

羌塘盆地马牙山沥青脉地球化学特征及其指示意义

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) 自然资源部沉积盆地与油气资源重点实验室, 成都, 610081

内容提要:本文以沥青抽提物的饱和烃色谱—质谱分析为基础, 结合野外露头剖面沉积相分析, 剖析了羌塘盆地马牙山沥青的地球化学特征, 探讨了其沉积环境、成熟度和油源。测试结果表明: 马牙山沥青的正构烷烃不具备明显的奇偶优势, $(nC_{21}+nC_{22})/(nC_{28}+nC_{29})$ 值较高, Pr/Ph 、 Pr/nC_{17} 值明显较低, C_{27} 、 C_{28} 、 C_{29} 规则甾烷呈不对称“V”字形分布, 4—甲基甾烷普遍存在, Ts/Tm 、 $C_{29}\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 、 $C_{29}20S/(S+R)$ 等热成熟度构型转化参数比值较低。饱和烃色谱质谱特征表明, 沥青母源岩以海相水生生物输入为主, 有机质处于低成熟演化阶段, 有机母质形成于一定盐度的还原环境。油源对比显示, 中侏罗统夏里组烃源岩与马牙山沥青的正构烷烃、甾烷、萜烷等生物标志化合物分布特征具有很好的对比性, 反应了二者具有较强的亲缘关系。

关键词: 沥青脉; 生物标志化合物; 沉积环境; 成熟度; 油源; 马牙山; 羌塘盆地

羌塘盆地已发现油气显示 200 多处(王剑等, 2009), 除 5 处为液态油苗外, 其余均为固体沥青, 大量的油气显示表明盆地在地质历史中曾经历过油气生成、运移和聚集过程, 并形成过一定规模的油气藏(赵政璋等, 2001; 丘东洲, 2004)。前人仅对羌塘盆地半岛湖地区基础地质条件进行了探讨(孙伟等, 2013, 2015a, 2015b; 李月森等, 2015; 吴珍汉等, 2019; 程乐利等, 2020), 但对该区沥青的有机地球化学研究仍为空白。沥青脉地球化学研究可为油气成藏、后期破坏等研究提供地球化学参数和依据(杜佰伟等, 2015), 对沉积地球化学指标具有重要指示意义, 可为进一步的勘探决策提供参考(李美俊等, 2019)。本文在对羌塘盆地半岛湖地区马牙山沥青的地球化学特征深入研究的基础上, 探讨其沉积环境及成熟度指示意义, 揭示沥青来源, 旨在为羌塘盆地半岛湖地区油气勘探提供依据。

1 地质概况

羌塘盆地位于青藏高原北部, 东、西以中生代地层尖灭线为界, 南、北分别为班公湖—怒江断裂缝合带和可可西里—金沙江断裂缝合带所围限, 面积约 $22 \times 10^4 \text{ km}^2$, 是青藏高原面积最大的中生代海相含油气盆地(黄继钧, 2001; 陈文西等, 2009)。羌塘盆

地可划分为 3 个次级构造单元, 即北羌塘坳陷、南羌塘坳陷和中央隆起带(图 1a), 总体上具有两坳一隆的构造格局(付修根等, 2007a)。研究区位于北羌塘凹陷北部的半岛湖地区, 属于多格错仁地层分区, 出露地层时代较新(图 1b), 构造保存条件相对较好, 是羌塘盆地有利的油气勘探区。

研究区主要出露布曲组(J_2b)、夏里组(J_2x)、索瓦组(J_3s)、白龙冰河组(J_3b)及新生代地层, 总体呈北西—南东向延伸(图 1b)。中侏罗统布曲组主要为灰岩夹白云岩组合; 中侏罗世夏里期, 羌塘盆地发生了一次海退过程, 北羌塘凹陷马牙山夏里组剖面为一套滨海相沉积, 主要发育泥页岩、砂岩夹薄层砂岩及泥晶灰岩的岩性组合; 上侏罗统索瓦组(J_3s)主要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; 上侏罗统白龙冰河组(J_3b)主要为砂岩、泥页岩夹少量灰岩。新生代地层主要为康托组(E_2k)砂砾岩、喷呐湖组(E_2s)膏灰岩及第四系(图 1b)。

2 沥青脉分布特征

沥青脉主要赋存于羌塘盆地马牙山夏里组地层剖面的砂岩中(图 2a), 脉体单层最宽约 5 cm, 近东西向断续延伸约 15 m。沥青新鲜色为黑—深灰色,

注: 本文为中国地质调查局“西藏羌南—措勤地区油气地质调查”二级项目(编码: DD20190116)的成果。

收稿日期: 2020-07-16; 改回日期: 2020-09-01; 责任编辑: 黄道袁。Doi: 10. 16509/j. georeview. 2020. 05. 014

作者简介: 彭清华, 男, 1984 年生, 高级工程师, 主要从事青藏地区非常规油气、沉积能源等领域研究工作; Email: pqh1984yes@126.com。

