

文章编号: 1000-0550(2002)03-0456-06

吐哈盆地煤成烃研究新进展

程克明¹ 熊 英¹ J M Moldowan² J Greene Todd²

1(中国石油勘探开发研究院 北京 100083)

2(美国斯坦福大学地球科学系 美国)

摘 要 运用生物标记物及碳同位素等地化参数对吐鲁番—哈密盆地的原油及其源岩进行了油源对比,结果将该区原油分为三类:第一类原油,根据生标特征分析其具有显著的淡水环境、藻含量低、细菌影响大、 C_{29} 甾烷含量高、 C_{30} 4 α -甲基甾烷低、 C_{24} 四环烷和 C_{19} 三环烷含量高和碳同位素偏重($\delta^{13}C$ 为 $-25\text{‰} \sim -27\text{‰}$)的特点,初步对比结果,本区西山窑组的煤是该类原油的主要源岩;第二类原油,富含藻类物质(C_{27} 甾烷与 C_{30} 4 α -甲基甾烷含量较高),该类原油可能来自侏罗系的富藻湖相泥岩;第三类原油,全油碳同位素 $\delta^{13}C$ 为 $-30\text{‰} \sim -32\text{‰}$,这类原油的生标反映出其源岩相的特征为缺氧、咸水、中等含藻的湖相沉积(高含量的伽玛蜡烷和 β -胡萝卜烷, C_{35}/C_{34} 藿烷比值大等)。

关键词 煤成烃 色谱—质谱分析的多重反应监测 扁枝烷伽玛蜡烷

第一作者简介 程克明 男 1933 年出生 教授 有机地球化学

中图分类号 P593 TE122.1⁺1 文献标识码 A

二十世纪八十年代末期,吐哈盆地煤成油的发现在我国从理论和实践上打破了煤系地层不能生油的禁锢,也掀起了煤成油研究的热潮。我国学者对吐哈盆地煤系源岩沉积环境、有机岩石学特征、评价指标、地球化学特征和煤成油的形成机理、油气源对比等问题进行了广泛、深入的研究^[1-4]。在前人研究的基础上,为了进一步查明吐哈盆地中、下侏罗统的油气来源,中美合作对本区中、下侏罗统和上二叠统的主要原油和可能源岩进行了石油地球化学研究。除了常规的地球化学分析方法和参数以外,该项研究还采用了色谱—质谱的多重反应监测(MRM)新方法,应用了三环二萜类中的一些新参数,从而根据生物标记物特征进一步区分了源岩的沉积相环境(水体咸度、氧化—还原程度)和源岩的主要生烃母质(藻类或高等植物),进而,从有机地球化学角度将原油与其相应的源岩进行了更为精细的对比。

1 样品采集及实验分析

共采集煤、灰色泥岩和碳质泥岩烃源岩样品 14 个(表 1),主要分布于台北凹陷中侏罗统西山窑组和台南凹陷二叠系,个别分布于中侏罗统七克台组和下侏罗统八道湾组。共采集原油样品 28 个(表 1),主要分布于台北凹陷中侏罗统三间房组和台南凹陷、哈密凹陷、托克逊凹陷三叠系,个别分布于台北凹陷西山窑组和白垩系。在美国斯坦福大学地球科学系地球化学实验室对烃源岩样品进行了岩石热解、镜质体反射率测

