

文章编号: 1000-0550(2009) 04-0740-12

# 新疆西北部和什托洛盖盆地侏罗系低熟煤系烃源岩地球化学特征及生烃条件分析<sup>①</sup>

秦黎明<sup>1</sup> 张枝焕<sup>1</sup> 孟闲龙<sup>2</sup> 刘洪军<sup>1,3</sup> 李文浩<sup>1</sup>

(1 中国石油大学油气资源与探测国家重点实验室 北京 102249)

2 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院西部分院 乌鲁木齐 830011

3 西安石油大学油气资源学院 西安 710066)

**摘要** 新疆西北部和什托洛盖盆地勘探程度较低,侏罗系煤系烃源岩较为发育,选取了和什托洛盖盆地和布克河凹陷与白杨河凹陷的四条侏罗系野外地质剖面,对侏罗系烃源岩进行了系统的地球化学实验室分析测试,确定了该盆地生烃潜力。研究表明,侏罗系八道湾组、三工河组以及西山窑组煤系烃源岩有机碳含量、氯仿沥青“A”、总烃以及生烃潜力值均达到中等—好的烃源岩有机质丰度标准。煤系烃源岩有机质显微组分镜质体较为富集,壳质组相对含量达到 20%,为孢子体、角质体、树脂体以及木栓质体,泥岩富集部分藻类体,荧光特征较强,惰质体不发育,母质类型为 II<sub>2</sub>型,部分为 III型,煤为 III型,煤中氯仿沥青“A”与族组分同位素偏重,暗色泥岩略低,煤系烃源岩族组分非烃的同位素值均明显偏轻,芳烃同位素略重,受控于煤系烃源岩中多环芳烃较为发育,更为富集  $\delta^{13}\text{C}$ ,非烃组分 N、S、O 化合物富集  $\delta^{12}\text{C}$ 。实测  $R_o$  值较低,烃源岩成熟度偏低,但盆地模拟结果表明研究区凹陷中心区源岩已进入生烃门限。研究区低熟煤系烃源岩分子标志化合物也存在其特殊性,正构烷烃以高碳数的分布为主,煤的 Pr/Ph 值明显高于泥岩,无  $\beta$ -胡萝卜素、孕甾烷与升孕甾烷分布、伽玛蜡烷指数低,表明侏罗系煤以湖沼相的氧化环境为主,而西山窑组泥岩主要以弱氧化环境沉积特征为主,另外萜烷系列化合物几乎无倍半萜、二环倍半萜以及三环萜烷的分布,藿烷系列存在  $\beta\beta$  生物构型分布,为热演化程度较低的标志,分子标志化合物参数的相关性表明,弱氧化的湖沼相的沉积水体有利于此类化合物的分布,煤抽提物中规则甾烷  $\text{C}_{27}$ 、 $\text{C}_{28}$ 、 $\text{C}_{29}$  呈反“L”型分布,主要以高等植物的陆源输入为主,而侏罗系泥岩存在“V”型分布,有低等水生藻类的贡献,与富氢组分中存在藻类体有较好的匹配关系,具有更有利的生烃条件。

**关键词** 生烃潜力 显微组分 同位素 生物标志化合物 侏罗系烃源岩 和什托洛盖盆地

**第一作者简介** 秦黎明 男 1984 年出生 博士研究生 地球化学 E-mail qinling2006@yahoo.com.cn

**中图分类号** P593 **文献标识码** A

## 0 引论

随着煤成油的观点的形成和煤成烃的理论体系的建立<sup>[1-3]</sup>,煤以及在湖沼相环境中形成的暗色泥岩或碳质泥岩已成为一类重要的烃源岩而受到人们的关注。目前已经在中国西北的吐哈盆地、三塘湖盆地以及准噶尔盆地的彩南油田发现了工业性的煤成油,并且地球化学证据较为充分<sup>[4-6]</sup>。但是对于煤成油的观点仍存在许多争议,尤以煤成油的生排烃机理、初次运移的模式以及油源对比的问题等等<sup>[7]</sup>。由于煤系烃源岩的有机质显微组分的存在差异,煤中富氢部分显微组分在  $R_o$  值 0.4% 左右进入生烃阶段,比如木栓质体、树脂体、基质镜质体以及沥青质体<sup>[8]</sup>,

并且低阶煤抽提物分子生物标志化合物存在其特有的地球化学结构,对于研究烃源岩有机质母质输入、古环境重构以及对于特殊生物标志化合物的指示等方面都十分有意义。和什托洛盖盆地隶属于准噶尔地区的外围盆地,前人的研究工作匮乏,勘探程度较低,新疆油田公司已钻和参 1 井、和参 2 井以及和 3 井三口探井,但是仅在侏罗系砂岩获油气显示,未获工业性油气流,鉴于此,此研究通过对和什托洛盖盆地实地踏勘,选取分布于和什托洛盖盆地东部和布克河凹陷与西部的白杨河凹陷侏罗系地层的四条剖面,对侏罗系烃源岩的八道湾组、三工河组以及西山窑组进行系统采样与分析,讨论了低成熟煤系烃源岩的有机岩石学特征以及分子生物标志化合物分布规律。

<sup>①</sup>国家重点基础研究发展计划(973)课题(编号:2006CB202303)资助。

收稿日期:2008-02-22 收修改稿日期:2008-12-01

### 1 地质背景

和什托洛盖盆地位于准噶尔盆地的西北缘的外围区域,是西准噶尔海西褶皱带内一个小型山间盆地,呈北东东—南西西向狭长的纺锤形展布(图 1),面积约 5 610 km<sup>2</sup>。和什托洛盖盆地是在晚海西期准噶尔槽区闭合回返而形成的复向斜基础上发育的,自中生代以来研究区一直为相对沉降的拗陷区,印支期为盆地裂陷形成期,早燕山期为盆地的拗陷沉降期,沉积很厚的中下侏罗统,中燕山期为褶皱断裂发育期,盆地又一次受到强烈挤压,侏罗系发生强烈变形;白垩系及其以上的第三系杂色层零星分布,垂直的隆升运动仅形成了一些宽缓的褶皱,盆地基本上最终定型。依据物探资料及区域构造演化特征,盆地可划分为北部断褶带、中央拗陷带、南部斜坡区三个一级构造单元。盆地以石炭系为基底,缺失二叠系和中下三叠统,上三叠统沉积很薄,约 50~ 100 m,侏罗系在盆地分布最广,沉积厚度最大,分布八道湾组、三工河组、西山窑组以及头屯河组,其中八道湾组(J<sub>1b</sub>)为湖沼及河流相,与下伏上三叠统白砾山组呈平行不整合接触,岩性为灰绿色泥岩、泥质砂岩、碳质泥岩及煤,具底砾岩,厚度 400~ 500 m;三工河组(J<sub>1s</sub>)属浅湖及湖湾相,反映了水进、高位期沉积,岩性为黄褐色、黑

褐色泥岩夹粉砂岩薄层,厚度 400~ 500 m;西山窑组(J<sub>2x</sub>)属湖沼及河流泛滥平原相,具底砾岩,岩性为灰色泥岩、粉砂质泥岩、砂岩夹碳质泥岩及煤层,厚度 600~ 900 m;头屯河组(J<sub>2t</sub>)属河流相,气候已由潮湿温热转为半干旱,沉积岩性为杂色砂岩、泥岩夹砾岩与炭质泥岩,厚度 200~ 300 m,与上覆白垩系呈不整合接触。

### 2 样品分析与实验条件

侏罗系烃源岩样品分布在八道湾组、三工河组以及西山窑组三个层位,采样点位于和什托洛盖盆地的白杨河凹陷与和布克河凹陷内的四条剖面(图 2)。取泥岩约 200~ 300 g 在不超过 50℃的条件下粉碎至粒径为 0.18 mm(60~ 80 目),常规的有机碳与热解分析后,用经抽提的滤纸包裹后用索氏脂肪抽提器提取 24 小时,依据液—固吸附平衡的原理,称取 0.02~ 0.05 g 氯仿沥青“A”进行柱色谱分离,色谱柱固定相为 3 g 硅胶与 2 g 氧化铝,先经氯仿过滤出沥青质,再利用柱色谱柱依次通过 30~ 60℃石油醚、2:1 的二氯甲烷:正己烷以及氯仿过滤出饱和烃、芳烃以及非烃,对饱和烃与芳烃分别进行 GC—MS 分析,另取部分泥岩样品做源岩定量统计与镜质体反射率以及干酪根同位素测定。

