

文章编号:0253-9985(2012)03-0399-08

焉耆盆地博湖坳陷侏罗系烃源岩地化特征及生烃潜力

石正勇,严永新,金芸芸,张 辉

(中国石化 河南油田分公司 石油勘探开发研究院,河南 南阳 473132)

摘要:应用有机地球化学的多种分析方法,对焉耆盆地博湖坳陷中、下侏罗统西山窑组(J_2x)、三工河组(J_1s)和八道湾组(J_1b)煤系烃源岩进行评价。分析表明,其烃源岩有机质丰度都比较高,西山窑组和三工河组评价为中等生油岩,八道湾组评价为好生油岩;有机质类型以Ⅲ型干酪根为主,辅以少量的Ⅱ₂型;大多数有机质都处于生油门限内,其中西山窑组处于低熟阶段,三工河组烃源岩部分达到成熟阶段,八道湾组烃源岩基本都处于成熟阶段、为油气生成高峰期。通过对三大生烃次凹及三个层组生烃能力的对比研究,确立了八道湾组是焉耆盆地区域性主力烃源岩的地位;同时指出,七里铺次凹的三工河组烃源岩有机质丰度高、类型稍好、热演化程度适中,和八道湾组类似也具备较大的生烃能力,是七里铺次凹气源的有力补充。结合近年勘探成果,指出七里铺次凹两侧的构造高部位及斜坡带是勘探的有利区带。

关键词:地化特征;生烃潜力;煤系烃源岩;侏罗系;博湖坳陷;焉耆盆地

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

Geochemical characteristics and hydrocarbon generation potential for the Jurassic source rocks of Bohu depression in Yanqi Basin

Shi Zhengyong, Yan Yongxin, Jin Yunyun and Zhang Hui

(Exploration and Development Research Institute, SINOPEC Henan Oilfield Company, Nanyang, Henan 473132, China)

Abstract: This paper evaluated the coal measure source rocks of the Middle and Lower Jurassic Xishanyao Formation, Sangonghe Formation and Badaowan Formation in Bohu depression in Yanqi Basin by using many organic geochemical methods. The results showed that the source rocks are higher in abundance of organic matter. The Lower Jurassic Badaowan Formation is good source rock, while the Xishanyao and Sangonghe formations are moderate source rock. The types of organic matter are dominated by kerogen III with few kerogen II₂. Most of the organic matters are within oil window. The organic matters in the Xishanyao Formation are low mature; that in the Sangonghe Formation are partly mature, and that in the Badaowan Formation are mature and in peak oil-generation stage. By comparison of the hydrocarbon generation capacity of the three subsags and the three Formations, the Badaowan Formation is identified as the main source rocks in Yanqi basin. In addition, similar with the source rocks in the Badaowan Formation, the source rocks in the Sangonghe Formation of Qilipu subsag also have high TOC, good organic matter type, suitable thermal maturity, thus have great potential for hydrocarbon generation. According to exploration experiences in recent years, the area along both sides of the structural highs and slope zones of Qilipu subsag is favorable exploration play.

Key words: geochemical characteristics, hydrocarbon generating potential, coal measure source rock, Jurassic, Bohu depression, Yanqi Basin

收稿日期:2011-06-13;修订日期:2012-05-08。

第一作者简介:石正勇(1983—),男,硕士研究生,石油地质及油气地球化学。

基金项目:中国石油化工股份有限公司科研项目(P10014)。

1 区域地质概况

焉耆盆地是在库鲁克塔格山和南天山海西褶皱基底上发展起来的一个中、新生代山间盆地,处于新疆塔里木、准噶尔、吐哈三大盆地之间(图1),为一长轴呈北西西向延伸的菱形盆地^[1]。博湖坳陷位于盆地的南部,可进一步细分为北部凹陷、种马场低凸起和南部凹陷3个次级构造单元^[2]。侏罗系沉积一套以滨湖、沼泽相为主的煤系地层,这是该区油气勘探的主要目的层^[3],目前已在北部凹陷的侏罗系发现多套含油气层系。博湖坳陷侏罗系煤系烃源岩包括暗色泥岩、炭质泥岩和煤岩3种岩性,它们广泛分布于中侏罗统的西山窑组及下侏罗统的三工河组和八道湾组。生烃中心位于北部凹陷的四十里城次凹、七里铺次凹以及南部凹陷的包头湖次凹,这三大次凹是烃源岩发育的重点区域。

