

DOI: 10.12401/j.nwg.2023053

银额盆地吉格达凹陷原油地球化学特征及其意义

魏建设^{1,2}, 赵琳雁³, 周俊林^{1,2}, 张宇轩^{1,2}, 王利伟⁴, 姜亭^{1,2}, 王宝文^{1,2}

(1. 中国地质调查局西安地质调查中心 / 西北地质科技创新中心, 陕西 西安 710119; 2. 中国地质调查局北方古生界油气地质重点实验室, 陕西 西安 710119; 3. 西安石油大学地球科学与工程学院 / 陕西省油气成藏地质重点实验室, 陕西 西安 710065; 4. 中国冶金地质总局西北地质勘查院, 陕西 西安 710119)

摘要: 银额盆地石炭系—二叠系油源存在争议, 在一定程度上制约了该区的油气勘探进程。通过对居延海坳陷吉格达凹陷蒙额参 3 井原油物理性质、地球化学特征的研究, 以期明确原油的成因及来源, 为油气勘探提供依据。研究表明, 蒙额参 3 井华力西期侵入岩和二叠系白云质砂岩中的原油物理性质基本一致, 为低密度低硫中质正常原油, 原油族组成具有高饱和烃、低非烃和沥青质以及高饱芳比的特征, 且下部原油饱芳比远高于上部原油。吉格达凹陷华力西期侵入岩与二叠系砂岩原油饱和烃气相色谱特征、C 同位素及生物标志化合物特征共性与差异同在, 指示生烃母质均来源于盐度较高的海相还原环境, 以浮游植物为主; 二叠系原油陆生高等植物的贡献较大。油源对比表明, 蒙额参 3 井华力西期侵入岩和二叠系砂岩原油均与白垩系巴音戈壁组烃源岩生物标志化合物特征差异明显, 与石炭系—二叠系烃源岩具有良好的亲缘关系。其中, 二叠系原油与二叠系烃源岩具有较好亲缘关系, 华力西期侵入岩原油与干泉组上段烃源岩关系更密切。石炭系—二叠系油源的发现拓展了银额盆地油气勘探新层系, 对北方古生界油气勘探具有很好的指导作用。

关键词: 原油; 生物标志化合物; 地球化学; 原油成因; 油源对比; 吉格达凹陷; 银额盆地

中图分类号: P618.13; P595

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2023)05-0332-11

Geochemical Characteristics of Crude Oil in Jigeda Sag of Yingen–Ejin Basin and Its Significances

WEI Jianshe^{1,2}, ZHAO Linyan³, ZHOU Junlin^{1,2}, ZHANG Yuxuan^{1,2}, WANG Liwei⁴, JIANG Ting^{1,2}, WANG Baowen^{1,2}

(1. Xi'an Center of China Geological Survey / Northwest China Center of Geoscience Innovation, Xi'an 710119, Shaanxi, China; 2. Key Laboratory of Paleozoic Oil and Gas Geology in North China, China Geological Survey, Xi'an 710119, Shaanxi, China; 3. School of Earth Science and Engineering, Xi'an Shiyou University / Shaanxi Key Laboratory of Petroleum Accumulation Geology, Xi'an 710065, Shaanxi, China; 4. Northwest Geological Expoloration Institute, China Metallurgical Geology Bureau, Xi'an 710119, Shaanxi, China)

Abstract: There is a dispute on the oil-source of Carboniferous and Permian system in Yingen–Ejin basin, which restricts the process of oil and gas exploration in this area to a certain extent. In order to clarify the oil origin and source and provide basis for oil & gas exploration in this area, research of the basic physical properties and geochemical characteristics of the crude oil from well Mengecan 3 in Jigeda Sag of Juyanhai depression was

收稿日期: 2022-12-02; 修回日期: 2023-03-28; 责任编辑: 曹佰迪

基金项目: 地质矿产资源及环境调查专项“氦气资源调查评价与示范”(DD20230026)、“汾渭盆地氦气资源勘查示范”(DD20230268)、“全国氦气资源潜力评价”(DD20221665)、“西北含油气盆地油气战略性矿产调查评价”(DD20230314)和国家重点研发计划“富氮天然气成藏机制及氮资源分布预测技术——复杂地质介质中氮气运聚及富氮气藏封盖机制研究”(2021YFA0719003)联合资助。

作者简介: 魏建设(1981–), 男, 正高级工程师, 主要从事油气及非常规能源地质调查工作。E-mail: upcwjs@126.com。

conducted. The results show that the physical properties of the crude oil in the Variscan intrusive rocks are basically the same as those in the dolomite sandstones of the Permian system for well Mengecan 3. The oil is low-density, low-sulfur and normal medium crude oil, composition of which is characterized as high saturated hydrocarbon content, low non-hydrocarbon and asphaltenes content, and high ratio of saturated to aromatic hydrocarbons, and the saturated to aromatic hydrocarbons ratio of the lower crude oil is much higher than that of the upper crude oil. The gas chromatography characteristics of saturated hydrocarbon, carbon isotope characteristics and biomarkers of the crude oil in the Variscan intrusive rocks and Permian sandstones of Jigeda Sag have both similarities and differences. As the aforementioned, the results indicate that the parent materials of hydrocarbon were derived from reducing and high paleo-salinity conditions in the marine, and phytoplankton was the main source, while the proportion of terrestrial higher plants is higher for the oil source in Permian sandstone. Oil source comparison shows that the characteristics of biomarkers of Variscan intrusive rocks and Permian sandstone crude oil in well Mengecan 3 are significantly different from those of cretaceous Bayingebi formation, and it is closely related to the Carboniferous-Permian source rocks. The crude oil from Permian sandstones show favorable correlations with the Permian source rocks, while the crude oil from Variscan intrusive rocks show more closely correlations with the source rock of upper Ganquan formation. The discovery of Carboniferous Permian oil source has expanded the new series of oil and gas exploration in Yingen-Ejin basin, and has a good guiding role in oil and gas exploration of Paleozoic in North China.

Keywords: crude oil; biomarkers; geochemistry; oil genesis; oil-source correlation; Jigeda sag; Yingen-Ejin basin

位于内蒙古自治区西部的银额盆地,是中国陆地上油气勘探程度较低的地区之一(康玉柱, 2008; 卢进才等, 2006, 2011; 余琪祥等, 2016; 陈治军等, 2018),尤其是盆地西部居延海坳陷的吉格达凹陷工作程度更低,自然资源部中国地质调查局西安地质调查中心通过二维地震测量和油气地质条件综合评价优选井位目标,实施了凹陷内首口参数井(蒙额参3井),该井在石炭系—二叠系获得了优质烃源岩和良好油气显示。通过两层地层含油气性测试,在华力西期侵入岩和二叠系白云质砂岩获得了具有工业价值的油气流,华力西期侵入岩裂缝油层获稳定油气当量为 $2.64 \text{ m}^3/\text{d}$,二叠系砂岩获稳定油气当量为 $1.66 \text{ m}^3/\text{d}$ (姜亭等, 2022)。

