

羌塘盆地昂达尔错地区

侏罗系烃源岩生物标志物特征及其指示意义

彭清华^{1,2}, 杜佰伟^{1,2}, 谢尚克^{1,2}, 郑博^{1,2}

(1. 中国地质调查局 成都地质调查中心, 成都 610081;

2. 国土资源部 沉积盆地与油气资源重点实验室, 成都 610081)

摘要:以烃源岩抽提物的饱和烃色谱—质谱分析为基础, 剖析了羌塘盆地昂达尔错地区 3 套主要烃源岩的生物标志物特征, 探讨了其沉积环境和成熟度指示意义。研究表明: 下侏罗统曲色组烃源岩具有较高的 $(C_{21}+C_{22})/(C_{28}+C_{29})$ 、 Ts/Tm 、 C_{31} 藿烷 S/R 及重排甾烷/规则甾烷比, 以腐泥型、腐殖腐泥型海相有机质输入为主, 呈成熟烃源岩特征; 中侏罗统布曲组烃源岩以相对较低的 Pr/Ph 和 C_{19}/C_{23} 三环藿烷区别于其他 2 套烃源岩, 沉积于较强的海相还原环境, 呈腐殖腐泥型、腐泥型有机质输入和低熟—成熟烃源岩特征; 中侏罗统夏里组烃源岩沉积于低盐度海陆过渡环境, 有机质类型以腐殖型和腐泥腐殖型为主, 显示低成熟烃源岩特征。

关键词: 烃源岩; 生物标志物; 侏罗系; 昂达尔错; 羌塘盆地

中图分类号: TE122.113

文献标识码: A

Biomarker characteristics of Jurassic source rocks in Angdarco area in Qiangtang Basin and their significance

Peng Qinghua^{1,2}, Du Baiwei^{1,2}, Xie Shangke^{1,2}, Zheng Bo^{1,2}

(1. Chengdu Center of China Geological Survey, Chengdu, Sichuan 610081, China; 2. Key Laboratory for Sedimentary Basin and Oil and Gas Resources, Ministry of Land and Resources, Chengdu, Sichuan 610081, China)

Abstract: The characteristics of biomarkers for three sets of main source rocks in Angdarco area of the Qiangtang Basin were studied, and the significance for sedimentary environment and thermal maturity was discussed, based on the analyses of saturated hydrocarbon chromatogram and mass spectrometry. Thermally mature source rocks from the Lower Jurassic Quse Formation have relatively higher ratios of $(C_{21}+C_{22})/(C_{28}+C_{29})$, Ts/Tm , C_{31} homohopane S/R , and rearranged sterane/regular sterane. The main sources were sapropelic and humic-sapropelic marine organic matter. Source rocks from the Middle Jurassic Buqu Formation were deposited in a reducing environment, and were distinguished from the other two source rocks by relatively lower ratios of Pr/Ph and C_{19}/C_{23} tricyclic terpane, which indicated sapropelic and humic-sapropelic organic matter inputs, at low mature to mature stage. Source rocks from the Middle Jurassic Xiali Formation were deposited in a marine-terrestrial transitional environment with a lower salinity, presenting humic and sapropelic-humic organic matter inputs, and low thermal maturity.

Key words: source rock; biomarker; Jurassic; Angdarco area; Qiangtang Basin

羌塘盆地是我国最大的中生代海相残留盆地, 油气勘探程度较低, 被认为是青藏地区油气资源潜力最大和最有希望取得勘探突破的盆地^[1-6]。目前该盆地已发现油气显示 200 多处, 其中南羌塘昂达尔错地区侏罗系古油藏为该区规模最大的地表油苗。前人对该研究区古油藏的沉积、构造进行了大量有益的探讨^[7-8], 但关于该区侏罗系主力烃源岩的生物标志物特征研究相对较少, 古油藏油源问题仍存在较大争议^[9-19]。本文重点剖析了侏罗系

烃源岩生物标志物组合特征, 探讨了其成熟度及沉积环境指示意义, 以期对羌塘盆地昂达尔错古油藏研究提供依据。

1 地质概况

羌塘盆地位于西藏北部“无人区”, 东经 $85^{\circ} \sim 95^{\circ}$, 北纬 $32^{\circ} \sim 35^{\circ}$, 南北宽约 300 km, 东西长近 640 km, 面积约 $18.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[10]。盆地南界为班公湖—怒江断裂缝合带, 与冈底斯—念青唐古拉板块

