

文章编号: 1000-0550(2010)06-1238-06

吐哈盆地台北凹陷侏罗系煤系源岩地球化学分类及意义^①

王志勇^{1,3} 孟仟祥² 王作栋² 王晓华³ 杜宏宇³ 吕江陵⁴

(1. 中国科学院研究生院 北京 100049; 2. 中国科学院油气资源研究重点实验室 兰州 730000;

3. 中国石油吐哈油田公司勘探开发研究院 新疆哈密 839009; 4. 中国石油吐哈油田公司三塘湖采油厂 新疆哈密 839009)

摘要 烃源岩的沉积环境、母源输入与有机质性质有着密切联系,吐哈盆地台北凹陷不同层系、不同地区侏罗系煤系源岩由于其沉积环境、母源输入的不同,导致其地球化学指标差异;通过对源岩地球化学指标相关性分析表明,姥植比(Pr/Ph)是反映源岩沉积氧化还原环境和水体盐度的重要指标; $C_{29}\alpha\alpha\alpha 20R$ 在 $C_{27} \sim C_{29}$ 规则甾烷 $\alpha\alpha\alpha 20R$ 中的相对含量也是反映沉积水体盐度的重要指标。同时发现源岩类型划分的主控指标是族组成中芳烃、沥青质组含量及饱芳比、非沥比等四项指标,姥植比、伽马蜡烷指数为源岩类型划分的次控指标,据此将台北凹陷侏罗系煤系源岩划分为三类。

关键词 吐哈盆地 煤系源岩 生物标志化合物指标 源岩类型

第一作者简介 王志勇 男 1966年出生 高级工程师 油气地球化学 E-mail: wangzy877@sohu.com

中图分类号 P593 **文献标识码** A

对吐哈盆地台北凹陷侏罗系煤系源岩生烃研究,前人做了大量的工作,取得了很多富有理论和实践意义的重要认识。在这些理论研究的指导下,煤系油勘探取得了巨大的成果,发现并探明了一大批油气田^[1~11]。以往对原油、源岩地球化学性质与特征的多次研究,获得了丰富的基础数据和资料。本次研究在总结前人资料的项目,进行系统采样,对84块具有代表性的源岩样品进行全面细致的地球化学分析和研究(表1),提出吐哈盆地侏罗系煤系源岩地球化学分类的新的认识,对在盆地内进行进一步油气勘探和

开发具有重要的理论和实际意义。

1 源岩样品有机质丰度及可溶有机质族组成特征

源岩中有机质是源岩成烃的物质基础,其丰度大小是源岩成烃能力的决定因素。根据本次源岩样品沥青抽提分析结果,对源岩有机质丰度进行评价。

中侏罗统七克台组(J_2q)暗色泥岩氯仿沥青“A”含量为0.01%~0.016%、总烃含量为 $49 \times 10^{-6} \sim 98 \times 10^{-6}$,总体评价为中等—较差生油岩;族组成表现

表1 台北凹陷侏罗系烃源岩样品采集及分析项目

Table 1 Samples and analysis items of Jurassic source rocks in Taibei Depression

井号层位(样品个数)	分析项目(个数)			
托参2井 $J_1b(3)$, 乌苏1井 $J_1b(2)$, 杜1井 $J_1b(1)$, 杜1井 $J_2x(2)$, 亚1井 $J_1b(3)$, 亚1井 $J_2x(2)$, 桃1井 $J_1s(1)$, 桃1井 $J_2x(3)$, 泉1井 $J_1b(1)$, 泉1井 $J_2x(4)$, 果3井 $J_2x(2)$, 果3井 $J_2q(1)$, 葡北102井 $J_2x(2)$, 葡北102井 $J_2q(1)$, 葡北20井 $J_2s(2)$, 火2井 $J_2s(1)$, 恰1井 $J_2x(2)$, 胜深3井 $J_2s(1)$, 胜深3井 $J_2q(1)$, 台参2井 $J_2x(1)$, 台参2井 $J_2s(2)$, 台参2井 $J_2q(1)$, 连4井 $J_1b(1)$, 连4井 $J_2x(1)$, 红南4井 $J_2x(2)$, 红南1井 $J_2x(2)$, 勒2井 $J_1b(1)$, 勒7井 $J_1s(1)$, 勒7井 $J_2x(1)$, 阿1井 $J_2x(1)$, 阿1井 $J_2s(4)$, 大步1井 $J_2x(1)$, 大步1井 $J_2s(1)$, 照1井 $J_1b(1)$, 柯15井 $J_2x(5)$, 陵深1井 $J_1s(2)$, 鄯科1井 $J_1b(2)$, 柯7井 $J_2x(1)$, 东深2井 $J_1b(1)$, 萨1井 $J_2x(2)$, 丘东3井 $J_2x(2)$, 东深1井 $J_1s(2)$, 东深1井 $J_2x(2)$, 草南2井 $J_2s(1)$, 草南1井 $J_2s(2)$, 小草1井 $J_2x(2)$, 红台1井 $J_1s(2)$, 房1井 $J_2x(2)$ 。	饱和烃 色谱 (84)	饱和烃 色质 (84)	氯仿 “A” (84)	热解 (84)

