

羌塘盆地胜利河地区布曲组油气 地球化学特征与油源对比

刘天夫^{1, 2)}, 季长军^{3)*}

1) 中石油昆仑好客有限公司, 北京 102200; 2) 东北石油大学, 黑龙江大庆 163318;
 3) 中国地质科学院, 北京 100037

摘要: 羌塘盆地胜利河地区侏罗系海相地层的地表露头有大量的油气显示。以往研究表明该地区发育多套含油气系统, 油气性质复杂。本次研究在前人工作基础上, 以中侏罗统布曲组(*J_{2b}*)中部油页岩露头、探井岩心的油气显示以及地表油气显示为主要研究对象。通过 TOC 分析、岩石热解、饱和烃色谱和饱和烃色谱-质谱的分析, 更为详细地研究了胜利河地区烃源岩类型, 对原油来源进行了进一步探讨, 为该地区下一步油气勘探工作提供更多的理论依据。研究表明, 该地区 *J_{2b}* 组中部油页岩有机质类型以 II 型为主, 具有较高的生油潜力。该地区原油主要来源于还原性海相沉积环境。研究区样品的有机质输入主要以低等水生生物为主, DB4142 以低等水生生物和高等植物混合贡献, BD4902 以高等植物输入为主。原油处于成熟阶段, 所有样品均检测出 25-降藿烷系列的化合物, 指示样品均遭受了较为强烈的生物降解作用。依据生物标志物指纹特征和生物标志化合物参数特征, 运用聚类分析方法, 将研究区原油划分为 A、B、C、D 四类。其中 A 类原油主要来自于同层位(*J_{2b}*)的烃源岩, 而 B、C、D 类原油没有或者很少有该套烃源岩(*J_{2b}*)的贡献, 可能来自其它层位烃源岩贡献。

关键词: 羌塘盆地; 烃源岩; 生物标志化合物, 地球化学; 油源对比

中图分类号: P618.13 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2023.122101

Petroleum Geochemical Characteristics and Oil Source Correlation of Buqu Formation in Shenglihe Area, Qiangtang Basin

LIU Tianfu^{1, 2)}, JI Changjun^{3)*}

1) PetroChina Usmile Company Limited, Beijing 102200;
 2) Northeast Petroleum University, Daqing, Heilongjiang 163318;
 3) Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037

Abstract: Surface outcrops of Jurassic marine strata in the Shenglihe area of the Qiangtang Basin contain a large amount of petroleum. Previous research indicated the presence of multiple petroleum systems with complex properties. Based on previous research, the main research objects of this study were the petroleum display of the central oil shale outcrop, exploration well core, and surface oil and gas display of the Middle Jurassic Buqu Formation (*J_{2b}*). Through TOC analysis, rock pyrolysis, saturated hydrocarbon chromatography, and saturated hydrocarbon chromatography-mass spectrometry, the source rock types and oil sources in the Shenglihe area were studied in detail, providing a theoretical basis for further petroleum exploration. The results show that the organic matter within the *J_{2b}* middle stratum was primarily Type II, which has a high potential for oil generation. The oil predominantly originates from reduced marine sedimentary environments. The organic matter input of the samples in the study area was mainly lower aquatic organisms; DB4142 was mixed with lower aquatic organisms and higher

本文由中国地质调查局地质调查项目(编号: DD20230315)、中国地质科学院基本科研业务费项目(编号: JKY202209)和国家自然科学基金项目(编号: 41602122)联合资助。

收稿日期: 2023-11-01; 改回日期: 2023-12-16; 网络首发日期: 2023-12-22。责任编辑: 张改侠。

第一作者简介: 刘天夫, 男, 1983 年生。硕士, 高级工程师。长期从事石油地学科研工作。E-mail: liutianfu@petrochina.com.cn。

*通信作者: 季长军, 男, 1986 年生。博士, 副研究员。长期从事石油地学科研工作。E-mail: jichangjun2007@sina.com。

plants; and BD4902 mainly contained higher plants. The oil reached maturity, as evidenced by 25-norholane series compounds in all the samples, suggesting a history of significant biodegradation. Using cluster analysis based on fingerprint and biomarker parameter characteristics, we classified the oil into four categories: A, B, C, and D. Class A oil mainly comes from the source rocks of the same horizon (J_{2b}), whereas Classes B, C, and D exhibit little to no contribution from the J_{2b} source rocks and may come from other horizon source rocks.

Key words: Qiangtang Basin; source rock; biomarker; geochemistry; oil-source correlation

羌塘盆地作为国内面积最大、地层沉积序列最完整的中生代海相含油气沉积盆地。目前是我国陆上油气勘探程度最低的地区。目前在羌塘盆地三叠系和侏罗系的地表先后发现 250 多处油气显示(吴珍汉等, 2022)。其中大部分为沥青, 在索日卡等少数地区发现液态烃类的显示, 盆地整体具有较大的勘探潜力(杨易卓等, 2022)。特别是在盆地南部发现的隆鄂尼—昂达尔错布曲组(J_{2b})地表油砂带以及近年来在盆地北部布曲组实施的一系列钻井工程揭示的油气显示陆续发现, 不仅充分说明了盆地的含油气性, 也更加佐证了布曲组应该是盆地重要的目标勘探层位。

先前研究认为胜利河地区中生界主要发育 2 套烃源岩。上部以中侏罗统布曲组(J_{2b})黑色油页岩为烃源岩, 下部以上三叠统肖茶卡组(T_{3x})的黑色油页岩为烃源岩(吴珍汉等, 2022)。该地区油气性质在垂向和平面上的展布均极为复杂, 且对于各层位油气藏中油气来源和烃源岩的贡献占比问题存在争议。本次研究聚焦于北羌塘坳陷前期油气勘查布曲组成藏组合较好的胜利河区域, 以 TOC 分析、岩石热解、饱和烃色谱和饱和烃色谱-质谱等有机地化分析测试为手段, 详细研究了该地区潜在烃源岩地球化学特征, 并开展了含油样品原油类型分析, 通过油油和油源对比, 比较全面地分析了该地区布曲组原油类型和可能油源方向, 对于认识羌塘盆地西北部布曲组的油气勘探开发具有重要的指导意义。

1 地质背景

羌塘盆地作为国内中生代最大的海相残留盆地, 处于富含油气资源的特提斯构造域, 区域面积为 $18.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ (吴珍汉等, 2022; 于珺等, 2023)。羌塘盆地由北向南依次可划分为北羌塘坳陷、中央隆起带以及南羌塘坳陷 3 个二级构造单元。其中, 南羌塘凹陷北部地表出露大规模古油藏, 指示羌塘盆地存在大规模生、排烃活动(季长军, 2015)。目前羌塘盆地勘探程度总体偏低, 整体上处于早期探索阶段, 且对于该地区有效的生储盖组合仍存在较大的争议(杨桂芳等, 2003; 王剑等, 2007; 吴珍汉等, 2022)。

研究区胜利河地区位于北羌塘坳陷西南部, 毗邻中央隆起带(图 1)。整体上, 该地区在碰撞造山期

遭受相对较弱构造改造(吴珍汉等, 2022)。野外露头观测发现, 胜利河地区中侏罗统布曲组(J_{2b})上部发育油浸白云岩、油浸灰岩以及油浸生物碎屑灰岩, 中部为页岩夹生物碎屑灰岩和黑色泥岩, 下部发育生物碎屑灰岩、灰岩、泥灰岩(吴珍汉等, 2022)。