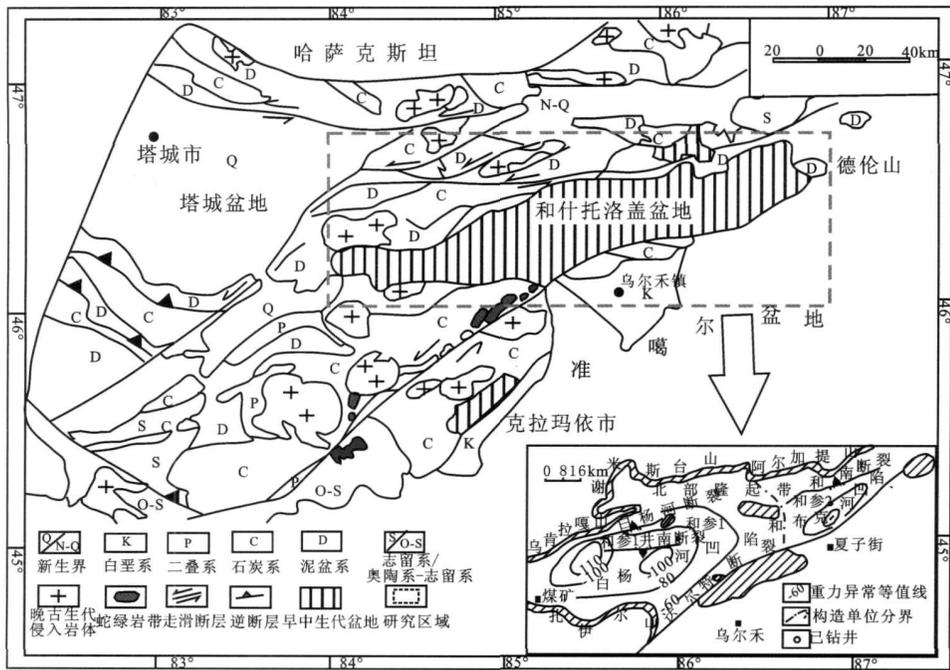


图 1 准噶尔地区西北部和什托洛盖盆地构造位置以及构造单元划分图<sup>[9]</sup>

Fig 1 The structural location units of Shituo Luogai basin in the western Junggar area

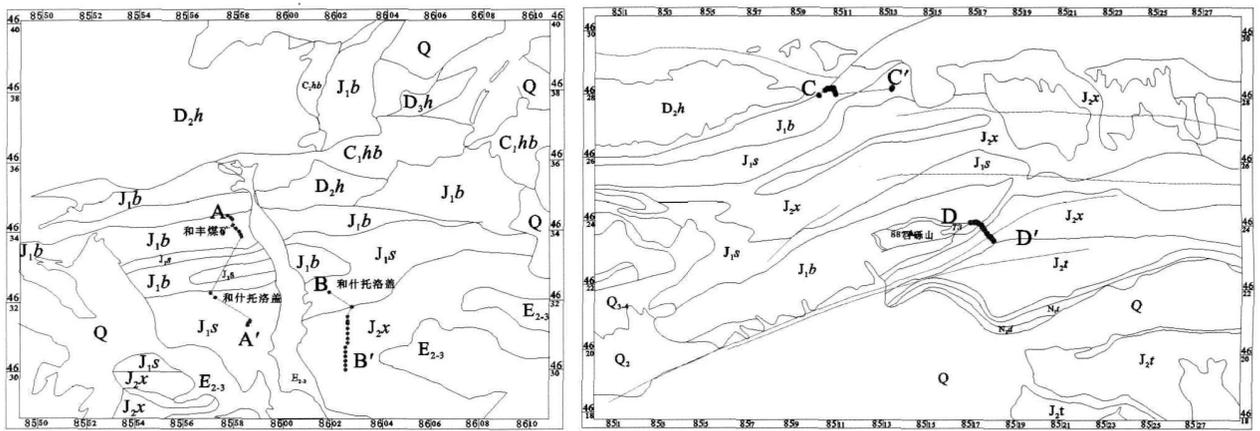


图 2 和什托洛盖盆地野外四条剖面平面分布图

Fig. 2 The four sections and planar graphs of the Heshentuloagai basin

饱和烃分析检测采用 Finnigan 公司 Thermo—Finnigan Trace—DSQ 气相色谱质谱联用仪, 色谱—质谱分析条件: 载气为 99.9999% 氦气, 进样口温度为 300°C, 传输线温度为 300°C, 色谱柱为 HP—5MS 弹性石英毛细柱 (60 m × 0.25 mm × 0.25 μm), 升温程序为初温 50°C (恒温 1 min), 开始以 20°C/min 升温至 120°C, 以 4°C/min 升温至 250°C, 再以 3°C/min 升温至 310°C, 保持 30 min, 载气流速为 1 mL/min, 采用 EI (70 eV) 电子轰击方式, 灯丝电流为 100 μA, 倍增器电压为 1200 eV, 全扫描。烃源岩定量分析测试条件为: 测量仪器设备采用荧光显微镜 LABORLUX 12 POL 显微镜光度计 (MPV—3), 测量条件为油浸 50 倍物镜, 总放大倍数为 800 倍, 检测室温度为 23 ± 2°C。

### 3 结果与讨论

#### 3.1 和什托洛盖盆地烃源岩分布、生烃潜力以及演化特征

和什托洛盖盆地侏罗系煤系烃源岩分布在八道湾组与西山窑组, 三工河组分布厚度薄, 其中八道湾组与西山窑组广泛发育煤层, 且煤层厚度大、分布稳定。从和参 1 井、和参 2 井以及和 3 井录井数据以及野外露头地层的观察统计表明, 八道湾组主要为湖沼相沉积, 西部厚度小且泥岩发育, 东部厚度大、煤层发育; 三工河组主要为局部湖相沉积, 厚度小, 发育泥岩而缺乏煤层分布; 西山窑组为大面积稳定的泛滥平原沼泽环境, 广泛发育泥岩和煤。和什托洛盖盆地中下侏罗统暗色泥岩较为发育, 和 3 井泥岩累计厚度为 1 401 m, 累计煤层厚度达 134 m, 白杨河西凹陷最深的部位泥岩厚度可能大于 1 500 m。

侏罗系不同层位的煤与泥岩的部分有机地球化学参数见表 1, 从表中看出, 八道湾组泥岩有机碳含量、氯仿沥青“A”、生烃潜力以及总烃含量值均较高, 达到较好的烃源岩的标准; 三工河组泥岩样品有机碳含量与生烃潜力值略低, 氯仿沥青“A”与总烃含量中等, 总体认为中等好—较差的烃源岩; 西山窑组泥岩的有机碳含量与生烃潜力值均较高, 但是氯仿沥青“A”与总烃的含量略低, 其成熟度比八道湾组要低一些, 受成熟度的影响导致可溶有机质的含量低, 总体评价为中等好的烃源岩; 八道湾组煤有机碳含量、生烃潜力、氯仿沥青 A 以及总烃含量均较高, 绝大部分样品 TOC 在 20% 以上, ( $S_1 + S_2$ ) 值在 10 mg/g 左右, 总烃含量的平均值为 517.47 μg/g, 总体评价为较好的烃源岩; 西山窑组煤有机碳含量与生烃潜力较高, 但氯仿沥青“A”与总烃的含量亦略低, 与泥岩相似主要受控于成熟度的影响, 总体评价为中等好的烃源岩。从 HI 与  $T_{max}$  的相关图分析表明 (图 3), 侏罗系泥岩有机质类型以 II 型与 II<sub>2</sub> 型为主, 煤主要为 II 型, 部分样品为 II<sub>2</sub> 型。八道湾组泥岩与煤的  $T_{max}$  值介于 429~435°C,  $R_o$  值介于 0.44%~0.69%, 平均值为 0.50%; 三工河组泥岩  $R_o$  值介于 0.42%~0.52%, 平均值为 0.46%; 西山窑组煤与泥岩镜质体反射率值介于 0.40%~0.63%, 平均值为 0.51%。由此可见, 侏罗系烃源岩野外样品的镜质体反射率明显偏低, 有机质处于低熟与未熟阶段。然而通过对过凹陷内不同层位的地震资料分析, 结合研究区地温梯度资料, 采用盆地模拟结果表明, 凹陷内部侏罗系烃源岩达到生烃门限。从吐哈盆地以及三塘湖盆地煤成烃的生烃机理表明, 煤有机质生烃门限较低, 易形成低熟的煤成油, 据此推测, 只要存在生成低熟油的物

表 1 和什托洛盖盆地侏罗系不同层位生烃潜力分布表

Table 1 The parameters of hydrocarbon generation potential from Jurassic source rocks

区间值	有机碳	产油潜率	氯仿沥青	总烃	最高峰温	产率指数	氢指数	降解率	烃指数	
	%	I(mg/g)	"A" %	I(μg/g)	tC	%	I(mg/g)	%	I(mg/g)	
J <sub>1</sub> b 泥岩	最大值	44.43	85.87	0.97	791.99	440.00	0.08	326.00	27.52	5.29
	最小值	1.64	0.13	0.01	19.95	430.00	0.01	26.00	2.18	0.49
	平均值	9.70	12.89	0.15	168.80	435.69	0.02	118.15	10.00	2.34
J <sub>1</sub> b 煤	最大值	64.80	182.28	1.23	1244.27	439.00	0.04	452.00	37.59	8.67
	最小值	27.18	9.86	0.05	109.62	423.00	0.00	21.00	1.74	0.17
	平均值	41.72	56.52	0.72	517.47	429.36	0.03	139.43	11.80	2.72
J <sub>1</sub> s 泥岩	最大值	20.26	39.95	0.43	278.16	441.00	0.15	188.00	15.86	10.00
	最小值	0.20	0.12	0.01	14.27	433.00	0.02	17.00	1.51	1.47
	平均值	2.49	3.94	0.15	104.53	435.80	0.08	58.65	5.19	4.00
J <sub>2</sub> x 煤	最大值	60.28	122.02	0.37	1144.93	443.00	0.33	469.00	39.15	15.84
	最小值	8.48	0.06	0.01	5.27	420.00	0.01	1.00	0.01	0.02
	平均值	39.88	15.27	0.16	188.37	431.40	0.06	57.29	4.28	1.61
J <sub>2</sub> x 泥岩	最大值	11.81	19.35	0.14	316.38	445.00	0.10	204.00	17.16	3.28
	最小值	0.35	0.11	0.00	6.89	430.00	0.01	3.85	0.34	0.21
	平均值	4.48	4.26	0.05	121.15	434.58	0.04	59.49	5.08	1.67