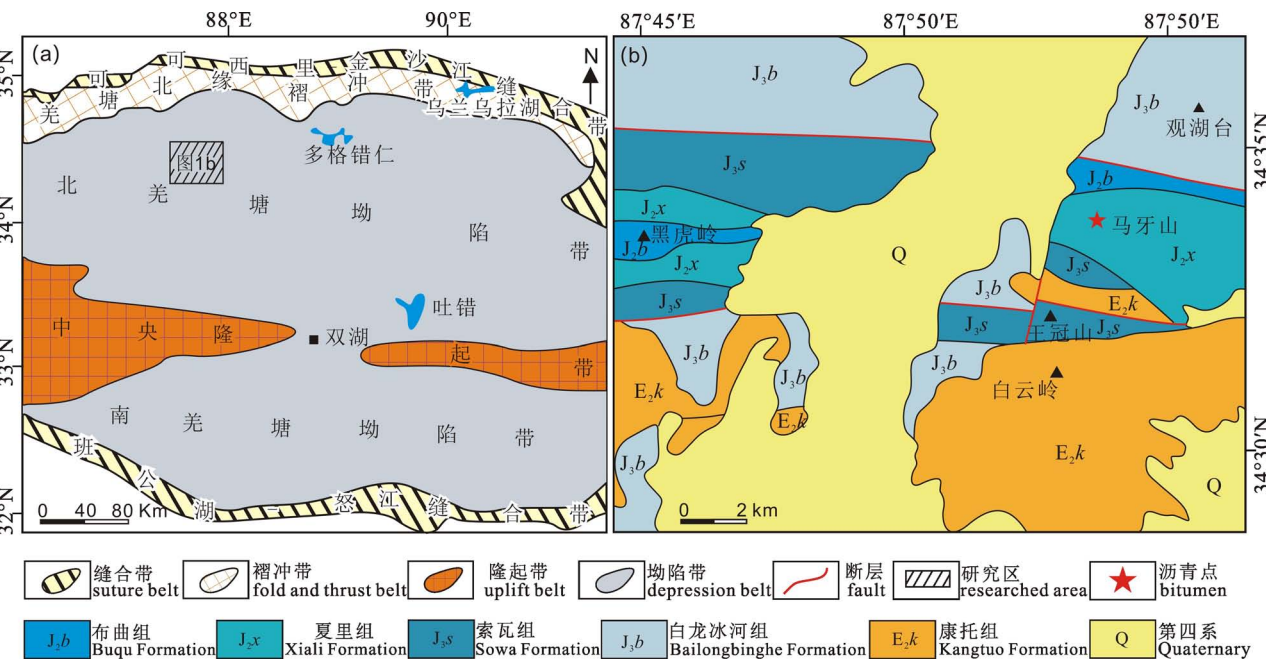


图 1 羌塘盆地构造分区(a)及研究区地质简图(b) (据王剑等,2009)

Fig. 1 Division map of tectonic in the Qiangtang Basin (a) and geological map of the study area (b)
(after Wang Jian et al. , 2009#)

顺砂岩层裂缝产出,多呈脉状分布(图 2b),色泽光亮,表面具玻璃光泽,少量呈块状,性硬且易碎,断口成贝壳状,不污手;部分砂岩被沥青所浸染,呈深灰—黑色长条状。沥青不溶于氯仿沥青等有机溶剂,主要为石油裂解形成的干沥青。

3 样品采集及实验方法

本次研究于羌塘盆地半岛湖地区马牙山中侏罗统夏里组剖面上采集沥青脉和烃源岩样品各 5 件,分析其有机地球化学特征。沥青脉样品采集于含沥青砂岩(M5-L1、M5-L2、M5-L3)和含沥青粉砂岩

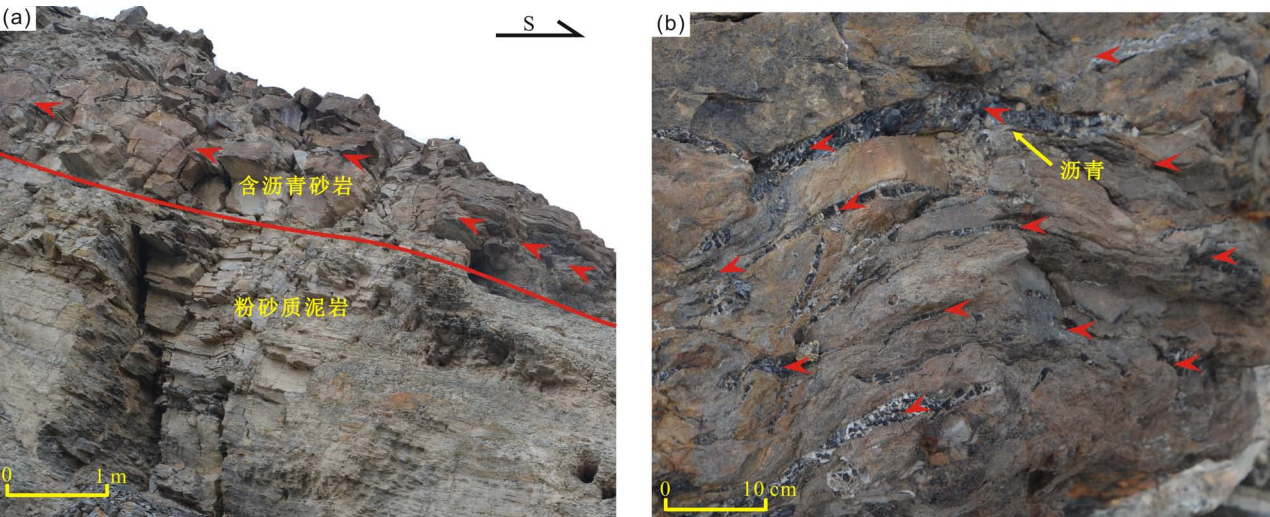


图 2 羌塘盆地马牙山地区中侏罗统夏里组中沥青脉特征:

(a)含沥青地层发育特征;(b)裂缝中充填沥青。“→”——地层产状方向

Fig. 2 Development and occurrence characteristics for bitumen from Mayashan area in the Qiangtang Basin
(a) development characteristics of bituminous formation; (b) filling bitumen in cracks. “→”——attitude of stratum

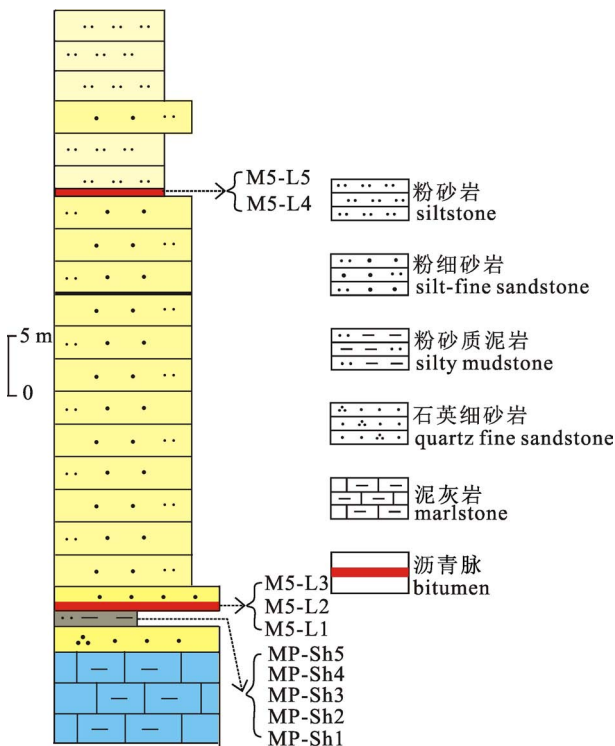


图 3 羌塘盆地马牙山地区中侏罗统夏里组中沥青脉及烃源岩采样位置图

Fig. 3 Location of bitumen and source rock samples from the Middle Jurassic Xiali Formation in Mayashan area, the Qiangtang Basin