2 样品与实验

样品来自羌塘盆地, 在研究区共采集野外露头 9 件, 其中包含油页岩样品 1 件、含油岩样 8 件。此外, 还采集含油岩心样品 1 件, 此样品采自羌塘盆地北部胜利河地区油浸白云岩出露区的 Qs1 地质调查井(图 1), 层位为中侏罗统布曲组(J_{2b})。在长江大学实验室进行了 TOC、岩石热解、岩石抽提、族组分分离、色谱-质谱等测试实验。

根据 GB/T 19145-2003 对 TOC 分析样品进行制备。取 10 g 烃源岩样品研磨至 80 目, 加入浓度为 5% 的稀盐酸除去碳酸盐矿物, 随后用蒸馏水除酸。将样品放入 60 °C 的烤箱中烘干。样品的 TOC 分析采用 Leco CS-230 碳硫分析仪测定, 精度在 0.5% 以内。

岩石热解采用 OGE-VI 岩石热解分析仪, 测试前先将仪器空样运行 3 次后用标样进行校正, 随后用坩埚称取适量粉末状样品(80~100 mg)置于仪器中, 初始温度 300 °C, 程序升温速率 50 °C/min, 获取烃源岩各项热解参数。

样品中的可溶有机质按照常规方法进行萃取和族组分分离, 对样品进行 72 h 的抽提后, 首先用正己烷沉淀过滤沥青质, 得到的氯仿沥青用硅胶氧化铝层析柱来进行族组分的分离, 依次通过加正己烷、正己烷+二氯甲烷(体积比为 7:3)混合溶剂、二氯甲烷+甲醇(体积比为 95:5)混合溶剂来得到饱和烃、芳烃和非烃组分。

饱和烃色谱-质谱分析: 分析仪器为 Agilent 7890B/5977B 台式质谱仪, 色谱柱为 HP-5 MS 石英弹性毛细柱 $60 \text{ m} \times 0.25 \text{ mm} \times 0.25 \mu\text{m}$, 升温程序: 50 °C 恒温 1 min, 从 50 °C 至 100 °C 的升温速率为 20 °C/min, 100 °C 至 315 °C 的升温速率为 3 °C/min, 315 °C 恒温 16 min。进样器温度为 300 °C, 载气为氦气, 流速为 3.00 mL/min。检测方式为全扫描+多离子检测(MID): 电离能量为 70 eV, 离子源温度为 230 °C。

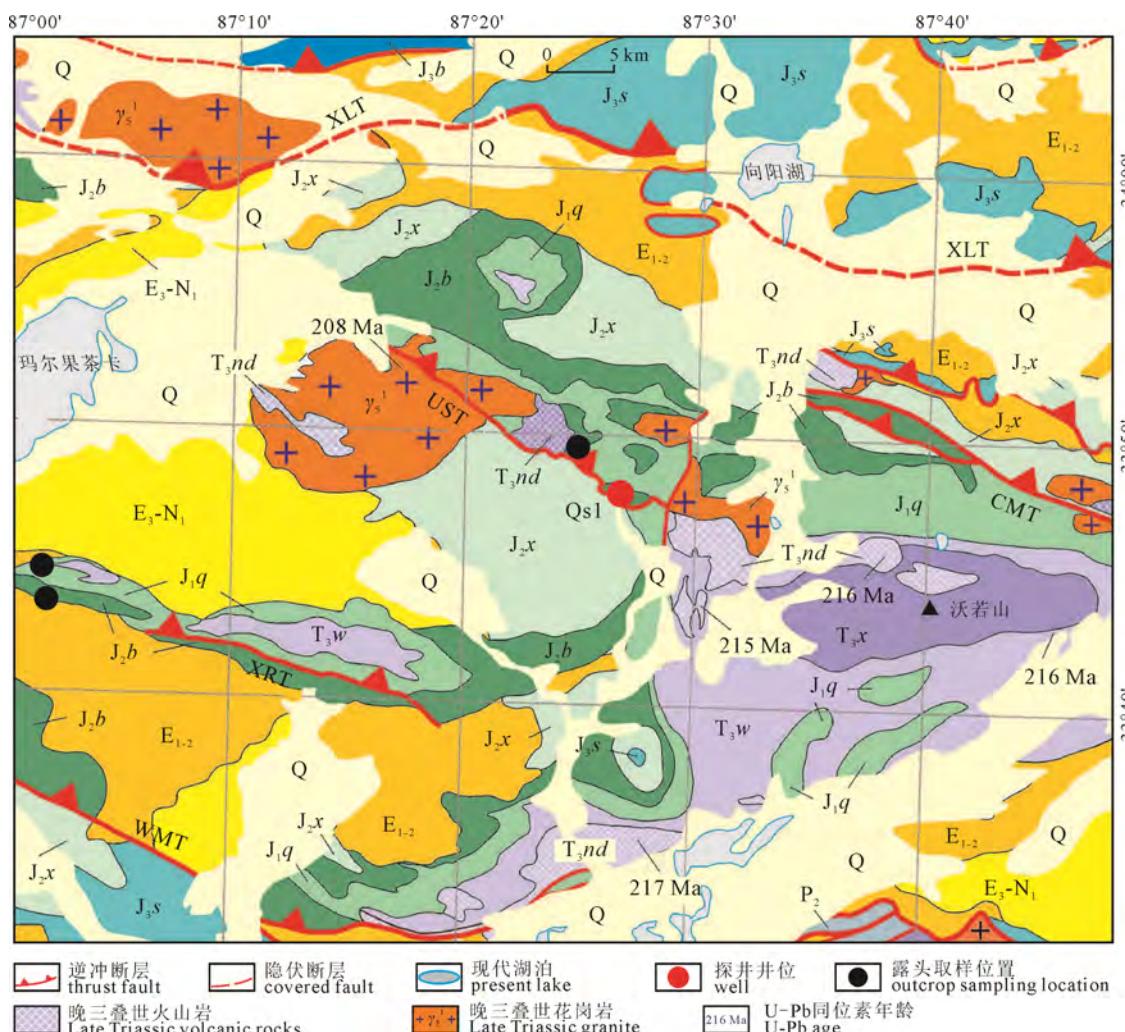
3 布曲组潜在烃源岩有机地球化学特征

潜在有机地球化学特征分析是开展油源对比的前提。有机质丰度反映了油气生成的物质基础, 有机质类型决定了烃源岩的生烃潜力, 两者共同控制了烃源岩的发育。

针对胜利河地区 J_{2b} 组黑色油页岩进行 TOC 测试, 结果显示 TOC 含量为 5.78%。岩石样品有机碳含量高, 具有较高的生烃潜力(表 1)。TOC 可能包含非生烃干酪根(即“死碳”)和成熟样品中的沥青, 因此单独的 TOC 并不能很好的评价烃源岩的丰度(Dembicki, 2009)。岩石热解 S_1 、 S_2 、生烃潜量(S_1+S_2)作为烃源岩评价的重要指标, 其不仅可以划分有机

质类型(Langford et al., 1990), 在烃源岩评价中结合对应 TOC 值被广泛应用(Ruppert et al., 2010; Chen et al., 2019)。目前由于钻井深度和本次取样限制, 仅对中侏罗统布曲组油页岩进行烃源岩评价。

