

二连盆地侏罗系烃源岩地球化学特征及油源贡献

汪生秀^{1,2}, 张枝焕³, 张志平^{1,2}, 王巧丽^{1,2}

1. 重庆地质矿产研究院, 重庆 400042; 2. 重庆市国土资源和房屋管理局 矿产地质与环境地质重点实验室, 重庆 400042; 3. 中国石油大学(北京), 北京 102200

摘要: 二连盆地侏罗系烃源岩研究程度较低,但在侏罗系发现有工业油流。本文通过有机岩石学与有机地球化学常规分析,系统研究与评价了这套烃源岩;结合原油与烃源岩的生物标志化合物的对比与分析,探讨其对油源的贡献。结果表明,二连盆地上侏罗统烃源岩有机质丰度低,有机质类型以Ⅲ型为主,成熟度较低,为非或差烃源岩;中下侏罗统有机质丰度较高,有机质类型以Ⅱ₂-Ⅲ型为主,成熟度较高,为较好-好烃源岩。侏罗系烃源岩形成于淡水的氧化沉积环境,以陆源高等植物输入为主。此外,阿56井阿尔善组部分原油和图参1井侏罗系原油来源于侏罗系烃源岩。由此推断二连盆地侏罗系烃源岩具有良好的生烃潜力,勘探前景广阔。

关键词: 烃源岩;生烃潜力;油源对比;二连盆地

中图分类号: TE122.1⁺13 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2802(2012)04-0396-08

Geochemical Characteristics and Oil-source Correlation of the Jurassic Source Rocks in the Erlian Basin

WANG Sheng-xiu^{1,2}, ZHANG Zhi-huan³, ZHANG Zhi-ping^{1,2}, WANG Qiao-li^{1,2}

1. Chongqing Institute of Geology & Mineral Resources, Chongqing 400042, China; 2. Key Laboratory of Geology for Mineral Resources & Environment, Chongqing Administration of Land, Resources and Housing, Chongqing 400042, China; 3. China University of Petroleum, Beijing 102200, China

Abstract: Although the exploration of the Jurassic source rock in the Erlian Basin is limited, industrial oil sources were discovered in this layer recently. This paper studied the oil source correlation in the Jurassic Formation through carrying organic petrology and geochemical analyses and studying the biomarker characteristics of crude oils and source rocks. The results indicated that the lower and the middle Jurassic source rocks have higher content of organic matters, higher maturity and better potential of hydrocarbon producing than those of the Upper Jurassic source rocks, which were deposited in oxidation lacustrine environment and dominated by terrestrial higher plants input. In addition, the crude oils in the Jurassic Formation from the Well A56 and the Well Tucan 1 are originated from the Jurassic source rocks. In summary, the Jurassic Formation source rocks have well exploration prospect.

Key words: source rock; hydrocarbon generation potential; oil source correlation; Erlian basin

钻探揭示二连探区主力含油层主要集中在白垩系腾格尔组和阿尔善组上段,随着勘探程度的提高(构造油藏、岩性油藏),寻找接替性新含油层系及油气藏已成为二连探区下步勘探的重要任务之一,目前分析认为主要的接替层系有侏罗系、阿尔善组下部组合及古生界地层。

近年来,在我国西北吐哈盆地相继发现了侏罗

系大型煤成油田,展示北方侏罗系良好的油气勘探前景^[1,2]。随着二连盆地白垩系勘探的深入,对侏罗系的成油地质特征也进行过一些研究,1995年和1996年华北油田研究院采用多种资料相结合的方法,对侏罗系构造地质特征、沉积环境、生烃潜力等进行了初步研究,认为二连盆地中下侏罗统烃源岩有较好的资源潜力^[3];赵林等^[4]认为侏罗系在晚白

收稿日期:2011-06-27 收到,09-16 改回

基金项目:重庆市自然科学基金支撑项目(CSTC2012JJB9007)

第一作者简介:汪生秀(1983-),女,助理工程师,研究方向:非常规天然气地质。

世开始进入生油期,第三纪时进入生油高峰,但迄今对侏罗系烃源岩地球化学特征及生烃潜力的研究还较薄弱。近年来,侏罗系储层发现了工业性油流逐步成为热点,因此,有必要对二连盆地侏罗系进行烃源岩生烃潜力评价、地化特征分析以及油源贡献分析,这对开展二连盆地新层系油气地质特征及含油气远景评价具有重要意义。

1 地质背景

二连盆地群位于我国北疆内蒙古自治区,隶属于锡林郭勒盟、乌兰察布盟和巴颜淖尔盟,其地理坐标为东经 $107^{\circ}30' \sim 119^{\circ}10'$,北纬 $40^{\circ}40' \sim 45^{\circ}45'$,呈东西向转北东向展布,其东临大兴安岭,与松辽盆地、开鲁盆地相邻,西界索伦山隆起,与银根盆地、河套盆地相邻,北靠中蒙边界巴音宝力格隆起,南到阴

山北麓温都尔庙隆起以北,东西长约 1000 km,南北宽 20~220 km,总面积约 $10 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。二连盆地是在内蒙古一大兴安岭褶皱带基底上和燕山期拉张翘断构造应力场作用下发育起来的中新生界(以下白垩统为主)断陷沉积盆地^[5],共 51 个凹陷和 21 个凸起(图 1),发育于统一的褶皱基底、彼此独立但发育史相似^[3]。二连盆地侏罗系以残留型为主,分布面积较大,但横向厚度变化大,主要是大面积分布的侏罗系末期的大兴安岭群(以火成岩为主),以及中下侏罗统的阿拉坦合力群(以含煤系地层为特点)^[6]。阿拉坦合力群普遍发育一套河流-沼泽相的砂岩、砂砾岩及河流、湖泊等相的泥岩,大兴安岭群的火山岩和砂砾岩,白垩系砂砾岩及其基底花岗岩,凝灰岩都可作为储层和盖层^[7]。

