



引文格式: 魏建设, 史冀忠, 尹小龙, 等. 银额盆地芒罕超克地区阿木山组烃源岩生物标志化合物特征及其意义[J]. 西北地质, 2024, 57(6): 161-170. DOI: 10.12401/j.nwg.2024080

Citation: WEI Jianshe, SHI Jizhong, YIN Xiaolong, et al. The Characteristics and Significance of Biomarker Compounds in the Amushan Formation Hydrocarbon Source Rocks in Manghanchaoke Region, Yin'e basin[J]. Northwestern Geology, 2024, 57(6): 161-170. DOI: 10.12401/j.nwg.2024080

银额盆地芒罕超克地区阿木山组烃源岩生物标志化合物特征及其意义

魏建设^{1,2,3}, 史冀忠^{1,2,3,*}, 尹小龙⁴, 张宇轩^{1,2,3}, 姜亭^{1,2,3}, 韩伟^{1,2,3}

- (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. 中国地质调查局氦气调查研究中心, 陕西 西安 710119; 4. 中国石油长庆油田分公司第一采气厂, 陕西西安 710021)

摘要: 常规的烃源岩评价指标是针对钻井岩心样品制定的, 对露头样品利用通常的评价参数进行有机质丰度、类型和成熟度等评价, 不能有效反应盆地覆盖区烃源岩的真实情况, 影响烃源岩生烃潜力的评价。笔者通过对银额盆地芒罕超克剖面石炭系阿木山组烃源岩正构烷烃、异构烷烃、萜烷类、藿烷类和甾烷类等生物标志化合物特征的综合评价, 明确芒罕超克剖面阿木山组烃源岩原始沉积时期水体较深, 沉积环境是还原-氧化环境, 且以还原环境为主, 有机质富集属“生产力模式型”; 有机质主要来源于藻类和浮游生物等低等水生生物, 烃源岩处于成熟-低成熟阶段。芒罕超克地区阿木山组烃源岩生物标志化合物系统研究对客观评价银额盆地阿木山组烃源岩的生烃潜力具有重要的作用。

关键词: 芒罕超克地区; 阿木山组; 烃源岩; 生物标志化合物; 沉积环境; 有机质富集模式

中图分类号: P618.13

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2024)06-0161-10

The Characteristics and Significance of Biomarker Compounds in the Amushan Formation Hydrocarbon Source Rocks in Manghanchaoke Region, Yin'e basin

WEI Jianshe^{1,2,3}, SHI Jizhong^{1,2,3,*}, YIN Xiaolong⁴, ZHANG Yuxuan^{1,2,3}, JIANG Ting^{1,2,3}, HAN Wei^{1,2,3}

- (1. Xi'an Center of China Geological Survey, 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. Research Center for Helium, China Geological Survey, Xi'an 710119, Shaanxi, China; 4. The First Gas Production Plant, PetroChina Changqing Oilfield Company, Xi'an 710021, Shaanxi, China)

收稿日期: 2023-02-09; 修回日期: 2023-04-23; 责任编辑: 曹佰迪

基金项目: 中国地质调查局项目“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“富氢天然气成藏机制及氦资源分布预测技术——复杂地质介质中氦气运聚及富氦气藏封盖机制研究”(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。

* 通讯作者: 史冀忠(1983-), 男, 正高级工程师, 主要从事油气基础地质调查研究工作。E-mail: shijizhong0241@sina.com。

Abstract: Conventional evaluation indexes of source rocks are developed for drilling core samples. The abundance, type and maturity of organic matter of outcrop samples are evaluated by using conventional evaluation parameters, which cannot effectively reflect the real situation of source rocks in the overlying area of the basin and affect the evaluation of hydrocarbon generation potential of source rocks. Based on the comprehensive evaluation of the characteristics of n-alkanes, iso-alkanes, terpenes, epiphanes and steranes of the carboniferous Amushan Formation source rocks in the Manghan Chaoke Section of YinYE Basin, it is clear that the water body of the source rocks of the Amushan Formation in the Manghan Chaoke section was deep in the original sedimentary period, and the sedimentary environment was reductive and oxidizing, and mainly in the reducing environment. Organic matter enrichment belongs to "productivity model". The organic matter mainly comes from algae, plankton and other lower aquatic organisms, and the source rock is in the mature to low mature stage. The systematic study on biomarkers of source rocks of Amushan Formation in ManghanChaoke area plays an important role in the objective evaluation of hydrocarbon generation potential of source rocks of Amushan Formation in YinYE Basin.

Keywords: Manghanchaoke region; Amushan Formation; source rocks; biomarker; sedimentary Environment; organic matter enrichment model

银额盆地在西北地区东部,地理位置属甘肃—内蒙古西部,是中国陆域油气勘探与调查工作程度较低的地区之一(康玉柱, 2008; 卢进才等, 2011; 余琪祥, 2016; 魏建设等, 2020)。自 2007 年开始,自然资源部中国地质调查局在银额盆地开展了以石炭系—二叠系为主要目的层的油气基础地质调查,证实了盆地石炭系—二叠系中发育多套浅海陆棚相暗色泥页岩,其中,阿拉善右旗芒罕超克剖面为盆地周缘发现的最优质烃源岩之一,通过烃源岩正构烷烃、异构烷烃、萜烷类、藿烷类和甾烷类等生物标志化合物特征研究,进一步明确了烃源岩的原始沉积环境、有机质来源与热演化程度等地质意义,为银额盆地阿木山组石油地质条件研究提供了基础。

