

文章编号: 1000-0550(2003)03-0513-09

焉耆盆地侏罗系煤系源岩评价 与成烃机理研究

姚亚明^{1,2} 刘池阳¹ 赵增录² 赵旭华²
付代国² 乔桂林² 严永新²

1(西北大学地质系 西安 710069) 2(河南石油勘探局 河南南阳 473132)

摘要 在对焉耆盆地已钻探井暗色泥岩、碳质泥岩等生油岩和部分原油样品地球化学分析的基础上,结合构造,特别是沉积和岩相古地理特征,研究了烃源岩类型及空间展布,煤系源岩有机显微组分组成及生烃机理,有机质丰度、类型及成熟度特征,指出烃源岩类型属典型的腐殖型;侏罗系八道湾组、三工河组和西山窑组煤系泥岩、炭质泥岩及煤均能生烃,但以侏罗系八道湾组煤系泥岩为主要烃源岩;博湖拗陷南、北凹陷都经历过油气形成过程,但北部凹陷存在两个生油阶段,而南部凹陷仅存在一个生油阶段。

关键词 侏罗系 煤系地层 煤系源岩 显微组分 成烃机理

第一作者简介 姚亚明 男 1964 年出生 博士 高级工程师 石油地质

中图分类号 P618.130.1 **文献标识码** A

20 世纪 80 年代后期吐哈盆地侏罗系煤成油的发现引起了我国石油地质学家对西北侏罗系的极大兴趣,许多煤成油研究成果相继问世^[1~5]。焉耆盆地是中国西部中小型含煤盆地之一,目前已在北部凹陷侏罗系煤系地层发现了宝浪和本布图油田,并且上交了一定规模的探明油气地质储量。然而,由于对煤系烃源岩地球化学特征、有机岩石学性质及成烃机制研究的较少,导致人们对焉耆盆地侏罗系煤系地层烃源岩认识上存有异议,对其生烃潜力仅限于定性的描述,这直接影响到对盆地油气资源量的预测和勘探前景的评价。而据最新开展的烃源岩类型及空间展布,煤系源岩有机显微组分组成及生烃机理,有机质丰度、类型及成熟度特征的定量分析结果,表明侏罗系八道湾组、三工河组和西山窑组煤系泥岩、碳质泥岩及煤均能生烃,但以侏罗系八道湾组煤系泥岩为主要烃源岩,为进一步在该盆地进行油气勘探指明了方向。

1 地质背景

焉耆盆地位于南天山造山带东部,是在海西期褶皱基底上形成的中生代沉积盆地,面积 $1.3 \times 10^4 \text{ km}^2$ (图 1)。盆地具有两坳一隆的构造格局,自南而北划分为博湖拗陷、焉耆隆起、和静拗陷三个一级构造单元。盆地沉积盖层由中生界三叠系、侏罗系,新生界第三系、第四系组成,侏罗系是其主要勘探目的层。博湖拗陷是侏罗系的主要沉积和保存区,分布面积约

3500 km^2 。根据侏罗系残存情况及构造发育特征,可将其进一步划分为南部凹陷、中央断裂隆起构造带和北部凹陷。

2 烃源岩类型及空间展布

焉耆盆地中生代以来共经历三次较大规模的湖侵,对应地出现三次聚煤期,形成三套含煤和炭质泥岩组成的岩性组合。这三次湖侵是三叠纪、侏罗纪八道湾中晚期和侏罗纪三工河晚期—西山窑期,以后两期为主。

沉积相研究表明,侏罗系以河流相、三角洲相和滨浅湖相为主,尤以滨湖沼相广泛发育。纵向上各层组继承性沉积较好,反映湖盆由浅变深,再由深变浅的完整沉积旋回。其中八道湾组和西山窑组沉积时,湖盆水体较浅,主要以沼泽相沉积为主,煤岩较发育;而三工河组沉积时,湖盆水域开阔,以浅湖相沉积为主,泥岩比较发育,且以博湖拗陷南部凹陷残存厚度大。

根据煤系地层的生烃条件及有机岩显微组分组成特征研究,本区侏罗系各统、群、组煤系泥岩、炭质泥岩和煤均有一定的生烃条件,都属源岩范畴。煤和炭质泥岩的平面展布呈很好的相似性(图 2、3),侏罗系八道湾组是盆地最主要的聚煤层位,分布广,面积约 5050 km^2 ,厚度大,以宝中构造最厚,煤和炭质泥岩分别达 48.5 m 和 59 m(焉参 1),沿南北方向迅速减薄;西山窑组为盆地最后一次聚煤期,分布略比八道湾组