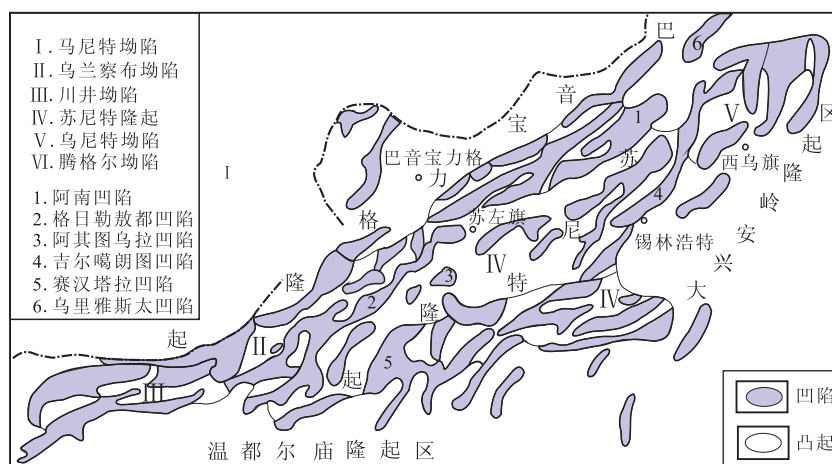


图 1 二连裂谷盆地群构造单元图(据文献[3])

Fig. 1 A map showing the schematic tectonic unit in the Erlian Basin(modified from ref. [3])

2 烃源岩地球化学特征

本次共采集 79 个泥岩(包括岩心、岩屑)样品,39 个油砂样品,进行了有机碳、泥岩热解、烃源岩和油砂抽提及族组分分离、饱和烃和芳烃气相色谱-质谱、有机岩石学等地球化学分析。根据实验数据并结合收集到的二连盆地侏罗系烃源岩地球化学资料(华北油田),对研究侏罗系不同层段烃源岩地球化学特征进行系统的分析。

2.1 烃源岩综合评价

2.1.1 上侏罗统 二连盆地各凹陷上侏罗统烃源岩有机质丰度较低,总有机碳(TOC)含量介为 0.13%~3.19%,平均 0.97%,生烃潜力($S_1 + S_2$)为 0.02~8.38mg/g,平均 1.81 mg/g,氯仿沥青“A”值为 0.003%~0.047%,平均 0.04%,依据“中

陆相烃源岩有机质丰度评价标准”^[8,9],总体评价为较差烃源岩,但乌里雅斯太凹陷泥岩样品有机质丰度较高(表 1),达到较好烃源岩的标准。据 IH 与 T_{max} 数据表明,有机质类型主要为 III 型,镜质体反射率 R_o 均值 0.66%,泥岩的成熟度较低,所以上侏罗统泥岩综合评价为较差烃源岩。

2.1.2 中下侏罗统 二连盆地中下侏罗统发育暗色泥岩、碳质泥岩和煤岩。因碳质泥岩和煤岩样品数量较少,本文只讨论暗色泥岩。实验数据表明中下侏罗统暗色泥岩有机质丰度较高,总有机碳(TOC)含量为 0.13%~5.39%,平均 1.81%,生烃潜力($S_1 + S_2$)为 0.02~51.82 mg/g,平均 3.55 mg/g,氯仿沥青“A”值为 0.01%~0.72%,平均 0.10%,总烃为 90.58~8960.25 $\mu\text{g/g}$,平均 843.55 $\mu\text{g/g}$,依据“煤系泥岩有机质丰度评价标准”^[10],达

表 1 二连盆地不同凹陷上侏罗统烃源岩有机质丰度分布表

Table 1 Organic matter abundance of the upper Jurassic source rocks in different depressions of the Erlian Basin

凹陷	岩性	TOC(%)	S ₁ +S ₂ /mg·g ⁻¹	氯仿沥青“A”(%)	总烃(×10 ⁻⁶)	丰度评价
赛汉塔拉	泥岩	$\frac{0.25\sim 1.29}{0.65(7)}$	$\frac{0.04\sim 1.65}{0.69(7)}$	$\frac{0.003\sim 0.029}{0.020(4)}$	$\frac{122.6\sim 178.6}{157.3(3)}$	较差
乌里雅斯太	泥岩	$\frac{0.13\sim 3.19}{2.49(12)}$	$\frac{0.11\sim 8.38}{5.08(12)}$	0.0469(1)	/	较好
格日乐敖都	泥岩	$\frac{0.14\sim 0.21}{0.18(5)}$	$\frac{0.02\sim 0.05}{0.04(4)}$	/	/	差
吉尔嘎朗图	泥岩	$\frac{0.3\sim 0.97}{0.59(5)}$	$\frac{0.15\sim 3.08}{1.42(5)}$	$\frac{0.02\sim 0.08}{0.06(3)}$	$\frac{104.08\sim 484.98}{347.9(3)}$	较差

注:横线上为范围值,横线下为均值,括号内为样品数,/为未测出

表 2 二连盆地不同凹陷中-下侏罗统源岩有机质丰度分布表

Table 2 Organic matter abundance of the middle-lower Jurassic source rocks in different depressions of the Erlian Basin

凹陷	岩性	TOC(%)	S ₁ +S ₂ /mg·g ⁻¹	氯仿沥青“A”(%)	总烃(×10 ⁻⁶)	丰度评价
阿南阿北	泥岩	$\frac{0.90\sim 5.02}{2.26(6)}$	$\frac{2.15\sim 8.24}{5.05(5)}$	$\frac{0.06\sim 0.08}{0.072(2)}$	500.94	较好
阿其图乌拉	泥岩	$\frac{0.7\sim 5.39}{2.51(49)}$	$\frac{0.38\sim 8.92}{3.1(25)}$	$\frac{0.01\sim 0.72}{0.16(18)}$	$\frac{127.71\sim 8960.25}{2594.22(5)}$	较好—好
格日勒敖都	泥岩	$\frac{0.13\sim 5.06}{0.63(29)}$	$\frac{0.02\sim 8.96}{0.66(31)}$	$\frac{0.03\sim 0.11}{0.06(3)}$	392.06	较差
乌里雅斯太	泥岩	$\frac{0.79\sim 3.45}{2.27(13)}$	$\frac{0.49\sim 5.60}{3.46(13)}$	$\frac{0.03\sim 0.44}{0.16(5)}$	$\frac{90.58\sim 960.225}{529.55(2)}$	较好—好
赛汉塔拉	泥岩	$\frac{0.2\sim 5.06}{1.36(19)}$	$\frac{0.02\sim 51.82}{5.08(19)}$	$\frac{0.01\sim 0.08}{0.05(2)}$	$\frac{88.94\sim 313.04}{200.99(2)}$	较好

