

doi:10.3799/dqkx.2015.139

准噶尔盆地滴南—阜北斜坡区侏罗纪煤系成烃贡献

林小云^{1,2}, 潘虹³, 周新硕^{1,2}, 许宏龙^{1,2}, 朱宝柱^{1,2}

1. 长江大学油气资源与勘探技术教育部重点实验室, 湖北武汉 430100

2. 长江大学地球科学学院, 湖北武汉 430100

3. 中国石油新疆油田分公司, 新疆克拉玛依 834000

摘要: 滴南凸起—阜北斜坡区位于准噶尔盆地中央隆起带东段, 发育多个继承性古隆起, 是捕获油气的有利场所。其周缘地区存在的多个生烃凹陷均发育有侏罗系泥岩和煤岩, 油源关系较为复杂。从生烃条件探讨了侏罗纪煤系对彩南油田以北至滴南凸起白垩系吐鲁群原油和彩南油田以西至阜北斜坡区侏罗系石树沟群原油的贡献。该区域侏罗系煤岩分布零散, 厚度最厚达 30 m, 显微组分以惰质组为主, 与侏罗系泥岩相比煤的供烃能力相对较弱。同时通过油源对比以及与南缘煤成油生物标志化合物特征对比, 明确了研究区白垩系原油来源于二叠系泥岩, 侏罗系原油来自二叠系泥岩和侏罗系泥岩。

关键词: 准噶尔盆地; 滴南凸起—阜北斜坡区; 侏罗系; 煤系烃源岩; 生物标志化合物; 石油地质; 地层学。

中图分类号: P618.13

文章编号: 1000-2383(2015)09-1549-07

收稿日期: 2015-03-26

Devotion of Coal-Measure Derived Hydrocarbons of Di'nan Arch to Fubei Slope of Junggar Basin

Lin Xiaoyun^{1,2}, Pan Hong³, Zhou Xinshuo^{1,2}, Xu Honglong^{1,2}, Zhu Baozhu^{1,2}

1. Key Laboratory of Exploration Technologies for Oil and Gas Resources of the Ministry of Education, Yangtze University, Wuhan 430100, China

2. School of Geosciences, Yangtze University, Wuhan 430100, China

3. Xinjiang Oilfield Company, PetroChina, Karamay 834000, China

Abstract: The area from Di'nan arch to Fubei slope is located in the east of the Junggar basin which includes several old apophysis and is favorable to capture hydrocarbon since there are several hydrocarbon depressions with mudstone and coals of Jurassic, which leading to complex oil-source. The contribution of the coals to the oil of Shishugou and Tugulu through the hydrocarbon generating conditions is discussed in this paper. The Jurassic coal is scattered in the area with a thickness of mere 30 m. In addition, its maceral is generally composed of inertinite. The hydrocarbon supplying ability of the coal is relatively weak compared with that of the Jurassic mudstone. Comparison of the characteristics of biomarkers from the coal-measure source rock and crude oils indicates that the contribution from Jurassic coal-measure mudstone derived oil is relatively large. It is found that the Cretaceous oil comes from the Permian mudstone and the Jurassic oil comes from both Permian and Jurassic mudstones.

Key words: Junggar basin; Di'nan arch-Fubei slope area; Jurassic; coal-measure source rock; biomarker compound; petroleum geology; stratigraphy.

准噶尔盆地中央隆起带白家海凸起—阜北斜坡区周围分布多个生烃凹陷(图 1), 主要有东道海子凹陷、五彩湾凹陷及阜康凹陷, 均发育有侏罗系泥岩和煤岩, 而关于侏罗系煤岩对油气的贡献存在很大

争议, 各类观点专家尚未统一。随着彩南油田的发现, 惠荣耀等(1990)认为彩南油田原油主要来源于侏罗系三工河组泥岩。而王屿涛和蒋少斌(1995)对“准噶尔盆地侏罗系已知油藏中的原油来自侏罗系

基金项目: 国家油气重大专项项目(No. 2011ZX05003-005)。

作者简介: 林小云(1965—), 女, 教授, 博士, 主要从事石油地质研究及相关教学工作。E-mail: linxy65@126.com

引用格式: 林小云, 潘虹, 周新硕, 等, 2015. 准噶尔盆地滴南—阜北斜坡区侏罗纪煤系成烃贡献. 地球科学——中国地质大学学报, 40(9): 1549—1555.