^①国家自然科学基金项目(批准号:40972099)资助。
收稿日期:2009-11-10; 收修改稿日期:2009-12-11

出烷烃、非烃组分含量较高,芳烃、沥青质含量较低的特点,其饱芳比均大于 3、非沥比均大于 1。中侏罗统三间房组(J_2s)暗色泥岩氯仿沥青“A”含量为 0.009%~0.0375%、平均 0.018%,总烃含量为 41×10^{-6} ~ 230×10^{-6} 、平均 84×10^{-6} ,总体评价为较差烃源岩;该组源岩样品中多数烷烃、非烃组分含量较高,芳烃、沥青质含量较低,一般饱芳比、非沥比均大于 1。中下侏罗统水西沟群(包括西山窑组(J_2x)、三工河组(J_1s)、八道湾组(J_1b))源岩包括暗色泥岩、炭质泥岩及煤岩,暗色泥岩平均可溶有机质含量及总烃含量分别为 0.022%、 115×10^{-6} ,总体评价为较差烃源岩;炭质泥岩及煤岩平均可溶有机质含量及总烃含量分别为 0.86%、 4156×10^{-6} ,总体评价为好烃源岩。

水西沟群源炭质泥岩及煤岩芳烃、沥青质组分含量相对较高,暗色泥岩烷烃、非烃组分含量较高。

根据源岩有机质丰度指标氯仿沥青“A”和总烃判断吐哈盆地台北凹陷侏罗系主力烃源岩应该为中侏罗统七克台组(J_2q)暗色泥岩和中下侏罗统水西沟群暗色泥岩、炭质泥岩及煤岩。

2 源岩地球化学指标相关性分析

对源岩进行类型划分,首先是确定不同类型源岩的生烃能力及生烃特征,其次是在不同类型源岩与原油间建立对应关系。源岩类型划分的理论依据是不同沉积环境条件下形成的源岩,其地球化学性质必定存在一定差异^[12];手段是利用各项地球化学指标进

