

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2020.03.025

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

魏建设,姜亭,王宝文,张云鹏,苏琼

(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 710054)

摘要:生物标志化合物特征对烃源岩有机质来源、沉积环境及热演化程度等具有很好的指示意义。通过对吉格达凹陷蒙额参 3 井下二叠统—上石炭统干泉组、中下二叠统烃源岩气相色谱、气相色谱-质谱等分析表明,下二叠统—上石炭统干泉组上段及中下二叠统烃源岩正构烷烃峰范围较宽,抽提物饱和烃组分中轻质组分要大于重质烃类,低碳数烃占据主导,萜类化合物以三环萜烷为主,四环萜烷含量较低。这些生物标志化合物特征表明,石炭系—二叠系烃源岩有机质母源以浮游生物为主,同时存在高等植物的贡献,石炭系水体更深,石炭系烃源岩浮游植物的贡献更大,陆源高等植物的贡献较小。OEP 和 CPI 指示干泉组和中下二叠统烃源岩为奇偶均势的特点,指示干泉组和中下二叠统烃源岩处于成熟阶段,且石炭系干泉组烃源岩演化程度略高于中下二叠统。姥鲛烷(Pr)和植烷(Ph)的分布特征表明,干泉组上段烃源岩处于还原环境,中下二叠统烃源岩处于强还原-还原环境。

关键词: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;沉积环境
中图分类号:P618.13 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-6248(2020)03-0273-11

The Biomarker Characteristics and Its Significance of the Carboniferous-Permian Source Rocks in Jigeda Sag of Juyanhai Depression in Yin'er Basin

WEI Jianshe, JIANG Ting, WANG Baowen, ZHANG Yunpeng, SU Qiong

(Xi'an Center of China Geological Survey/ Northwest China Center for Geoscience Innovation, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: The biomarker characteristic indicates the sources of organic matter, sedimentary environment and the thermal evolution of the source rocks. the analysis of the source rocks of Ganquan Formation of lower Permian-upper Carboniferous and middle lower Permian system in Mengedan 3 well of Jigeda sag by GC and GCMS shows that, the peak range of n-paraffins of the source rocks of the lower Permian-upper Carboniferous upper Ganquan formation and middle lower Permian is wider. The light-component in the saturated hydrocarbon component of the extracts

收稿日期:2020-01-02;修回日期:2020-03-04

基金项目:国家科技重大专项“西北地区中生界陆相典型页岩气赋存方式与富集规律研究(2016ZX05034001-006)”,陕西省自然科学基金“柴北缘侏罗纪盆地构造演化关键问题研究:以红山地区为例(2018JM4031)”,中国地质调查局“关中地区氦气资源调查(DD20190103)”和“河套盆地及外围油气资源战略调查(DD20190711)”项目联合资助

作者简介:魏建设(1981-),男,河南驻马店人,高级工程师,主要从事油气基础地质调查与油气战略选区调查工作。E-mail:upcwjs@126.com

is larger than the heavy one. Low carbon hydrocarbon dominates. Terpenes are mainly tricyclic ones and the content of tetracyclic terpenes is low. The organic matter of Carboniferous-Permian-system source rock is mainly plankton, and some contributions of higher plants, while the Carboniferous has more plankton and less land-higher plants. OEP and CPI indicate that the source rocks of Ganquan Formation and middle lower Permian are even-odd potential and in a mature stage. the degree of evolution of Carboniferous is slightly higher than middle lower Permian. The distribution characteristics of Pristane and phytane show that the source rocks of upper Ganquan Formation are in a reducing environment, and those of the middle lower Permian are in a strong reducing- reducing environment.

Keywords: Yin'er basin; Juyanhai depression; Jigeda sag; Carboniferous-Permian; source rocks; biomarker; sedimentary environment

生物标志化合物是原始沉积有机质中那些来源于生物体,在成岩演化过程中基本保存原始生物先质物碳骨架的有机化合物,可以提供母质来源、沉积环境、成熟度、油气运移和油源对比等方面的信息,在油气地球化学研究中被广泛应用(卢双舫等, 2008;PETERS 等,2005)。

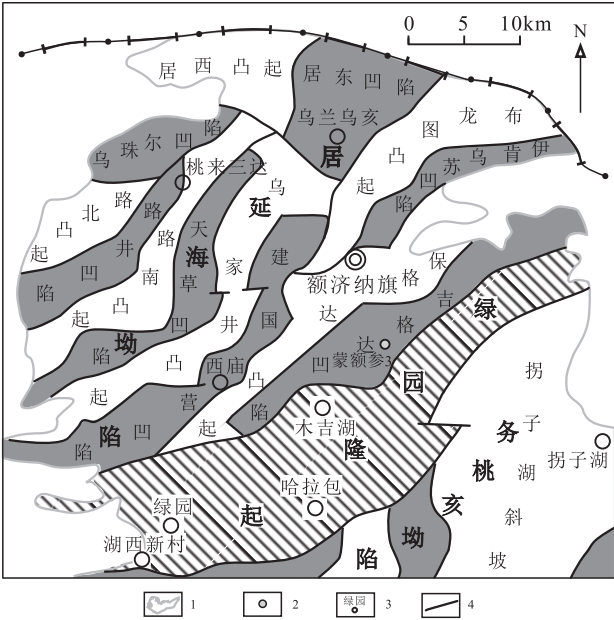
银额盆地处于内蒙古自治区的西部,是中国陆域油气地质工作程度较低的地区之一(康玉柱, 2008;卢进才等,2006,2011;余琪祥,2016)。盆地内居延海坳陷的吉格达凹陷工作程度更低,中国地质调查局西安地质调查中心在前期工作的基础上,实施了凹陷内第一口参数井——蒙额参 3,该井于石炭系一二叠系获得了良好烃源岩,通过地层含油气性测试,并于二叠系和华力西期侵入岩中获得具有工业价值的油气流。

笔者拟通过对蒙额参 3 井二叠系和石炭系一二叠系干泉组烃源岩生物标志化合物研究,揭示吉格达凹陷有机质来源、形成环境与有机质热演化程度等地质意义,为区内油气地质条件研究提供有利支撑。

1 地质背景

银额盆地是中、古生代的叠合盆地,中晚泥盆世古亚洲洋闭合之后,构造和沉积演化经历了石炭纪一二叠纪海陆演化阶段,中生代陆内盆山演化阶段(卢进才等,2011;任纪舜等,1999;XIAO Wen-jiao, 2011;XIAO Wenjiao, 2015;卢进才等,2012)。研究区位于银额盆地西部,石炭纪一二叠纪所在构造单元为北山-巴丹吉林裂谷盆地黑鹰山-额济纳旗坳陷带的南部边缘带;中生代所在构造单元位于银

