



东海陆架盆地椒江凹陷月桂峰组湖相烃源岩特征及发育主控因素

张彦振, 覃 军, 王 雷, 常文琪, 徐靖琦

Characteristics and main controlling factors of lacustrine source rocks of Yueguifeng Formation in the Jiaojiang Sag, East China Sea Shelf Basin

ZHANG Yanzhen, QIN Jun, WANG Lei, CHANG Wenqi, and XU Jingqi

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16562/j.cnki.0256-1492.2023102302>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

椒江凹陷下古新统月桂峰组半深湖—深湖相烃源岩综合识别与分布预测

Comprehensive recognition and distribution prediction of semi-deep and deep lacustrine source rock of the Lower Paleocene Yueguifeng Formation in Jiaojiang Sag

海洋地质与第四纪地质. 2024, 44(2): 199–209

东海西湖凹陷孔雀亭地区平湖组沉积相演变及其主控因素分析

Facies evolution and its controlling factors of the Pinghu Formation in the Kongqueting area of Xihu Depression, the East China Sea

海洋地质与第四纪地质. 2022, 42(2): 119–130

东海陆架盆地丽水凹陷热演化模拟及现今地温场特征

Thermal evolution modeling and present geothermal field of the Lishui Sag of East China Sea Basin

海洋地质与第四纪地质. 2020, 40(2): 124–134

中国近海断拗转换期煤系烃源岩特征——以西湖凹陷平湖组烃源岩为例

Coal-bearing source rocks formed in the transitional stage from faulting to depression nearshore China——A case from the Pinghu Formation in the Xihu Sag

海洋地质与第四纪地质. 2019, 39(6): 102–114

西湖凹陷平北地区平湖组下段烃源岩分布地震预测

Seismic prediction of source rock distribution in the Lower Member of Pinghu Formation in the Pingbei area of Xihu Sag

海洋地质与第四纪地质. 2022, 42(1): 170–183

南黄海地区二叠系孤峰组硅质烃源岩的地球化学特征及上升流成因

Geochemical characteristics and upwelling origin of siliceous source rocks in the Permian Gufeng Formation of the South Yellow Sea area

海洋地质与第四纪地质. 2023, 43(1): 138–158



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

张彦振, 覃军, 王雷, 等. 东海陆架盆地椒江凹陷月桂峰组湖相烃源岩特征及发育主控因素 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2024, 44(4): 134-144.
ZHANG Yanzhen, QIN Jun, WANG Lei, et al. Characteristics and main controlling factors of lacustrine source rocks of Yueguifeng Formation in the Jiaojiang Sag, East China Sea Shelf Basin[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2024, 44(4): 134-144.

东海陆架盆地椒江凹陷月桂峰组湖相烃源岩特征及发育主控因素

张彦振, 覃军, 王雷, 常文琪, 徐靖琦

中海石油(中国)有限公司上海分公司, 上海 200335

摘要: 20 世纪 90 年代在椒江凹陷钻探发现了油气显示, 揭示了油气勘探前景, 但此后该凹陷研究较少, 尤其是烃源岩缺乏系统研究, 制约了勘探进程。为了厘清椒江凹陷月桂峰组烃源岩特征及发育模式, 为该凹陷下步勘探部署提供依据, 本文从梳理月桂峰组构造-沉积背景出发, 利用有机岩石学、生物标志化合物、微量元素等地球化学资料分析了烃源岩特征, 在此基础上从古生产力、保存条件、沉降速率三方面讨论了月桂峰组有机质富集的控制因素, 建立了烃源岩发育模式。研究表明: 月桂峰组烃源岩为陆相箕状断陷湖泊背景下发育的暗色泥岩, 有机质类型 II 1-II 2 型, 有机质丰度按行业标准达到好—很好, 纵向上湖扩期烃源岩厚度最大、分布最广、品质最好; 优质烃源岩发育受水生生物发育、半封闭的稳定水体-微咸水环境和适中的构造沉降速率共同控制; 箕状断陷背景下缓坡带和洼槽带均发育烃源岩, 但二者类型和丰度不同, 洼槽带发育水生生物贡献为主、偏还原环境下形成的中深湖相优质烃源岩, 缓坡带发育陆源高等植物贡献为主、偏氧化环境下形成的滨浅湖相中等烃源岩。

关键词: 湖相烃源岩; 主控因素; 椒江凹陷; 月桂峰组

中图分类号: P736

文献标识码: A

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2023102302

Characteristics and main controlling factors of lacustrine source rocks of Yueguifeng Formation in the Jiaojiang Sag, East China Sea Shelf Basin

ZHANG Yanzhen, QIN Jun, WANG Lei, CHANG Wenqi, XU Jingqi

Shanghai Branch, CNOOC China limited, Shanghai 200335, China

Abstract: In the 1990s, oil and gas were discovered after drilling into the Jiaojiang Sag, East China Sea Shelf Basin, revealing the prospects for oil and gas exploration. However, since then, there has been little research on this sag, especially the lack of systematic research on the source rocks, which hinders the exploration process. To clarify the characteristics and development model of the source rocks of the Yueguifeng Formation in the Jiaojiang Sag and provide the basis for deploying further exploration wells, we summarized the tectonic and sedimentary background of the Yueguifeng Formation, and analyzed the characteristics of the source rock using geochemical data including organic petrology, biomarkers, and trace elements. Based on that, the controlling factors of the enrichment of organic matter in the Yueguifeng Formation were discussed from the aspects of paleo-productivity, preservation conditions, and sedimentation rate, and a model showing the formation of the source rock was established. Results show that the source rocks in the Yueguifeng Formation are dark gray lacustrine mudstone deposited in the continental half-graben, with kerogen type II1-II2, and the abundance of organic matter was rated good to very good in the industry standards. Source rocks deposited during the lake expansion are the thickest and have the widest distribution and the best quality. The development of high-quality source rocks requires abundant algal material, semi-closed stable water under slightly brackish conditions, and a moderate sedimentation rate. Source rocks are developed in both hanging wall and dip slope under the background of a graben shaped fault depression, but the types and abundance of the two are different. The depocenter developed good source rocks of middle-deep lacustrine facies, which was mainly contributed by algal organisms and formed in a relatively reduced environment. In contrast, the dip slope developed medium to shallow lacustrine facies, which was mainly contributed by terrestrial plants and formed in a relatively oxidized environment.