(M5-L4、M5-L5); 烃源岩样品采集于沥青脉下部层位,岩性为粉砂质泥岩夹泥岩(图 3)。为了降低地表现代有机物质的污染、减小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。

测试样品用球磨机先被粉碎到小于 200 目,并用二氯甲烷进行抽提,抽提后的样品首先被注入进样装置(色谱仪)进行样品分离,再经过传输装置(色谱柱)进入质谱分析仪器(主要包括离子源、分析器、电子倍增器)进行质谱分析;色谱柱末端流出的气态样品进入离子源,用 EI 源使样品发生电离,电离后的离子进入分析器按质荷比大小进行分离和聚集完成质量化,最后进入电子倍增器完成质荷比离子监测记录。

运用 Agilent7890-5975C 气相色谱质谱联仪来对饱和烃成份进行色谱—质谱测试分析,测试标准为 GB/T18606-2001《气相色谱质谱法测定沉积物和原油中生物标志物》。饱和烃的色谱分析的载气为 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℃ 1 min;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 源,70 eV;灯丝电流:100 μA;倍增器电压 1200 V;SIM:82,85,98,123,125,137,177,183,187,188,191,193,201,205,217,218,231,232,245,253,259,369,412。

4 沥青脉有机地球化学特征

4.1 正构烷烃

羌塘盆地马牙山沥青样品的正构烷烃分布无明显的“鼓包”现象(图 4),表明沥青样品未经历明显的生物降解作用;主峰碳数为 22、23,碳数范围 12~35,具有弱的“双峰型”分布特征(表 1,图 5); C_{21}^-/C_{21}^+ 值范围介于 0.77~1.05;碳优势指数(CPI)值均近似为 1(1.01~1.25),显示沥青的正构烷烃无明显奇偶优势。一般认为,不具备明显奇偶优势的中等相对分子质量正构烷烃分布可能指示海相藻类等水生生物来源(卢双舫和张敏,2007),该地区沥青样品的正构烷烃分布特征反应了母质来源主要为海

表 1 羌塘盆地马牙山地区中侏罗统夏里组沥青和烃源岩正构烷烃和类异戊二烯参数表

Table 1 Parameters of n-alkanes and isoprenoid alkanes from bitumen and source rocks of the Middle Jurassic Xiali Formation in Mayashan area, the Qiangtang Basin									
样品编号	样品性质	碳数范围	主峰碳数	C_{21}^-/C_{21}^+	CPI	$(nC_{21}+nC_{22})/(nC_{28}+nC_{29})$	Pr/nC ₁₇	Ph/nC ₁₈	Pr/Ph
M5-L1	沥青	12~32	22	0.98	1.25	41.61	0.90	1.46	0.65
M5-L2	沥青	12~32	23	0.77	1.01	28.99	1.00	1.79	0.68
M5-L3	沥青	12~27	22	0.83	—	—	0.81	1.65	0.59
M5-L4	沥青	12~35	22	0.92	1.04	21.39	0.51	1.37	0.55
M5-L5	沥青	12~28	23	1.05	—	—	1.06	1.73	0.70
MP-Sh1	泥岩	12~27	23	0.66	—	—	0.59	1.24	0.50
MP-Sh2	泥岩	13~28	23	0.68	—	—	0.66	1.36	0.48
MP-Sh3	泥岩	12~27	23	0.69	—	—	0.71	1.42	0.50
MP-Sh4	泥岩	12~26	23	1.39	—	—	0.78	1.56	0.52
MP-Sh5	泥岩	12~27	23	1.08	—	—	0.65	1.12	0.56

注:碳优势指数 CPI 采用 Philip(1965)所用的比值,为 $2nC_{29}/(nC_{28}+nC_{30})$; nC_x 代表正构 X 烷。

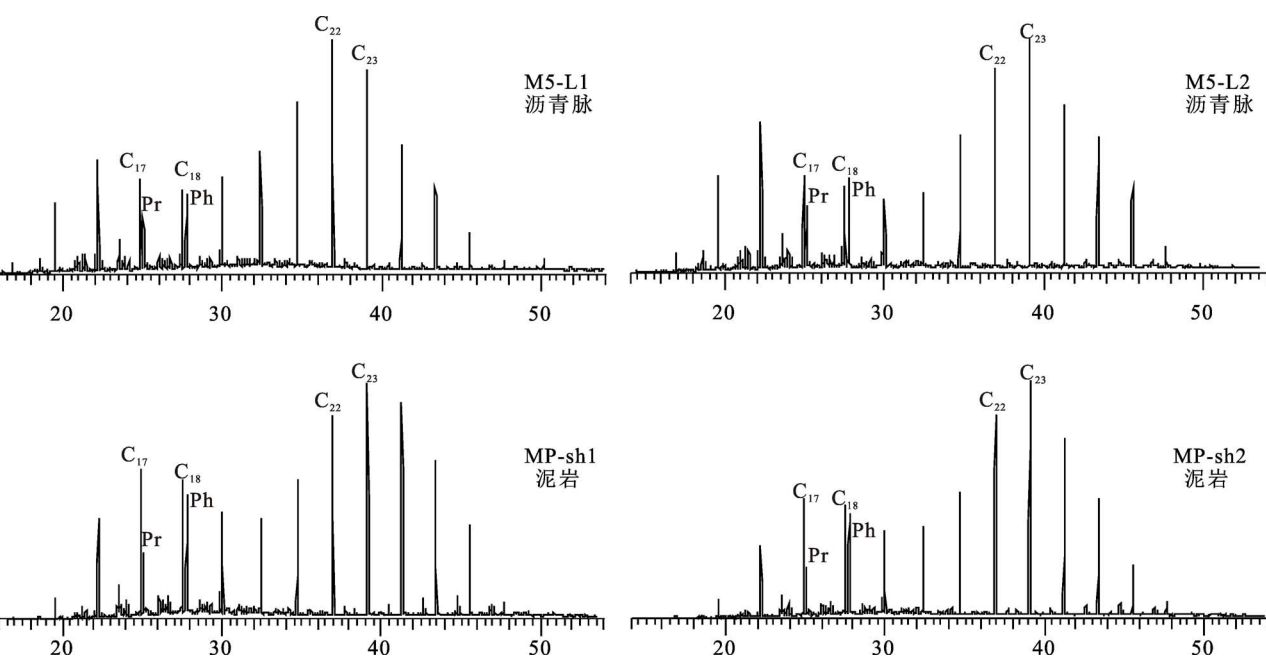


图 4 羌塘盆地马牙山地区中侏罗统夏里组中 沥青脉和烃源岩饱和烃质量色谱图 (m/z85)