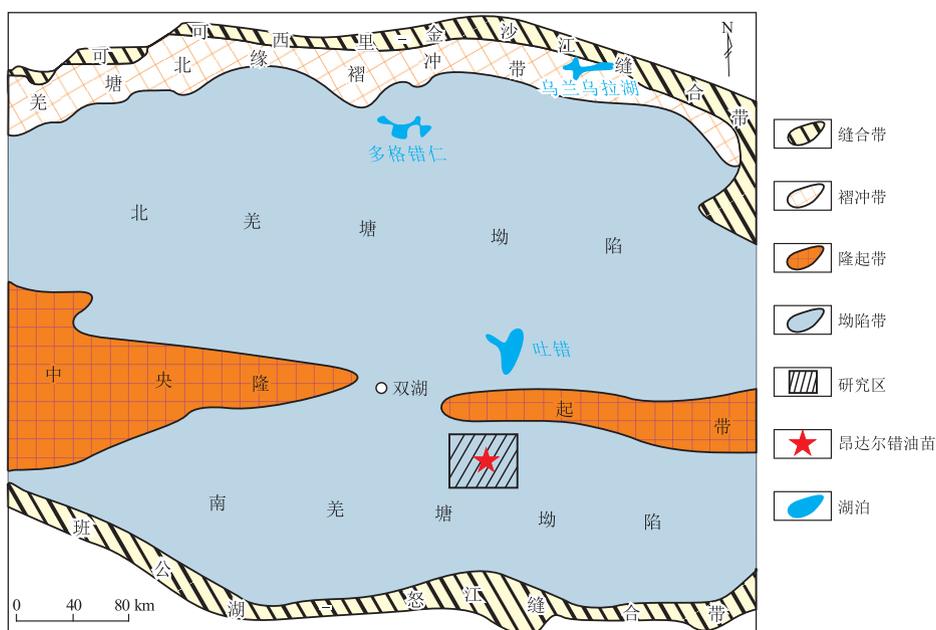


图1 羌塘盆地构造分区及研究区位置示意

据参考文献[26]修改。

Fig.1 Tectonic units of the Qiangtang Basin and location of study area

相接;北界为西金乌兰—金沙江断裂缝合带,与可西里—巴颜喀拉板块相接,是青藏高原面积最大的一个中生代海相沉积盆地^[20-22]。盆地内构造较为复杂,总体具有两坳一隆的构造格局,即北羌塘坳陷、南羌塘坳陷和中央隆起带^[23-25]。研究区位于南羌塘坳陷昂达尔错地区(图1),是羌塘盆地有利的油气勘探区。

羌塘盆地主要出露曲色组、雀莫错组、布曲组、夏里组、索瓦组和雪山组等6套侏罗系地层。下侏罗统曲色组(J_1q)为一套碎屑岩组合。中侏罗统雀莫错组(J_2q)为一套以灰紫—紫色及灰色为主的含砾砂岩、粉砂岩、复成分砾岩、石英砂岩夹少量灰色钙质砂岩岩石组合;布曲组(J_2b)主要为一套泥晶灰岩、生物碎屑灰岩、鲕粒灰岩、亮晶砂屑灰岩夹少许粉砂岩岩石组合;夏里组(J_2x)为一套杂色砂泥岩夹少量灰岩及石膏层组成的地层体,局部地区产双壳、腕足及孢粉化石。上侏罗统索瓦组(J_3s)为一套以碳酸盐岩为主夹碎屑岩的岩石组合,含有丰富的腕足、双壳、珊瑚类化石;雪山组(J_3x)地层岩性主要为灰色的粉砂岩、粉砂质泥岩、泥岩互层。总体而言,中上侏罗统具“三砂夹两灰”特征^[25-26]。

2 样品及实验方法

烃源岩样品分别取自羌塘盆地昂达尔错地区毕洛错、曲瑞恰乃和哈日阿隆根3个剖面;样品岩性组合简单,自下而上主要为曲色组油页岩、布曲

组泥灰岩和夏里组泥岩。为了降低地表现代有机物质的污染,减少因生物降解对沉积有机质的影响,尽量采集新鲜的岩石样品,并用塑料样品袋封口保存。样品基础地球化学数据见表1。

样品先被粉碎到小于200目,并进行抽提;饱和烃从抽提物中分离出来后,用Agilent7890-5975c气相色谱质谱联用仪来进行色谱—质谱测试分析,测试标准为《GB/T 18606-2001气相色谱质谱法测定沉积物和原油中生物标志物》。

样品测试分析时,饱和烃的色谱分析载气为99.999%氦气,流速为1 mL/min;进样口温度为300℃;传输线温度300℃;色谱柱为HP-5MS弹性石英毛细柱(60 m×0.25 mm×0.25 μm);柱温:初温50℃保持1 min,以20℃/min升温至120℃,以4℃/min升至250℃,再以3℃/min升至310℃保持30 min。质谱分析时EI(电子轰击电离)源,70 eV;灯丝电流:100 μA;倍增器电压1 200 V;SIM(选择离子检测):82, 85, 98, 123, 125, 137, 177, 183, 187, 188, 191, 193, 201, 205, 217, 218, 231, 232, 245, 253, 259, 369, 412。

3 烃源岩生物标志物组合特征

3.1 下侏罗统曲色组烃源岩生物标志物特征

前人研究认为,在未成熟—低成熟演化阶段,具有奇碳优势($CPI>1.2$)的高碳数正构烷烃的分布指示陆源有机质的输入; $(C_{21}+C_{22})/(C_{28}+C_{29})$

表 1 羌塘盆地昂达尔错地区侏罗系烃源岩基础地球化学数据

Table 1 Basic geochemical data of Jurassic source rocks in Angdarco area of the Qiangtang Basin