Key words: lacustrine facies source rock; controlling factors; Jiaojiang Sag; Yueguifeng Formation

资助项目: 中国海油“十四五”重大科技项目子课题“丽水-椒江凹陷早隆晚抬背景下烃源岩与运汇单元研究”(KJGG2022-0301)

作者简介: 张彦振(1986—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为储量评价、石油地质, E-mail: zhangyzh11@cnooc.com.cn

收稿日期: 2023-10-23; 改回日期: 2023-12-04. 周立君编辑

椒江凹陷是东海陆架盆地重要的勘探战场, 已钻探井在古新统月桂峰组钻遇 5.7 m 薄油层和湖相烃源岩, 证实凹陷具备基本的油气地质条件^[1]。长期以来, 对月桂峰组烃源岩的品质和规模认识不足制约了该凹陷的勘探进程。受油气勘探程度的制约, 前人研究多集中在椒江凹陷构造演化与沉积体系及物源等基础地质方面^[2-4], 少量有关月桂峰组湖相烃源岩的研究也仅针对其地球化学特征及生烃潜力研究^[5-7], 或将丽水-椒江作为整体进行构造、烃源及成藏研究^[8-10], 针对椒江凹陷主力源岩月桂峰组湖相泥岩的系统性研究相对薄弱, 本文利用地震、地化、地质等资料, 对椒江凹陷主力源岩月桂峰组湖相泥岩开展系统性研究, 明确月桂峰组湖相烃源岩发育受古生产、保存条件、沉降速率等因素控制, 建立烃源岩发育地质模式, 对该区带下步勘探具有指导意义。

1 区域地质概况

椒江凹陷地处东海陆架盆地西南部, 西邻浙闽隆起, 东接雁荡凸起, 南部与丽水凹陷相接, 北部是钱塘凹陷, 整个椒江凹陷面积为 3 500 km², 最大残余地层厚度 7 500 m, 是典型的中、新生代脊状断陷盆地, 总体具东断西超、东陡西缓的特征, 凹陷内部自西向东可划分为椒江 B 洼、金华低凸起和椒江 A 洼等 3 个 NE-SW 向的次级构造单元(图 1)。

椒江凹陷具有复合断陷的构造特征, 总体可划分为 4 个构造演化阶段: 晚白垩世至古新世的断陷

阶段(T_g-T_{80})、早中始新世的拗陷阶段($T_{80}-T_{40}$)、晚始新世至渐新世抬升剥蚀阶段($T_{40}-T_{20}$)和中新世以后的区域沉降阶段(T_{20} 至今)^[11], 与南部的丽水凹陷具有一定的可比性。椒江凹陷烃源岩发育和断裂演化发育决定了主力勘探层系为古新统月桂峰组、灵峰组、明月峰组, 与实钻结果油气显示和油层均位于古新统是一致的^[12-13](图 2)。区域上, 断陷早期的月桂峰组发育陆相淡水湖泊-三角洲沉积, 岩性以大套暗色泥岩、灰色粉砂岩夹细砂岩为主, 最大厚度近 3 000 m, 是该凹陷的主力烃源层段。断陷晚期的灵峰组和明月峰组总体发育滨浅海-三角洲沉积, 灵峰组上段和明月峰组下段发育受西部浙闽隆起大物源控制的三角洲厚层细砂岩, 是凹陷重要的储层发育层段; 灵峰组中段和明月峰组中段发育受区域海侵控制的巨厚滨浅海泥岩, 是凹陷的区域盖层。

2 样品与数据来源

椒江凹陷现有探井 5 口, 仅缓坡近洼区 J-4 井钻遇月桂峰组, 其余 4 口井钻在隆起或低凸起上, 没有钻遇月桂峰组。J-4 井为 1996 年钻探的老井, 多年多轮次的老井复查, 分析化验资料丰富、齐全, 本文烃源岩有机质丰度、氯仿沥青“A”实验数据来源于 1996 年海洋石油勘探开发研究中心、2003 年中国石油天然气股份有限公司中国石油勘探开发研究院实验中心; 有机质成熟度实验数据来源于 1996 年海洋石油勘探开发研究中心; 生物标志化合

