

内蒙古石拐盆地地下侏罗统武当沟组烃源岩有机地球化学特征

冯 岩, 杨 才, 郭佳城, 夏 宁, 林海涛

内蒙古自治区地质调查院, 内蒙古 呼和浩特 010020

摘 要 内蒙古石拐盆地广泛发育下侏罗统武当沟组煤系烃源岩。在进行野外地质勘查、典型剖面实测、样品采集及实验分析基础上, 进行了有机质丰度、有机质类型、有机质成熟度等有机地球化学特征研究, 初步对其生烃潜力进行评价。研究认为, 石拐盆地中下侏罗统武当沟组烃源岩 TOC 含量主要分布于 0.7%~12.4%, 有机质类型为 II₂ 型和 III 型, R_o 分布于 0.47%~0.71% 之间, 演化程度为未成熟—低成熟。武当沟组是内蒙古中部地区重要的生烃层系, 具备非常规油气资源潜力。

关键词 石拐盆地 武当沟组 烃源岩 有机地球化学 页岩气 内蒙古

DOI:10.13686/j.cnki.dzyzy.2016.05.010

ORGANIC GEOCHEMISTRY OF THE SOURCE ROCKS OF LOWER JURASSIC WUDANGGOU FORMATION IN SHIGUAI BASIN, INNER MONGOLIA

FENG Yan, YANG Cai, GUO Jia-cheng, XIA Ning, LIN Hai-tao

Inner Mongolia Institute of Geological Survey, Hohhot 010020, China

Abstract : Dark mudstone and shale of Lower Jurassic Wudanggou Formation are well developed in the Shiguai Basin in Inner Mongolia. Based on geological exploration, typical profile survey, sampling and experimental analysis, the organic geochemical studies are conducted in the aspects of organic matter abundance, kerogen types and maturity of organic matter to evaluate the hydrocarbon potential. The total organic carbon (TOC) contents of the Lower Jurassic hydrocarbon source rocks of Wudanggou Formation range from 0.7% to 12.4%, corresponding to organic matter type of II₂-III. The vitrinite reflectance is between 0.47% and 0.71%, indicating that the hydrocarbon source rocks mostly achieved low mature stage of evolution. The Wudanggou Formation is the important hydrocarbon source rock in the central area of Inner Mongolia, with potential of unconventional energy of shale gas.

Key words : Shiguai Basin ; Wudanggou Formation ; hydrocarbon source rock ; organic geochemistry ; shale gas ; Inner Mongolia

近年来油气基础地质调查表明, 内蒙古阴山地区下侏罗统武当沟组是一套厚度较大的湖相含煤沉积建造, 为一套重要的生烃层位。石拐盆地是阴山地区乃至内蒙古全区中—新生代盆地中侏罗系地层出露最好、最为连续、完整的盆地。然而, 阴山地区又是勘探程度很低的地区, 对该区武当沟组烃源岩的有机地球化学特征认识不清, 缺少相关分析资料, 严重制约了该区的油气勘探。

笔者通过对石拐盆地内下侏罗统武当沟组代表性剖面测量, 对其泥页岩样品进行系统采集和有机地球化学分析, 初步分析和评价武当沟组暗色泥页岩生烃潜力, 为阴山地区侏罗系油气地质评价提供基础资料。

1 区域地质概况

石拐盆地位于华北地台北缘, 内蒙台隆阴山断隆

收稿日期 2015-02-02 修回日期 2016-03-20 编辑 张哲

基金项目 内蒙古自治区地质矿产勘查基金“内蒙古自治区页岩气资源潜力调查评价”项目 (编号 2012-03-ZY01)。

作者简介 冯岩 (1985—), 男, 硕士, 工程师, 从事能源矿产地质调查工作, 通信地址 内蒙古自治区呼和浩特市赛罕区金桥世纪五路, E-mail// fengyan-2006@sohu.com