1 区域地质背景

银额盆地是中生代和古生代叠合盆地(魏建设等, 2018, 2020; 姜亭等, 2022),在石炭纪—二叠纪经历了海陆演化阶段(任纪舜等, 1999; 卢进才等, 2012; Xiao et al., 2015)。其中,晚石炭世阿木山期是银额盆地发育的鼎盛时期,沉积了厚度较大、以浅海陆棚相泥岩沉积为主的碎屑岩+碳酸盐岩(赵省民等, 2010),阿木山组是烃源岩分布最广的层位之一(魏仙祥等, 2011)。芒罕超克剖面在银额盆地的巴丹吉林沙漠腹地,地理位置属阿拉善右旗塔木素布拉格苏木中部(图 1),阿木山期构造单元属北山—巴丹吉林裂谷裂陷盆地的柳

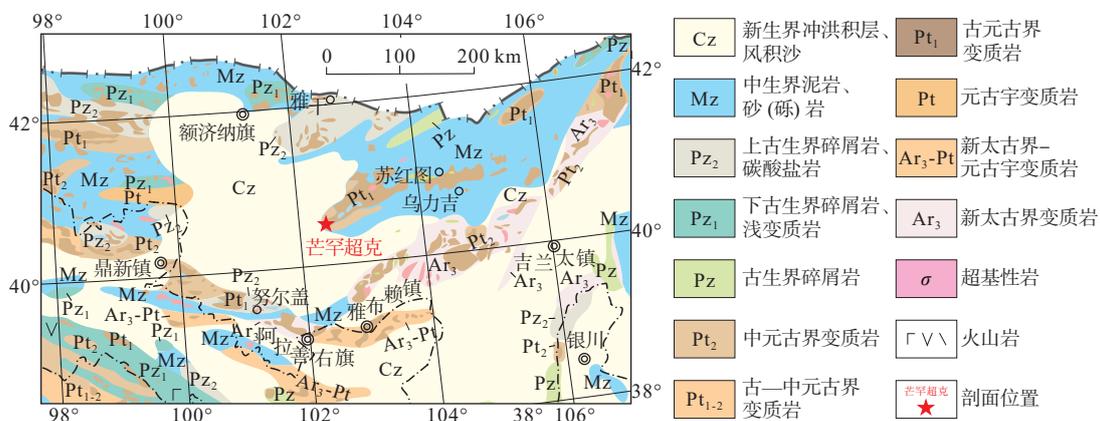


图1 芒罕超克剖面位置图(卢进才等, 2011)

Fig. 1 Location map of Manghanchaoke section

园-巴丹吉林坳陷带,是银额盆地石炭系阿木山组出露最全的剖面之一。且该剖面暗色泥岩发育,有机质丰度高、干酪根类型较好,是银额盆地优质烃源岩垂向分布最集中的剖面之一(魏仙祥等, 2011)。

2 烃源岩特征

芒罕超克剖面阿木山组为一个完整的沉积旋回,底部为滨海相沉积,中部为浅海-滨海相沉积,顶部为开阔台地相沉积,其中,第二岩性段(5~15层)代表了裂谷盆地的鼎盛时期,发育一套厚度较大的浅海陆棚相暗色泥岩(魏仙祥等, 2011),为银额盆地烃源岩发育的主要层段,灰黑色泥岩集中分布在第二岩性段,累计厚度 180.83 m,占地层厚度的 20.7%。

芒罕超克剖面阿木山组第二岩性段发育的浅海陆棚相暗色泥岩与粉砂质泥岩,有机碳含量中等-较高,泥岩垂向集中分布的特点,以 II 型干酪根为主,为该区域优质烃源岩最发育的剖面之一。烃源岩的镜质组反射率(R_o)介于 3.03%~3.49%,平均为 3.26%,表明烃源岩处于过熟阶段,主要是热接触变质作用和的动力变质作用造成的(魏仙祥等, 2011)。

3 样品采集与分析

样品均采自银额盆地腹地芒罕超克石炭系阿木山组剖面,岩性主要为灰黑色粉砂质泥岩、泥岩。为减少风化作用对烃源岩有机质的影响,采样时采用铁锹、镐等工具挖开表面风化层采集深度 1 m 左右的新鲜样品。采集的样品送到长江大学地球化学实验室进行系统的有机地球化学分析。

样品粉碎之前,先清理表面污染物,再用乙醇试剂清洗样品表面,最后将样品粉碎至 100 目。生物标志化合物数据来源于饱和烃气相色谱-质谱(GC-MS)和饱和烃气相色谱(GC)分析测试结果,具体测试方法如下(王炳凯等, 2017)。

(1)饱和烃气相色谱(GC):采用 Agilent 公司的 7890A 型气相色谱仪,配备氢火焰离子检测器(FID),色谱柱是 HP-5 型(30 m×0.25 mm×0.25 μ m);进样口和检测器的温度均是 300 $^{\circ}$ C;无分流进样法,氮气为载体气。进行饱和烃分析测试时,色谱柱箱开始温度 80 $^{\circ}$ C, 2 min 以后以 4 $^{\circ}$ C/min 将温度升高至 290 $^{\circ}$ C,并维持 25 min(王炳凯等, 2017)。

(2)饱和烃气相色谱-质谱(GC-MS):采用 Agilent 公司的 6890-5975C 型质谱仪,色谱分离柱是 HP-5MS 型(30 m×0.25 mm×0.25 μ m);无分流进样法,进样室温度为 310 $^{\circ}$ C,色谱柱箱开始温度为 50 $^{\circ}$ C, 1 min 以后以 20 $^{\circ}$ C/min 将温度升高至 100 $^{\circ}$ C,再以 3 $^{\circ}$ C/min 将温度升高至 315 $^{\circ}$ C 并保持 16 min,载体气为氦气。质谱仪器的离子源是电子轰击源(70 eV),扫描区间为 50~650 U(王炳凯等, 2017)。

