

文章编号:1001-6112(2012)04-0427-05

塔城盆地石炭系烃源岩特征及其生烃潜力

蒋宜勤^{1,2}, 高岗³, 柳广弟³, 王绪龙², 裴立新³, 向宝力², 唐勇²

(1. 西北大学地质学系, 西安 710069; 2. 中国石油新疆油田公司, 新疆克拉玛依 834000;

3. 中国石油大学油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249)

摘要:在塔城盆地野外露头 and 塔参1井钻井烃源岩发育特征与有机地化特征分析的基础上,探讨了石炭系烃源岩的生烃潜力。通过烃源岩岩性与有机质丰度分析认为,较好的烃源岩主要为泥质岩,其次为碳质泥岩和煤,上石炭统泥岩总体要好于下石炭统。烃源岩母质类型主要为腐殖型,具有倾气型特征。烃源岩演化程度普遍达到了高一过成熟阶段,但仍有一定的残余生烃潜力。应加强烃源岩主要分布区及其生烃史与盆地构造演化的匹配关系和成藏历史的研究。

关键词:生烃潜力;烃源岩;石炭系;塔城盆地

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

Characteristics and hydrocarbon-generating potential of Carboniferous source rock in Tacheng Basin

Jiang Yiqin^{1,2}, Gao Gang³, Liu Guangdi³, Wang Xulong², Pei Lixin³, Xiang Baoli², Tang Yong²

(1. *Geology Department, Northwest University, Xi'an, Shanxi 710069, China;*

2. *Xinjiang Oil Field Company, PetroChina, Karamay, Xinjiang 834000, China;*

3. *State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China)*

Abstract: Based on the analyses of generation and organic geochemical characteristics of outcrops in the Tacheng Basin and source rocks from well Tacan 1, the hydrocarbon-generating potential of the Carboniferous source rocks was discussed. According to the lithology and organic abundance of source rocks, mudstones were good source rocks while carbonaceous mudstones and coals were also favorable. The mudstones in the Upper Carboniferous were generally more favorable than those in the Lower Carboniferous. The organic material types of source rocks were mainly humus ones with gas-generating feature. Source rock evolution had entered the high-mature and over-mature stages, but there still existed residual hydrocarbon-generating capacity. Studies should be focused on the main distribution areas of source rocks, the relationship between hydrocarbon generation and basin evolutions histories, and the history of accumulation.

Key words: hydrocarbon-generating potential; hydrocarbon source rock; Carboniferous; Tacheng Basin

塔城盆地位于北疆西北部^[1],横跨中国与哈萨克斯坦,东西长160 km,南北宽90 km,中国境内面积8 300 km²(图1)。塔城盆地是古生代褶皱基底上发育的新生代多旋回的叠加复合型山间盆地^[2],构造上位于哈萨克斯坦板块东端,西准噶尔褶皱带内,周缘被海西期的褶皱山系环绕^[3-5],北部为塔尔巴哈台山,东部为谢米斯台山、吾尔喀什尔山,南部为巴尔鲁克山。从地层分布来看,下部为古生界,缺失整个中生界,第三系和第四系直接覆盖在古生界之上。盆内几乎全为第四系所覆盖,仅在盆地边缘有少量第三系出露。所以,盆地是在海西期褶皱回返后,长期处于隆升、剥蚀状态,直到

第三纪才开始沉降,接受沉积。古生界最上部的石炭系在塔城盆地周边广泛出露,主要为一套海陆交互的碎屑岩和火山岩^[6],划为上、下石炭统。其中,下统分布广泛,在盆地南北均有出露,而上统则出露较少。这与北疆准噶尔盆地的地层分布有一定差异^[7-9]。目前盆地内仅钻一口参数井塔参1井,揭露的地层由上到下依次为第四系、第三系和石炭系。石炭系为盆地的主要潜在烃源岩,其顶部埋深在3 000 m以下。虽然塔参1井未见油气显示,但其揭示的石炭系烃源岩对于盆地下一步的评价勘探仍具有重要意义。通过资料搜索发现,目前主要针对该盆地石炭系烃源岩成烃潜力研究公开发表