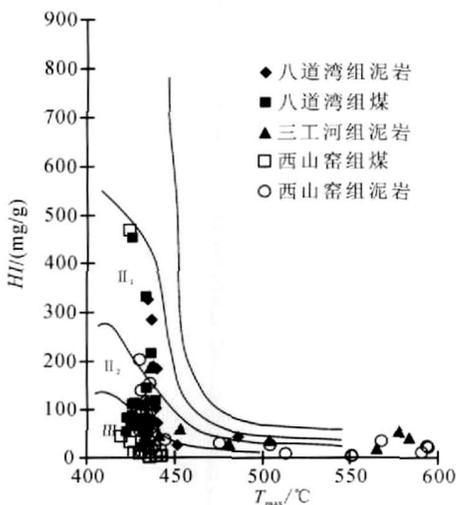


图 3 和什托洛盖盆地不同层位有机质类型分布图

Fig 3 The chart of the organic types and  $R_o$  of Jurassic source rocks

质基础, 侏罗系煤系烃源岩还是具备生烃条件的。

### 3.2 有机岩石学特征

岩石有机显微组分反映了沉积水体的有机质输入特征及保存条件, 烃源岩全岩有机显微组分的组成特征及含量不仅可以反映有机质丰度, 还可反映有机质的类型和生烃潜力 (尤其是富氢显微组分)。研究区侏罗系不同层位烃源岩的显微组分的定量的分析结果见表 2。从表中可以看到, 侏罗系泥岩和煤质质

组含量均较低, 其中煤的显微组分以镜质组为主, 泥岩有机显微组分壳质组与矿物沥青基质的含量相对较高。壳质组富氢显微组分包括孢子体、角质体、藻类体、树脂体以及碎屑壳质体, 其中藻类体含量较低, 仅八道湾组泥岩检测到, 其含量平均值为 5.07%。八道湾组煤与三工河组泥岩均存在树脂体, 含量介于 1.8% ~ 4.7%。孢子体、角质体与碎屑壳质体在侏罗系煤与泥岩中均广泛分布, 但不同样品中其含量也存在明显的差别, 如八道湾组煤中角质体的平均含量为 11.13%, 孢子体的平均含量为 9.2%, 泥岩中含量略低; 三工河组泥岩中孢子体含量平均值为 3.7%, 角质体为 7.17%; 西山窑组泥岩中孢子体和角质体的含量变化大, 有些样品其含量很高, 孢子体含量的最大值为 14.1%, 角质体含量的最大值为 12.7%, 但也有部分泥岩样品其含量较低。具有荧光特征的显微组分主要为壳质体与矿物沥青质体, 壳质组主要为源于高等植物的孢子体、角质体、树脂体和木栓质体等, 局部有来源于藻类微生物的藻类体, 如在八道湾组泥岩中分布浅黄色以及亮黄色薄壁角质体 (图 4b)、黄色孢子体图 (4d), 部分样品中存在结构藻类体 (图 4a) 以及黄色树脂体 (4c); 在油浸反射光下, 在八道湾组煤中除了检测到灰色团块镜质体、层状分布灰色基质镜质体、深灰色结构镜质体、黑色角质体、白色丝质体以及白色菌类体外, 还见到黄色薄壁角质体及环状小孢子体 (图 4e) 以及树脂体 (图 4f); 三工河组泥岩显微组分以镜质体为主, 荧光下可见到呈层状分布

表 2 和什托洛盖盆地侏罗系不同层位的有机岩石学定量分布表

Table 2 The quantity of organic macerals in differential Jurassic source rocks

层位	区间值	V %	IF%	E %					$\Sigma E$ %	$\Sigma O$ %	$\Sigma M$ %	MB %
				孢子体	角质体	藻类体	树脂体	碎屑壳体				
J <sub>1</sub> b 泥岩	最大值	25.5	20.3	4.2	9.3	10.1	/	3.4	16.7	35.4	87.1	39.5
	最小值	1.2	0.1	1.6	0.9	2.4	/	2.2	1.6	11	41.6	1.9
	平均值	9.34	4.03	2.63	6.68	5.07	/	2.76	9.63	22.49	70.40	9.48
J <sub>1</sub> b 煤	最大值	72.7	4.7	12.8	14	/	2.6	18.2	43.9	99.1	6.8	/
	最小值	51.3	2.5	5.5	9.1	/	1.8	7.3	23.7	93.2	0.9	/
	平均值	59.17	3.30	9.20	11.13	/	2.20	11.67	34.20	96.67	3.33	/
J <sub>1</sub> s 泥岩	最大值	25.9	1.6	4.1	18	/	4.7	8.1	27.3	53.2	89.9	9.2
	最小值	4.8	1.5	3.3	1.7	/	4.7	2	3.7	10.1	37.6	3.1
	平均值	11.87	1.55	3.70	7.17	/	4.70	5.10	16.30	29.20	66.70	6.15
J <sub>2</sub> x 煤		89.8	6.7	/	/	/	/	1.1	1.1	97.6	2.4	/
J <sub>2</sub> x 泥岩	最大值	14.3	22.2	14.1	12.7	/	/	9.4	23.7	33.3	94.6	9.5
	最小值	0.1	0.2	0.1	0.5	/	/	0.7	1.2	3.9	62	0.2
	平均值	3.67	3.89	5.24	3.72	/	/	3.68	10.32	17.10	79.78	3.67

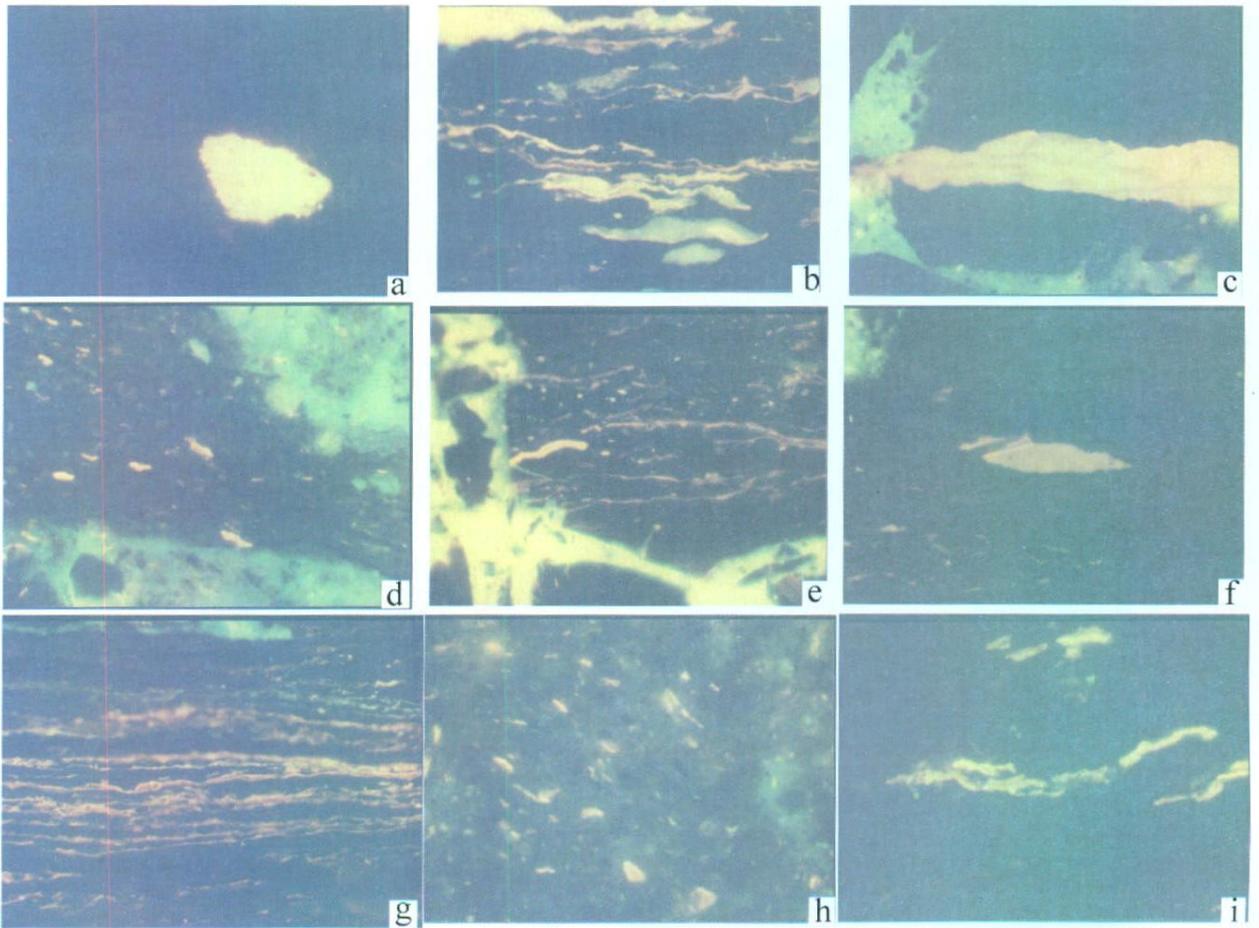


图 4 和什托洛盖盆地侏罗系烃源岩有机显微组分图版

Fig 4 The charts of organic macerals of Jurassic source rocks in Heshentuloigai Basin