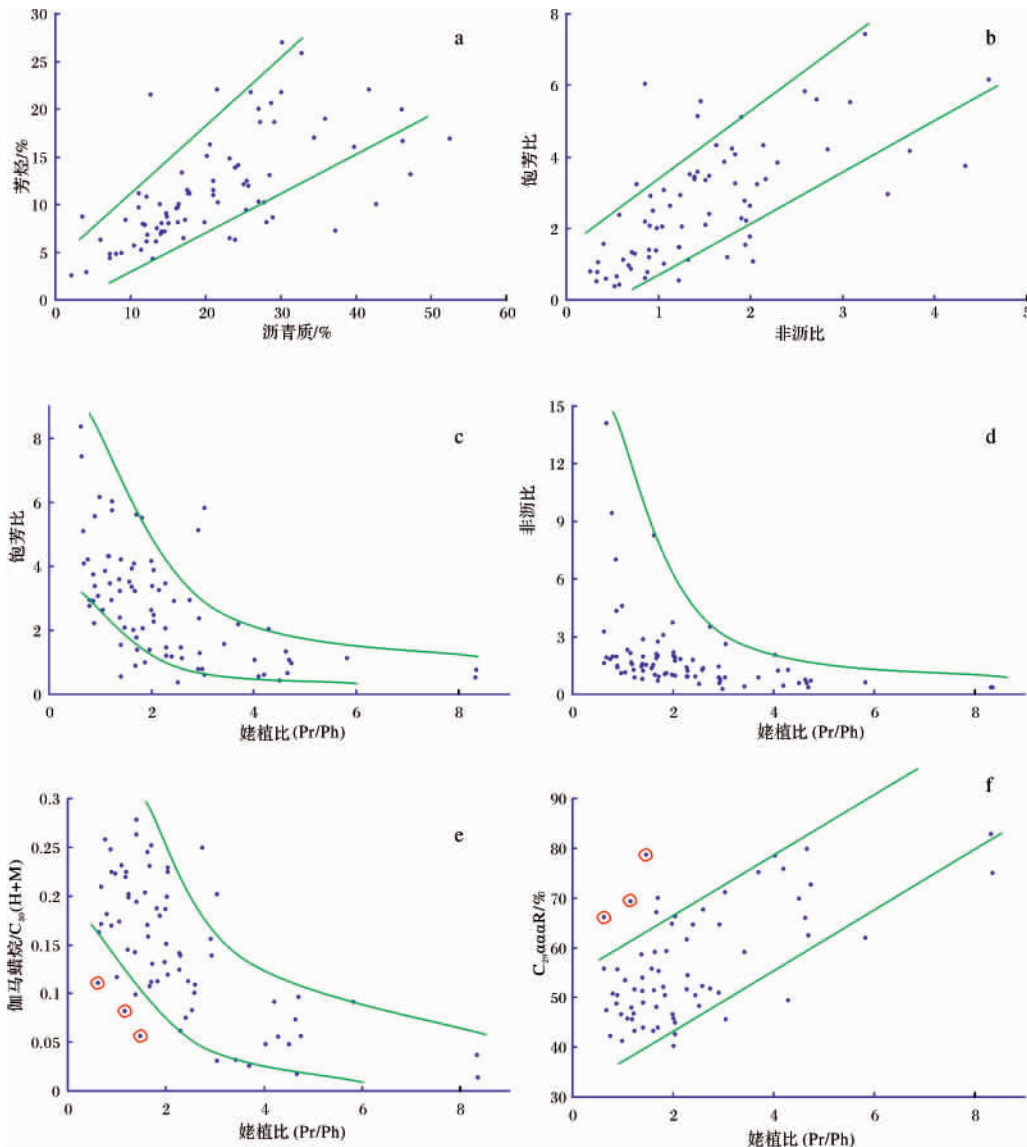


图 1 源岩样品地化指标相关分析(I)

Fig. 1 The correlations of source rock geochemical parameters(I)

行系统的对比统计、总结分类。对源岩样品进行地球化学系列分析获取的指标为数众多(包括族组成、烷烃色谱、烷烃色质等分析的数十项指标)、关系复杂,因此在明确指示地质意义的指标基础上进行相关性分析对确定源岩类型划分指标是十分必要的。

图1中(a)、(b)分别表现了源岩样品可溶有机质芳烃、沥青质组分含量指标及饱芳比、非沥比指标间具有良好的正相关关系,说明源岩芳烃、沥青质组分在一定程度上具有相似的成因机制,主要是受控于陆源有机质的输入。

(c)、(d)表现了源岩样品的饱芳比、非沥比指标与姥植比(Pr/Ph)指标具有一定的相关性,特别是饱芳比与姥植比(Pr/Ph)指标有较好的相关性,反映出随着沉积环境氧化性增强,源岩样品的饱芳比、非沥比指标逐渐降低的总体趋势;还原性越强则饱和烃相对丰度越高,这与有机质氧化还原反应程度有关,氧化性越强芳烃相对丰度越高,氧化性增强有机分子被氧化为含氧化合物(非烃)的机率越高。

(e)表现出随沉积环境氧化性增强(Pr/Ph)而增大,沉积水体盐度降低(伽马蜡烷指数减小)的大致趋势。值得注意的是“O”内的三个显著偏离整体趋势数据点,这三块样品f中也表现出显著偏离整体趋势;分析认为这种偏离可能并非偶然因素:可能是在半深水体系的水源注入区域(前缘),沉积环境的氧