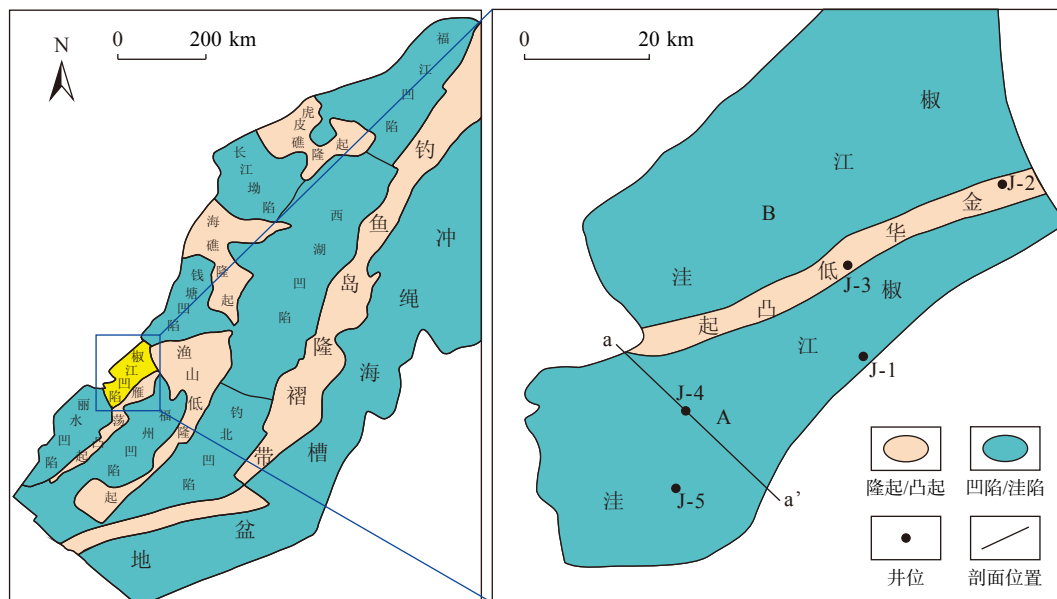


图 1 椒江凹陷构造位置及构造区划图

Fig.1 Tectonic background of the Jiaojiang Sag

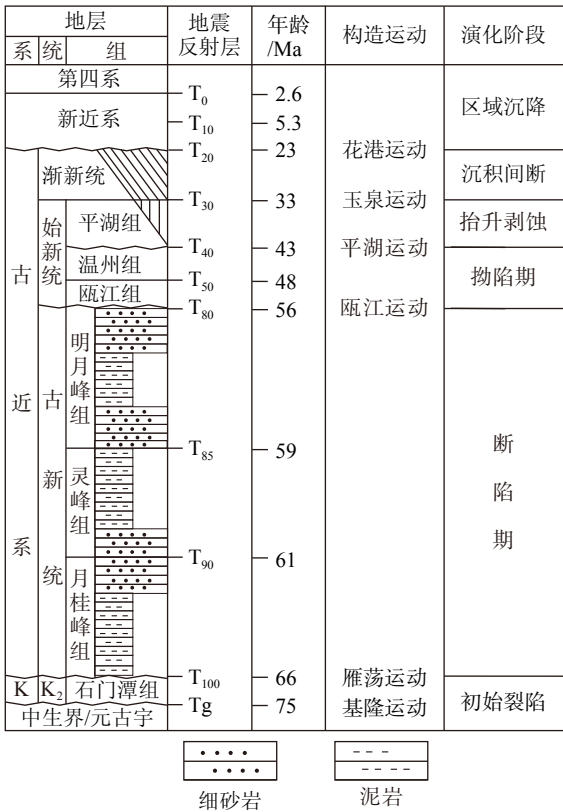


图 2 椒江凹陷地层综合柱状图

Fig.2 Chrono-stratigraphic chart of the Jiaojiang Sag

物实验数据来源于 2012 年长江大学实验室;无机元素实验数据来源于 2011 年天津地质矿产研究所;干酪根镜检数据来源于 2021 年中国地质大学(北京)能源实验中心;有机质孢藻屑及藻类组分含量实验数据来源于 2006 年同济大学海洋与地球科学学院。

3 烃源岩特征

3.1 岩相特征

断陷早期月桂峰组发育完整的三段式旋回,符合陆相断陷湖盆的一般演化规律。湖盆初始期(月桂峰组下段沉积期),断陷活动较弱,湖盆面积小而水浅,西部缓坡发育三角洲,向东逐渐过渡到滨浅湖沉积,东部陡坡发育陡坡扇与中深湖相沉积,中深湖相沉积范围较小(图 3a);湖盆扩张期(月桂峰组中段沉积期),断陷活动增强,可容纳空间进一步增加,湖盆面积大而水深,发育面积广阔的中深湖相沉积,缓坡三角洲沉积与陡坡扇三角洲沉积范围最小,为椒江凹陷优质烃源岩最发育期(图 3b);湖盆萎缩期(月桂峰组上段沉积期),断陷活动减弱,西部缓坡三角洲向洼推进,湖盆面积最小,中深湖相沉积范围最小(图 3c)。

