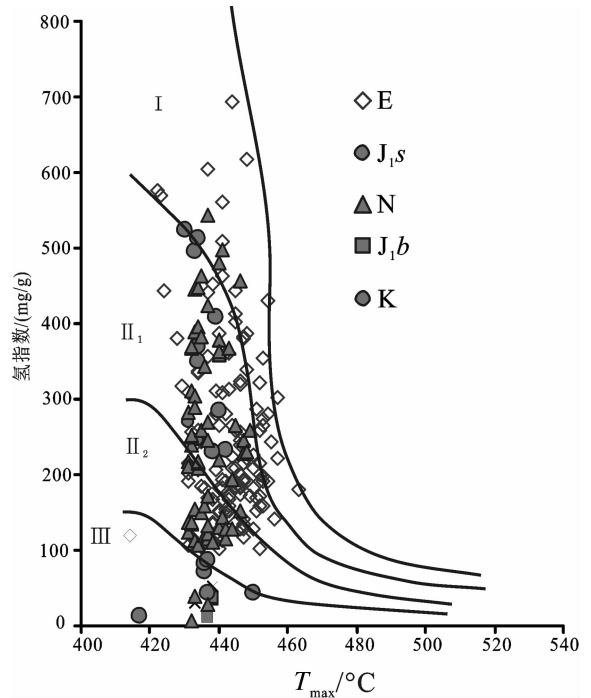


图 3 准噶尔盆地四棵树凹陷不同层烃源岩有机质类型分布图

Fig.3 Organic types of source rocks in Sikeshu depression of Junggar basin

油流; 侏罗系油气主要分布在沟谷中, 几条横向沟谷中都已见到油气显示; 白垩系油气分布也较广泛; 古近系油气显示则主要分布在凸起区的南部; 新近系沙湾组稠油显示分布也较广泛。轻质油主要分布在沙湾组, 平面上位于近乎东西向分布的滩坝砂体条带上。车排子凸起稠油主要来源于沙湾凹陷二叠系烃源岩, 部分原油存在侏罗系烃源岩生成原油的混源作用。

3.2 轻质油的地球化学特征及油源分析

3.2.1 轻质油的地球化学特征

如图 4 所示, 轻质油中正构烷烃分布完整, 以单峰态前峰型分布为主, $n\text{C}_{21}^-/n\text{C}_{22}^+$ 为 1.53~3.50, 平均值为 2.59, CPI、OEP 平均值在 1.0 左右, Pr/Ph 值相对较高, 为 1.84~2.65, 平均值为 2.12; 除了排 2-86 井和排 2-87 井轻质油中含有极少量的 β -胡萝卜烷外, 几乎不含 β -胡萝卜烷; 部分样品二环倍半萜发育, 8β (H)-升补身烷/ 8β (H)-补身烷为 0.68~0.82, 三环萜烷丰度较低, C₂₀、C₂₁、C₂₃ 三环萜烷相对

①秦黎明. 准噶尔盆地西部地区烃源灶的形成演化及其有效性. 中国石油大学博士论文, 2010.