之中段,大青山复背斜与乌拉山复背斜接错部位,是经受较大变形改造及一定剥蚀的中生代残留断陷盆地。盆地沿东西向线状展布,与大青山走向相一致。石拐盆地形成于印支晚期,发展于燕山期,改造并定型于燕山晚期—喜马拉雅期。复杂的发展与演化历程,使盆地褶皱、断裂十分发育^[1-3]。石拐盆地基本上以太古宙岩群、岩套为直接基底,盆地内自下而上发育有下侏罗统五当沟组($J_{1-2}w$)、中侏罗统长汉沟组(J_2c)和上侏罗统大青山组(J_3d)。武当沟组以深湖相、半深湖相泥岩沉积和含煤碎屑沉积为特点,沉积环境为扇三角洲—湖泊相,是区内最重要的烃源岩层系。前人根据石拐盆地地质及石油钻井(武地1井)将武当沟组划分为3个岩性段:下部为厚层泥岩和厚层砂砾岩互层,中部为厚

层砂岩、砂砾岩、薄层粉砂岩、碳质粉砂岩、碳质页岩夹煤层,上部为中厚层砂岩、暗色泥岩夹煤层^[4-9]。

2 样品的采集与分析

本次研究采集石拐盆地2条典型剖面上的36件样品。其中石拐矿区达吉坝—本坝沟煤矿剖面主要揭示得是武当沟组中上部地层,石拐矿区后公忽洞—张八壕剖面揭示的是武当沟组中下部地层,剖面位置分布如图1所示。采集的样品主要为黑色泥页岩、黑色泥岩、炭质泥页岩,经室内再次筛选,挑取22件新鲜样品,由华北油田实验中心和重庆地质矿产研究院实验中心分别完成了有机碳含量、干酪根显微组分、镜质体反射率、热解等有机地球化学分析。