2 烃源岩分布特征

2.1 下侏罗统八道湾组(J_1b)

博湖坳陷下侏罗统八道湾组泥岩在博湖坳陷全区连片分布。该套泥岩主要分布于北部的四十里城次凹和七里铺次凹以及南部的包头湖次凹,在沉积中心最大厚度达到400~500 m(图2);在

坳陷东部库木布拉克一带,八道湾组泥质源岩厚度变薄,一般厚度仅50~100 m。钻井揭示,四十里城次凹的城1井泥岩累计厚度为162 m,占地层比为45%;七里铺次凹的宝13井泥岩累计厚度为249 m,占地层比近50%;南部包头湖次凹的博南1井泥岩累计厚度为181 m,占地层比为55%。

八道湾组的煤岩和炭质泥岩分布以种马场构造带的马1井为中心,向四周逐渐变薄,煤岩最厚在80 m以上,碳质泥岩最厚达到300 m;但是在三大生烃次凹煤岩和炭质泥岩的累计厚度只有4~10 m。

2.2 下侏罗统三工河组(J_1s)

下侏罗统三工河组泥岩比较发育,主要分布在四十里城、七里铺和包头湖3个凹陷,七里铺次凹和包头湖次凹最大厚度均为500 m,四十里城次凹最大厚度为400 m。三工河组泥岩厚度变化总趋势基本上与八道湾组相同,西厚东薄,东部库木布拉克一带厚度仅100余米。宝13井钻遇泥岩累计厚度为384 m,占地层厚度的59%;博南1井钻遇泥岩累计厚度为435 m,占地层厚度的55%;四十里城的城1井泥岩厚度稍小,累计为222 m,占地层厚度的38%。

三工河组的煤和炭质泥岩分布较少,除了在包头湖次凹累计厚度最厚达到20 m外,在七里铺次凹和四十里城次凹都只有零星分布。

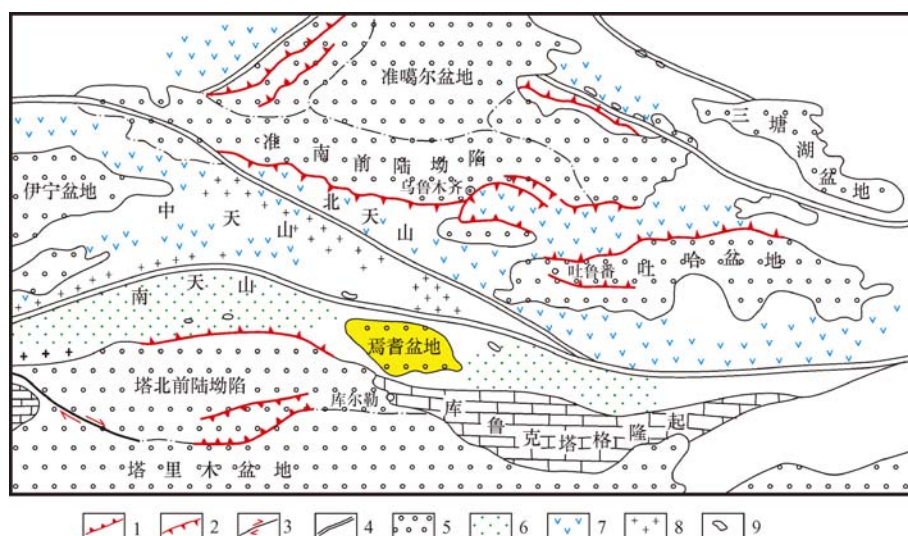


图1 焉耆盆地大地构造位置示意图

Fig. 1 Sketch map showing the tectonic location of Yanqi Basin

1. 正断层;2. 逆断层;3. 走滑断层;4. 缝合带;5. 磨拉石盆地;6. 复理石盆地;7. 火山弧;8. 岩浆弧;9. 蛇绿混杂岩;

2.3 中侏罗统西山窑组(J₂x)

中侏罗统西山窑组地层在种马场一带被剥蚀殆尽,因此西山窑组泥岩主要发育于三大次凹,尤其是南部的包头湖次凹,厚度最大达到550 m。博南1井西山窑组泥岩累计厚度达到384 m,占地层厚度的50%;其次是北部的七里铺次凹,宝13井西山窑组泥岩厚度为512 m,占地层厚度的68%,在次凹中心泥岩厚度要大于500 m;四十里城城1井钻遇西山窑组泥岩累计厚度为250 m,占地层比为56%,次凹中心最大厚度为400 m,但是在沉积中心西北方向的斜坡带上泥岩分布较少,厚度只有几十米。