岩石热解显示, J_{2b} 组黑色油页岩 S_1 为 0.62 mg/g(单位岩石样品中的游离烃含量), S_2 为 20.87 mg/g(单位岩石样品中的热解烃含量), S_3 为 1.01 mg/g(单位岩石样品中的有机二氧化碳含量)(表 1)。结合岩石 TOC 含量分析显示, 该地区 J_{2b} 组黑色油页岩均坐落于优质烃源岩区域, 具有较高的生烃潜力(图 2a, b)。通过 HI 与 T_{max} 和 HI 与 OI 交汇图分析表明, J_{2b} 组黑色油页岩有机质类型为 II型, 具有较高的生油潜力(图 3a, b)。



Q—第四系; E_{3-N_1} —渐新统一中新统泥岩、砂岩、砾岩; E_{1-2} —古新统一始新统红层; J_3s —上侏罗统索瓦组灰岩; J_2x —中侏罗统夏里组泥岩、砂岩、泥灰岩; J_2b —中侏罗统布曲组灰岩; J_1q —下侏罗统雀莫错组泥岩、砂岩、灰岩; T_3w —上三叠统沃若山组暗紫色碎屑岩;

T_3nd —上三叠统那底岗日组火山岩; T_3x —上三叠统肖茶卡组泥页岩、砂岩、灰岩; P_2 —下二叠统; XLT—向阳湖逆冲推覆构造;

CMT—长蛇山逆冲断层; UST—胜利河上游逆冲断层; XRT—西长梁逆冲断层; WMT—卧牛山逆冲断层。

Q—Quaternary; E_{3-N_1} —Late Oligocene–Early Miocene mudstone, sandstone and conglomerate; E_{1-2} —Paleocene–Eocene redbeds;

J_3s —Upper Jurassic limestone of the Suowa Formation; J_2x —Middle Jurassic mudstone, sandstone and marl of the Xiali Formation;

J_2b —Middle Jurassic limestone of the Buqu Formation; J_1q —Lower Jurassic mudstone, sandstone and limestone of the Quemocuo Formation;

T_3w —Upper Triassic dark violet clastic rocks of the Woruoshan Formation; T_3nd —Late Triassic volcanic rocks of the Nadigangri Formation;

T_3x —Upper Triassic shale, mudstone, sandstone and limestone of the Xiaochake Formation; P_2 —Lower Permian; XLT—Xiangyang Lake thrust;

CMT—Changshe Mountain thrust; UST—Upper Shenglihe thrust; XRT—Xichangliang Range thrust; WMT—Woniu Mountain thrust.

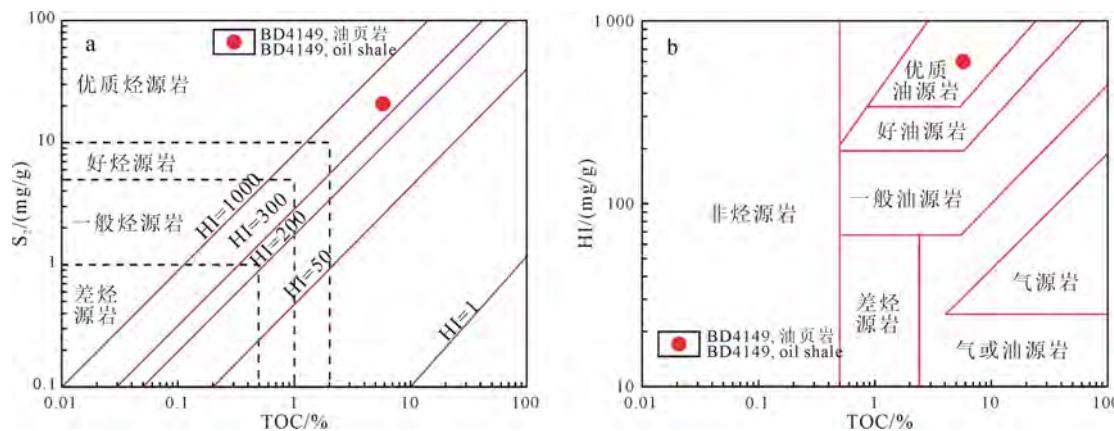
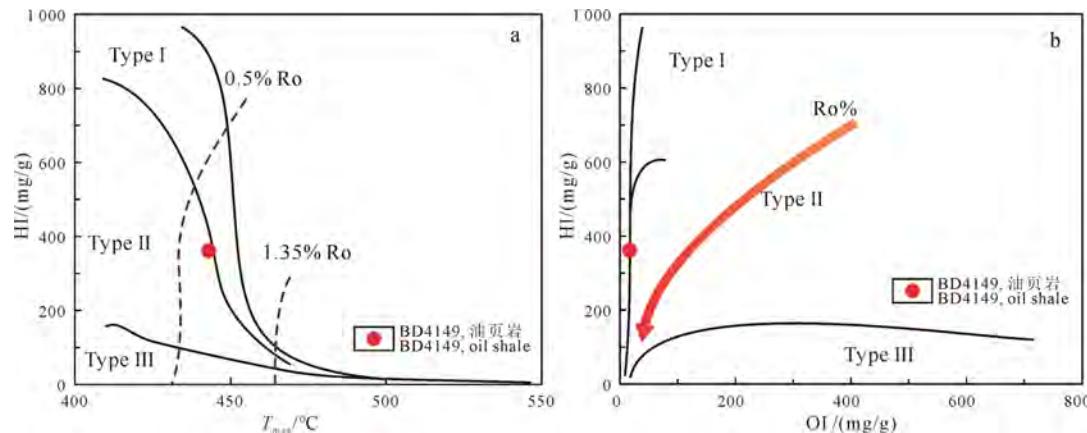
图 1 研究区位置与样品分布(据吴珍汉等, 2022)

Fig. 1 Study area location and sample distribution (from WU et al., 2022)

表 1 羌塘盆地布曲组潜在烃源岩地化特征

Table 1 Geochemical characteristics of potential source rocks in the Buqu Formation, Qiangtang Basin

采样位置	样品编号	层位	岩性	TOC /%	S ₁	S ₂	S ₃	HI	OI	T _{max} /°C
露头	BD4149	J _{2b}	油页岩	5.78	0.62	20.87	1.01	361.07	17.47	443

图 2 羌塘盆地布曲组潜在烃源岩 S₂-TOC(a)和 HI-TOC 关系图(b)Fig. 2 Correlation of S₂-TOC (a) and HI-TOC (b) of potential source rocks in Buqu Formation, Qiangtang Basin图 3 羌塘盆地布曲组潜在烃源岩 HI-T_{max}(a)和 HI-OI(b)关系图Fig. 3 Correlation of HI-T_{max} (a) and HI-OI (b) of potential source rocks in Buqu Formation, Qiangtang Basin

4 研究区样品地球化学特征

4.1 链烷烃组成特征

正构烷烃广泛来源于菌藻类低等生物和高等植物等有机质，为油气烃类的主要组成部分(史忠生等, 2023)。其携带地化信息不仅能反映母源输入的差异，而且还可以指示沉积环境特征。TIC 显示，研究区样品正构烷烃系列分布较为完整，整体呈现出单峰型(图 4a, b, f)和双峰型(图 4c, d, e)两种特征。通常情况下，认为单峰型分布指示母质来源主要为低等水生生物贡献；而双峰型分布指示母质来源为低等水生生物和高等植物混合贡献。正构烷烃系列不具有明显的奇偶优势，CPI、OEP 值均在 1 左右，指示样品均达到成熟阶段(表 2)。此外，正构烷烃系列存在明显的“UCM (Unresolved Complex Mixture, 未解析的复杂混合物)”鼓包(图 4)，指示了样品可能遭受了较强程度的生物降解