收稿日期:2011-10-05;修订日期:2012-05-31。

作者简介:蒋宜勤(1966—),女,在读博士,高级工程师,从事油气地球化学实验与科研工作。E-mail: jiangyiqin@petrochina.com.cn。

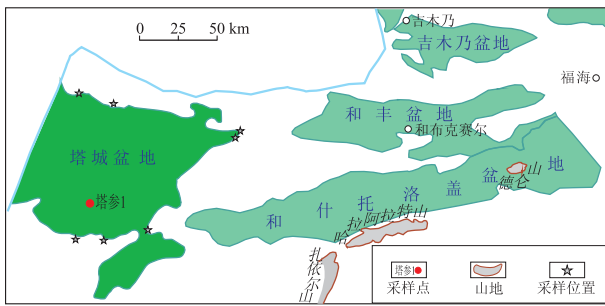


图1 塔城盆地与野外采样露头及塔参1井位置

Fig.1 Location map of field outcrops, well Tacan 1 and Tacheng Basin

的成果还很少^[6]。本文将综合塔参1井与野外露头烃源岩资料,主要对塔城盆地石炭系烃源岩地球化学特征与生烃潜力进行综合评价。

1 烃源岩地质特征

根据野外露头与钻井揭示(图1)来看,石炭系

总体以火成岩为主。其中,下石炭统出露较多,盆地南部巴尔鲁克山和东部山区露头主要出露灰黑色、灰褐色碳质页岩及高焦油煤层;北部露头发育灰黑色泥岩、粉砂质泥岩,见有生物灰岩;塔城盆地上石炭统出露较少,东部白杨河地区见火山间歇期的高碳质泥岩及煤线,可作为烃源岩。盆地内部的塔参1井石炭系钻揭暗色泥岩、粉砂质泥岩、碳质泥岩及凝灰质泥岩,累计厚度达306 m。其中,上石炭统厚度达1 836 m,泥岩、凝灰质泥岩及碳质泥岩累计厚度仅达46 m(图2);下石炭统尚未钻穿(仅钻揭522 m),凝灰质泥岩、粉砂质泥岩及泥岩累计厚度达260 m(图2)。可见,石炭系可能烃源岩主要以夹层形式存在于火成岩之中。