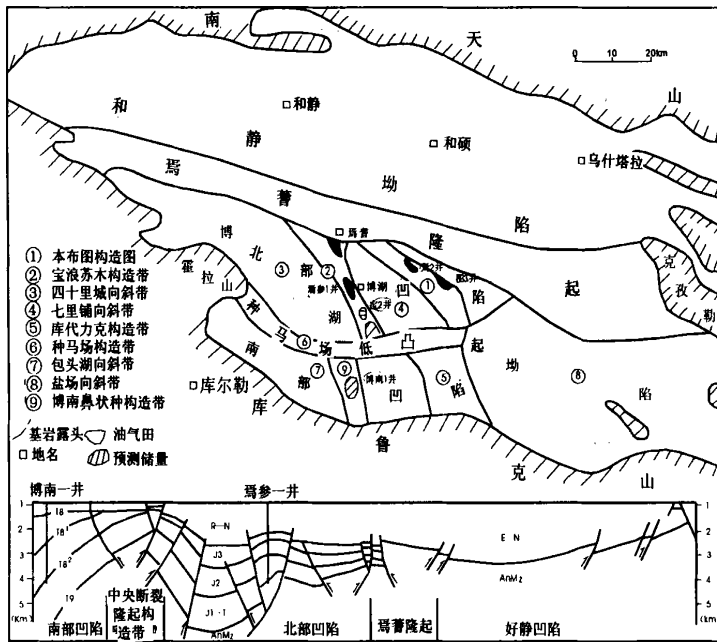


图1 焉耆盆地构造单元划分图

Fig. 1 Tectonic units of Yanqi Basin

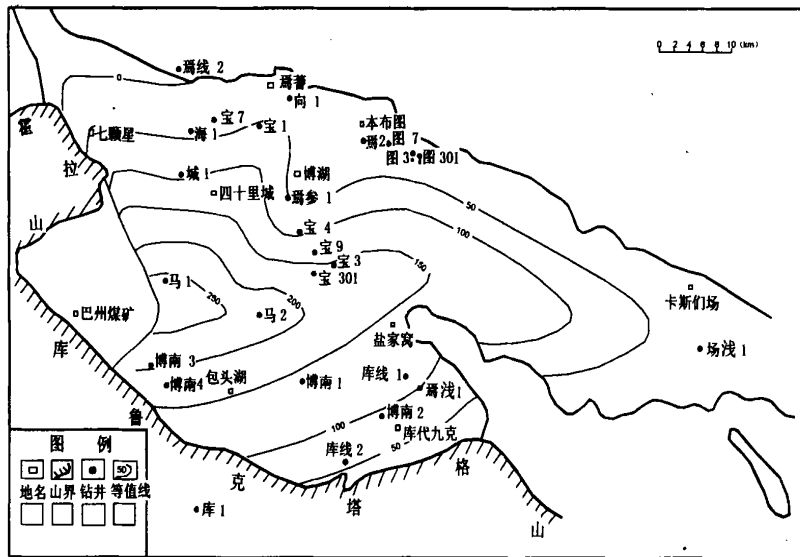


图2 焉耆盆地侏罗系碳质泥岩厚度分布图

Fig. 2 Isopach map of Jurassic Carbonaceous mudstone of Yanqi Basin

容,约 1 500 km²,其中北部凹陷聚煤中心在宝浪苏木构造带上的焉参 1 井附近,(煤厚 45 m,炭质泥岩厚 35.5 m),向四周变薄。盆地中部中央隆起因西山窑组剥蚀殆尽而无源岩,而南部凹陷在库浅 1 井也见较厚煤岩发育。三工河组煤和炭质泥岩并不发育,仅在局部地区有分布,如北部凹陷宝 7 井煤层厚 5.5 m,城 1 井炭质泥岩厚 10.5 m。

泥质烃源岩分布则有其相对的独立性(图 4)。八道湾组泥质烃源岩主要分布在四十里城一包头湖和七里铺两个次级凹陷,最大厚度 350 m,坳陷东部库木布拉克一带,八道湾组泥质烃源岩厚度变薄,一般厚度仅有 50~100 m,实际上,八道湾组的生烃中心还在西部,主要是四十里城一包头湖凹陷。三工河组泥质烃源岩主要分布在四十里城、七里铺和包头湖三个凹陷,