作用(Peters et al., 2005)。

姥鲛烷和植烷的比值(Pr/Ph)在有机地化研究中通常被用来判识有机质沉积古环境的氧化还原程度(Peters et al., 1993)。研究区样品的 Pr/Ph 值范围在 0.19~1.66，多数样品 Pr/Ph 值小于 1.0，指示还原性古环境的特征。个别样品比值大于 1.0，指示古沉积环境氧化还原的反复，这可能与区域性地层抬升、剥蚀有关(吴珍汉等, 2022)。

4.2 蒽类化合物分布与组成特征

三环萜类化合物是一类重要的生物标志化合物，它在不同性质原油中分布和组成特征以及浓度变化存在显著差异(Peters, 2000)。三环萜类主要由微生物细胞膜中三环类异戊二烯醇形成，可能与某些菌藻类有一定的成因联系(Philp et al., 1986)。在研究区样品 *m/z* 191 质量色谱图中(图 5)，三环萜类主要呈 C₂₃ 为主峰的正态分布，表征该地区样品可能来源于海相烃源岩。

表 2 胜利河烃源岩及油气显示样品生标参数表
Table 2 Parameters of biomarkers in Shenglihe area

采样位置	样品编号	深度/m	层位	岩性	特征描述	CPI	OEP	$(nC_{21}+nC_{22})/(nC_{28}+nC_{29})$	Pr/Ph	Ts/(Ts+Tm)	$C_{29}Ts/(C_{29}Ts+C_{29}H)$
露头	BD4149	-	J ₂ b	油页岩		0.97	0.98	2.17	0.54	0.67	0.46
露头	BD4144	-	J ₂ b	白云岩化生屑灰岩	油浸	0.97	0.95	2.26	0.61	0.56	0.35
露头	BD4145	-	J ₂ b	白云岩化生屑灰岩	油浸	0.98	0.98	1.01	0.46	0.62	0.39
露头	BD4146	-	J ₂ b	白云岩化生屑灰岩	油浸	1.00	1.06	0.93	0.43	0.64	0.45
露头	BD4801	-	J ₂ b	泥页岩	油浸	0.97	0.93	0.21	1.66	0.45	0.26
露头	BD4802	-	J ₂ b	生物碎屑灰岩	油浸	1.20	1.11	0.61	0.19	0.43	0.3
露头	BD4142	-	J ₂ b	白云质灰岩	油浸	1.13	1.07	0.62	0.82	0.12	0.08
露头	BD4902	-	J _{1q}	白云岩化生屑灰岩	油浸	1.19	1.11	0.38	0.38	0.41	0.28
露头	BD4903	-	P ₂	白云岩	油浸	0.97	0.86	1.41	0.38	0.37	0.26
岩心	BD41410	500	J ₂ b	白云岩	油浸	0.97	0.95	2.18	0.69	0.68	0.40

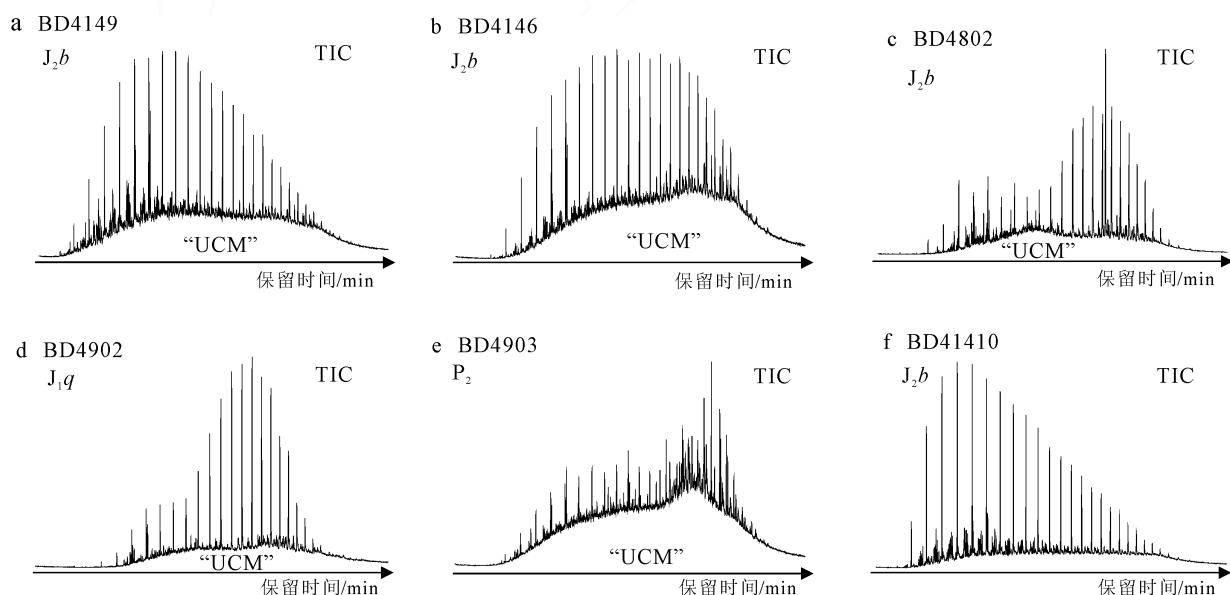


图 4 胜利河油气显示代表性样品饱和烃气相色谱图
Fig. 4 Gas chromatography of saturated hydrocarbon of oil and gas displayed in Shenglihe area

五环三萜化合物系列常用于成熟度、沉积环境的研究(李继东等, 2019)。研究区样品均以 C₃₀ 蒽烷为主峰, 且含有一定丰度的升蒽烷系列。Ts/(Ts+Tm)比值范围在 0.12~0.68 之间, 指示样品均达到成熟阶段。

研究区样品检测出不同丰度的 25-降蒽烷系列化合物(图 6), 通常认为 25-降蒽烷系列化合物的检出指示原油遭受较为强烈的生物降解(Rullkötter et al., 1982)。根据在 Peters et al.(1993)建立的生物降解尺度指示, 当原油中检测出 25-降蒽烷系列化合物时, 原油遭受生物降解程度至少为 6 级。根据生物降解先后次序指示, 此时原油正构烷烃应被消耗殆尽。而 TIC 在原油样品中检测出较为完整的正构烷烃, 这指示研究区至少存在两期以上的原油充注, 即, 早期生物降解原油与晚期充注原油的混合作用。

4.3 留烷类化合物分布特征

留烷类化合物广泛分布于烃源岩、煤的抽提物和原油中, 其分子结构稳定, 不易受环境变化影响而保留原始生物碳骨架。现今阶段, 留烷类化合物已被广泛应用于成熟度评价、沉积环境识别和油源对比等研究中(苏鹏等, 2023)。研究区原油规则留烷分布特征具有一定差异, 如 BD4144 样品以 C₂₉ 规则留烷为优势组分, $\alpha\alpha\alpha$ -20RC₂₇-C₂₈-C₂₉ 留烷内组成指纹基本呈“L”型分布(图 7), 指示其母源有机质可能来源于低等水生生物的贡献(Huang et al., 1979); 样品 BD4142 中 $\alpha\alpha\alpha$ -20RC₂₇-C₂₈-C₂₉ 留烷指纹组成呈“V”型分布, 反映了有机质来源为低等水生生物与高等植物双重来源的混合贡献; 而样品 BD4902 规则留烷呈现出以 C₂₉ 为优势峰, 指示了母质来源