2 烃源岩有机质丰度特征

有机质丰度对烃源岩成烃潜力具有决定作用,主要从有机碳含量、氯仿沥青“A”含量、热解S₁+S₂等方

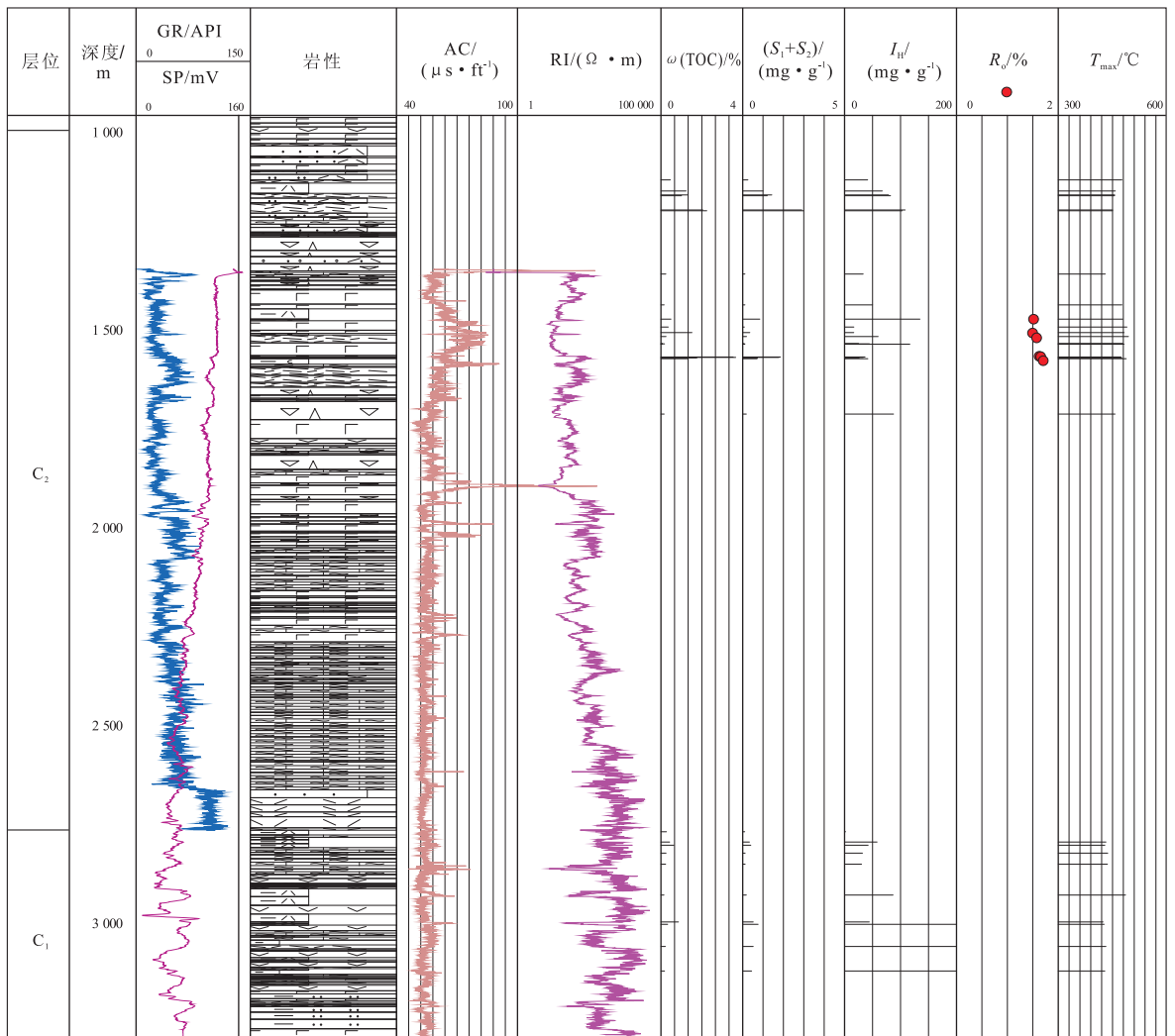


图2 塔城盆地塔参1井岩性—有机地化柱状图

Fig.2 Bar chart of lithology and organic geochemistry of well Tacan 1 in Tacheng Basin

面进行评价^[10-11]。本次烃源岩有机地化分析样品主要采自野外露头 and 盆地内的塔参1井(图1)。上、下石炭统均可能有烃源岩样品分布,岩性主要为泥岩类、沉凝灰岩、凝灰岩等,另有个别煤样和碳质泥岩。其中 $\omega(\text{TOC}) > 40\%$ 的定义为煤, $\omega(\text{TOC}) = 10\% \sim 40\%$ 为碳质泥岩, $\omega(\text{TOC}) < 10\%$ 为泥岩。下石炭统烃源岩主要为泥质岩和凝灰岩类,有机质丰度总体较低,另外还分别有1个碳质泥岩和煤样(表1,图3)。下石炭统泥岩 $\omega(\text{TOC}) = 0.06\% \sim 5.12\%$,均值为0.59%,热解 S_1+S_2 在0.03~0.76 mg/g之间,均值为0.16 mg/g;氯仿沥青“A”含量总体很低,分布在0.0023%~0.0562%之间,均值为0.0254%。2个凝灰岩类的有机质丰度低于泥岩(图3), $\omega(\text{TOC}) = 0.23\% \sim 0.25\%$,均值为0.24%,热解 S_1+S_2 均为0.12 mg/g;氯仿沥青“A”含量总体很低,分布在0.0048%~0.006%之间,均值为0.0054%。可见,暗色泥岩主要为差—中等烃源岩,个别达到好烃源岩;凝灰岩基本为非烃源岩(图4)。1个煤和1个碳质泥岩的TOC含量、热解 S_1+S_2 均为高值特征,应属于好烃源岩(表1和图3,4)。