Fig. 4 Mass chromatogram (m/z85) of saturated hydrocarbons for bitumen and source rocks from the Middle Jurassic Xiali Formation in Mayashan area, the Qiangtang Basin

相有机质。

$(nC_{21}+nC_{22})/(nC_{28}+nC_{29})$ 是油气地球化学参数中可以被用来判别海相或者陆相生物成因母质类型的指标,前人研究认为,陆相有机质具有较低的比值(0.6~1.2);海相有机质具有较高的比值(1.5~5.0; Philipp, 1974);马牙山沥青样品 $(nC_{21}+nC_{22})/(nC_{28}+nC_{29})$ 值较高(21.39~41.61),均值为 30.66,显示正构烷烃的轻烃组分占绝对优势,反映有机质来源以明显的海相生物为主。

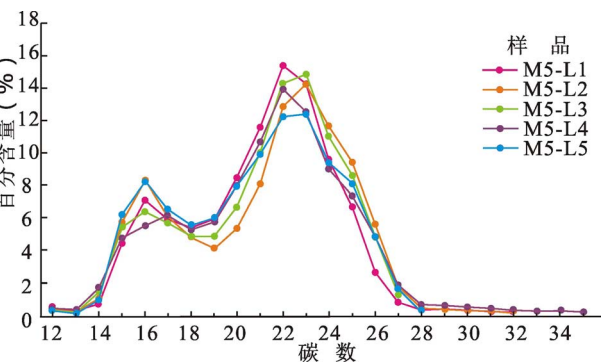


图 5 羌塘盆地马牙山地区中侏罗统夏里组中 沥青正构烷烃碳数分布

Fig. 5 Distribution characteristics of carbon numbers of n-alkanes for bitumen in the Middle Jurassic Xiali Formation in Mayashan area, the Qiangtang Basin

4.2 类异戊二烯烃

日常研究中,类异戊二烯型烷烃中的姥鲛烷(Pr)、植烷(Ph)系列应用最为广泛,因此本文仅讨论 Ph、Ph 相关参数及其意义。一般认为,低的 Pr/Ph 值(<0.8)指示高盐度的还原环境,中等 Pr/Ph 值(1.0~3.0)指示弱氧化—氧化环境,高的 Pr/Ph 值(>3.0)反映氧化条件下的陆源有机质输入(Powell et al., 1973; Hunt et al., 1996; Cheng Peng et al., 2013)。马牙山沥青样品的检测结果表明,Pr/Ph 的值较低(0.55~0.70),显示了较为明显的植烷优势,反应了较强的还原环境和一定的盐度条件。

研究表明,低的 Pr/nC_{17} 比及高的 Ph/nC_{18} 比指示沉积有机质以海相为主,高的 Pr/nC_{17} 比及低的 Ph/nC_{18} 比反应陆相有机质输入,而 Pr/nC_{17} 比与 Ph/nC_{18} 比大小相当则反应过渡环境(Peters et al., 2005)。马牙山沥青样品的 Pr/nC_{17} 值中等(0.51~1.06), Ph/nC_{18} 值相对较高(1.37~1.79), Pr/nC_{17} 与 Ph/nC_{18} 相关图揭示了其沉积环境具有明显的还原性,并反应了海相有机质输入特征。

4.3 萘类化合物

羌塘盆地马牙山沥青样品中,检测出了丰富的萘类化合物(表 2),其含量五环三萜烷>三环萜烷>

表 2 羌塘盆地马牙山地区中侏罗统夏里组中沥青及烃源岩藿烷和甾烷化合物参数
Table 2 Parameters of steranes and terpanes from bitumen and source rocks in the
Middle Jurassic Xiali Formation in Mayashan area, the Qiangtang Basin

样品 编号	样品 性质	Ts/Tm	C ₃₁ 藿 烷 S/R	降新藿烷/ C ₃₀ 藿烷	γ-蜡烷/ (C ₃₁ (20S+20R)/2)	C ₂₇ /C ₂₉	C ₂₈ /C ₂₉	C ₂₉ 20S/ (20S+20R)	C ₂₉ ββ/ (αα+ββ)
M5-L1	沥青	0.90	1.37	0.16	0.74	1.40	0.83	0.36	0.38
M5-L2	沥青	0.72	1.38	0.16	0.69	1.18	0.80	0.34	0.38
M5-L3	沥青	0.92	1.33	0.18	0.79	1.22	0.80	0.33	0.36
M5-L4	沥青	0.64	1.34	0.14	0.63	1.17	0.78	0.35	0.37
M5-L5	沥青	0.76	1.40	0.16	0.67	1.28	0.75	0.34	0.36
MP-Sh1	泥岩	1.06	1.37	0.18	0.91	1.29	0.81	0.37	0.39
MP-Sh2	泥岩	1.10	1.36	0.19	0.88	1.44	0.89	0.36	0.38
MP-Sh3	泥岩	1.04	1.36	0.18	0.89	1.39	0.81	0.37	0.38
MP-Sh4	泥岩	1.04	1.36	0.19	0.86	1.31	0.82	0.36	0.39
MP-Sh5	泥岩	0.99	1.33	0.18	0.83	1.19	0.77	0.38	0.39

伽马蜡烷被认为是来自光合菌、原生动物的四膜虫醇,高的伽马蜡烷表征强还原、超盐度的沉积环境(卢双舫和张敏,2007),前人认为,γ-蜡烷/(C₃₁(20S+20R)/2)值≤0.3 时为淡水环境,介于 0.3 ~ 0.5 之间时为微咸水环境,大于 0.5 时为咸水环境。研究区沥青样品中均检测到了一定含量的 γ-蜡烷(图 6),γ-蜡烷/(C₃₁(20S+20R)/2)值大于 0.6,反应了沥