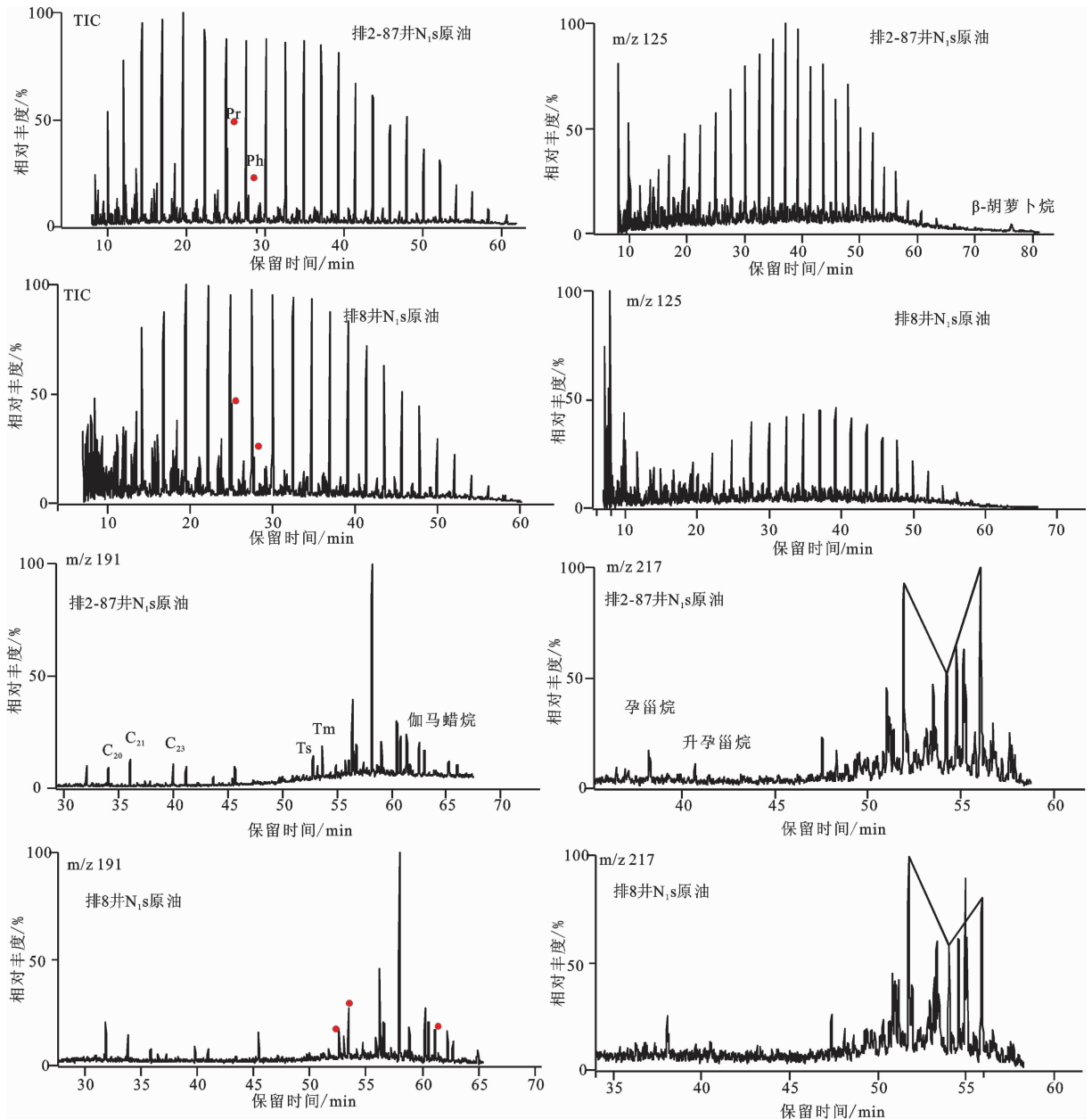


图4 车排子地区新近系轻质油部分饱和烃生物标志物分布特征
 Fig.4 The distribution of biomarkers of light oil in Neogene of Chepaizi area

丰度呈下降型分布。五环三萜烷类分布基本相似,伽马蜡烷/C₃₀ 藿烷指数一般在 0.20 左右,升藿烷系列化合物均不发育, T_s 小于 T_m; ααα20RC₂₇、ααα20RC₂₈、ααα20RC₂₉ 甾烷相对丰度呈“V”型分布。另外,反映成熟度的参数 C₂₉ 甾烷 ββ/(ββ+αα)与 C₂₉ 甾烷 20S/(20S+20R)表明,轻质油均为成熟原油。

3.2.2 轻质油的油源分析

(1)与二叠系烃源岩地球化学特征对比

车排子地区的轻质油与二叠系烃源岩地球化学特征存在明显差异,主要表现在:①二叠系烃源岩中正构烷烃以低碳数为主,Pr/Ph 值为 1.0 左右,含有 β-胡萝卜素,伽马蜡烷指数较高,多数样品伽马蜡烷/C₃₀ 藿烷为 0.2~0.8, ααα20RC₂₇、C₂₈、C₂₉ 甾烷相对丰度呈上升型分布,上述特征与轻质油的地球化学特征存在明显的差别;②轻质油的生物标志物参数,如 Pr/Ph 与 δ¹³C 原油、伽马蜡烷/C₃₀ 藿烷和 δ¹³C 原油、ααα20R 甾烷 C₂₇/C₂₉ 和 ααα20R

甾烷 C_{28}/C_{29} 分布特征明显不同于二叠系烃源岩(图 5);③来源于二叠系烃源岩的原油的碳同位素值一般在 -30% 左右,而轻质油的碳同位素明显偏重,二者的族组分碳同位素分布特征也明显存在差异(图 5)。

(2)与侏罗系烃源岩地球化学特征对比

车排子地区轻质油与侏罗系烃源岩地球化学特征具有一定的相似性,表现在:① Pr/Ph 值一般在 2.0 以上,无 β -胡萝卜烷,三环二萜烷丰度不高;② 轻质油与侏罗系烃源岩中芳烃化合物均以菲的丰度最高,其次为三芴系列和联苯,含有萤蒽、惹烯、苯并[e]芘等,三芴系列中均以氧芴与芴的含量最高,三芴系列比值 SF/(SF+OF+F)与 OF/(SF+OF+F)相关性较好(图 6-a,b);③ 轻质油与侏罗系烃源岩抽提物的族组分碳同位素存在相似性(图 6-c)。但二者的生物标志物组成及其相关的参数存在一定差异,表现在:① 侏罗系烃源岩中 $\alpha\alpha\alpha 20RC_{27}$ 、 $\alpha\alpha\alpha 20RC_{28}$ 、 $\alpha\alpha\alpha 20RC_{29}$ 甾烷相对丰度呈上升型或反“L”型分布, $\alpha\alpha\alpha 20RC_{29}$ 甾烷明显占优势,而轻质油中 $\alpha\alpha\alpha 20RC_{27}$ 、 $\alpha\alpha\alpha 20RC_{28}$ 、 $\alpha\alpha\alpha 20RC_{29}$ 甾烷相对丰度呈“V”型分布,

$\alpha\alpha\alpha 20R$ 甾烷 C_{27}/C_{29} 和 $\alpha\alpha\alpha 20R$ 甾烷 C_{28}/C_{29} 比值相关图也明显存在差异(图 6-d);② 轻质油中伽马蜡烷含量明显高于烃源岩的,原油的伽马蜡烷指数一般在 0.20 以上,轻质油与来源于侏罗系烃源岩的原油的正构烷烃、类异戊间二烯烷烃、部分二倍半萜类、族组分碳同位素以及芳烃化合物的分布均较为相似,但是五环三萜烷类与甾烷类的分布以及相关参数仍然存在明显的差异。