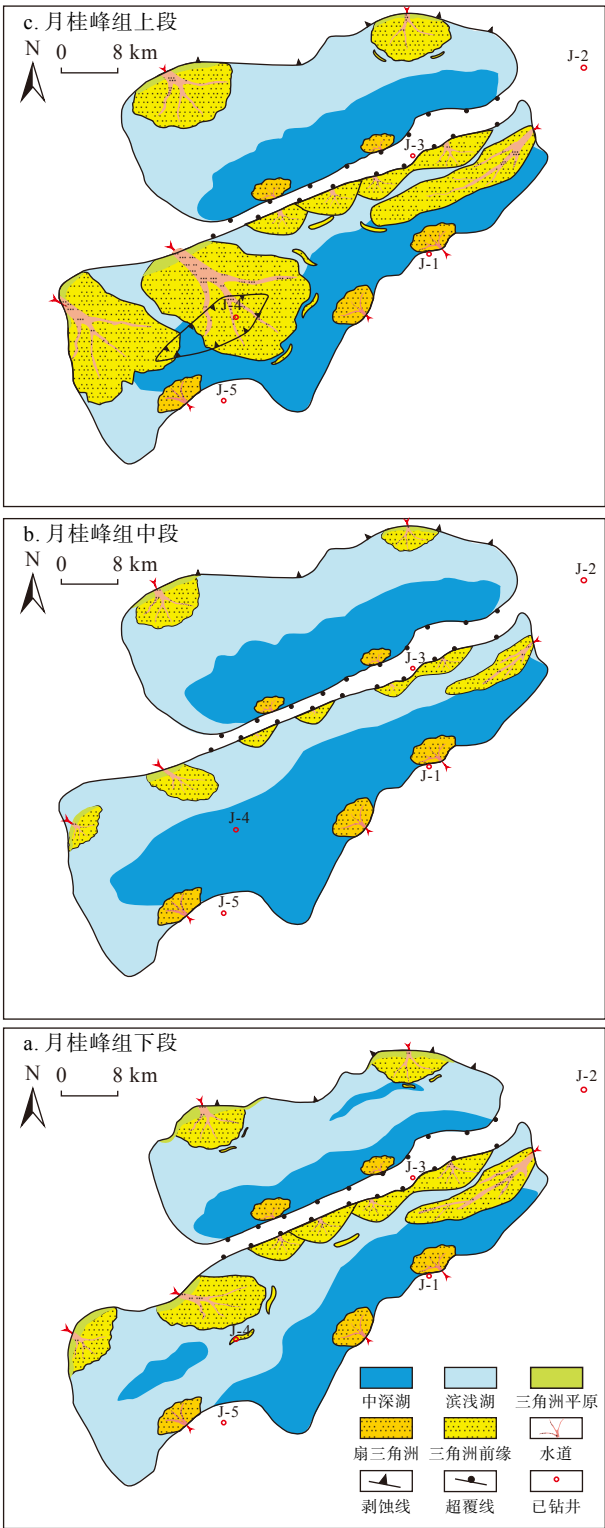


图 3 椒江凹陷月桂峰组沉积相

Fig.3 Sedimentary facies of the Yueguifeng Formation in the Jiaojiang Sag

J-4 井钻遇了月桂峰组残余地层(月桂峰组中下段),井区缺失月桂峰组上段地层。月桂峰组下段主要为三角洲前缘薄层浅灰色细砂岩与滨浅湖相厚层深灰色、灰色泥岩交互沉积,地层总厚度为

166.4 m, 泥岩总厚度为 125.3 m, 泥地比为 75.3%, 其中深灰色泥岩厚度 116.3 m; 月桂峰组中段主要为中深湖相厚层深灰色质纯泥岩, 地层总厚度为 107.8 m, 泥岩总厚度为 103.5 m, 泥地比为 96%, 其中深灰色泥岩厚度 101.2 m(图 4)。

3.2 有机质丰度及类型

有机质丰度是衡量烃源岩品质优劣的直接指标。结合各段有机质丰度特征, 对各段烃源岩有机质丰度进行了精细评价。椒江凹陷月桂峰组烃源岩有机质丰度特征显示, 月桂峰组中段泥岩有机碳(TOC)含量为 2.1%~4.6%, 平均为 3.1%; 生烃潜力(S_1+S_2)为 5.0~18.3 mg/g, 平均为 11.1 mg/g; 氯仿沥青“A”含量为 0.0587%~0.1138%, 平均为 0.0876%; 总烃(HC)含量为 $(322\sim593)\times10^{-6}$, 平均为 432×10^{-6} (图 5a、表 1)。月桂峰组下段泥岩 TOC 含量为 1.9%~3.2%, 平均为 2.5%; S_1+S_2 含量为 0.9~12.5 mg/g, 平均为 7.6 mg/g; 氯仿沥青“A”含量为 0.0341%~0.1327%, 平均为 0.0640%; 总烃含量为 $(174\sim598)\times10^{-6}$, 平均为 322×10^{-6} (图 5a、表 1)。因此, 依据陆相烃源岩的评价标准(SY/T5735-1995), 月桂峰组烃源岩总体为好—很好烃源岩, 纵向上, 月桂峰组中段各项指标明显优于月桂峰组下段, 是烃源岩发育最

好的层段。

烃源岩有机质类型是衡量有机质生烃演化性质的重要标志。烃源岩 HI-Tmax 的关系图揭示, 研究区月桂峰组以 II 1- II 2 型有机质为主, 少部分 III 型(图 5b), 生烃潜力良好; 月桂峰组中段和月桂峰组下段烃源岩干酪根类型无明显差异。月桂峰组烃源岩干酪根氧碳比(O/C)为 0.04~0.27, 氢碳比(H/C)为 0.52~1.47, 总体上以 II 型有机质为主。

3.3 有机质成熟度

有机质成熟度是反映有机质向烃类转化程度的重要指标。椒江凹陷已钻井揭示月桂峰组烃源岩有机质 Ro 为 0.43%~0.58%, 平均 0.50%, (图 6a), 处于未成熟—低成熟, 尚未开始大量生烃。究其原因, 样品点主要来源于西部缓坡近洼区 J-4 井, 井区月桂峰组埋藏深度 2260~2540 m, 埋藏相对较浅, 成熟度总体偏低, 东侧椒江 A 洼洼中月桂峰组烃源岩埋深大, 普遍在 3000 m 以深, 最大可达 7000 m, 按照地温梯度 3.0℃/100m、II 型干酪根估算, 已达成熟—高成熟阶段^[4](图 6b)。