注:横线上为范围值,横线下为均值,括号内为样品数

到较好烃源岩标准。其中,除格日乐敖都凹陷中下侏罗统烃源岩有机质丰度较低(表 2),为较差烃源岩外,其余凹陷泥岩有机质丰度均达到较好—好烃源岩的标准。另外,IH 与 T_{max} 数据表明,暗色泥岩有机质类型为 II₂-III 型,平均 R_o = 0.79%,烃源岩已达到生烃门限,表明二连盆地中下侏罗统烃源岩具有较好的生烃条件。

2.2 有机岩石学特征

二连盆地侏罗系烃源岩除检测到镜质组、壳质组和惰质组三类常见的有机显微组分外,还检测到大量矿物沥青基质(表 3)。其中,壳质体以孢子体、

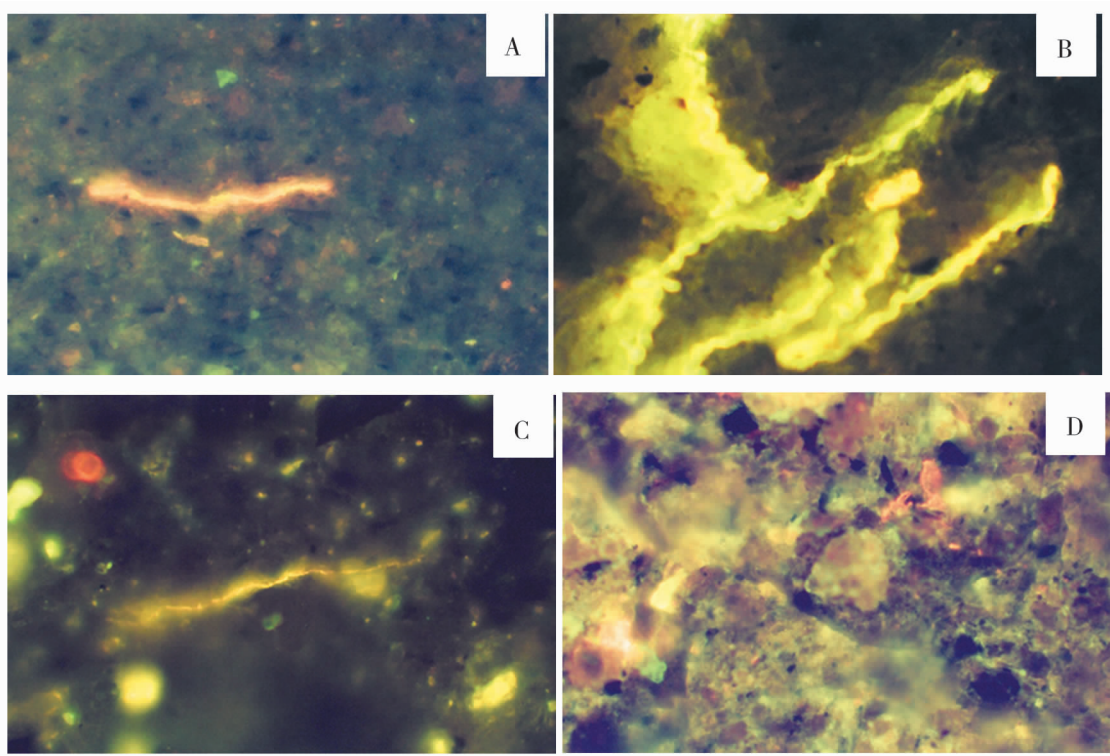
角质体和壳屑体为主(图 2)。以上参数表明侏罗系烃源岩生源为陆源高等植物。上侏罗统烃源岩形态有机质的含量变化较大(表 3 为 0.1%~11.2%),显微组分镜质组为主,有机质类型为 III 型,生烃能力较差。中下侏罗统泥岩样品中形态有机质的含量变化也较大(1.1%~14.2%),其中镜质组相对含量为 10%~80.8%,平均 34.4%;壳质组相对含量为 20.7%~90%,平均值为 43.13%;矿物沥青基质相对含量为 6.1%~16.1%;有机质类型主要为 II₂,个别为 III 型,“壳质组+矿物沥青基质”在全岩中所占比重也较大,表明该套源岩有较强的生烃能力。

表 3 二连盆地不同凹陷侏罗系烃源岩样品中显微组分含量分布表

Table 3 The macerals contents of the Jurassic source rocks in different depressions of the Erlian Basin

凹陷	层位	岩性	镜质组 (%)	惰质组 (%)	壳质组 (%)	矿物沥青基质 (%)	形态有机质总和 (%)	有机质类型	生烃潜力
乌里雅斯太	J _{3x}	泥岩	100	—	—	—	0.1	III	生烃性较差
	J _{1+2a}	泥岩	10	—	90	—	1.1	II _b	生油
	J _{1+2a}	泥岩	27.7	—	66.2	6.1	6.1	II _b	生烃性较差
吉尔嘎朗图	J _{3x}	泥岩	25.9	10.4	46.7	17	11.2	III	生油
	J _{1+2a}	泥岩	75	25	—	—	10.8	III	生气为主
阿其图乌拉	J _{1+2a}	泥岩	15.6	5	33.3	46.1	7.6	II _b	生油
	J _{1+2a}	泥岩	21.1	10.8	31.8	36.3	14.2	II _b	生油-生气
格日勒敖都	J _{1+2a}	泥岩	23.2	10.7	26.8	39.3	3.4	II _b -III	生油
	J _{1+2a}	泥岩	22.5	0.7	33.1	43.7	8	II _b	生油
赛汉塔拉	J _{1+2a}	泥岩	80.8	—	—	19.2	2.1	III	生烃性较差