西山窑组的煤岩和炭质泥岩累计厚20~50 m,主要分布在四十里城次凹和包头湖次凹。

总的来说,暗色泥岩是工区内最主要的烃源岩,在三大次凹内都较为发育,侏罗系泥岩累计厚度达千米以上。泥质烃源岩分布情况南部包头湖次凹要优于北部凹陷。北部凹陷八道湾时期在四十里城次凹泥岩最为发育;到三工河阶段,随着沉积中心的东移,七里铺次凹的泥岩在范围和厚度上都要优于四十里城次凹。

3 烃源岩地化特征及生烃潜力

3.1 有机质丰度

对侏罗系267件暗色泥岩、炭质泥岩和煤岩样品的有机质丰度统计发现,烃源岩有机碳含量(TOC)分布范围比较大。泥岩有机碳含量范围为0.22%~5.92%,其中有80%的泥岩样品有机碳含量大于0.6%,属于烃源岩的范畴。炭质

泥岩和煤岩的有机碳含量、生烃潜量、氯仿沥青“A”含量及总烃含量都较高,达到好烃源岩的范畴^[4-7]。

如表1所示,西山窑组43个暗色泥岩样品有机碳含量分布在0.23%~5.86%,均值为1.91%,其中TOC大于0.6%的样品占77%(图3),TOC大于1.3%达到中烃源岩标准的样品占到半数以上,生烃潜量也有类似的分布规律,氯仿沥青“A”含量及总烃含量均值分别为 $1\,447 \times 10^{-6}$ 和 552×10^{-6} (表1),综合评价为中等烃源岩^[8-9];三工河组81个暗色泥岩样品有机碳含量分布范围为0.22%~5.70%,均值为1.86%,其中TOC大于0.6%的样品达到85%,TOC大于1.3%的样品占到60%以上,生烃潜量的均值为4.01 mg/g,氯仿沥青“A”含量及总烃含量比西山窑组要低,综合评价为中等烃源岩;八道湾组42个暗色泥岩样品TOC分布范围为0.43%~5.92%,均值为2.88%,其中TOC大于0.6%的样品占到90%以上,TOC为1.3%以上的样品达到85%,并且半数以上的样品TOC大于2.6%,达到好烃源岩的范畴,生烃潜量也较高,均值为6.23 mg/g,氯仿沥青“A”含量及总烃含量均值分别为 923×10^{-6} 和 191×10^{-6} ,综合评价为好烃源岩。

3.2 有机质类型

有机质类型的优劣实质上就是有机质富氢程度的高低,最终表现为生烃潜力的大小。划分烃源岩有机质类型的目的是为了评价烃源岩的生烃品质。本文从干酪根显微组分特征、碳同位素组成以及元素组成3个方面对侏罗系烃源岩的有机质类型进行剖析^[10-11]。

表1 博湖坳陷中、下侏罗统煤系泥岩有机质丰度综合评价

Table 1 Comprehensive evaluation of organic matter abundance for the Middle-Lower Jurassic coal measure mudstones in Bohu depression

层位	岩性	TOC/%	(S ₁ + S ₂)/(mg · g ⁻¹)	A/10 ⁻⁶	HC/10 ⁻⁶	综合评价
J ₂ x	深灰泥岩	0.23 ~ 5.86 1.91(43)	0.33 ~ 11.16 2.67(43)	100 ~ 6 700 1 447(11)	46 ~ 2 319 552(11)	中等烃源岩
J ₁ s	深灰泥岩	0.22 ~ 5.70 1.86(81)	0.16 ~ 31.14 4.01(81)	59 ~ 2 704 587(25)	20 ~ 881 207(22)	中等烃源岩
J ₁ b	深灰泥岩	0.43 ~ 5.92 2.88(42)	0.36 ~ 35.11 6.23(42)	81 ~ 6 295 923(12)	35 ~ 656 191(11)	好烃源岩