定(表 2)、显微组分分析,对烃源岩氯仿沥青“A”和原油样品进行了色谱、同位素质谱、色谱—质谱、色谱—质谱的多重反应监测(MRM)等生物标记物分析。

2 应用生物标记物的异构化参数确定源岩及原油的热成熟度

当使用生标参数进行油源对比时,首先要考虑有机质的成熟度,既然烃类是源岩中干酪根的热解产物,因此热成熟度较高的样品才有可能为源岩。生标异构化参数为检测源岩的最大成熟度提供了一种有效的方法,本文仅将 C_{31} -17 α 藿烷的 $22S/(22S+22R)$ 值超过 0.5 的源岩作为研究对象。图 1 是 C_{29} 甾烷的 $20S/(20S+20R)$ 与 $\alpha\alpha\alpha/(\alpha\alpha\alpha+\beta\beta\beta)$ 的相关图,图中反映出两组不同成熟度的原油(1)低成熟度原油,但也属于油窗内。这些原油来自玉东 1 井(96 吐哈-10)、艾参 1 井(96 艾 1-2)、托参 1 井(96 吐哈-9)、玉东 2 井(97 吐哈-102)、胜 26 井(97 吐哈-103)和玉 1 井(97 吐哈-104)等,它们主要是不源于上二叠统的湖相原油(2)较高成熟度原油,但未过成熟,这些原油主要产自台北凹陷中、下侏罗统。上述两组原油之间成熟度差别甚小,可能与两个源岩灶不同的埋藏史有关。

3 吐哈盆地中、下侏罗统和上二叠统各层系泥岩、煤和原油之间的亲缘关系

本文根据源岩沉积相的生物标记特征、有机质的

表1 吐哈盆地中、下侏罗统及上二叠统油源对比样品基本地质参数表

Table 1 Basic geological parameters of samples for the correlation of the oil and source rock from Lower- to Middle Jurassic in the Turpan-Hami basin

样号	取样地或井号	取样深度/m	层位	岩性	备注
96艾1-6	艾参-1P	3296.92	P _{2t}	深灰色泥岩	
96艾1-7	艾参-1	3297.22	P _{2t}	深灰色泥岩	
96艾1-8	艾参-1	3297.82	P _{2t}	深灰色泥岩	
96东深1-4	东深-1	3875.5	J _{2x}	煤	
96勒3-2	勒-3	2660	J _{2x}	碳质泥岩	
96勒3-4	勒-3	3053	J _{2x}	黑色泥岩	
96勒3-6	勒-3	3472	J _{1b}	黑色泥岩	
96勒4-3	勒-4	2749	J _{2x}	炭质泥岩	
96陵深1-2	陵深-1	3937.87	J _{2x}	煤	
96三-31	三道岭	露天煤矿	J _{2x}	深灰色泥岩	
96三-8	三道岭	露天煤矿	J _{2x}	煤	
96台参2-4	台参2	3865.5	J _{2q}	深灰色泥岩	
96托2-2	托参-2	3424	J _{1s} ~J _{1b}	深灰色泥岩	
96赵-11	赵壁山	地面	P _{1y3}	深灰色泥岩	
96吐哈-01	丘东-3	3382~3434	J _{2x}	原油	
96吐哈-02	温西-1	2926.6~2938	J _{2s}	原油	
96吐哈-03	陵-2	2694.2~2726.8	J _{2s}	原油	
96吐哈-04	陵-2	1525~1540	K ₁	原油	
96吐哈-05	善-13-15	3086~3100	J _{2s}	原油	δ ¹³ C-26.68‰
96吐哈-06	果-1	3576~3585	J _{2s}	原油	δ ¹³ C-26.25‰
96吐哈-07	葡北-1	3473.5~3476.5	J _{2s}	原油	δ ¹³ C-25.85‰
96吐哈-08	神-1	2514~2525	J _{2s}	原油	δ ¹³ C-26.35‰
96吐哈-09	托参-1	2428~2435	T _{2-3k}	原油	δ ¹³ C-31.85‰
96吐哈-10	玉东-1	2700~2721	T _{2-3k}	原油	δ ¹³ C-30.47‰
96吐哈-11	七克台(浅井)	40	J _{2q}	原油	δ ¹³ C-26.44‰
96艾-1-2	艾参-1	2165.2	T _{3hs}	油砂	
97吐哈-100	哈-2	2755~2778	T _{3h}	原油	
97吐哈-101	托参-1	2428~2435	T _{2-3k}	原油	δ ¹³ C-31.85‰
97吐哈-102	玉东-2	2826~2846	T _{2-3k}	原油	δ ¹³ C-30.54‰
97吐哈-103	胜-26		J _{2s}	原油	δ ¹³ C-27.83‰
97吐哈-104	玉-1	3358~3378	T _{2-3k}	原油	
98-01	葡北-1	3467~3473	J _{2s}	原油	
98-02	柯-7	1841~1848	J _{2s}	原油	
98-03	陵-3	2411~2416	J _{2s}	原油	
98-04	台参-2	4746~4774	J _{2s}	原油	
98-05	勒-4	2692~2937	J _{2s}	原油	
98-06	勒-3	3537~3540	J _{2s}	原油	
98-07	善-6-17	2952~3063	J _{2s}	原油	
98-08	米-3	2748~2758	J _{2s}	原油	
98-09	温西-3	2314~2323	J _{2s}	原油	
98-10	红台-1	1375~1400	J _{2s}	原油	