3.4 生物标志物特征

烃源岩正构烷烃的峰型分布可以反映有机质

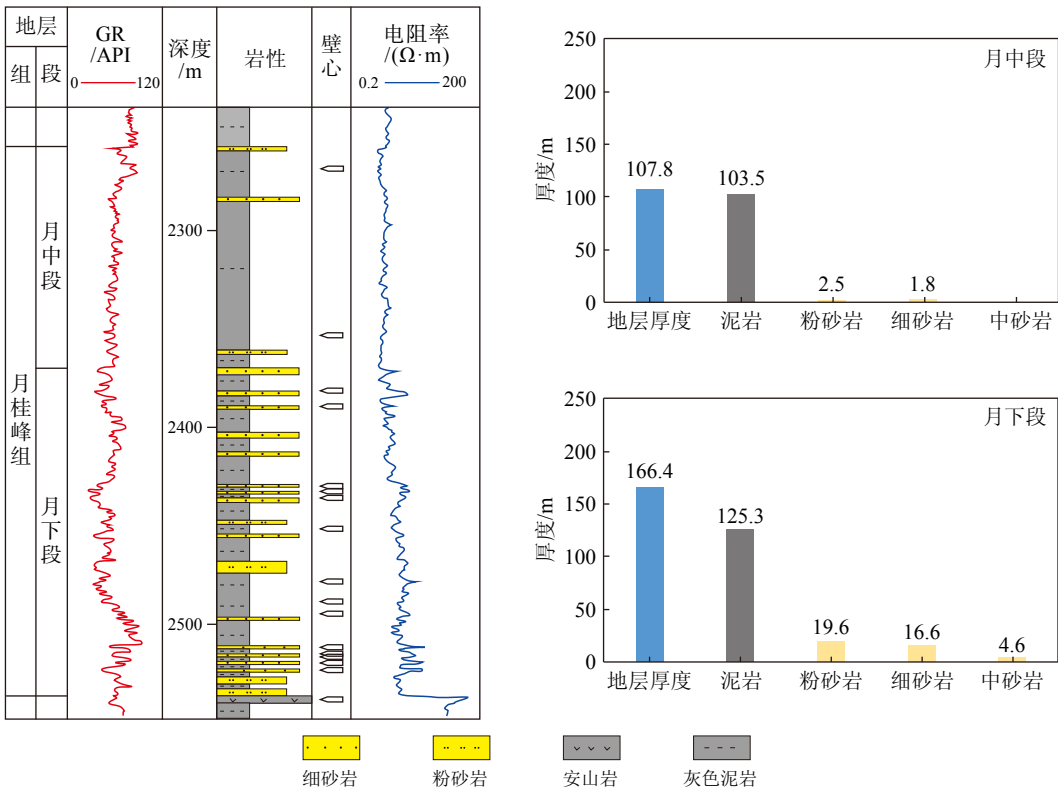


图 4 J-4 井月桂峰组综合柱状图及岩性发育特征

Fig.4 The composite log and lithological development characteristics of Well J-4 in the Yueguifeng Formation

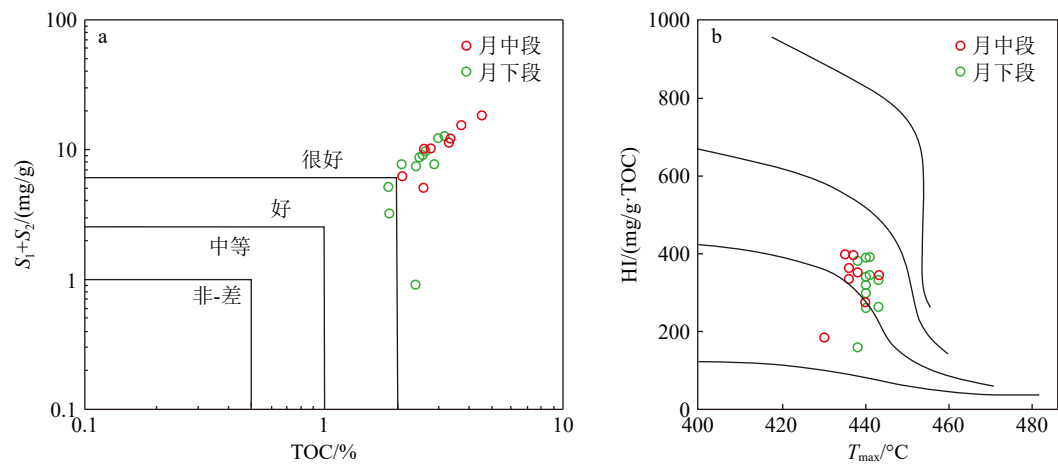


图 5 椒江凹陷月桂峰组烃源岩有机质丰度 (a) 及类型判别图 (b)

Fig.5 The organic matter abundance (a) and kerogen type (b) of Yueguifeng source rock in the Jiaojiang Sag

表 1 椒江凹陷月桂峰组烃源岩有机质丰度

Table 1 The abundance of organic matter of Yueguifeng source rock in the Jiaojiang Sag.

井号	层位	TOC/%	S ₁ +S ₂ /(mg/g)	HI/(mg/g)	氯仿沥青“A”/%	HC/10 ⁶
J-4	月中段	<u>3.1(9)</u>	<u>11.0(8)</u>	<u>330(8)</u>	<u>0.0876(8)</u>	<u>432(8)</u>
		2.1~4.6	5.0~18.3	184~398	0.0587~0.1138	322~593
J-4	月下段	<u>2.5(11)</u>	<u>7.6(11)</u>	<u>316(11)</u>	<u>0.0640(10)</u>	<u>322(10)</u>
		1.9~3.2	0.9~12.5	159~391	0.0341~0.1327	174~598