4 生物标志化合物特征

4.1 正构烷烃

正构烷烃是多数烃源岩抽提物中最丰富的烃类。正构烷烃系列分布与组成特征,可以很好反映烃源岩母源输入的差异性、沉积环境和成熟度等相关特征(姜乃煌等, 1994; Peters et al., 2005; 卢双舫等, 2008; 魏建设等, 2019)。正构烷烃的轻重烃比($nC_{21}+nC_{22}$)/($nC_{28}+nC_{29}$)和 $\Sigma nC_{21}^-/\Sigma nC_{22}^+$ 能够有效反应烃源岩的原始沉积环境,当 $\Sigma nC_{21}^-/\Sigma nC_{22}^+$ 和 $(nC_{21}+nC_{22})/(nC_{28}+nC_{29})$ 比值较大时,表明低碳数烃类占据优势,指示水体较深,以低等水生生物供给为主;比值较小时指示水体较浅,主要为陆源生物供给。OEP 和 CPI 一般可以作为烃源岩演化程度的判别指标, OEP 或 CPI 明显大于 1.0(如大于 1.2)时指示具有奇碳优势,一般表明样品未成熟,明显低于 1.0(如小于 0.8)时具有偶碳优势,指示样品处于成熟阶段(Peters et al., 2005)。

芒罕超克剖面的石炭系阿木山组烃源岩正构烷烃存在较宽的峰范围,碳数范围大致分布于 $nC_{15} \sim nC_{37}$,为前峰单峰类型,主峰碳处于 $nC_{17} \sim nC_{24}$ (表 1, 图 2、图 3),说明了该套烃源岩物源以藻类等低等浮游生物供给为主。

$\Sigma nC_{21}^-/\Sigma nC_{22}^+$ 正构烷烃主要分布在 0.37~12.26,且其中 57.9% 的样品 $\Sigma nC_{21}^-/\Sigma nC_{22}^+$ 大于 1(图 4), $(nC_{21}+nC_{22})/(nC_{28}+nC_{29})$ 介于 2.12~39.59,正构烷烃轻重比表明烃源岩饱和烃轻质组分含量高于重质烃类,低碳数烃类占优势,反应烃源岩沉积时期水体较深,有机质大部分来自低等水生生物。烃源岩 OEP 为 0.87~1.64(表 1),平均为 1.11, 78% 的样品 OEP 小于 1.2; CPI 为 0.79~1.85(表 1),平均为 1.25, 57% 的样品 CPI 值大于 1.2,指示烃源岩具有奇偶均势-奇碳优势的特点,表明烃源岩处于成熟-低成熟阶段(图 5)。烃源岩的镜质体反射率表明该套烃源岩处于过成熟阶段(魏仙

表 1 芒罕超克剖面石炭系阿木山组烃源岩饱和烃色谱数据表

Tab. 1 Saturated hydrocarbon chromatographic data table of Carboniferous Amushan Formation source rocks in Manhanchaoke section

样品编号	碳数范围	主峰碳	Pr (%)	Ph (%)	Pr/Ph	OEP	CPI	Pr/nC ₁₇	Ph/nC ₁₈	$\Sigma nC_{21}/\Sigma nC_{22}$	$nC_{21}+nC_{22}/nC_{28}+nC_{29}$	Ts/Ts+Tm
09YMH-S24	nC ₁₅ ~nC ₃₅	nC ₁₈	8.75	8.70	1.01	1.06	1.18	0.98	0.96	1.51	6.40	0.44
09YMH-S27	nC ₁₆ ~nC ₃₁	nC ₂₀	7.81	8.49	0.92	0.94	1.22	0.99	0.81	1.91	9.77	0.46
09YMH-S34	nC ₁₃ ~nC ₃₆	nC ₁₇	4.08	4.36	0.94	1.15	1.01	0.45	0.48	1.33	5.71	0.44
09YMH-S38	nC ₁₆ ~nC ₃₂	nC ₁₈	12.37	12.39	1.00	0.98	0.79	1.33	1.15	2.24	39.59	0.45
09YMH-S42	nC ₁₆ ~nC ₂₉	nC ₂₄	6.73	6.97	0.97	1.02	1.48	1.37	1.43	0.37	5.42	0.44
09YMH-S45	nC ₁₃ ~nC ₃₇	nC ₂₀	5.01	4.40	1.14	0.96	1.06	1.08	1.04	0.44	5.30	0.43
09YMH-S49	nC ₁₆ ~nC ₂₈	nC ₁₇	13.45	14.03	0.96	1.46	1.31	1.40	1.52	1.57	18.91	0.42
09YMH-S53	nC ₁₆ ~nC ₂₉	nC ₂₄	7.36	7.92	0.93	1.00	1.52	1.29	1.29	0.56	5.05	0.41
09YMH-S58	nC ₁₆ ~nC ₂₉	nC ₂₄	6.40	6.91	0.93	1.01	1.53	1.43	1.38	0.42	7.04	0.45
09YMH-S65	nC ₁₆ ~nC ₂₇	nC ₂₃	9.54	10.31	0.93	1.14	1.85	1.48	1.45	0.71	/	0.45
09YMH-S70	nC ₁₅ ~nC ₃₀	nC ₁₇	19.55	12.14	1.61	1.59	1.23	1.00	1.33	5.81	13.25	0.44
09YMH-S75	nC ₁₅ ~nC ₂₉	nC ₁₇	21.05	14.18	1.48	1.64	1.41	1.03	1.53	6.83	5.65	0.44
09YMH-S82	nC ₁₅ ~nC ₂₉	nC ₁₇	19.06	14.88	1.28	1.35	1.37	0.96	1.31	12.26	7.87	0.44
09YMH-S85	nC ₁₆ ~nC ₂₉	nC ₂₂	4.69	6.53	0.72	1.00	1.38	1.28	1.11	0.97	11.45	0.47
09YMH-S92	nC ₁₅ ~nC ₃₇	nC ₂₀	4.04	6.03	0.67	0.87	1.05	0.89	0.81	0.82	4.15	0.49
09YMH-S95	nC ₁₅ ~nC ₃₆	nC ₂₁	3.91	7.09	0.55	1.06	1.07	1.14	1.29	0.60	2.12	0.49
09YMH-S98	nC ₁₅ ~nC ₃₇	nC ₁₈	8.07	11.50	0.70	0.97	0.95	1.06	1.28	1.41	11.68	0.44
09YMH-S103	nC ₁₆ ~nC ₂₉	nC ₂₀	4.94	8.21	0.60	0.97	1.40	1.09	0.88	1.56	10.32	0.50
09YMH-S106	nC ₁₅ ~nC ₃₇	nC ₂₀	6.21	9.27	0.67	0.99	0.94	1.07	1.13	1.13	9.86	0.52