注:表中数据为 $\frac{\text{最小值} \sim \text{最大值}}{\text{平均值(样品数)}}$ 。

J₂x 为中侏罗统西山窑组;J₁s 为下侏罗统三工河组;J₁b 为下侏罗统八道湾组。

TOC 为总有机碳含量;S₁ + S₂ 为生烃潜量;A 为氯仿沥青“A”含量;HC 为总烃含量。

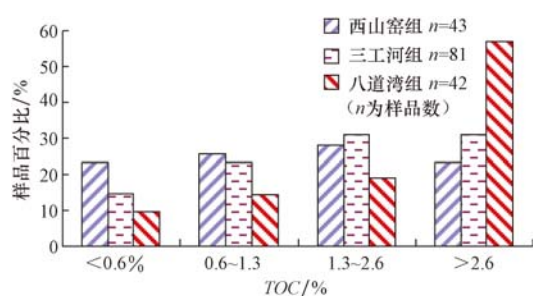


图3 博湖坳陷中、下侏罗统煤系泥岩
总有机碳(TOC)频率分布

Fig. 3 Frequency distribution of TOC in the Middle-Lower Jurassic coal measure mudstones in Bohu depression

干酪根显微组分组成特征是判别有机质类型最直观的参数。镜质组、惰性组和壳质组均系源于高等植物的有机质^[12],其中镜质组和惰性组为典型的Ⅲ型有机质,壳质组为典型的Ⅱ型有机质;而低等生源的藻类体和无定形物质为Ⅰ型有机质。博湖坳陷侏罗系烃源岩样品干酪根类型指数(TI)大部分都小于0,只有3个样品的TI值在0~40,表明焉耆盆地侏罗系有机质类型以Ⅲ型为主,类型较差,深部的八道湾组有少量的Ⅱ₂型,类型稍好。

干酪根的稳定碳同位素值($\delta^{13}\text{C}$)取决于生物母质类型,在热演化过程中变化较小,表现出相对的稳定性,是划分有机质类型的有效手段之一。大量的研究实例表明,富含木质素、纤维素的高等植物有机质比低等植物构成的有机质富含重的稳定碳同位素。一般来说,Ⅲ型干酪根 $\delta^{13}\text{C}$ 值大于-25‰。对博湖坳陷侏罗系28件干酪根样品进行碳同位素分析(图4), $\delta^{13}\text{C}$ 分布范围为-22.3‰~-25.1‰,均值为-23.7‰,干酪根碳同位素偏重,指示为Ⅲ型有机质。

一般来说,Ⅰ型干酪根具氢含量高和氧含量低的特征,H/C原子比介于1.25~1.75,O/C原子比介于0.026~0.12;而Ⅲ型干酪根具氢含量低和氧含量高的特征,H/C原子比介于0.46~0.93,O/C原子比介于0.05~0.30。如H/C-O/C原子比图版(图5)所示,大部分散点都落在Ⅲ型干酪根区域内,少部分八道湾组的干酪根散点落在Ⅱ型区域。

总体来看,博湖坳陷侏罗系有机质类型以Ⅲ型为主,类型较差,具有典型的煤系地层特征;下侏罗统八道湾组有机质有部分Ⅱ₂型,类型稍好。这与其滨湖-沼泽相沉积环境是相一致的,物源以陆生高

等植物来源为主,辅以少量的低等水生生物。

3.3 有机质热演化程度

烃源岩中的有机质只有在埋藏深度足够大,当温度升高到一定值时,才开始大量转化成石油。评价一个至今未达到生油门限的烃源岩是没有意义的,即使有机质丰度和类型俱优,也不可以成为有效烃源岩^[13-14]。

镜质体反射率(R_o)是公认的度量陆相有机质

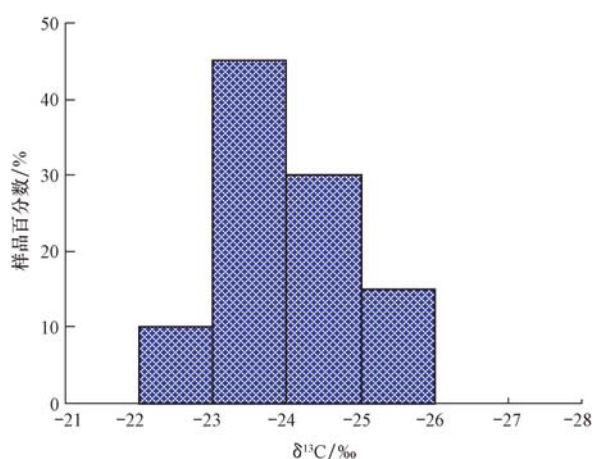


图4 博湖坳陷中、下侏罗统烃源岩稳定碳同位素($\delta^{13}\text{C}$)频率分布

Fig. 4 Frequency distribution of stable carbon isotopes for the Middle-Lower Jurassic coal measure source rocks in Bohu depression