(3)与白垩系烃源岩地球化学特征对比

轻质油中正构烷烃、类异戊间二烯烷烃、原油及其族组分的碳同位素以及芳烃化合物分布特征与白垩系烃源岩的特征存在明显差别,表现在:①白垩系烃源岩正构烷烃以低碳数分布为主,具有低 Pr/Ph 值,这与轻质油存在较大的差别;②与白垩系烃源岩相比,轻质油的碳同位素要重一些(图 7-a);③白垩系烃源岩中惹烯含量较高,三芴系列化合物反而不高,并且硫芴的含量高于氧芴(图 7-b)。然而,二者的部分饱和烃的生物标志物组成及参数存在相似性,表现在:①二者伽马蜡烷含量均较高;② $\alpha\alpha\alpha 20RC_{27}$ 、 $\alpha\alpha\alpha 20RC_{28}$ 、 $\alpha\alpha\alpha 20RC_{29}$ 甾烷相

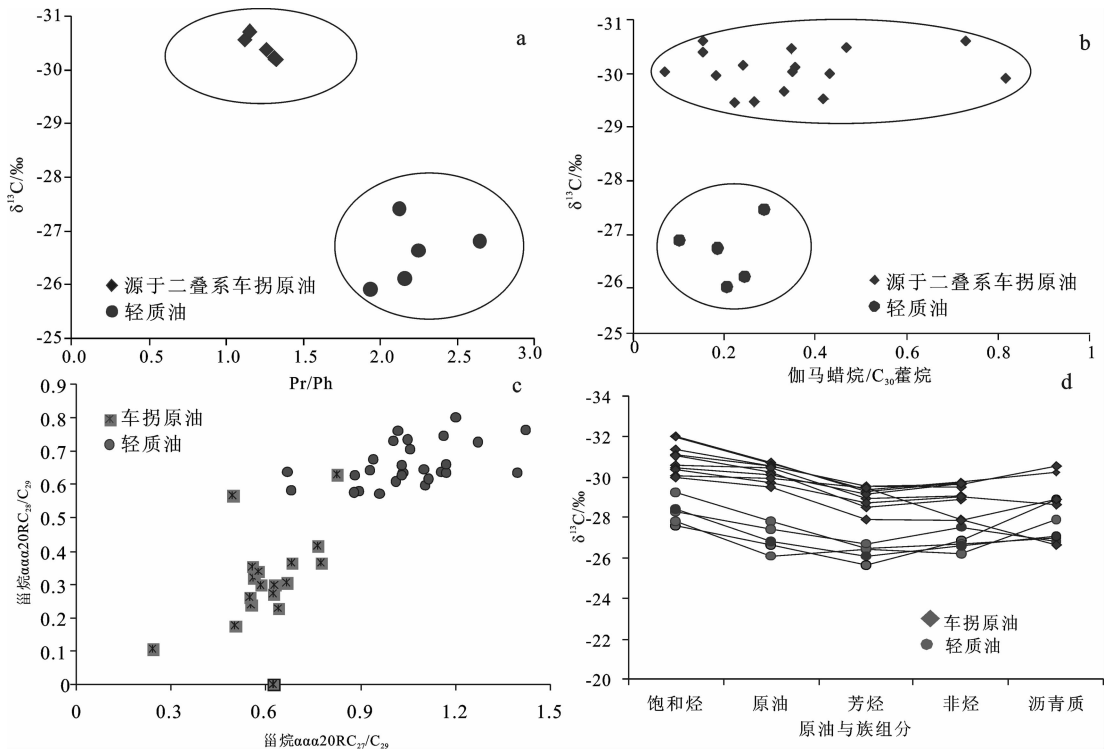


图 5 车排子凸起轻质油与来源于二叠系烃源岩原油的生标参数与碳同位素对比图
 Fig.5 The comparison of geochemical parameters and $\delta^{13}C$ values between light oil and Permian hydrocarbon-derived oil in Chepaizi relief