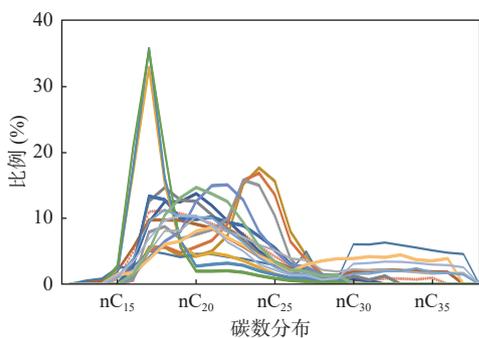


图 2 芒罕超克剖面石炭系阿木山组烃源岩正构烷烃分布图

Fig. 2 Distribution map of n-alkanes of Carboniferous Amushan formation source rocks in Manghanchaoke section

样等, 2011), 镜质体反射率与生物标志化合物指示烃源岩演化程度的差异是由于镜质体反射率受构造活

动影响较大, 生物标志化合物的碳骨架较稳定, 能够有效反应烃源岩的原始有机质成熟度, 综合正构烷烃分布特征、镜质组反射率及区域地质背景特征分析认为, 银额盆地构造活动较弱地区阿木山组烃源岩以处于成熟阶段为主。

4.2 异构烷烃姥鲛烷与植烷

姥鲛烷(Pr)和植烷(Ph)的分布特征有效指示烃源岩的原始沉积环境条件, 强还原性膏盐沉积环境 $Pr/Ph < 0.5$, 还原环境 Pr/Ph 处于 $0.5 \sim 1.0$, 弱还原-弱氧化环境 Pr/Ph 处于 $1.0 \sim 2.0$, $Pr/Ph > 2.0$ 指向偏氧化沉积环境条件(Chen et al., 1996; Hao et al., 2009; 董君妍等, 2017; 魏建设等, 2019)。芒罕超克阿木山组烃源岩 Pr/Ph 大多处于 $0.55 \sim 1.61$, 平均为 0.95, 其中 68.4% 的样品 Pr/Ph 处于 $0.5 \sim 1.0$ (表 1), 指示其处于