主要以高等植物输入为主(Hao et al., 2011)。根据 $C_{29}\text{-}20\text{S}/(20\text{S}+20\text{R})$ 、 $C_{29}\text{-}\alpha\beta\beta/(\alpha\beta\beta+\alpha\alpha\alpha)$ 比值交汇图(图 8), 我们可以看出样品均已达到成熟阶段(Mackenzie et al., 1984), 这与正构烷烃及萜类化合物判别的结果一致。

5 油源对比

5.1 生物标志物指纹特征

油源对比是利用油气和生烃母质在化学组成上的相似性, 研究油气和烃源岩之间的亲缘关系(Peters et al., 2005)。利用 J_{2b} 组油页岩(BD4149)、岩心及野外露头油气显示的饱和烃气相色谱图、

m/z 191 质量色谱图以及 m/z 217 质量色谱图特征进行对比分析, 初步进行油源对比工作(图 9)。

如图 9a 所示, J_{2b} 组油页岩(BD4149)饱和烃气相色谱图(TIC)为“单峰型-前峰态”展布, 指示了低等水生生物为主的母质来源。 m/z 191 质量色谱图指纹特征主要体现在具有丰度较高的三环萜烷系列, 且分布均以 C_{23} 三环萜烷占优势的正态分布, 这指示均为海相沉积环境。 J_{2b} 组油页岩具有较高的伽马蜡烷, 反映了其沉积古环境的水体盐度较高。这同 C_{35} 升藿烷具有“翘尾”现象反映出的结果相一致。规则甾烷展布呈以 C_{27} 规则甾烷为优势峰的“L”型分布, 这同样指示其母质来源是以低等水生生物为主。

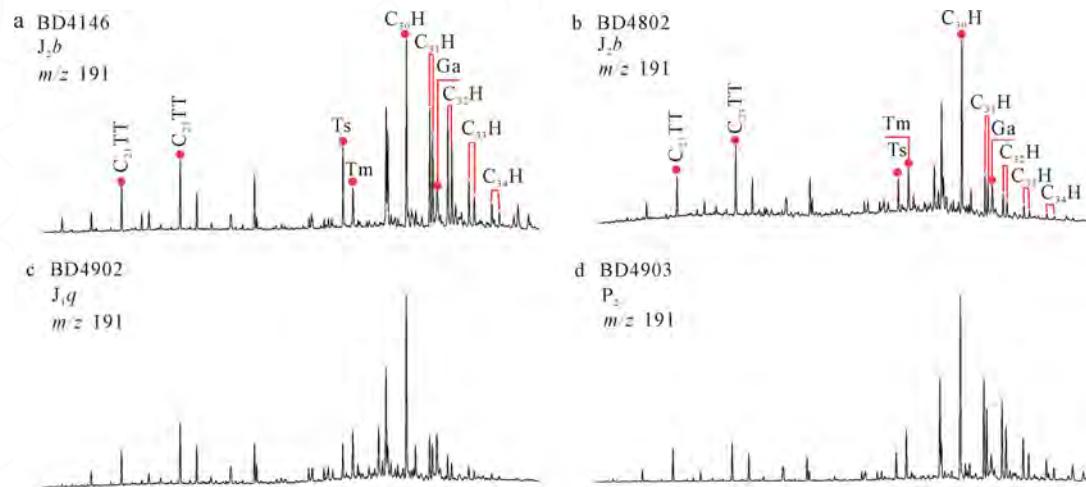


图 5 胜利河油气显示代表性样品质量色谱图(m/z 191)

Fig. 5 Gas chromatography-mass spectrum of oil and gas displayed in Shenglihe area (m/z 191)

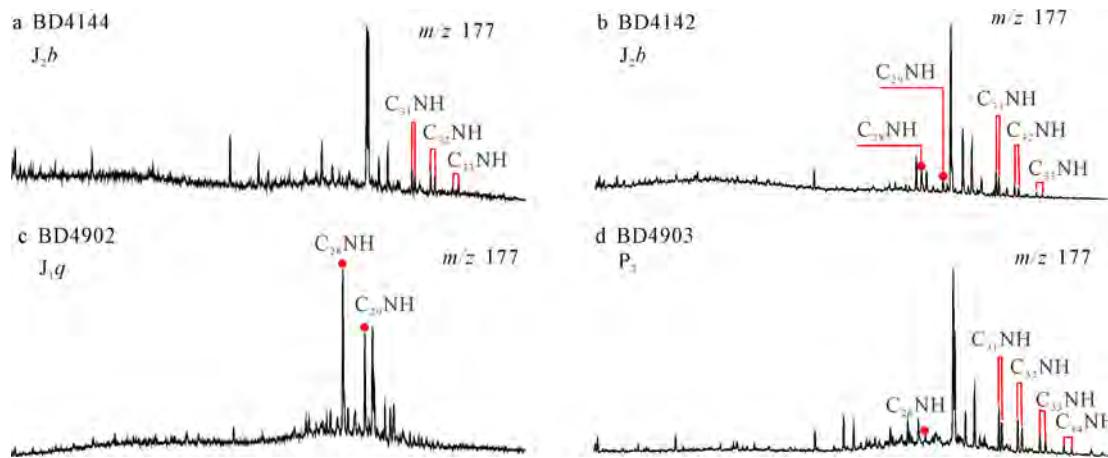


图 6 胜利河油气显示代表性样品质量色谱图(m/z 177)(NH: 25-降藿烷系列)

Fig. 6 Gas chromatography-mass spectrum of oil and gas displayed in Shenglihe area (m/z 177) (NH: 25-norhopanes)

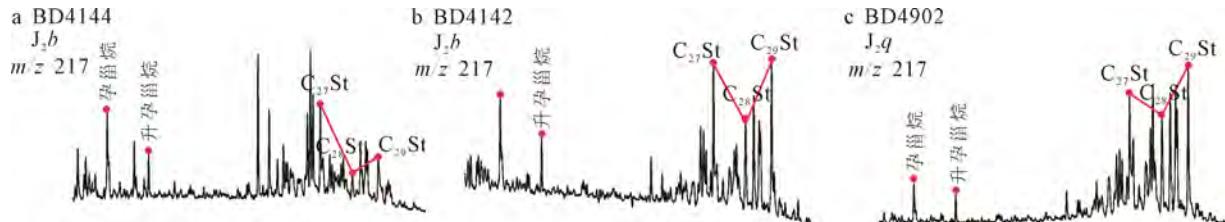


图 7 胜利河油气显示代表性样品质量色谱图(m/z 217)

Fig. 7 Gas chromatography-mass spectrum of oil and gas displayed in Shenglihe area (m/z 217)