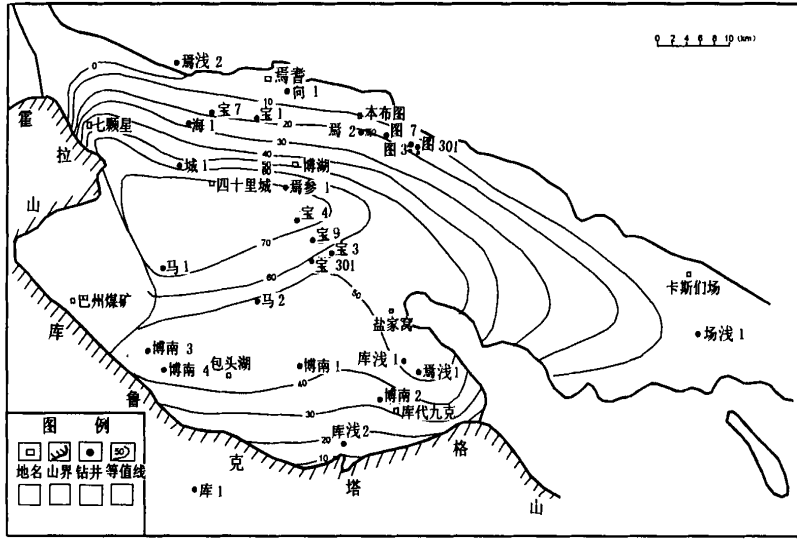


图 3 焉耆盆地侏罗系煤厚度分布图

Fig. 3 Isopach map of Jurassic coal of Yanqi Basin

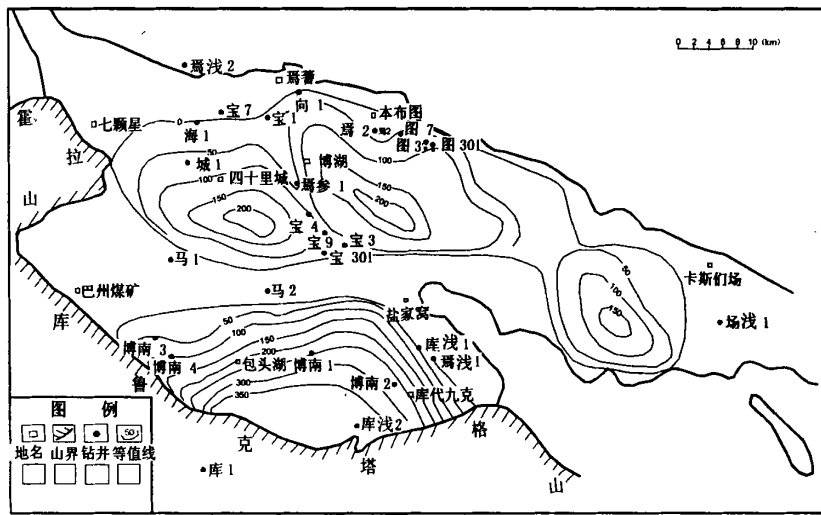


图 4 焉耆盆地侏罗系泥岩烃源岩厚度分布图

Fig. 4 Isopach map of Jurassic argillaceous source rocks of Yanqi Basin

最大厚度均为 250 m, 其厚度变化总趋势基本上与八道湾组相同。西山窑组泥质烃源岩主要发育于坳陷西部, 尤其是西南部包头湖凹陷厚度达 350 m。总之, 博湖坳陷各类烃源岩从厚度分布来看, 泥质烃源岩西部优于东部, 南部优于北部, 但炭质泥岩烃源岩和煤层在南、北凹陷差异并不明显(表 1)。

3 煤系源岩有机显微组分组成及生烃机理

3.1 显微组分组成

由于煤岩和泥岩的显微组分组成具有较强的非均

质性, 各组分的平均值不能确切反映特定煤岩和泥岩的显微组分组成的数值分布特征。一般采用镜质组、惰性组、壳质组+腐泥组三角图表示的显微组分组成更能客观地描述不同煤系的显微组分组成的数值分布。焉耆盆地侏罗纪煤岩显微组分组成表现出富镜质组—惰性组、贫壳质组+腐泥组的特点, 而泥岩的显微组分组成表现出贫惰性组、富镜质组—壳质组+腐泥组的特点。

煤岩显微组分组成平均值: 镜质组 72.0%, 惰性组 19.4%, 壳质组+腐泥组 8.6%; 泥岩显微组分组成平均值: 镜质组 59.5%, 惰性组 14.5%, 壳质组+腐泥

表1 焉耆盆地探井有效烃源岩厚度及有效厚度百分比表

Table 1 Thickness of efficient source rocks and efficient thickness percentage of exploration wells in Yanqi Basin

层位	岩性	焉参1井		宝1井		焉2井		城1井		博南1井		场浅1井		有效百分比/%		
		有效厚度/m	百分比/%	有效厚度/m	百分比/%	有效厚度/m	百分比/%	有效厚度/m	百分比/%	有效厚度/m	百分比/%	有效厚度/m	百分比/%	北部凹陷	南部凹陷	
西山窑组	烃源岩	泥岩	27	27.27			41.5	45.82	104	41.94	236	48.8			40	50
		炭质泥岩	25				9.5		16.5		10					
		煤岩	36		3.5		28.5		30.5		7					
	暗色泥岩总厚	95.5		4		85		248		484						
三工河组	烃源岩	泥岩	84	56.57	23	24.73	39.5		85.5	39.49	249	52.4			45	50
		炭质泥岩	5.5		7		6.5		8.5		31.5					
		煤岩	2.5		8		5				4					
	暗色泥岩总厚	148.5		93		67		216.5		475.5						
八道湾组	烃源岩	泥岩	159.5	60.88			26.5		86.5	52.74	146	59.6			54	60
		炭质泥岩	20.5		17.5		4		10.5		12		1.5			
		煤岩	54		7.5		4		1		33					
	暗色泥岩总厚	262		71		53.5		164		245						
合计	烃源岩	泥岩	270.5		23		107.5		276		631		0			
		炭质泥岩	51		86.5		20		35.5		53.5		1.5			
		煤岩	92.5		19		37.5		31.5		44		0			
	暗色泥岩总厚	506		168		205.5		628.5		1204						

组26.0%。在显微组分的分布形式中,镜质组—惰性组组合和过渡组合连在一起,呈明显的带状分布(图5)。泥岩显微组分组成的分布同样比较分散,没有明显的中心,但明显偏于镜质组—壳质组+腐泥组的组合,也有部分数据分布于镜质组—惰性组组合中(图6),反映了沉积环境和生源物质的多样性。