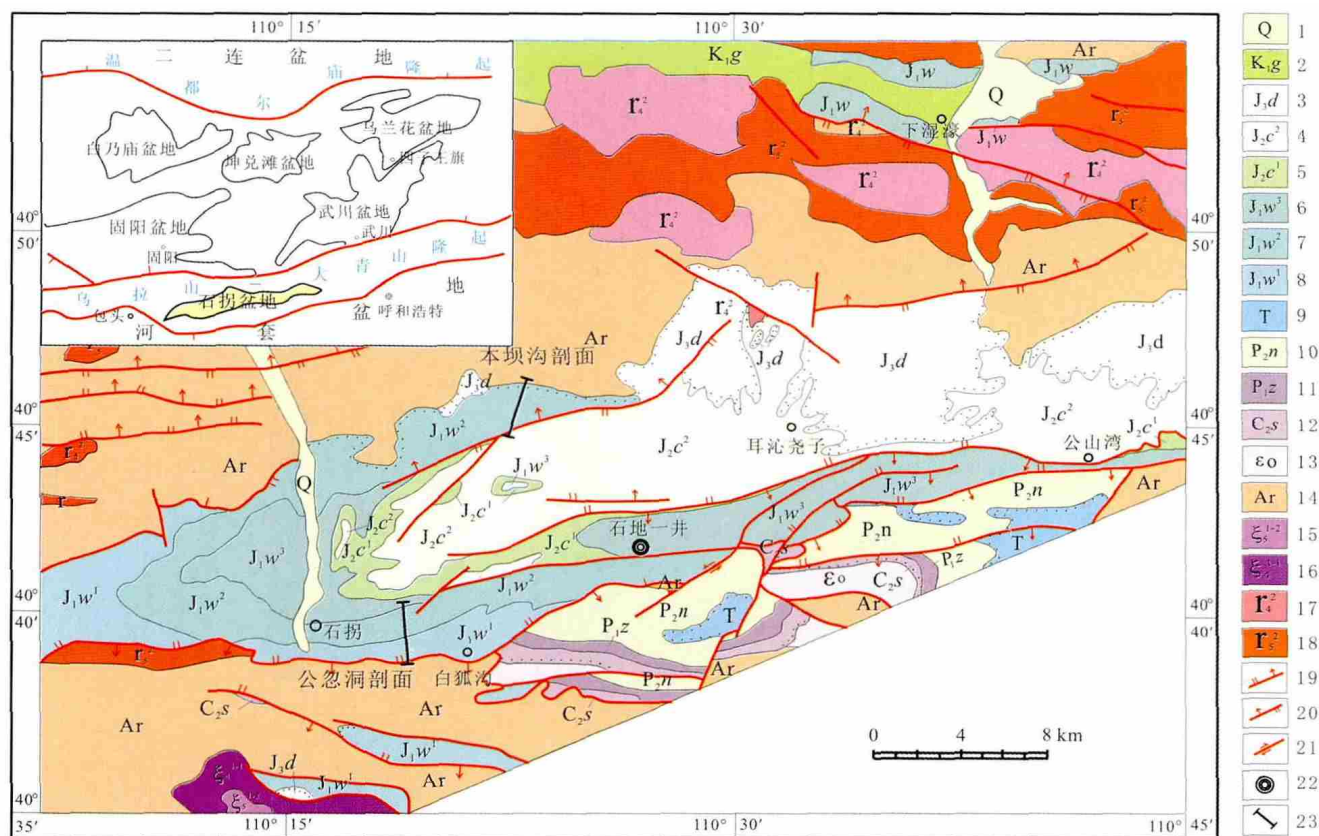


图1 内蒙古石拐盆地地质简图及剖面位置

Fig. 1 Simplified geological map of Shiguai Basin in Inner Mongolia with profile position

1—第四系(Quaternary) 2—下白垩统固阳组(L. Cretaceous Guyang fm) 3—上侏罗统大青山组(U. Jurassic Daqingshan fm) 4—中侏罗统长汉沟组二段(2nd mem. of Changhangou fm., M. Jurassic) 5—长汉沟组一段(1st mem. of Changhangou fm) 6—下侏罗统武当沟组三段(3rd mem. of Wudanggou fm., L. Jurassic) 7—武当沟组二段(2nd mem. of Wudanggou fm) 8—武当沟组一段(1st mem. of Wudanggou fm) 9—三叠系(Triassic) 10—上二叠统(U. Permian) 11—下二叠统(L. Permian) 12—中石炭统(M. Carboniferous) 13—寒武系(Cambrian) 14—太古宙(Archean) 15—加里东早期侵入岩(E. Caledonian intrusion) 16—加里东晚期侵入岩(L. Caledonian intrusion) 17—华力西期侵入岩(Variscan intrusion) 18—燕山期侵入岩(Yanshanian intrusion) 19—正断层(normal fault) 20—逆断层(reverse fault) 21—走滑断层(strike-slip fault) 22—石油钻井(oil well) 23—实测剖面位置(profile position)

3 烃源岩地球化学特征

3.1 有机质丰度

石拐盆地地下侏罗统五当沟组为一套煤系地层. 本次工作采集的泥页岩有机碳含量 (TOC) 普遍较高, 炭质泥页岩实测 TOC 分布一般为 14.4%~56.4%, 平均为 34.48%; 暗色泥页岩实测 TOC 分布一般为 0.7%~12.4%, 平均为 3.5%. 其中, 本坝沟地区炭质泥页岩 TOC 平均为 32.34%, 暗色泥页岩 TOC 平均为 8.04%; 公忽洞地区炭质泥页岩 TOC 平均为 18%, 暗色泥页岩 TOC 平均为 2.71% (表 1).