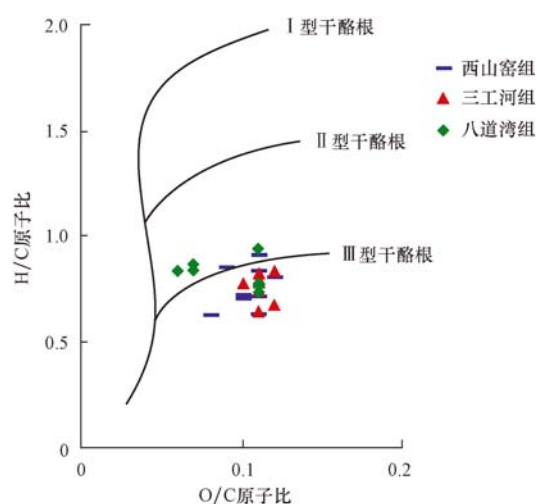


图5 博湖坳陷中、下侏罗统烃源岩 H/C-O/C 原子比图版

Fig. 5 Atomic ratio of H/C-O/C for the Middle-Lower Jurassic coal measure source rocks in Bohu depression

成熟度的最有效指标。统计紧临七里铺次凹生烃中心宝13井的有机质 R_o 实测数据,总体来说侏罗系烃源岩镜质体反射率值表现稳定,随埋藏的加深热演化程度线性增加,具有相对较好的连续性(图6)。在埋深小于2 900 m时西山窑组有机质 R_o 小于0.7%,热演化程度处于低熟-未熟阶段,从三工河组开始进入成熟阶段,到下部的八道湾组热演化进一步推进, R_o 值达到0.9%。博湖坳陷下侏罗统烃源岩都处于大量生油期。

焉参1井位于宝中背斜的高点。从图6看出,随着埋深的增加,由西山窑组上部的低成熟,逐渐在埋深2 200 m附近达到成熟开始大量生成油气,直到八道湾组下部 R_o 0.89%处都处于成熟阶段;在埋深2 600~2 800 m一段出现曲折,由井深2 575 m处 R_o 0.84%,降至2 645.94 m处 R_o 0.71%,直到3 000 m附近才恢复正常。造成这种现象的原因是可能存在逆断层,另外就是这一段正好是主要储油层段,出现异常高压或岩石热导率的变化是完全有可能的,同时大量烃类的存在也会在一定程度上抑制镜质体的热演化。

统计宝13井侏罗系73件烃源岩样品的热解最高峰温(T_{max})^[15],西山窑组烃源岩 T_{max} 值小于435℃的样品占80%,以低熟为主;三工河组烃源岩半数样品 T_{max} 值大于435℃;八道湾组烃源岩80%的样品 T_{max} 值大于435℃。综合以上多项指标,博湖坳陷侏罗系有机质都处于生油门限内,中

侏罗统西山窑组处于低熟阶段,下侏罗统三工河组烃源岩部分达到成熟阶段,八道湾组有机质基本都处于成熟阶段,利于油气的大量生成。

3.4 生烃潜力评价

通过评价博湖坳陷三大次凹及侏罗系各生油层的烃源岩丰度、类型、热演化程度以及有效烃源岩厚度分布^[16-18],认为该区域侏罗系地层具有良好的生烃潜力,但不同凹陷、不同层系的生烃能力具有一定的差异(表2)。

下侏罗统八道湾组烃源岩有机质丰度较高,评价为中等-好;有效烃源岩厚度较为可观,北部凹陷为100~250 m,南部凹陷为150~250 m;有机质热演化程度处于成熟阶段,在侏罗系3个层系中最高,具有较大的生烃潜力,是博湖坳陷区域性主力烃源岩。

下侏罗统三工河组烃源岩在3个次凹中差异较大;北部的四十里城次凹有机质丰度较低,为中等-差烃源岩,生烃潜力较小;南部的包头湖次凹有机质丰度及有效烃源岩厚度都较为可观,但其只有部分烃源岩达到成熟阶段;北部的七里铺次凹有机质丰度较高,达到中等-好烃源岩,有机质处于成熟阶段,有效烃源岩厚度也较大,并且有机质类型为Ⅱ₂-Ⅲ型,在3个次凹中是最好的,具有较大的生烃潜力,具备大量生成油气的条件。