化还原性仍为弱氧化—弱还原,由于水源注入造成水体盐度降低及陆源有机质的更多输入。

(f)表现了 $C_{29}\alpha\alpha\alpha 20R\%$ (在 $C_{27}\sim C_{29}$ 规则甾烷 $\alpha\alpha\alpha 20R$ 中的相对含量,下同)与姥植比(Pr/Ph)呈良好的正相关,以往的研究认为甾烷 $\alpha\alpha\alpha 20R$ 向甾烷 $\alpha\alpha\alpha 20S$ 转化主要受控于热作用;(f)显示,甾烷这种异构体转化也受控于沉积环境的氧化还原程度,即强氧化环境有利于生物构型R向地质构型S的转化。

图2中(a)(d)表现了 $C_{29}\alpha\alpha\alpha 20R$ 甾烷指标与伽马蜡烷指数、三环萜烷/三萜烷的相关性,甚至 $C_{29}\alpha\alpha\alpha 20R\%$ 与伽马蜡烷指数、三环萜烷/三萜烷均具有很好的负相关关系。对此现象的合理解释是源岩有机质中陆源有机质输入主要依赖于沉积体系中的水流注入,而水流注入的充沛与否直接影响沉积水体的盐度;水源充沛注入的条件下,沉积水体盐度较低,随水流注入沉积体系的陆源有机质则更加丰富。就是说有机质沉积环境盐度越高,甾烷生物构型R向地质构型S的转化越慢。

图2中(b)(c)分别表现了三环萜烷/三萜烷指标与姥植比(Pr/Ph)、伽马蜡烷指数相关关系。其中三环萜烷/三萜烷指标与伽马蜡烷指数具有一定正相关关系,与姥植比(Pr/Ph)呈负相关关系,表明在淡水氧化环境中,姥植比(Pr/Ph)高而三环萜烷和伽马

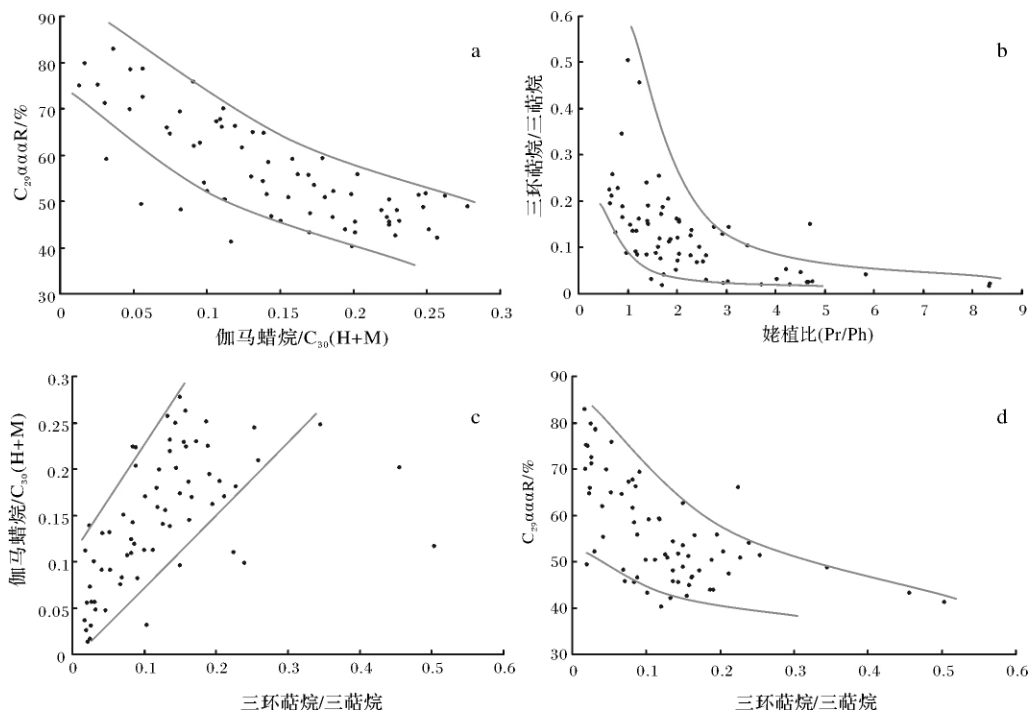


图2 源岩样品地化指标相关分析(II)