与吐哈盆地相比,其壳质组+腐泥组的含量稍低,一般不超过25%;镜质组含量相似,但焉耆盆地镜质组中含有高含量的基质镜质体(表2)。

3.2 生烃机理

前已述及,焉耆盆地煤系有机质主要有三种显微组分组合形式,而不同显微组分具不同的倾气倾油性。表3为焉耆盆地煤系的倾气倾油性评价指标。

随着镜质组含量降低和惰性组含量增加,煤系由

倾油转向倾气,通过对博南1井、城1井、马1井部分样品生烃潜力的核磁共振研究,进一步证实这个结论(表4),这不仅是因为显微组分组成上的变化,而且与显微组分不同分布形式所代表的聚煤环境的差异有关。大量研究资料表明,富氢的显微组分才是成烃的物质基础^[2-5]。显微组分的富氢性,在光学显微镜下经紫外线激发便显示出荧光性,荧光越强,其生烃潜力也越大;显微组分可见荧光的消失,标志着该显微组分生油的结束,进入产气为主的阶段。显微组分中具有荧光性的一般有壳质组、腐泥组和富氢的基质镜质体。

镜质组是焉耆盆地侏罗系煤系的主要显微组分,而基质镜质体B在镜质组中占主导地位,其含量占整个镜质组的21.2%~86.7%,平均为48.2%,尤其在八道湾组大量富集。对焉耆盆地侏罗系的烃源岩而

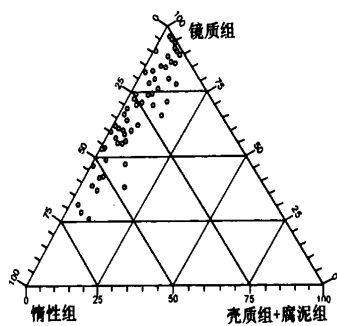


图5 焉耆盆地侏罗纪煤显微组成三角图

Fig. 5 Triangular diagram of Jurassic maceral constituent of Yanqi Basin

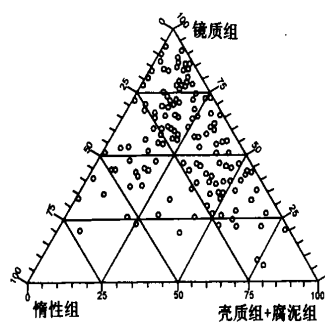


图6 焉耆盆地侏罗纪泥岩显微组成三角图

Fig. 6 Triangular diagram of Jurassic argillaceous rocks of Yanqi Basin

表2 焉耆盆地与新疆地区重要煤系烃源岩显微组分组成的比较

Table 2 Comparison of important coal maceral constituent composition between Yanqi Basin and Xinjiang regions

地区	层位	岩性	镜质组/ %	惰质组/ %	壳质组+腐泥组/ %
吐哈盆地	侏罗系	泥岩	4.8~97.0/50.1	0~96.0/11.0	3.0~94.6/38.9
		煤岩	4.8~98.4/74.0	0~67.4/15.2	0~94.6/10.7
三塘湖盆地	侏罗系	泥岩	0~100/55.8	0~8.3/14.2	0~100/29.9
		煤岩	12.5~95.9/69.2	0~53.9/15.5	1.0~75.5/15.3
焉耆盆地	侏罗系	泥岩	21.1~96.0/72.0	0~65.9/19.4	0~64.1/8.6
		煤岩	6.4~94.2/59.5	0~71.8/14.5	0~78.1/26.0

注: 范围/平均植

表3 焉耆盆地侏罗纪煤系烃源岩倾气倾油性评价

Table 3 Assessing on gas-prone and oil-prone property of Jurassic coal measure source rocks in Yanqi Basin

显微组分组 成分布形式	显微组成/ %			富氢程度		倾油或倾 气性评价
	镜质组	惰质组	壳质组+ 腐泥组	H/C 原子比	氢指数 / mg/g	
镜质组—壳质组+ 腐泥组组合型	< 80	< 5	> 10	> 0.9	> 250	倾油
过渡组合型	60~80	5~35	5~15	0.8~0.9	200~250	过渡
镜质组—惰性组 组合型	< 60	> 35	< 5	< 0.8	< 200	倾气

表4 焉耆盆地部分样品的¹³C NMR组成及其与显微组成的关系Table 4 Some samples of ¹³C NMR composition and its relationship with maceral constituent in Yanqi Basin

井号	深度/m	层位	岩性	芳构 碳	脂构 碳	油潜 力碳	气潜 力碳	镜质 组	惰质 组	壳质组+ 腐泥组
博 南 1 井	1472	三间房组	浅灰色粉砂质 泥岩(炭屑)	0.785	0.215	0.1055	0.1095	20.3	1.6	78.1
	2053	西山窑组	深灰色泥岩	0.7208	0.2792	0.2237	0.0555	46.5	24.3	29.2
	2818	三工河组	深灰色泥岩	0.6244	0.3756	0.1809	0.1948	21.6	18.4	60.0
	3500	八道湾组	煤岩	0.689	0.311	0.219	0.092	90.0	10.0	
城 1 井	2073~2082	西山窑组	灰色泥岩	0.69	0.31	0.1527	0.1573	55.0	28.3	16.7
	2392		煤岩	0.6336	0.3664	0.1849	0.1816	73.6	19.6	6.8
	2685~2693	三工河组	灰色泥岩	0.6633	0.3367	0.1992	0.1375	63.5	20.7	14.0
马 1 井	3185.58	八道湾组	黑色炭质泥岩	0.6825	0.3175	0.1901	0.1274	91.2	1.9	6.9
	824		黑色炭质泥岩	0.6452	0.3548	0.1928	0.162	43.0	3.8	53.2
	1047		煤岩	0.6919	0.3081	0.1736	0.1345	91.5	8.0	0.5
井	1714.54		炭质泥岩	0.7359	0.2641	0.1513	0.1128	100.0		