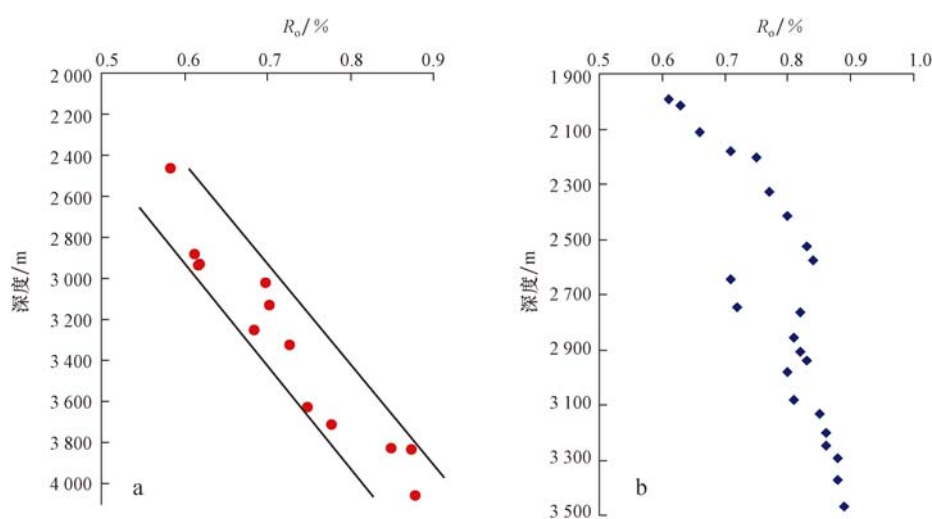


图6 博湖坳陷侏罗统烃源岩镜质体反射率(R_o)随深度变化剖面

Fig. 6 Vitrinite reflectance vs. depth for the Jurassic source rocks in Bohu depression

a. 宝13井; b. 焉参1井

表2 博湖坳陷中、下侏罗统烃源岩生烃潜力综合评价

Table 2 Comprehensive evaluation of hydrocarbon generation potential for the Middle-Lower Jurassic coal measure source rocks in Bohu depression

次凹	层系	有效烃源岩 厚度/m	TOC/%	有机质类型	有机质 成熟度	单层生烃 潜力评价	生烃潜力 综合评价
四十里城次凹	J ₂ x	100~200	0.94~5.64/2.87	Ⅲ	低熟	较小	生烃潜力较大
	J ₁ s	100~200	0.31~2.73/0.96	Ⅲ	成熟	较小	
	J ₁ b	100~200	0.43~4.76/1.66	Ⅲ	成熟	较大	
七里铺次凹	J ₂ x	200~300	1.34~5.70/3.68	Ⅲ	低熟	较小	生烃潜力大
	J ₁ s	150~250	0.27~5.17/2.23	Ⅱ ₂ -Ⅲ	成熟	较大	
	J ₁ b	150~250	0.69~5.41/3.20	Ⅱ ₂ -Ⅲ	成熟	大	
包头湖次凹	J ₂ x	250~350	0.23~4.08/1.31	Ⅲ	低熟	较小	生烃潜力较大
	J ₁ s	200~300	0.67~5.70/2.37	Ⅲ	低熟-成熟	中等	
	J ₁ b	150~250	0.64~5.42/2.74	Ⅲ	成熟	大	

注:J₂x为中侏罗统西山窑组;J₁s为下侏罗统三工河组;J₁b为下侏罗统八道湾组。

TOC为总有机碳含量,最小值~最大值/平均值。

中侏罗统西山窑组烃源岩除了在中南部凹陷分布比北部凹陷厚以外,其他地化特征比较相似,有机质丰度也较高,为好烃源岩或中等-好烃源岩,有机质类型为Ⅲ型,但是因为埋藏较浅,有机质热演化程度较低,刚进入生烃门限,生烃潜力较小,未达到大量生烃阶段。