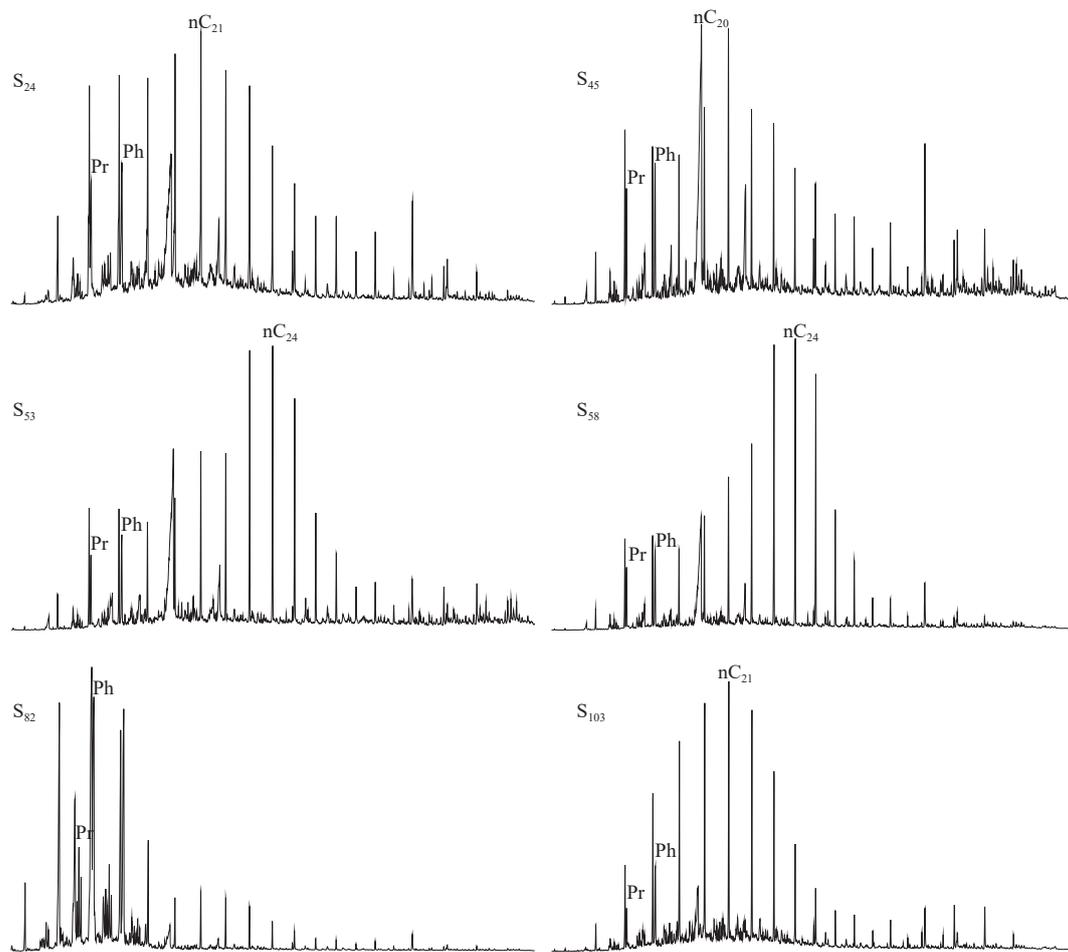


图3 烃源岩总离子流(TIC)图

Fig. 3 Total ion current diagram (TIC) of the source rocks

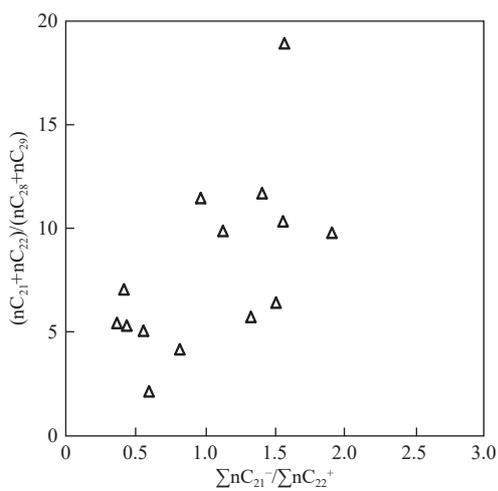


图4 烃源岩 $\frac{\sum nC_{21}^-}{\sum nC_{22}^+} - \frac{(nC_{21}+nC_{22})}{(nC_{28}+nC_{29})}$ 相关图

Fig. 4 Correlagram of $\frac{\sum nC_{21}^-}{\sum nC_{22}^+} - \frac{(nC_{21}+nC_{22})}{(nC_{28}+nC_{29})}$ of the source rocks

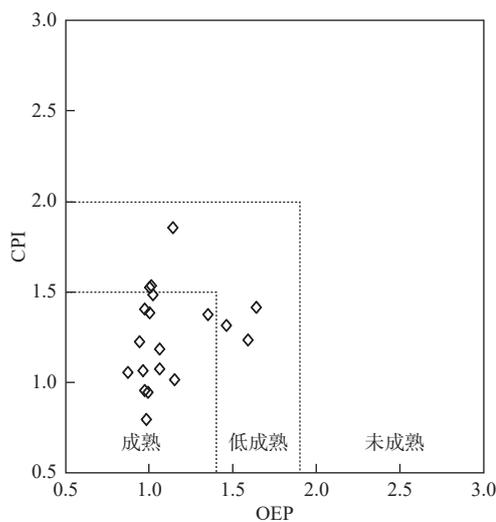


图5 烃源岩 OEP 与 CPI 判断烃源岩成熟度

Fig. 5 Judgement of the maturity of the source rocks by OEP&CPI

还原-氧化环境,并以还原环境为主。 Pr/nC_{17} 与 Ph/nC_{18} 关系,也反映出烃源岩的原始沉积环境为氧化-还原环境(图6)。

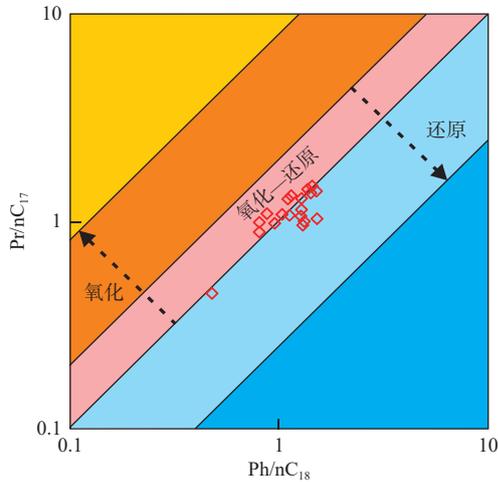


图6 烃源岩 Pr/nC_{17} 与 Ph/nC_{18} 关系图

Fig. 6 Relation diagram of Pr/nC_{17} & Ph/nC_{18} of the source rocks

4.3 藿烷类化合物特征

水生生物有机质中三环藿烷丰富。在沉积有机质中,三环藿烷的含量一般呈现出 $C_{19} < C_{20} < C_{21}$ 的特征, C_{21} 和 C_{23} 基本均势或者其中一个稍高的特征。四环藿烷与陆源有机质的输入有很强的相关性,四环藿烷也是提供陆源有机质的重要标志(姜乃煌等,1994;卢双舫等,2008)。Ts和Tm是相对比较稳定的藿烷类化合物,二者与热演化具有相关性,随着热演化程度的升高,Ts/(Ts+Tm)值也随之增大,一般在生油阶段晚期达到0.5。因此,藿烷系列化合物中的Ts/(Ts+Tm)通常可作为烃源岩成熟度的判别参数(翟光明等,1993)。芒罕超克剖面石炭系阿木山组烃源岩藿烷类化合物以三环藿烷居多,未检出四环藿烷,表明陆源有机质对烃源岩的供给较少。烃源岩 C_{19} 三环藿烷浓度较低, C_{23} 三环藿烷浓度则较高, $C_{19}/C_{21} < 0.2$, $C_{19}/C_{23} < 0.2$ (图7), C_{19} 、 C_{21} 、 C_{23} 三环藿烷的分布类型呈现明显“上升”的趋势(图8)。