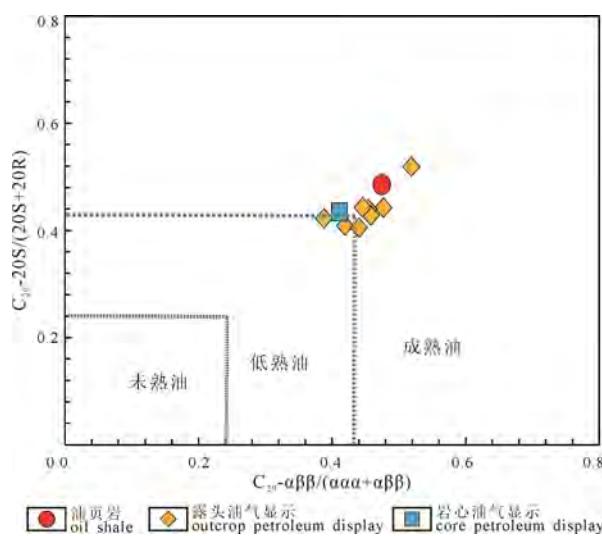
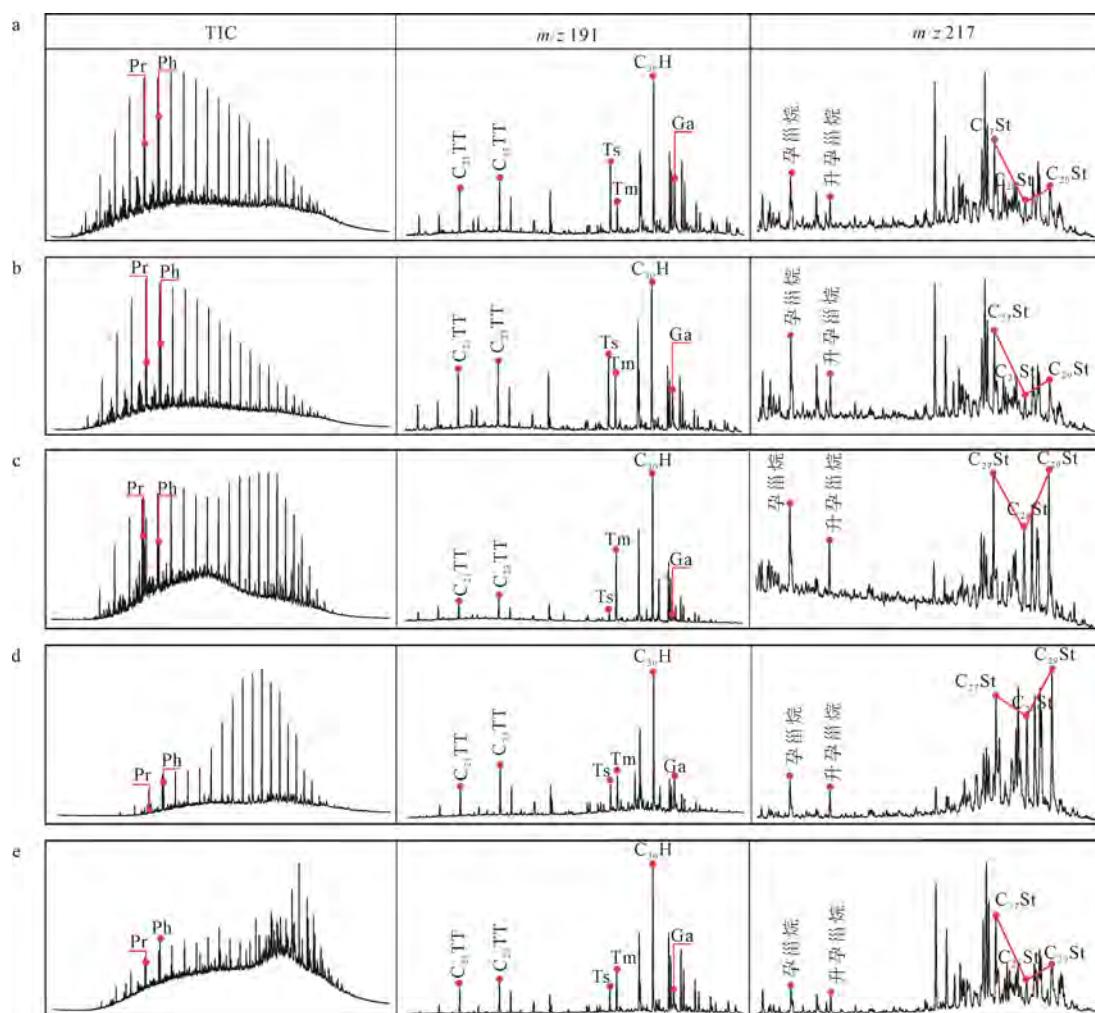


图 8 胜利河烃源岩及油气显示样品甾烷成熟度相关参数

Fig. 8 Parameters related to sterane maturity of source rock and oil and gas displayed in Shenglihe area

根据油气显示的饱和烃气相色谱图、 m/z 191质量色谱图以及 m/z 217 质量色谱图展布特征,可以初步将其划分为 4 类原油,即 A 类油、B 类油、C 类油和 D 类油。A 类油: 饱和烃气相色谱图呈“单峰型-前峰态”展布,规则甾烷展布呈以 C_{27} 规则甾烷为优势峰的“L”型分布,指示其母质来源是以低等水生生物为主(图 9b)。B 类油: 饱和烃气相色谱图呈“双峰型”展布,规则甾烷展布呈以 C_{27} 和 C_{29} 规则甾烷双优势峰的“V”型分布,指示其母质来源为低等水生生物与高等植物的混合来源贡献(图 9c)。C 类油: 饱和烃气相色谱图呈“单峰型-后峰态”展布,规则甾烷展布呈以 C_{29} 规则甾烷为优势峰的反“L”型分布,指示其母质来源为高等植物的来源(图 9d)。D 类油: 正构烷烃被严重生物降解,规则甾烷展布呈以 C_{27} 规则甾烷为优势峰的“L”型分布,指示其母质来源是以低等水生生物为主(图 9e)。



a—BD4149, J_2b , 烃源岩; b—BD4144, J_2b , 露头油气显示; c—BD4142, J_2b , 露头油气显示;

d—BD4902, J_2q , 露头油气显示; e—BD4903, P_2 , 露头油气显示。

a—BD4149, J_2b , source rocks ; b—BD4144, J_2b , outcrop petroleum display; c—BD4142, J_2b , outcrop petroleum display; d—BD4902, J_2q , outcrop petroleum display; e—BD4903, P_2 , outcrop petroleum show.

图 9 胜利河烃源岩及油气显示代表性样品饱和烃气相色谱-质谱特征

Fig. 9 Gas chromatography-mass spectrum of saturated hydrocarbon of source rock and oil and gas displayed in Shenglihe area

根据生物标志物指纹特征分析,发现A类油与烃源岩样品具有很好的可对比性,可能来自该套烃源岩,而B、C、D类油都与烃源岩展示出不同的特征,可能来自于其他潜在烃源岩的贡献。

5.2 生物标志化合物参数特征

本研究把母源参数、沉积环境、成熟度参数等多种信息相结合来进行油源对比。根据 $\text{Pr}/n\text{C}_{17}$ 与 $\text{Ph}/n\text{C}_{18}$ 关系对比图(图10)可得出:研究区样品大部分样品点落点区域较为分散,可能与不同成熟度与