额盆地居延海坳陷的吉格达凹陷(图 1)。

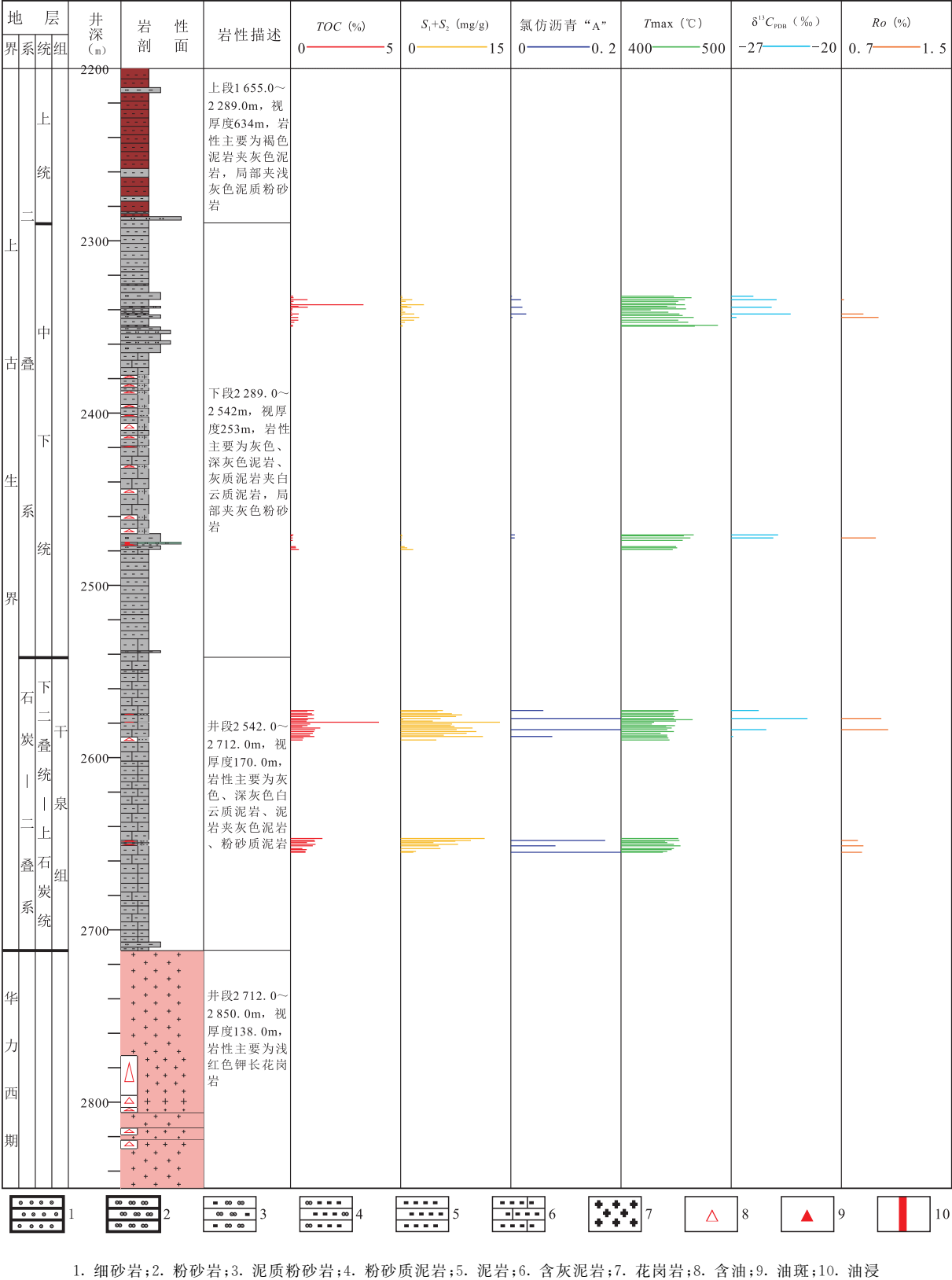


1. 盆地边界;2. 钻井井位;3. 地名;4. 断层

图 1 蒙额参 3 井位置图

Fig. 1 The location map of Meng'e can 3 well

蒙额参 3 井位于吉格达凹陷中部,完钻井深 2 850 m,该井自上而下钻遇地层为:第四系全新统(Qh)、中生界下白垩统苏宏图组(K_{1s})、巴音戈壁组(K_{1b})、上古生界上二叠统(P₃,未分组)、中下二叠统(P₁₋₂,未分组)和下二叠统一上石炭统干泉组(C₂-P_{1g}),完钻层位为华力西期侵入岩。上古生界中下二叠统视厚度 253 m,岩性主要为灰色、深灰色泥岩、灰质泥岩夹白云质泥岩、灰色粉砂岩;下二叠统一上石炭统干泉组视厚度 170 m,未穿,岩性主要为灰色、深灰色白云质泥岩、泥岩夹灰色泥岩和粉砂质泥岩(图 2)。



1. 细砂岩;2. 粉砂岩;3. 泥质粉砂岩;4. 粉砂质泥岩;5. 泥岩;6. 含灰泥岩;7. 花岗岩;8. 含油;9. 油斑;10. 油浸

图 2 蒙额参 3 井中下二叠统一上石炭统烃源岩油气地球化学剖面图

Fig. 2 The petroleum geochemistry profile of the source rocks of middle lower Permian and upper Carboniferous system in Meng'e can 3 well

2 烃源岩地球化学特征

2.1 有机质丰度

蒙额参 3 井上石炭统一下二叠统干泉组上段对 2 572.25~2 591.05 m (厚 18.8 m) 井段进行了取心, 岩性为灰色、深灰色泥岩和云质泥岩, 对取心井段采集了 30 件烃源岩样品在实验室进行了分析测试。TOC 含量分布在 0.53%~4.02%, 平均为 1.01%; 生烃潜量($S_1 + S_2$)分布在 0.05~13.52 mg/g, 平均为 6.41 mg/g。TOC 含量和生烃潜量($S_1 + S_2$)分析结果表明烃源岩有机质丰度以中等-高为主(图 2), 是区内主要的烃源岩层。