注:—为未检测出



A-图参 1 井,黑色泥岩, J_{1+2a} , 2427.6 m, 红黄色孢子体, 分散状黄色矿物沥青基质; B-格古 1 井, 灰色泥岩, J_{1+2a} , 1791.8 m, 绿色角质体; C-太 87 井, 灰色泥岩, J_{1+2a} , 971.6 m, 细条状角质体, 分散状壳屑体; D-图参 1 井, 泥岩, J_{1+2a} , 2697.5 m, 红黄色壳屑体

A-Tc 1 well, black mudstone, J_{1+2a} , 2427.6 m, titian sporophyte, Scattered like yellow mineral matrix asphalt; B-Gg 1 well, gray mudstone, J_{1+2a} , 1791.8 m, green cutinite; C-T 87 well, gray mudstone, J_{1+2a} , 971.6 m, thin strips cutinite, shell-like debris scattered body; D-Tc 1 well, mudstone, J_{1+2a} , 2697.5m, titian shell-like debris

图 2 二连盆地部分井有机显微组分特征

Fig. 2 The characteristics of organic maceral of partial well in Erlian Basin

2.3 烃源岩热演化特征

有机质演化的光学标志是在显微组分鉴定的基础上,所测定的能反映有机质化学结构和化学成分变化的光性特征,其中镜质组反射率(R_o)是反映有机质热演化程度的最主要的光性标志之一^[11]。根据邬立言^[12]的划分标准将烃源岩的热演化分为多个阶段。研究区侏罗系烃源岩干酪根 R_o 值分布为 0.44%~1.37%,其中,上侏罗统 R_o 值为 0.44%~0.85%,平均 0.67%;中下侏罗统 R_o 为 0.48%~1.37%,平均 0.79%。统计结果显示,除 2 个未成熟外,其余样品均已成熟,表明研究区内大部分侏罗系泥岩已进入成熟阶段,处于生油阶段(图 3)。

2.4 生物标志物特征

2.4.1 正构烷烃 正构烷烃的分布特征在一定程度上反映有机质的成熟度和生源输入。低碳数的正构烷烃主要来源于浮游生物和藻类脂肪酸^[13],而高碳数的正构烷烃则主要来源于陆生植物的表皮蜡层^[14]。研究区烃源岩样品正构烷烃碳数分布呈单峰态后峰型,碳数分布范围为 $nC_{15} \sim nC_{32}$,主峰碳为

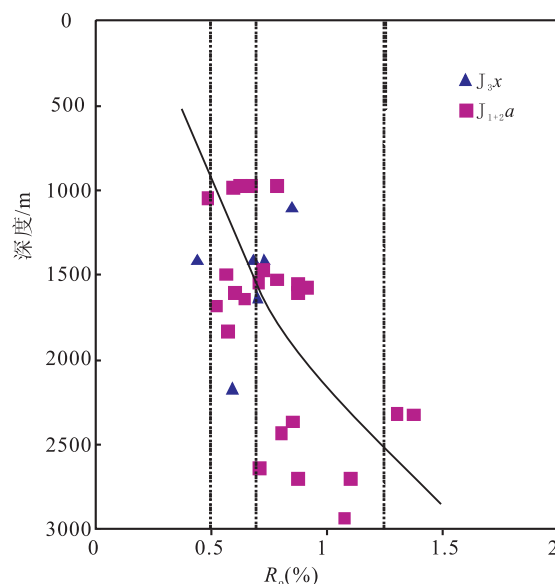


图 3 二连盆地侏罗系烃源岩 R_o 与深度变化曲线

Fig. 3 The correlation of R_o value and depth of the Jurassic source rocks in the Erlian Basin

nC_{21} 或 nC_{23} , 因此其生源为陆源高等植物。CPI(碳优势指数)和 OEP(奇偶优势)可用来粗略反映沉积

有机质和原油的成熟度。研究区烃源岩的 CPI 为 1.08~1.61,均值为 1.33,OEP 为 1.03~1.31,均值为 1.14,奇偶优势不明显,表明烃源岩有机质处于低熟—成熟阶段。

2.4.2 无环类异戊二烯烷烃 无环类异戊二烯烷烃中应用最广泛的是姥鲛烷(Pr)和植烷(Ph),其经常用来判断沉积有机质形成环境的氧化还原程度。一般而言,Pr/Ph<0.5 为强还原性膏盐沉积环境^[15];0.5~1.0 为还原环境;1~2 为弱还原—弱氧化环境,大于 2 者见于偏氧化性环境。研究区侏罗系泥岩抽提物中 Pr/Ph 范围为 1.0~3.79,均值为 2.28,变化较明显,具有姥鲛烷优势。因此,侏罗系烃源岩沉积环境以氧化环境为主。

2.4.3 萜烷类化合物 泥岩抽提物中二环倍半萜丰度较高,8(β)-补身烷/8(α)-补身烷为 0.13~0.35,三环萜烷丰度较低,Ts/(Ts+Tm)为 0.01~0.26,表明烃源岩生源以陆源高等植物为主。升藿烷指数为 0.01~0.03,C₃₁升藿烷 22S/(22S+22R)为 0.46~0.60,平均 0.56,除两个样品外,大部分样品接近演化平衡值,表明研究样品大部分进入成熟阶段。伽马蜡烷常被作为强还原超盐环境的指示,