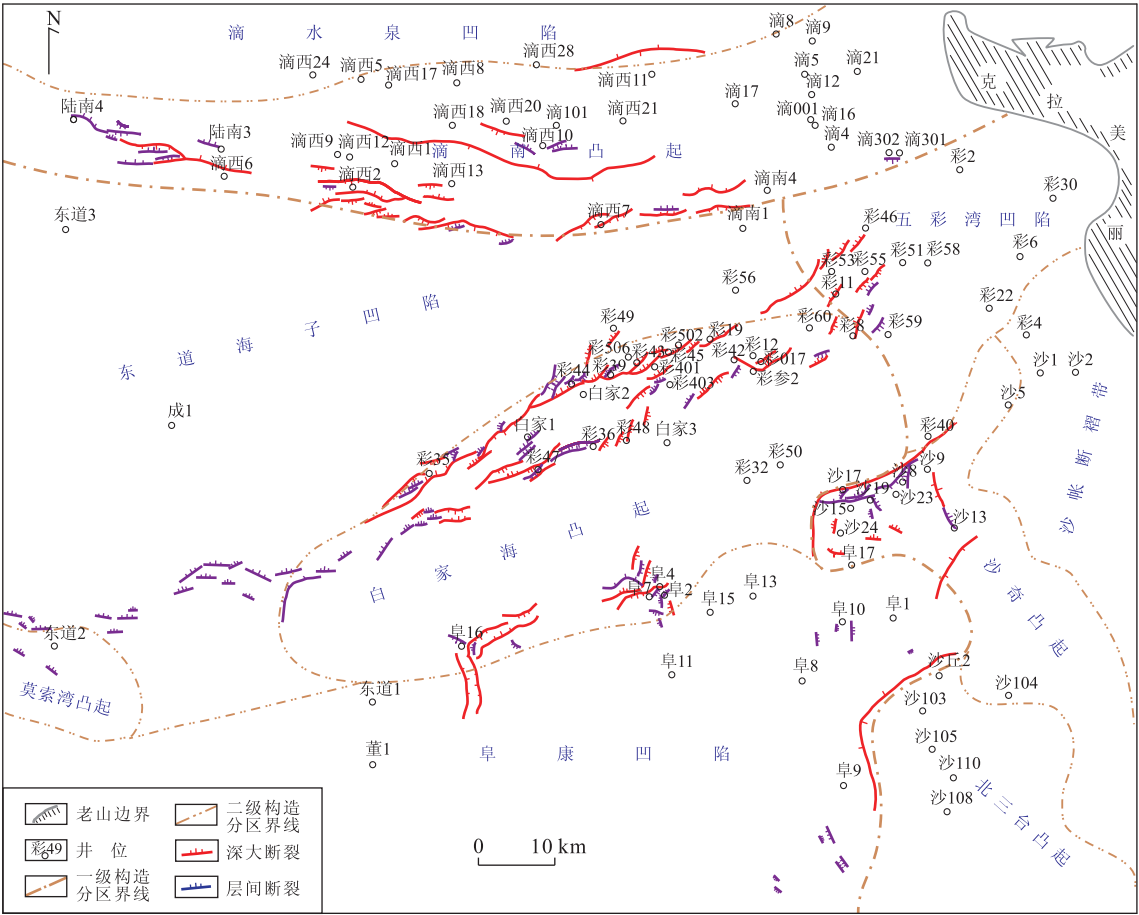


图 1 研究区构造位置
Fig. 1 The structural location of the study area

煤岩”这一观点持否定态度,认为对生烃起主要贡献的仍然是侏罗系泥岩中的分散有机质. 陈建平等(2004)认为彩南油田油源复杂,主要是侏罗系西山窑组一八道湾组暗色泥岩的贡献,同时也混有少量石炭系、二叠系烃源. 近来杨红霞等(2012)研究认为彩南油田油源为阜康凹陷侏罗系煤系. 侏罗系烃源岩对石树沟群油气的贡献毋庸置疑(陈建平等, 2003),但具体是来自暗色泥岩还是煤岩还有待考证. 本文将从煤成烃的生烃条件着手,并结合南缘煤成油的各类地化特征,将准东地区原油与其进行对比以明确二者的亲缘关系.

1 生烃条件分析

控制煤成油田形成的最主要因素是成油的物质基础——油源岩的分布范围、数量和生油显微组分组成(胡社荣等,1997). 以吐哈盆地为例,典型的西北煤成油显微组分以镜质体为主(高达 60%) (房嫒,2004),而高含量的壳质组是准噶尔盆地南缘侏

罗系煤成烃的一大特色,壳质组含量自南缘向西北缘逐渐变高(中国科学院兰州地质研究所,1986). 而白家海凸起一阜北斜坡区及周缘中下侏罗统煤岩镜检组分以产油能力最弱的情质组为主(高达 50%),而富氢组分壳质组含量小于 10%. 通常煤中壳质组达到 20%~30%时,才能形成有工业价值的煤成烃(Horisfield *et al.*, 1988; Thompson *et al.*, 1985). 准噶尔盆地中下侏罗统煤岩以盆地西北缘最厚,白家海凸起一阜北斜坡区及周缘煤岩分布较分散,以阜康凹陷阜 16 井为中心,厚度最厚达 30 m,从侏罗系泥岩和煤的分布及厚度情况来看,煤不是侏罗系主要的烃源岩. 基础地化分析资料表明阜康凹陷烃源岩生烃潜力略高于彩南油田及外围地区,但总体上均显示为差烃源岩,与有机质丰度相关的各参数均较盆地南缘中下侏罗统煤岩要差.