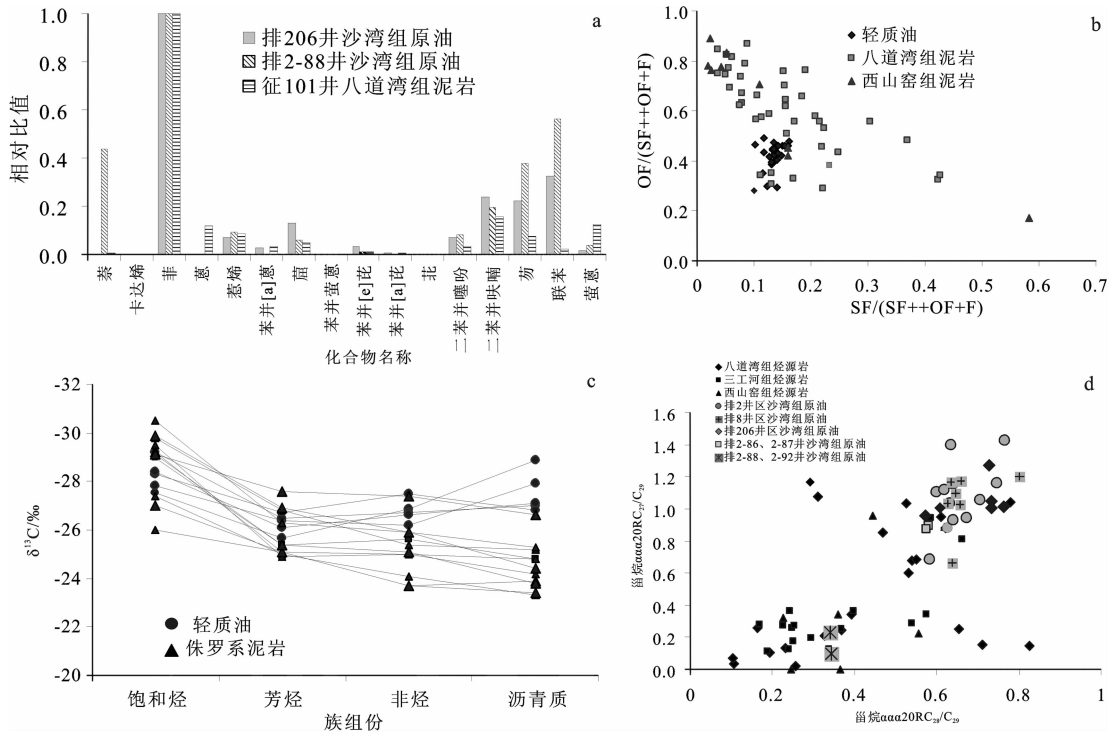


图6 车排子地区轻质油与侏罗系烃源岩抽提物生标与碳同位素分布特征对比图
 Fig.6 The comparison of geochemical parameters and carbon isotope values of the saturate and aromatic hydrocarbons between light oil and Jurassic source rocks

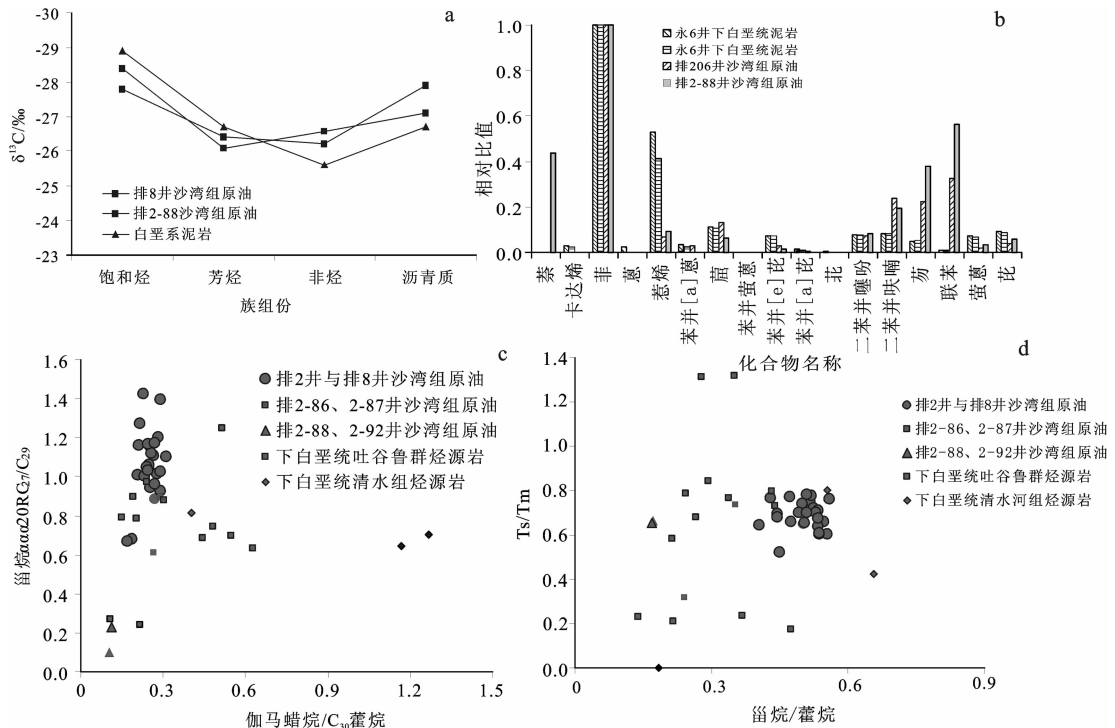


图7 车排子地区轻质油与白垩系烃源岩抽提物饱和烃、芳烃与碳同位素组成对比图
 Fig.7 The comparison of the biomarker parameters and carbon isotope values between light oil and Cretaceous source rocks

对丰度均呈“V”型分布(图 7-c,d);③五环三萜烷化合物分布特征较为相似,并且具有高的甾烷/藿烷值等。

(4) 与古近系烃源岩地球化学特征对比

轻质油与古近系烃源岩的地球化学特征存在明显的差异,主要表现在:①轻质油中 Pr/Ph 值明显偏高,古近系烃源岩 Pr/Ph 值在 1.0 左右;②古近系泥岩中 8β (H)-升补身烷含量最高,其次为 8β (H)-补身烷, 8α (H)-补身烷、4,4,8,8,9-五甲基十氢化萘与 4,4,8,9,9-五甲基十氢化萘含量均较低,而轻质油中 8β (H)-补身烷含量最高,其次为 8β (H)-升补身烷,并且 4,4,8,8,9-五甲基十氢化萘含量也较高,二者之间存在明显的差别(图 8);③轻质油与古近系泥岩均含有 8β (H)-半日花烷、 4β (H)-降异海松烷以及朽松木烷,但轻质油中异海松烷含量较高,并且含有 16β (H)-贝壳杉烷,而古近系烃源岩不具这一特征;④古近系泥岩中存在分布较为完整的甲藻甾烷,在轻质油中并未发现该系列化合物(图 9);⑤古近系泥岩和轻质油芳烃中菲的含量均最高,然而古近系泥岩中萤蒽和芘的含量较高,并且三芴系列中硫芴的含量要高一些,而在轻质油中三芴系列含