并且还与水体的分层有关^[16]。烃源岩样品中伽马蜡烷含量很低,伽马蜡烷指数为 0.03~0.14,表明有机质沉积时水体盐度不大,为淡水湖相沉积。

2.4.4 甾烷类化合物 侏罗系烃源岩中甾烷化合物丰度较高,孕甾烷与升孕甾烷含量不高,(孕甾烷+升孕甾烷)/规则甾烷=0.02~0.27,有机质水体盐度较小,以淡水沉积环境为主; $\alpha\alpha\alpha$ 20RC₂₇、C₂₈、C₂₉甾烷相对丰度呈反“L”型分布,规则甾烷 $\alpha\alpha\alpha$ C₂₉ 20R 明显占优势, $\alpha\alpha\alpha$ 20R 甾烷 C₂₇/C₂₉ 为 0.18~0.4,反映有机质主要以陆源高等植物为主;重排甾烷含量较低,重排甾烷/规则甾烷为 0.01~0.24,规则甾烷中 $\beta\beta$ 构型规则甾烷低于 $\alpha\alpha$ 构型,C₂₉ 甾烷 $\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ 为 0.15~0.51,均值为 0.31,C₂₉ 甾烷 20S/(20S+20R)为 0.11~0.46,均值为 0.32,表明大部分烃源岩样品已进入成熟阶段,但未进入高成熟阶段。

2.4.5 芳烃化合物 侏罗系烃源岩中多环芳烃化合物以菲为主,高分子芳烃化合物的丰度较低,上侏罗统烃源岩中藿的丰度很低,中下侏罗统中含量较高。三芴系列化合物中,氧芴的丰度相对较高,硫芴、芴的丰度较低,表明侏罗系烃源岩沉积环境为湖

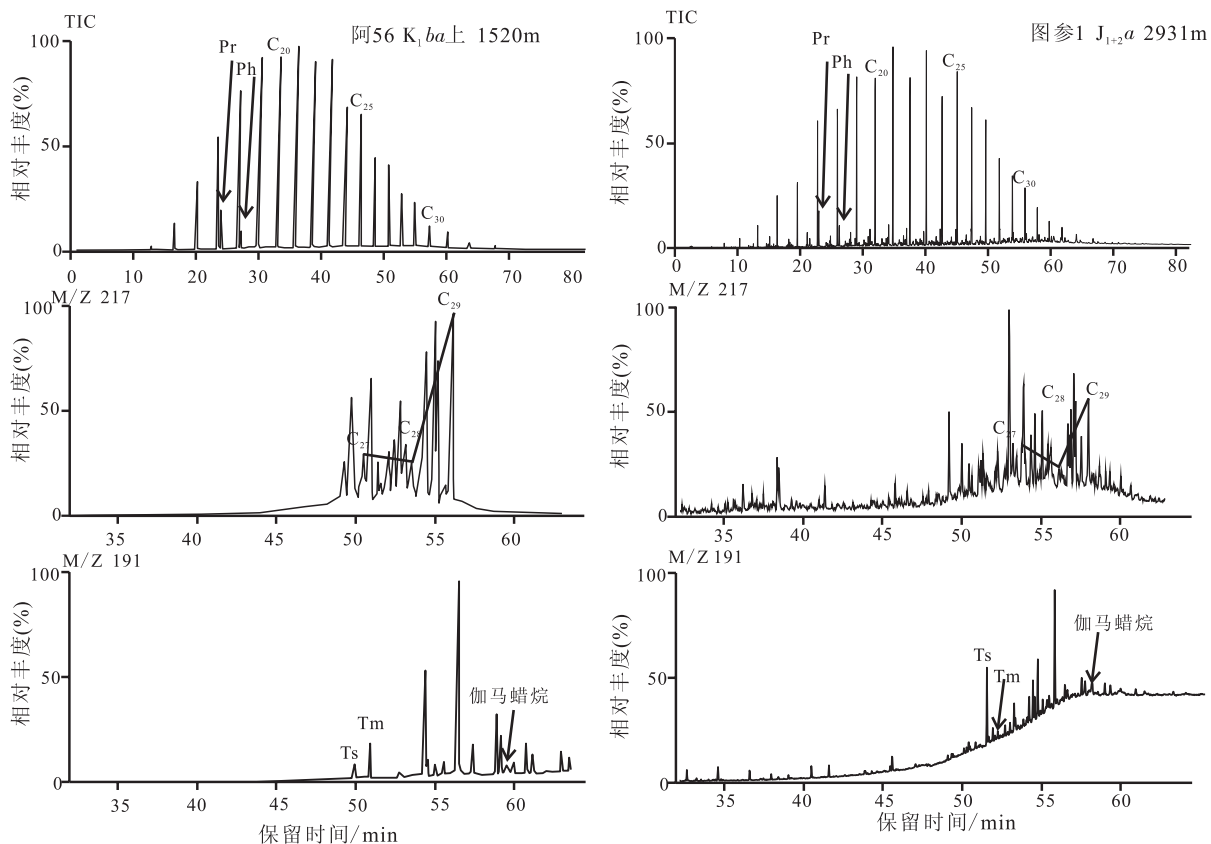


图 4 二连盆地深部原油部分生物标志物分布特征

Fig. 4 The partial mass chromatograms of crude oil of deep stratum in the Erlian Basin

沼环境。MPI1 平均值为 0.61, R_c 平均值为 0.76, 与源岩定量测定镜质体反射率较好的吻合, 表明烃源岩处于成熟阶段。

3 原油生物标志特征及油岩对比

根据原油中 Pr/Ph 值、 β -胡萝卜素、甾烷与萜烷类化合物以及高分子量正构烷烃的分布特征可以将原油划分为一类, 该类原油分布在阿 56 井阿尔善组和图参 1 井侏罗系。其主要地球化学特征为(图 4): 正构烷烃碳数呈正态分布, 无奇偶优势, CPI 为 1.01~1.32, Pr/Ph 为 1.72~2.99; 二环倍半萜丰度较高, $8(\beta)$ -补身烷/ $8(\alpha)$ -补身烷为 0.45~0.46, 三环萜烷丰度不高, 伽马蜡烷含量很低, 伽马蜡烷指数为 0.22~0.24, $T_s/(T_s+T_m)$ 为 0.2~0.9, 升藿烷指数为 0, C_{31} 升藿烷 $22S/(22S+22R)$ 为 0.47~0.62; 甾烷化合物丰度较高, 孕甾烷与升孕甾烷含量