综合来看,博湖坳陷下侏罗统八道湾组烃源岩在三大生烃次凹不论是物质基础还是所处的热演化阶段,都表明其具备大量生烃的条件,进一步确实了八道湾组在博湖凹陷是区域性主力烃源岩;三工河组生烃能力在各次凹差异较大,在七里铺次凹其生烃能力最强,不管是物质基础还是有机质类型和热演化程度都要优于其他两个次凹,四十里城次凹因有机质丰度较低生烃能力最差;中侏罗统西山窑组烃源岩成熟度在三大次凹整体较低,生烃潜力较小,不具备大量生烃的条件。

以次凹为评价单位来看,三大次凹都具备提供油气来源的能力,但也有一定的差异。四十里城次凹只有八道湾组生烃条件较好,这和四十里城探井油气显示主要集中在八道湾组是一致的,因此四十里城有利的勘探层系主要为八道湾组或与八道湾组有沟通的三工河组;包头湖次凹除了八道湾组有较大的生烃能力外,三工河组也具备一定生烃潜力;七里铺次凹烃源岩条件是最好的,三工河组烃源岩特征和八道湾组类似,也具有较大的生烃能力,是油气源的有力补充,现在已发现的宝浪油田和本布图油田都是紧邻七里铺生烃凹陷,因此七里铺次凹两侧的构造高部位以及斜坡带是勘探的有利区带。

4 结论

1) 博湖坳陷侏罗系煤系烃源岩有机质丰度都比较大,西山窑组和三工河组评价为中等生油岩,八道湾组评价为好生油岩。

2) 有机质类型以Ⅲ型干酪根为主,辅以少量的Ⅱ₂型,七里铺次凹下侏罗统有机质类型要稍好于四十里城次凹和包头湖次凹。

3) 博湖坳陷侏罗系烃源岩都处于生油门限之内,北部凹陷有机质从三工河组开始就进入成熟阶段,南部凹陷在三工河组中、下部才逐渐进入成熟阶段。

4) 八道湾组烃源岩在侏罗系地层中生烃潜力最大,是焉耆盆地的区域性主力烃源岩;三工河组烃源岩生烃条件在三大次凹中差异较大,在七里铺次凹生烃条件最好,具有较大的生烃潜力;西山窑组烃源岩处于低熟阶段,生烃能力较小。

5) 北部的七里铺次凹侏罗系烃源岩生烃条件整体比其他次凹要好,生烃潜力在3个次凹中最大,其两侧的构造高部位以及斜坡带是勘探的有利区带。

参 考 文 献

- [1] 蔡佳,王华,赵忠新,等. 焉耆盆地博湖坳陷形成过程及动力学机制[J]. 地球科学,2008,33(4):555-562.
Cai Jia, Wang Hua, Zhao Zhongxin, et al. Formation process of Bohu Depression of Yanqi Basin and its dynamic mechanism [J]. Earth Science, 2008, 33(4): 555-562.
- [2] 李永林,陈文学,赵德力,等. 焉耆盆地含油气系统的演化