Fig. 2 The correlations of source rock geochemical parameters(II)

蜡烷含量低;咸化还原环境则正好相反。

3 源岩类型划分依据及划分结果

3.1 源岩类型划分依据

针对源岩类型划分目的,划分依据的确定首先要有利于区别源岩的生烃性质,其次是能区别不同类型源岩形成的沉积环境。在此原则下,结合前述对指标的相关分析,选取以下指标作为源岩类型划分的依据指标(图2)。

主控指标——族组成中芳烃、沥青质组分含量及饱芳比、非沥比等四项指标;该系列指标不仅是源岩生烃产物性质的直观体现,而且也受到沉积环境控制作用的影响,比如饱芳比指标与姥植比(Pr/Ph)指标就存在一定的相关关系。

次控指标——姥植比(Pr/Ph)与伽马蜡烷指数。这两个指标从不同侧面反映源岩的沉积环境条件^[13-17],对沉积环境的表征得到了广泛的应用。样品的其他多项指标与此两项指标都具有不同程度的关联关系,在源岩类型划分时要综合考虑。

由于 $C_{29}\alpha\alpha\alpha 20R\%$ 与伽马蜡烷指数具有很好的相关性,反映出源岩母质输入受水源注入影响,即可能存在湖相水源注入区域 $C_{29}\alpha\alpha\alpha 20R\%$ 正异常或咸水沼泽(水源注入不足) $C_{29}\alpha\alpha\alpha 20R\%$ 负异常的情况,因此 $C_{27,28,29}$ 规则甾烷内组成指标将不用于源岩类型划分,可作为参考指标。

3.2 样品类型划分及特征总结

根据对源岩样品类型划分依据指标及其它特征指标的详细分析、比较,在“主控分区、次控定型、辅助校正、参考无矛盾”的原则下,对研究样品进行了较为细致合理的类型划分,源岩样品可划分为以下三种类型(图3、4)。

湖相泥岩:该类型源岩岩性主要为暗色泥岩,在中下侏罗统、下二叠统层位中均有分布;根据样品各项地球化学性质可确定样品形成的沉积环境基本都是浅一半深湖相(微咸水)。该类源岩样品族组成具有低芳烃、高饱芳比(>2)、非沥比(>0.7)的总体特征;在生物标志物构成上具有低姥植比($Pr/Ph < 3$)、低 C_{24} —四环萜烷/ C_{26} —三环萜烷(<10)及相对较高的伽马蜡烷指数(>0.1)、三环萜烷/三萜烷(>0.08)、甾烷组成中一般 $C_{27}\alpha\alpha\alpha 20R$ 甾烷高于10%、 $C_{29}\alpha\alpha\alpha 20R$ 甾烷低于60%等系列特征。

煤沼源岩:该类型源岩岩性主要为煤、炭质泥岩及部分暗色泥岩;主要分布在水西沟群地层,七克台、三间房组分布很少;根据样品各项地球化学性质可确定样品形成的沉积环境基本都是氧化性强的成煤沼泽。该类源岩样品族组成具有高芳烃($>13\%$)、沥青质($>20\%$)、低饱芳比(<2)、非沥比(<1)的总体特征;在生物标志物构成上具有高姥植比($Pr/Ph > 3$)、高 C_{24} —四环萜烷/ C_{26} —三环萜烷(>1)及低伽马蜡烷指数(<0.1)、三环萜烷/三萜烷(<0.08)、甾