岩石热解分析中的生烃潜量 (S1+S2) 也是一个评价有机质丰度的重要指标, 而地表采集的样品中 S1+S2 数据因受风化作用影响, 生烃潜量反映的指标也会受到影响, 因此将其作为辅助参考指标. 石拐盆地五当沟组残余生烃潜力样品之间存在较大差异, 但是总体较高, 暗色泥页岩 S1+S2 分布一般为 $0.21\times 10^{-3}\sim 7.57\times 10^{-3}$, 平均 3.81×10^{-3} ; 炭质泥页岩 S1+S2 一般为 $15.72\times 10^{-3}\sim 89.07\times 10^{-3}$, 平均 68.86×10^{-3} . 本坝沟地区暗色泥页岩 S1+S2 平均为 5.08×10^{-3} , 炭质泥页岩 S1+S2 平均为 86.57×10^{-3} ; 公忽洞地区暗色泥页岩 S1+S2 平均为 5.11×10^{-3} , 炭质泥页岩 S1+S2 平均为 57.76×10^{-3} (表 1).

由此可见, 武当沟组炭质泥页岩、暗色泥页岩有机质丰度普遍较高, 生烃潜量较大. 参照煤系烃源岩有机质丰度评价标准^[10-12], 达到较好级别烃源岩标准, 作为烃源岩具备了足够的物质条件.

3.2 有机质类型

有机质类型是评价烃源岩的质量指标, 本次工作采用干酪根显微组分镜下鉴定法. 根据岩石中腐泥组、壳质组、镜质组和惰性组的相对百分含量判别有机质类型. 石拐盆地武当沟组烃源岩主要发育于湖沼相沉积环境, 泥页岩显微组分以镜质组、壳质组为主. 干酪根全岩显微组分中壳质组约占总量的 41%, 镜质组约占 27%, 腐泥组约占 19%, 惰质组约占 13% (表 2). 根

据类型指数 (TI) 计算方法^[10-11], 依据干酪根的各显微组分对生油贡献的大小, 分别乘以不同的加权数, 计算其类型指数作为分型标准, 对有机质进行定型. 腐泥组生油潜力最大, 加权数取+100; 壳质组次之, 取+50; 镜质组取-75; 生油潜力最小的惰质组取-100. 每个样品鉴定统计 300 个颗粒, 所得各组分百分含量乘以各加权系数, 即得该样品的类型指数, 其算式如下:

$$TI = \frac{a \times (+100) + b \times (+50) + c \times (-75) + d \times (-100)}{100}$$

式中 a、b、c、d 分别代表腐泥组、壳质组、镜质组和惰质组. 按 TI 值划分的干酪根类型标准为: I 型, TI>80; II₁ 型, TI=80~40; II₂ 型, TI=0~40; III 型, TI<0. 综合计算武当沟组烃源岩 TI 指数 (图 2), 武当沟组有机质类型为 II₂ 型和 III 型. 有机质类型为腐殖-腐泥型 (II₂ 型) 样品占测试样品的 65%, 有机质类型为腐泥型 (III 型) 样品占测试样品的 35%. 其中, 公忽洞地区样品全部为 II₂ 型, 本坝沟地区样品以 III 型为主, 部分为 II₂ 型.