量较高,芴占优势,氧芴的含量要高于硫芴(图 10-a);⑥与轻质油相比,古近系泥岩抽提物族组分碳同位素值偏低(图 10-b);⑦古近系烃源岩的成熟度明显低于轻质油的成熟度。

3.2.3 轻质油的混源特征分析

上述分析表明,车排子隆起轻质油既具有侏罗系原油的特点,又与白垩系烃源岩抽提中的部分生物标志物组合特征相似,推测其可能为来源于侏罗系煤系烃源岩与白垩系烃源岩的混源油。为了进一步弄清楚轻质油的混源特征及各套烃源岩的相对油源贡献,选择了分别代表来源于侏罗系煤系烃源岩(董 1 井和董 3 井侏罗系原油)、白垩系烃源岩(霍 10 井古近系紫泥泉子组,吐谷 2 井安集海河组,独 002 井古近系)的原油^①及其混合来源的原油(排 2 井、卡 6 井古近系安集海河组、排 2-86 井和排 2-88 井)和侏罗系、白垩系及古近系烃源岩抽提物进行了地球化学分析对比。

根据轻质油和董 1 井原油及泥岩抽提物饱和烃组成分析,这些原油或抽提物中正构烷烃的含量占饱和烃的 80%以上,用甾烷/正构烷烃近似地代表甾

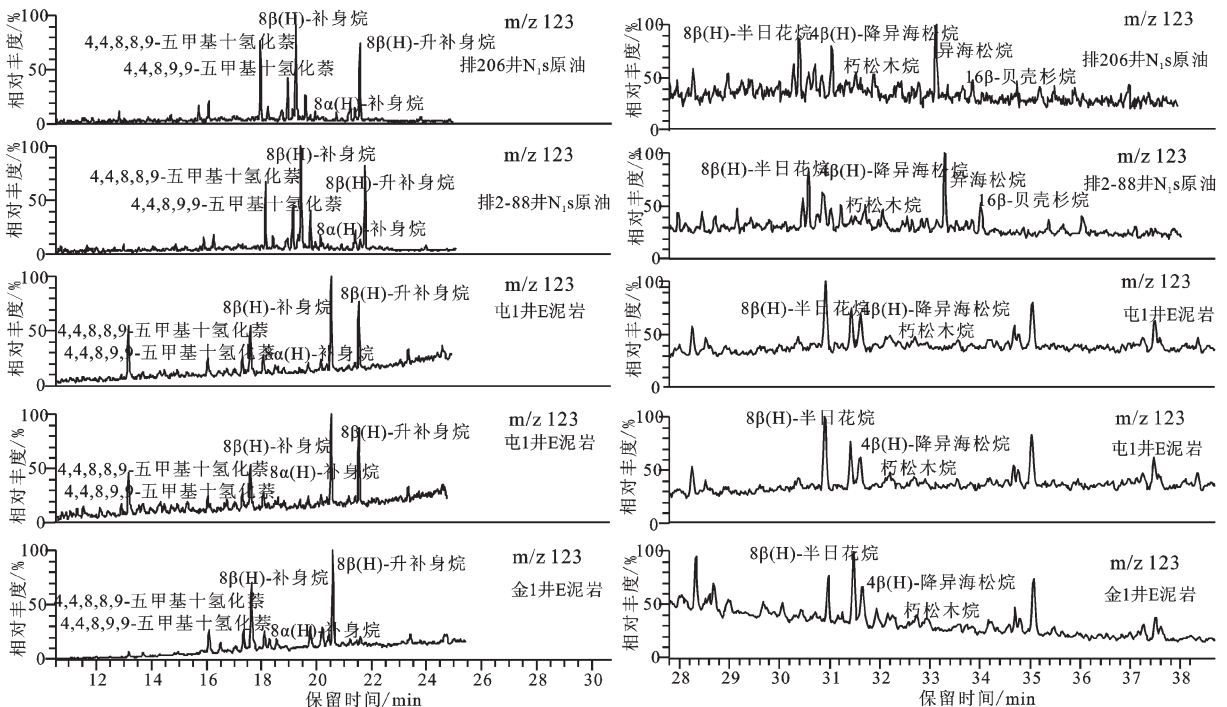


图 8 车排子轻质油与古近系泥岩抽提物中倍半萜和二萜类部分质量色谱图

Fig. 8 Mass chromatograms of the sesquiterpanes and diterpanes in light oil and Eocene source rocks

①李伟.准噶尔盆地西南部有效烃源岩的发育特征及油源贡献.中国石油大学博士学位论文,2006.