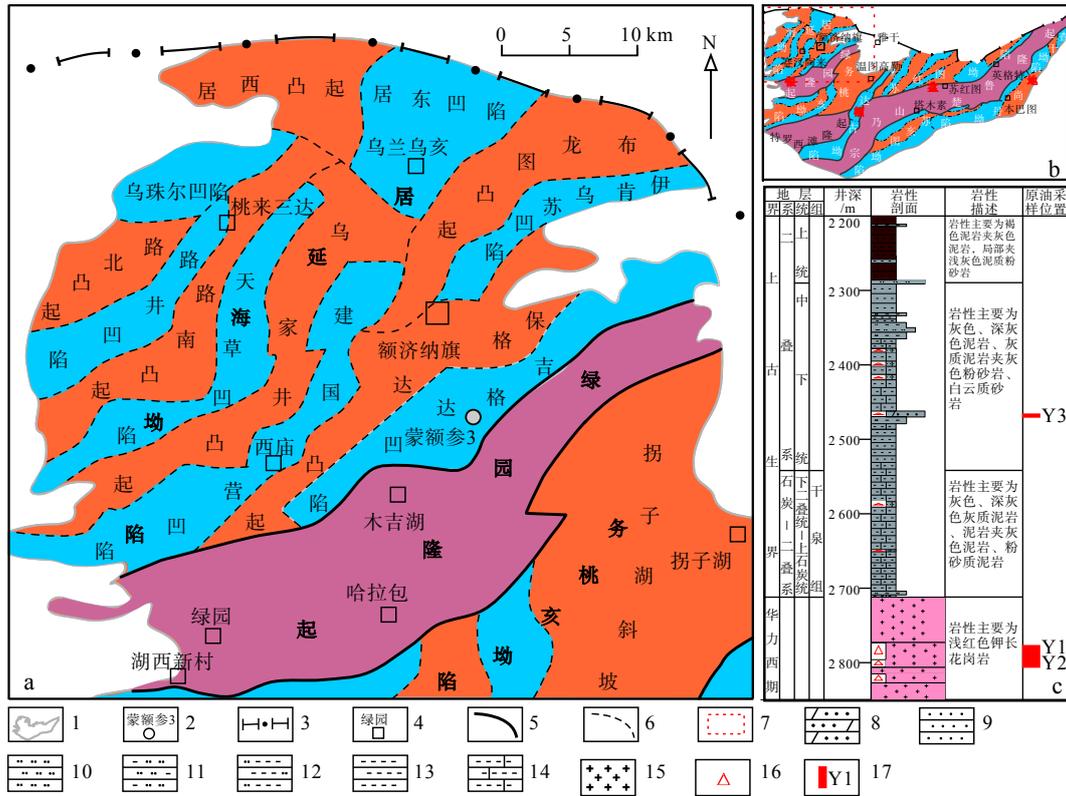
笔者通过对吉格达凹陷蒙额参3井所获原油的物理与地球化学特征、原油成因及油源对比等的综合研究,明确原油的特征与来源,进一步指明银额盆地油气地质调查和勘探方向,为油气地质条件综合评价提供支撑。

1 区域地质背景

古亚洲洋闭合(中—晚泥盆世)之后,作为中生代与古生代叠合盆地的银额盆地演化经历了海陆演化

阶段(石炭纪—二叠纪)和陆内盆山演化阶段(中生代)(任纪舜等, 1999; 卢进才等, 2011; Xiao et al., 2011, 2015; 卢进才等, 2012)。蒙额参3井位于银额盆地的西部,石炭纪—二叠纪构造单元属北山—巴丹吉林裂谷盆地黑鹰山—额济纳旗坳陷带的南部边缘带(卢进才等, 2011);中生代构造单元属居延海坳陷吉格达凹陷(图1a、图1b)。

居延海坳陷吉格达凹陷中部的蒙额参3井完钻井深为2850 m,地层自上而下为第四系全新统(Qh)、中生界下白垩统苏宏图组(K_1s)、下白垩统巴音戈壁组(K_1b)、古生界上二叠统(P_3 ,未分组)、中—下二叠统($P_{1,2}$,未分组)和下二叠统—上石炭统干泉组(C_2-P_{1g}),完钻地层为华力西期浅红色钾长花岗岩。其中,中—下二叠统厚度达253 m,为灰色、深灰色泥岩,灰质泥岩夹灰色粉砂岩;下二叠统—上石炭统干泉组厚度170 m(未穿?),为灰色、深灰色灰质泥岩、泥岩夹灰色泥岩和粉砂质泥岩。干泉组暗色泥岩有机碳含量为0.53%~4.02%,平均为1.01%,生烃潜量(S_1+S_2)为0.05~13.52 mg/g,平均为6.41 mg/g,是区内主要的烃源岩,石炭系—二叠系烃源岩可达中等—好标准(魏建设等, 2020)。原油样品Y1、Y2采于蒙额参3井华力西期花岗岩裂缝油层, Y3采于二叠系白云质砂岩(图1c)。



1.盆地边界; 2.钻井位置; 3.国界; 4.地名; 5.一级构造单元界线; 6.二级构造单元界线; 7.研究区位置; 8.白云质砂岩; 9.细砂岩; 10.粉砂岩; 11.泥质粉砂岩; 12.粉砂质泥岩; 13.泥岩; 14.灰质泥岩; 15.花岗岩; 16.含油; 17.原油采样位置及编号

图1 研究区(a)及采样位置图(b)

Fig. 1 (a) The location map of study area and (b) sampling

2 原油的物理性质

参照常用的原油分类方法与划分标准(刘文章, 1998; 张厚福等, 1999; 于连东, 2001; 魏建设等, 2019), 吉格达凹陷蒙额参3井华力西期侵入岩原油密度为

0.802 g/cm³, 略高于二叠系白云质砂岩原油(0.795 g/cm³), 下部原油粘度高于上部原油, 下部原油硫含量略低于上部(表1)。蒙额参3井华力西期侵入岩和二叠系白云质砂岩的原油物理性质存在一定的差异, 但整体基本一致, 为低密度低硫中质正常原油, 原油性质较好。

表1 蒙额参3井原油物理性质统计表

Tab. 1 Physical properties statistical table of the crude oil of Mengecan 3 well

样品编号	层位及产油岩性	密度 (g/cm ³ , 50 °C)	粘度 (mPa·s, 50 °C)	含沙 (%)	S含量 (%)	初馏点 (°C)	倾点 (°C)	含水 (%)	盐含量 (mg/kg, 以NaCl计)	含沥青 (%)	含蜡 (%)	含胶 (%)
MEC3-Y2	华力西期侵入岩	0.802	5.11	0.022	0.0128	60	20	0.28	16.61	0.13	30.87	4.33
MEC3-Y3	二叠系白云质砂岩	0.795	3.49	0.02	0.0224	55	19	0.20	6.38	0.69	35.59	5.51

3 原油地球化学特征

3.1 原油族组成特征

原始沉积环境、母质组成与类型、原油的演化程度和后期改造作用等因素对原油的族组成具有一定

的影响。有机质的性质接近时, 高成熟原油具有较高烃类和较低极性组分的特点(常俊合等, 2004; 郭艳琴等, 2006; 李洪等, 2015)。

蒙额参3井华力西期侵入岩和二叠系白云质砂岩两层原油族组成特征(表2, 图2), 指示两层原油饱和烃含量较高、非烃和沥青质较低、饱芳比较高, 且

表 2 蒙额参 3 井原油族组成统计表

Tab. 2 Group components statistical table of the crude oil of Mengecan 3 well

样品编号	井深(m)	层位及产油岩性	饱和烃 (%)	芳烃 (%)	非烃 (%)	沥青质 (%)	饱和烃/芳烃	非烃/沥青质	非烃+沥青质 (%)
MEC3-Y1-1			89.82	4.58	3.29	2.31	19.61	1.42	5.60
MEC3-Y1-2			88.69	2.60	6.65	2.06	34.11	3.23	8.71
MEC3-Y1-3	2 788~2 790	华力西期侵入岩	92.34	3.67	2.51	1.48	25.16	1.70	3.99
MEC3-Y2-1	2 800~2 802		93.05	2.64	2.08	2.23	35.25	0.93	4.31
MEC3-Y2-2			92.95	3.51	1.89	1.65	26.48	1.15	3.54
MEC3-Y2-3			91.80	4.76	2.02	1.43	19.29	1.41	3.45
MEC3-Y3-1			84.26	10.67	4.21	0.86	7.90	4.90	5.07
MEC3-Y3-2	2 474.2~2 475.2	二叠系白云质砂岩	87.32	7.95	3.53	1.20	10.98	2.94	4.73
MEC3-Y3-3			87.45	8.00	2.80	1.74	10.93	1.61	4.54
MEC3-Y3-4			88.01	7.89	3.06	1.05	11.15	2.91	4.11