青有机质沉积时水体盐度较高。

四环萜烷。三环萜烷中以 C₂₃ 相对丰度最高,C₁₉ 丰度最低,且 C₂₁、C₂₃、C₂₄ 呈倒“V”字型分布(图 6),一般认为三环萜烷的这种分布特征与高盐度沉积环境有关,同时也是菌藻类等低等生物输入的标志(付修根等,2007b)。五环三贴烷广泛分布于沥青样品中,且以 C₃₀ 藿烷含量最高,检测出了一定含量的升藿烷,代表了低等生物母质输入;Ts/Tm 值较小(0.64~0.92),指示沥青有机质成熟度较低。

4.4 甾类化合物

马牙山沥青样品中检测出了丰富的甾类化合物,以规则甾烷(C₂₇~C₂₉)为主,含一定量的重排甾烷类(C₂₇~C₂₉)、孕甾烷(C₂₁)、升孕甾烷(C₂₂)和 4-甲基甾烷。一般认为,C₂₇、C₂₈ 规则甾烷来自海相有机质和湖相的水生生物,而 C₂₉ 规则甾烷来源于陆相高等植物有机质(卢双舫和张敏,2007)。测试结

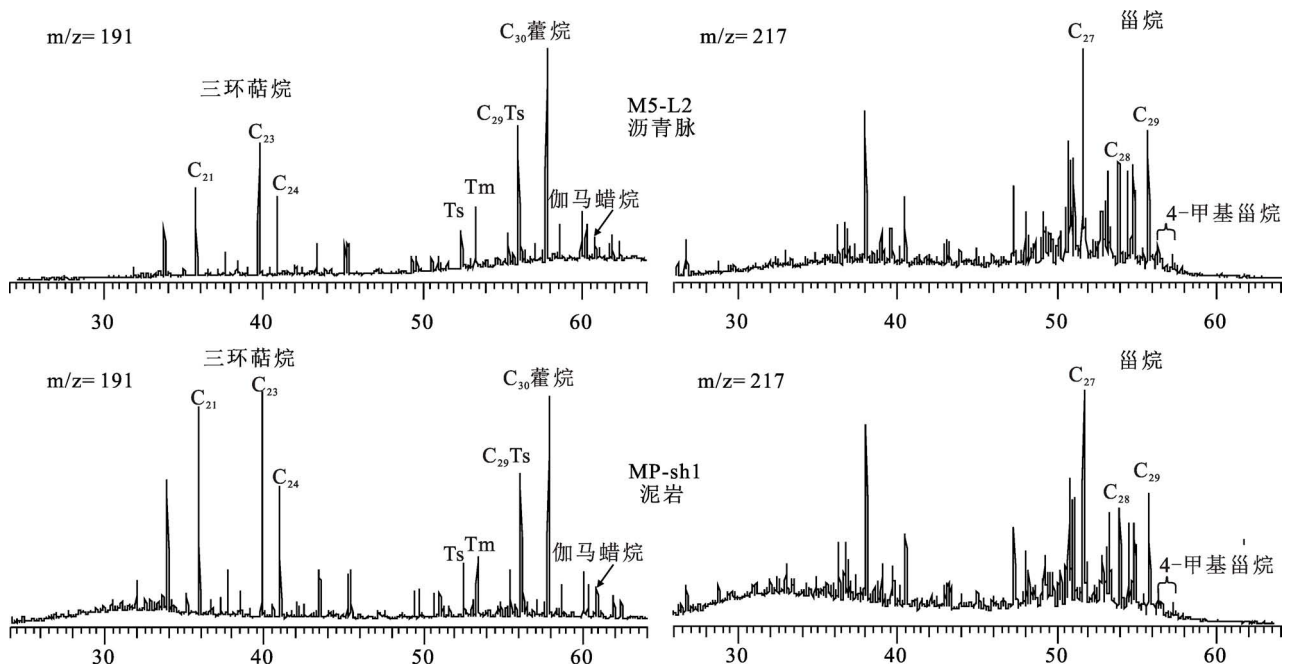


图 6 羌塘盆地马牙山地区中侏罗统夏里组中沥青脉和烃源岩饱和烃质量色谱图(m/z191 和 m/z217)
Fig. 6 Mass chromatogram of saturated hydrocarbons(m/z191 and m/z217) for bitumen and source rocks
in the Middle Jurassic Xiali Formation in Mayashan area, the Qiangtang Basin

果表明, C_{27}/C_{29} 值介于 1.17~1.40, 均值为 1.25; C_{28}/C_{29} 值介于 0.75~0.83, 均值为 0.79; C_{27} 、 C_{28} 、 C_{29} 规则甾烷总体呈不对称“V”字形分布(图 6)。上述甾烷分布特征反应了研究区沥青的母质来源以水生生物为主(图 7), 并受较少陆相有机质输入影响。

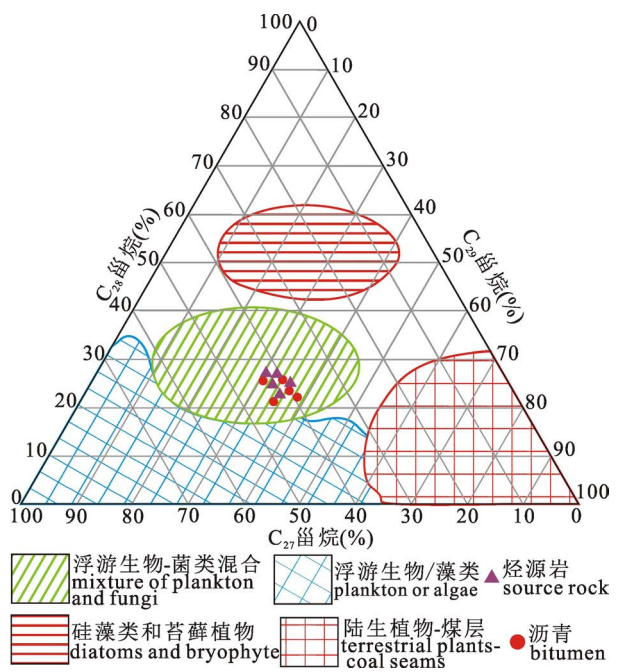


图 7 羌塘盆地马牙山地区中侏罗统夏里组中沥青和烃源岩 C_{27} — C_{29} 规则甾烷三角图(底图据 Huang Wenyan et al., 1979 修改)

Fig. 7 Ternary diagram of C_{27} — C_{29} regular sterane for bitumen and source rocks of the Middle Jurassic Xiali Formation in Mayashan area, the Qiangtang Basin (after Huang Wenyan et al., 1979)