不高, $\alpha\alpha\alpha 20RC_{27}$ 、 C_{28} 、 C_{29} 甾烷呈反“L”型分布, $\alpha\alpha\alpha 20RC_{27}$ 甾烷相对含量小于 $\alpha\alpha\alpha 20RC_{29}$ 甾烷, $\alpha\alpha\alpha 20R$ 甾烷 C_{27}/C_{29} 为 0.25~0.61, 重排甾烷含量很低; C_{29} 甾烷 $\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ 为 0.49~0.56, C_{29} 甾烷 $20S/(20S+20R)$ 为 0.35~0.45。

从正构烷烃谱图分布特征看, 原油或油砂样品中姥鲛烷、植烷含量相对较高, 姥鲛烷与植烷相比具有明显优势, 这与侏罗系烃源岩的分布特征(图 5)比较相近, 表明该类原油与侏罗系烃源岩可能存在亲缘关系。原油中二环倍半萜丰度较高, 三环萜烷丰度不高, 伽马蜡烷含量低, 不含 β -胡萝卜素, 规则甾烷 $\alpha\alpha\alpha 20RC_{27}$ 甾烷相对含量小于 $\alpha\alpha\alpha 20RC_{29}$ 甾烷, 这些分布特征都与侏罗系源岩特征比较接近。

从反映母源、沉积环境和成熟度等方面的生标参数伽马蜡烷/ C_{30} 藿烷- $\alpha\alpha\alpha 20R$ 甾烷 C_{27}/C_{29} 、Pr/Ph- $\alpha\alpha\alpha C_{29}$ 甾烷 $20S/(20S+20R)$ 、 C_{29} 甾烷 $\beta\beta/(\alpha\alpha+$

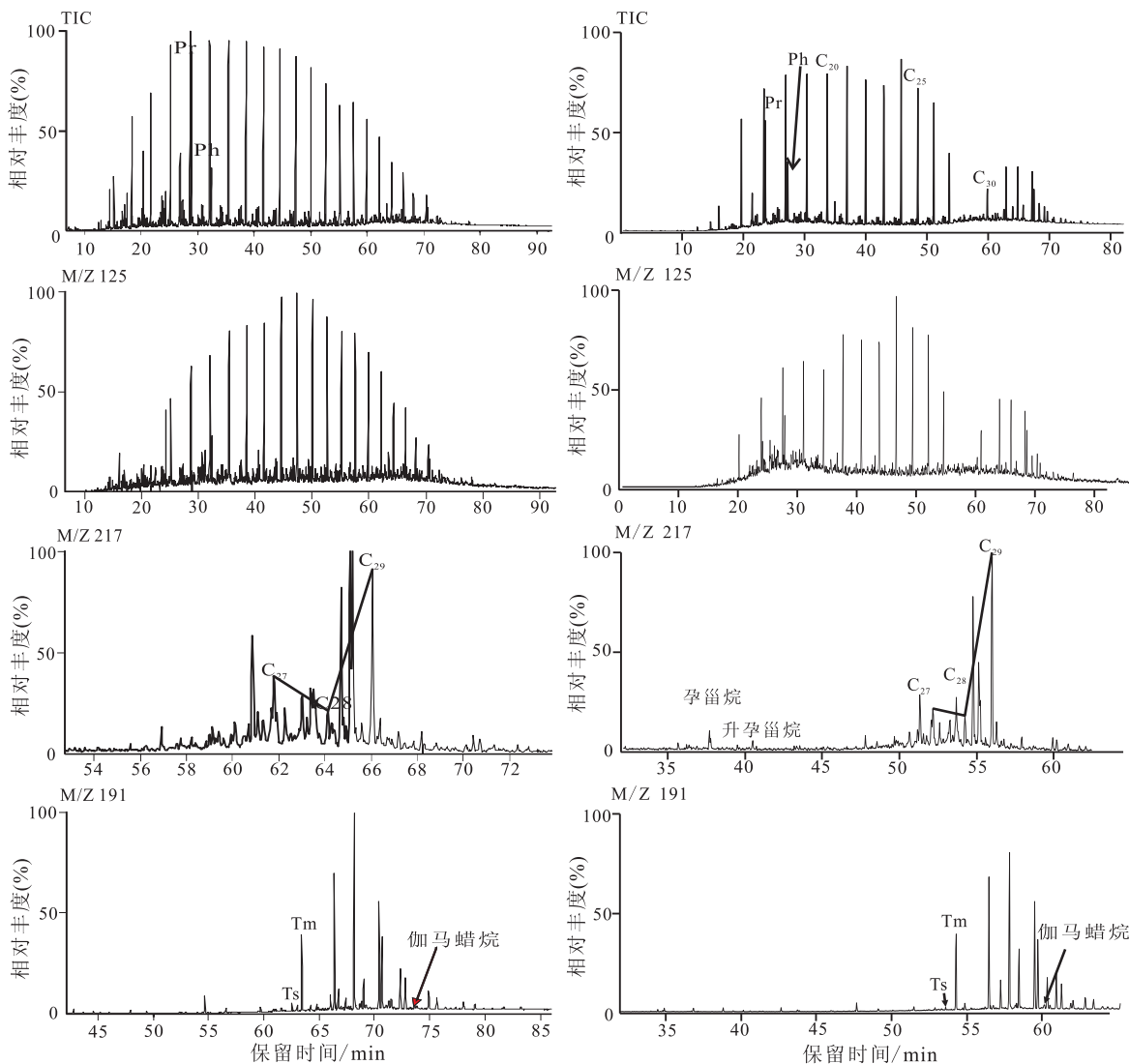


图 5 二连盆地侏罗系烃源岩部分生物标志物分布特征

Fig. 5 The partial mass chromatograms of the Jurassic source rocks in the Erlian Basin

$\beta\beta$ - $\alpha\alpha\alpha$ C₂₉甾烷 20S/(20S+20R)的相关图(图 6)可以看出,该类原油的生物标志物特征与侏罗系烃源岩具有很好的相关性;同时,侏罗系源岩和此类原油的三萜相对含量也有很好的相关性(图 7)。进一步