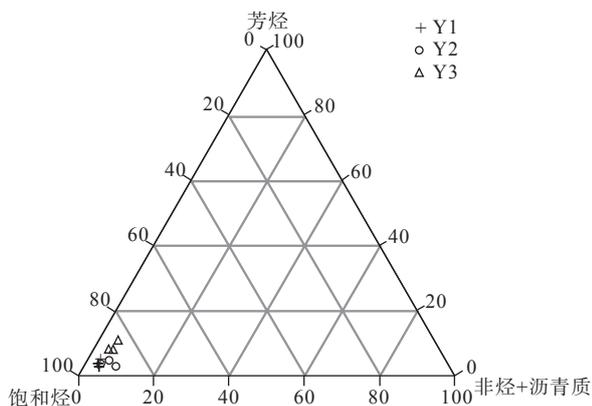


图 2 蒙额参 3 井原油族组分三角图

Fig. 2 Triangle diagram of group components of the crude oil of Mengecan 3 well

下部原油饱芳比远高于上部原油, 表明该井原油具有较好的母质来源和较高的成熟度, 且下部原油成熟度高于上部, 与地层演化规律一致。

3.2 原油碳同位素特征

研究表明, 相同来源的原因为成熟度不同而产生的稳定 C 同位素组成 $\delta^{13}C$ 差异小于 2‰~3‰ (Peters et al., 2005; 王朋等, 2015)。因此, 若相近成熟度原油的稳定 C 同位素 $\delta^{13}C$ 值相差超过 2‰~3‰ 以上, 则指示其为不同源。蒙额参 3 井原油族组成稳定 C 同位素表明, 华力西期侵入岩两件原油的全油、饱和烃、芳烃、非烃与沥青质 C 同位素大小差别不大, 相差均小于 2‰, 而上部的二叠系砂岩原油非烃碳同位素与下部侵入岩原油差别较大, 超过 2‰, 全油碳同位素相差超过 3‰ (表 3), 两层原油稳定 C 同位素对比 (图 3) 表明, 华力西期侵入岩两件原油稳定 C 同位素分布特

征基本一致, 均呈非烃“上凸型”, 而二叠系原油呈全油“上凸型”和非烃“下凹型”, 指示两层原油非同源。

表 3 蒙额参 3 井原油稳定碳同位素统计表

Tab. 3 Statistical table of stable carbon isotopes of the crude oil of Mengecan 3 well

样品编号	$\delta^{13}C$ (‰), PDB				
	全油	饱和烃	芳烃	非烃	沥青质
MEC3-Y1	-34.06	-32.3	-31.1	-29.65	-29.9
MEC3-Y2	-32.8	-32.12	-30.8	-28.57	-29.61
MEC3-Y3	-29.79	-32.44	-30.78	-30.84	-29.17

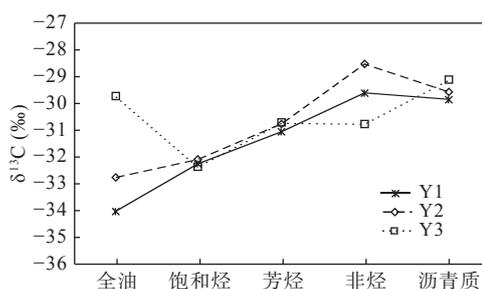


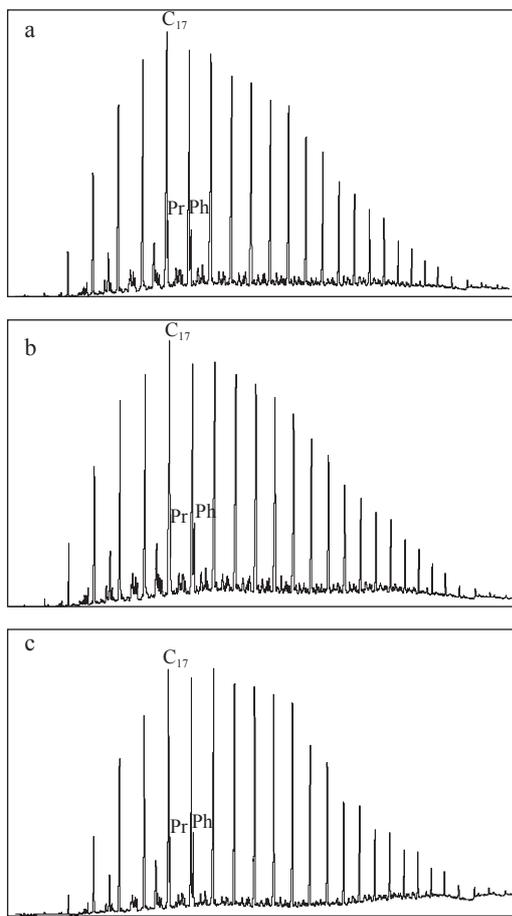
图 3 蒙额参 3 井原油及族组成稳定碳同位素对比图

Fig. 3 Contrast diagram of stable carbon isotopes of the crude oil and group components of Mengecan 3 well

3.3 原油饱和烃气相色谱分布特征

原油饱和烃气相色谱中的正构烷烃特征包含沉积环境、生源构成、热演化程度和保存条件等丰富信息 (Chen et al., 1996; 尹伟等, 2005; Hao et al., 2009; 董君妍等, 2017; 田德瑞等, 2018)。该井华力西期 2 件原油样品的饱和烃馏分 GC-MS 谱图类似 (图 4a、图 4b), 均呈单峰形, 主峰碳为 nC_{17} , OEP 值分别为 1.08 和

1.07, CPI值均为0.83, Pr值均为1.33%, Ph值分别为1.88%和1.97%, Pr/nC₁₇值均为0.14, Ph/nC₁₈值为0.21和0.22(表4);二叠系原油饱和烃馏分GC-MS谱图(图4c)显示其主峰碳亦为nC₁₇,呈双峰形(nC₁₇和nC₁₉), OEP值略高于华力西期原油,为1.12; CPI值与华力西期原油相当,为0.85; Pr和Ph值高于华力西期原油,分别为2.05%和2.94%, Pr/nC₁₇值为0.24, Ph/nC₁₈值为0.36(表5)。蒙额参3井两层3件原油OEP和CPI值均小于1.2,指示其处于成熟阶段(图5)。华力西期原油具有奇偶均势的特征,二叠系原油具有



a.Y1 原油样品; b.Y2 原油样品; c.Y3 原油样品

图4 蒙额参3井原油饱和烃气相色谱图

Fig. 4 Gas chromatograms of saturated hydrocarbons of the crude oil of Mengecan 3 well