a 浅灰色泥岩, 结构藻类体, 250 $\times$ , H5, J<sub>1</sub>b b 碳质泥岩, 黄色薄壁角质体, 250 $\times$ , H9, J<sub>1</sub>b c 碳质泥岩, 黄色树脂体, 250 $\times$ , H9, J<sub>1</sub>b  
d 黑色泥岩, 黄色孢子体, 250 $\times$ , H33, J<sub>1</sub>b e 煤, 黄色薄壁角质体及环状小孢子体, 250 $\times$ , H10, J<sub>1</sub>b f 煤, 树脂体, 250 $\times$ , H54, J<sub>1</sub>b  
g 黑色泥岩, 角质体, 200 $\times$ , H11, J<sub>1</sub>s h 黑色泥岩, 亮黄色孢子体以及壳屑体, 250 $\times$ , H33, J<sub>2</sub>x; i 黑色泥岩, 亮黄色孢子体, 250 $\times$ , H43, J<sub>2</sub>x

薄壁角质体以及金黄色荧光小孢子体 (图 4g); 西山窑组泥岩显微组分以碎块状与团块状的镜质体以及灰色基质镜质体为主, 伴有灰白色半丝质体, 荧光下也可见到亮黄色孢子体及壳屑体 (图 4h i)、浅黄色以及亮黄色薄壁角质体等富氢组分。

### 3.3 族组分分布以及碳同位素特征

一般而言, 低熟煤系烃源岩的族组分饱和烃与芳烃的含量低, 而高分子的非烃与沥青质的含量明显偏高, 煤成油的特征正好相反, 饱和烃的含量明显偏高, 达到 50% 以上, 芳烃以及极性组分的含量偏低。从图 5a 中可以看出, 研究区侏罗系低熟泥岩中饱和烃与芳烃的含量明显偏低, 低于 20%, 芳烃的含量也较低, 在 10% 以下, 而极性组分非烃与沥青质的含量在 70% 以上, 饱/芳比值较高, 具有典型的低熟湖相泥岩的抽提物可溶有机质特征。烃源岩中氯仿沥青“ A ”及族组分碳同位素分析表明, 八道湾组煤氯仿沥青“ A ”的同位素介于  $-28.2\text{‰} \sim -25.7\text{‰}$ , 均值为  $-26.86\text{‰}$ , 泥岩的同位素值介于  $-29\text{‰} \sim -27.1\text{‰}$ , 均值为  $-28.27\text{‰}$ 。不同层位的烃源岩可溶有机质同位素具有  $\delta^{13}\text{C}_{\text{饱和烃}} < \delta^{13}\text{C}_{\text{氯仿沥青 A}} < \delta^{13}\text{C}_{\text{芳烃}} > \delta^{13}\text{C}_{\text{非烃}} < \delta^{13}\text{C}_{\text{沥青质}}$  的分布特征 (图 5b)。非烃的同位素明显偏轻, 存在碳同位素值的异常,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{饱和烃}}$  与  $\delta^{13}\text{C}_{\text{芳烃}}$  明显高于  $\delta^{13}\text{C}_{\text{非烃}}$  与  $\delta^{13}\text{C}_{\text{沥青质}}$ , 四组分中  $\delta^{13}\text{C}_{\text{芳烃}}$  明显偏高, 成岩作用的早期, 低熟煤岩中多环芳烃的分布广泛, 富集  $\delta^{13}\text{C}$ , 导致芳烃碳同位素值偏高, 而非烃与沥青质含有较多的 N、S、O 化合物, 主要以大分子的带有羧基、羟基、酚、酮以及脂类化合物的存在, 更为富集  $^{12}\text{C}$ , 导致其碳同位素偏轻, 但是随成岩作用后期,

烃源岩进入成熟阶段一直到高过成熟阶段, 非烃与沥青质的大分子的官能团脱落, 富集  $^{13}\text{C}$ , 同位素偏重<sup>[10-11]</sup>, 而对于 III 型干酪根有机质芳烃同位素主要来源于母质先体, 高等植物生源的芳香族化合物较为丰富, 碳同位素值一直偏高, 腐泥型干酪根芳烃化合物来源于类脂化合物产生的烃类的缩合, 碳同位素值缓慢变高, 另外煤的族组分比泥岩的同位素值明显偏高, 煤中有机质高度富集, 分布更多的多环芳烃导致  $\delta^{13}\text{C}$  富集。

### 3.4 生物标志物的分布特征

生物标志物为判识烃源岩中有机质来源、沉积环境以及成熟度的有效指标<sup>[12]</sup>。生物标志物继承与保存了原始沉积有机质化合物结构骨架, 伴随成熟度的增加, 生物标志物的浓度逐渐降低, 芳构化或裂解成低分子量的烃类, 但低熟烃源岩中生物标志物保留了部分有机质的原始特征, 可以较好地反映其母质的输入以及古环境特征<sup>[13]</sup>。和什托洛盖盆地煤系烃源岩成熟度较低, 整体上正构烷烃呈单峰态后峰型分布, 主峰碳为  $n\text{C}_{23}$  或  $n\text{C}_{25}$ 。如图 6 和表 3 所示, 侏罗系煤与泥岩的正构烷烃及类异戊二烯烷烃的组成及地球化学参数差别不大, 不同层位煤及泥岩中轻重比 ( $\text{C}_{21-}/\text{C}_{22+}$ ) 均值较低, 均小于 1。八道湾组泥岩与煤 CPI/OEP 值均大于 1, 西山窑组与三工河组煤系烃源岩的 CPI 与 OEP 值部分大于 2。煤中 Pr/Ph 值大部分在 2.0 以上, 部分样品在 4.0 以上, 而泥岩中 Pr/Ph 要低一些, 尤以西山窑组泥岩 Pr/Ph 值最低, 在 1.0 左右, 以弱氧化的沉积环境为主; Pr/nC<sub>17</sub> 与 Ph/nC<sub>18</sub> 参数值的分布表明侏罗系烃源岩为陆相

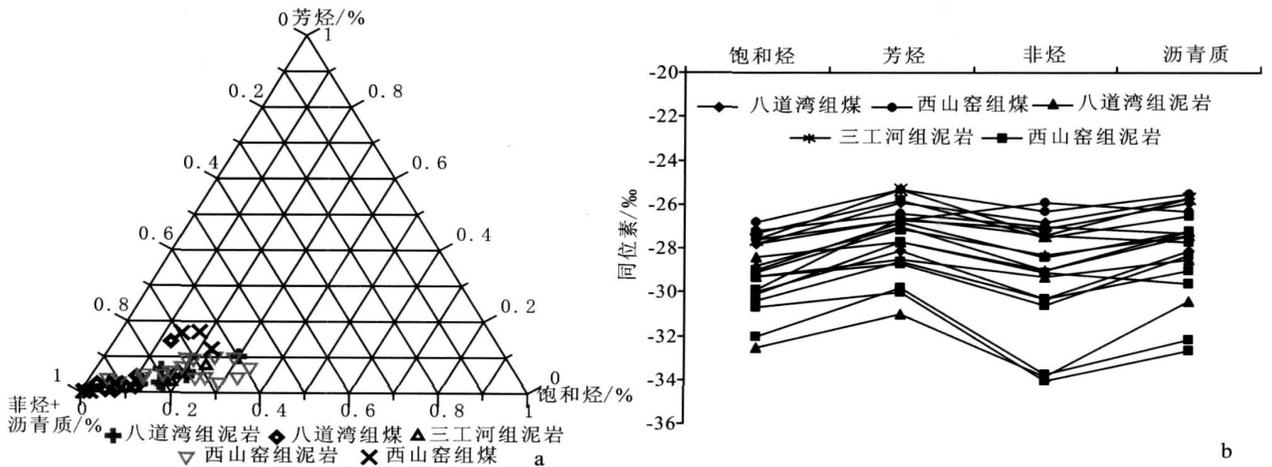


图 5 和什托洛盖盆地侏罗系不同层位族组分及其同位素分布图

Fig 5 The charts showing the group compositions and their isotope values of core extracts in Jurassic source rocks