碳同位素组成等综合地球化学参数来进一步阐述泥岩、煤和不同层系原油之间的对应关系。

3.1 吐哈盆地中、下侏罗统和上二叠统的原油分类

图2是本区原油中伽玛蜡烷和C₂₇规则甾烷(%)关系图,由图可见,16个原油可明显分为三类。

第一类原油,代表油样是丘东3井西山窑组原油(96-吐哈-01)、温西1井三间房组原油(96-吐哈-02)、陵2井三间房组原油(96-吐哈-03)、善13-15井三间房

组原油(96-吐哈-05)、果1井三间房组原油(96-吐哈-06)、葡北1井三间房组原油(96-吐哈-07)和七克台浅井原油(96-吐哈-11)等这类原油富含重碳同位素,δ¹³C值为-25‰~-27‰,伽玛蜡烷含量极低(<0.025),其源岩特征为淡水、低藻和弱还原的煤系沉积(图2)。

第二类原油,代表样品是连2井白垩系原油(96-吐哈-04)、神1井三间房组原油(96-吐哈-08)、胜26井

表 2 吐哈盆地源岩地球化学参数表

Table 2 Geochemical parameters of source rocks in the Turpan-Hami basin

样品号	Toc /%	饱和烃 /%	T_{max} /°C	S_1 /(mg/g)	S_2 /(mg/g)	S_3 /(mg/g)	Ip 产率指数	S_2/S_3	HI / (mg/g)	OI / (mg/g)	R_o /%
96 艾 1-6	8.16	0.08	435	0.61	40.6	0.32	0.01	126.9	498	4	0.49
96 艾 1-7	6.87	0.05	435	0.34	33.3	0.38	0.01	87.6	485	6	0.50
96 艾 1-8	3.64	0.06	436	0.14	13.2	0.02	0.01	660.0	363	1	
96 东深 1-4	45.6	0.20	442	14.22	461.29	5.72	0.03	80.6	1012	13	0.76
96 勒 3-2	1.29	0.25	447	0.06	0.18	0.39	0.25	0.5	14	30	
96 勒 3-4	28.79	0.24	436	2.56	59.08	2.4	0.04	24.3	205	8	0.65
96 勒 3-6	12.12	0.09	436	1.07	20.11	0.7	0.05	27.2	166	6	0.66
96 勒 4-3	22.86	0.62	429	2.07	49.43	2.59	0.04	19.1	216	11	0.58
96 陵深 1-2	67.8	0.24	439	13.75	186.96	3.93	0.07	47.6	276	6	0.74
96 三-31	1.94	0.01	441	0.06	1.2	0.3	0.05	4.0	62	15	0.57
96 三-8	63.76	0.26	428	1.64	160.3	3.28	0.01	48.9	251	5	0.51
96 台参 2-4	1.02	0.01	436	0.10	1.2	0.57	0.08	2.11	118	56	
96 赵-11	3.16	0.01	510	0.05	0.09	0.91	0.36	0.10	3	29	