2 原油及油砂生标组成特征及分布

通过对滴南凸起一阜北斜坡区具代表性的原油

表 1 滴南凸起—阜北斜坡区原油、油砂生物标志化合物特征

Table 1 The biomarker of oil and oil sand in Di'nan arch-Fubei slope area

区域	井号	层位	样品深度 (m)	样品 类型	Pr/ Ph	碳同位素 (‰,PDB)	C ₂₄ 四环/ C ₂₆ 三环甾烷	三环萜烷/ 五环三萜烷	甾烷 C ₂₈ /C ₂₉	甾烷 C ₂₇ /C ₂₉	重排/规 则甾烷	伽马蜡 烷指数
白家海凸起	彩 45	J _{2t}	2 246.00	原油	2.50	−28.10	2.60	0.22	0.27	0.62	0.28	0.10
	彩 36	J _{3q}	2 496.00	原油	2.30	−27.40	4.90	0.24	0.24	0.94	0.21	0.00
	彩 44	K _{1tg}	1 862.74	油砂	1.70	—	1.03	1.87	0.60	0.84	0.28	0.31
	彩 501	K _{1tg}	1 863.06	油砂	1.90	−28.60	1.02	0.90	0.55	0.74	0.24	0.31
阜北斜坡区	阜 7	J _{2t}	3 233.00	原油	3.20	−26.70	6.70	0.08	0.26	0.55	0.22	0.05
	阜 16	J _{2t}	4 096.84	油砂	1.90	−27.55	2.90	0.87	0.31	0.96	0.26	0.10
	阜 11	J _{2t}	3 685.00	原油	—	—	4.90	0.19	0.51	1.10	0.23	0.09
滴南凸起	滴西 1	K _{1tg}	2 205.98	原油	0.60	−29.76	1.00	0.80	0.58	1.00	0.11	0.33
	滴 233	K _{1tg}	2 009.00	原油	0.33	−28.90	1.03	2.30	0.55	1.02	0.28	0.46
	滴西 13	K _{1tg}	1 884.00	原油	0.47	−29.40	1.26	2.10	0.46	0.92	0.24	0.43
	滴西 15	K _{1tg}	1 496.00	原油	0.65	−29.20	0.80	4.40	0.41	1.07	0.39	0.55
	滴 15	K _{1tg}	1 477.00	原油	0.72	−29.00	0.76	7.30	0.53	0.36	0.29	0.27
东道海子凹陷	彩 49	J _{1b}	3 410.45	泥岩	2.60	−25.30	7.20	0.02	0.21	0.25	0.44	0.07
白家海凸起	彩 35	J _{1s}	3 741.06	煤	4.90	−24.29	0.60	0.29	0.29	0.06	0.29	0.00
东道海子凹陷	滴南 1	P _{2p}	2 768.00	泥岩	1.50	−32.96	0.70	0.64	0.45	0.10	0.33	0.36

及油砂进行气相色谱和质谱分析(表 1),结果显示白家海凸起原油及油砂分布在头屯河组和齐古组,具有较高的 Pr/Ph,碳同位素分布为−27.0‰~−28.6‰(PDB 标准,下同),伽马蜡烷指数分布较广,为 0.0~0.3,C₂₄ 四环/C₂₆ 三环甾烷、三环萜烷/五环三萜烷、甾烷 C₂₇/C₂₉ 等参数的分布表现出一定的差异性.阜北斜坡区原油及油砂分布在头屯河组,地化特征较典型,为高 Pr/Ph、高碳同位素、低三环萜烷/五环三萜烷,几乎不含伽马蜡烷,是典型的氧化环境产物;滴南凸起原油及油砂分布在白垩系吐谷鲁群,具有低 Pr/Ph、低碳同位素、高伽马蜡烷指数等特征,表现为还原环境产物.滴南凸起—阜北斜坡区原油及油砂地化特征表现出的差异性,说明原油及油砂来自不同的烃源岩.

3 甾、萜烷类生物标志化合物对比

煤岩中萜烷类化合物富含指示高等植物输入的 C₂₄ 四环萜烷及三环萜烷,而水生藻类输入的三环萜烷则较少见.对比典型的南缘煤成油萜烷类化合物特征,准东地区石树沟群原油与白垩系吐谷鲁群原油的三环萜烷/五环三萜烷比值普遍高于侏罗系煤岩,而 C₂₄ 四环/C₂₆ 三环萜烷比值也远小于南缘煤成油(图 2),且比值分布范围显示与二叠系烃源岩和侏罗系泥岩更具亲缘性.原油中富含水生藻类输入的三环萜烷,原油伽马蜡烷指数为 0.20~0.43,而煤岩中明显缺乏三环萜烷和指示盐湖相沉积环境的伽马蜡烷(图 3),可见原油与侏罗系煤岩无明显亲