弱的奇碳优势;3件原油Pr/Ph值均为0.5~1.0,并表现为植烷优势,反映了蒙额参3井原油烃源岩为海相还原环境(图6)。

3.4 原油生物标志化合物特征

原始沉积有机质中来自于生物体的生物标志化合物,在成岩演化过程中,正构烷烃、类异戊二烯、萜烷与甾烷等有机化合物基本保留着原始生物碳骨架(彭兴芳等,2006;卢双舫等,2008;陈建平等,2016;李谨等,2019)。主要反映萜烷、甾烷等生物标志化合物特征的饱和烃色谱质谱中,具有原油成熟度、生源等明确指示意义的生物标志化合物是萜烷和甾烷等(卢双舫等,2008;李谨等,2019)。

3.4.1 萜烷类

通常,三环萜烷含量较高是水生生物有机质的显著特征。沉积有机质中三环萜烷的分布特征一般呈现出C₂₁和C₂₃基本均势或其中一个略高(卢双舫等,2008)。蒙额参3井两层(3件样品)原油的三环萜烷分布呈现出C₁₉三环萜烷含量低的特点,其中下部(华力西期)原油C₁₉/C₂₁<1.0, C₁₉/C₂₃<1.0;上部(二叠系)原油C₁₉/C₂₁<1.0, C₁₉/C₂₃>1.0(图7)。三环萜烷分布特征(图8)指示蒙额参3井两层原油的三环萜烷C₁₉、C₂₁、C₂₃三环萜烷分布形态基本一致,呈现出以C₂₁为最高峰的“山峰型”特征,但又略有差别,下部原油呈C₂₃三环萜烷略高于C₁₉三环萜烷的不对称“山峰型”,上部原油基本呈对称“山峰型”(图8)。蒙额参3井原油三环萜烷分布的这种差异性,可能反应油源及沉积环境的不同。

伽玛蜡烷与C₃₀藿烷的比值是指示沉积时水体原始盐度的常用参数,伽玛蜡烷是C₃₀-三环萜烷的其中一种,是代表原生动物的生物标志化合物,一般来说,伽玛蜡烷含量高指示水体盐度高(Peters et al., 2005;宋来亮等,2016)。蒙额参3井华力西期侵入岩与二叠系白云质砂岩原油萜烷类生物标志化合物特征共性与差异同在,饱和烃萜烷中均以C₃₀藿烷占明显优势,C₂₉降藿烷与伽玛蜡烷次之,C₂₉Ts、C₃₀RAH、C₃₀莫烷、C₃₁升藿烷和C₃₂二升藿烷等含量相对较低,

表4 蒙额参3井原油饱和烃气相色谱数据统计表

Tab. 4 Statistical table of gas chromatograms of saturated hydrocarbons of the crude oil of Mengecan 3 well

样品编号	碳数范围	主峰碳	Pr(%)	Ph(%)	Pr/Ph	OEP	CPI	Pr/nC ₁₇	Ph/nC ₁₈
MEC3-Y1	nC ₁₁ ~nC ₃₇	nC ₁₇	1.33	1.88	0.70	1.08	0.83	0.14	0.21
MEC3-Y2	nC ₁₁ ~nC ₃₇	nC ₁₇	1.33	1.97	0.67	1.07	0.83	0.14	0.22
MEC3-Y3	nC ₁₁ ~nC ₃₇	nC ₁₇	2.05	2.94	0.70	1.12	0.85	0.24	0.36

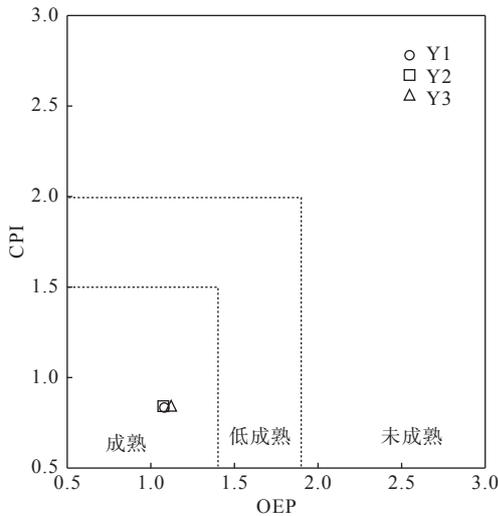


图 5 蒙额参 3 井原油 OEP 与 CPI 判断原油成熟度图
Fig. 5 Map of discrimination oil maturity by the relationship between OEP and CPI of Mengecan 3 well

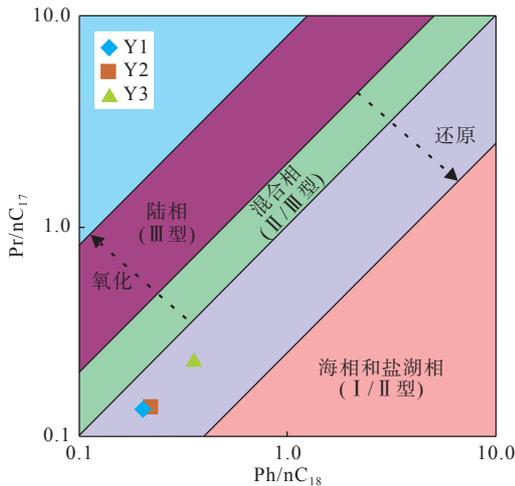


图 6 蒙额参 3 井原油 Pr/nC₁₇ 与 Ph/nC₁₈ 关系图
Fig. 6 Relationship between Pr/nC₁₇ and Ph/nC₁₈ of the crude oil of Mengecan 3 well

下部原油 Ts 稍大于 Tm, 上部原油 Ts 与 Tm 相当 (图 9)。蒙额参 3 井两层原油伽玛蜡烷含量均较高 (图 9), 指示盐度较高的原始沉积环境。

3.4.2 甾烷类

原油的甾烷特征对源岩母质来源、沉积环境

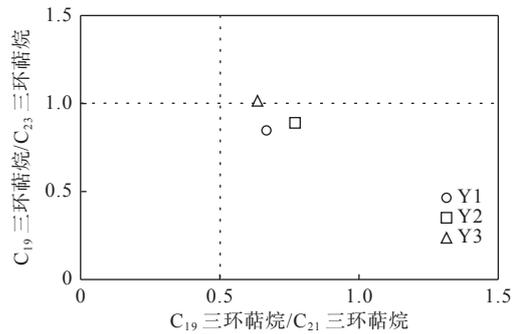


图 7 蒙额参 3 井原油三环萜烷比值关系图
Fig. 7 Ratio diagram of tricyclic terpene of the crude oil of Mengecan 3 well