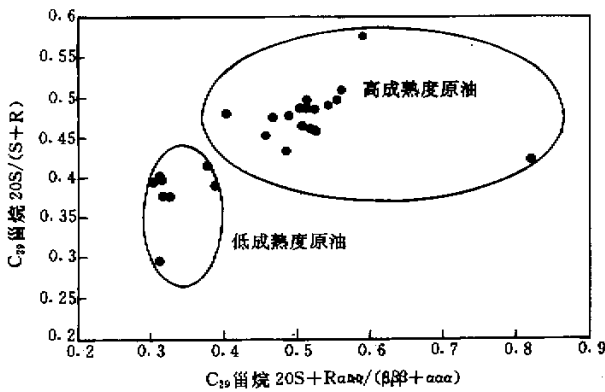


图 1 C_{29} 甾烷 20S/20S+20R 与 $\alpha\alpha/(\alpha\alpha + \beta\beta)$ 关系
Fig. 1 Relationship between $C_{29}20S/20S+20R$ and $\alpha\alpha/(\alpha\alpha + \beta\beta)$

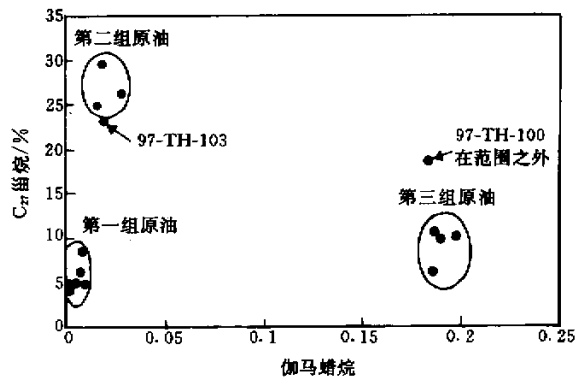


图 2 吐哈盆地中、下侏罗统及上二叠统原油中伽马蜡烷与 C_{27} 甾烷关系图

Fig. 2 Relationship between gammacerane and C_{27} sterane of the crude oil from Middle- to Lower Jurassic Series and Upper Permian Series in the Turpan-Hami basin

三间房组原油(96-吐哈-103)、台参 2 井三间房组原油(96-吐哈-04 等)。这类原油的全油碳同位素与第一类原油相似,生标特征也是低含伽玛蜡烷, C_{27} 规则甾烷含量较高(一般含量 >25%)这类原油可能为中、下侏罗统富藻泥岩所生(图 2)。

第三类原油,代表样品艾参 1 井三叠系原油(96-艾 1-2)、托参 1 井三叠系原油(96-吐哈-9)、玉东 1 井三叠系原油(97-吐哈-104)等。这类原油较富含轻碳同位素,全油 $\delta^{13}C$ 值为 $-31\text{‰} \sim -32\text{‰}$,生标特征富含伽玛蜡烷(一般 >0.15)这类原油显示来自较咸环境的湖相泥岩(图 2)。

3.2 三环烷与 C_{24} 四环烷之间的关系

图 3 是吐哈盆地中、下侏罗统及上二叠统和其相应源岩中三环烷($C_{19} + C_{23}$)与 C_{24} 四环烷(C_{24} 四环烷/ C_{24} 四环烷 + C_{23} 三环烷)的分布关系。该图可观察到一个十分有意义的问题,三环烷和四环烷的含量变化明显地将本区侏罗系和二叠系的原油分成两类,前述中、下侏罗统的两类原油均以高含三环烷和 C_{24} 四环烷为特征,而本区西山窑组的三个煤样也富含三环烷和 C_{24} 四环烷,且与中、下侏罗统原油表现出十分明显的亲缘关系。这说明本区中、下侏罗统的两类原油具有以高等植物为主的母源先质,又与煤的成生具有联系。图 3 中另一类原油是具有低含三环烷和 C_{24} 四环烷为特征的源于上二叠统的湖相原油。十分有趣的是,三道岭煤矿西山窑组煤层中的一层富藻煤(96-三-8)和勒 3 井西山窑组中富藻碳质泥岩(96-勒-3-4)两具样品表现出低含三环烷和低含 C_{24} 四环烷的特点,且其介于中、下侏罗统和上二叠统原油之间(图 3)。