芒罕超克剖面石炭系阿木山组烃源岩藿烷类生物标志化合物特征较为相似(图9),均以 C_{30} 藿烷占优势,均具有较高的 C_{29} 降藿烷,均检测出Ts、Tm、 C_{29} Ts、 C_{30} 莫烷和伽玛蜡烷等化合物,且呈现出Tm略大于Ts特征,Ts/(Ts+Tm)为0.41~0.52,平均值为0.45(表1),反映了该套烃源岩达到成熟阶段,且原始沉积环境为还原环境。

4.4 甾烷类化合物特征

甾烷类化合物是判别有机质母质来源和成熟度

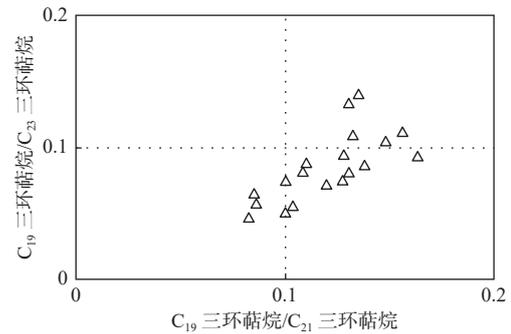


图7 烃源岩三环藿烷比值关系图

Fig. 7 Tricyclic terpene ratio diagram of the source rocks

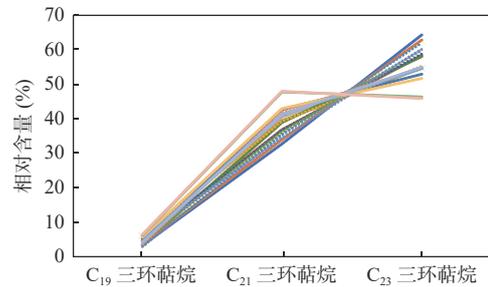


图8 烃源岩三环藿烷分布折线图

Fig. 8 Line diagram of tricyclic terpene distribution in the source rocks

的关键生物标志化合物(Peter et al., 2005; 卢双舫等, 2008)。规则甾烷(C_{27} 、 C_{28} 和 C_{29})相对含量可以有效指示有机质的物源构成。以往研究表明, C_{27} 甾烷(和 C_{28} 甾烷)通常来自低等水生生物的贡献, C_{29} 甾烷主要来自高等植物和藻类的贡献(Peters et al., 2005; 卢双舫等, 2008)。芒罕超克剖面石炭系阿木山组19件烃源岩的甾烷类化合物分布形态类似,呈现出孕甾烷显著大于升孕甾烷,规则甾烷以 C_{27} 甾烷略占优势,呈正“L”形态分布为主的特征(图9),表明有机质大部分来自于浮游生物和藻类,并且有一定的高等植物贡献(图10)。

5 有机质富集模式

有机质富集是一项复杂的物理化学系统过程,根据不同的影响机制,可分为“生产力模式型”和“保存模式型”(林晓慧等,2019)。生产力模式型表现为富集主要因素是其有机质输入,即古生产力和古气候等因素(Tyson, 2005);保存模式型表现为决定有机质保存的主要因素是沉积的水化学条件、沉积速率等,沉积速率大、高盐度和缺氧的水体环境会促成有机质