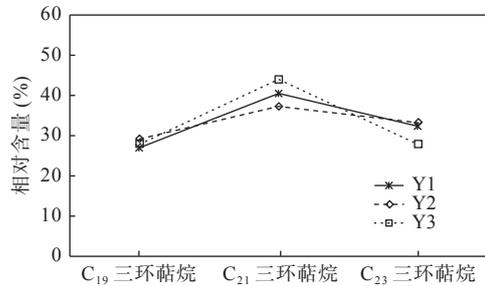


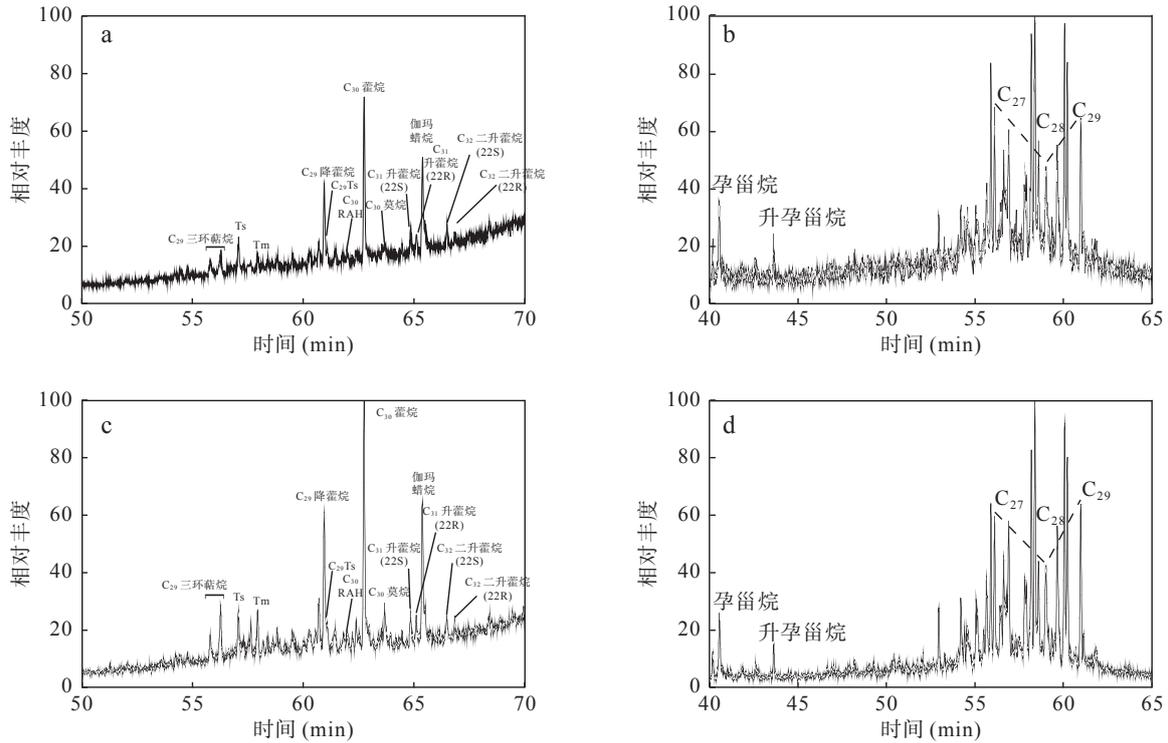
图 8 蒙额参 3 井原油三环萜烷分布折线图
Fig. 8 Line graph of tricyclic terpene distribution of the crude oil of Mengecan 3 well

和演化程度等特征具有较好的指示作用, 常用的成熟度评价指标之一是甾烷异构化参数, 其中 C₂₉ 甾烷异构化特征最为常用 (刘洛夫等, 2011; 杨尚儒等, 2018)。蒙额参 3 井下部原油 2 件样品规则甾烷分布相对一致 (表 5), 其呈现出以 C₂₇ 甾烷稍占优势的近“V”字型分布形态 (图 9), 表明有机质母源以浮游植物输入为主, 同时具有高等植物一定的贡献 (图 10); 上部原油规则甾烷与华力西期原油略有差异, 其呈以 C₂₉ 甾烷略占优势的近“V”字型分布特征 (图 9), 表明以陆生高等植物输入为主, 同时有浮游植物的贡献 (图 10)。ααα 甾烷 C₂₉S/(S+R) 与伽玛蜡烷/C₃₀ 藿烷等原油成熟度特征指示蒙额参 3 井两层原油的烃源岩演化程度均为成熟 (表 5, 图 11、图 12)。

表 5 蒙额参 3 井原油甾萜烷数据统计表

Tab. 5 Statistical table of sterane and sterane compounds of the crude oil of Mengecan 3 well

样品编号	Ts/Tm	C ₂₇ 甾烷 (%)	C ₂₈ 甾烷 (%)	C ₂₉ 甾烷 (%)	ααα甾烷 C ₂₉ S/(S+R)	C ₂₉ 甾烷 β/(αα+ββ)	藿烷 C ₃₂ S/R
MEC3-Y1	1.90	24.49	39.79	35.72	0.53	0.38	1.84
MEC3-Y2	1.40	25.74	35.30	38.96	0.54	0.39	1.92
MEC3-Y3	1.15	32.37	32.30	35.33	0.55	0.41	1.50



a、c. m/z=191 饱和烃质量色谱图；b、d. m/z=217 饱和烃质量色谱图；
a、b. 华力西期侵入岩原油；c、d. 二叠系砂岩原油

图9 蒙额参3井原油生物标志化合物特征图

Fig. 9 Characteristic map of biomarkers of crude oil from Well Mengecan 3 well

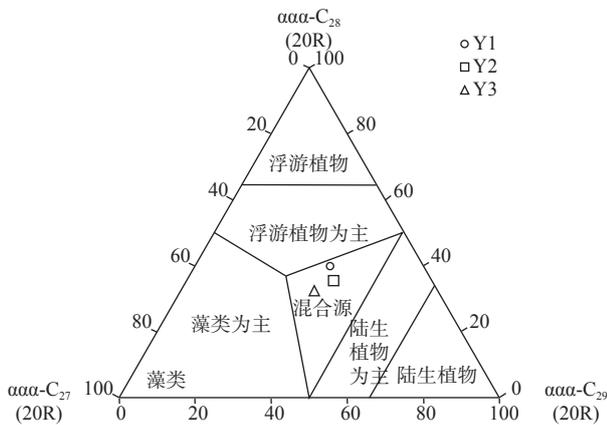


图10 蒙额参3井原油 C₂₇-C₂₈-C₂₉ 规则甾烷分布三角图

Fig. 10 Triangle chart of relative content of regular sterane C₂₇-C₂₈-C₂₉ of the crude oil of Mengecan 3 well

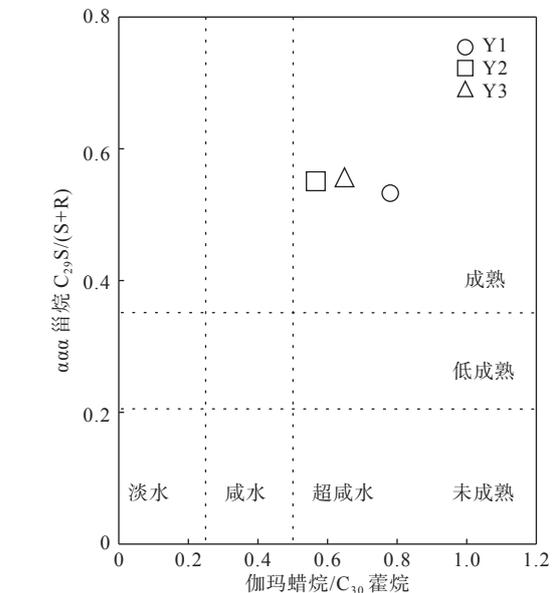


图11 蒙额参3井原油成熟度-盐度判别图

Fig. 11 Discriminant map of maturity and salinity of the crude oil of Mengecan 3 well