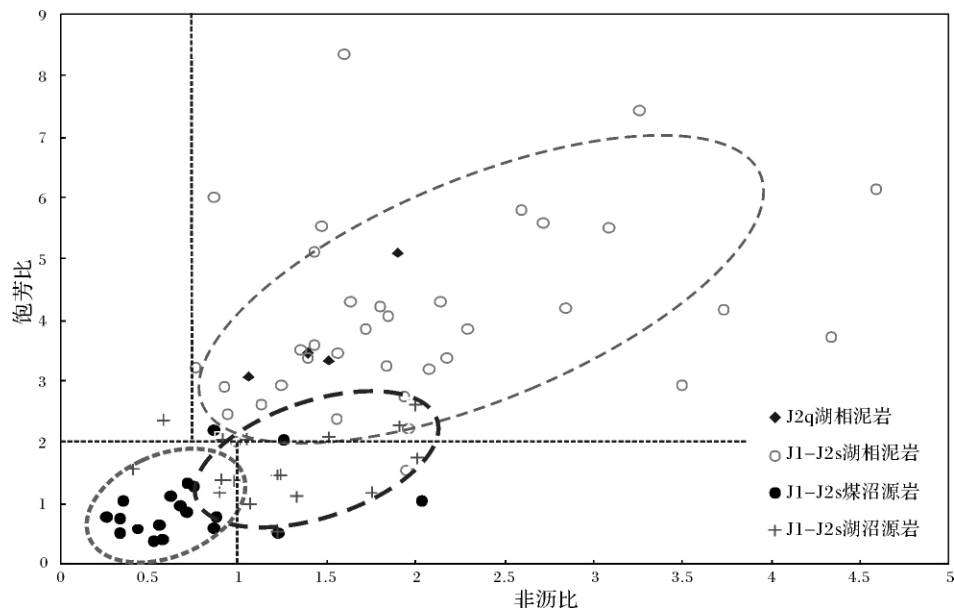


图3 台北凹陷烃源岩饱芳比与非沥比关系

Fig. 3 The correlation of saturated hydrocarbon/aromatic hydrocarbon and non-hydrocarbon/ asphaltene of source rocks, Taibei Depression

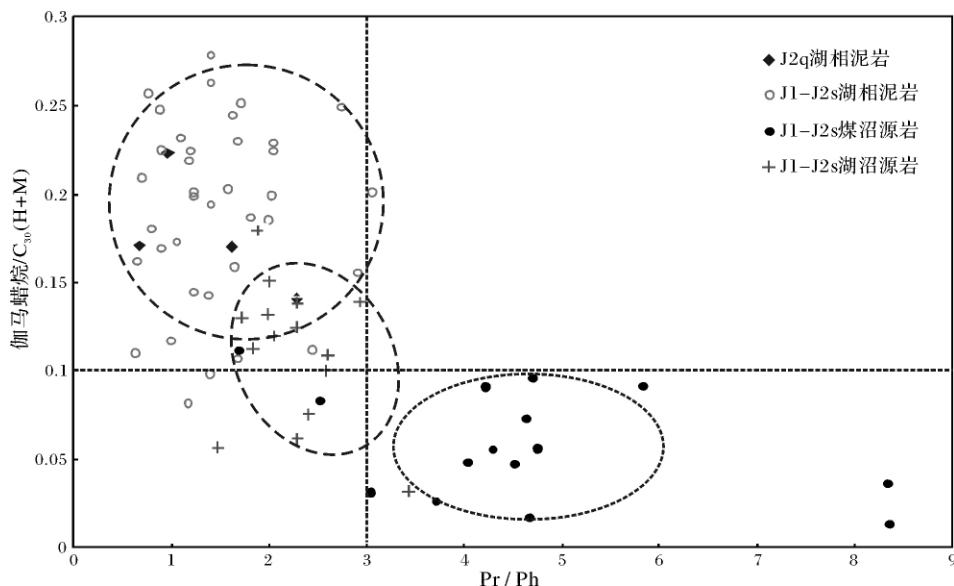


图4 台北凹陷烃源岩伽马蜡烷指数与姥植比关系

Fig. 4 The correlation of saturated gammacerane ratio and Pr/ Ph of source rocks ,Taibei Depression

烷组成中一般 $C_{27} \alpha\alpha\alpha 20R$ 甾烷低于 15%、 $C_{29} \alpha\alpha\alpha 20R$ 甾烷高于 60% 等系列特征。

湖沼源岩: 该类型源岩岩性为暗色泥岩、炭质泥岩及煤; 主要分布在水西沟群地层, 七克台、三间房组几乎没有; 该类型样品在某些方面具有一些湖相特征性质, 但另一些方面又表现出煤沼成因特征, 推测该类样品形成的沉积环境可能是湖泊与沼泽的交替过渡相带。总体上该类型源岩样品的各项特征指标多处处在湖相与煤沼类型的过渡区域。