研究学者认为, 4-甲基甾烷主要来源于沟鞭藻生物体中的 4a-甲基甾醇, 与藻类有机质输入有关, 但也存在于细菌中(Philp et al., 1991; Boreham et al., 1994)。马牙山沥青样品测试结果表明, 4-甲基甾烷化合物虽然丰度较低但普遍存在(图 6), 表明沥青母源岩沉积时受一定的藻类及细菌类输入影响, 反应了明显的海相有机质输入特征。 C_{27} — C_{29} 甾烷的 R、 $\alpha\alpha$ 构型随成熟度增加而分别向更稳定的 S、 $\beta\beta$ 构型转化, 因此 $C_{29}20S/(S+R)$ 和 $C_{29}\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 值是判别有机质成熟度的常用参数; 当 $C_{29}20S/(S+R)$ 值为 0.52~0.55, $C_{29}\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 值为 0.7 时, 有机质处于生油高峰期(Moldowan et al., 1991)。沥青样品检测出的 $C_{29}20S/(S+R)$ 值为

0.33~0.36, 均值为 0.34; $C_{29}\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 值为 0.36~0.38, 均值为 0.37; 构型转化参数整体较低, 反应马牙山沥青演化程度为低成熟阶段(图 8)。

4.5 沥青脉来源探讨

传统理论认为, 油气主要经历热演化、冷变质、脱沥青等作用后形成沥青, 而油源岩与沥青的稳定性、继承性生物标志化合物的特征具有较好可比性, 二者无论在母源性质、沉积环境和成熟度上具有高度一致性(张枝焕等, 1998); 因此, 选取稳定性较好、指示性强的正构烷烃、甾烷、萜烷等生物标志化合物进行对比可用于追索羌塘盆地马牙山沥青的来源。马牙山沥青脉和夏里组烃源岩质量色谱图($m/z85$ 、 $m/z191$ 、 $m/z191$) 显示了部分参数具有相似的变化特征; Pr/nC_{17} 与 Ph/nC_{18} 相关图结果显示, 马牙山中侏罗统夏里组烃源岩沉积于明显的还原环境, 以海相有机质输入为主(图 9), 与沥青具有很好的对比性; C_{27} 、 C_{28} 、 C_{29} 甾烷参数表明, 马牙山沥青与烃源岩的母质来源均以水生生物为主(图 7), 反应了较强的亲缘性。成熟度参数 $C_{29}20S/(20S+20R)$ 和 $C_{29}\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 结果表明, 二者差异较小, 均反应了低成熟的演化阶段。

综上所述表明, 羌塘盆地马牙山沥青与中侏罗统夏里组烃源岩具有较强的亲缘关系。夏里组烃源岩生成的油气在运移、聚集过程遭受破坏, 经历了氧化、生物降解及水洗等作用后, 部分轻烃组分逸失,

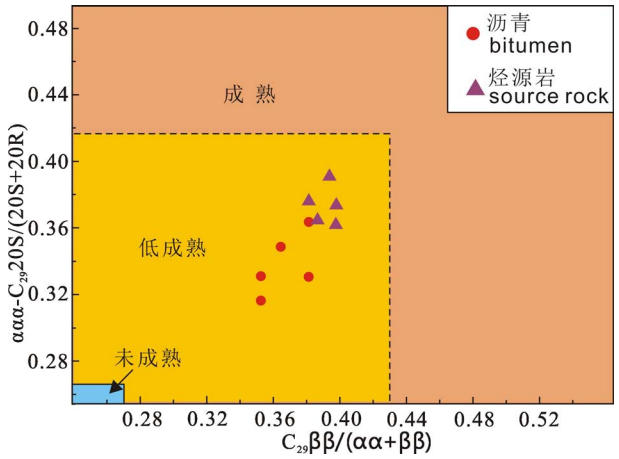


图 8 羌塘盆地马牙山地区中侏罗统夏里组中沥青和烃源岩成熟度生标参数相关图(底图据 Peters et al., 2005 修改)

Fig. 8 Correlogram correlation map of biomarker parameters for maturation of oil seepages and source rocks in the Middle Jurassic Xiali Formation in Mayashan area, the Qiangtang Basin (modified after Peters et al., 2005)

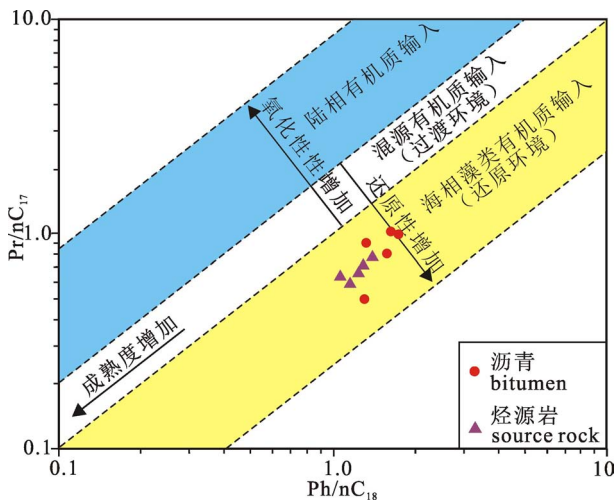


图 9 羌塘盆地马牙山地区中侏罗统夏里组中沥青和烃源岩 (Pr/nC_{17})—(Ph/nC_{18}) 相关图(底图据 Nabil et al. , 2015 修改)
Fig. 9 Cross plot of pristane to nC_{17} and phytane to nC_{18} of bitumen and source rocks in the Middle Jurassic Xiali Formation in Mayashan area, the Qiangtang Basin (after Nabil et al. 2015)

沥青质组分加重,形成了现今马牙山沥青脉。本研究表明中侏罗统夏里组泥岩具有生烃能力,指示了夏里组地层在地质历史时期存在油气运移、聚集成藏过程,为夏里组自生自储式油气成藏研究提供了基础参数,同时为后期羌塘盆地油气勘探过程中有利勘探层位综合评价提供了依据,丰富了该研究区油气勘探思路。