表 3 和什托洛盖盆地侏罗系不同层位饱和烃化合物参数分布表

Table 3 The parameters of saturated hydrocarbon in differential Jurassic source rocks

层位	名称	主峰碳	Pr/Ph	Pr/nC <sub>17</sub>	Ph/nC <sub>18</sub>	$(C_{27} + C_{29} + C_{31}) / (C_{15} + C_{17} + C_{19})$	CPI	OEP	C <sub>21-</sub> / C <sub>22+</sub>	C <sub>21</sub> + C <sub>22</sub> / C <sub>28</sub> + C <sub>29</sub>
J <sub>1</sub> b 泥岩	最大值		3.89	2.39	1.20	4.51	1.62	2.50	0.67	2.36
	最小值	nC <sub>23</sub> 或 nC <sub>25</sub>	1.04	0.35	0.11	0.89	1.36	1.82	0.19	0.56
	平均值		1.98	1.12	0.57	2.35	1.50	2.26	0.38	1.30
J <sub>1</sub> b 煤	最大值		7.07	2.53	0.48	2.31	1.55	2.73	0.81	3.27
	最小值	nC <sub>23</sub> 或 nC <sub>25</sub>	3.37	0.61	0.08	0.47	1.15	1.61	0.29	0.99
	平均值		4.78	1.31	0.21	1.37	1.32	2.07	0.53	1.69
J <sub>1</sub> s 泥岩	最大值		2.47	0.79	0.95	3.47	1.61	3.19	0.51	1.24
	最小值	nC <sub>23</sub> 或 nC <sub>25</sub>	0.82	0.46	0.15	1.41	1.38	2.15	0.27	0.84
	平均值		1.47	0.58	0.53	2.34	1.50	2.55	0.38	1.00
J <sub>2</sub> x 泥岩	最大值		1.44	1.79	2.08	20.60	2.62	5.39	0.57	2.98
	最小值	nC <sub>23</sub> 或 nC <sub>25</sub>	0.75	0.53	0.42	0.64	1.17	1.81	0.05	0.22
	平均值		1.07	1.01	0.99	6.61	2.04	3.79	0.22	0.85
J <sub>2</sub> x 煤	最大值		5.59	2.72	1.03	8.84	2.11	4.94	0.43	2.37
	最小值	nC <sub>25</sub>	0.80	0.86	0.37	0.93	1.10	1.38	0.11	0.25
	平均值		2.50	1.55	0.75	3.93	1.49	2.68	0.30	1.16

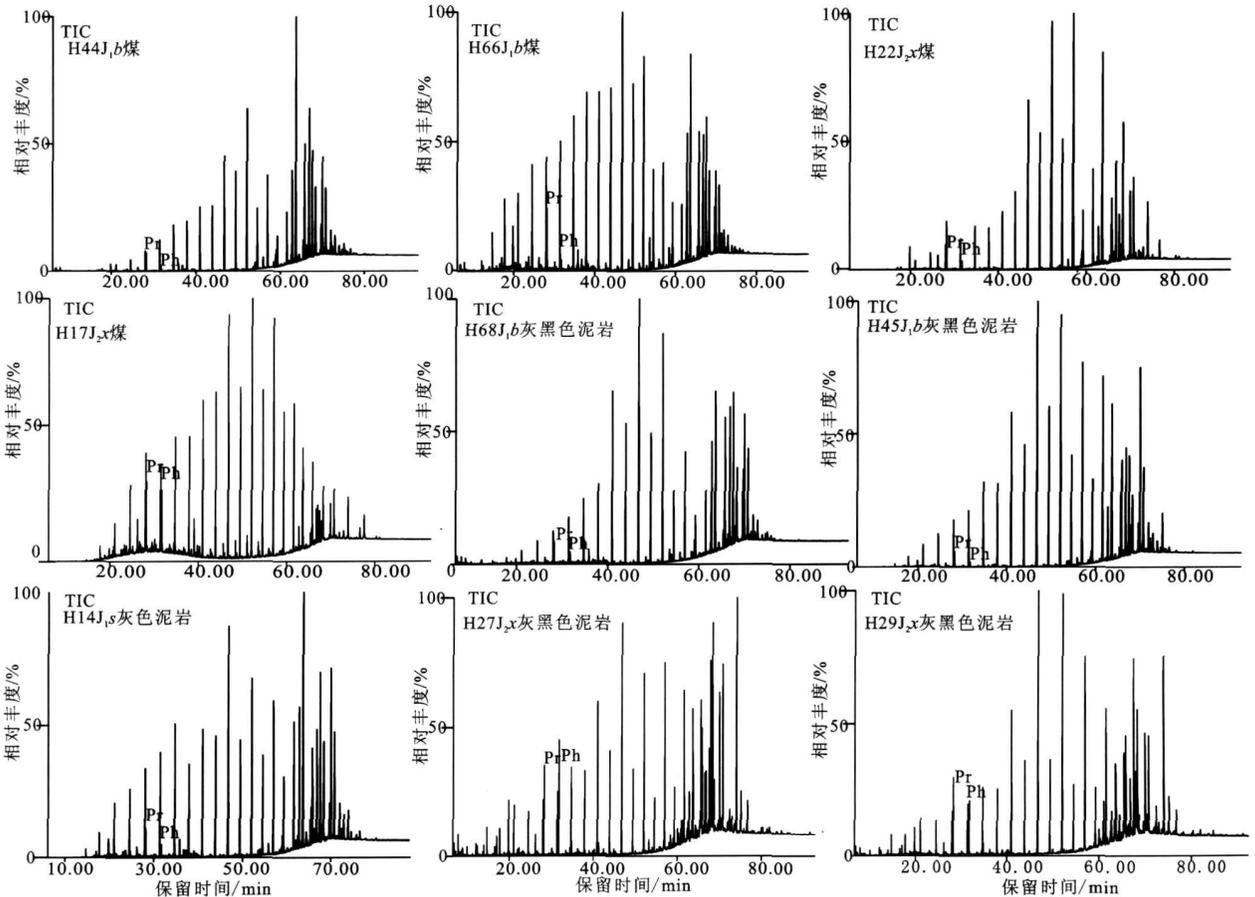


图 6 和什托洛盖盆地侏罗系不同层位的抽提物总离子流图分布图

Fig 6 Mass chromatograph showing the TIC of core extracts of differential Jurassic source rocks

沉积有机质, 并且为 II 型或者混合型为主, 有机质成熟度偏低。

如图 7 所示, 萜烷类化合物的主要以五环三萜烷类化合物分布为主, 二环倍半萜、三环二萜烷以及 C<sub>20</sub> 以上三环萜烷以及的相对丰度较低。枝叶油烷主要来源于高等植物的倍半萜枝叶醇, 为陆源输入的标志, 补身烷可能主要由微生物衍生形成的<sup>[12]</sup>, 在八道湾组煤与泥岩中检测到了 8 $\beta$ (H)-升补身烷以及 4 $\beta$ (H)-枝叶油烷, 而 8 $\alpha$ (H)-升补身烷丰度较低; 三工河组与西山窑组煤系烃源岩中均缺少补身烷系列化合物。松香酸、海松酸和贝壳杉酸骨架的三环二萜类化合物在树脂煤中占绝对优势<sup>[5]</sup>, 研究区八道湾组煤中仅检测到少量的降海松烷, 缺少扁枝烷和贝壳杉烷; 三工河组泥岩中二萜类化合物分布较少, 西山窑组的煤中含有少量的降海松烷。

五环三萜烷类化合物中藿烷系列是占优势的成分, 在煤中 T<sub>m</sub> 远远高于 T<sub>s</sub> 的构型, 泥岩中略低, T<sub>s</sub> /

(T<sub>s</sub>+ T<sub>m</sub>) 值非常低, 主要是由于成煤环境的酸性水介质条件阻碍了 C<sub>27</sub> 位  $\alpha$ -H 的转移所致<sup>[4]</sup>, 升藿烷系列化合物分布不完整, 升藿烷指数为 Q C<sub>31</sub>、C<sub>32</sub> 升藿烷系列 S 构型明显低于 R 构型, 表明烃源岩成熟度较低, 在莫烷系列化合物中还存在一 17 $\beta$ (H)-C<sub>27</sub> 三降莫烷, 位置在 T<sub>m</sub> 之后, 为低熟烃源岩的表现, 另外在低熟侏罗系的煤系烃源岩五环三萜烷系列化合物中明显存在一系列非常规的  $\beta\beta$  生物构型藿烷系列的化合物, 即为 17( $\beta$ ), 21( $\beta$ )-藿烷系列, 存在 C<sub>29</sub>  $\beta\beta$ 、C<sub>30</sub>  $\beta\beta$ 、C<sub>31</sub>  $\beta\beta$ 、C<sub>32</sub>  $\beta\beta$  构型藿烷化合物, 前人的研究表明  $\beta\beta$  构型藿烷系列化合物主要存在于低熟有机质中, 随着成熟度的增加逐渐向  $\alpha\beta$  型藿烷与  $\beta\alpha$  型莫烷化合物转变 (图 8),  $\beta\beta$  构型藿烷化合物仅在成熟度非常低的有机质中存在, 极其不稳定, 此类化合物存在, 表明源岩的成熟度较低<sup>[12-14]</sup>, 在黄县的褐