表明阿 56 井阿尔善组原油和图参 1 井侏罗系原油和侏罗系烃源岩有亲缘关系。综合上述分析认为,此类原油主要来源于侏罗系烃源岩。

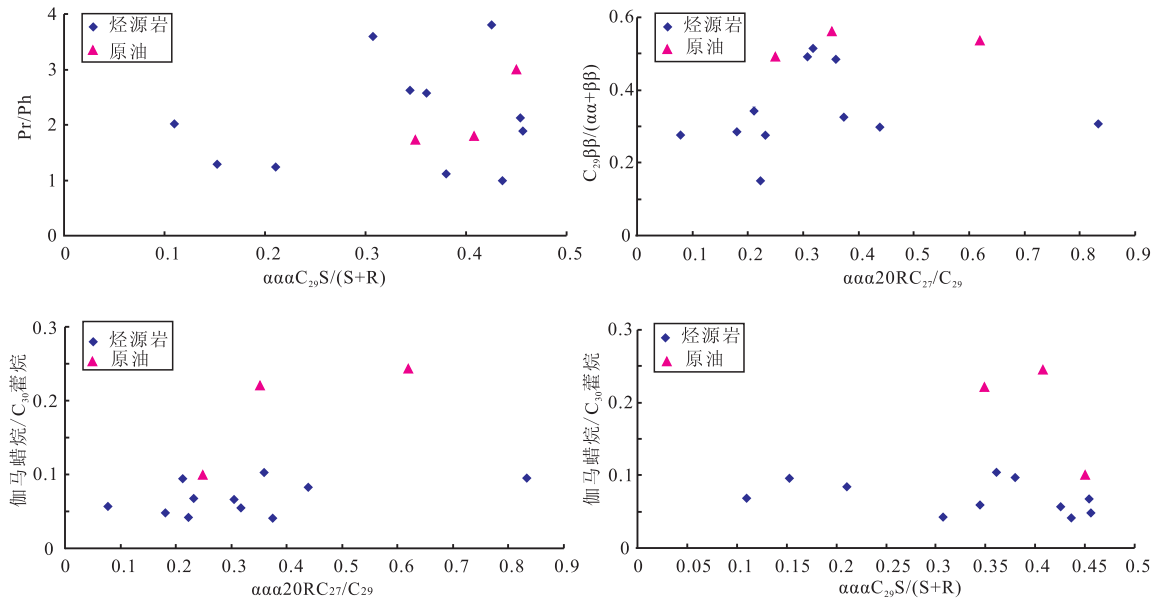


图 6 二连盆地侏罗系烃源岩与原油生物标志物参数对比图

Fig. 6 Comparisons of hydrocarbon source rocks and crude oil biological markers parameters in the Erlian Basin

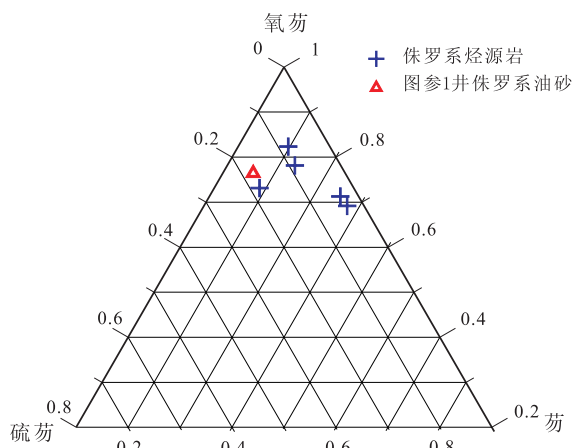


图 7 侏罗系烃源岩和图参 1 井侏罗系油砂三芴相对含量图
Fig. 7 The distribution of the relative abundance of F, SF and OF in the Jurassic source rocks of the Aqituwula depression and the Jurassic oil sand of Tc1 well

4 结 论

(1)二连盆地上侏罗统烃源岩有机质丰度低,成熟度较低,综合评价为较差烃源岩;中下侏罗统烃源岩有机质丰度较高,已进入大量生烃阶段,显微组分中富氢组分含量较大,具有较好的生烃条件。

(2)烃源岩生物标志物特征表明侏罗系主要形成于淡水氧化环境,生源以陆源高等植物输入为主。

(3)阿 56 井阿尔善组原油和图参 1 井侏罗系原油来源于侏罗系烃源岩,表明侏罗系烃源岩有生烃贡献。

参考文献 (References):

[1] 黄第藩, 张大江, 李晋超. 中国吐鲁番盆地侏罗系煤系地层成油问题[A]. 黄第藩, 华阿新, 王铁冠等. 煤成油地球化学新进展[C]. 北京: 石油工业出版社, 1992.
Huang Difan, Zhang Dajiang, Li Jinchao. Issues of occurrence of oil in Jurassic coal measure strata formation in Turpan Basin [A]. Huang Dipan, Hua Axing, Wang Tieguan *et. al.* Advance in geochemistry of coal-related oil[C]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1992. (in Chinese)

[2] 徐旺. 酒泉盆地侏罗系的喷油与盆地分析[J]. 石油实验地质, 1994, 16(2): 103—117.
Xu Wang. Oil injection and basin analysis of Jurassic stratum in Jiuquan Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 1994, 16(2): 103—117. (in Chinese)

[3] 焦贵浩. 二连裂谷构造演化与油气[A]. 北京: 石油工业出版社, 2002: 155—157.
Jiao Guihao. Tectonic evolution and petroleum of Erlian rift [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002: 155—157. (in Chinese)

[4] 赵林, 贾蓉芬, 秦建中, 郭爱明. 二连盆地侏罗系地层热演化史研究[J]. 地球化学, 1998, 27(6): 592—597.
Zhao Lin, Jia Rongfen, Qin Jianzhong, Guo Aiming. Thermal evolution history of Jurassic stratum in Erlian Basin[J]. Geochemica, 1998, 27(6): 592—597. (in Chinese with English)