3.3 原油和源岩的氧化—还原程度

本文利用 C_{35}/C_{34} 藿烷比值来表征相应源岩沉积环境的氧化—还原程度。图 4 是吐哈盆地中、下侏罗

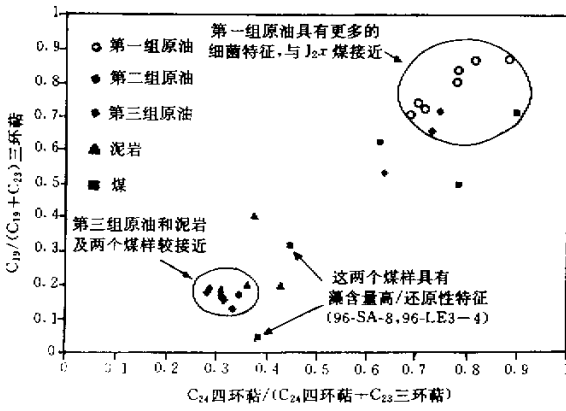


图 3 $C_{19}/(C_{19} + C_{23})$ 三环萜与 C_{24} 四环萜/ $(C_{24}$ 四环萜 + C_{23} 三环萜)含量变化图

Fig. 3 Content variation of $C_{19}/(C_{19} + C_{23})$ tricyclic terpanes and C_{24} tetracycane/ $(C_{24}$ tetracycane + C_{23} tricyclic terpane)

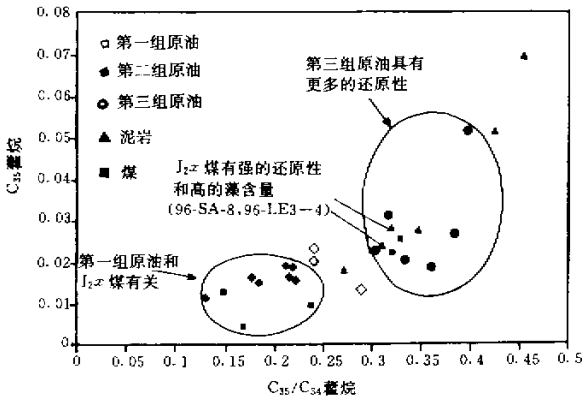


图 4 吐哈盆地原油与相应源岩的相对还原性

Fig. 4 Relative deoxidization of crude oil and its associated source rock from the Tupan-Hami basin

统和上二叠统原油及相应源岩中 C_{35} 藿烷与 C_{35}/C_{34} 藿烷比值的 关系图。图中明显地将中、下侏罗统和上二叠统的原油及相应的源岩分成两类,中、下侏罗统的第一类原油和其相应煤的 C_{35}/C_{34} 藿烷比值一般 < 0.25 ,表现出较弱的还原性,而源于上二叠统湖相泥岩的原油及相应的源岩 C_{35}/C_{34} 藿烷比值一般在 $0.3 \sim 0.45$ 之间,表现出其源岩相具有较强的沉积还原环境。具富含藻的煤(96-三-8)和西山窑组富藻的炭质泥岩(96-勒3-4)的还原性则介于中、下侏罗统和上二叠统的原油和相应的源岩之间(图 4)。