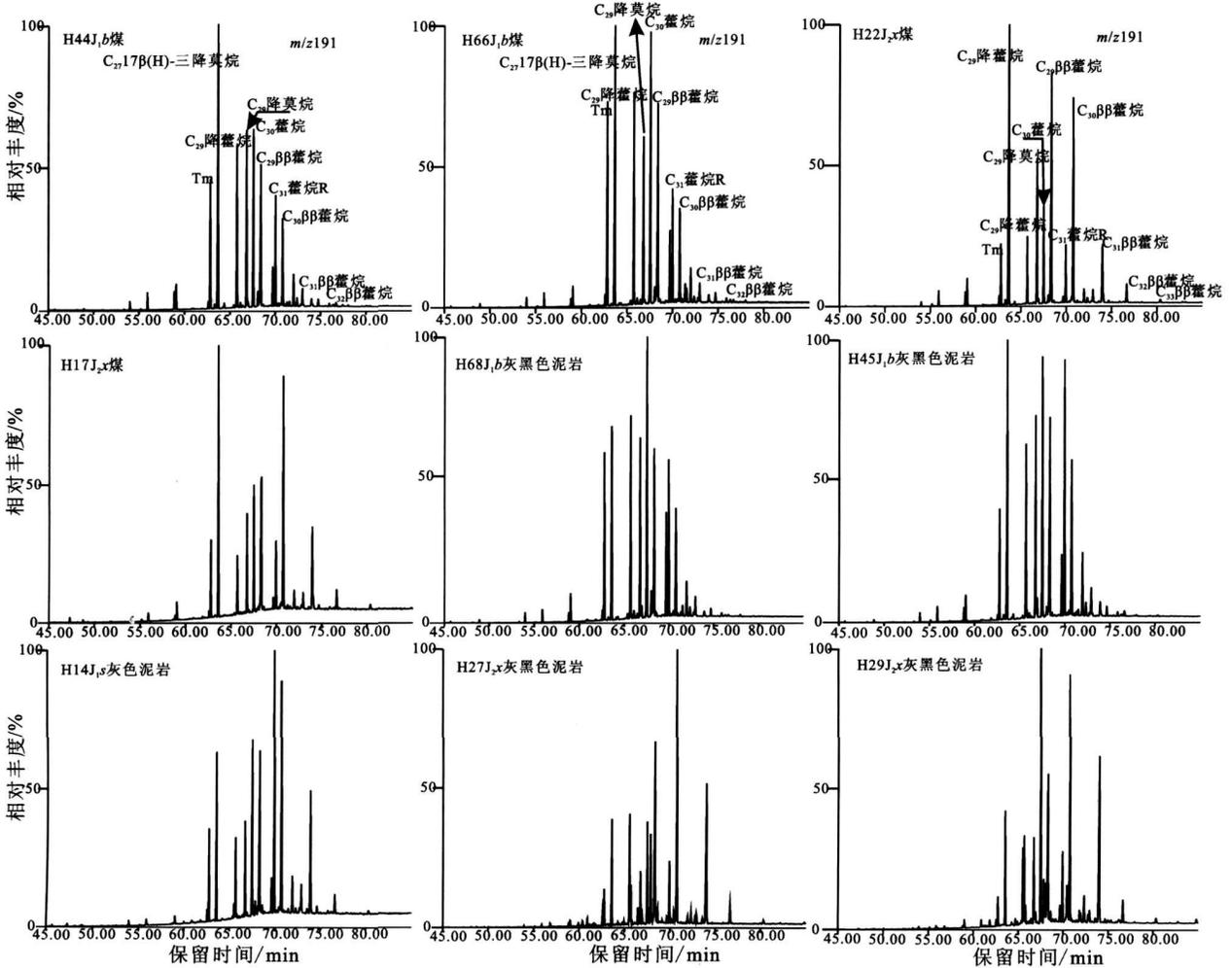


图 7 和什托洛盖盆地侏罗系不同层位的抽提物萜烷系列分布图

Fig 7 Mass chromatograph showing the terpanes of core extracts of differential Jurassic source rocks

煤中也检测到了该类化合物<sup>[4]</sup>,但是在其余的低熟的湖相泥岩中并未有所报道,表明该类系列化合物的分布还与沉积环境有关,开阔水体的湖沼相的沉积环境有利于此类藿烷系列化合物的分布,从相关参数  $C_{29}\beta\beta$ 藿烷/ $C_{30}$ 藿烷与  $C_{30}\beta\beta$ 藿烷/ $C_{30}$ 藿烷表明(图 10a), $\beta\beta$ 型藿烷的分布明显受到成熟度的影响,对于成熟度相对较低的西山窑组的泥岩与煤比值明显偏高,而八道湾组泥岩与煤比值明显要低一些,存在一定的相关性,但是从  $Pr/Ph$ 与  $C_{29}\beta\beta$ 藿烷/ $C_{30}$ 藿烷参数分布表明(图 10b), $Pr/Ph$ 低值区域  $C_{29}\beta\beta$ 藿烷/ $C_{30}$ 藿烷丰度偏高, $Pr/Ph$ 比值逐渐增加  $C_{29}\beta\beta$ 藿烷/ $C_{30}$ 藿烷参数反而较低,表明弱氧化还原环境有利于  $\beta\beta$ 型藿烷的富集,而强氧化环境不利于  $\beta\beta$ 型藿烷的保存,从  $Pr/Ph$ 与伽马蜡烷指数的分布特征表明(图 10c),侏罗系八道湾组煤与泥岩的伽马蜡烷指数低, $Pr/Ph$ 值高,主要以开阔水体的沼泽强氧化环境为主,三工河组为过渡沉积期,沉积时间较短,到西山窑组水体变深,伽马蜡烷指数增高, $Pr/Ph$ 值较低,形成了有利于生烃的弱氧化的浅湖相沉积环境为主。甾烷类化合物主要来源于低等藻类有机质或陆源高等植物的输入,不同层位的侏罗系煤系烃源岩  $m/z$  217甾烷的分布存在一定的差别(图 9),侏罗系煤系烃源岩的孕甾烷、升孕甾烷丰度较低,规则甾烷的分布特征存在一定的差别,八道湾组煤与泥岩、西山窑组煤  $\alpha\alpha\alpha C_{27}$ 、 $\alpha\alpha\alpha C_{28}$ 丰度较低, $\alpha\alpha\alpha C_{29}$ 丰度明显偏高,主要以陆源高等植物的输入为主,西山窑组泥岩的  $\alpha\alpha\alpha C_{27}$ 丰度略高,存在低等水生藻类真核生物的有机质输入,从  $C_{27}/C_{29}$ 与  $C_{28}/C_{29}$ 相关参数也表明

(图 10d),西山窑组泥岩  $C_{27}$ 规则甾烷丰度明显偏高,三工河组略低,八道湾组最低。规则甾烷的  $C_{27}$ 、 $C_{28}$ 、 $C_{29}$ 的  $\beta\beta$ 构型的丰度明显偏低,表明有机质成熟度较低,从甾烷的异构化成熟度参数比值  $C_{29}\alpha\alpha\alpha 20S(20S + 20R)$ 与  $C_{29}\beta\beta/(\beta\beta + \alpha\alpha)$ 相关参数表明(图 10e),由于野外露头成熟度较低,成熟度参数比值均未进入生烃门限,烃源岩的成熟度偏低。从规则甾烷/藿烷与伽马蜡烷/ $C_{30}$ 藿烷的分布表明(图 10f),西山窑组泥岩甾烷的丰度要高一些,藿烷的相对丰度较低,与沉积水体的盐度以及环境存在一定的相关性。

### 3.5 结果与讨论

(1) 选取合什托洛盖盆地野外四条侏罗系地质剖面,对侏罗系的八道湾组、三工河组以及西山窑组的生烃潜力研究表明,侏罗系煤系烃源岩有机质丰度较好,有机碳值、生烃潜力、氯仿沥青“*A*”以及总烃含量较高,煤的有机质类型为 II 型,而泥岩中存在丰富的富氢组分,主要为 II<sub>2</sub>或 II<sub>3</sub>型,生烃条件较好,部分显微组分具有明显的荧光特征,如环带状的孢子体、层状薄壁角质体以及少量的树脂体等,侏罗系泥岩中壳质组也较为富集,主要分布亮黄色的孢子体、薄壁角质体以及黄色树脂体,八道湾组的泥岩存在少量的藻类体,因此侏罗系煤系烃源岩中存在较为丰富的富氢显微组分,生烃条件更为有利,野外样品成熟度较低, $R_o$ 值表明侏罗系烃源岩未进入生烃门限,而位于凹陷中心的烃源岩已进入生烃门限,而且对于煤岩而言,其部分显微组分在  $R_o$ 值为 0.5% 左右达到生烃门限,勘探前景仍然较好。