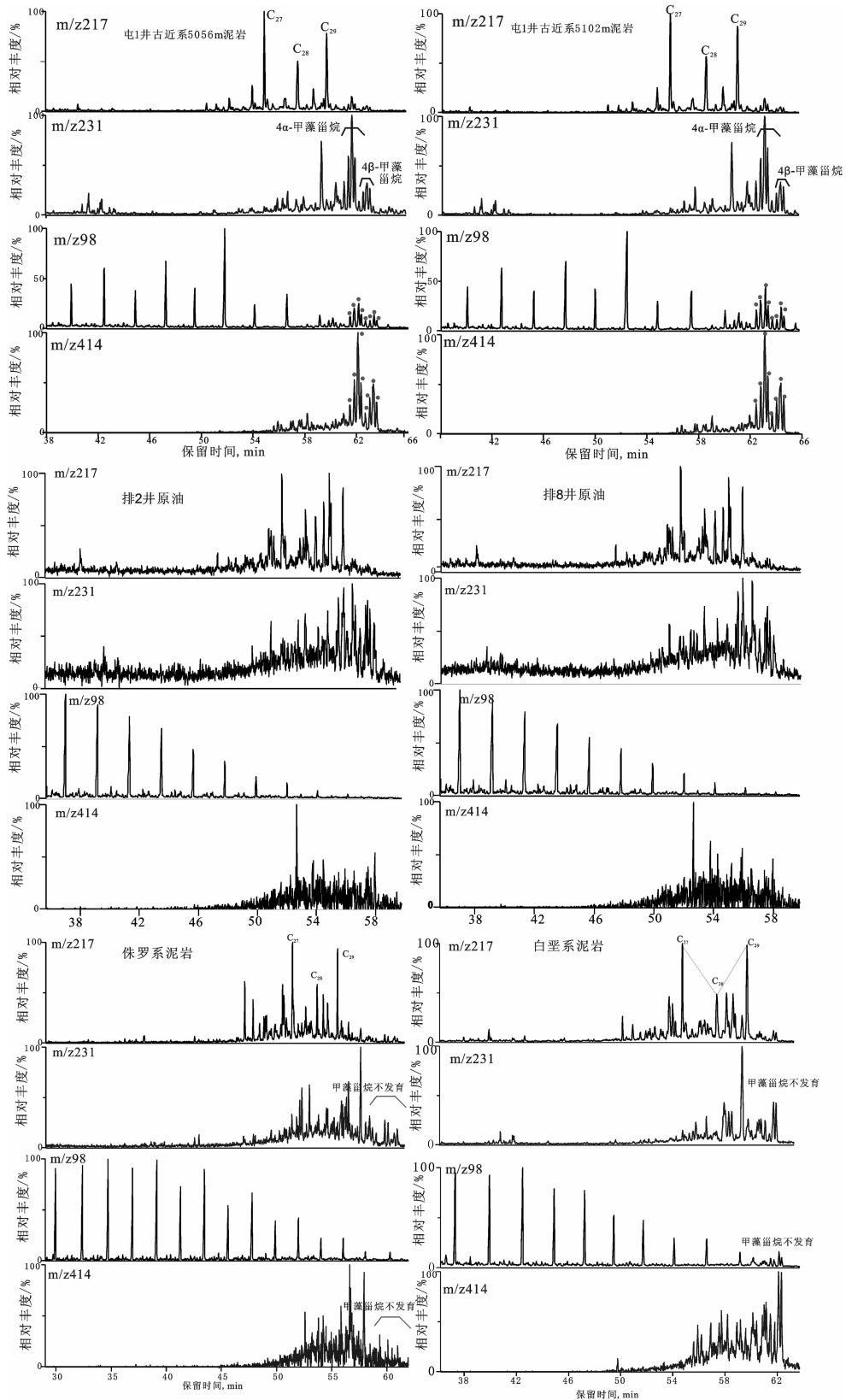


图9 四棵树凹陷及昌吉凹陷侏罗系和白垩系烃源岩甲基甾烷分布特征对比图

Fig.9 The comparison of the distribution characteristics of methyl steranes in Jurassic source rocks and Cretaceous source rocks between Sikeshu depression and Changji depression

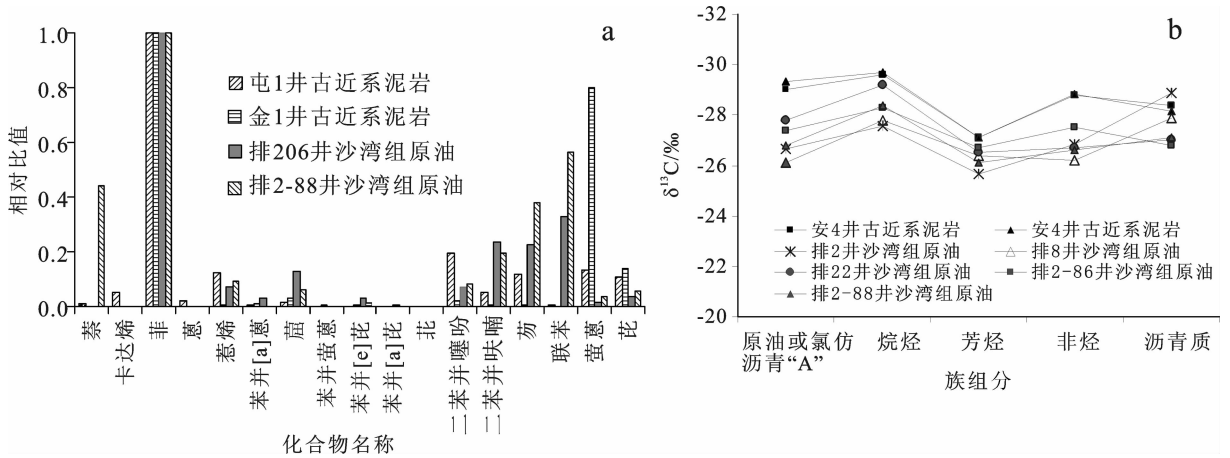


图 10 车排子地区轻质油与古近系泥岩芳烃化合物相对丰度与族组分碳同位素对比图
 Fig.10 The comparison of the aromatic compounds ratios and group compositions carbon isotope values between light oil and Eogene source rocks in Chepaizi area