4 原油成因及油源对比

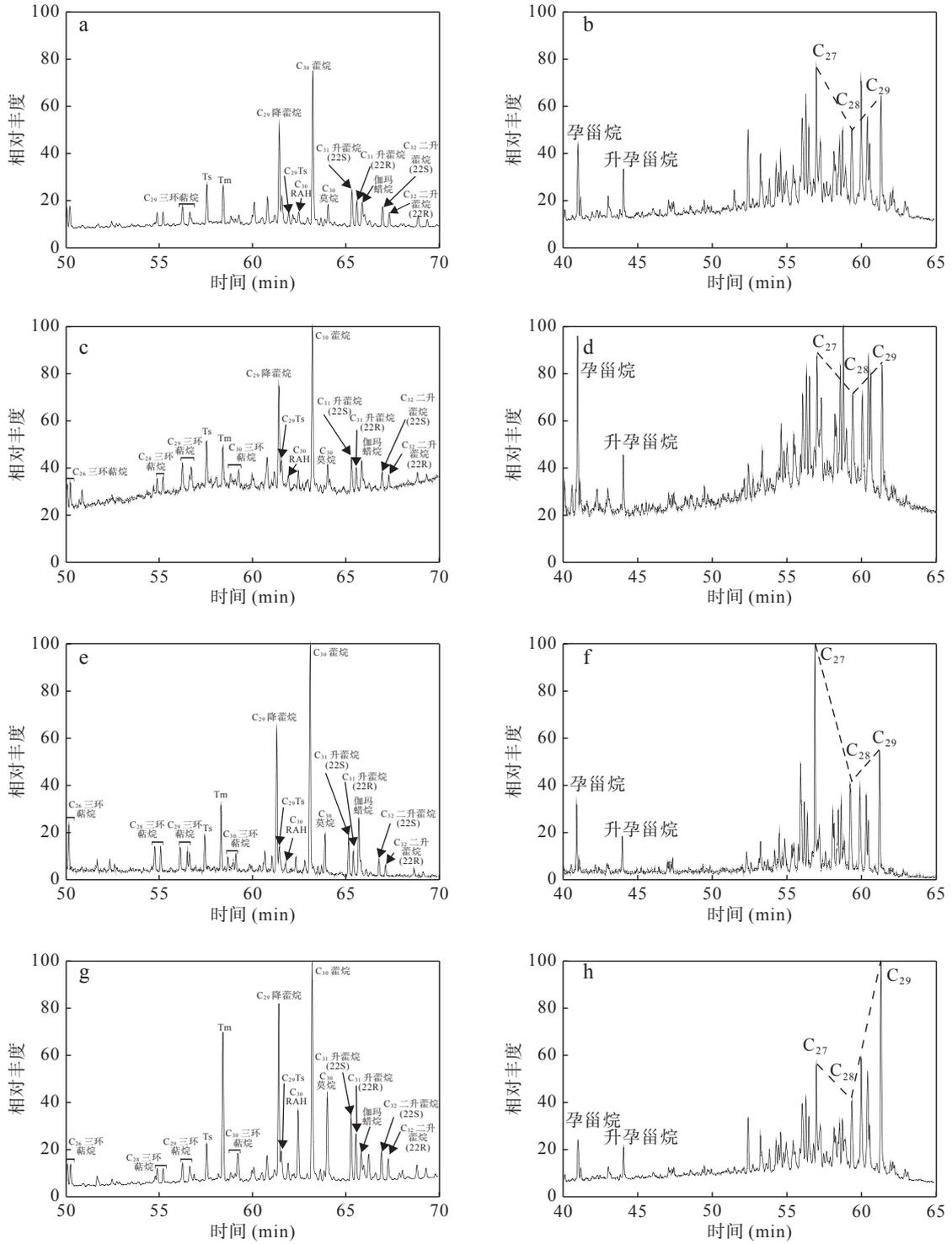
4.1 原油成因

油源对比的常用方法是生物标志化合物对比法，生物标志化合物中的萜烷和甾烷化合物，可以反映原

始生油母质中化合物的原始面貌，是油源对比的可靠参数(郭艳琴等, 2006; 罗丽荣等, 2019; 卢进才等, 2020)。蒙额参3井原油姥鲛烷(Pr)和植烷(Ph)呈现

出植烷优势的特征, 指示蒙额参 3 井原油母质主要来源于海相还原环境; 蒙额参 3 井原油萜烷类生物标志

化合物分布特征相似(图 9), 3 件原油样品的饱和烃萜烷均是 C₃₀ 藿烷占绝对优势, 且 C₂₉ 降藿烷与伽玛蜡



a、c、e、g. m/z=191 饱和烃质量色谱图; b、d、f、h. m/z=217 饱和烃质量色谱图; a、b. 蒙额参 3 井, 二叠系; c、d. 蒙额参 3 井, 干泉组上段; e、f. 大狐狸山剖面, 干泉组下段; g、h. 蒙额参 3 井, 白垩系巴音戈壁组

图 12 白垩系—二叠系烃源岩生物标志化合物特征图

Fig. 12 Characteristic map of biomarkers in Cretaceous-Permian source rocks

烷含量较高, C_{30} 莫烷、 C_{31} 升藿烷、 C_{32} 二升藿烷、Ts 和 Tm 等均检出, C_{29} Ts 含量较低; 但两层原油藿烷又存在一定的差异, 下部原油 Ts 略大于 Tm, C_{29} 降藿烷含量明显低于伽玛蜡烷; 二叠系原油 Ts 与 Tm 均势, C_{30} 莫烷含量略高于下部油层, 二叠系原油 C_{29} 降藿烷与伽玛蜡烷均势分布。 $\alpha\alpha\alpha$ 甾烷 $C_{29}S/(S+R)$ 和伽玛蜡烷/ C_{30} 藿烷关系特征指示了蒙额参 3 井原油以高盐度沉积环境成熟烃源岩的贡献为主(图 11)。规则甾烷分布形态表明华力西期侵入岩原油生烃母质以浮游植物为主, 二叠系原油源岩以陆生高等植物为主, 同时有浮游植物的贡献(图 10)。总之, 蒙额参 3 井华力西期侵入岩和二叠系白云质砂岩原油源岩主要来源于盐度较高的海相还原沉积环境, 生烃母质以浮游植物为主, 但二叠系原油陆生高等植物的贡献较大。

4.2 油源对比

蒙额参 3 井华力西期侵入岩段及二叠系砂岩段原油油源对比研究表明, 两层原油生物标志化合物共性与差异同在, 共性是藿烷均占绝对优势, 藿烷系列分布范围广($C_{27}\sim C_{35}$), C_{30} 藿烷含量明显偏高(图 9), 其次为 C_{29} 降藿烷, C_{34} 四升藿烷和 C_{35} 五升藿烷含量较少, 且具有较高的伽玛蜡烷, 都具有孕甾烷高于升孕甾烷的特点; 差异在于华力西期侵入岩原油 Ts 略大于 Tm, 二叠系原油 Ts 与 Tm 二者相当, 华力西期侵入岩原油规则甾烷 C_{27} 略大于 C_{29} , 二叠系原油规则甾烷 C_{29} 略大于 C_{27} , 且前述原油 C 同位素特征也指示两层原油非同源, 华力西期侵入岩与二叠系砂岩原油不属于同一来源, 华力西期侵入岩原油与干泉组上段烃源岩的生物标志化合物特征相似性较高, 二叠系白云质砂岩原油与二叠系烃源岩的生物标志化合物特征相似性较高。蒙额参 3 井上部白垩系巴音戈壁组烃源岩的生物标志化合物具有 C_{30} 藿烷、 C_{29} 降藿烷、 C_{30} 莫烷、 C_{31} 升藿烷含量较高, Tm 明显大于 Ts, 具有显著 C_{29} 甾烷优势的特点, 与吉格达凹陷两层原油差异明显(图 12)。总之, 蒙额参 3 井华力西期侵入岩段及二叠系砂岩段原油与白垩系巴音戈壁组烃源岩不具有亲缘关系, 其分别与石炭系—二叠系干泉组上段烃源岩和二叠系烃源岩具有良好的亲缘关系。