蒙额参 3 井中下二叠统(未分组)对 2 332.05~2 349.99 m (厚 17.94 m) 井段和 2 479.58~2 470.18 m (厚 9.40 m) 进行了取心, 累计取心进尺 27.34 m。取心段岩性为灰-深灰色泥岩、钙质泥岩, 对取心井段采集了 25 件烃源岩样品在实验室进行了分析测试。TOC 含量分布在 0.10%~3.36%, 平均为 0.36%; 生烃潜量($S_1 + S_2$)分布在 0.10~3.16 mg/g, 平均为 0.83 mg/g。分析结果表明, 中一下二叠统暗色泥岩有机质丰度较低(图 2), 主要为非烃源岩或差烃源岩, 部分达到中等以上烃源岩, 但巨大厚度弥补了有机质丰度的不足, 仍可作为重要的烃源岩层段。

2.2 有机质类型

干酪根元素是判别干酪根类型的最常用指标, 通常利用 H/C-O/C 关系判别干酪根有机质类型。蒙额参 3 井干泉组上段烃源岩干酪根类型好, 以 I 型为主; 中一下二叠统干酪根类型中等-好为主, 以 I-II₁ 型为主, 个别 II₂-III 型, 总之, 蒙额参 3 井烃源岩有机质类型有利于生油(图 3)。

2.3 有机质成熟度

蒙额参 3 井上石炭统一下二叠统干泉组上段 5 件岩心样品镜质体反射率(R_o)分析结果显示, R_o 为 0.82%~1.04%, 平均为 0.91%, 烃源岩处于成熟阶段; 中一下二叠统采集 5 件岩心样品镜质体反射率(R_o)分析, R_o 为 0.72%~0.97%, 平均为 0.86%, 烃源岩也处于成熟阶段, 但略低于干泉组上段。

综上所述, 蒙额参 3 井石炭系一二叠系烃源岩有机质成熟度处于成熟阶段, 以产油为主。

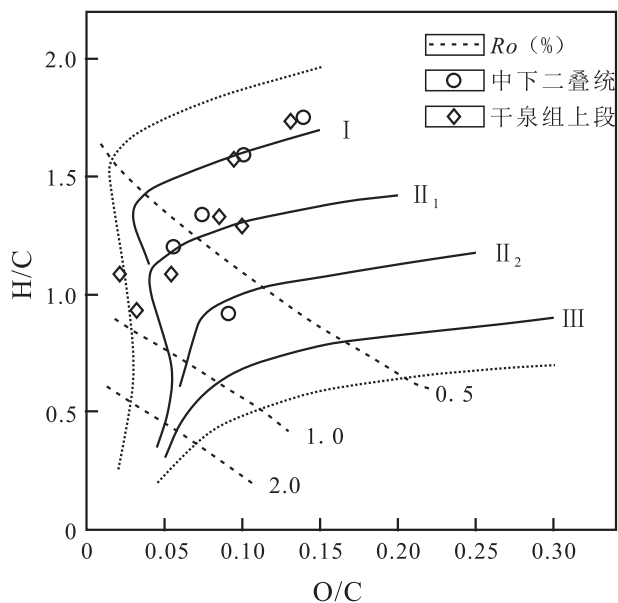


图 3 蒙额参 3 井烃源岩干酪根元素 H/C-O/C 类型判别图

Fig. 3 The type discrimination diagram of elements in kerogen H/C-O/C of the source rocks in Menghecan 3 well

3 烃源岩生物标志化合物特征

气相色谱和气相色谱-质谱联用仪对烃源岩的生物标志化合物进行检测, 检测出正构烷烃、异构烷烃、萜类和甾类化合物等, 这些化合物特征对烃源岩的母质来源、沉积环境以及成熟度等有较好的指示意义。

3.1 正构烷烃特征

正构烷烃是大多数烃源岩抽提物和石油中最丰富的一种烃类。氯仿沥青中正构烷烃的碳原子数为 $nC_{12} \sim nC_{35}$ 。正构烷烃主要分布在菌类、藻类和高等植物等生物体中, 它往往是烃源岩抽提物饱和烃馏分中的主要成分。正构烷烃不仅能反映母源输入的差异性, 而且还能反映当时的沉积环境。前人研究成果表明, 中等相对分子质量($nC_{15} \sim nC_{21}$)常出现在海相、深湖相沉积有机质中, 主要为藻类等低等水生浮游生物; 具有高碳数($>C_{23}$)的正构烷烃多为富含陆源高等植物生源的有机质。正构烷烃中($nC_{21} + nC_{22} / nC_{28} + nC_{29}$ 和 $\Sigma nC_{21}^- / \Sigma nC_{22}^+$)轻重烃比值也能够反映沉积环境, 当正构烷中 $\Sigma nC_{21}^- / \Sigma nC_{22}^+$ 和 $(nC_{21} + nC_{22}) / (nC_{28} + nC_{29})$ 值较高时, 低

碳数烃占据主导,反映水体较深,有机质来源以低等水生生物为主,反之说明水体较浅,以陆源生物为主。OEP 或 CPI 明显高于 1.0(大于 1.2)时,具有奇碳优势,明显低于 1.0 时,具有偶碳优势,OEP 和 CPI 也可作为原油的成熟度指标,其值大于 1.2 时,样品未成熟,小于 1.2 时样品成熟(PETERS,et al, 2005)。

蒙额参 3 井上石炭统干泉组上段及中下二叠统烃源岩正构烷烃峰范围较宽,干泉组烃源岩碳数范

围主要为 nC_{12} — nC_{39} ,且全部为前峰单峰型,主峰碳为 nC_{17} — nC_{19} (表 1)(图 4、图 5);中下二叠统烃源岩碳数范围主要为 nC_{12} — nC_{39} ,且主要为前峰单峰型,主峰碳一般为 nC_{18} — nC_{21} ,另外,S4 样品为双峰型,主峰碳分别为 nC_{18} 和 nC_{25} (表 1)(图 4、图 5)。说明上石炭统干泉组上段及中下二叠统烃源岩原始母质以高份额低等浮游生物、藻类输入为主。而且 TIC 图中少数基线有轻微凸起的“鼓包”,说明烃源岩遭受微弱的生物降解作用。