上石炭统烃源岩主要为泥岩、凝灰岩和沉凝灰岩(表1和图3,4)。泥岩TOC含量介于0.16%~

3.16%之间,均值为1.76%;热解 S_1+S_2 在0.08~1.85 mg/g之间,均值为0.88 mg/g;氯仿沥青“A”含量总体很低,分布在0.0075%~0.0681%之间,均值为0.0312%(表1)。可见,上石炭系暗色泥岩主要为中等—好烃源岩,少数为非烃源岩(图4)。上石炭统沉凝灰岩也有较高的有机质丰度(表1和图2),其中 $\omega(\text{TOC})$ 介于0.49%~2.24%之间,均值为1.59%;热解 S_1+S_2 在0.84~2.99 mg/g之间,均值为2.24 mg/g;氯仿沥青“A”含量总体很低,分布在0.0447%~0.1746%之间,均值为0.1192%(表1)。可见,沉凝灰岩中有部分好烃源岩,也有部分差—中等烃源岩,均值是所有样品中最高的。上石炭统凝灰岩有机质丰度较低,与下石炭统类似(图3), $\omega(\text{TOC})$ 介于0.06%~1.01%之间,均值为0.31%;热解 S_1+S_2 为0.03~1.21 mg/g之间,均值为0.28 mg/g;氯仿沥青“A”含量总体很低,分布在0.0011%~0.0436%之间,均值为0.0102%(表1)。可见,上石炭统凝灰岩主要为非—差烃源岩,个别为中等烃源岩(图4)。

上述烃源岩有机质丰度特征总体显示,石炭系凝灰岩基本为非烃源岩,沉凝灰岩主要为非—差烃源岩,仅部分为中等—好烃源岩;泥岩总体可以作为较好—中等烃源岩,但上石炭统泥岩总体要好于

表1 塔城盆地石炭系烃源岩有机质丰度统计

Table 1 Organic matter abundances of Carboniferous source rocks in Tacheng Basin

层位	岩性	$\omega(\text{TOC})/\%$	$(S_1+S_2)/(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$	氯仿沥青“A”/%
C ₂	沉凝灰岩	(0.49~2.24)/1.59(3)	(0.84~2.99)/2.24(3)	(0.0447~0.1746)/0.1192(3)
C ₂	泥岩	(0.16~3.66)/1.76(13)	(0.08~1.85)/0.88(13)	(0.0075~0.0681)/0.0312(12)
C ₂	凝灰岩	(0.06~1.01)/0.31(7)	(0.03~1.21)/0.28(7)	(0.0011~0.0436)/0.0102(7)
C ₁	煤	(44.73~44.73)/44.73(1)	(20.21~20.21)/20.21(1)	
C ₁	碳质泥岩	(39.21~39.21)/39.21(1)	(215.74~215.74)/215.74(1)	
C ₁	泥岩	(0.06~5.12)/0.59(34)	(0.03~0.76)/0.16(26)	(0.0023~0.0562)/0.0254(7)
C ₁	凝灰岩	(0.23~0.25)/0.24(2)	(0.12~0.12)/0.12(2)	(0.0048~0.006)/0.0054(2)

注:表中数据意义为:(最小值~最大值)/均值(样品数)。

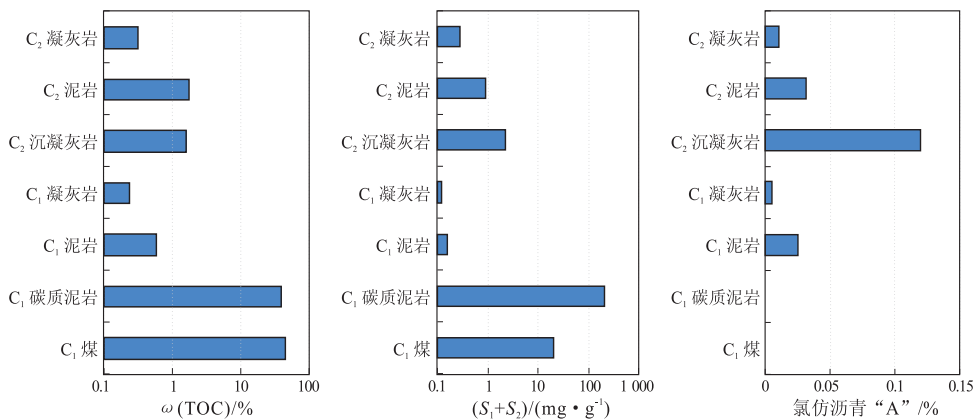


图3 塔城盆地石炭系烃源岩有机质丰度均值对比

Fig. 3 Average values of organic matter abundances of Carboniferous source rocks in Tacheng Basin