- abstract)
- [5] 任战利. 中国北方沉积盆地构造热演化史研究[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999.
Ren Zhanli. A study of tectonic thermal evolution in sedimentary basin of northern China[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999. (in Chinese)
- [6] 费宝生. 二连裂谷盆地群油气地质[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001.
Fei Baosheng. Petroleum geology of Erlian rift basins[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001. (in Chinese)
- [7] 王雁举, 姜东华. 二连盆地侏罗系石油地质特征及综合评价[R]. 1996: 1—18.
Wang Yanju, Jiang Donghua. The Jurassic oil geological characteristics and comprehensive evaluation in Erlian Basin[R]. 1996: 1—18. (in Chinese)
- [8] 黄第藩, 陶国立, 王铁冠. 酒东盆地石油地球化学综合研究和远景评价[R]. 1990.
Huang Difan, Tao Guoli, Wang Tieguan. The oil geochemical comprehensive research and prospect evaluation of Jiudong Basin[R]. 1990. (in Chinese)
- [9] 王铁冠, 钟宁宁, 侯读杰. 低熟油形成机理与分布[M]. 北京: 石油工业出版社, 1995.
Wang Tieguan, Zhong Ningning, Hou Dujie. Immature oil formation mechanism and distribution[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995. (in Chinese)
- [10] 钟宁宁, 包建平, 黄光辉. 华北地区上古生界烃源岩及演化研究[R]. 1996.
Zhong Ningning, Bao Jianping, Huang Guanghui. A study of upper-Paleozoic source rock in North China and its evolution [R]. 1996. (in Chinese)
- [11] 方朝合, 张枝焕, 王义风, 刘人和, 拜文华. 苏北盆地溱潼凹陷第三系烃源岩地球化学特征[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2008, 23(06): 1—5.
Fang Chaohe, Zhang Zhihuan, Wang Yifeng, Liu Renhe, Bai Wenhua. Geochemical characteristics of the lower tertiary source rock in Qintong Sag, Subei Basin[J]. Journal of Xi'an Petroleum University(Natural Science Edition), 2008, 23(6): 1—5. (in Chinese with English abstract)
- [12] 郭立言, 顾信章. 热解技术在我国生油岩研究中的应用[J]. 石油学报, 1986, 7(2): 13—19.
Wu Liyan, Gu Xinzhang. The application of pyrolysis technique in source rock research[J]. Acta Petrolei Sinica, 1986, 7(2): 13—19. (in Chinese with English abstract)
- [13] Cranwell P A, Eglinton G, Robinson N. Lipids of aquatic organisms as potential contributors to lacustrine sediments- II [J]. Organic Geochemistry, 1987, 11: 513—527.
- [14] Meyers P A. Organic geochemical proxies of paleoceanographic, paleolimnologic, and paleoclimatic processes[J]. Organic Geochemistry, 1997, 27(5/6): 213—250.
- [15] Ten Haven H L, De Leeuw I W, Rullkötter A. Restricted utility of the pristane/phytane ratio as a palaeoenvironmental indicator[J]. Nature, 1987, 330: 641—643.
- [16] Mackenzie A S, Hoffmann C F, Maxwell J R. Molecular parameters of maturation in the toarcian shales, paris basin, France: Part-Changes in aromatic steroid hydrocarbons[J]. Geochim. Cosmochim. Acta, 1981, 45(8): 1345—1355.

(上接第 395 页)

- [24] Bezmen N I, Asif M, Brumann G E, *et al.* Distribution of Pd, Rh, Ru, Ir, Os, and Au between sulfide and silicate metals[J]. Geochim. Cosmochim. Acta, 1994, 58(4): 1251—1260.
- [25] Fleet M E, Crocket J H, Stone W E. Partitioning of platinum-group elements (Os, Ir, Ru, Pt, Pd) and gold between sulfide liquid and basalt melt[J]. Geochim. Cosmochim. Acta, 1996, 60(13): 2397—2412.
- [26] Fleet M E, Chrysosoulis S L, Stone W E, *et al.* Partitioning of platinum-group elements and Au in the Fe-Ni-Cu-S system; Experiments on the fractional crystallization of sulfide melt[J]. Contrib. Mineral. Petrol., 1993, 115(1): 36—44.
- [27] Barnes S J, Makovicky E, Makovicky M, *et al.* Partition coefficients for Ni, Cu, Pd, Pt, Rh and Ir between monosulfide solid solution and sulphide liquid and the implications for the formation of compositionally zoned Ni-Cu sulphide bodies by fractional crystallization of sulphide liquid[J]. Can. J. Earth Sci., 1997, 34: 366—374.
- [28] 陈列锰, 宋谢炎. 甘肃金川超大型 Ni-Cu-(PGE) 矿床的块状矿石 Pt 负异常成因机制[C]. 矿床地质(增刊), 2010, 29: 853—854.
Chen Liemeng, Song Xieyan. Pt negative anomaly genetic mechanism of massive ore in Jinchuan giant Ni-Cu-(PGE) deposit, Gansu [C]. Mineral Deposits (suppl.), 2010, 29: 853—854. (in Chinese with English abstract)
- [29] Chai G, Naldrett A J. The Jinchuan ultramafic intrusion: Cumulate of a high-Mg basaltic magma [J]. J. Petrol., 1992, 33: 277—304.
- [30] De wall S A, Xu Z H, Li C, Mouri H. Emplacement of viscous mushes in the Jinchuan ultramafic intrusion, Western China[J]. Can. Mineral., 2004, 42: 371—392.
- [31] Li C, Xu Z, De Waal S A, Ripley E M, Maier W D. Compositional variations of olivine from the Jinchuan Ni-Cu sulfide deposit, western China: Implication for ore genesis[J]. Mineral Deposita, 2004, 39: 159—172.
- [32] Ripley E M, Sarkar A, Li C. Mineralogic and stable isotope studies of hydrothermal alteration at the Jinchuan Ni-Cu deposit, China[J]. Econ. Geol., 2005, 100: 1349—1361.
- [33] 汤中立. 金川硫化铜镍矿床成矿模式[J]. 现代地质, 1990, 4(4): 55—64.
Tang Zhongli. Minerogenetic model of the Jinchuan copper and nickel sulfide deposit[J]. Geoscience, 1990, 4(4): 55—64. (in Chinese with English abstract)
- [34] Naldrett A J. Magmatic sulfide deposits; Geology, geochemistry, and exploration[M]. Berlin: Springer, 2004: 727.