5 结论

- (1) 羌塘盆地半岛湖地区马牙山沥青脉生标参数显示,正构烷烃不具备明显的奇偶优势, ($nC_{21} + nC_{22}$)/($nC_{28} + nC_{29}$) 值较高, C_{27} 、 C_{28} 、 C_{29} 规则甾烷呈不对称“V”字形分布,4-甲基甾烷普遍存在;反应了沥青母源岩以海相水生生物输入为主,并受较少陆相有机质影响。
- (2) 马牙山沥青样品中均检测出了一定含量的伽马蜡烷及升藿烷,且 Pr/Ph 、 Pr/nC_{17} 值明显较低,而 Ph/nC_{18} 值较高,反应了明显的还原环境和一定的盐度条件。
- (3) 马牙山沥青样品的 Ts/Tm 、 $C_{29}\beta\beta/(\alpha\alpha + \beta\beta)$ 、 $C_{29}20S/(S+R)$ 等热成熟度构型转化参数比值较低,反应了沥青有机质处于低成熟演化阶段。
- (4) 综合研究表明,中侏罗统夏里组烃源岩与

马牙山沥青的正构烷烃、甾烷、藿烷等生物标志化合物分布特征具有很好的对比性,反应了二者具有较强的亲缘关系。

致谢:西南石油大学王剑教授、付修根教授和王忠伟博士参加了本项研究的部分野外工作或学术讨论,成都地质调查中心占王忠、申华梁等同事在采样过程中提供了帮助,审稿专家对本文初稿提出了宝贵修改意见,在此一并表示衷心感谢。

参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)

陈文西,王剑. 2009. 藏北羌塘盆地晚三叠世地层特征与对比. 中国地质, 36(4): 809~818.

程乐利,印森林,万友利,王剑,冯兴雷,李学仁,曾胜强. 2020. 羌塘盆地北羌塘坳陷上三叠统巴贡组致密储层成岩作用与孔隙演化. 石油实验地质, 42(1): 60~68.

杜佰伟,彭清华,何江林. 2015. 羌塘盆地托纳木地区沥青脉地球化学特征. 新疆石油地质, 36(1): 14~19.

付修根,王剑,汪正江,陈文西. 2007a. 藏北羌塘盆地海相油页岩沉积环境. 新疆石油地质, 28(5): 529~533.

付修根,王剑,汪正江,陈文西. 2007b. 藏北羌塘盆地晚侏罗世海相油页岩生物标志物特征、沉积环境分析及意义. 地球化学, 36(5): 486~496.

黄继钧. 2001. 藏北羌塘盆地构造特征及演化. 中国区域地质, 20(2): 178~186.

丘东洲. 2004. 西藏——我国西部 21 世纪新的油气资源接替区. 新疆石油地质, 25(3): 233~239.

李美俊,张忠涛,陈聪,杨程宇,卢晓林,付健,代金慧,唐友军. 2019. 珠江口盆地白云凹陷储层沥青成因及其对油藏调整改造的启示. 石油与天然气地质, 40(1): 133~141.

卢双舫,张敏. 2007. 油气地球化学. 北京:石油工业出版社:1~316.

李月森,马德胜,白培荣,曾禹人. 2015. 北羌塘半岛湖地区早白垩世白龙冰河组厘定及意义. 贵州地质, 32(2): 105~110.

孙伟,陈明,曾胜强. 2013. 西藏羌塘盆地半岛湖中生代索瓦组的层状礁:群落结构和时代. 地质通报, 32(4): 567~572.

孙伟,陈明,何江林,曹峻锋,王东. 2015a. 西藏羌塘盆地半岛湖地区索瓦组锆同位素组成与演化. 沉积学报, 33(2): 265~274.

孙伟,陈明,何江林,曹峻锋,曾胜强. 2015b. 羌塘盆地半岛湖地区上侏罗一下白垩统礁灰岩地球化学特征和成岩流体性质. 矿物岩石, 35(2): 32~39.

王剑,丁俊,王成善,谭富文. 2009. 青藏高原油气资源战略选区调查与评价. 北京:地质出版社:1~645.

吴珍汉,季长军,赵珍,杨易卓. 2019. 羌塘盆地半岛湖—东湖地区主力烃源岩及油气资源潜力. 地质学报, 93(7): 1738~1753.

赵政璋,李永铁,叶和飞,张昱文. 2001. 青藏高原羌塘盆地石油地质. 北京:科学出版社:1~398.

张枝焕,关强. 1998. 新疆三塘湖盆地二叠系油源分析. 石油实验地质, 20(2): 174~181.

Boreham C J, Summons R E, Roksandic Z, Dowling L M, Hutton A. C. 1994. Chemical, molecular and isotopic differentiation of organic facies in the Tertiary lacustrine Duaringa oil shale deposit, Queensland, Australia. Organic Geochemistry, 21(6/7): 685~712.