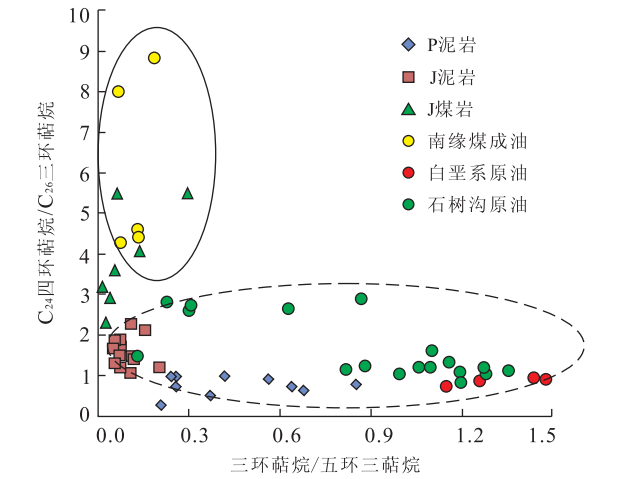


图 2 原油和源岩 C₂₄ 四环萜烷/C₂₆ 三环萜烷与三环萜烷/五环三萜烷关系

Fig. 2 The relationship between C₂₄ tetracyclic terpane / C₂₆ tricyclic terpane and tricyclic terpane/ pentacyclic triterpene from the oil and rock samples

源关系.通常沼泽环境下酸性水介质会抑制 C₂₇ 三降藿烷(Tm)向 C₂₇ 三降新藿烷(Ts)的转化,因此煤岩中 Ts/Tm 比值呈现异常低值.准东地区中下侏罗统煤岩 Ts/Tm 小于 0.10,而原油 Ts/Tm 分布为 0.50~1.05.原油萜烷类生标特征与侏罗系煤岩差异显著,二者缺乏可比性.

南缘煤成油富含高等植物输入的 C₂₉ 规则甾烷,含量为 60%~90%,而准东地区原油 C₂₉ 规则甾烷含量均小于 50%,重排/规则甾烷的比值也存在差异,白垩系吐谷鲁群原油重排/规则甾烷小于 0.20,侏罗系石树沟群原油则分布在 0.20~0.45

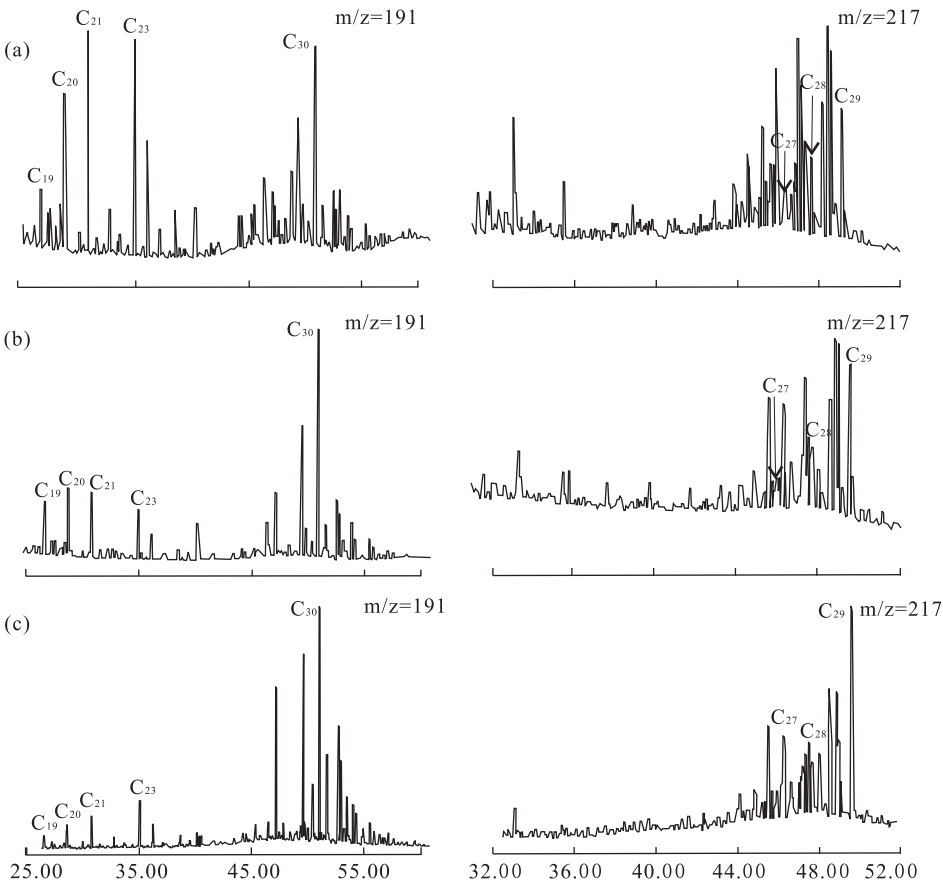


图 3 准东地区原油与侏罗系煤岩甾萜烷特征对比

Fig. 3 Comparison of sterane and terpane from crude oil and coal-measure source rock in Zhundong area

a. 彩 44 井, 1 802.74 m, K_1tg , 褐灰色细砂岩; b. 彩 43 井, 2 080.50 m, J_{2-3sh} , 原油; c. 彩 35 井, 3 741.06~3 744.84 m, J_1s , 煤