表 1 蒙额参 3 井石炭系—二叠系烃源岩饱和和烃色谱数据表

Tab. 1 The chromatographic data sheet of saturated hydrocarbon of the source rocks in Meng'e can 3 well												
样品编号	层位	碳数范围	主峰碳	Pr(%)	Ph(%)	Pr/Ph	OEP	CPI	Pr/ nC_{17}	Ph/ nC_{18}	$\Sigma nC_{21-} / \Sigma nC_{22+}$	$nC_{21} + nC_{22} / nC_{28} + nC_{29}$
17MEC3-S4	中下二叠统	nC_{14} — nC_{39}	nC_{18}	1.92	4.48	0.43	1.06	1.13	0.34	0.53	0.62	1.27
17MEC3-S6		nC_{12} — nC_{39}	nC_{19}	1.37	2.67	0.51	0.95	1.12	0.18	0.28	1.58	4.57
17MEC3-S11		nC_{12} — nC_{39}	nC_{21}	2.38	3.25	0.73	0.99	1.15	0.41	0.47	0.86	2.68
17MEC3-S15		nC_{12} — nC_{39}	nC_{21}	3.52	2.43	1.45	0.98	1.18	0.59	0.36	0.87	2.32
17MEC3-S17		nC_{12} — nC_{39}	nC_{20}	0.76	2.09	0.36	0.98	1.09	0.20	0.31	0.61	2.05
17MEC3-S22		nC_{12} — nC_{39}	nC_{23}	0.52	0.84	0.61	0.99	1.15	0.24	0.23	0.41	1.81
17MEC3-S24		nC_{13} — nC_{39}	nC_{21}	0.89	1.86	0.48	1.05	1.08	0.27	0.33	0.48	1.68
17MEC3-S29	干泉组上段	nC_{12} — nC_{39}	nC_{19}	1.16	2.85	0.41	0.79	1.15	0.19	0.31	1.01	3.93
17MEC3-S34		nC_{12} — nC_{39}	nC_{19}	1.70	2.45	0.69	0.95	1.11	0.23	0.32	1.20	3.26
17MEC3-S42		nC_{12} — nC_{39}	nC_{17}	1.70	2.23	0.76	0.94	1.13	0.18	0.23	1.88	4.10
17MEC3-S46		nC_{12} — nC_{39}	nC_{19}	1.41	1.95	0.72	0.96	1.11	0.15	0.19	1.78	4.22
17MEC3-S50		nC_{12} — nC_{39}	nC_{19}	1.33	1.97	0.67	0.98	1.11	0.20	0.26	0.87	2.11
17MEC3-S54		nC_{12} — nC_{39}	nC_{17}	1.63	1.98	0.82	0.96	1.12	0.17	0.20	2.36	4.17
17MEC3-S58		nC_{12} — nC_{39}	nC_{19}	1.98	2.71	0.73	0.98	1.17	0.26	0.33	1.21	2.86

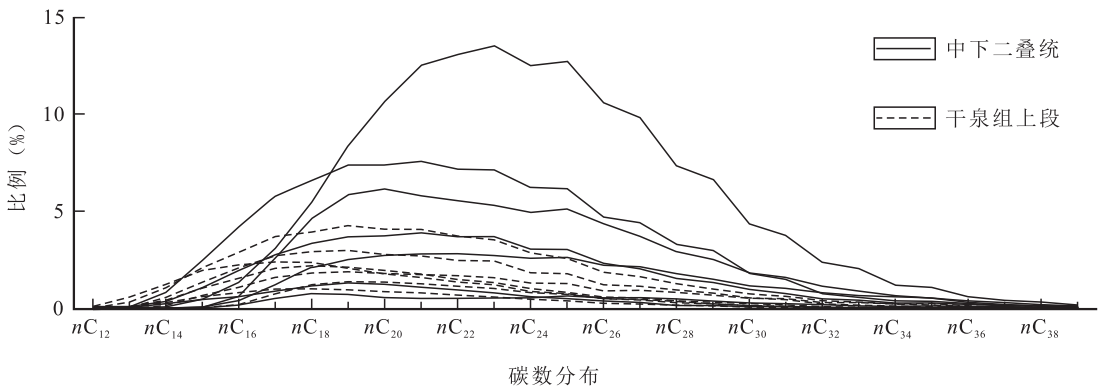


图 4 蒙额参 3 井下二叠统一上石炭统干泉组、中下二叠统烃源岩正构烷烃分布图

Fig. 4 The distribution of n-alkanes of the source rocks in lower Permian-upper Carboniferous and middle lower Permian system in Meng'e can 3 well