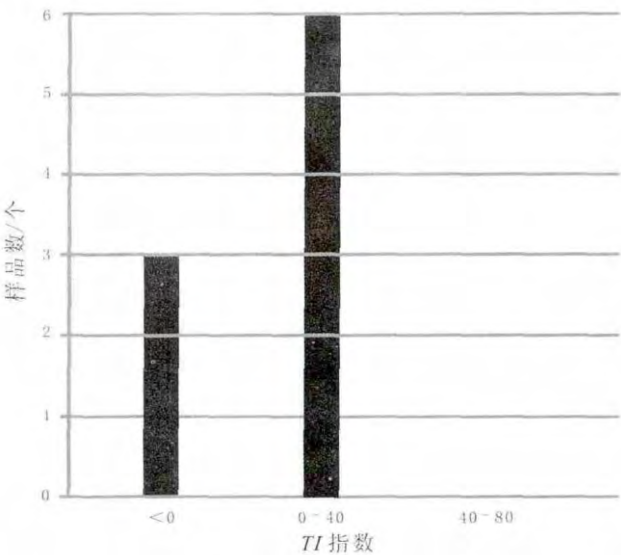


图 2 武当沟组泥页岩 TI 指数分布图

Fig. 2 TI distribribution in the source rocks of Wudangou Formation

表 1 研究区武当沟组烃源岩有机质丰度数据

Table 1 Organic matter abundance data of source rocks of the Wudangou Formation

剖面位置	泥页岩厚度/m	占地层比例/%	岩石类型	TOC/%	(S1+S2)/10 ⁻³	综合评价
本坝沟	68.1	45.51	黑色泥页岩	8.04(7)	5.08(4)	较好烃源岩
			黑色炭质泥页岩	32.34(7)	86.57(2)	
公忽洞	70	30.4	黑色泥岩	2.71(7)	5.11(3)	较好烃源岩
			黑色炭质泥岩	18(1)	57.76(1)	

表中 TOC 和 (S1+2) 各指标表示: 平均数 (样品数).

表 2 研究区武当沟组烃源岩有机地球化学数据

Table 2 Geochemical analysis data of source rocks of the Wudangou Formation

样品号	取样位置	岩石类型	有机显微组成/%				类型	Ro/%	T _{max} /℃
			镜质组	壳质组	惰质组	腐泥质			
SPH01-3-3	本坝沟	黑色页岩	35	50	10	5	Ⅲ	0.47	440
SPH01-4-2		砂质泥岩	30	60	10	0	Ⅲ	0.57	425
SHP01-6-1		黑色页岩	26	4	12	55	Ⅱ ₂	0.49	421
SPH01-7-1		黑色页岩	50	20	30	0	Ⅲ	0.50	419
SHP01-7-2		黑色页岩	38	3	14	45	Ⅱ ₂	0.60	422
SHD2022	公忽洞	砂质泥岩	20	65	10	5	Ⅱ ₂	0.71	447
SHD1026		黑色泥岩	10	83	5	2	Ⅱ ₂	0.67	441
SHD1050		黑色泥岩	25	5	20	50	Ⅱ ₂	0.54	429
SHD1051		黑色泥岩	10	80	5	5	Ⅱ ₂	0.49	423

3.3 有机质成熟度

油气资源的生成不仅要求烃源岩中含有丰富的有机质,而且要求有机质具有一定的热演化成熟度.本次工作通过镜质体反射率(Ro)和烃源岩最大热解峰温(T_{max})值方法对烃源岩的演化程度进行综合评价.石拐盆地武当沟组露头泥页岩Ro分布于0.47%~0.71%,平均值为0.53%,绝大多数样品Ro>0.5%,为低成熟阶段,占测试样品的56%(见图3、表2).泥页岩T_{max}值位于419~447℃之间,平均431℃(图4).武当沟组露头烃源岩演化程度处于未成熟—低成熟阶段,以低成熟为主.武当沟组以生物成因生气为主,其次为热成因生气.在平面分布上,公忽洞地区所测武当沟组二段有机质成熟度高于本坝沟地区武当沟组一段,均已达到低成熟.

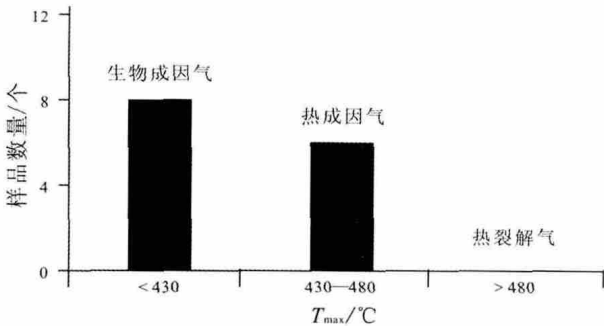


图 4 研究区武当沟组烃源岩 T_{max} 频率分布直方图

Fig. 4 Histogram of T_{max} distribution in the source rocks of Wudangou Formation

3.4 含气性特征

现场解析法是测量页岩含气量最直接的方法.本次工作没有施工钻探工程,没有进行含气性解析工作.据前人石拐盆地白菜沟地区煤层气含气性解析结果,武当沟组煤类为气煤、长烟煤.煤层气甲烷(CH₄)含气量1.76~8.58 m³/t,高于《煤层气资源/储量规范》(DZ/T0216-2002)煤层含气量下限标准.气煤含气量为4 m³/t,长焰煤为1 m³/t^①.