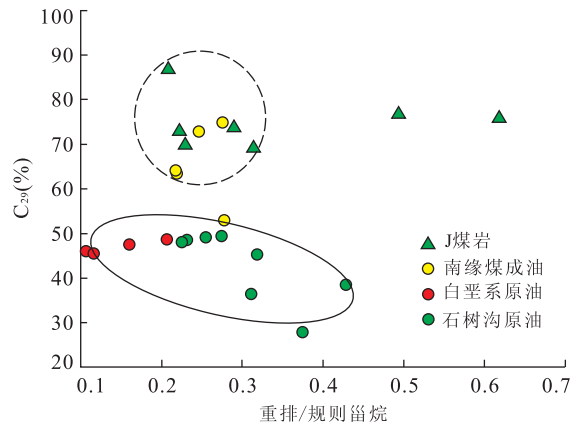


图 4 煤岩和原油 C_{29} 甾烷含量与重排/规则甾烷关系

Fig. 4 The relationship between C_{29} sterane and diasteranes/regular sterane

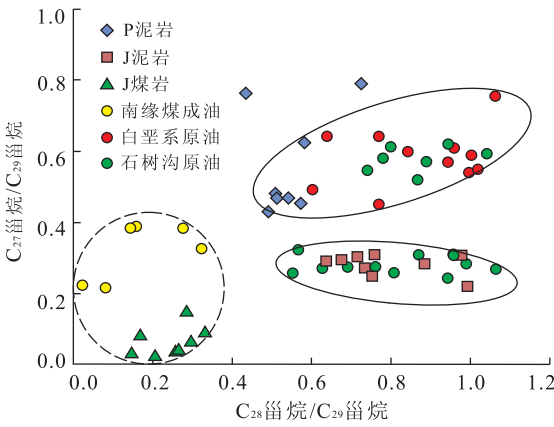


图 5 原油和源岩 C_{27}/C_{29} 与 C_{28}/C_{29} 甾烷关系

Fig. 5 The relationship between C_{27}/C_{29} and C_{28}/C_{29} steranes

(图 4). 甾烷类生标化合物组成中(图 3), 原油普遍含有 C_{21} 、 C_{22} 孕甾烷, 而煤岩中缺乏孕甾烷. 南缘煤成油甾烷生物构型 $\alpha\alpha\alpha$ -20R 中 C_{27}/C_{29} 和 C_{28}/C_{29} 的值与侏罗系煤岩特征相近(图 5), 均以 C_{29} 甾烷为主. 准东地区原油甾烷比值明显有别于南缘煤成油.

白垩系原油甾烷生物构型 $\alpha\alpha\alpha$ -20R 呈 $C_{27} < C_{28} < C_{29}$ “上升”型分布形态, 重排甾烷含量较低. 甾烷 C_{27}/C_{29} 和 C_{28}/C_{29} 相对含量分布与二叠系泥岩类似. 石树沟群原油甾烷比值特征分布一部分与二叠系泥岩相似, 一部分更接近于侏罗系泥岩. 准东地区

原油甾烷类化合物与侏罗系煤岩亲缘关系较弱,与二叠系泥岩和侏罗系泥岩有较好的亲缘关系。

4 正构烷烃与碳同位素特征对比

侏罗系煤岩正构烷烃分布特征显示主峰碳数为 nC_{23} , nC_{21}^- / nC_{21}^+ 比值小于 0.8, 分布以重碳数正构烷烃为主. 侏罗系泥岩正构烷烃主峰碳数分布为 $nC_{19} \sim nC_{20}$, 二叠系泥岩主峰碳则在 nC_{16} , nC_{21}^- / nC_{21}^+ 分布在 1.0~1.5, 奇偶优势不明显. 侏罗系煤岩姥植比为 4.5~10.6, 指示煤岩形成于偏氧化环境, 而二叠系泥岩姥植比小于 2.0, 指示泥岩形成于偏还原环境. 白垩系原油姥植比均小于 2.0, 指示其与二叠系泥岩有较好的亲缘关系; 石树沟群原油姥植比略高, 但与侏罗系煤岩分布相差甚远(图 6). 碳同位素资料表明, 二叠系平地泉组烃源岩干酪根碳同位素偏轻, 分布在 $-30.0\text{‰} \sim -24.0\text{‰}$, 有机质类型主要为 II₁ 型, 是准东地区生烃潜力较好的烃源岩. 侏罗系烃源岩干酪根碳同位素则与二叠系差异较大, 无论是泥岩、炭质泥岩还是煤岩的碳同位素都偏高, 属于 III 型干酪根(付欢等, 2011), 侏罗系泥岩碳同位素分布在 $-29.0\text{‰} \sim -25.5\text{‰}$, 侏罗系煤岩富含重组分, 碳同位素一般大于 -24.0‰ . 白垩系原油以轻质组分为主, 具有较轻的碳同位素, 特征显示与二叠系泥岩有较好亲缘关系, 石树沟群原油碳同位素分布较广, 一部分与二叠系泥岩具有亲缘性, 一部分与侏罗系泥岩相似, 但均与侏罗系煤岩无缘。