备注：平均值（频数）/（最小值~最大值）。

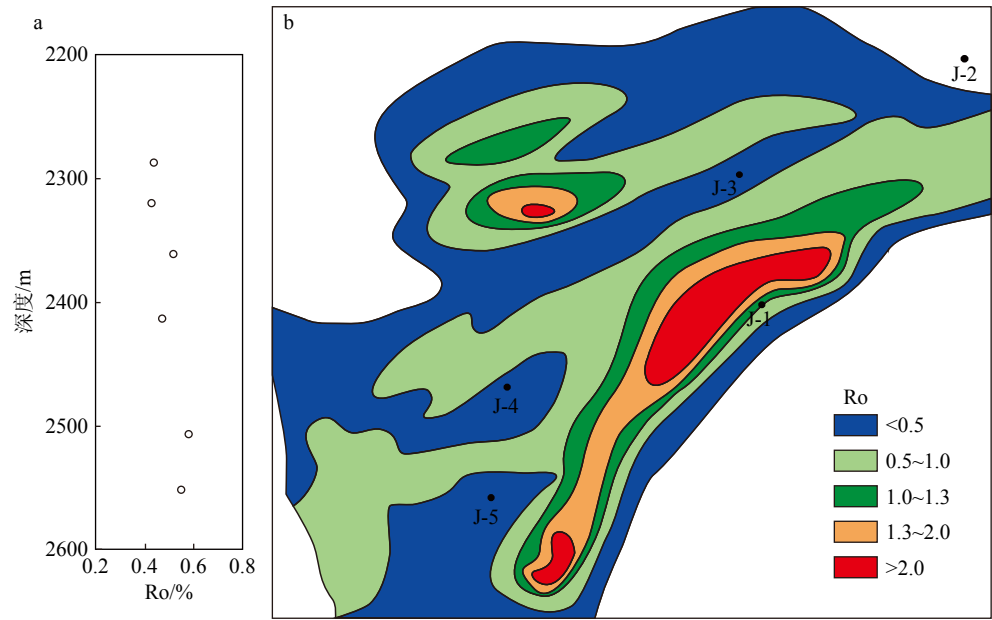


图 6 J-4 井区月桂峰组烃源岩成熟度 (a) 及椒江凹陷月桂峰组顶面成熟度 (b)

Fig.6 The Ro values of the Yueguifeng source rock in Well J-4 area (a) and maturity of top Yueguifeng Formation in the Jiaojiang Sag (b)

的来源,对于未成熟样品而言,长链正构烷烃($>nC_{23}$)指示陆源植物来源,短链正构烷烃($<nC_{20}$)指示藻类输入。椒江凹陷月桂峰组烃源岩正构烷烃多呈双峰型分布,长链成分和短链成分正构烷烃的丰度接近($\sum C_{21-}/\sum C_{22+}=0.57\sim 1.65$,平均1.07),指示椒江凹陷月桂峰组烃源岩具有陆源高等

植物和水生生物双重母质来源(图 7)。

类异戊二烯烃(主要是姥植比)的分布和丰度可以反映烃源岩沉积过程中古水体的氧化还原条件,部分反映沉积有机质的来源^[15-16]。通常,当 $Pr/Ph<0.8$ 时可判断为强还原环境,当 $0.8<Pr/Ph<3.0$ 时可判断为还原环境,当 $Pr/Ph>3.0$ 时可判断为

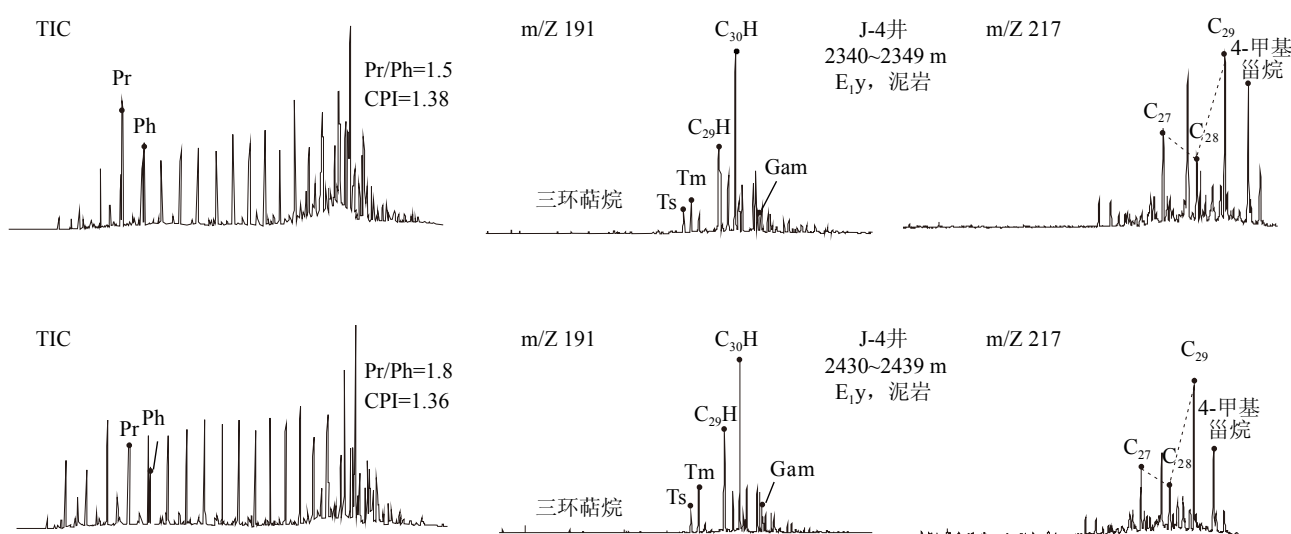


图7 椒江凹陷月桂峰组烃源岩饱和烃总离子流和质谱图

Fig.7 Total ion flux and chromatographic mass spectrum of saturated hydrocarbons of the Yueguifeng source rock in the Jiaojiang Sag

氧化环境。椒江凹陷月桂峰组烃源岩 Pr/Ph 为 1.0~2.0, 平均 1.6, 形成于还原环境, 对初始有机质的富集与保存非常有利。

甾烷的类型和分布模式同样可以指示湖泊的初级生产力, 通常认为 C_{27} 规则甾烷、4-甲基甾烷主要来源于浮游藻类, C_{29} 规则甾烷反映陆源高等植物贡献^[17]。椒江凹陷月桂峰组中段、月桂峰组下段样品均以高含量 C_{29} 规则甾烷、高含量 C_{30} 4-甲基甾烷为特征, 甾烷碳数分布模式及相对组成基本相同, 呈反“L”型, 同样说明椒江凹陷月桂峰组烃源岩具有陆源高等植物和水生生物双重母质来源^[7]。