等温吸附法通过测量页岩在不同压力下的等温吸附气量,拟合出压力和吸附量的等温吸附曲线,虽不能确定含气量,也可以确定页岩含气能力.对石拐盆地武当沟组泥页岩露头样品进行含气性等温吸附模拟实验,测试结果表明武当沟组泥页岩对甲烷气体的吸附能力较强(图5、表3).武当沟组一段泥页岩最大甲烷吸附量较为稳定,为11.29~12.58 m³/t,中值压力1.17~

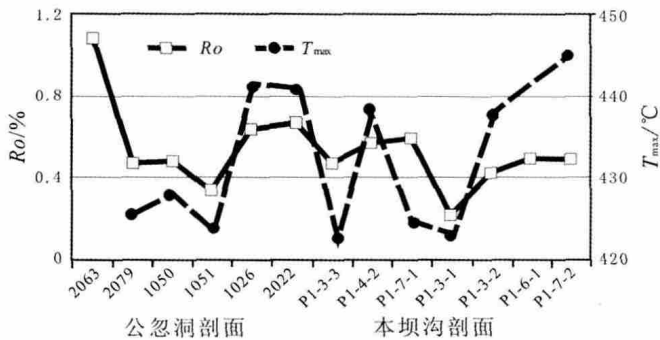


图 3 研究区武当沟组烃源岩 Ro 和 T_{max} 分布图

Fig. 3 Diagram of vitrinite reflectance and maximum temperature in the source rocks of Wudangou Formation

①内蒙古自治区煤田地质局. 内蒙古自治区乌拉特前旗营盘湾矿区煤炭资源储量核查报告. 2011.