5 二环倍半萜分布特征对比

准东地区原油、煤和泥岩的抽提物饱和烃中均检测出含有不同丰度的二环倍半萜, $C_{15}H_{28}$ 的同分异构体中以 $8\beta(H)$ -补身烷为主峰, 在 $C_{16}H_{30}$ 同分异构体中以 $8\beta(H)$ -升补身烷为主(惠荣耀等, 1990). 二环倍半萜的广泛分布说明其母质来源的多样性, 高丰度的二环倍半萜往往指示了湖沼环境(罗斌杰等, 1990). 准东地区侏罗系煤岩二环倍半萜 m/z 为 123 的质量色谱如图 7 所示, 其中所富含的 $8\beta(H)$ -补身烷和 $8\beta(H)$ -升补身烷, 是典型的沼泽指相标志. 侏罗系泥岩 m/z 为 123 的质量色谱图仅富含升补身烷, 其他均不发育. 二叠系泥岩检测出一定含量的补身烷和升补身烷, 重排产物丰度极低, 指示了生油母质高等植物贡献较弱, 重排化合物的形成机理类似于甾烷的重排过程(廖健德等, 2004). 南缘煤成油二环倍半萜烷色谱图分布特征显示, 齐 34 井原油中 $8\beta(H)$ -补身烷及 $8\beta(H)$ -升补身烷丰度均较高, 其重排产物 4,4,8,8,9-PMDHN(五甲基十氢化萘)及 4,4,8,9,9-PMDHN 也很发育, 指示了沼泽相沉积环境以及高等植物的母质输入. 准东地区彩 43 井石树沟群原油及彩 42 井白垩系吐谷鲁群原油中均检测出补身烷和升补身烷, 但其伴生的重排产物含量较少, 分布特征与南缘齐 34 井煤成油差异明显, 表明其与侏罗系煤岩无亲缘关系。

6 原油类型及油源分析

结合准东地区原油生物标志化合物特征, 以原油碳同位素、姥植比、伽玛蜡烷指数(γ -蜡烷/ C_{30} 藿烷)等参数为依据, 可将原油分为 3 类(图 8): A 类原油与二叠系泥岩有着十分相似的生物标志物分布特征: 甾烷均以 C_{28} 、 C_{29} 为主, C_{27} 甾烷含量低, 甾烷 $\alpha\alpha\alpha$ -20R 构型呈“上升”型分布, 二叠系泥岩和 A 类原油基本不含重排甾烷或重排甾烷含量很低(新疆石油管理局勘探开发研究院, 准噶尔盆地东部地区彩南油田及其外围油源精细对比, 2001). B 类原油与侏罗系泥岩亲缘关系明显: 甾烷以 C_{29} 甾烷为主, C_{27} 、 C_{28} 甾烷含量相当且较低, 甾烷 $\alpha\alpha\alpha$ -20R 构型呈反“L”型分布; 表明 B 类原油母质来源在偏氧化环境下形成. C 类原油的生物标志物分布特征与二叠系、侏罗系泥岩和原油均有差异, 各种生物标志物参数均显示它们处于 A 类二叠系原油和 B 类侏罗系原油之间, 其来源可能是二叠

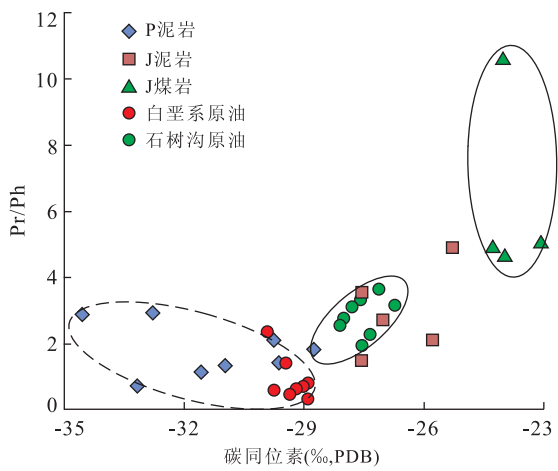


图 6 原油、源岩碳同位素与姥植比关系
Fig. 6 The relationship between the carbon isotopes and Pr/Ph of the oil and rock samples