烷在饱和烃中的含量。一般煤烃源岩生成的原油中规则甾烷含量很低，而正常湖相烃源岩生成的原油规则甾烷含量相对较高，如董 1 井原油和永 1 井白垩系泥岩抽提物的甾烷/正构烷烃比值分别是 0.0018 和 0.022，以这两者为两个端元，进行混源计算，公式如下：

$$(\text{甾烷}\%)_{\text{混源油}} \times (\text{饱和烃}\%)_{\text{混源油}} = (\text{甾烷}\%)_{\text{董 1 井原油}} \times (\text{饱和烃}\%)_{\text{董 1 井原油}} + X \times (\text{甾烷}\%)_{\text{泥岩抽提物}} \times (\text{饱和烃}\%)_{\text{泥岩抽提物}} (1-X)$$

其中 X 为侏罗系煤成油的油源贡献，即侏罗系提供原油占混源油的质量百分比。卡 6 井、排 2 井、董 1 井原油以及白垩系泥岩抽提物的饱和烃占原油或氯仿沥青“A”的质量百分数分别为 78.1%、78.7%、81.4%和 67.9%，用甾烷/正构烷烃比值代替甾烷在饱和烃中的质量百分比，代入公式计算得出卡 6 井和排 2 井原油中侏罗系煤系烃源岩和白垩系烃源岩的贡献分别为 91.2%和 8.8%，92.2%和 7.8%。

Peters 等^[9]曾经用全油碳同位素估算了混源油两端元油的贡献，William 等^[7]利用饱和烃和芳烃碳同位素组成计算出了两端元混源油的混源比。为了进一步验证上述计算结果的可靠性，使用了全油、饱和烃和芳烃的碳同位素组成来估算了卡 6 井和排 2 井原油的混源比。按照全油同位素组成计算，公式如下：

$$(\delta^{13}\text{C}_{\text{油}})_{\text{混源油}} = (\delta^{13}\text{C}_{\text{油}})_{\text{董 1 井原油}} + X \times (\delta^{13}\text{C}_{\text{油}})_{\text{霍 10 井原油}} (1-X)$$

X 的含义同上。排 2 井原油为 100%的侏罗系煤成油的贡献，而卡 6 井有 86%的侏罗系煤成油的贡

献。一方面可能由于排 2 井原油绝大部分来源于侏罗系煤系烃源岩，白垩系少量油的混入几乎不能改变全油碳同位素的组成，另一方面碳同位素测量的误差也影响了计算的结果。另外，原油中非烃等杂原子化合物的存在更加增大了计算误差。那么，利用饱和烃与芳烃的碳同位素组成来估算原油的混源比，可以进一步减少误差。计算公式如下：

$$(\delta^{13}\text{C}_{\text{饱}})_{\text{混源油}} \times (\text{饱和烃}\%)_{\text{混源油}} = (\delta^{13}\text{C}_{\text{油}})_{\text{董 1 井原油}} \times (\text{饱和烃}\%)_{\text{董 1 井原油}} + X \times (\delta^{13}\text{C}_{\text{油}})_{\text{霍 10 井原油}} \times (\text{饱和烃}\%)_{\text{霍 10 井原油}} (1-X)$$

X 同上。利用以上公式计算出了排 2 井原油和卡 6 井原油中侏罗系煤系烃源岩的贡献分别是 89.2%和 90.7%。卡 6 井、排 2 井、董 1 井以及霍 10 井原油的芳烃占原油的质量百分数分别为 11.4%、11.7%、11.3%和 17.8%，同样道理，利用芳烃同位素组成也计算出了排 2 井原油和卡 6 井原油中侏罗系煤系烃源分别是 95.0%和 94.1%。

综上所述，车排子凸起带轻质油主要来源于侏罗系烃源灶，运移过程受到白垩系低熟油灶提供原油的浸染，由于不同井区原油运移途径不同，所受到浸染作用程度不同，从而导致不同井区原油的组成又存在一定的差别。四棵树凹陷侏罗系存在八道湾组、三工河组与西山窑组 3 套烃源岩，生烃史分析表明，现今这 3 套烃源岩均处于生烃高峰，与油气成藏配置关系有利，西山窑组的生烃强度要明显偏低。由于白垩系烃源岩处于低熟阶段，油源贡献不大，但由于侏罗系烃源岩生成的原油向车排子凸起带运移过

程,受白垩系烃源岩的侵染,表现出白垩系烃源岩的地球化学特征。由于四棵树凹陷离车排子凸起带距离近一些,且从埋藏史演化可以看出,四棵树凹陷新近纪以来,地层快速埋藏,侏罗系烃源岩快速进入生烃高峰,开始排烃,导致油气运移距离短,供烃效率较高,油气的散失量要少一些,从而对车排子凸起带的轻质油有重要的贡献。目前在车排子凸起北部并没有发现大规模的轻质油藏,在一定程度上说明排2井区油气主要是来源于四棵树凹陷的。白垩纪末期,沙湾凹陷中下二叠统烃源灶的供烃效率已经很低,供烃强度也不高,此时沙湾凹陷南部的局部地区侏罗系烃源灶开始排烃,对腹部地区开始有油气的贡献,车排子凸起带离沙湾凹陷东南部地区的烃源灶较远,油气难以运移至此,此时研究区侏罗系与白垩系可能会有车拐断裂带的油气调整,古近纪、新近纪早期,侏罗系烃源岩的排烃范围进一步扩大,但仍然局限于腹部地区,车排子地区很难有沙湾凹陷的油气的供给。四棵树凹陷目前仍然处于低熟至刚进入生烃门限阶段,油气贡献的可能性较小,而到了新近纪之后至现今,新近纪地层进一步的埋深,导致沙湾凹陷和四棵树凹陷侏罗系烃源岩的排烃范围进一步扩大,此时四棵树凹陷进入排烃期,沙湾凹陷南部也有油气贡献,侏罗系烃源灶进入主要的供烃期,油气运移至车排子凸起带聚集成藏。