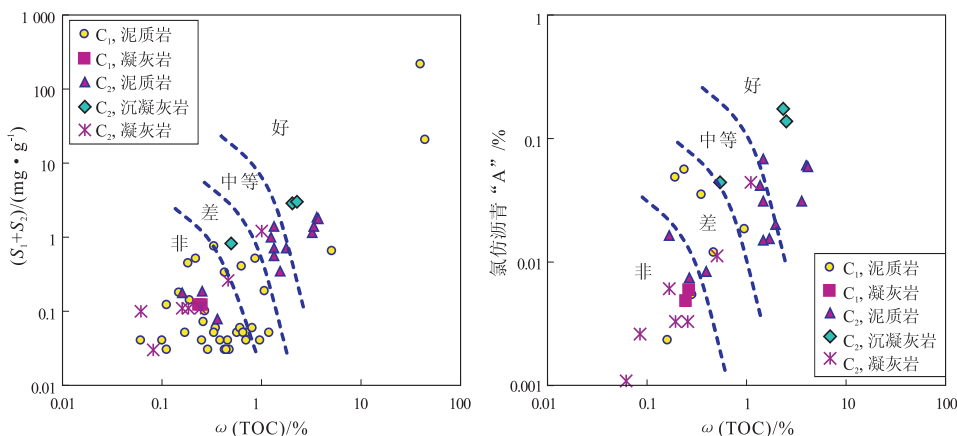


图4 塔城盆地石炭系烃源岩有机质丰度参数关系

Fig. 4 Parameters of organic matter abundances of Carboniferous source rocks in Tacheng Basin

下石炭统(图3);碳质泥岩和煤均为好烃源岩。从不同岩性烃源岩的分布程度来说,泥质岩类应为塔城盆地石炭系的主要烃源岩,其次为碳质泥岩和煤。

3 烃源岩有机质类型特征

针对塔城盆地石炭系烃源岩特点,主要从干酪根显微组分组成、碳同位素组成与岩石热解等几个方面进行有机质类型分析。岩石热解参数(图5)显示,热解氢指数(I_H)主要显示低值,表现为Ⅲ型有机质特征,个别为较高值,显示Ⅱ₂型有机质特征(图5)。但图6显示热解氢指数与TOC含量的关系复杂,在 $\omega(\text{TOC}) < 1\%$ 时,氢指数有随TOC含量增加而降低的趋势,当 $\omega(\text{TOC}) > 1\%$ 时,氢指数才有随TOC含量增加而增大的趋势。可以看到图5中一些较高的氢指数主要对应于较低的TOC含量,而较低的TOC含量一般对应较差的母质类型,所以,总体上热解特征显示,有机质类型还是主要为Ⅲ型。

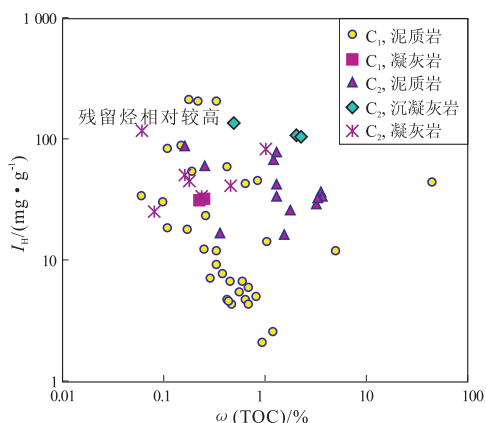


图6 塔城盆地石炭系烃源岩有机碳含量与氢指数关系

Fig. 6 TOC content vs. pyrolysis I_H of Carboniferous source rocks in Tacheng Basin

由于石炭系演化程度普遍较高,热解参数反映的类型特征可靠性降低。而干酪根显微组分组成与碳同位素组成具有相对的稳定性,对原始母质类型的反映相对可靠。总体上,石炭系烃源岩有机显微组成中富含镜质组和惰质组,极少含腐泥组和壳质组,表现为典型Ⅲ型有机质为主的特征。根据干酪根碳同位素组成分析结果(图7),石炭系母质类型也主要显示Ⅲ型特征,这与显微组分组成、热解特征反映的情况一致。所以,综合分析认为,石炭系母质类型普遍较差,主要为Ⅲ型母质,具有倾气型特征。