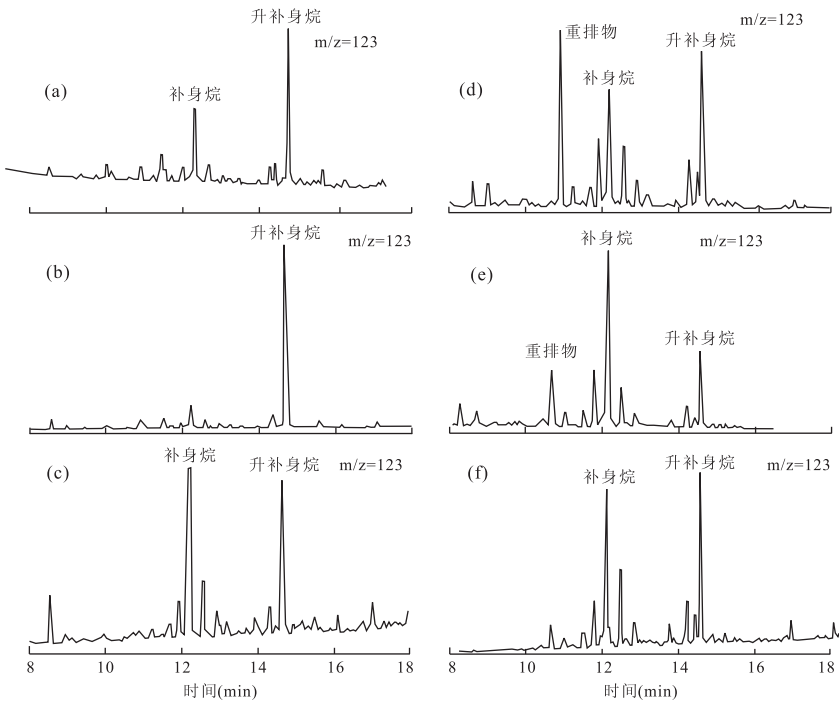


图 7 各类原油/源岩二环倍半萜烷质量色谱

Fig. 7 Mass chromatograms of bicyclic sesquiterpane of the oils and source rocks

a. 彩 504 井, 2 576. 00~2 580. 00 m, J₂x, 煤岩; b. 彩 35 井, 3 692. 16~3 701. 16 m, J₂x, 黑色泥岩; c. 彩 5 井, 2 065. 76~2 067. 24 m, P₂p, 灰黑色泥岩; d. 齐 34 井, 880. 00~920. 00 m, J₂, 原油; e. 彩 43 井, 2 080. 50 m, J₂₋₃sh, 原油; f. 彩 42 井, 1 375. 71~1 375. 81 m, K₁h, 灰色油浸细砂岩

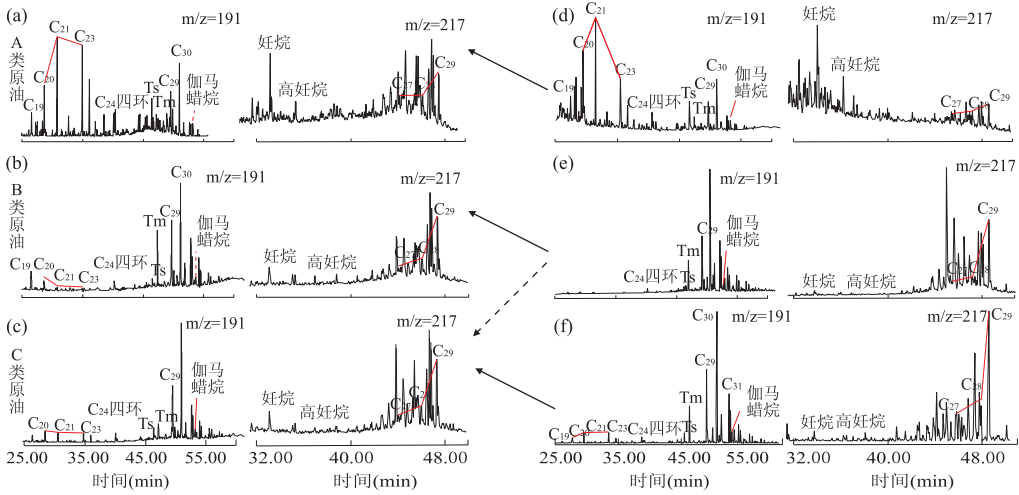


图 8 准东地区各类原油与烃源岩甾萜烷特征对比

Fig. 8 Comparison of sterane and terpane from crude oils and source rocks in Zhundong area

a. 滴西 12 井, 1 585. 00~1 587. 50 m, K₁h₂, 原油; b. 阜 7 井, 3 233. 00~3 245. 00 m, J₂t, 原油; c. 彩 45 井, 2 246. 00~2 252. 00 m, J₂t, 原油; d. 阜 10 井, 4 292. 00~4 293. 29 m, P₂p, 深灰色泥岩; e. 彩 49 井, 3 421. 07 m, J₁b, 深灰色泥岩; f. 滴南 1 井, 2 977. 50~2 979. 50 m, P₂p, 泥岩; 红线表示三类化合物含量的变化趋势; 箭头表示亲缘性

系、侏罗系泥岩的混合。

7 结论

从侏罗系泥岩和煤岩有机质的分布范围、数量

及显微组分上看, 暗色泥岩的生烃条件远优于煤岩; 从油—岩生物标志化合物特征对比上看, 准东地区原油与侏罗系煤岩亲缘关系较弱, 与侏罗系泥岩和二叠系泥岩亲缘性较好。因此, 侏罗系煤岩对准东地区原油贡献较弱。白垩系吐谷鲁群原油主要是二叠