样品号	地层	岩性	$w(\text{TOC})/\%$	氯仿沥青“ A ”/ 10^{-6}	沥青 A 组组成/ $\%$				$T_{\max}/\text{°C}$	母质类型
					沥青质	饱和烃	芳烃	非烃		
HR-1	夏里组	泥岩	0.62	610	55.7	6.6	6.6	21.3	367	
HR-3	夏里组	泥岩	0.50	810	50.6	4.9	9.9	30.9	413	Ⅲ
HR-5	夏里组	泥岩	0.51	790	59.5	2.5	8.9	24.1	348	Ⅱ ₂
HR-10	夏里组	泥岩	0.52	910	56.0	2.2	4.4	35.2	426	Ⅲ
QR-3	布曲组	泥灰岩	0.61	460	32.6	17.4	17.4	39.1	405	Ⅱ ₁
QR-7	布曲组	泥灰岩	0.52	270	29.6	11.1	11.1	44.4	465	
QR-11	布曲组	泥灰岩	0.51	250	40.0	12.0	12.0	36.0	422	I
BP-1	曲色组	油页岩	10.20	374	39.1	11.2	18.9	21.2	441	Ⅱ ₁
BP-2	曲色组	油页岩	10.00	1 218	19.4	21.6	28.8	23.8	442	I
BP-3	曲色组	油页岩	8.96	1 324	29.5	15.0	22.9	20.3	444	I
BP-4	曲色组	油页岩	8.20	922	36.6	12.5	18.1	25.5	439	Ⅱ ₁

表 2 羌塘盆地昂达尔错地区侏罗系烃源岩生物标志物参数

Table 2 Biomarker parameters of Jurassic source rocks in Angdarco area of the Qiangtang Basin

参数	样品号										
	HR-1	HR-3	HR-5	HR-10	QR-3	QR-7	QR-11	BP-1	BP-2	BP-3	BP-4
CPI	1.58	1.55	1.49	1.38	1.34	1.34	1.47	1.03	1.00	1.01	1.01
$(C_{21}+C_{22})/(C_{28}+C_{29})$	88.15			11.28	42.20	28.06		5.38	3.37	3.67	4.55
Pr/Ph	0.39	0.42	0.41	0.58	0.21	0.20	0.17	0.57	0.62	0.60	0.58
C_{19} 三环萜烷/ C_{23} 三环萜烷	0.12			0.16	0.03	0.02		0.14	0.14	0.14	0.16
C_{24} 四环萜烷/ C_{26} 三环萜烷	2.64			2.66	2.36	2.55	2.77	2.48	2.44	2.37	2.41
C_{27}/C_{29}				1.82	0.98	1.20		1.09	1.04	1.08	1.02
C_{28}/C_{29}				0.84	0.64	0.68		0.42	0.41	0.43	0.43
$\alpha\alpha\alpha-C_{29}$ 甾烷 $20S/(20S+20R)$				0.35	0.36	0.38		0.38	0.35	0.36	0.35
C_{29} 甾烷 $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$				0.36	0.43	0.44		0.48	0.46	0.47	0.46
重排甾烷/规则甾烷				0.11	0.13	0.10		0.18	0.18	0.14	0.19
Ts/Tm	1.80			0.74	0.85	1.07	0.86	1.70	1.78	1.71	1.66
$Ts/(Ts+Tm)$	0.64			0.42	0.46	0.52	0.46	0.63	0.64	0.63	0.62
$22S/(22S+22R)-C_{31}$				0.55	0.55	0.53	0.54	0.57	0.57	0.57	0.57
C_{31} 藿烷 S/R				1.20	1.24	1.13	1.16	1.31	1.30	1.31	1.32
C_{32} 藿烷 S/R					1.73	1.61		1.39	1.38	1.37	1.35
伽马蜡烷/ C_{30} 藿烷				0.20	0.19	0.17	0.18	0.20	0.20	0.20	0.21
降新藿烷/ C_{30} 藿烷				0.15	0.19	0.20	0.08	0.24	0.23	0.24	0.23
C_{30} 重排藿烷/ C_{30} 藿烷				0.03	0.04	0.03	0.03	0.05	0.05	0.06	0.05
C_{30} 莫烷/ C_{30} 藿烷				0.14	0.12	0.11	0.11	0.09	0.09	0.09	0.09

比值可以用于判别母质来源,陆相有机质含量低(0.6~1.2),海相有机质较高(1.5~5.0)^[27];低的姥植比(Pr/Ph < 1)指示还原环境,中等比值的姥植比(1 < Pr/Ph < 3)反映次氧化到氧化环境,高的姥植比(Pr/Ph > 3)指示氧化环境下的陆源有机质输入^[28-30]。曲色组烃源岩抽提物的正构烷烃主峰碳数为 16 和 17,以“前峰型”为主, CPI 值中等(1.00~1.03),正构烷烃轻重比值 $(C_{21}+C_{22})/(C_{28}+C_{29})$ 相对较高,为 3.37~5.38;而 Pr/Ph 的比值相对较低(0.57~0.62)(表 2),具有一定的植烷优势。上述正构烷烃分布特征,揭示了海相有机质输入和较强的还原环境。

高的 C_{19}/C_{23} 三环萜烷和 C_{24} 四环萜烷/ C_{26} 三环萜烷比通常被认为是指示陆源有机质输入的重要标志^[30-31]; C_{27} 、 C_{28} 规则甾烷被认为来自水生生物,而 C_{29} 规则甾烷来源于陆相植物有机质;相对高的伽马蜡烷丰度指示缺氧的高盐度环境^[30]。研究区曲色组烃源岩的规则甾烷 $\alpha\alpha\alpha 20RC_{27}-C_{28}-C_{29}$ 分布型式均为“V”型(图 2a), C_{27} 规则甾烷与 C_{29} 规则甾烷相对含量大致相当, C_{28} 规则甾烷相对含量低于 C_{29} 规则甾烷(图 3); C_{19}/C_{23} 三环萜烷比值较低(0.14~0.16),而 C_{24} 四环萜烷/ C_{26} 三环萜烷比值中等(2.37~2.48)(表 2,图 4);伽马蜡烷、降新藿烷、 C_{30} 重排藿烷含量较低,伽马蜡烷/ C_{30} 藿烷比值为 0.20~0.21;