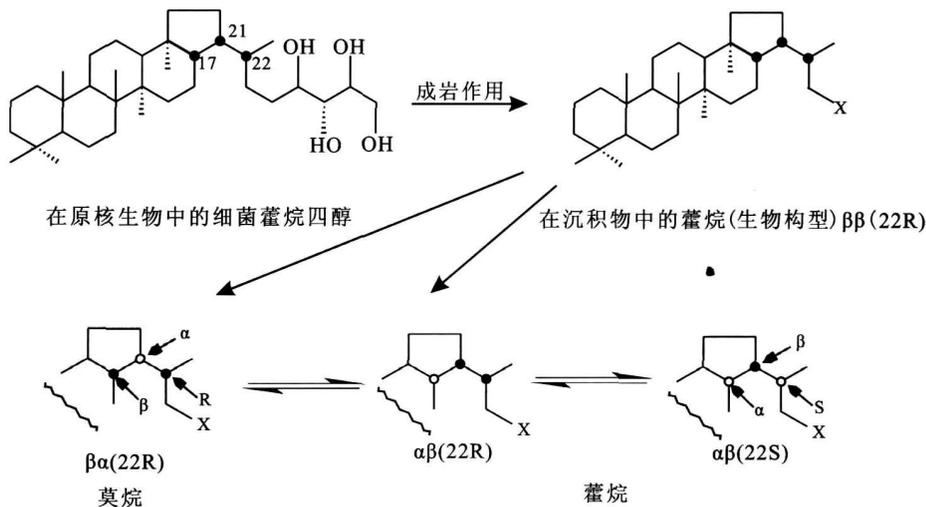


图 8 不同构型的藿烷的转化关系图<sup>[14]</sup>

Fig 8 The chart showing transformation of hopanoids

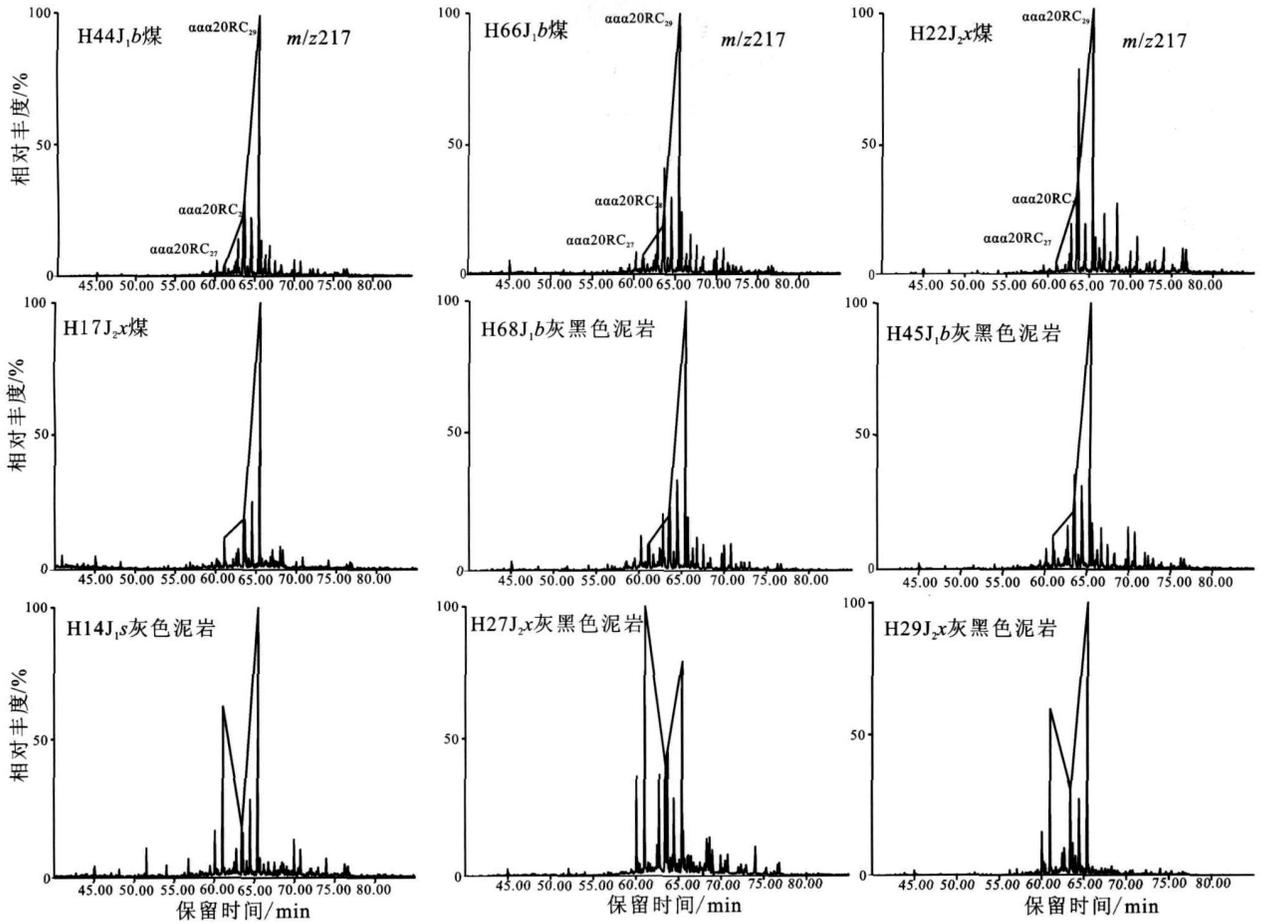


图 9 和什托洛盖盆地侏罗系不同层位的抽提物甾烷系列分布图

Fig. 9 Mass chromatograph showing the steranes of core extracts of differential Jurassic source rocks

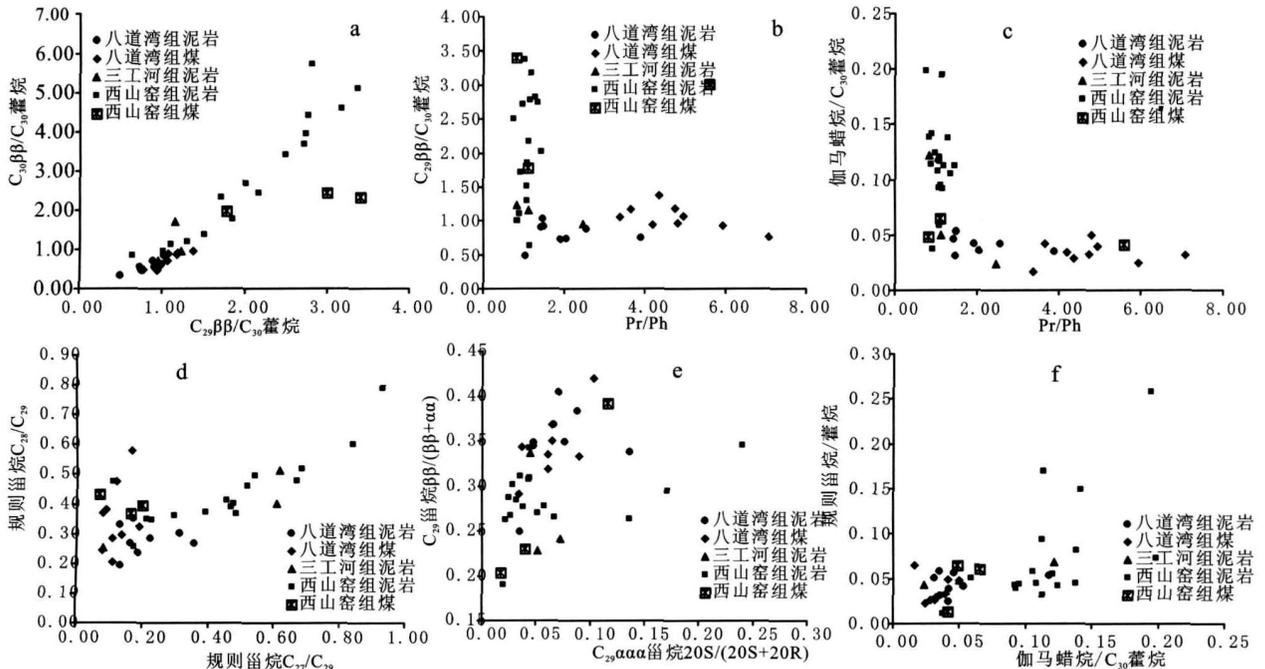


图 10 和什托洛盖盆地侏罗系不同层位的抽提物生物标志化合物相关图

Fig. 10 The correlation diagrams of the biomarker parameters of differential Jurassic source rocks

(2) 侏罗系煤系烃源岩成熟度较低, 导致族组分中饱和烃与芳烃含量较低, 而非烃与沥青质的含量较高, 饱芳比值高, 可溶有机质同位素分析表明煤岩的氯仿沥青 A 同位素要比泥岩高一些, 然而族组分的同位素存在明显共同点, 非烃同位素值低, 而芳烃的同位素值偏重, 明显受低熟煤岩中多环芳烃的分布的影响, 富集<sup>13</sup>C, 而非烃主要大分子 N、S、O 的化合物存在, 富集<sup>12</sup>C, 具有典型低熟烃源岩的同位素的分布特征。