言, 煤的生烃潜力不但取决于壳质组和腐泥组的数量, 而且取决于富氢镜质组的数量。

焉耆盆地侏罗系煤中角质体富集成层, 薄壁角质体含量很高。有的样品角质体含量达 20%~30%, 薄壁角质体占整个角质体含量的 64%~95%。高含量的薄壁角质体是研究区西山窑组煤和泥岩荧光组分组成的特征之一, 也是西山窑组的主要生烃组分之一。研究区煤和泥岩中常见的壳质组组分, 以小孢子体为主, 一般小于 100 μm, 荧光正变化, 表明其生烃性较好。矿物沥青基质在该区侏罗系煤和泥岩中均有, 尤以八道湾组的泥岩中较为富集, 是研究区侏罗系特别是八道湾组炭质泥岩主要生烃组分之一。

4 烃源岩的有机地球化学特征

4.1 有机质丰度

煤系泥岩有机碳含量普遍高于湖相泥岩, 但其生烃潜力、可溶有机质及其总烃含量却比具同等有机碳含量的湖相泥岩低, 所以评价煤系泥岩的有机碳丰度时, 不能沿用湖相泥岩的评价标准。因此, 在评价煤系泥岩、炭质泥岩和煤岩时, 应分别采用其新的划分标准^[2-5]。

以盆地已钻探井化验分析资料为基础, 对博湖坳陷八道湾组、三工河组和西山窑组煤系泥岩和煤岩的有机质丰度进行了统计(表5)。

根据煤系烃源岩有机质丰度评价标准^[2~5], 评价结果为: 侏罗系煤系泥岩属于中—好烃源岩, 占该类样品总数的 50%~60%, 差—非烃源岩, 占该类样品总数的 40%~50%; 炭质泥岩属于中等烃源岩, 占该类样品总数的 45%, 差烃源岩占该类样品总数的 30%; 煤岩 55%~65% 属于差烃源岩, 中等烃源岩仅占 30%。在侏罗系各层组烃源岩中, 下侏罗统八道湾组是本区最主要的烃源岩层, 生烃条件最好, 其次是中侏罗统西山窑组、下侏罗统三工河组相对较差。而上述三种岩性中, 煤系泥岩优于煤岩和炭质泥岩, 但煤岩和炭质泥岩因有机质丰度高而生烃潜力也较大, 其对油气生成的贡献不可忽视。

4.2 有机质母质类型

根据干酪根碳同位素、元素组成和烃源岩氢、氧指

数分布特征, 对博湖坳陷侏罗系烃源岩干酪根进行研究(表 6)。

4.2.1 干酪根碳同位素组成

西山窑组干酪根碳同位素数据较少, 泥岩干酪根样品仅有 6 个, 其平均值 -23.4‰, 集中分布在 -23‰~-24‰之间; 煤岩和炭质泥岩干酪根样品有 5 个, 分布在 -23.2‰~-23.9‰之间, 平均值为 -23.5‰, 与泥岩干酪根的值相差不大, 均属于 II 型母质^[6]。三工河组泥岩干酪根样品的碳同位素值比西山窑组泥岩的值稍低, 平均为 -23.9‰, 其主要分布区间为 -24~-25‰; 煤及炭质泥岩干酪根样品仅 4 个, 分布在 -23.2‰~-23.8‰之间, 其平均值稍低于泥岩, 为 -24.1‰, 因此, 三工河组泥岩、煤及炭质泥岩也属于 III 型母质^[6]。八道湾组泥岩干酪根样品的碳同位素

表 5 焉耆盆地泥岩、炭质泥岩、煤岩有机质丰度统计表(1)

Table 5 Statistics of organic abundance of argillite, carbonaceous mudstone and coal in Yanqi Basin(1)

层位	岩性	有机碳/%			生烃潜力/(mg/g)				
		样品数	最小值	最大值	平均值	样品数	最小值	最大值	平均值
西山窑组	煤系泥岩	7	0.36	5.68	2.31	7	0.42	12.6	4.46
	炭质泥岩	4	12.47	29.25	20.48	4	1.86	78.29	42.6
	煤岩	10	44.86	74.02	57.85	10	87.79	144.98	92.24
三工河组	煤系泥岩	42	0.22	5.21	1.78	42	0.17	15.23	3.54
	煤系泥岩	38	0.27	5.92	2.59	39	0.29	35.11	7.39
八道湾组	炭质泥岩	19	6.02	68.86	18.09	19	5.66	170.77	55.44
	煤岩	20	40.36	71.63	53.14	20	45.41	222.69	152

表 5 焉耆盆地泥岩、炭质泥岩、煤岩有机质丰度统计表(2)