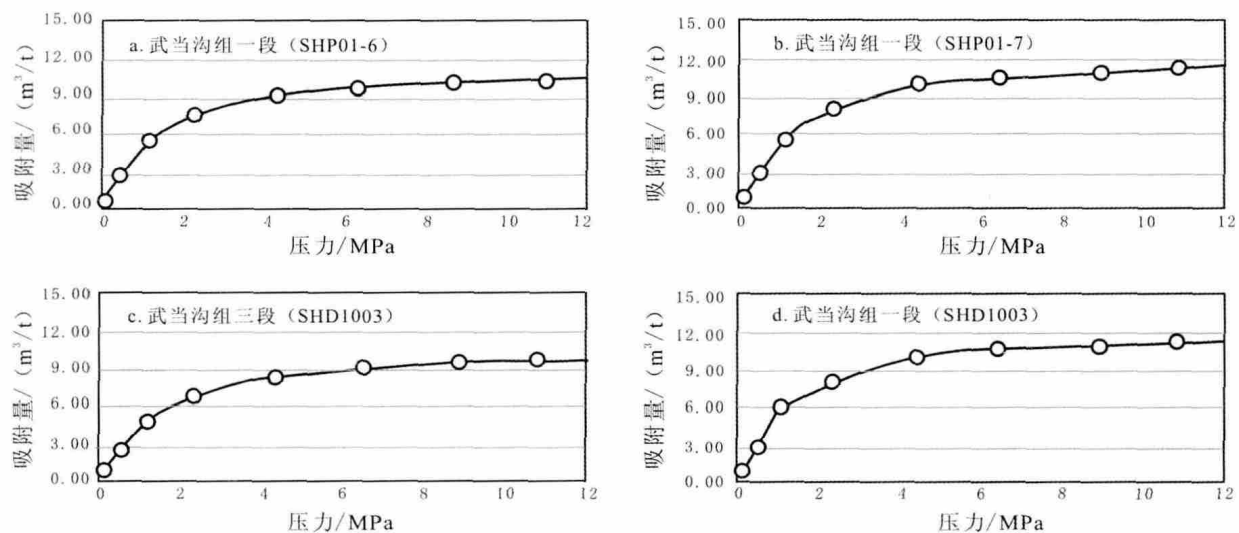


图 5 研究区武当沟组烃源岩等温吸附曲线

Fig. 5 Isothermal adsorption curve of the source rocks of Wudangou Formation

表 3 研究区武当沟组烃源岩等温吸附结果对比表

Table 3 Isothermal adsorption comparison of the source rocks of Wudangou Formation				
层 系	最大甲烷吸附量 /(m³/t)	中值压力/ MPa	有机碳含量 (TOC)/%	黏土矿物相 对含量/%
武当沟组一段	11.29~12.58	1.17~1.24	27~32.52	72~82
武当沟组三段	3.85~8.01	1.14	5.57~16.48	46~60

1.24 MPa；武当沟组三段泥页岩最大甲烷吸附量变化较大,为 3.85~8.01 m³/t,中值压力 1.14 MPa。武当沟组泥页岩最大吸附量随总有机质丰度和黏土矿物含量增大而增大,以有机质丰度的影响最为明显,与甲烷吸附量呈明显正相关。

4 综合评价

内蒙古石拐盆地地下侏罗统武当沟组烃源岩主要为暗色泥岩、页岩、炭质泥岩、煤层组成(图 6)。武当沟组烃源岩在石拐盆地内分布范围广,累计厚度较大,本次在公忽洞所测剖面主要揭示武当沟组下部层序,下部岩性为粗砂岩夹细砂岩,为扇三角洲沉积;上部岩性为薄层状黑色页岩夹中厚层状含砾中砂岩,为半深湖相夹水下扇沉积。该剖面泥页岩厚度 70 m,占地层厚度比为 30.4%,有机碳含量平均为 2.71%,干酪根类型为 II₂ 型,有机质成熟度处于低成熟阶段。

本坝沟剖面主要揭示武当沟组中上部层序,下部岩性为薄层状黑色页岩与中砂岩互层,为半深湖相夹水下扇沉积;中部岩性为厚层黑色粗砂岩夹煤层、炭质泥岩,为扇三角洲沉积;上部岩性为黑色泥岩、炭质泥