(3) 侏罗系低熟煤岩的生物标志化合物也存在独特的一面, 总离子流图的分布中明显存在的藿烷系列化合物, 为低熟烃源岩典型特征, 正构烷烃的明显以高碳数的分布为主, 煤岩中 Pr/Ph 值高, 无 β- 胡萝卜烷、伽马蜡烷指数偏低以及孕甾烷与升孕甾烷丰度较低, 表明侏罗系煤岩主要以湖沼相的氧化环境为主, 泥岩的饱和烃中 Pr/Ph 值略低, 尤以八道湾组与西山窑组的泥岩分布最为明显, 存在较好的极其有利于生烃的以弱氧化环境为主的湖相泥岩的分布。萜烷系列中缺乏倍半萜、二环倍半萜以及三环萜烷的分布, 藿烷系列化合物分布中存在 ββ 生物构型系列, 表明有机质成熟度较低, 从生物标志化合物的参数分布表明, 该系列化合物与沉积环境也存在一定的相关性, 低熟湖沼相泥岩更容易富集, 煤岩甾烷分布明显以规则甾烷 C<sub>29</sub> 系列化合物分布为主, 表明有机质主要以高等植物的陆源输入为主, 而在三工河组与西山窑组泥岩中存在 C<sub>27</sub> 系列化合物, 表明有低等藻类有机质的输入, 存在较好的生烃条件。

### 参考文献 (References)

- 1 黄第藩, 卢双舫. 煤成油地球化学研究现状与展望 [J]. 地学前缘, 1999, 6(增刊): 183-194 [Huang D ifan Lu Shuangfang Current situation and prospect in geochemistry of oil from coals [J]. Earth Sciences Frontiers 1999, 6(Suppl): 183-194]
- 2 胡社荣, 方家虎, 侯慧敏, 等. 中国侏罗系煤成油若干问题 [J]. 地质论评, 1997, 43(2): 155-161 [Hu Sherong Fang Jiahu Hou Huimin *et al.* Some problems on oil from Jurassic coalmeasures of China [J]. Geological Review, 1997, 43(2): 155-161]
- 3 赵长毅, 程克明. 吐哈盆地煤及显微组分的生烃模式 [J]. 科学通报, 1997, 42(19): 2102-2105 [Zhao Changyi Cheng Keming Generated hydrocarbon model of coal and its maceral in Tuha Basin [J]. Chinese Science Bulletin 1997, 42(22): 1905-1907]
- 4 黄第藩, 秦匡宗, 王铁冠, 等. 煤成油的形成和成烃机理 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1995 [Huang D ifan Qin Kuangzong Wang Tieguan *et al.* Oil from Coal Formation and Mechanism [M]. Beijing Petroleum Industry Press 1995]
- 5 傅家谟, 刘德汉, 盛国英. 煤成烃地球化学 [M]. 北京: 科学出版社, 1992 [Fu Jiam o Liu Dehan, Sheng Guoying Geochemistry of Hydrocarbon-generated from Coal [M]. Beijing Science Press 1992]
- 6 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 in Tuha Basin [M]. Beijing Petroleum Industry Press 1994]
- 7 陈建平, 邓纯萍, 梁狄刚, 等. 彩南油田: 一个典型三元混合油田 [J]. 沉积学报, 2004, 22(增刊): 91-97 [Chen Jianping Deng Chunping Liang D igang *et al.* The Cainan oilfield A typical mixed crude oil of three-end member [J]. Acta Sedimentologica Sinica 2004, 22 (Supp): 91-97]
- 8 钟宁宇, 包建平. 新疆三塘湖盆地石油勘探地球化学综合研究及资源评价 [R]. 1995 [Zhong Ningning Bao Jianping Geochemical research and resource assessment of petroleum exploration in Santanghu basin of Xinjiang [R]. Internal Research Report 1995]
- 9 渠洪杰, 胡健民, 李玮, 等. 新疆西北部和什托洛盖盆地早中生代沉积特征及构造演化 [J]. 地质学报, 2008, 82(4): 441-450 [Qu Hongjie, Hu Jianmin Li Wei *et al.* The characteristics of sedimentation and tectonic evolution of Heshentuloagai Basin in Early Mesozoic, Northwest Xinjiang [J]. Acta Geologica Sinica 2008, 82(4): 441-450]
- 10 陈践发, 徐永昌. 煤系地层中有机质碳同位素组成特征 [J]. 沉积学报, 1992, 10(4): 44-47 [Chen Jianfa Xu Yongchang Characteristic of organic carbon isotope composition in coal-bearing strata [J]. Acta Sedimentologica Sinica 1992, 10(4): 44-47]
- 11 张爱云, 蔡云开, 初志明, 等. 沉积有机质中稳定碳同位素逆转现象初探 [J]. 沉积学报, 1992, 10(4): 49-59 [Zhang Aiyun, Cai Yunkai Chu Zhiming *et al.* Preliminary carbon study on the reversed distribution of stable isotopes in sedimentary organic matter [J]. Acta Sedimentologica Sinica 1992, 10(4): 49-59]
- 12 Peters K E, Walters C C, Moldowan J M. The Biomarker Guide Biomarkers and Isotopes in Petroleum and Earth History [M]. Cambridge University Press 2005
- 13 侯读杰, 王铁冠, 黄光辉, 等. 低熟烃源岩中五环三萜类的分布型式 [J]. 江汉石油学院学报, 1994, 16(4): 39-45 [Hou Dujie, Wang Tieguang Huang Guanghui *et al.* Distribution patterns of pentacyclic triterpenoid hydrocarbons in source rocks [J]. Journal of Jianghan Petroleum Institute 1994, 16(4): 39-45]
- 14 Seifert W K, Moldowan J M. The effect of thermal stress on source-rock quality as measured by hopane stereochemistry [J]. Physics and Chemistry of the Earth, 1980, 12 229-237

# Geochemical Characteristics and Conditions for Hydrocarbon Generation of Jurassic Immature Source Rocks from Heshentuloagai Basin, Northwestern Xinjiang

QIN Liming<sup>1</sup> ZHANG Zhihuan<sup>1</sup> MENG Xianlong<sup>2</sup> LIU Hongjun<sup>1,3</sup> LIW enhao

(1. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249)

(2. West Branch Institute, Exploration and Production Institute, China Petroleum & Chemical Corp., Urumqi 830014)

(3. School of Petroleum Resource, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065)

**Abstract** Heshentuloagai basin is located on the northwestern of Jungar basin, and the distribution of the dark mudstone is extensive. According to the geochemical analysis of the Jurassic mudstones from the four in-field sections in Hebukehe and Baiyanghe depression, the generated hydrocarbon conditions have been described. The results indicate that the organic richness is high including TOC, chloroform bitumen "A", total hydrocarbon ( $S_1 + S_2$ ). Through the analysis of the vitrinite reflectance of the source rock,  $R_o$  is less than 0.65 showing the immature of the source rock, but the results of the basin model indicate that the maturity of the depression extend the threshold the generated hydrocarbon. In the organic components of Jurassic source rock, the vitrinite is concentrated and especially in the coal, but devoid of inertinite. The relative abundance of rich-hydrogen exinite is about 20%, including sporophyte, cutinite, resinite, and suberinite commonly, and alginate is accumulated in mudstone, which reflect the strong fluorescent characteristics. So the organic type of mudstone is II<sub>2</sub>, partially III. From the analysis of the carbon isotopes of the chloroform bitumen "A" and group compositions, the carbon isotope of coal is heavier than mudstone. The isotope value of non-hydrocarbon in group compositions is lighter, but the aromatic hydrocarbon's is heavier, which is controlled by the extensive distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in Jurassic source rocks, especially in immature source rocks, suggesting that  $^{12}C$  is accumulated in non-hydrocarbon containing NSO compounds, but  $^{13}C$  is aggregated in polycyclic aromatic hydrocarbons. Also the distribution of molecular biomarkers from the extracts of immature source rocks is particular. In total ion current profile, n-alkanes are distributed by high carbon numbers mainly and hopanoid compounds exist. A Pr/Ph ratio of coal is higher than mudstone. Correlated with the characteristics of the devoid of  $\beta$ -carotene, pregnanes and low gammacerane index, Jurassic source rock is mainly deposited in oxygenated and lacustrine conditions, but Xishanyao Formation mudstone is deposited in poor oxic or reductive conditions. Additionally sesquiterpenoid, bicyclic sesquiterpenes and tricyclic terpanes are not existing in the terpanoids. The regular  $C_{27}$ ,  $C_{28}$ ,  $C_{29}$  steranes of coal occur as opposite "L" pattern, indicating that the organic matter of Jurassic source rock is originated from the lacustrine high plants, but in Xishanyao formation mudstone, the sterane is distributed by "V" pattern showing the algae input, which is correlated with the distribution of the organic maceral, suggesting the better generation conditions.

**Key words** hydrocarbon generation potential, organic maceral, isotopes, biomarkers, Jurassic source rock, Heshentuloagai Basin