系泥岩贡献,侏罗系石树沟群原油来自二叠系泥岩和侏罗系泥岩的混合。

References

- Chen, J. P., Deng, C. P., Liang, D. G., et al., 2004. The Cainan Oilfield: A Typical Mixed Crude Oil of Three-Endmember. *Acta Sedimentologica Sinica*, 22 (Suppl.): 91—97 (in Chinese with English abstract).
- Chen, J. P., Liang, D. G., Wang, X. L., et al., 2003. Oil-Source Correlation of Mixed Oils Derived from Multiple Source Rocks in the Cainan Oilfield, Junggar Basin, Northwest China, Part II: Geochemical Characteristics, Typing and Oil Sources of Typical Crude Oils. *Petroleum Exploration and Development*, 30(5): 34—38 (in Chinese with English abstract).
- Fu, H., Wang, Z. Q., Wang, Z. S., et al., 2011. Geochemical Characteristics of Middle-Lower Jurassic Coal Measure in Fukang Sag. *Petroleum Geology and Engineering*, 25(6): 32—35, 59 (in Chinese with English abstract).
- Fang, X., 2004. The Biomarker Characteristics and Coal-Formed Hydrocarbons of the Source Rock and Oil in Jurassic Coal Measure of Turpan Basin (Dissertation). Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou (in Chinese with English abstract).
- Hu, S. R., Hou, H. M., Wu, Y. Y., et al., 1997. Coal Geology Method in Determining the Expecting Districts of Coal-Formed Oilfields in the Jurassic System Basin of Northwest of China. *Acta Petrolei Sinica*, 18(4): 14—18 (in Chinese with English abstract).
- Hui, R. Y., Zhang, J. Z., Meng, Q. X., 1990. Geochemical Characteristics of Coal Type Oil in Southern Margin of Junggar Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 8(1): 29—36 (in Chinese with English abstract).
- Horisfield, B., Yoroly, K. L., Crelling, J. C., 1988. Determining the Petroleum-Generating Potential of Coal Using Organic Geochemistry and Organic Petrology. *Organic Geochemistry*, 13(13): 121—129. doi: 10. 1016/B978—0—08—037236—5. 50018—X
- Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, 1986. Research Annual Report. Gansu Science and Technology Publishing House, Lanzhou, 34—61 (in Chinese).
- Luo, B. J., Wang, Y. X., Meng, Q. X., et al., 1990. The Geochemistry Sense of Bicyclic Salkane in Oil, Coal and Deposition. *Science in China (Series B)*, (4): 419—430 (in Chinese).
- Liao, J. D., Yang, B., Chen, X. S., et al., 2004. Distribution and Significance of Diterpenoid Alkanes in Crude Oils from Eastern Junggar Basin. *Xinjiang Petroleum Geology*, 25(6): 624—635 (in Chinese with English abstract).
- Thompson, S., Cooper, B. S., Morley, R. J., et al., 1985. Oil-Generating Coals. In: Thompson, S., Cooper, B. S., Morley, R. J., et al., eds., *Petroleum-Geochemistry in Exploration of the Norwegian Shelf*. Springer, Amsterdam, 59—73.
- Wang, Y. T., Jiang, S. B., 1995. The Jurassic Hydrocarbon Generation Feature and Exploration Direction of Junggar Basin. *Xinjiang Petroleum Geology*, 16(3): 222—226 (in Chinese).
- Yang, H. X., Wang, H. M., Liao, J. D., 2012. Geochemical Characteristics of Fukang Sunken Uplift Zone of the East of Junggar Basin. *Journal of Yangtze University (Natural Science Edition)*, 9(8): 32—35 (in Chinese).

附中文参考文献

- 陈建平, 邓春萍, 梁狄刚, 等, 2004. 彩南油田: 一个典型三元混合油田. 沉积学报, 22(增刊): 91—97.
- 陈建平, 梁狄刚, 王绪龙, 等, 2003. 彩南油田多源混合原油的油源(二)——原油地球化学特征、分类与典型原油油源. 石油勘探与开发, 30(5): 34—38.
- 付欢, 王振奇, 王泽胜, 等, 2011. 阜康凹陷中下侏罗统煤系烃源岩地球化学特征. 石油地质与工程, 25(6): 32—35, 59.
- 房嫒, 2004. 吐哈盆地侏罗系煤系地层源岩和油的生标特征及其煤成烃意义(硕士学位论文). 兰州: 中科院兰州地质研究所.
- 胡社荣, 侯慧敏, 吴因业, 等, 1997. 西北侏罗系煤成油研究中的煤田地质学方法. 石油学报, 18(4): 14—18.
- 惠荣耀, 张继忠, 孟仟祥, 1990. 准噶尔盆地南缘煤成油的地球化学特征. 沉积学报, 8(1): 29—36.
- 罗斌杰, 王有孝, 孟仟祥, 等, 1990. 原油、煤和沉积物中二环烷烃的地球化学意义. 中国科学(B辑), (4): 419—430.
- 廖健德, 杨斌, 程显胜, 等, 2004. 准噶尔盆地东部原油二萜类烷烃的分布特征. 新疆石油地质, 25(6): 624—635.
- 王涛涛, 蒋少斌, 1995. 准噶尔盆地侏罗系生烃特征及勘探方向. 新疆石油地质, 16(3): 222—226.
- 杨红霞, 王惠民, 廖健德, 2012. 准噶尔盆地东部环阜康凹陷隆起带原油地球化学特征与分类. 长江大学学报(自然科学版), 9(8): 32—35.
- 中国科学院兰州地质研究所, 1986. 研究年报. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 34—61.