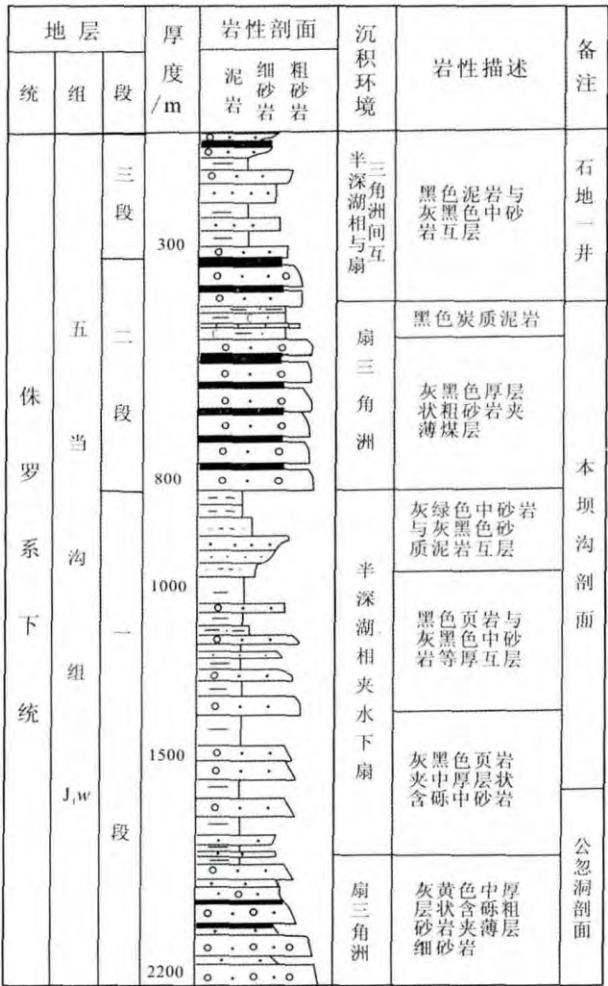


图 6 石拐盆地武当沟组综合柱状图

Fig. 6 Columnar section of Wudangou Formation in Shiguai basin

岩与中砂岩互层,为半深湖与扇三角洲间互沉积。该剖面泥页岩厚度 68.1 m,占地层厚度比为 45.51%,有机

碳含量平均为 8.04%, 干酪根类型为 II₂—III 型, 有机质成熟度处于未成熟—低成熟阶段。

5 结论

石拐盆地下侏罗统武当沟组厚度大、分布广, 为区域内重要的烃源岩层系, 沉积环境为半深湖相—扇三角洲。武当沟组泥页岩有机碳含量较高, 属于较好级别烃源岩, 有机质类型为 II₂—III 型, 大部分样品反映已处于低成熟演化阶段, 甲烷吸附能力也较强。武当沟组具备形成页岩(油)气、煤层气等非常规油气的地质条件^{[13-14] ①}。

参考文献:

- [1] 鄂俊杰, 卓胜广, 刘蕴华, 等. 蒙南盆地群石油地质条件评价 [J]. 石油与天然气地质, 2000, 21 (4): 350-353.
- [2] 杜菊民, 张庆龙, 杜松金, 等. 内蒙古中部石拐侏罗纪陆相含煤盆地构造变形 [J]. 煤田地质与勘探, 2006, 34 (4): 8-11.
- [3] 徐翔军, 赵羽君. 内蒙古石拐中生代断陷盆地形成与成因初探 [J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2005, 35 (1): 33-38.
- [4] 刘正宏, 徐仲元, 杨振升. 大青山逆冲推覆体系含义及地质特征 [J]. 世界地质, 2001, 20 (3): 224-229.
- [5] 郑亚东, Davis G A, 王琮, 等. 内蒙古大青山大型逆冲推覆构造 [J]. 中国科学 D 辑, 1998, 28 (4): 289-295.
- [6] 彭向东, 徐仲元, 刘正宏. 内蒙古大青山地区中、上侏罗统大青山组的修订 [J]. 地层学杂志, 2003, 27 (1): 56-70.
- [7] 内蒙古自治区地质矿产局. 内蒙古自治区岩石地层 [M]. 武汉: 中国地质大学地质出版社, 1996: 225-294.
- [8] 王思恩. 中国侏罗系(中国地层 11) [M]. 北京: 地质出版社, 1985.
- [9] 内蒙古自治区地质局. 内蒙古阳含煤盆地中生代地层古生物 [M]. 北京: 地质出版社, 1982: 4-13.
- [10] 秦建中, 等. 中国烃源岩 [M]. 北京: 科学出版社, 2005: 8-78.
- [11] 邬立言, 顾信章, 盛志伟, 等. 生油岩热解快速定量评价 [M]. 北京: 科学出版社, 1986: 2-5.
- [12] 欧莉华, 伊海生, 张超, 等. 内蒙古锡林浩特—阿鲁科尔沁地区上二叠统林西组烃源岩有机地球化学特征 [J]. 地质通报, 2013, 32 (8): 1329-1335.
- [13] 杨俊杰, 裴锡古. 中国天然气地质学(卷四) [M]. 北京: 石油工业出版社, 1996.
- [14] 张大伟, 李玉喜, 张金川, 等. 全国页岩气资源潜力调查评价 [M]. 北京: 地质出版社, 2012.

①王淑玲, 等. 国外页岩气资源及勘查开发现状. 中国地质图书馆, 2012.