3.5 微量元素化学特征

沉积岩中某些微量元素的含量高低, 特别是某些相关元素的比值, 不受成岩等次生、后生变化的影响, 能够成为沉积环境的良好判别标志^[18-19]。

古盐度: 沉积岩中的 Sr、B、Sr/Ba 可以作为古盐度的判别指标。通常 $Sr/Ba < 0.6$ 指示淡水, $Sr/Ba > 1.0$ 指示咸水, Sr/Ba 介于 0.6~1.0 指示半咸水, 高的 B/Ga 比值 (> 5.0) 指示咸水的沉积环境。椒江凹陷月桂峰组泥岩 $Sr < 300 \times 10^{-6}$, $B < 40 \times 10^{-6}$, $Sr/Ba < 0.6$, $B/Ga < 2.6$ (图 8), 综合判断月桂峰组沉积时期古湖泊总体为淡水环境。

古气候: 沉积岩中的 Sr/Cu、 SiO_2/Al_2O_3 反映古气候比较敏感, 被广泛应用于古气候的研究当中^[20]。通常 $Sr/Cu < 7.0$ 指示温湿气候, $Sr/Cu > 10$ 指示干热气候。 $SiO_2/Al_2O_3 > 4$ 时, 指示气候干燥; 反之, 在潮湿气候下, 化学风化较为强烈, SiO_2 遭受搬运迁移, 而 Al_2O_3 大量富集, 相应的 SiO_2/Al_2O_3 的值就会变小, 一般认为 $SiO_2/Al_2O_3 < 4$ 时指示潮湿气候。椒

江凹陷月桂峰组泥岩 $Sr/Cu < 10$, $SiO_2/Al_2O_3 < 4$ (图 8), 表明当时整体处于温暖湿润的气候条件, 利于湖泊高生产力的形成。

古氧相: 沉积岩中 V/Cr 常被用来判别氧化还原条件, $V/Cr < 2$ 一般指示氧化环境, $V/Cr > 4.25$ 指示还原环境, $2.00 < V/Cr < 4.25$ 指示弱氧化-弱还原环境。椒江凹陷月桂峰组泥岩 V/Cr 比值为 2.0~3.0, Pr/Ph 值为 1.0~2.0 (图 8), 反映月桂峰组沉积时期处于弱氧化-弱还原条件。

总之, 研究区泥岩微量元素指标揭示月桂峰组沉积期为温暖湿润的古气候, 以淡水湖泊沉积环境为主, 古氧化还原条件为还原条件 (图 8)。温暖湿润的古气候有利于藻类等低等水生生物的繁盛, 同时藻类大量死亡后又形成还原环境, 有利于有机质的保存。

4 烃源岩发育控制因素

椒江凹陷主要发育中小型规模生烃洼陷, 烃源岩的品质高低直接决定了其能否形成“小而肥”的富烃洼陷。研究认为, 椒江凹陷湖相优质烃源岩的形成主要受高古湖泊生产力、良好保存条件以及较高沉降速率等 3 种因素共同控制。

4.1 生产力与有机质富集

高生产力是陆相湖盆发育优质烃源岩的首要条件。J-4 井月桂峰组藻类化石中以淡水的盘星藻占绝对优势, 孢粉相对较少, 且主要为飘落至湖中具有气囊的松花粉, 干酪根显微组分主要为藻质体 (图 9-10), 因此推测月桂峰组有机质来源为水生藻

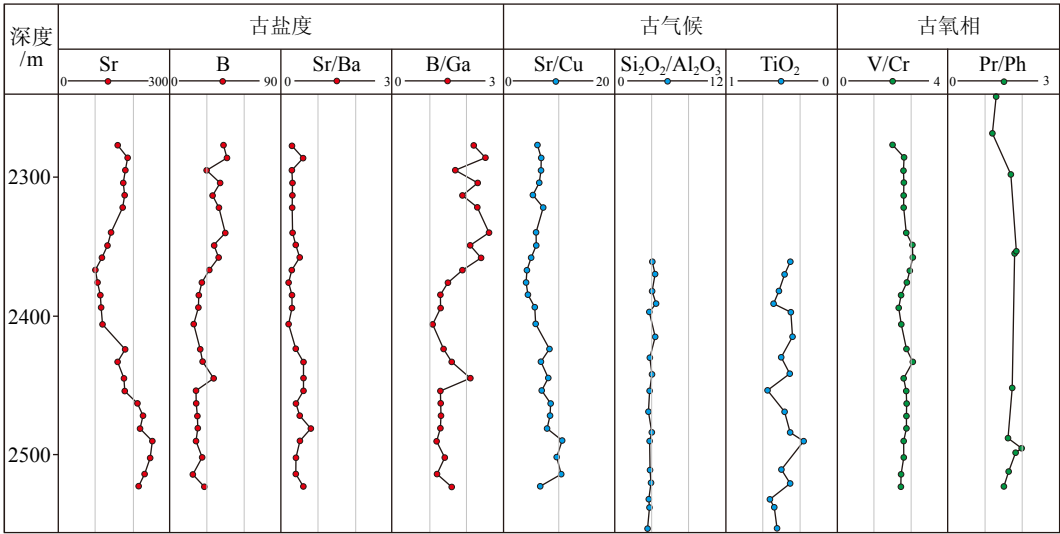


图 8 椒江凹陷 J-4 井月桂峰组烃源岩元素分析
Fig.8 The elemental analysis of Well J-4 of the Yueguifeng source rock in the Jiaojiang Sag