4.3 成藏特征对比

华力西期侵入岩与二叠系白云质砂岩原油藿烷与甾烷特征有一定差异, 且二叠系白云质砂岩中原油的非烃 C 同位素与下部华力西期侵入岩原油差别超

过 2‰, 全油 C 同位素相差超过 3‰, 生物标志化合物与原油 C 同位素特征指示两层原油非同源。

吉格达凹陷华力西期侵入岩原油和二叠系砂岩原油均与白垩系巴音戈壁组烃源岩生物标志化合物特征差异相对比较明显, 与石炭系—二叠系烃源岩的亲缘关系较好。其中, 二叠系原油与二叠系烃源岩具有较好亲缘关系, 华力西期侵入岩原油与干泉组上段烃源岩关系更密切, 两层原油油源来自石炭系—二叠系烃源岩的可能性较大。

5 结论

(1) 吉格达凹陷华力西期侵入岩和二叠系白云质砂岩中的原油物性有一定的差别, 但总体基本一致, 为低密度低硫中质正常原油, 原油性质较好。

(2) 原油族组成、饱和烃气相色谱 OPE、CPI、 $\alpha\alpha\alpha$ 甾烷 $C_{29}S/(S+R)$ 与 C_{32} 藿烷 S/R、 C_{29} 甾烷 $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 与伽玛蜡烷/ C_{30} 藿烷等生物标志化合物特征, 均表明华力西期和二叠系两层原油处于成熟阶段, 且下部原油的成熟度高于上部。

(3) 两层原油饱和烃气相色谱特征、C 同位素及生物标志化合物特征共性与差异同在。藿烷及甾烷分布形态表明, 原油母质来源基本一致, 均来源于盐度较高的海相还原环境, 生烃母质以浮游植物为主, 同时二叠系原油有陆生高等植物的贡献。

(4) 吉格达凹陷石炭系—二叠系原油的发现拓展了银额盆地油气勘探新层系, 对北方古生界油气勘探具有很好的指导作用。

致谢: 审稿专家对本文提出的修改意见; 长江大学、国家地质试验测试中心和中石化中原油田分公司研究院等单位承担了原油及烃源岩等的样品分析工作, 在此一并表示衷心感谢。

参考文献(References):

- 常俊合, 李新军, 吕红玉, 等. 东濮凹陷文留潜山构造文古 2 井原油地球化学特征和油源研究[J]. *石油与天然气地质*, 2004, 25(1): 44-48.
- CHANG Junhe, LI Xinjun, LÜ Hongyu, et al. A study on geochemical characteristics and sources of oil produced from Wengu 2 well in Wenliu buried hill in Dongpu Depression[J]. *Oil & Gas Geology*, 2004, 25(1): 44-48.
- 陈建平, 王绪龙, 邓春萍, 等. 准噶尔盆地南缘油气生成与分布

- 规律——典型类型原油油源对比[J]. 石油学报, 2016, 37(2): 160–171.
- CHEN Jianping, WANG Xulong, DENG Chunping, et al. Oil source correlation of typical crude oils in the southern margin, Junggar Basin, Northwestern China[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2016, 37(2): 160–171.
- 陈治军, 高怡文, 刘护创, 等. 银根-额济纳旗盆地哈日凹陷下白垩统烃源岩地球化学特征与油源对比[J]. 石油学报, 2018, 39(1): 69–81.
- CHEN Zhijun, GAO Yiwen, LIU Huchuang, et al. Geochemical characteristics of Lower Cretaceous source rocks and oil source correlation in Hari sag, Yingen-Ejinaqi Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2018, 39(1): 69–81.
- 董君妍, 陈世加, 邹贤利, 等. 鄂尔多斯盆地吴起-高桥地区延长组重排类藿烷分布特征及成因探讨[J]. 石油实验地质, 2017, 39(6): 834–841.
- DONG Junyan, CHEN Shijia, ZOU Xianli, et al. Distribution and origin of rearranged hopanes in Yanchang Formation, Wuqi-Gaoqiao area, Ordos Basin[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2017, 39(6): 834–841.
- 郭艳琴, 李文厚, 陈全红, 等. 鄂尔多斯盆地安塞-富县地区延长组-延安组原油地球化学特征及油源对比[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(2): 218–224.
- GUO Yanqin, LI Wenhui, CHEN Quanhong, et al. Geochemical behaviors of oil and oil-source correlation in Yanchang-Yan'an Formations in Ansai-Fuxian area, Ordos Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2006, 27(2): 218–224.
- 姜亭, 周俊林, 牛亚卓, 等. 西北公益性油气地质调查进展和展望[J]. 西北地质, 2022, 55(3): 64–80.
- JIANG Ting, ZHOU Junlin, NIU Yazhuo, et al. Progress and Prospect of Public Petroleum Geological Survey in Northwest China[J]. *Northwestern Geology*, 2022, 55(3): 64–80.
- 康玉柱. 中国西北地区石炭—二叠系油气勘探前景[J]. 新疆石油地质, 2008, 28(4): 415–419.
- KANG Yuzhu. Petroleum Resource Prospects of Carboniferous and Permian in Northwestern China[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2008, 28(4): 415–419.
- 李洪, 姚亚明, 张俊敏, 等. 焉耆盆地煤系源岩特征、生烃机理及烃源岩倾向性研究[J]. 西北地质, 2015, 48(1): 229–240.
- LI Hong, YAO Yaming, ZHANG Junmin, et al. Research on characteristics and hydrocarbon-generating mechanism of Jurassic coal measures source rock of Yanqi Basin and analysis on hydrocarbon-generating capacity and tendency(liquid and gas) of different source rock[J]. *Northwestern Geology*, 2015, 48(1): 229–240.
- 李谨, 王超, 李剑, 等. 库车坳陷北部迪北段致密油气来源与勘探方向[J]. 中国石油勘探, 2019, 24(4): 485–497.
- LI Jin, WANG Chao, LI Jian, et al. Source and exploration direction of tight oil and gas in the Dibe section of northern Kuqa depression[J]. *China Petroleum Exploration*, 2019, 24(4): 485–497.
- 刘洛夫, 孟江辉, 王维斌, 等. 准噶尔盆地西北缘车排子凸起上、下层系原油的地球化学特征差异及其意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2011, 41(2): 377–390.
- LIU Luofu, MENG Jianghui, WANG Weibin, et al. Differences in geochemical characteristics of oils trapped in the upper and the lower series of strata of Chepaizi uplift along northwest margin of Junggar basin and their significances[J]. *Journal of Jilin University(Earth Science Edition)*, 2011, 41(2): 377–390.
- 刘文章. 热采稠油油藏开发模式[M]. 北京: 石油工业出版社, 1998: 1-2.
- LIU Wenzhang. The development models of heavy oil reservoirs by thermal recovery[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1998: 1-2.
- 卢进才, 陈高潮, 李玉宏, 等. 银额盆地及邻区石炭系—二叠系油气地质条件与资源前景[M]. 北京: 地质出版社, 2012: 210-215.
- LU Jincui, CHEN Gaochao, LI Yuhong, et al. Carboniferous—Permian geological conditions and resources perspective in Yingen-Ejin Banner basin and its vicinities [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2012: 210-215.
- 卢进才, 陈高潮, 魏仙样, 等. 内蒙古西部额济纳旗及其邻区石炭系—二叠系沉积建造与生烃条件研究——油气地质条件研究之一[J]. 地质通报, 2011, 30(6): 811–826.
- LU Jincui, CHEN Gaochao, WEI Xianyang, et al. Carboniferous-Permian sedimentary formation and hydrocarbon generation conditions in Ejin Banner and its vicinities, western Inner Mongolia: a study of Carboniferous-Permian petroleum geological conditions(part 1)[J]. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(6): 811–826.
- 卢进才, 陈践发, 郭建军, 等. 古亚洲与特提斯交汇带盆地群油气资源潜力[J]. 西北地质, 2006, 39(3): 39–47.
- LU Jincui, CHEN Jianfa, GUO Jianjun, et al. Potential of Oil and gas Resources of Basin Groups in Conjunction Area between the Paleoa-Asia and Tethys[J]. *Northwestern Geology*, 2006, 39(3): 39–47.
- 卢进才, 魏建设, 姜亭, 等. 银额盆地居延海坳陷原油物理化学特征与油源探讨[J]. 地质通报, 2020, 39(10): 1589–1599.
- LU Jincui, WEI Jianshe, JIANG Ting, et al. Discussion on physical and chemical characteristics of crude oil and oil-source of Juyanhai depression in Yingen-Ejina Basin[J]. *Geological Bulletin of China*, 2020, 39(10): 1589–1599.
- 卢双舫, 张敏. 油气地球化学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008: 171-191.
- LU Shuangfang, ZHANG Min. Oil and Gas Geochemical[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2010: 171-191.
- 田德瑞, 吴奎, 张如才, 等. 渤海湾盆地辽西凸起北段锦州 20 油