4 烃源岩热演化特征与成烃潜力分析

岩石热解 T_{max} 具有较大的分布范围,介于422~516℃之间,主峰在470~490℃之间,显示成熟—高成熟—过成熟均有分布,以过成熟为主。根据盆地内部塔参1井上石炭统R₀数据,R₀值分布在1.08%~1.75%之间,主要分布在1.52%~1.75%之间,显示高

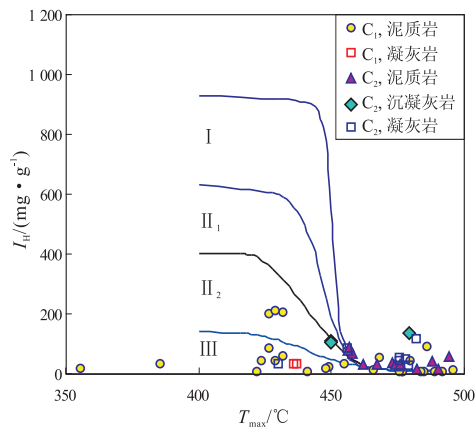


图5 塔城盆地石炭系烃源岩热解 I_H - T_{max} 关系

Fig. 5 Pyrolysis I_H vs. T_{max} of Carboniferous source rocks in Tacheng Basin

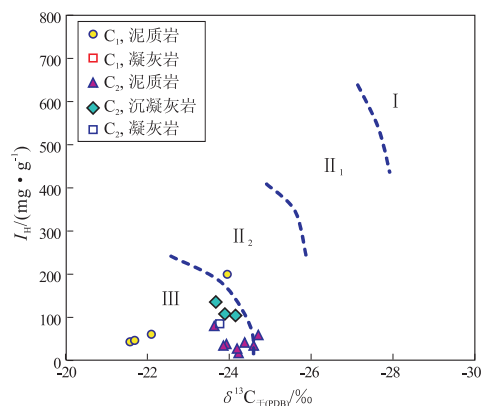


图7 塔城盆地石炭系烃源岩热解氢指数—干酪根碳同位素组成关系

Fig. 7 Pyrolysis I_H vs. kerogen carbon isotope of Carboniferous source rocks in Tacheng Basin

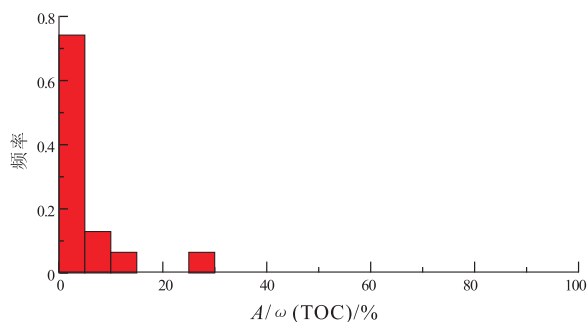


图8 塔城盆地石炭系烃源岩可溶有机质转化率频率分布

Fig. 8 $A/\omega(TOC)$ frequency map of Carboniferous source rocks in Tacheng Basin

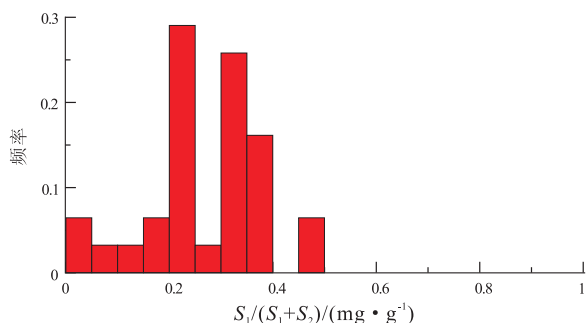


图9 塔城盆地石炭系烃源岩热解 $S_1/(S_1+S_2)$ 频率分布

Fig. 9 $S_1/(S_1+S_2)$ frequency map of Carboniferous source rocks in Tacheng Basin