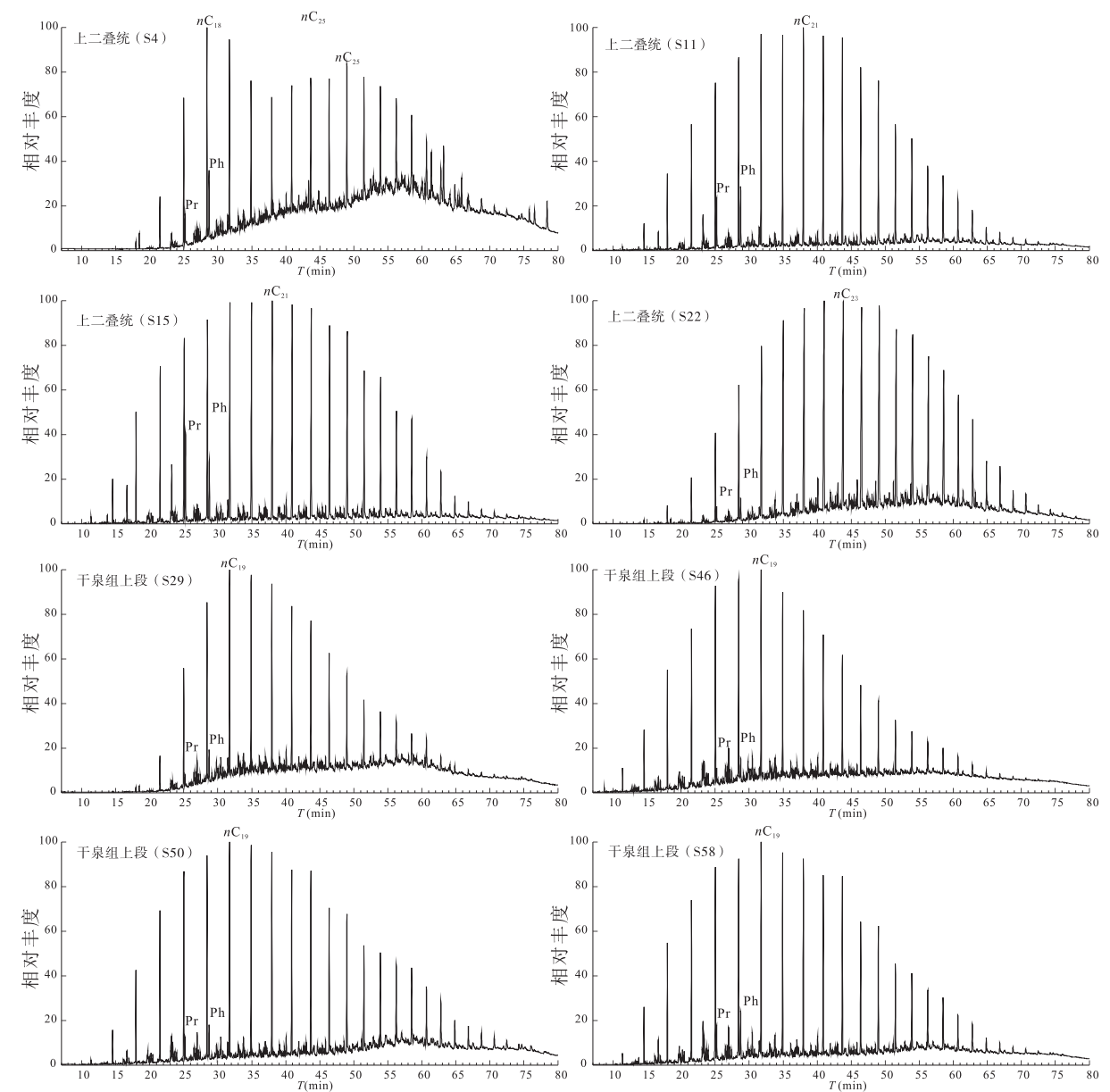


图 5 蒙额参 3 井下二叠统一上石炭统干泉组、中下二叠统烃源岩总离子流(TIC)图

Fig. 5 The total ion current diagram(TIC) of the source rocks in lower Permian-upper Carboniferous and middle lower Permian system in Meng'e can 3 well

蒙额参 3 井下二叠统一上石炭统干泉组烃源岩正构烷烃轻重烃比值参数特征表明,正构烷烃 $\Sigma nC_{21}^-/\Sigma nC_{22}^+$ 值主要为 0.87~2.36(图 6), $(nC_{21} + nC_{22})/(nC_{28} + nC_{29})$ 值主要为 2.11~4.22;中下二叠统烃源岩样品正构烷烃 $\Sigma nC_{21}^-/\Sigma nC_{22}^+$ 值主要为 0.31~1.58(图 6), $(nC_{21} + nC_{22})/(nC_{28} + nC_{29})$ 值主要为 1.21~4.57。表明下二叠统一上石炭统干泉组、中下二叠统烃源岩饱和烃组分中轻质组分大于重质烃类,低碳数烃占主导,反映水体较深,有机质主要来

源于低等水生生物。
干泉组烃源岩 OEP 为 0.79~0.98, CPI 为 1.11~1.17(表 1),二叠系烃源岩 OEP 为 0.95~1.06, CPI 为 1.08~1.18(表 1),均具有奇偶均势的特点,指示处于成熟阶段(图 7)。
石炭系烃源岩与二叠系相比,石炭系烃源岩正构烷烃 $\Sigma nC_{21}^-/\Sigma nC_{22}^+$ 值和 $(nC_{21} + nC_{22})/(nC_{28} + nC_{29})$ 值较二叠系要大,表明石炭系水体较二叠系深,且陆源物质供给更少。干泉组和中下二叠统 OEP 和 CPI

指示烃源岩为奇偶均势的特点,干泉组烃源岩演化程度略高于中下二叠统,与地质规律一致。

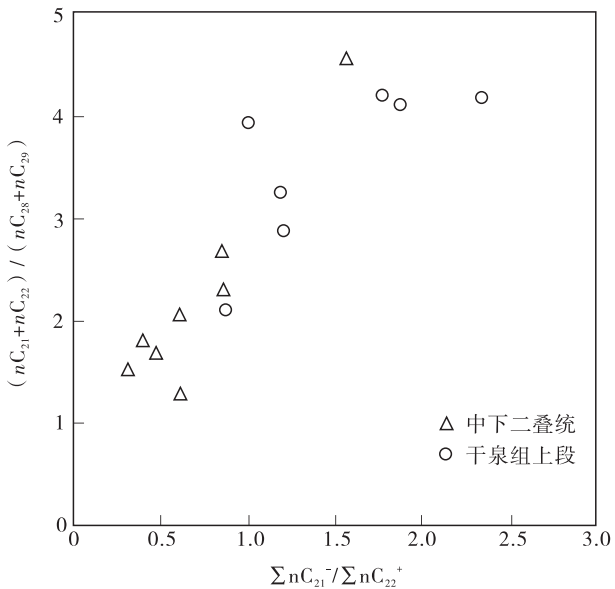


图 6 蒙额参 3 井石炭系—二叠系烃源岩 $\Sigma nC_{21}^- / \Sigma nC_{22}^+ - (nC_{21} + nC_{22}) / (nC_{28} + nC_{29})$ 相关图

Fig. 6 The correlogram of $\Sigma nC_{21}^- / \Sigma nC_{22}^+ - (nC_{21} + nC_{22}) / (nC_{28} + nC_{29})$ of the source rocks of carboniferous-Permian system in Meng'e can 3 well

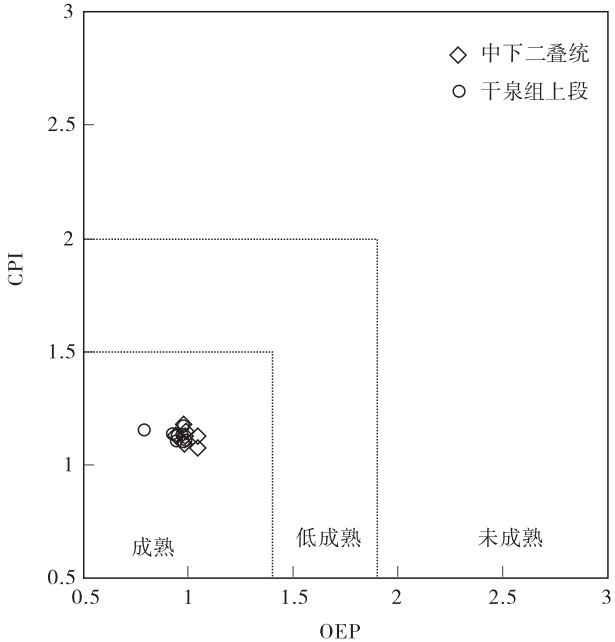


图 7 蒙额参 3 井石炭系—二叠系烃源岩 OEP 与 CPI 判断原油成熟度图

Fig. 7 The Judgement of the maturity of crude oil by OEP&CPI of the source rocks of Carboniferous-Permian system in Meng'e can 3 well