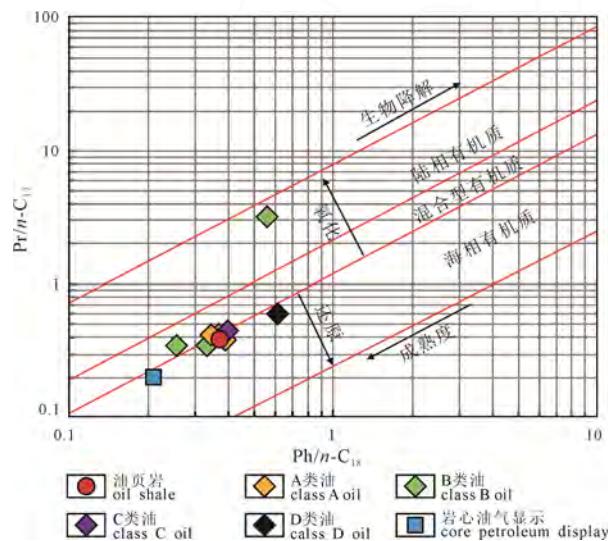
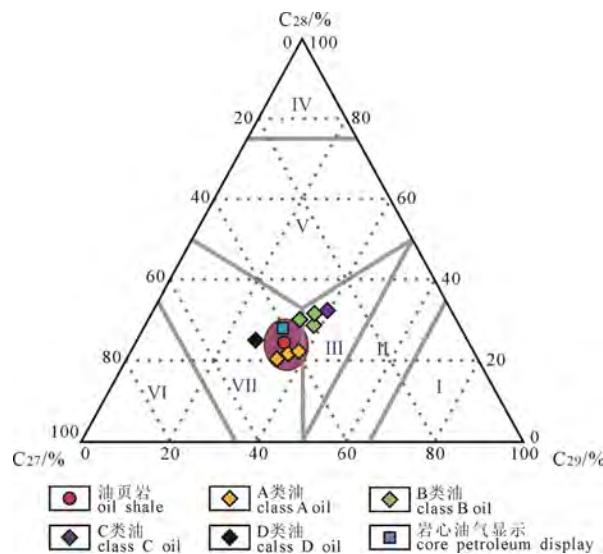


图 10 胜利河油气烃源岩及油气显示代表性样品
有机质来源判别图

Fig. 10 Discrimination of source rock and oil and gas displaying organic matter source in Shenglihe area



I—陆生植物; II—陆生植物为主; III—混合来源; IV—藻类;
V—藻类为主; VI—浮游植物; VII—浮游植物为主。

I—terrestrial plants; II—mainly terrestrial plants; III—mixed source;
IV—algae; V—mainly algae; VI—phytoplankton;
VII—mainly phytoplankton.

图 11 胜利河烃源岩及油气显示代表性样品

$\text{C}_{27}\text{-}\text{C}_{28}\text{-}\text{C}_{29}\text{-aaa (R)}$ 甾烷分布三角图

Fig. 11 $\text{C}_{27}\text{-}\text{C}_{28}\text{-}\text{C}_{29}\text{-aaa (R)}$ correlation diagram of source rock and oil and gas display in Shenglihe area

遭受的生物降解强弱有关,但大多数样品都落在海相与混合型有机质区域中,个别样品点坐落在陆相有机质为主的区域中,这可能与沉积环境的氧化还原的反复相关(Yin et al., 2020)。其中A类油砂与烃源岩样品的匹配度最好。

利用 $\text{C}_{27}\text{-}\text{C}_{28}\text{-}\text{C}_{29}$ 规则甾烷三角图可以看出烃源岩、A类油、D类油及岩心样品的油气显示样品点均处在VII区域(浮游植物为主),而大部分C类油砂与D类油砂落在III区域(混合来源),反映了不同类型油砂有着不同的母质来源(Cheng et al., 2019),为不同层位或者类型烃源岩的贡献,其中A类油主要来源于 J_{2b} 的烃源岩(图11)。

$\text{Ts}/(\text{Ts}+\text{Tm})$ 和 $\text{C}_{29}\text{Ts}/(\text{C}_{29}\text{Ts}+\text{C}_{29}\text{H})$ 作为地球化学研究中较为可靠的成熟度评价指标,其受沉积环境和次生作用的影响较少。由图12可以看出,A类油 J_{2b} 的岩心油气显示样品与烃源岩具有相似的

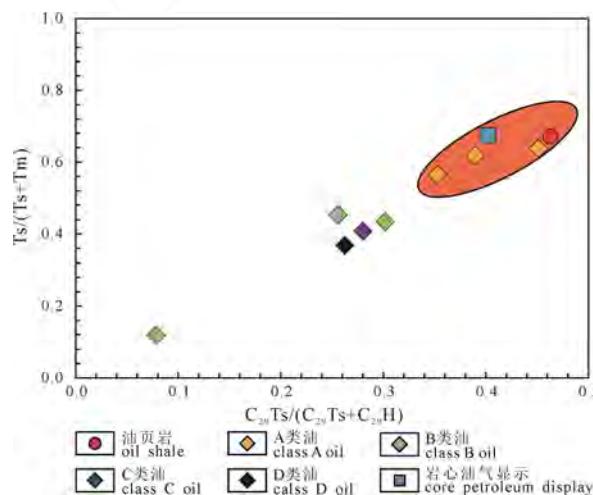


图 12 胜利河烃源岩及油气显示代表性样品
成熟度判识图

Fig. 12 Discrimination of source rock and oil and gas display maturity in Shenglihe area

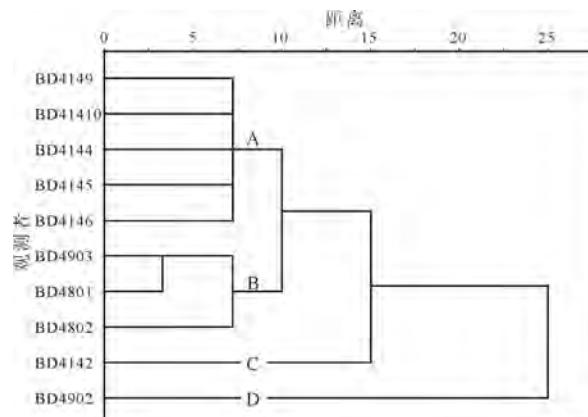


图 13 胜利河地区烃源岩和油气显示样品应用统计类
平均聚类分析图

Fig. 13 Application of statistical class average cluster analysis for source rock and oil and gas displayed in Shenglihe area

成熟度, 这指示 A 类油主要来自于 J_{2b} 烃源岩的贡献, 而其他类型油没有或者很少有该套烃源岩的贡献(图 12)。

综合考虑研究区样品地球化学特征, 选取表征沉积环境的 Pr/Ph 、 Pr/nC_{17} 和 Ph/nC_{18} , 有机质来源的 C_{27} 和 C_{29} 规则甾烷的相对百分含量, 以及成熟度、指标 Ts/Tm 、 $C_{29}Ts/(C_{29}Ts+C_{29}H)$ 、 $C_{29}20S/(20S+20R)$ 、 $C_{29}\alpha\beta\beta/(\alpha\beta\beta+\alpha\alpha\alpha)$ 等生标参数进行应用统计聚类分析。其中每类之间的距离与样品的亲缘度成反比, 分析结果指示本次研究原油主要划为 4 类(图 13), 其中 A 类油主要来自于 J_{2b} 烃源岩的贡献, 而其 B 类、C 类和 D 类油没有或者很少来自该套烃源岩的贡献。

6 结论

(1)通过 TOC 分析和岩石热解分析表明, 胜利河地区中侏罗统布曲组(J_{2b})中部的油页岩有机质类型主要 II 型, 有机碳含量高, 具有较高的生烃潜力, 为一套优质生油烃源岩。

(2)研究区样品正构烷烃分布完整, 均具有明显的“UCM”鼓包, 结合 25-降藿烷系列化合物的检出, 指示样品均遭受了一定程度的生物降解作用, 至少经历了两次原油充注。 CPI 、 OEP 值及甾烷异构化参数指示样品均已达到成熟阶段。类异戊二烯及三环萜烷参数表明样品沉积于还原性的海相沉积环境。样品规则甾烷的具有多种分布形态, 反映了不同的有机质来源。

(3)根据不同生物标志化合物谱图特征以及各类型生标参数综合分析, 将研究区原油划分为 A、B、C、D 共 4 类, 不同类型油样间地球化学特征差异明显。其中 A 类油主要来自于 J_{2b} 烃源岩的贡献, 而其 B 类、C 类和 D 类油没有或者很少来自该套烃源岩的贡献。

Acknowledgements:

This study was supported by China Geological Survey (No. DD20230315), Central Public-interest Scientific Institution Basal Research Fund (No. JKY202209), and National Natural Science Foundation of China (No. 41602122).