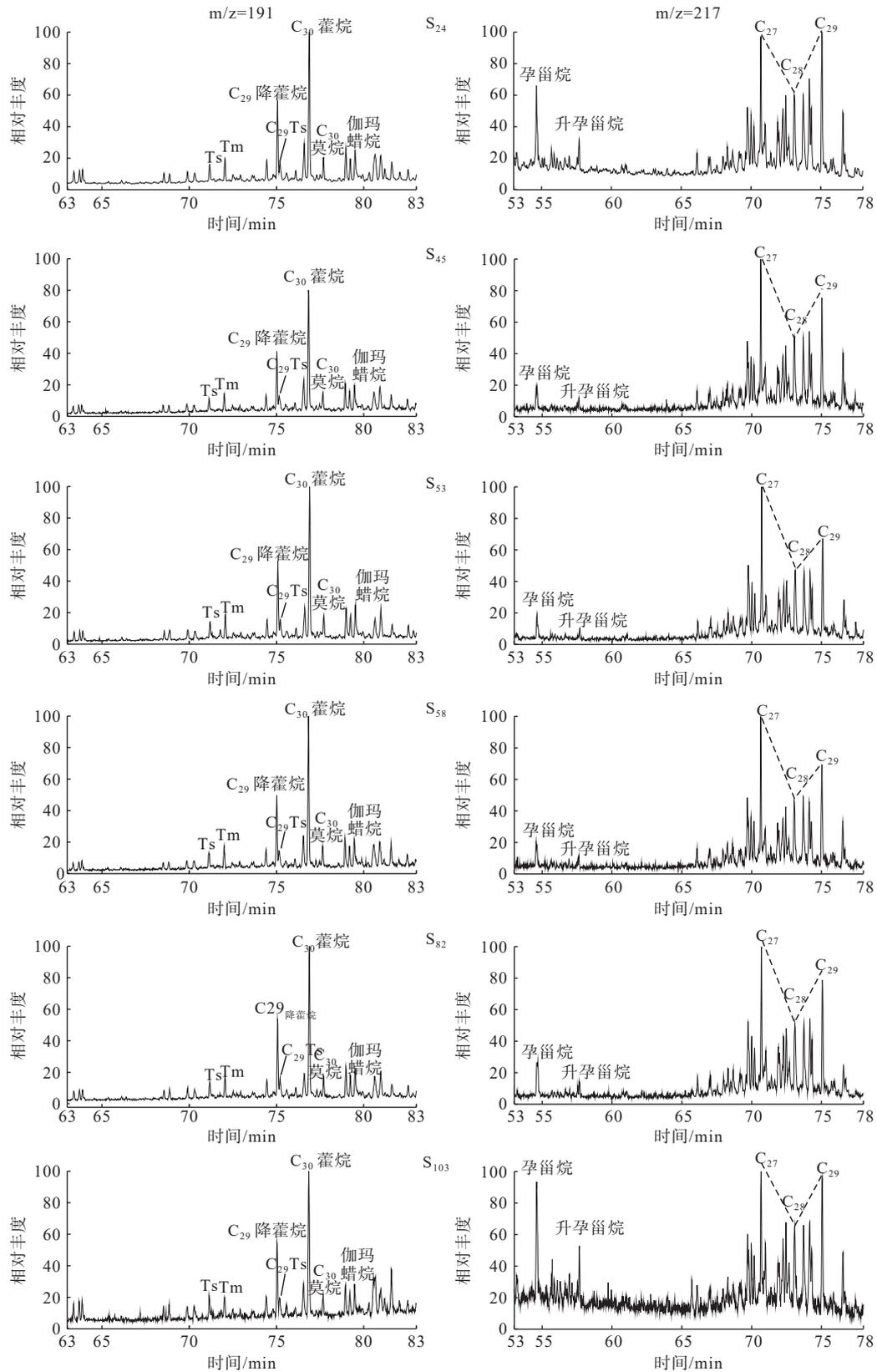


图9 烃源岩饱和烃色谱质谱图

Fig. 9 Saturated hydrocarbon chromatography-mass spectrometry of the source rocks

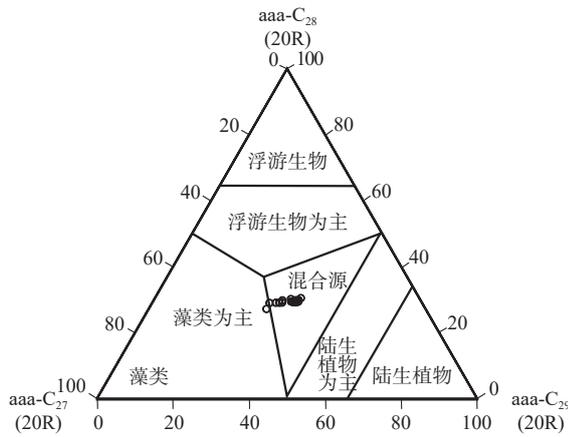


图10 烃源岩甾烷三角图

Fig. 10 Sterane triangular graph of the source rocks

的富集(Holfmann et al., 2000)。阿木山组沉积时期是巴丹吉林裂谷盆地发育的鼎盛时期,沉积了厚度巨大的浅海陆棚亚相的暗色泥岩,该套暗色泥岩有机质富集是氧化-还原条件、古气候和古生产力等诸多因素共同作用的结果(图 11),表明该套有机质富集属“生产力模式型”。

由于芒罕超克剖面阿木山期属柳园-巴丹吉林坳陷带构造单元,阿木山组沉积时期为浅海陆棚相沉积环境,有利于有机质的富集。阿木山期是银额盆地沉积范围最大的时期,且浅海陆棚相沉积范围较大,烃源岩分布广泛,有机质较富集,烃源岩生烃潜力较大,指示了银额盆地油气资源前景较好。

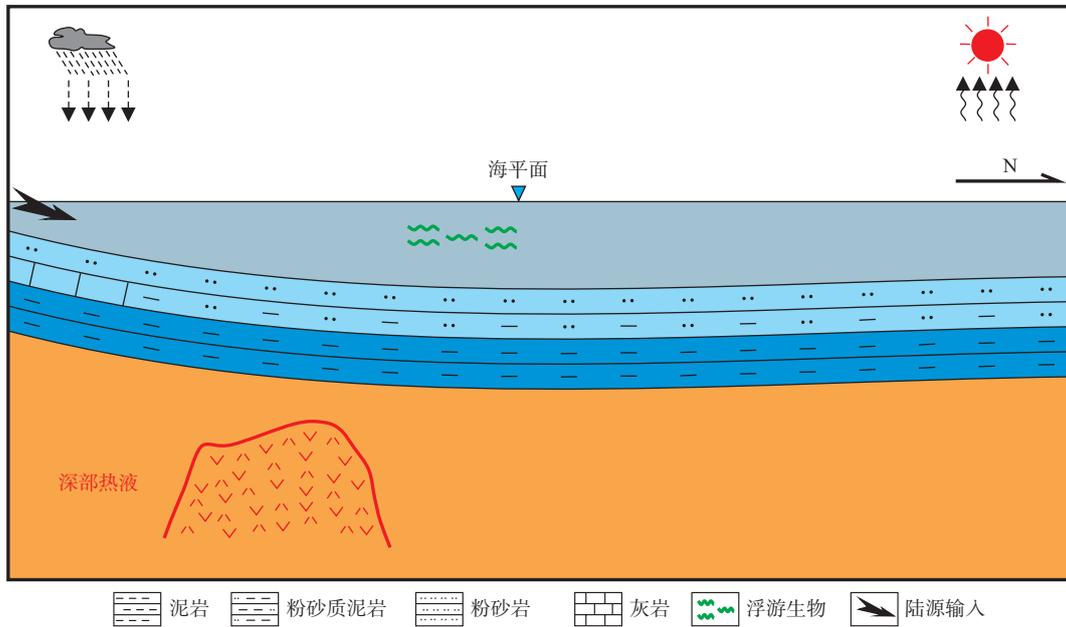


图11 芒罕超克阿木山组暗色泥岩有机质富集模式图

Fig. 11 Organic matter enrichment model in the dark mudstone of Amushan Formation in Manghanchaoke