3.2 异构烷烃姥鲛烷与植烷特征

姥鲛烷(Pr)和植烷(Ph)是无环类异戊二烯烷烃中应用最为广泛的参数,是判断原始沉积环境氧化-还原条件及介质盐度的标志(杜佰伟等,2016)。姥鲛烷、植烷主要是在光合作用下,生物中的叶绿素的植基侧链生成。在还原环境中,植基侧链断裂变为植醇,植醇被还原为二氢植醇,进一步还原为植烷;另一方面植醇在不同的氧化还原条件,转化的方向也不尽相同,在氧化环境下,植醇被氧化为植酸,然后脱羧形成姥鲛烯,最终形成姥鲛烷(PETERS, et al,2005)。

姥鲛烷(Pr)和植烷(Ph)的分布特征能很好地反映沉积环境,Pr/Ph<0.5 时为强还原性膏盐沉积环境,Pr/Ph 处于 0.5~1.0 时为还原环境,Pr/Ph 处于 1.0~2.0 时为弱还原-弱氧化环境,Pr/Ph>2.0 为偏氧化环境。如河湖及滨海沼泽或浅湖-海沉积(CHEN Jianyu, et al,1996;HAO Fang, et al,2009;董君妍等,2017;田德瑞等,2018;魏建设等,2019)。

蒙额参 3 井干泉组上段烃源岩 Pr/Ph 主要为 0.67~0.82,平均为 0.73,指示其处于还原环境;中下二叠统烃源岩 Pr/Ph 多数处于 0.30~0.73,平均为 0.49(表 1),指示处于强还原-还原环境。Pr/ nC_{17} 与 Ph/ nC_{18} 关系也指示蒙额参 3 井石炭系—二叠系烃源岩处于还原环境为主(图 8)。

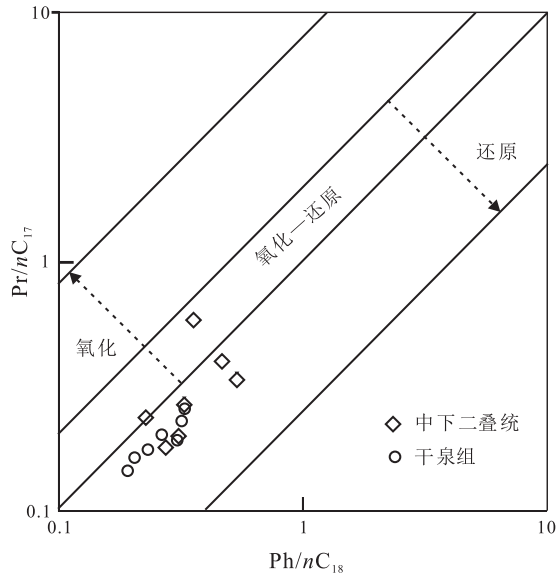


图 8 蒙额参 3 井石炭系—二叠系烃源岩 Pr/ nC_{17} 与 Ph/ nC_{18} 关系图

Fig. 8 The relation diagram of Pr/ nC_{17} & Ph/ nC_{18} of the source rocks of Carboniferous - Permian system in Meng'e can 3 well

3.3 萜类化合物特征

萜类是由基本的类异戊二烯烃单元形成的环状饱和烃类,其中最重要的是萜烷类,是沉积物中分布最广泛的、最复杂的生物标志物。萜类化合物包括三环、四环萜烷和五环三萜烷系列。其中三环萜烷主要为 C_{19} — C_{29} 系列萜烷,四环萜烷为 C_{24} 萜烷,五环萜烷主要为藿烷系列、新藿烷系列以及莫烷系列。另外,非藿烷类化合物以伽马蜡烷(Ga)为代表。藿烷作为细菌群落的典型生物标志化合物具有丰富的结构和构型变化,是沉积有机质的成熟度、母质来源和原始沉积环境等综合评价中广泛使用的主要生物标志化合物(卢双舫等,2008;姜乃煌等,1994)。

研究表明,三环萜烷在水生生物中含量较高。沉积有机质中三环萜烷的分布常常是 $C_{19} < C_{20} < C_{21}$, C_{21} 和 C_{23} 基本均势或者其中一个略高。四环萜烷通常与陆源有机质的输入有很好的关系,是陆源有机质输入的重要标志。蒙额参 3 井石炭系—二叠系烃源岩以三环萜烷为主,四环萜烷含量较低或未检出,表明陆源有机质的贡献较少。在三环萜烷的分布形式中,蒙额参 3 井干泉组烃源岩 C_{19} 三环萜烷含量较高, $C_{19}/C_{21} > 0.5$, $C_{19}/C_{23} > 0.3$ (图 9), 三环萜烷 C_{19} 、 C_{21} 、 C_{23} 的分布形式上多数呈现出略微的“上升”特征(图 10)。蒙额参 3 井二叠系烃源岩 C_{19} 三环萜烷含量低, $C_{19}/C_{21} < 0.5$, $C_{19}/C_{23} < 0.3$ (图 9), 三环萜烷 C_{19} 、 C_{21} 、 C_{23} 的分布形式上呈现出明显的“上升”特征(图 10);蒙额参 3 井石炭系—二叠系烃源岩三环萜烷分布的差异性表明母质来源及沉积环境的差异。

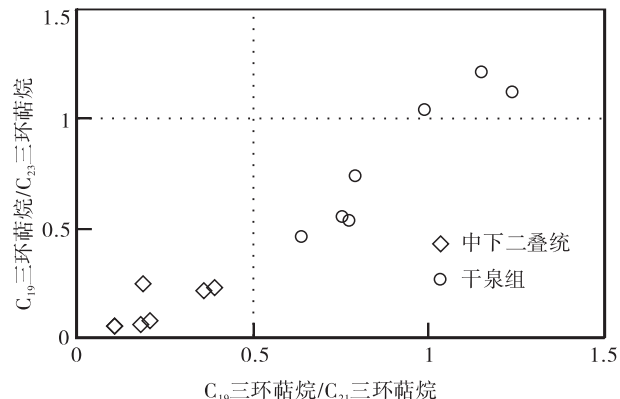


图 9 蒙额参 3 井石炭系—二叠系烃源岩三环萜烷比值关系图

Fig. 9 The tricyclic terpene ratio diagram of the source rocks of Carboniferous-Permian system in Meng'e Can 3 well