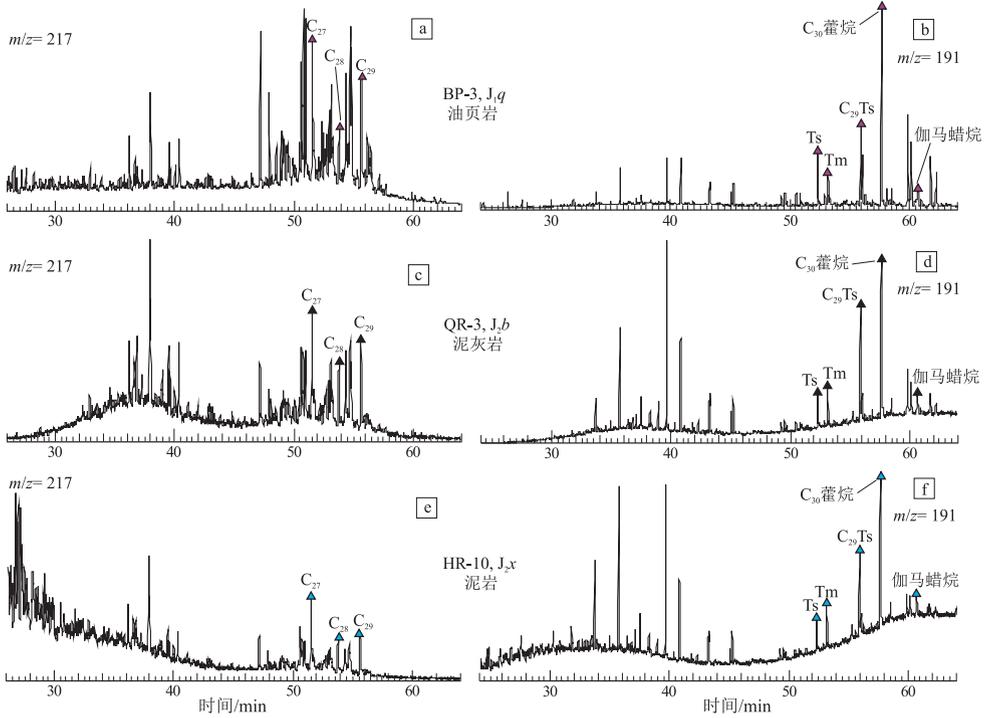


图2 羌塘盆地昂达尔错地区中—下侏罗统烃源岩饱和烃色谱质谱图

Fig.2 Mass chromatograms of saturated hydrocarbons for source rocks in Angdarco area of the Qiangtang Basin

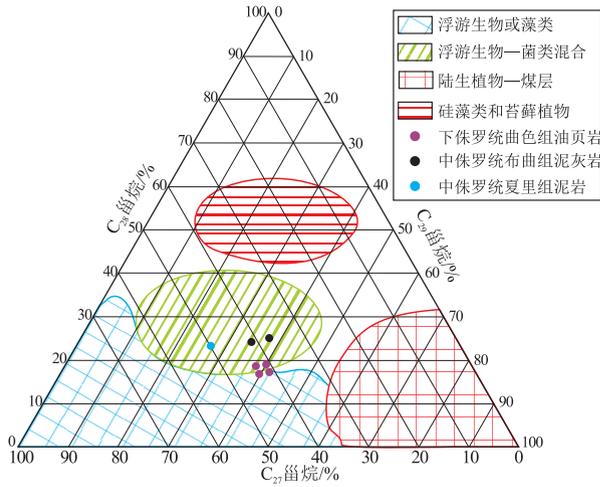


图3 羌塘盆地昂达尔错地区中—下侏罗统烃源岩 C₂₇-C₂₉ 规则甾烷三角图
底图据参考文献 [32] 修改。

Fig.3 Ternary diagram of $aaa20RC_{27}-C_{29}$ regular sterane for the Middle-Lower Jurassic source rocks in Angdarco area of the Qiangtang Basin

降新藿烷/C₃₀藿烷比值为0.23~0.24(表2,图2b)。上述甾烷、甾烷生标组合特征反映了水生生物有机质输入和较低的盐度环境。

低的 C₃₀莫烷/C₃₀藿烷比值指示较高的有机质成熟度;而甾烷 C₂₉20S/(20S+20R)、C₂₉ββ/(αα+ββ)、Ts/(Ts+Tm)、C₂₉Ts/C₂₉藿烷、22S/(22S+22R)藿烷、重排甾烷/规则甾烷比值随成熟度增加而增加^[30-31]。研究区曲色组烃源岩的C₃₀莫烷/

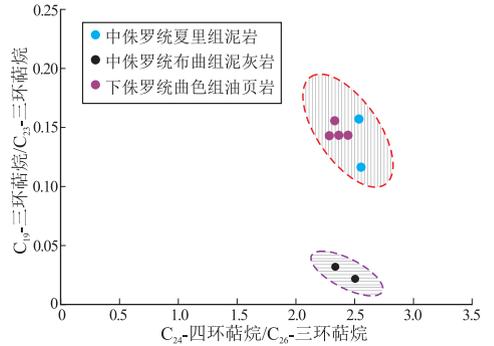


图4 羌塘盆地昂达尔错地区中—下侏罗统烃源岩抽提物藿烷参数对比

Fig.4 Correlation of terpanes for source rocks in Angdarco area of the Qiangtang Basin