3.4 原油及相应源岩的 C_{29} 甾烷与 $C_{30} 4\alpha/3\beta$ -甲基甾烷的分布特征

在中生代以后,原油及其相应源岩中 C_{29} 甾烷相对含量之高低可以预示其母源先质所含高等植物的丰富程度,而 $C_{30} 4\alpha/3\beta$ -甲基甾烷的丰度则与母源先质的低等水生生物组成密切相关。由图 5 可见,本区中、下侏罗统以淡水、低藻、富含高等植物源岩相的第一类原油,其 C_{29} 甾烷含量一般 $> 70\%$,最高达 80% 以上,并以此为特点与上二叠统原油相区别。值得注意的是,在第一类原油和第三类原油之间存在中、下侏罗统第一类和第二类原油的混合带,代表性的原油是柯 7 井三间房组原油(98-吐哈-02)、勒 4 井三间房组原油(98-吐哈-05)、善 6-17 井三间房组原油(98-吐哈-07)、温西 3 井三间房组原油(98-吐哈-09)和红台 1 井三间房组原油(98-吐哈-10)等。这类混源油的最大特点是表征高等植物母源先质的 C_{29} 甾烷和表征低等水生生物母源先质的 $C_{30} 4\alpha/3\beta$ -甲基甾烷含量均介于第一类原油和第三类原油之间。该图中还反映出一个十分重要的问题,就是以上二叠统湖相泥岩为源岩的第三类原油进一步分为两亚类,一亚类是有机母源先质中藻类输入中等,高等植物输入量较低;另一亚类是富含藻类的原油,如托参 1 井三叠系原油(97-吐哈-101)。另外,在前面已谈及的中、下侏罗统中富含藻类输入的第二类原油也与二叠系湖相原油组成一个亲缘圈(图 5)。

3.5 吐哈盆地主要层系的原油及相应源岩中 C_{24} 四环萜与扁枝烷的变化规律

扁枝烷及降异海松烷均属三环二萜类化合物,它们在吐哈盆地不同时代地层中的分布差异很大,如上二叠统湖相泥岩及相应原油中较富含扁枝烷,而中、下侏罗统原油及相应源岩中扁枝烷却十分贫乏。

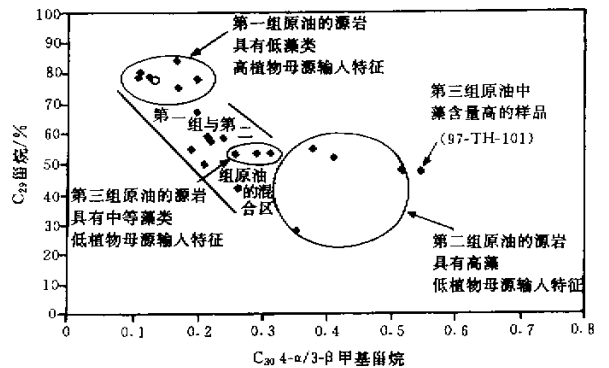
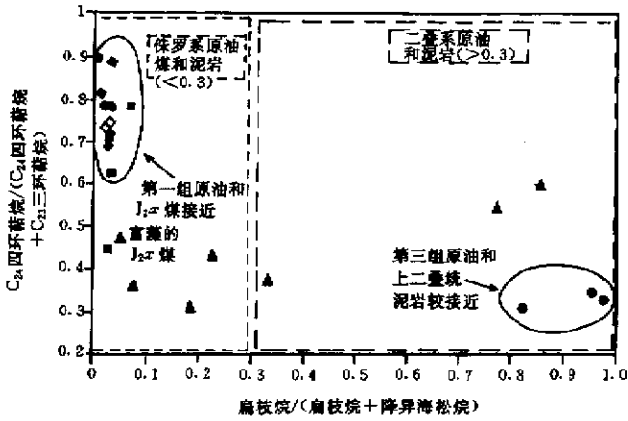


图 5 吐哈盆地所有原油的 C_{29} 甾烷与 $C_{30} 4\alpha/3\beta$ -甲基甾烷分布图

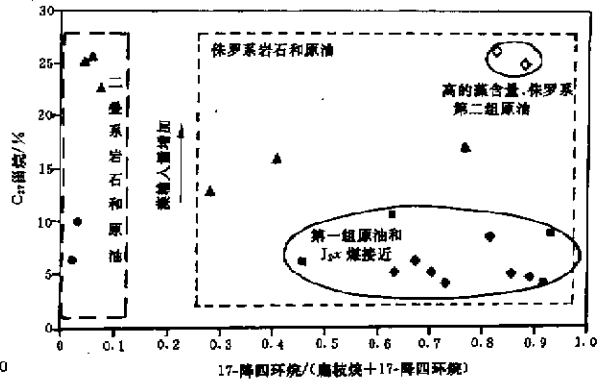
Fig. 5 Distribution of the C_{29} sterane and $C_{30} 4\alpha/3\beta$ methylsterane of all the crude oil from the Turpan-Hami basin