6 结论

(1) 芒罕超克地区石炭系阿木山组烃源岩原始沉积环境为还原-氧化环境,且以还原环境为主,属“生产力模式型”有机质富集模式。

(2) 正构烷烃轻重比、甾烷系列化合物特征等反映了该套烃源岩原始沉积时期水体较深,且有机质主要来自藻类和浮游生物等低等水生生物的贡献,高等植物的贡献较少。

(3) OEP、CPI 及萜类化合物特征,表明芒罕超克阿木山组烃源岩处于成熟-低成熟阶段,结合区域地

质特征认为,银额盆地石炭系阿木山组烃源岩以成熟为主。

(4) 烃源岩地球化学及生物标志化合物特征综合表明,芒罕超克地区阿木山组烃源岩还原-氧化(以还原为主)的原始沉积环境有利于有机质的富集,烃源岩有机质丰度较高、干酪根类型好,演化程度适中,烃源岩生烃潜力大,指示银额盆地石炭系阿木山组具有较好的油气资源潜力。

致谢: 感谢审稿专家们为本文提出的修改意见,同时项目组同志参与了烃源岩样品采集、整理与送样工作,长江大学地球化学实验室完成了烃源岩样品分析测试工作,在此对相关人员的辛勤付出一并

致以诚挚的谢意。

参考文献(References):

- 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.
- 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, 15(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.
- 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.
- 林晓慧, 詹兆文, 邹艳荣, 等. 准噶尔盆地东南缘芦草沟组油页岩元素地球化学特征及沉积环境意义[J]. 地球化学, 2019, 48(1): 67–78.
- LIN Xiaohui, ZHAN Zhaowen, ZOU Yanrong, et al. Elemental geochemical characteristics of the Lucaogou Formation oil shale in the southeastern Junggar Basin and its depositional environmental implications[J]. *Geochimica*, 2019, 48(1): 67–78.
- 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, 魏仙祥, 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, 2008: 171–191.
- 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.
- 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.
- 王炳凯, 冯乔, 田方正, 等. 新疆准噶尔盆地南缘二叠系芦草沟组烃源岩生物标志化合物特征及意义[J]. 地质通报, 2017, 36(Z1): 304–313.
- WANG Bingkai, FENG Qiao, TIAN Fangzheng, et al. The characteristics and significance of biomarker compounds in the Permian Lucaogou Formation hydrocarbon source rock on the southern margin of the Junagar Basin[J]. *Geological Bulletin of China*, 2017, 36(Z1): 304–313.
- 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, 王宝文, 乔世海, 等. 内蒙古西部额济纳旗希热哈达地区二叠系页岩油(气)地质条件初探[J]. 西北地质, 2018, 51(3): 200–213.
- WEI Jianshe, WANG Baowen, QIAO Shihai, et al. A Preliminary Study on the Geological Conditions of the Permian Shale Oil(Gas) in Xirehada Area, Western Inner Mongolia[J]. *Northwestern Geology*, 2018, 51(3): 200–213.
- 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 Cor-

- relation[J]. *Northwestern Geology*, 2019, 52(3): 181–193.
- 魏仙样, 陈高潮, 魏建设, 等. 内蒙古西部阿拉善右旗芒罕超克地区上石炭统—下二叠统阿木山组烃源岩的特征[J]. *地质通报*, 2011, 30(6): 879–887.
- WEI Xianyang, CHEN Gaochao, WEI Jianshe, et al. Characteristics of hydrocarbon source rocks in Amushan Formation in Manghan-chaoke region of Alxa Right Banner, western Inner Mongolia[J]. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(6): 879–887.
- 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.
- 翟光明, 王慎言, 史训知, 等. 中国石油地质志: 卷 15[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993: 57–98.
- ZHAI Guangming, WANG Shenyan, SHI Xunzhi, et al. Petroleum geology of China (Vol5) [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1993: 57–98.
- 赵省民, 陈登超, 邓坚, 等. 内蒙古西部银根—额济纳旗地区石炭纪—二叠系碳酸盐岩沉积模式及其石油地质意义[J]. *地质通报*, 2010, 29(2/3): 351–359.
- ZHAO Xingmin, CHEN Dengchao, DENG Jian, et al. Depositional models of the Permo-Carboniferous carbonate rocks and their significance in Yingen-Ejinaqi area, Inner Mongolia, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 2010, 29(2/3): 351–359.
- 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(6): 1528–1542.
- Holfmann P, Ricken W, Schwark L. Carbon-sulfur-iron relationships and ^{13}C of organic matter for late Albian sedimentary rocks from north Atlantic Ocean: Paleooceanographic implications[J]. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol*, 2000, 163(3): 97–113.
- 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.
- Tyson R V. The “Productivity Versus Preservation” Controversy: Cause, Flaws, and Resolution[M]. *The Deposition of Organic-Carbon-Rich Sediments: Models, Mechanisms, and Consequences*, HARRIS NICHOLAS B, SEPM Society for Sedimentary Geology, 2005, 82:7–33.
- 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.