4 结 论

(1)准噶尔盆地西南缘四棵树凹陷主要分布侏罗系、白垩系和古近系3套潜在烃源岩,其中侏罗系八道湾组烃源岩生烃潜力较高,三工河组烃源岩生烃潜力较差,西山窑组泥岩生烃条件较差;白垩系烃源岩在四棵树与沙湾凹陷均有分布,但在四棵树与沙湾凹陷均处于低熟阶段,生烃潜力较小;古近系烃源岩有机质丰度较高、类型好,但成熟度偏低,生烃条件较差。

(2)车排子凸起西缘区块存在稠油和轻质油两大类原油,其中轻质油主要分布在新近系沙湾组,主要来源于侏罗系烃源岩,存在白垩系低成熟烃源岩的侵染作用,由于油气的聚集部位、运移途径和运移距离不同,受白垩系烃源岩侵染作用程度存在明显差别。

参考文献(References):

- [1] 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 Xulong, Kang Sufang. Analysis of crude origin in hinterland and slope of northwestern margin, Junggar Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1999, 20(2):108-112(in Chinese with English abstract).
- [2] 胡宗全.准噶尔盆地西北缘车排子地区油气成藏模式[J].断块油气田,2004,11(01):12-15.
Hu Zongquan. Hydrocarbon reservoir formation model of Chepaizi area in northwest edge of Junggar basin [J]. Fault-block Oil & Gas Field, 2004, 11(01):12-15(in Chinese with English abstract).
- [3] 况军.地体拼贴与准噶尔盆地的形成演化[J].新疆石油地质,1993,14(2):126-132.
Kuang Jun. Terrene connection, formation and evolution of Junggar basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1993, 14 (2):126-132(in Chinese with English abstract).
- [4] 胡见义,赵文智,钱凯,等.中国西北地区石油天然气地质基本特征[J].石油学报,1996,17(3):1-11.
Hu Jianyi, Zhao Wenzhi, Qian Kai, et al. Fundamental characteristics of petroleum geology in NW China [J]. Acta Petrolei Sinica, 1996, 17(3):1-11(in Chinese with English abstract).
- [5] 庄新明.准噶尔盆地车排子凸起石油地质特征及勘探方向[J].新疆地质,2009,27(1):70-74.
Zhuang Xinming. Petroleum geology features and prospecting targets of Chepaizi uplift, Junggar basin [J]. Xinjiang Geology, 2009, 27(1):70-74(in Chinese with English abstract).
- [6] Peters K E, Moldwan J M, Driscoll A R, et al. Origin of Beatrice oil by co-sourcing from Devonian and Middle Jurassic source rocks, Inner Moray Firth, U.K [J]. AAPG Bulletin, 1989, 73: 454-471.
- [7] William B H, Leon I P. Reservoir overprinting of crude oils[J]. Org. Geochem., 1995, 23(10): 905-914.

Geochemical characteristics of source rocks and their contribution to petroleum accumulation of Chepaizi area in Sikeshu depression, Junggar Basin

ZHANG Zhi-huan¹, XIANG Kui², QING Li-ming^{1,3},
ZHUANG Wen-shan², XI Wei-jun^{1,2}, ZHAO Shuang-feng¹

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

2. Xinjiang Exploration and Development Center of Shengli Oilfield Branch Co., Ltd., Dongying 257017 Shandong, China;

3. Research Institute of Petroleum Engineering, SINOPEC, Beijing 100101, China)

Abstract: According to geochemical characteristics in combination with thermal evolution, there exist mainly three sets of source rocks in Sikeshu depression of Junggar basin, namely Jurassic (Badaowan Formation, Sangonghe Formation and Xishanyao Formation), Cretaceous and Paleogene. The Badaowan Formation source rocks which contain high abundance of organic matter of primarily III and II 2 type have fairly good hydrocarbon-generation potential. The Sangonghe Formation source rocks have poor condition of hydrocarbon generation in that they have low abundance of organic matter and inferior type of kerogen. The organic matter abundance in source rocks of Xishanyao Formation is relatively high, but its hydrocarbon-generation potential is not ideal owing to relatively small thickness and poorer type of organic matter. The Cretaceous source rocks in Sikeshu depression have maximum thickness of 300m, but the condition of hydrocarbon generation is not favorable due to the lower maturity. Paleogene source rocks with high abundance of organic matter and Type II organic matter have poor hydrocarbon-generation potential because of lower maturity. Through oil-source rocks correlation and quantitative identification of mixed oil, it is concluded that the crude oil in Chepaizi area was mainly derived from the Jurassic source rock in Sikeshu depression and mixed with the immature crude oil from the Cretaceous source, but the hydrocarbon generation of the Paleogene source rock is very little due to no distribution of the source kitchen. It is inferred that coal-formed oil dissolved the biomarker-rich Cretaceous bitumen of relatively low thermal maturity, and overprinting occurred during oil migration.

Key words: Sikeshu depression; source rock; geochemical characteristics; oil-source correlation; overprinting

About the first author: ZHANG Zhi-huan, born in 1962, professor, supervisor of doctor candidates, engages in study and teaching of organic geochemistry; E-mail: zhangzh3996@vip.163.com.