C₃₀藿烷比值较小(0.09);αααC₂₉甾烷 20S/(20R+20S)、C₂₉甾烷 ββ/(αα+ββ) 比值较大,分别为0.35~0.38和0.46~0.48(表2,图5);Ts 相对含量明显大于 Tm,Ts/(Ts+Tm)为0.62~0.64;重排甾烷/规则甾烷比值为0.14~0.19;藿烷构型转化参数值较大,22S/(22S+22R)-C₃₁ 比值为0.57,C₃₁藿烷 S/R 比值为1.30~1.32,C₃₂藿烷 S/R 比值为1.35~1.39(表2)。上述生物标志物成熟度参数反映了成熟烃源岩特征。

3.2 中侏罗统布曲组烃源岩生物标志物特征

布曲组烃源岩抽提物正构烷烃主峰碳数为20和22,CPI为1.34~1.47;正构烷烃轻重比较高(C₂₁+C₂₂)/(C₂₈+C₂₉)比为28.06~42.2;Pr/Ph比

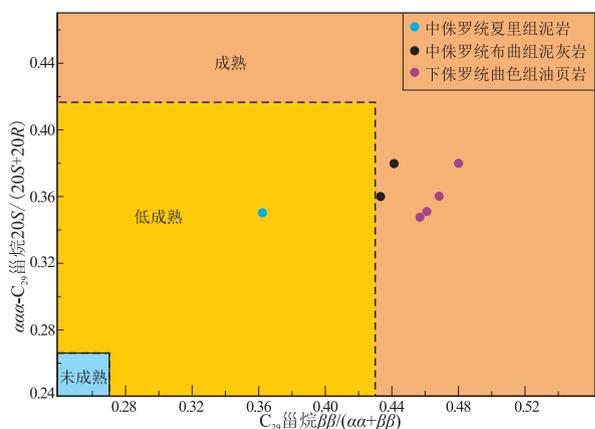


图 5 羌塘盆地昂达尔错地区中—下侏罗统烃源岩生物标志物成熟度参数对比
底图据参考文献[30]修改。

Fig.5 Correlation of biomarker parameters for maturation of the Middle-Lower Jurassic source rocks in Angdarco area of the Qiangtang Basin

值较低(0.17~0.21),具明显的植烷优势;规则甾烷 $\alpha\alpha\alpha 20R-C_{27}-C_{28}-C_{29}$ 分布型式均为“V”型(图 2c), C_{27}/C_{29} 、 C_{28}/C_{29} 比值均值分别为 1.09 和 0.66(表 2,图 3),反映该烃源岩沉积于还原环境,以明显海相有机质输入为主。

C_{19} 三环萜烷/ C_{23} 三环萜烷和 C_{24} 四环萜烷/ C_{26} 三环萜烷比值较低,分别为 0.02~0.03 和 2.36~2.77;伽马蜡烷、降新藿烷较低,伽马蜡烷/ C_{30} 藿烷比值为 0.17~0.19,降新藿烷/ C_{30} 藿烷比值为 0.08~0.20(表 2,图 2d),总体反映布曲组烃源岩为海相沉积,且具有较低的盐度条件。

C_{30} 重排藿烷/ C_{30} 藿烷比值为 0.03~0.04, C_{30} 莫烷/ C_{30} 藿烷比值为 0.11~0.12; $\alpha\alpha\alpha C_{29}$ 甾烷 $20S/(20R+20S)$ 、 C_{29} 甾烷 $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 比值较大,分别为 0.36~0.38 和 0.43~0.44(表 2,图 5);重排甾烷/规则甾烷比值较低,为 0.10~0.13,可能与低成熟度及碳酸盐岩烃源岩岩性有关;而 T_s 与 T_m 的相对含量则大致相当,其 $T_s/(T_s+T_m)$ 比值为 0.46~0.52;构型转化参数值中等, $22S/(22S+22R)-C_{31}$ 比值为 0.53~0.55, C_{31} 藿烷 S/R 比值为 1.13~1.24, C_{32} 藿烷 S/R 比值为 1.61~1.73(表 2),显示低熟—成熟的碳酸盐岩类烃源岩特征。

3.3 中侏罗统夏里组烃源岩生物标志物特征

中侏罗统夏里组烃源岩抽提物的正构烷烃主峰碳数为 22 和 23, CPI 值相对较高(1.38~1.58); C_{19} 三环萜烷/ C_{23} 三环萜烷和 C_{24} 四环萜烷/ C_{26} 三环萜烷比值较高,均值分别为 0.14 和 2.65,反映了陆源有机质输入;部分样品的正构烷烃轻重比值($C_{21}+C_{22})/(C_{28}+C_{29})$ 极高(88.15);规则甾烷 $\alpha\alpha\alpha 20R-C_{27}-$

$C_{28}-C_{29}$ 分布型式呈近“L”型(图 2e), C_{27} 规则甾烷相对含量明显大于 C_{29} 规则甾烷, C_{27}/C_{29} 比值均值为 1.82,显示了较强的海相有机质输入特征。因此该烃源岩沉积有机质应为陆相和海相混合型有机质输入为主,显示了海陆过渡相沉积环境。