- [J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(4): 357-359.
- Li Yonglin, Chen Wenxue, Zhao Deli, et al. Evolution of petroleum system in Yanqi basin [J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(4): 357-359.
- [3] 赵迫, 王继英, 古哲, 等. 新疆焉耆盆地石油地质特征及成藏模式[M]. 西北地质, 2001, 34(3): 47-53.
- Zhao Zhui, Wang Jiyong, Gu Zhe, et al. Petroleum geology characteristics and reservoir-formed model in Yanqi Basin [M]. Northwestern Geology, 2001, 34(3): 47-53.
- [4] 胡见义, 黄第藩. 中国陆相石油地质理论基础[M]. 北京: 石油工业出版社, 1991: 32-42.
- Hu Jianyi, Huang Defan. The bases of nonmarine petroleum geology in China [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1991: 32-42.
- [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: 102-133.
- Fu Jiamo, Liu Dehan, Sheng Guoying. Coal-generated hydrocarbon geochemistry [M]. Beijing: Science Press, 1992: 102-133.
- [6] 严永新, 袁光喜, 马蓉芳, 等. 焉耆盆地原油物理化学特征及油源对比研究[J]. 石油实验地质, 2006, 28(5): 467-471.
- Yan Yongxin, Yuan Guangxi, Ma Rongfang, et al. Study of the physical and chemical characteristics of the crude oil and oil-source correlation in the Yanqi Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2006, 28(5): 467-471.
- [7] 付欢, 王振奇, 王泽胜, 等. 阜康凹陷中下侏罗统煤系烃源岩地球化学特征[J]. 石油地质与工程, 2011, 25(6): 32-35.
- Fu Huan, Wang Zhenqi, Wang Zesheng, et al. Geochemical characteristics of middle-lower Jurassic coal measures in Fukang sag [J]. Petroleum Geology and Engineering, 2011, 25(6): 32-35.
- [8] 王杰, 陈践发, 窦启龙, 等. 华北北部中、上元古界生烃潜力特征研究[J]. 石油实验地质, 2004, 26(2): 206-211.
- Wang Jie, Chen Jianfa, Dou Qilong, et al. Evaluation of the hydrocarbon-generating potential for the possible hydrocarbon source rocks of the Middle-Upper Proterozoic in North Huabei area [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2004, 26(2): 206-211.
- [9] 唐友军, 文志刚, 徐耀辉. 岩石热解参数及在石油勘探中的应用[J]. 西部探矿工程, 2006, 125(9): 87-88.
- Tang Youjun, Wen Zhigang, Xu Yaohui. Rock pyrolysis parameter and its application in petroleum exploration [J]. West-China Exploration Engineering, 2006, 125(9): 87-88.
- [10] 熊波, 李贤庆, 马安来, 等. 全岩显微组分定量统计及其在烃源岩评价中的应用[J]. 江汉石油学院学报, 2001, 23(3): 16-21.
- Xiong Bo, Li Xianqing, Ma Anlai, et al. Quantitative statistics of whole rock macerals and its application in evaluating source rocks [J]. Journal of Jianghan Petroleum Institute, 2001, 23(3): 16-21.
- [11] 胡志方, 孟召平. 焉耆盆地烃源岩有机显微组分及生烃机理研究[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2007, 37(5): 803-807.
- Hu Zhifang, Meng Zhaoping. Research on organic microscopic component analysis and hydrocarbon generation mechanism of coal measure source rock in Yanqi Basin [J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2007, 37(5): 803-807.
- [12] 陈祥, 张育民, 程克明, 等. 焉耆盆地侏罗纪煤系源岩显微组分组合与生油潜力[J]. 地球科学, 2005, 30(3): 337-342.
- Chen Xiang, Zhang Yumin, Cheng Keming, et al. Maceral composition and oil potential of the Jurassic coal-bearing series in the Yanqi Basin [J]. Earth Science, 2005, 30(3): 337-342.
- [13] 胡勇, 刘平, 曹海防. 柴北缘侏罗系烃源岩地球化学特征及其综合评价[J]. 大地构造与成矿学, 2004, 28(4): 464-469.
- Hu Yong, Liu Ping, Cao Haifang. Geochemical characteristics and hydrocarbon generation capability of the Jurassic hydrocarbon source rock on the northern edge of Qaidam Basin [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2004, 28(4): 464-469.
- [14] 杨树春, 卢庆治, 宋传真, 等. 库车前陆盆地中生界烃源岩有机质成熟度演化及影响因素[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(6): 770-777.
- Yang Shuchun, Lu Qingzhi, Song Chuanzhen, et al. Evolution of Mesozoic source rock's organic maturation in Kuqa foreland basin and its influence factors [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(6): 770-777.
- [15] 郭立言, 顾信章. 生油岩热解快速定量评价[M]. 北京: 科学出版社, 1986: 28-35.
- Wu Liyan, Gu Xinzhang. Rapid quantitative evaluation of source rock pyrolysis [M]. Beijing: Science Press, 1986: 28-35.
- [16] Fan Pu, Philip R P, Li Z X, et al. Geochemical characteristics of aromatic hydrocarbons in crude oils and source rocks from different sedimentary environments [J]. Organic Geochemistry, 1990, 16(1-3): 427-435.
- [17] 庞雄奇. 中国西部叠合盆地深部油气勘探面临的重大挑战及其研究方法意义[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(5): 517-534, 541.
- Pang Xiongqi. Key challenges and research methods of petroleum exploration in the deep of superimposed basins in western China [J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(5): 517-534, 541.
- [18] 余腾孝, 曹自成, 徐勤琪, 等. 准噶尔盆地北部古生代构造演化与石炭系烃源岩[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(1): 91-97.
- Yu Tengxiao, Cao Zicheng, Xu Qinqi, et al. The Paleozoic tectonic evolution and the Carboniferous source rocks in the northern Junggar Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(1): 91-97.

(编辑 李 军)