Table 5 Statistics of organic abundance of argillite, carbonaceous mudstone and coal in Yanqi Basin(2)

层位	岩性	氯仿沥青“A”/%			总烃/ $\times 10^{-6}$				
		样品数	最小值	最大值	平均值	样品数	最小值	最大值	平均值
西山窑组	煤系泥岩	4	0.010	0.066	0.404	4	36	225	117
	炭质泥岩	2	0.020	0.220	0.120	2	77	783	430
	煤岩	6	0.590	1.490	0.993	6	2850	4556	3773
三工河组	煤系泥岩	20	0.005	0.090	0.034	20	19	246	98
	煤系泥岩	14	0.010	0.630	0.098	14	29	1630	329
八道湾组	炭质泥岩	7	0.430	1.595	0.940	7	879	4903	3322
	煤岩	10	0.721	2.845	1.970	10	2609	7310	6517

表 6 有机质类型划分方案

Table 6 Divison criteria on types of organic matters

参 数	I 腐泥型	II ₁ 腐植—腐泥型	II ₂ 腐泥—腐植型	III 腐植型
H/C(原子比)	> 1.5	1.5~1.2	1.2~0.8	< 0.8
O/C(原子比)	< 0.1	0.1~0.2	0.2~0.3	> 0.3
$\delta_{13}C$ /‰	< -28	-28~-26	-26~-25	> -25
IH/(mg/g)	> 600	600~350	350~100	< 100
IO/(mg/g)	< 50	50~150	150~400	> 400
降解率 D/%	> 50	50~30	30~10	< 10

值相比三工河组又稍低, 平均值为 -24.1% , 主要分布区间为 -23% ~ -25% , 此外, 还有部分样品的值小于 -25% , 反映八道湾组泥岩大部分仍属于II型母质, 少部分(约占 10%)属于II₂型母质^[6]。与泥岩相比较, 八道湾组煤及炭质泥岩干酪根的碳同位素值又偏低, 20个样品的平均值小于 -24% , 主要分布在 -24% ~ -26% , 部分样品小于 -26% , 反映八道湾组煤及炭质泥岩的有机质类型部分属于II型母质, 部分属于II₂型母质, 还有少部分属于II₁型母质^[6]。

通过对上述三个层组各类源岩的干酪根碳同位素值的分析讨论, 可以看出: ①三个层组中以八道湾组有机质类型最好, 其源岩虽然大部分属于II型母质, 但部分属于II₂型母质, 甚至II₁型母质, 而三工河组和西山窑组基本上属于II型母质; ②同一层组中, 煤及炭质泥岩碳同位素值稍低于泥岩, 反映煤及炭质泥岩的有机质类型稍好于其同层组的煤系泥岩。

4.2.2 烃源岩干酪根C、H、O元素组成

图7是博湖坳陷侏罗系西山窑组、三工河组及八道湾组各类烃源岩的H/C、O/C原子比相关图。这三张图反映出博湖坳陷侏罗系绝大部分源岩的H/C原子比小于0.8, O/C原子比小于0.15, 为II型母质, 只有少部分源岩的H/C原子比大于0.8, 但也小于1.0, 属于II₂型母质^[6], 这一点与干酪根碳同位素所反映的结论大致一样。上述三个层组比较而言, 还是以八道湾组为好, 但煤岩及炭质泥岩比泥岩有机质类型稍好的现象在八道湾组不太明显, 在三工河组和西山窑组还是有所表现, 这可能与八道湾组源岩的热演化程度相对较高有关。

4.2.3 烃源岩氢、氧指数分布特征

侏罗系泥岩氢、氧指数分布范围较大, 氢指数分布在 $2\sim 266\text{mg/g TOC}$, 氧指数分布在 $3\sim 183\text{mg/g TOC}$ 之间(图8), 降解率也均小于 30% , 反映泥岩的有机质类型为II₂~II型。煤的氢指数分布在 $100\sim 300\text{mg/g}$

TOC, 明显比大部分泥岩的类型好, 是本区一类重要的烃源岩。通过上述分析, 可以看出各种资料所反映的结果比较一致, 即焉耆盆地侏罗系烃源岩有机质类型主要为II型, 只有八道湾组部分泥岩为II₂、II₁型, 但数量较少。按有机质类型评价侏罗系各层组烃源岩的优劣顺序依次为八道湾组、西山窑组、三工河组。同一层组中, 煤岩和炭质泥岩有机质类型稍好于煤系泥岩。

4.3 有机质热演化特征

煤系烃源岩有机质的成烃演化和湖相烃源岩一样, 遵循随埋深增加或温度升高而加深, 有机质地球化学参数呈规律性变化^[2-5]。

4.3.1 北部凹陷

焉参1井和城1井侏罗纪煤和泥岩的 R_o 大部分集中在 0.6% ~ 0.9% 之间, 随埋深的增加, R_o 逐渐增加, 与埋深的线性关系比较明显。根据钻井揭示, 宝浪苏木构造带中生界连续沉积, 地层保存完整, 焉参1井烃源岩热演化剖面可代表该构造带的有机质演化规律, 其热演化阶段划分为:

低熟阶段: 烃源岩埋深在 $2\ 000\sim 2\ 750\text{m}$, 相当于中侏罗统的西山窑组和下侏罗统的三工河组, R_o 在 0.6% ~ 0.7% 之间, 有机质已进入生烃门限($R_o > 0.5\%$), 表征有机质的热演化参数开始有规律的变化。在此阶段煤系烃源岩有机显微组分中基质镜质体、角质体等正处在生烃高峰, 构成煤系烃源岩的第I个生油高峰期。

成熟阶段: 烃源岩埋深在 $2\ 760\sim 3\ 730\text{m}$, 相应层位是下侏罗统的八道湾组和中上三叠统的小泉河群, R_o 值在 0.75% ~ 0.90% 之间, 正构烷烃OEP值在1.0左右, 甾烷 $C_{29}S/R+S$ 保持在 $0.40\sim 0.50$ 之间变化, 烃源岩已进入热降解成烃的油气兼生阶段, 液态烃大量生成, 构成煤系烃源岩的第II个生油高峰期。

4.3.2 南部凹陷

南部凹陷的博南1井和种马场构造带的马1、马2

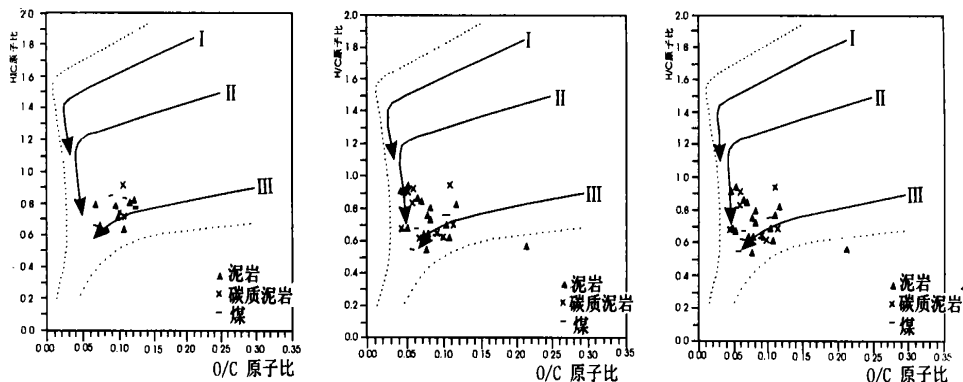


图7 西山窑组(左)、三工河组(中)和八道湾组(右)烃源岩的H/C与O/C原子比关系图

Fig. 7 Relationship of H/C and O/C atom ratio of source rocks from Xishanyao, Sangonghe, Badaowan Formation

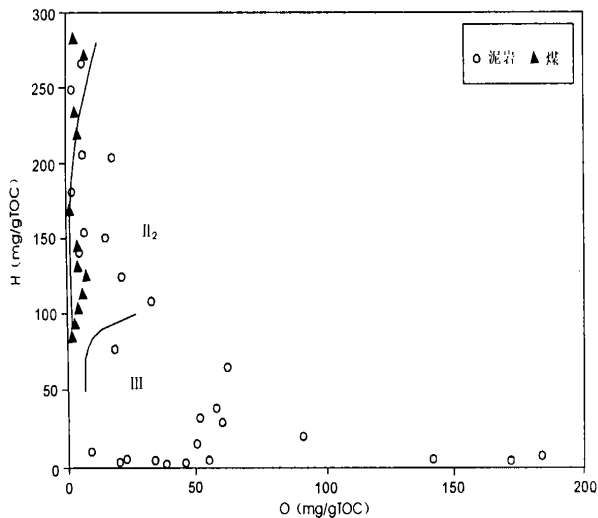


图8 博湖坳陷烃源岩的氢、氧指数相关图

Fig. 8 Relationship of hydrogen and oxygen index of source rocks of Bohu Depression

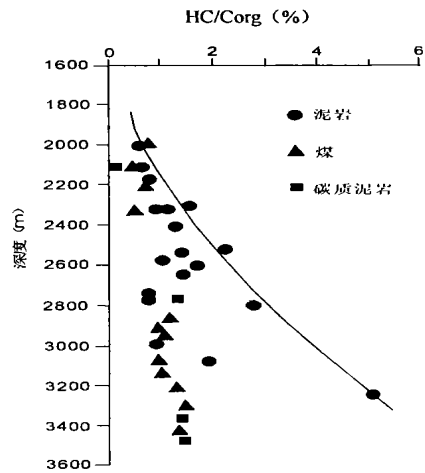


图9 焉参1井中下侏罗统各类源岩的烃转化率

Fig. 9 Hydrocarbon transformation ratio of Middle and Lower Jurassic source rocks

井 R_o 值变化在0.6%~1.0%之间,随埋深的增加, R_o 值逐渐增大。马1井的西山窑组和三工河组中上段剥蚀殆尽,烃源岩主要分布在三工河组下段与八道湾组。由该井有机质热演化剖面可知, R_o 值随埋深增加而增大,呈良好的线性关系,在井深822.8 m时, R_o 值已达0.72%;饱和烃质分析结果表明,该井自上而下生物标志物的构型转化已趋于稳定,甾烷 $C_{29}S/R+S$ 在0.41~0.46之间, C_{30} 莫烷/藿烷在0.08~0.22之间, $C_{29}S/R$ 在1.12~1.52之间变化,表明该区烃源岩已进入成熟阶段。