4 结论

(1) 姥植比 (Pr/Ph) 是反映源岩沉积氧化还原环境和水体盐度的重要指标; Pr/Ph 值增大, 源岩样品中的饱和芳比、非芳比指标逐渐降低, 反映沉积水体变浅、氧化性增强, 有利于生物构型 R 向地质构型 S 的转化。 $C_{29} \alpha\alpha\alpha 20R$ 在 $C_{27} \sim C_{29}$ 规则甾烷 $\alpha\alpha\alpha 20R$ 中的相对含量也是反映单沉积水体盐度的重要指标; 以往的认为甾烷 $\alpha\alpha\alpha 20R$ 向甾烷 $\alpha\alpha\alpha 20S$ 转化主要受控于热作用, 本次研究发现甾烷这种异构体构型转化也受控于沉积环境的氧化还原程度, 即强氧化环境有利于生物构型 R 向地质构型 S 的转化。

(2) 台北凹陷侏罗系煤系源岩类型划分的主控指标是族组成中芳烃、沥青质组含量及饱和芳比、非芳比等四项指标; 姥植比 (Pr/Ph) 与伽马蜡烷指数为确定源岩类型划分的次控指标, 姥植比 (Pr/Ph) 与伽马蜡烷指数反映源岩的沉积环境条件, 源岩类型划分

的次控指标。 $C_{27} \sim C_{29}$ 规则甾烷组成指标可作为参考指标。

(3) 将台北凹陷侏罗系煤系烃源岩划分为三类; 湖相源岩岩性主要为暗色泥岩, 在中下侏罗统中均有分布, 其沉积环境基本都是浅一半深湖相(微咸水)。煤沼源岩岩性主要为煤、炭质泥岩及部分暗色泥岩, 主要分布在水西沟群, 七克台、三间房组分布很少, 其形成的沉积环境为氧化性强的成煤沼泽。湖沼源岩岩性为暗色泥岩、炭质泥岩及煤, 主要分布在水西沟群, 七克台、三间房组几乎没有, 该类型样品在某些方面具有一些湖相特征性质, 但另一些方面又表现出煤沼成因特征, 总体上该类型源岩样品的各项特征指标多处处在湖相与煤沼类型的过渡区域。

参考文献 (References)

- 1 吴涛, 赵文智. 吐哈盆地煤系油气田形成和分布 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997: 56-123 [Wu Tao, Zhao Wenzhi. Formation and Distribution of Coal-Bearing Oil and Gas Fields in Turpan-Hami Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997: 56-123]
- 2 王昌桂, 程克明, 徐永昌, 等. 吐哈盆地侏罗系煤成烃地球化学 [M]. 北京: 科学出版社, 1998: 45-79 [Wang Changgui, Cheng Knaing, Xu Yongchang, et al. Geochemistry of Jurassic Coal-Derived Hydrocarbons of Turpan-Hami Basin [M] Beijing: Science Press, 1998: 45-79]
- 3 程克明. 吐哈盆地油气生成 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1994: 5-84 [Cheng Keming. Hydrocarbon Generation of the Turpan-Hami Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1994: 5-84]
- 4 黄第藩, 卢双舫. 煤成油地球化学研究与展望 [J]. 地学前缘,