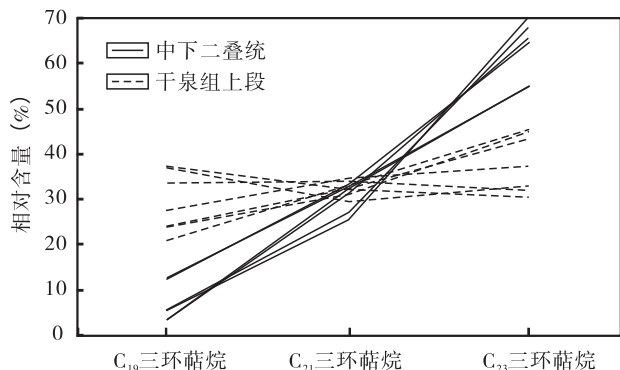


图 10 蒙额参 3 井下二叠统一上石炭统干泉组、中下二叠统烃源岩三环萜烷分布折线图

Fig. 10 The broken line diagram of tricyclic terpene distribution of the source rocks in Ganquan formation of lower Permian - upper Carboniferous and middle lower Permian system in Meng'e Can 3 well

蒙额参 3 井二叠系烃源岩萜烷类生物标志化合物特征比较相似(图 11), 6 件样品饱和烃萜烷中多数样品以 C_{30} 藿烷占优势, 均具有较高的 C_{29} 降藿烷, 部分样品伽马蜡烷含量较高, 均检测出 Ts、Tm、 C_{30} 莫烷、 C_{31} 升藿烷、 C_{32} 二升藿烷和伽马蜡烷等, C_{29} Ts 含量低, 且多数样品 Ts 略大于 Tm(图 11), 表明二叠系烃源岩处于成熟阶段, 且母源来自于盐度较高的沉积环境。干泉组烃源岩萜烷类生物标志化合物特征亦相似(图 11), 2 件样品饱和烃萜烷中均检测出 Ts、Tm、 C_{29} 降藿烷、 C_{30} 藿烷、 C_{30} 莫烷、 C_{31} 升藿烷、 C_{32} 二升藿烷和伽马蜡烷等, 样品均以 C_{30} 藿烷占优势, 均具有较高的 C_{29} 降藿烷, 且 Ts 明显大于 Tm(图 11), 表明干泉组烃源岩亦处于成熟阶段, 演化程度大于二叠系烃源岩。

3.4 甾类化合物特征

甾烷类反映生物标志化合物信息量非常丰富, 是具有烷基侧链的四环化合物。规则甾烷的碳数分布范围为 C_{27} — C_{29} 。甾烷包括 C_{27} — C_{29} 重排和规则甾烷, 可以提供有机质来源和成熟度以及沉积环境的信息。有机质来源于低等水生生物时, C_{27} 甾烷占优势; C_{29} 甾烷占优势时, 有机质来源于陆源高等植物。另一方面, 在规则甾烷中的生物构型甾烷的相对含量及其分布形式也能用来判断有机质来源和沉积环境, 即 $\alpha\alpha\alpha 20RC_{27}$ 、 $\alpha\alpha\alpha 20RC_{28}$ 和 $\alpha\alpha\alpha 20RC_{29}$ 3 种化合物在 GC-MS 图上的形状基本有 3 种类型, 正“L”型、反“L”型和“V”字型。如果规则甾烷生物

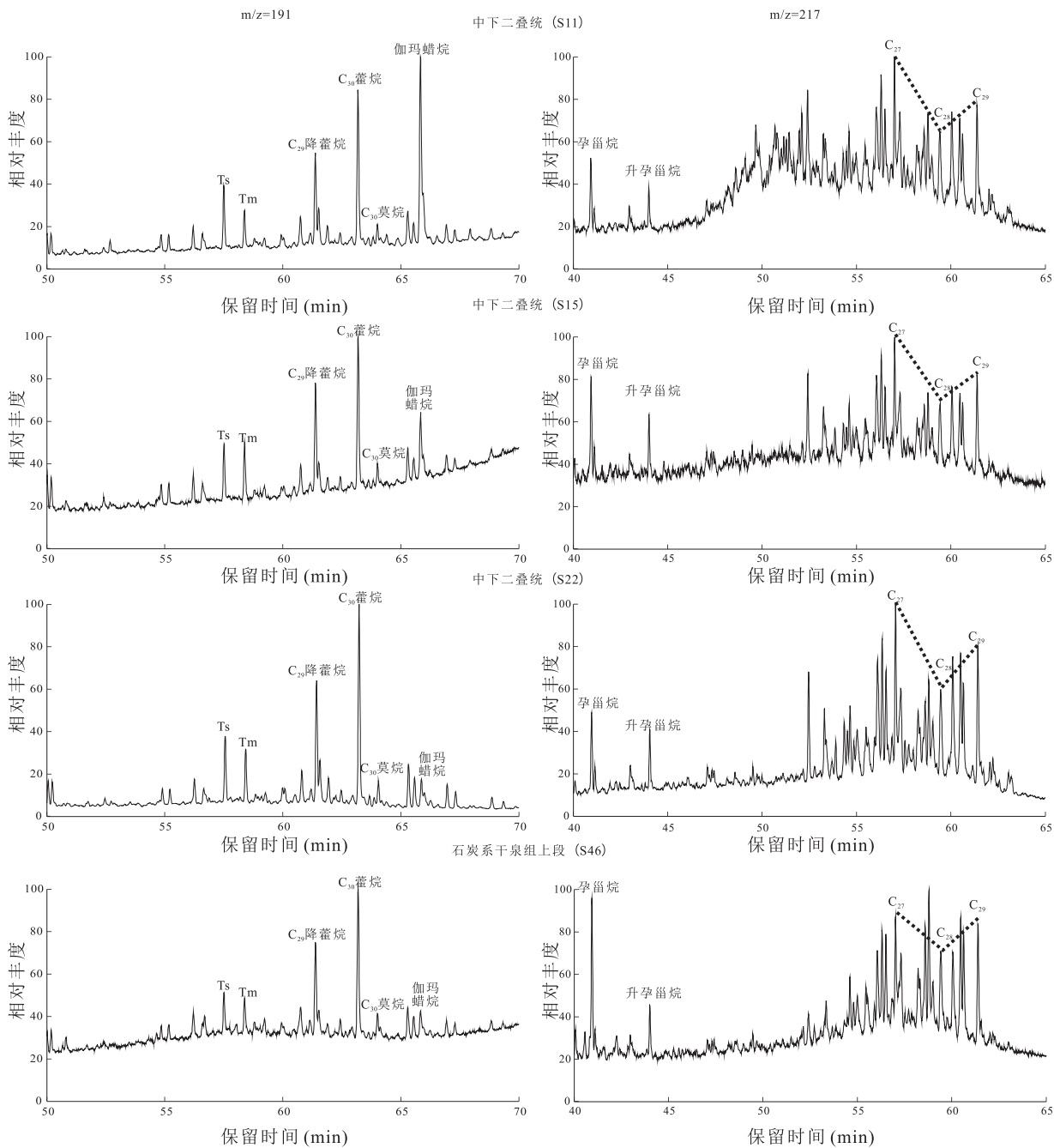


图 11 蒙额参 3 井石炭系—二叠系烃源岩饱和和炔色谱质谱图

Fig. 11 The GC - MS spectrogram of saturated hydrocarbon of the source rocks in Carboniferous-Permian in Mengcan 3 well