4.3.3 源岩的烃转化特征

由焉参1井煤系泥岩、炭质泥岩和煤埋深的烃转化率曲线(图9)可以看出,地层埋深1991 m进入侏罗西山窑组后,源岩 R_o 值已达0.60%,表明该井已进入成烃门限,开始大量生烃,此深度的转化率仅0.6%,直到埋深3248 m,源岩 R_o 值达0.9%,接近生烃高峰,烃转化率达4.89%。值得提出的是,焉参1井不同埋深的煤和炭质泥岩烃转化率变化不大,一般在1~1.5%左右,这一结果表明,该区煤和炭质泥岩的烃转化率低于泥岩。宝1井也存在相同的趋势,在2165 m进入侏罗系后,虽然其源岩的热成熟度 R_o 值已达0.6%,但烃转化率仍小于1%,而随着埋藏深度增加,热成熟度增高, R_o 值变大,烃转化率亦在增大,在埋深3000 m处,泥岩 R_o 值增至0.8%,烃转化率高达2.5%,此深度煤的烃转化率亦增至1.35%,但总趋势仍低于泥岩。

5 结论

通过系统研究焉参盆地中下侏罗统各层组煤、炭

质泥岩和煤系泥岩的有机显微组分组成及其荧光特征,分析了本区中下侏罗统成烃母质的生烃机理和倾油、倾气性,指出煤成烃主要贡献组分是基质镜质体,提出本区与吐哈盆地具相类似的“过渡型”特点,即这套煤系源岩即能生成部分原油,又能生成一定数量的天然气,目前以油为主的原因主要受热成熟度控制。而对中下侏罗统各烃源岩类有机质丰度及生烃潜力研究证明,下侏罗统八道湾组、三工河组和中侏罗统西山窑组的煤系泥岩、炭质泥岩及煤均有部分达到源岩标准。无论煤系泥岩、炭质泥岩及煤均属典型的腐殖型母质,仅有部分炭质泥岩和泥岩可达腐泥—腐殖型母质。层系上以下侏罗统八道湾组为最优,岩性上以煤系泥岩贡献最大。从有机质热演化特征来看,博湖坳陷南、北凹陷现今都处在生油阶段,但北部凹陷存在两个主要生油期,南部凹陷只有一个生油期。

参考文献(References)

- 1 黄第藩,张大江,李晋超,黄晓明.吐鲁番盆地侏罗系煤系中烃类的生成[A].见:黄第藩等.煤成油地球化学新进展[C].北京:石油工业出版社,1992.52~72[Huang Difan, Zhang Dajiang, Li Jinchao, et al. Hydrocarbon formation of Jurassic coal measure strata of Turpan Basin[A]. In: Huang Difan, et al, eds. New progress of coal-derived-petroleum geochemistry[C]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1992. 52~72]
- 2 程克明主编.吐哈盆地油气生成[M].北京:石油出版社,1994.5~170[Cheng Keming, et al. Petroleum generation of Turpan-Hami Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1994. 5~170]
- 3 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,1995.234~252[Huang Difan, Qin Kuangming, Wang Tieguan, et al. Formation and mechanism of coal-derived

- petroleum[M] . Beijing: Petroleum Industry Press, 1995. 234 ~ 252]
- 4 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[Wu Tao, Zhao Wenzhi. Formation and distribution of coal measure oil field in Turpan-Hami Basin[M] . Beijing: Petroleum Industry Press, 1997]
- 5 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. 56 ~ 334[Wang Changgui, Cheng Kem-
ing, Xu Yongchang, *et al.* Coal-derived hydrocarbon geochemistry of Turpan-Hami Basin[M] . Beijing Science Press, 1998. 56 ~ 334]
- 6 胡见义, 黄第藩等著. 中国陆相石油地质理论基础[M] . 北京: 石油工业出版社, 1991[Hu Jianyi, Huang Difan, *et al.* The basis of nonmarine petroleum theory of China[M] . Beijing: Petroleum Industry Press, 1991]

Assessing on Source Rocks in Jurassic Coal Measure and Study on Hydrocarbon Generation Mechanism in Yanqi Basin

YAO Ya-ming^{1,2} LIU Chi-yang¹ ZHAO Zeng-lu² ZHAO Xu-hua²
FU Dai-guo² QIAO Gui-lin² YAN Yong-xin²

1(Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069)

2(Henan Petroleum Exploration Bureau, Nanyang Henan 473132)

Abstract Based on the geochemical analysis of dark argillite, carbonaceous mudstone and crude oil samples, the tectonic and sedimentary characteristics has also been studied. The type of source rocks, organic maceral constituent of coal measure source rocks, hydrocarbon generation mechanism and organic abundance, type and maturity characteristics have been analyzed. The result shows that the type of source rocks are typical humics and the coal measure argillite, carbonaceous mudstone and coal of Badaowan Formation, Sangonghe Formation and Xishanyao Formation could produce hydrocarbon, especially in Badaowan and it is the main source rocks. There existed the processes of hydrocarbon formation in both south sag and north sag in Bohu depression. One stage of hydrocarbon generation existed in south sag and two stages in north sag.

Key words Jurassic, coal measure strata, coal measure source rocks, maceral constituent, hydrocarbon generation mechanism