- Cheng Leli, Yin Senlin, Wan Youli, Wang Jian, Feng Xinglei, Li Xueren, Zeng Shengqiang. 2020#. Diagenesis and pore evolution of tight sandstone reservoirs in Upper Triassic Bagong Formation, North Qiangtang Depression, Qiangtang Basin. *Petroleum Geology & Experiment*, 42(1): 60~68.
- Cheng Peng, Xiao Xianming, Tian Hui, Huang Baojia, Wilkins R W T, Zhang Yingzhao. 2013. Source controls on geochemical characteristics of crude oils from the Qionghai Uplift in the western Pearl River Mouth Basin, offshore South China Sea. *Marine and Petroleum Geology*, 40: 85~98.
- Chen Wenxi, Wang Jian. 2009#. Correlation of upper Triassic strata in Qiangtang basin, northern Tibet. *Geology in China*, 36(4): 809~818.
- Du Baiwei, Peng Qinghua, He Jianglin. 2015#. Geochemical characteristics of Upper Jurassic—Lower Cretaceous bituminous vein in Tuonamu Area in Qiangtang Basin. *Xinjiang Petroleum Geology*, 36(1): 14~19.
- Fu Xiugen, Wang Jian, Wang Zhengjiang, Chen Wenxi. 2007a#. Marine oil shale depositional environment of Qiangtang basin in northern Tibet. *Xinjiang Petroleum Geology*, 28(5): 529~533.
- Fu Xiugen, Wang Jian, Wang Zhengjiang, Chen Wenxi. 2007b#. Biomarkers and sedimentary environment of late Jurassic marine oil shale in Qiangtang basin, northern Xizang and its geological significance. *Geochimica*, 36(5): 486~496.
- Huang Jijun. 2001#. Tectonic characteristics and evolution of the Qiangtang basin. *Regional Geology of China*, 20(2): 178~186.
- Huang Wenyan, Meinschein W G. 1979. Sterols as ecological indicators. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 43: 739~745.
- Hunt J. 1996. *Petroleum Geochemistry and Geology*. W. H. Freeman and Company, USA: 1~743.
- Li Meijun, Zhang Zhongtao, Chen Cong, Yang Chengyu, Lu Xiaolin, Fu Jian, Dai Jinhui, Tang Youjun. 2019#. Origin of reservoir bitumen and its implications for adjustment and reformation of hydrocarbon-accumulation in Baiyuan Sag, Pearl River Mouth Basin. *Oil & Gas Geology*, 40(1): 133~141.
- Li Yueseng, Ma Desheng, Bai Peirong, Zeng Yuren. 2019#. Determination of Bailong—Binghe Formation in Cretaceous epoch and its significance in Bandaohu Area of North Qiangtang. *Guizhou Geology*, 32(2): 105~110.
- Moldowan J M, Carlson R M K. 1991. Rearranged hopanes in sediments and petroleum. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 55: 3333~3353.
- Lu Shuangfang, Zhang Min. 2007#. *Petroleum Geochemistry*. Beijing: Petroleum Industry Press; 1~316.
- Nabil M A, Abubakr F M. 2015. Organic geochemical characteristics of crude oils and oil- source rock correlation in the Sunah oilfield, Masila Region, Eastern Yemen. *Marine and Petroleum Geology*, 63: 17~27.
- Peters K E, Walters C C, Moldowan J M. 2005. *The biomarker guide. Biomarkers and isotopes in petroleum exploration and earth history*. Cambridge: Cambridge University Press; 566~567.
- Philipp C T. 1974. The influence of marine and terrestrial source material on the composition of petroleum. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 38: 947~966.
- Philp R P, Fan P, Lewis C A, Zhu H, Wang H D. 1991. Geochemical characteristics of oils from the Chaidamu, Shanganning and Jiangnan basins, China. *Southeast Asian Earth Sci.*, 5: 351~358.
- Powell T G, McKirdy D M. 1973. Relationship between ratio of pristane to phytane in crude oil composition and geological environment in Australia. *Nature*, 243: 37~39.
- Qiu Dongzhou. 2004#. Tibet—A new take-over region for petroleum resources of 21st century in west China. *Xinjiang Petroleum Geology*, 25(3): 233~239.
- Sun Wei, Chen Ming, He Jianglin, Cao Junfeng, Wang Dong. 2015a#. Strontium isotope composition and evolution in the Suowa formation, Bandaohu area, Qiangtang depression, Tibet. *Acta Sedimentologica Sinica*, 33(2): 265~274.
- Sun Wei, Chen Ming, He Jianglin, Cao Junfeng, Zeng Shengqiang. 2015b#. Geochemical characteristics and diagenetic fluid from REEF facies carbonate rocks of Upper Jurassic—Lower Cretaceous in Bandaohu area, Qiangtang depression, Tibet. *J. Mineral Petrol.*, 35(2): 32~39.
- Sun Wei, Chen Ming, Zeng Shengqiang. 2013#. The biostromal community structure and biostratigraphic correlation of the Mesozoic Suowa Formation in Bandaohu area, Qiangtang depression, Tibet. *Geological Bulletin of China*, 32(4): 567~572.
- Wang Jian, Ding Jun, Wang Chengshan, Tan Fuwen. 2009#. Investigation and Evaluation of Qinghai—Tibet Plateau Oil—Gas Resource Strategic Electoral District. Beijing: Geological Publishing House; 1~645.
- Wu Zhenhan, Ji Changjun, Zhao Zhen, Yang Yizhuo. 2019#. Main source rock and oil resource potential of the Bandaohu—Donghu area in the northern Qiangtang Basin. *Acta Geologica Sinica*, 93(7): 1738~1753.
- Zhao Zhengzhang, Li Yongtie, Ye Hefei, Zhang Yuwen. 2000#. *Petroleum Geology of Qiangtang Basin in Qinghai—Tibet Plateau*. Beijing: Science Press; 1~398.
- Zhang Zhihuan, Guan Qiang. 1998#. Analysis on oil and gas source of Permian in Santanghu Basin of Xinjiang area. *Petroleum Geology & Experiment*, 20(2): 174~181.

Geochemical characteristics of bitumen in Mayashan area in Qiangtang Basin and its indicative 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, 610081;

2) Key Laboratory for Sedimentary Basin and Oil and Gas Resources, Ministry of Land and Resources, Chengdu, 610081

Objectives: The purpose of this paper is to discuss the indicative significance of sedimentary environment and maturity, reveal the source of asphalt, and provide the basis for oil and gas exploration in the Qiangtang Basin.

Methods:Based on analysis of saturated hydrocarbons chromatogram-mass spectrometry for bitumen extracts, the geochemical characteristics of the bitumen in Mayashan area were researched, as well as its indicator significance of sedimentary environment, thermal maturity and oil source were discussed, too.

Results:The test results show that the n-alkanes in Mayashan bitumen show no obvious odd—even carbon dominance, the ratios of $(nC_{21}+nC_{22})/(nC_{28}+nC_{29})$ are relatively high, while the ratios of Pr/Ph, Pr/nC₁₇ are obviously low, and C₂₇—C₂₈—C₂₉ααα20R distributes in asymmetric “V” shape. The values of maturity parameters, such as Ts/Tm, C₂₉ββ/(αα+ββ) and C₂₉20S/(S+R) are relatively low, while the 4-methyl-sters are also widely detected. The GC—MS characteristics of saturated hydrocarbons show that the bituminous kerogen mainly derived from lower level marine hydrobiont, which are at low mature stage and formed in reducing environment with some salinity.

Conclusion: The oil source correlation reveals that the biomarkers characteristics of Mayashan bitumen are consistent with those of the Xiali source rocks in terms of n-alkanes, terpanes and steranes, indicating that they have close genetic relationship.

Keywords:bituminous vein; biomarkers; sedimentary environment; maturity; oil source; Mayashan area; Qiangtang Basin

Acknowledgements:The study was financially supported by Oil and Gas Geology Survey Project of China Geological Survey (No. DD20190116)

First author: PENG Qinghua, male, born in 1984, senior engineer, major in unconventional petroleum geology and sedimentary energy; Email: pqh1984yes@126.com

Manuscript received on: 2020-07-16; Acceptedon: 2020-09-01; Edited by: HUANG Daomao

Doi: 10.16509/j.georeview.2020.05.014