Pr/Ph 的比值相对较低(0.39~0.58),具有一定的植烷优势;伽马蜡烷、降新藿烷、 C_{30} 重排藿烷含量较低,伽马蜡烷/ C_{30} 藿烷比值为 0.20,降新藿烷/ C_{30} 藿烷比值为 0.15(表 2,图 2f),揭示了还原环境和较低的盐度条件。

$\alpha\alpha\alpha C_{29}$ 甾烷 $20S/(20R+20S)$ 、 C_{29} 甾烷 $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 比值中等,分别为 0.35 和 0.36(表 2,图 5);重排甾烷/规则甾烷比值较低(0.11); T_s 相对含量明显小于 T_m , $T_s/(T_s+T_m)$ 均值为 0.53。藿烷构型转化参数: C_{30} 重排藿烷/ C_{30} 藿烷比值为 0.03, C_{30} 莫烷/ C_{30} 藿烷比值为 0.14, $22S/(22S+22R)-C_{31}$ 比值为 0.55, C_{31} 藿烷 S/R 比值为 1.20(表 2)。生物标志物参数总体反映中侏罗统夏里组烃源岩呈现低成熟特征。

4 指示意义

生物标志物综合特征指示曲色组和布曲组烃源岩以海相藻类有机质输入为主,有机质类型主要为腐泥型、腐殖腐泥型;而夏里组烃源岩以海陆过渡相有机质输入为主,有机质类型主要为腐殖型及腐泥腐殖型。上述 3 套烃源岩生物标志物特征反映的有机质类型与镜检结果相一致(表 1); Pr/Ph 、伽马蜡烷/ C_{30} 藿烷等生物标志物参数均反映了 3 套烃源岩沉积于一定的还原环境并具有较低的盐度条件。

C_{30} 莫烷/ C_{30} 藿烷、 $\alpha\alpha\alpha C_{29}$ 甾烷 $20S/(20R+20S)$ 、 C_{29} 甾烷 $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 、 $T_s/(T_s+T_m)$ 等生物标志物成熟度参数反映了下侏罗统曲色组烃源岩具有成熟烃源岩特征,中侏罗统布曲组烃源岩显示低熟—成熟的碳酸盐岩类烃源岩特征,中侏罗统夏里组烃源岩呈现低成熟特征。这与它们的 T_{max} 参数显示结果是一致的(表 1)。

5 结论

(1) 羌塘盆地昂达尔错地区 3 套烃源岩具有不同的生物标志物组合特征。下侏罗统曲色组烃源岩具有较高的 T_s/T_m 、 C_{31} 藿烷 S/R 及重排甾烷/规则甾烷比;中侏罗统布曲组烃源岩以相对较低的 Pr/Ph 和 C_{19}/C_{23} 三环萜烷比区别于其他 2 套烃源岩。

(2) 生物标志物参数组合指示曲色组烃源岩形

成于较低盐度的沉积环境,且以海相水生生物有机质输入为主;布曲组烃源岩为较强还原环境的海相沉积;夏里组烃源岩为低盐度的海陆过渡相沉积。

(3) 生物标志物成熟度参数分析表明,曲色组烃源岩总体呈现成熟烃源岩特征,布曲组烃源岩呈现低熟—成熟烃源岩特征,夏里组烃源岩呈现低成熟烃源岩特征。

参考文献:

- [1] 王成善,伊海生.西藏羌塘盆地地质演化与油气远景评价[M].北京:地质出版社,2001:184-215.
Wang Chengshan, Yi Haisheng. Evaluating of geological evolution and oil-gas prospects for Qiangtang Basin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2001: 184-215.
- [2] 赵政璋,李永铁,叶和飞,等.青藏高原羌塘盆地石油地质[M].北京:科学出版社,2000:356-367.
Zhao Zhengzhang, Li Yongtie, Ye Hefei, et al. Petroleum geology of Qiangtang Basin in Qinghai-Tibet Plateau [M]. Beijing: Science Press, 2000: 356-367.
- [3] 李亚林,王成善,伍新和,等.藏北托纳木地区发现上侏罗统海相油页岩[J].地质通报,2005,24(8):783-784.
Li Yalin, Wang Chengshan, Wu Xinhe, et al. Discovery of Upper Jurassic marine oil shale in the Tuonamu area, northern Tibet, China [J]. Geological Bulletin of China, 2005, 24(8): 783-784.
- [4] 秦建中.青藏高原羌塘盆地海相烃源层的沉积形成环境[J].石油实验地质,2006,28(1):8-14.
Qin Jianzhong. Depositional environment of the marine hydrocarbon source rock in the Qiangtang Basin, Qinghai-Tibet plateau [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2006, 28(1): 8-14.
- [5] 任战利,崔军平,刘池洋,等.西藏羌塘盆地抬升冷却历史及意义[J].石油实验地质,2016,38(1):15-22.
Ren Zhanli, Cui Junping, Liu Chiyang, et al. Uplift and cooling history of Qiangtang Basin and its significance [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2016, 38(1): 15-22.
- [6] 卢明国,童小兰,王必金.藏北羌塘盆地油气勘探前景探讨[J].油气地质与采收率,2004,11(3):28-30.
Lu Mingguo, Tong Xiaolan, Wang Bijin. Discussion on oil gas exploration prospects in the Qiangtang Basin in northern Tibet [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2004, 11(3): 28-30.
- [7] 刘建清,陈文斌,杨平,等.羌塘盆地中央隆起带南侧隆额尼—昂达尔错古油藏白云岩地球化学特征及成因意义[J].岩石学报,2008,24(6):1379-1389.
Liu Jianqing, Chen Wenbin, Yang Ping, et al. The Longeni-Angdanro paleo-oil dolomite geochemical characteristics in southern part of the central uplift zone of Qiangtang Basin and its significance [J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(6): 1379-1389.
- [8] 付修根,廖忠礼,刘建清,等.南羌塘盆地扎仁地区中侏罗统布曲组沉积环境特征及其对油气地质条件的控制作用[J].中国地质,2007,34(4):599-605.
Fu Xiugen, Liao Zhongli, Liu Jianqing, et al. Sedimentary environment of the Middle Jurassic Bi Qu Formation and its controls on petroleum geology in the Zaring area, southern Qiangtang Basin [J]. Geology in China, 2007, 34(4): 599-605.
- [9] 赵政璋,李永铁,王岫岩,等.羌塘盆地南部海相侏罗系古油藏例析[J].海相油气地质,2002,7(3):34-36.
Zhao Zhengzhang, Li Yongtie, Wang Xiuyan, et al. A case analysis of the Jurassic marine destroyed reservoirs in southern part of Qiangtang Basin, Qinghai-Tibet Plateau [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2002, 7(3): 34-36.
- [10] 王成善,伊海生,刘池洋,等.西藏羌塘盆地古油藏发现及其意义[J].石油与天然气地质,2004,25(2):139-143.
Wang Chengshan, Yi Haisheng, Liu Chiyang, et al. Discovery of paleo-oil-reservoir in Qiangtang Basin in Tibet and its geological significance [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(2): 139-143.
- [11] 伍新和,王成善,伊海生,等.西藏羌塘盆地烃源岩古油藏带及其油气勘探远景[J].石油学报,2005,26(1):13-17.
Wu Xinhe, Wang Chengshan, Yi Haisheng, et al. Fossil-reservoir of hydrocarbon rock in Qiangtang Basin of Tibet and exploration perspective of oil and gas [J]. Acta Petrologica Sinica, 2005, 26(1): 13-17.
- [12] 汪双清,沈斌,龚迎莉,等.羌塘盆地中生代古油藏油源问题探讨[J].海相油气地质,2008,13(3):30-36.
Wang Shuangqing, Shen Bin, Gong Yingli, et al. Where does the oil of Mesozoic paleoreservoirs in Qiangtang Basin derive from? [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2008, 13(3): 30-36.
- [13] 南征兵,李永铁,郭祖军.羌塘盆地油气显示及油源对比[J].石油实验地质,2008,30(5):503-507.
Nan Zhengbing, Li Yongtie, Guo Zujun. Hydrocarbon show and correlation between oil and source rock in the Qiangtang Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2008, 30(5): 503-507.
- [14] 南征兵,张艳玲,李永铁,等.羌塘盆地中侏罗统布曲组烃源岩评价[J].油气地质与采收率,2012,19(3):15-17, 21.
Nan Zhengbing, Zhang Yanling, Li Yongtie, et al. Evaluation of middle Jurassic Buqu Formation source rock, Qiangtang Basin, north Tibet [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012, 19(3): 15-17, 21.
- [15] 陈文彬,廖忠礼,伊海生,等.南羌塘扎仁地区白云岩油苗芳烃地球化学特征[J].断块油气田,2010,17(6):694-697.
Chen Wenbin, Liao Zhongli, Yi Haisheng. Aromatic geochemistry characteristics of dolomite oil seepage in Zaring Area of South Qiangtang Basin [J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2010, 17(6): 694-697.
- [16] 陈文彬,廖忠礼,刘建清,等.羌塘盆地扎仁地区中上侏罗统烃源岩生物标志物特征[J].油气地质与采收率,2008,15(5):17-19.
Chen Wenbin, Liao Zhongli, Liu Jianqing, et al. The biomarkers characteristics of hydrocarbon source rocks in middle and upper Jurassic in Zharenarea, Qiangtang Basin [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2008, 15(5): 17-19.
- [17] 杜佰伟,陈明,李忠雄,等.羌塘盆地龙尾湖地区中侏罗统布曲组烃源岩评价[J].油气地质与采收率,2010,17(1):45-47.
Du Baiwei, Chen Ming, Li Zhongxiong, et al. Evaluation of source rocks in Buqu Formation, middle Jurassic, Longweihu area. Qiangtang Basin [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2010, 17(1): 45-47.

[18] 伍新和,张丽,王成善,等.西藏羌塘盆地中生界海相烃源岩特征[J].石油与天然气地质,2008,29(3):348-354.
Wu Xinhe,Zhang Li,Wang Chengshan, et al.Characteristics of the Mesozoic marine source rocks in the Qiangtang Basin,Tibet[J].Oil & Gas Geology,2008,29(3):348-354.

[19] 金玮,王成善,伍新和,等.羌塘盆地托纳木地区上侏罗统索瓦组烃源岩特征[J].油气地质与采收率,2006,13(6):40-42.
Jin Wei,Wang Chengshan,Wu Xinhe, et al.Characteristics of hydrocarbon source rocks in the Upper Jurassic Suowa Formation in Tuonamuregion,Qiangtang Basin[J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency,2006,13(6):40-42.