成熟为主的特征。可见,塔城盆地石炭系烃源岩演化程度总体较高,应该主要达到了高成熟—过成熟阶段。从岩石可溶有机质转化率($A/\omega(TOC)$)来看(图8),分布范围为0.97%~26.83%,具低值为主的偏态分布特征,均值为4.93%;热解 $S_1/(S_1+S_2)$ 分布在0.018~0.500 mg/g之间,主峰在0.2~0.4 mg/g之间,均值为0.276 mg/g(图9)。总体显示,石炭系烃源岩还具有一定的残余生烃潜力。

根据塔参1井钻遇的石炭系泥质烃源岩厚度可以近似估算单位面积烃源岩的残余生烃潜力。假设单位面积为1 km²,上石炭统烃源岩厚度为46 m,下石炭统烃源岩厚度为260 m,岩石密度假设为2.5 t/m³;上石炭统泥岩 $\omega(TOC)$ 均值为1.76%,下石炭统泥岩 $\omega(TOC)$ 均值为0.59%;取平均可溶有机质转化率为4.93%,则据下式估算残余生烃潜力:

$$Q = SH\rho CZ$$

其中: Q 为单位面积残余生烃量,t; S 为单位面积,1 km²; H 为泥岩厚度,m; ρ 为岩石密度,t/m³; C 为平均有机碳含量,%; Z 为可溶有机质转化率,%。

根据估算结果,单位面积内上石炭统可生成的残余烃量为 9.98×10^4 t/km²,下石炭统可生成的残余烃量近似为 17.89×10^4 t/km²,合计为 27.87×10^4 t/km²。如果考虑到石炭系演化程度高,已经发生过排烃,则原始可生成的烃量肯定会更高。由于塔参1井未钻遇碳质泥岩和煤,所以,未估算其生烃量。从上面的泥质岩生烃量估算可见,塔城盆地石炭系烃源岩具有一定生烃能力。在下一步勘探过程中,应进一步搞清盆地内石炭系的分布,进行烃源岩分布研究,寻找烃源岩主要分布区;同时进行成烃历史与盆地构造演化匹配关系、成藏历史等方面的研究,以期在该盆地的油气勘探中有所突破。

5 结论

塔城盆地是新疆西北部油气早期勘探的重要盆地之一,主要烃源岩发育层位石炭系岩性以火成岩为主。烃源岩发育在火成岩背景上,较好的烃源岩主要为泥质岩,其次为碳质泥岩和煤。有机质丰度显示上石炭统总体要好于下石炭统。石炭系烃源岩母质类型主要为腐殖型,演化程度普遍达到了高一过成熟阶段,但仍有一定的残余成烃潜力。下一步油气勘探中应进一步加强烃源岩主要分布区、成烃历史与盆地构造演化匹配关系、成藏历史等方面的研究。

参考文献:

- [1] 阿依努尔·孜牙别克. 新疆塔城地区河流水文特征[J]. 水文, 2003, 23(1): 54-56.
- [2] 冯乾文, 郑光华, 张晓帆, 等. 塔城盆地石炭系基底的重磁地震联合反演[J]. 新疆大学学报, 2009, 26(2): 242-246.
- [3] 张朝军, 何登发, 吴晓智, 等. 准噶尔多旋回叠合盆地的形成与演化[J]. 中国石油勘探, 2006, 1(1): 47-58.

可以帮助分析油气分布规律,实验快捷方便,对有相类似地质背景的新区预测油气分布规律具有借鉴意义。

致谢:本文受到了中国石油塔里木油田分公司勘探开发研究院李勇副总地质师、杨宪章高级工程师、赵力彬工程师、邸宏利高级工程师、李梅高级工程师、唐雁刚工程师等专家的大力支持与帮助,在此表示衷心感谢!