- 1996, 6(增刊): 183-194 [Huang Difan, Lu Shuangfang. Geochemical research and prospects of coal derived oils[J]. Earth Science Frontiers, 1996, 6(Supp.): 183-194]
- 5 戴卿林, 郝石生, 盛国英, 等. 吐哈盆地侏罗纪煤系源岩芳烃组成及生源和环境意义[J]. 沉积学报, 1997, 15(2): 198-201 [Dai Qinglin, Hao Shisheng, Sheng Yinguo, et al. Aromatic hydrocarbon compositions and significance of origin and sedimentary environments of Jurassic coal-measures source rocks from the Turpan-Hami Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15(2): 198-201]
- 6 徐永昌, 王志勇, 王晓锋, 等. 低熟气及我国典型低熟气田[J]. 中国科学: D 辑, 2008, 38(1): 87-93 [Xu Yongchang, Wang Zhiyong, Wang Xiaofeng, et al. Low-mature gases and typical low-mature gas fields in China[J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2008(2): 312-320]
- 7 胡见义, 赵文智, 钱凯, 等. 中国西北地区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]
- 8 李文厚, 邵磊, 魏红红, 等. 西北地区湖相浊流沉积[J]. 西北大学学报: 自然科学版, 2001, 31(1): 57-62 [Li Wenhou, Shao Lei, Wei Honghong, et al. Turbidity current deposits of lake facies in north-western China[J]. Journal of Northwest University: Natural Science Edition, 2001, 31(1): 57-62]
- 9 王作栋, 陶明信, 孟仟祥, 等. 吐哈盆地烃源岩研究进展与低演化油气的形成[J]. 天然气地球科学, 2008, 19(6): 754-760 [Wang Zuodong, Tao Mingxin, Meng Qianxiang, et al. Research progress of source rocks and formation of low evolution oil and gas in Turpan-Hami Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2008, 19(6): 754-760]
- 10 房嫒, 孟仟祥, 孙敏卓, 等. 吐哈盆地中下侏罗统源岩和油的生物标志物分布特征——饱和烃馏分[J]. 沉积学报, 2008, 26(5): 891-895 [Fang Xuan, Meng Qianxiang, Sun Minzhuo, et al. Characteristics of biomarkers in saturated hydrocarbon in coal of Carbonaceous mudstone and oils from the lower Jurassic coal measures in the Turpan Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2008, 26(5): 891-895]
- 11 贝丰. 石油有机地球化学[M]. 成都: 成都地质学院, 1990: 144-157 [Bei Feng. Petroleum Organic Geochemistry [M]. Chengdu: Chengdu Institute of Geology, 1990]
- 12 Didyk B M, Simoneit B R, Brassell S C, et al. Organic geochemical indicators of palaeoenvironmental conditions of sedimentation[J]. Nature, 1978, 272: 216-222
- 13 Jiang Z S, Fowler M G. Carotenoid-derived alkanes in oils from north-western China[J]. Organic Geochemistry, 1986, 10(4): 64-66
- 14 J Michael Moldowan, Wolfgang K Seifert, Emilio J Gallegos. Relationship between petroleum composition and depositional environment of petroleum source rocks[J]. AAPG Bulletin, 1985, 69: 1255-1268
- 15 Mann A L, Goodwin N S, Lowe S. Geochemistry characteristics of lacustrine source rocks: a combined palynological/molecular study of a Tertiary sequence from offshore China[C]//Proceedings of the Indonesian Petroleum Association, Sixteenth Association, Jakarta, Indonesia, 1987: 241-258
- 16 Volkman J K, Maxwell J R. Acyclic isoprenoids as biological markers [M]//Johns R B, ed. Biologic Markers in the Sedimentary Record. Elsevier, 1986: 1-24

Geochemical Classification and Significance of Jurassic Coal-Bearing Source Rocks in Taibei Depression, Turpan-Hami Basin

WANG Zhi-yong^{1 3} MENG Qian-xiang² WANG Zuo-dong² WANG Xiao-hua³
DU Hong-yu³ LU Jiang-ling⁴

(1. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039;

2. Key Laboratory of Petroleum Resources Research, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000;

3. Research Institute of Turpan-Hami Oil-field Company, Hami, Xinjiang, 839009;

4. Santanghu Oil Production Plant of Turpan-Hami Oil-field Company, Hami, Xinjiang 839009)

Abstract The sedimentary environments and the original inputs of source rocks close related with the nature of the organic matter, in different layers and different regions of Taibei Depression, Turpan-Hami Basin, due to the differences of the depositional environments and the original inputs of Jurassic coal-bearing source rocks, result in differences of the geochemical index. The analysis of geochemical indicators of source rocks showing that Pr/Ph and C₂₉ααα/20R relative content are important indicators of redox environment and the salinity of water. At the same time, we found that the main indicators of the type of source rocks are aromatic hydrocarbon and asphaltene contents in the group composition of soluble organic matter, the ratio of saturated hydrocarbon and aromatic hydrocarbon, also the ratio of nonhydrocarbon and asphaltene. Pr/Ph, gammacerane index are secondary indicators of classification of source rocks. The Jurassic coal-bearing source rocks can be classified into three categories by the above index in Taibei Depression.

Key words Turpan-Hami Basin; coal-bearing source rocks; biomarkers index; type of source rock