[20] 陈文西,王剑.藏北羌塘盆地晚三叠世地层特征与对比[J].中国地质,2009,36(4):809-818.
Chen Wenxi,Wang Jian.Correlation of Upper Triassic strata in Qiangtang Basin,northern Tibet[J].Geology in China,2009,36(4):809-818.

[21] 黄继钧.藏北羌塘盆地构造特征及演化[J].中国区域地质,2001,20(2):178-186.
Huang Jijun.Tectonic characteristics and evolution of the Qiangtang Basin[J].Regional geology of China,2001,20(2):178-186.

[22] 杜佰伟,陈明.羌塘盆地上侏罗统索瓦组烃源岩分布特征及远景分析[J].石油实验地质,2008,30(2):174-178.
Du Baiwei,Chen Ming.Characteristics of Upper Jurassic Suowa Formation source rock in the Qiangtang Basin of northern Tibet[J].Petroleum Geology & Experiment,2008,30(2):174-178.

[23] 胡明毅,龚文平,文志刚,等.羌塘盆地三叠系、侏罗系石油地质特征和含油远景评价[J].石油实验地质,2000,22(3):245-249.
Hu Mingyi,Gong Wenping,Wen Zhigang, et al.Petroleum geological characteristics and oil-prospect evaluation of the Triassic and the Jurassic in the Qiangtang Basin,Tibet[J].Experimental Petroleum Geology,2000,22(3):245-249.

[24] 李忠雄,杜佰伟,汪正江,等.藏北羌塘盆地中侏罗统石油地质特征[J].石油学报,2008,29(6):797-803.
Li Zhongxiong,Du Baiwei,Wang Zhengjiang, et al.Petroleum geologic characteristics of the Middle Jurassic strata in Qiangtang Basin of northern Xizang area[J].Acta Petrolei Sinica,2008,29(6):797-803.

[25] 付修根,王剑,汪正江,等.藏北羌塘盆地海相油页岩沉积环境[J].新疆石油地质,2007,28(5):529-533.
Fu Xiugen,Wang Jian,Wang Zhengjiang, et al.Marine oil shale depositional environment of Qiangtang Basin in northern Tibet[J].Xinjiang Petroleum Geology,2007,28(5):529-533.

[26] 王剑,丁俊,王成善,等.青藏高原油气资源战略选区调查与评价[M].北京:地质出版社,2009:227-310.
Wang Jian,Ding Jun,Wang Chengshan, et al.Investigation and evaluation of Qinghai-Tibet Plateau oil-gas resource strategic electoral district[M].Beijing:Geological Publishing House,2009:227-310.

[27] Philipp C T.The influence of marine and terrestrial source material on the composition of petroleum[J].Geochimica et Cosmochimica Acta,1974,38(6):947-966.

[28] Hunt J.Petroleum geochemistry and geology[M].2nd ed.New York;W.H. Freeman and Company,1996:743.

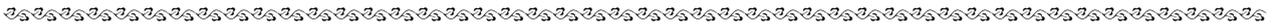
[29] Hao Fang,Zhou Xinhui,Zhu Yangming, et al.Mechanisms of petroleum accumulation in the Bozhong sub-basin,Bohai Bay Basin,China.Part 1:Origin and occurrence of crude oils[J].Marine and Petroleum Geology,2009,26(8):1528-1542.

[30] Peters K E,Walters C C,Moldowan J M.The biomarker guide,volume 2:Biomarkers and isotopes in petroleum exploration and earth history[M].Cambridge:Cambridge University Press,2005:566-567.

[31] Peters K E,Moldowan J M.The biomarker guide[M].Englewood Cliffs,New Jersey:Prentice Hall,1993:363.

[32] Huang W Y,Meinschein W G.Sterols as ecological indicators[J].Geochimica et Cosmochimica Acta,1979,43(5):739-745.

(编辑 徐文明)



(上接第 340 页)

[11] 王培荣,徐冠军,肖廷荣,等.用 C₇轻烃参数判别烃源岩沉积环境的探索[J].石油勘探与开发,2007,34(2):156-159.
Wang Peirong,Xu Guanjun,Xiao Tingrong, et al.Application of C₇ light hydrocarbon parameters in identifying source rock depositional environment[J].Petroleum Exploration and development,2007,34(2):156-159.

[12] 胡惕麟,戈葆雄,张义纲,等.源岩吸附烃和天然气轻烃指纹参数的开发和应用[J].石油实验地质,1990,12(4):375-394.
Hu Tilin,Ge Baoxiong,Zhang Yigang, et al.The development and application of fingerprint parameters for hydrocarbons absorbed by source rocks and light hydrocarbons in natural gas[J].Experimental Petroleum Geology,1990,12(4):375-394.

[13] Mango F D.The origin of light hydrocarbons in petroleum:A kinetic test of the steady-state catalytic hypothesis[J].Geochimica et Cosmochimica Acta,1990,54(5):1315-1323.

[14] Mango F D.The light hydrocarbons in petroleum:A critical review[J].Organic Geochemistry,1997,26(7/8):417-440.

[15] 李浩,陆建林,左宗鑫,等.长岭断陷南部断陷层湖相优质烃源岩发育控制因素[J].石油与天然气地质,2015,36(2):209-218.
Li Hao,Lu Jianlin,Zuo Zongxin, et al.Controlling factors of high-quality lacustrine hydrocarbon source rocks in southern Changling Depression[J].Oil & Gas Geology,2015,36(2):209-218.

(编辑 徐文明)