- 田原油地球化学特征及油源对比[J]. *石油实验地质*, 2018, 40(3): 410-417.
- TIAN Derui, WU Kui, ZHANG Rucai, et al. Geochemical features and oil-source correlation of crude oils from JZ20 oil field on the northern margin of Liaoxi Uplift, Bohai Bay Basin[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2018, 40(3): 410-417.
- 罗丽荣, 李剑锋, 赵占良, 等. 河套盆地临河坳陷新生界油源对比及其勘探意义[J]. *中国石油勘探*, 2019, 24(3): 323-330.
- LUO Lirong, LI Jianfeng, ZHAO Zhanliang, et al. Cenozoic oil-source correlation and exploration significance in Linhe depression, the Hetao Basin[J]. *China Petroleum Exploration*, 2019, 24(3): 323-330.
- 彭兴芳, 李周波. 生物标志化合物在石油地质中的应用[J]. *资源环境与工程*, 2006, 20(3): 279-283.
- PENG Xingfang, LI Zhoubo. The application of biomarker in the research of petroleum geology[J]. *Resources Environment & Engineering*, 2006, 20(3): 279-283.
- 任纪舜, 王作勋, 陈炳蔚, 等. 从全球看中国大地构造: 中国及邻区大地构造图简要说明[M]. 北京: 地质出版社, 1999: 11-17.
- REN Jishun, WANG Zuoxun, CHEN Bingwei, et al. Contrast study of the prospecting of Copper-gold ore between west China and its adjacent area[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999: 11-17.
- 宋来亮, 刘华, 徐昊清, 等. 淮北凹陷孔店组烃源岩地化特征及油源对比[J]. *西南石油大学学报(自然科学版)*, 2016, 38(2): 1-10.
- SONG Lailiang, LIU Hua, XU Haoqing, et al. Geochemical characteristics of hydrocarbon source rocks and oil-source correlation of Kongdian Formation, Weibei Depression[J]. *Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition)*, 2016, 38(2): 1-10.
- 王朋, 柳广弟, 曹喆, 等. 查干凹陷下白垩统稠油地球化学特征及成因分析[J]. *沉积学报*, 2015, 33(6): 1265-1274.
- WANG Peng, LIU Guangdi, CAO Zhe, et al. Geochemistry and origin of heavy oil in lower cretaceous of Chagan Depression[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2015, 33(6): 1265-1274.
- 魏建设, 姜亭, 王宝文, 等. 银额盆地居延海坳陷吉格达凹陷石炭系—二叠系烃源岩生物标志化合物特征及其意义[J]. *西北地质*, 2020, 53(3): 273-283.
- WEI Jianshe, JIANG Ting, WANG Baowen, et al. The Biomarker Characteristics and Its Significance of the Carboniferous-Permian Source Rocks in Jigeda Sag of Juyanhai Depression in Yin'er Basin[J]. *Northwestern Geology*, 2020, 53(3): 273-283.
- 魏建设, 许伟, 周俊林, 等. 河套盆地临河坳陷庆浅1井区原油地球化学特征与油源对比[J]. *西北地质*, 2019, 52(3): 181-193.
- WEI Jianshe, XU Wei, ZHOU Junlin, et al. Geochemical Characteristics of Crude Oil in the well Zone of Qingqian 1 in Linhe Depression of Hetao Basin, China: Implication for Oil-Source Correlation[J]. *Northwestern Geology*, 2019, 52(3): 181-193.
- 杨尚儒, 高岗, 张永超, 等. 南堡2号构造带中浅层油源对比及原油运聚模式[J]. *油气地质与采收率*, 2018, 25(1): 30-36.
- YANG Shangru, GAO Gang, ZHANG Yongchao, et al. Oil-source correlation and model of migration and accumulation of shallow-middle crude oil in No. 2 structural belt, Nanpu Sag[J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2018, 25(1): 30-36.
- 尹伟, 郑和荣, 孟闲龙, 等. 准噶尔盆地中部原油地球化学特征[J]. *石油与天然气地质*, 2005, 26(4): 461-466+472.
- YIN Wei, ZHENG Herong, MENG Xianlong, et al. Geochemical behaviors of crude oils in central Junggar Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2005, 26(4): 461-466+472.
- 于连东. 世界稠油资源的分布及其开采技术的现状与展望[J]. *特种油气藏*, 2001, 8(2): 98-103.
- YU Liandong. Distribution of world heavy oil reserves and its recovery technologies and future[J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 2001, 8(2): 98-103.
- YU Liandong. Distribution of world heavy oil reserves and its recovery technologies and future[J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 2001, 8(2): 98-103.
- 余琪祥, 陈君, 余风华. 西北中小型盆地油气资源潜力与勘探领域分析[J]. *西北地质*, 2016, 49(1): 224-233.
- YU Qixiang, CHEN Jun, YU Fenghua. Hydrocarbon Resource Potential within Middle and Small-sized Basins and Their Exploration Fields in Northwest China[J]. *Northwest Geology*, 2016, 49(1): 224-233.
- 张厚福, 方朝亮, 高先志, 等. 石油地质学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999: 30-34.
- ZHANG Houfu, FANG Chaoliang, GAO Xianzhi, et al. Petroleum geology[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999: 30-34.
- Chen Jianyu, Bi Yanpong, Zhang Jiguo, et al. Oil-source correlation in the Fulin Basin, Shengli petroleum province, EastChina[J]. *Organic Geochemistry*, 1996, 24(8/9): 931-940.
- 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.
- Peters K E, Walters C C, Moldowan. The biomarker guide (Second edition, Part II): Biomarkers and isotopes in petroleum systems and earth history[M]. New York: Cambridge University Press, 2005: 475-1155.
- Xiao W J, Mao Q G, Windley B F, et al. Paleozoic multiple accretionary and collisional processes of the Beishan orogenic collage[J]. *American Journal of Science*, 2011, 310(10): 1553-1594.
- Xiao W J, Windley B F, Sun S, et al. A tale of amalgamation of three Permo-Triassic collage systems in Central Asia: oroclinal sutures, and terminal accretion[J]. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 2015, 43(1): 477-507.