参考文献:

- [1] 孙冬胜,金之钧,吕修祥,等. 库车前陆盆地古隆起及双超压体系对天然气成藏的控制作用[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(6): 821-827.
- [2] 卢华复,贾承造. 库车再生前陆逆冲带的构造特征与成因[J]. 石油学报, 2000, 21(3): 18-24.
- [3] 漆家福,雷刚林,李明刚,等. 库车坳陷克拉苏构造带的结构模型及其形成机制[J]. 大地构造与成矿学, 2009, 33(1): 49-56.
- [4] 赵孟军,卢双舫. 库车坳陷两期成藏及其对油气分布的影响[J]. 石油学报, 2003, 24(5): 16-20.
- [5] 赵孟军,王招明,张水昌,等. 库车前陆盆地天然气成藏过程及聚集特征[J]. 地质学报, 2005, 79(3): 414-422.
- [6] 卓勤功,赵孟军,谢会文,等. 库车前陆盆地大北地区储层沥青与油气运聚关系[J]. 石油实验地质, 2011, 33(2): 193-196.
- [7] Liu K, Eadington P. Quantitative fluorescence techniques for detecting residual oils and reconstructing hydrocarbon charge histo-

ry[J]. Organic Geochemistry, 2005, 36(7): 1023-1036.

- [8] 李素梅,庞雄奇,刘可禹,等. 一种快速检测油包裹体的新方法:颗粒包裹烃定量荧光分析技术及其初步应用[J]. 石油实验地质, 2006, 28(4): 386-390.
- [9] 蒋宏,施伟军,秦建中,等. 颗粒荧光定量分析技术在塔河油田储层研究中的应用[J]. 石油实验地质, 2010, 32(2): 201-204.
- [10] 施和生,秦成岗,高鹏,等. 珠江口盆地番禺低隆起—白云凹陷北坡天然气晚期成藏特征[J]. 中国海上油气, 2008, 20(2): 73-76.
- [11] 陈冬霞,庞雄奇,张俊,等. 应用定量颗粒荧光技术研究岩性油气藏的隐蔽输导通道[J]. 地质学报, 2007, 81(2): 250-252.
- [12] 杜治利,王飞宇,张水昌,等. 库车坳陷中生界气源灶生气强度演化特征[J]. 地球化学, 2006, 35(4): 419-431.
- [13] 赵孟军,张宝民. 库车前陆坳陷形成大气区的烃源岩条件[J]. 地质科学, 2002, 37(S1): 35-44.
- [14] 赵靖舟,戴金星. 库车前陆逆冲带天然气成藏期与成藏史[J]. 石油学报, 2002, 23(2): 6-10.
- [15] 王飞宇,张水昌,张宝民,等. 塔里木盆地库车坳陷中生界烃源岩有机质成熟度[J]. 新疆石油地质, 1999, 20(3): 221-224.
- [16] 漆家福,雷刚林,李明刚,等. 库车坳陷克拉苏构造带的结构模型及其形成机制[J]. 大地构造与成矿学, 2009, 33(1): 49-56.
- [17] 孙家振,李兰斌,周新源,等. 塔里木盆地库车凹陷克拉苏构造带典型构造样式与变形机理分析[J]. 石油实验地质, 2003, 25(3): 247-251.
- [18] 张敏,张俊. 水洗作用对油藏中烃类组成的影响[J]. 地球化学, 2000, 29(3): 287-292.

(编辑 韩 或)

(上接第 431 页)

- [4] 况军. 地体拼贴与准噶尔盆地的形成演化[J]. 新疆石油地质, 1993, 14(2): 126-132.
- [5] 蔡忠贤,陈发景,贾振远. 准噶尔盆地的类型和构造演化[J]. 地质前缘, 2000, 7(4): 12-16.
- [6] 谷艳玲,方相阳,韩学富,等. 塔城盆地古生界烃源岩评价[J]. 科技资讯, 2011(28): 1-2.
- [7] 李德江,杨俊生,朱筱敏. 准噶尔盆地层序地层学研究[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2005, 20(3): 60-70.
- [8] 谢庆宾,管守锐,韩军,等. 准东白家海—五彩湾地区层序地

层特征[J]. 新疆石油地质, 2003, 24(1): 31-34.

- [9] 潘春孚,纪友亮,高志勇,等. 准噶尔盆地南缘新近系层序类型与发育模式研究[J]. 断块油气田, 2011, 18(1): 34-37.
- [10] 李志明,关德范,徐旭辉,等. 有效泥质油源岩有机碳丰度评价标准研究:以东营凹陷为例[J]. 石油实验地质, 2009, 31(4): 379-383.
- [11] 赵政璋,李永铁,叶和飞,等. 青藏高原海相烃源层的油气生成[M]. 北京:科学出版社, 2000.

(编辑 黄 娟)