◆第一组原油◇第二组原油●第三组原油▲泥岩■煤

图 6 吐哈盆地各主要层系原油及其相应源岩中 C₂₄四环烷与扁枝烷含量变化图

Fig.6 Variation of C₂₄ tetracyclane and phyllocadane of the crude oil and its associated source rock of the main beds in the Turpan-Hami basin



◆第一组原油◇第二组原油●第三组原油▲泥岩■煤

图 7 吐哈盆地各主要层系原油及相应源岩中 C₂₇甾烷 (%)与 17-降四环烷(扁枝烷 + 17-降四环烷)的变化关系图

Fig.7 Variation of C₂₇ sterane and 17-nor-tetracyclane (phyllocadane + 17-nor-tetracyclane) of the crude oil and its associated source rock of the main beds in the Turpan-Hami basin

表 3 吐哈盆地各主要层系油—岩对比表

Table 3 Correlation of crude oil and source rock of the main beds in the Turpan-Hami basin

油组	生标特征	源岩相特征	相应源岩
第一类	$\delta^{13}C$ 为 $-25\text{‰} \sim -27\text{‰}$ C_{29} 甾烷 (%) 含量高 C_{27} 甾烷低 C_{30} 含量低 $C_{30}4\alpha$ -甲基甾烷低 降异海松烷和 17-降四环烷含量高 扁枝烷含量低, 高 C_{19} 三环烷和 C_{24} 四环烷, C_{35}/C_{34} 藜烷比值小	淡水环境,以高等植物输入为主,藻类输入较少,亚氧化条件,受细菌影响	中下侏罗统煤
第二类	$\delta^{13}C$ 为 $-25\text{‰} \sim -28\text{‰}$ 降异海松烷和 17-降四环烷含量高 扁枝烷含量低 $C_{30}4\alpha$ -甲基甾烷高 C_{35}/C_{34} 藜烷中等,伽玛蜡烷含量低	藻类输入为主,亚氧化、淡水环境	中、下侏罗统泥岩和/或富含藻的煤
第三类	$\delta^{13}C$ 为 $-30\text{‰} \sim -32\text{‰}$ 扁枝烷含量高,而降异海松烷和 17-降四环烷含量低,伽玛蜡烷和 β 胡萝卜素高 C_{35}/C_{34} 藜烷比值大 C_{19} 三环烷和 C_{24} 四环烷含量均较低	咸水,高等植物输入少,藻类输入中等,非氧化环境	上二叠统湖相泥岩

图 6 是吐哈盆地各层系原油及相应源岩中 C₂₄四环烷和扁枝烷的含量变化关系,由图可见,凡本区中、下侏罗统的原油及其相应源岩均表现出较富含 C₂₄四环烷而贫扁枝烷(扁枝烷/(扁枝烷 + 降异海松烷)含量 < 0.3),而上二叠统湖相泥岩及其相应原油均富含扁

枝烷(扁枝烷/(扁枝烷 + 降异海松烷)含量 > 0.8)。值得提出的是,在中、下侏罗统的两类原油中(第一类原油和第二类原油)均较富含 C₂₄四环烷,且与本区西山窑组的煤组成一个亲缘圈,表明其间存在一定的成生关系,同时也说明 C₂₄四环烷是判识煤成液态烃的一

个有效指标。而本区中、下侏罗统的泥岩中并不富含 C_{24} 四环烷(图6)。

3.6 吐哈盆地上二叠统湖相泥岩及其相应原油中 C_{27} 甾烷含量变化

图7是吐哈盆地各主要层系原油及相应源岩中 C_{27} 甾烷(%)与17-降四环烷(扁枝烷+17-降四环烷)的关系图,由图可见,本区中、下侏罗统原油及其相应源岩仍以富含17-降四环烷为特征,并以此与上二叠统的湖相泥岩及其相应原油相区别。值得注意的是,虽然上二叠统湖相泥岩及其相应原油均以贫17-降四环烷和较富 C_{27} 甾烷为特征,但在上二叠统的源岩和相应的原油中还有有一定的区别,上二叠统湖相泥岩中更富含 C_{27} 甾烷,而相应的原油中相对含 C_{27} 甾烷量较少,引起这一现象的原因尚需进一步深入研究。