参考文献:

- 季长军, 2015. 南羌塘坳陷油藏带生物标志化合物特征及油源对比研究[D]. 成都: 成都理工大学.
- 李继东, 徐田武, 唐友军, 等, 2019. 东濮凹陷马厂地区原油地球化学特征与油源对比[J]. 断块油气田, 26(4): 426-428, 479.
- 史忠生, 程顶胜, 白洁, 等, 2023. 非洲 Melut 盆地北部不同地

区原油有机地球化学特征及意义[J]. 地质学报, 97(5): 1598-1609.

苏鹏, 胡守志, 李水福, 等, 2023. 走滑断裂对原油性质的控制作用: 以鄂尔多斯盆地南部泾河油田为例[J]. 地球科学, 48(6): 2310-2323.

王剑, 付修根, 陈文西, 等, 2007. 藏北羌塘盆地晚三叠世古风化壳地质地球化学特征及其意义[J]. 沉积学报, 25(4): 487-494.

吴珍汉, 姚建明, 季长军, 等, 2022. 羌塘北部胜利河地区液态原油及生烃史分析[J]. 地质学报, 96(11): 3698-3704.

杨桂芳, 藤玉洪, 卓胜广, 等, 2003. 藏北羌塘盆地双湖地区油气成藏条件[J]. 地质通报, 22(4): 285-289.

杨易卓, 黄志龙, 赵珍, 等, 2022. 羌塘盆地毕洛错地区古油藏地球化学特征与油源对比[J]. 地球科学, 47(5): 1834-1848.

于珺, 李娜, 胡春桥, 等, 2023. 南羌塘坳陷古油藏原油生物降解作用及意义[J]. 地球学报, 44(6): 1053-1061.

References:

- CHEN Zhonghong, CHAI Zhi, CAO Yingchang, et al., 2019. Suppression of thermal maturity indicators in lacustrine source rocks: A case study of Dongying Depression, eastern China[J]. Marine and Petroleum Geology, 109: 108-127.
- CHENG Qingsong, HUANG Guanghui, ZHANG Min, et al., 2019. Distribution and source significance of 2-methylalkanes in coal-measure source rocks, northwest China[J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 174: 257-267.
- DEMBICKI J H, 2009. Three common source rock evaluation errors made by geologists during prospect or play appraisals[J]. AAPG Bulletin, 93(3): 341-356.
- HAO Fang, ZHOU Xinhui, ZHU Yangming, et al., 2011. Lacustrine source rock deposition in response to co-evolution of environments and organisms controlled by tectonic subsidence and climate, Bohai Bay Basin, China[J]. Organic Geochemistry, 42(4): 323-339.
- HUANG Wenyan, MEINSCHEN W G, 1979. Sterols as ecological indicators[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 43(5): 739-745.
- JI Changjun, 2015. Biomarker characteristics and Oil-source Correlation Research of the Reservoirs in Southern Qiangtang Depression[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology(in Chinese with English abstract).
- LANGFORD F F, BLANC-VALLERON M M, 1990. Interpreting rock-eval pyrolysis data using graphs of pyrolyzable hydrocarbons vs. total organic carbon[J]. AAPG Bulletin, 74(6): 799-804.
- LI Jidong, XU Tianwu, TANG Youjun, et al., 2019. Geochemical characteristics and source correlation of crude oil in Machang area, Dongpu Depression[J]. Fault-Block Oil & Gas

- Field, 26(4): 426-428, 479(in Chinese with English abstract).
- MACKENZIE A S, BEAUMONT C, MCKENZIE D P, 1984. Estimation of the kinetics of geochemical reactions with geochemical models of sedimentary basins and applications[J]. *Organic Geochemistry*, 6: 875-884.
- PETERS K E, 2000. Petroleum tricyclic terpanes: predicted physicochemical behavior from molecular mechanics calculations[J]. *Organic Geochemistry*, 31(6): 497-507.
- PETERS K E, MOLDOWAN J M, 1993. The biomarker guide: Interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments[M]. New Jersey: Prentice Hall, Inc.
- PETERS K E, WALTERS C C, MOLDOWAN J M, 2005. The Biomarker Guide[M]. Cambridge: Cambridge University Press.
- PHILP R P, GILBERT T D, 1986. Biomarker distributions in Australian oils predominantly derived from terrigenous source material[J]. *Organic Geochemistry*, 10(1-3): 73-84.
- RULLKÖTTER J, WENDISCH D, 1982. Microbial alteration of 17α (H)-hopanes in Madagascar asphalts: removal of C-10 methyl group and ring opening[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 46(9): 1545-1553.
- RUPPERT L F, HOWER J C, RYDER R T, et al., 2010. Geologic controls on thermal maturity patterns in Pennsylvanian coal-bearing rocks in the Appalachian basin[J]. *International Journal of Coal Geology*, 81(3): 169-181.
- SHEN Anjiang, FU Xiaodong, ZHANG Jianyang, et al., 2023. Characteristics and discovery significance of the Upper Triassic-Lower Jurassic marine shale oil in Qiangtang Basin, NW China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 50(5): 962-974(in Chinese with English abstract).
- SHI Zhongsheng, CHENG Dingsheng, BAI Jie, et al., 2023. Organic geochemical characteristics and significance of crude oils in different areas in the northern Melut basin, Africa[J]. *Acta Geologica Sinica*, 97(5): 1598-1609(in Chinese with English abstract).
- SU Peng, HU Shouzhi, LI Shuifu, et al., 2023. Control of Strike-Slip Faults on Crude Oil Properties: Exemplified by Jinghe Oilfield in South Ordos Basin[J]. *Earth Science*, 48(6): 2310-2323(in Chinese with English abstract).
- WANG Jian, FU Xiugen, CHEN Wenxi, et al., 2007. The Late Triassic Paleo-weathering Crust in the Qiangtang Basin, Northern Tibet: geology, geochemistry and significance[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 25(4): 487-494(in Chinese with English abstract).
- WU Zhenhan, YAO Jianming, JI Changjun, et al., 2022. Crude oil and formation history of hydrocarbon in the Shengli area, northern Qiangtang basin[J]. *Acta Geologica Sinica*, 96(11): 3698-3704(in Chinese with English abstract).
- YANG Guifang, TENG Yuhong, ZHUO Shengguang, et al., 2003. Conditions for the formation of petroleum accumulations in the Shuanghu area, Qiangtang basin, northern Tibet[J]. *Geological Bulletin of China*, 22(4): 285-289(in Chinese with English abstract).
- YANG Yizhuo, HUANG Zhilong, ZHAO Zhen, et al., 2022. Geochemical Characteristics and Oil Source Correlation of Paleo-Reservoirs in Biluocuo Area, Qiangtang Basin[J]. *Earth Science*, 47(5): 1834-1848(in Chinese with English abstract).
- YIN Jie, XU Changgui, HAO Fang, et al., 2020. Controls on organic matter enrichment in source rocks of the Shahejie Formation in the southwestern Bohai Bay Basin, China[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 560: 110026.
- YU Jun, LI Na, HU Chunjiao, et al., 2023. Biodegradation of Crude Oil in Paleo-oil Reservoirs in South Qiangtang Basin and Its Significance[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 44(6): 1053-1061(in Chinese with English abstract).