型 $\alpha\alpha\alpha 20RC_{27}$ 的含量高于 $\alpha\alpha\alpha 20RC_{28}$ 和 $\alpha\alpha\alpha 20RC_{29}$ 的含量时,则为正“L”型,这一般表明其主要来源于低等水生生物,多为海相或深湖相沉积环境;当 $\alpha\alpha\alpha 20RC_{27}$ 的含量低于 $\alpha\alpha\alpha 20RC_{28}$ 和 $\alpha\alpha\alpha 20RC_{29}$ 的含量时,则为反“L”型,表明有机质主要来自陆源高等植物;如果规则甾烷生物构型的 $\alpha\alpha\alpha 20RC_{27}$ 与

$\alpha\alpha\alpha 20RC_{29}$ 含量基本相当,则呈“V”字型,表明其有半深水-深水生物与陆相有机质的共同贡献(戴鸿鸣等,2011)。

蒙额参 3 井干泉组上段烃源岩甾烷化合物分布特征类似,孕甾烷明显大于升孕甾烷,规则甾烷以 C_{27} 甾烷占优势,其形态呈正“L”型分布(图 11),说

明有机质母源以浮游生物和藻类为主,同时存在高等植物的贡献(图 12);二叠系烃源岩甾烷化合物分布特征亦类似,孕甾烷略大于升孕甾烷,规则甾烷分布一致,以 C_{27} 甾烷占优势,其形态呈正“L”型分布(图 11),说明有机质母源以浮游生物为主,同时存在高等植物的贡献(图 12);与石炭系烃源岩相比,二叠系烃源岩陆源高等植物的贡献更大,浮游生物的贡献较小。

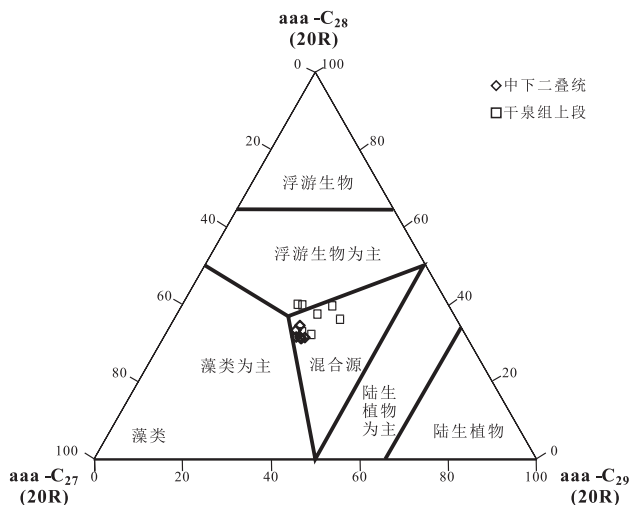


图 12 蒙额参 3 井石炭系一二叠系烃源岩甾烷三角图

Fig. 12 The sterane triangular graph of the source rocks of Menghecan 3 well in Carboniferous - Permian

4 结论

(1)正构烷烃及甾类化合物特征表明银额盆地居延海拗陷吉格达凹陷下二叠统一上石炭统干泉组、中下二叠统烃源岩有机质母源以浮游生物为主,同时存在高等植物的贡献,石炭系水体更深,烃源岩浮游生物的贡献更大,陆源高等植物的贡献较小。

(2)OEP、CPI 及萜类化合物特征指示吉格达凹陷干泉组和中下二叠统烃源岩处于成熟阶段,且干泉组烃源岩演化程度略高于中下二叠统。

(3)吉格达凹陷下二叠统一上石炭统干泉组、中下二叠统烃源岩沉积环境存在一定的差异,石炭系烃源岩为海相还原环境,二叠系烃源岩沉积环境为海相-混合相强还原-还原环境。

致谢:感谢审稿专家和编辑部老师对本文提出的宝贵意见;长江大学等单位承担了烃源岩样品分

析工作,在此一并表示衷心的感谢。

参考文献(References):

- 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.
- 康玉柱. 中国西北地区石炭一二叠系油气勘探前景[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.
- 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 Jincal, 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,陈高潮,魏仙样,等. 内蒙古西部额济纳旗及其邻区石炭系一二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 Jincal, 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.
- 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]. Northwestern Geology, 2016, 49(1): 224-233.
- 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 Zuosun, 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.
- 卢进才,陈高潮,李玉宏,等. 银额盆地及邻区石炭一二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 Jincai, 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 姜乃煌, 黄第藩, 宋孚庆, 等. 不同沉积环境地层中的芳烃分布特征[J]. 石油学报, 1994, 14(3): 42-50.
- JIANG Naihuang, HUANG Difan, SONG Fuqing, et al. Distribution characteristics of aromatics in formations under different sedimentary environments [J]. Acta Petrolei Sinica, 1994, 15(3): 42-50.
- 戴鸿鸣, 王顺玉, 陈义才. 油气勘探地球化学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2011: 160-180.
- DAI Hongming, WANG Shunyu, CHEN Yicai. Petroleum Exploration Geochemistry [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2011: 160-180.
- 杜佰伟, 彭清华, 何江林. 羌塘盆地羌资3井索瓦组泥岩生物标志化合物特征及其地质意义[J]. 中国地质, 2016, 43(1): 298-305.
- DU Baiwei, PENG Qinghua, HE Jianglin. Characteristics of biomarker compounds in the mudstone of Upper Jurassic Suowa Formation from Qz3 Well in Qiangtang Basin, northern Tibet [J]. Geology in China, 2016, 43(1): 298-305.
- PETERS K E, WALTERS C C, MOLDOWAN J M. 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.
- CHEN Jianyu, BI Yanpong, ZHANG Jiguo, et al. Oil-source correlation in the Fulin Basin, Shengli petroleum province, East China [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.