综上所述,本文根据吐哈盆地各主要层系的原油及可能源岩的生物标记物分布特征及碳同位素组成,并结合其源岩沉积相分析,笔者将吐哈盆地主要层系原油分为三类,即第一类原油为中、下侏罗统淡水环境下的煤成油,第二类原油为中、下侏罗统富藻泥岩所生

成的原油,第三类原油为上二叠统湖相泥岩所生成的原油。各类原油的生标特征、源岩相特征详见表3。

参考文献(References)

- 1 黄第藩,张大江,李晋超.中国吐鲁番盆地侏罗系煤系中烃类的生成[A].第四届全国有机地球化学会议论文集[C].武汉:中国地质大学出版社,1990.1~17 [Huan Difan,Zhang Dajiang,Li Jinchao, et al. Generation of hydrocarbon from Jurassic coalbearing sequences in Tulu-fan basin of China[A]. Proceedings of the fourth national symposium on organic geochemistry of China[C]. Wuhan:China University of Geosciences Publishing House,1990.1~7]
- 2 程克明.吐哈盆地油气生成[M].北京:石油工业出版社,1994 [Cheng Keming. Hydrocarbon generation of the Turpan-Humi basin [M]. Beijing:Petroleum Industry Publishing House,1994]
- 3 王昌桂,程克明,徐永昌,赵长毅.吐哈盆地侏罗系煤成烃地球化学[M].北京:科学出版社,1998 [Wang Changgui,Cheng Keming,Xu Yongchang,Zhao Changyi. Geochemistry of Jurassic coal-derived hydrocarbons of Turp-Hum[M]. Beijing:Science Press,1998]
- 4 张鹏飞,金奎励,吴涛,王昌桂.吐哈盆地含煤沉积与煤成油[M].北京:煤炭工业出版社,1997. [Zhang Pengfei Jin Kuili,Wu Tao,Wang Changgui. Coalbearing sedimentary and coal-derived oil of the Turpan-Humi basin[M]. Beijing:Coal Industry Publishing House,1997]

New Advances in the Research of Coal-derived Hydrocarbon from the Turpan-Hami Basin

CHENG Ke-ming¹ XIONG Ying¹ J M Moldowan² J Greene Todd²

1 (Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Petrochina, Beijing 100083)

2 (Geosciences Department of Stanford University, USA)

Abstract The correlation of crude oil and its source rocks in the Turpan-Hami basin is made based on the geochemical parameters, such as biomarkers and carbon isotopes. The result shows that the crude oil from the Turpan-Hami basin can be classified into three. According to the analysis of biomarkers, the first type of oil referring an obvious fresh water environment, lower content of algae, great influence of bacteria, high content of C_{29} sterane, low content of $C_{30}4\alpha$ -methylsterane, high content of C_{24} tetracyclic and C_{19} tricyclic terpanes, and heavier carbon isotopes ($\delta^{13}C$ ranges from -25% to -27%). According to the correlation of crude oil and source rocks, the coal of Xishanyao Formation is the main source rock of the oil. The second type of oil is characterized by high content of algal substance (high content of C_{27} and $C_{30}4\alpha$ -methylsterane), and this kind of oil is possibly from the lacustrine mudstone with abundant algae. The carbon isotope of the third type of oil ranges from -30% to -32% , and its biomarkers reflect that the source rock is a kind of anoxic and salty lacustrine sediments (It has high contents of gammacerane and β -phylocladane and high ratio of C_{35}/C_{34} hopanes).

Key words coal derived hydrocarbon, multi-response monitoring of DS-MS analysis, phylocladane, gammacerane