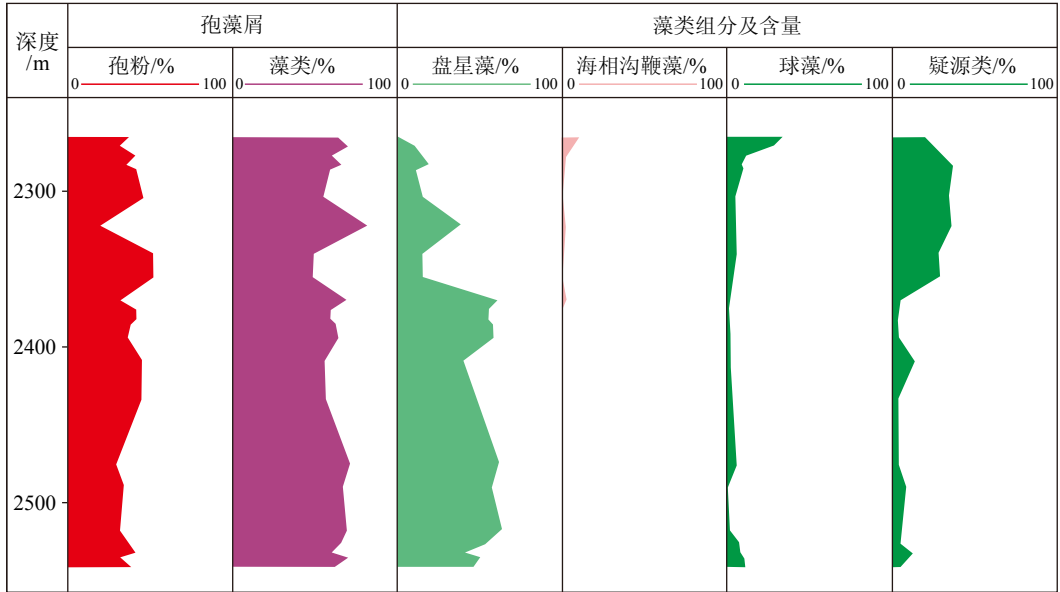


图 9 椒江凹陷 J-4 井月桂峰组烃源岩孢藻屑组成
Fig.9 Composition of spores and algae fragments in the Yueguifeng source rock in the Jiaojiang Sag

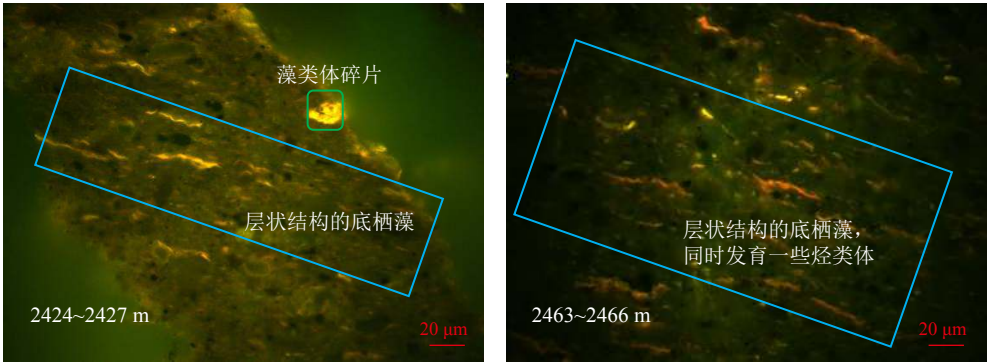


图 10 椒江凹陷 J-4 井月桂峰组烃源岩干酪根镜检
Fig.10 Microscope images of kerogen from Yueguifeng source rock of Well J-4 in the Jiaojiang Sag

类和陆源高等植物双母质来源,且水生藻类母质来源占比较大。根据古生物鉴定结果中藻类含量与反映有机质丰度指标的 TOC、HI 含量可知,其具有明显的正相关性,即 TOC 含量随着藻类含量的增加而增加,大部分样点的 HI 含量随藻类含量增加而增加,但存在两个 HI 含量在 200 mg/g·TOC 以下而藻类含量为 60%~70% 的异常点,因实验样品均来自岩屑,可能存在其他层位样品掉块,待进一步实验分析验证(图 11)。西部缓坡带受浙闽隆起物源控制发育三角洲-滨浅湖相沉积,主要为陆源高等植物母质输入,烃源岩品质相对较差;中-东部洼槽带受缓坡三角洲影响较小,湖泊水生藻类母质输入为主,烃源岩品质最优。

4.2 保存条件与有机质富集

根据前文所述,有机地球化学 Ph/Pr 值和无机

地球化学元素 V/Cr 值均能反映水体的氧化还原环境。低 Ph/Pr 值、高 V/Cr 值反映了还原水体环境。根据 Ph/Pr 值分别与 TOC、HI 含量相关性可知,Ph/Pr 值与 TOC、HI 含量呈现明显的负相关,即 TOC、HI 含量伴 Ph/Pr 值减小而增加(图 12)。V/Cr 值与 TOC、HI 含量呈现弱的正相关性,存在个别异常点,可能是无机元素分析与有机质丰度分析的取样年份不同所致,HI 与 V/Cr 值样品均为深度段内岩屑,深度并没有完全一一对应,有待后续一次取全取准分析样品验证。总之,椒江凹陷月桂峰组烃源岩随沉积水体还原性增强,有机质丰度基本表现为逐渐增加、类型逐渐变好。

4.3 沉降速率与有机质富集

高沉降速率是形成深水湖盆的必要条件,深水环境易于形成上下分层水体,下部水体更易形成还

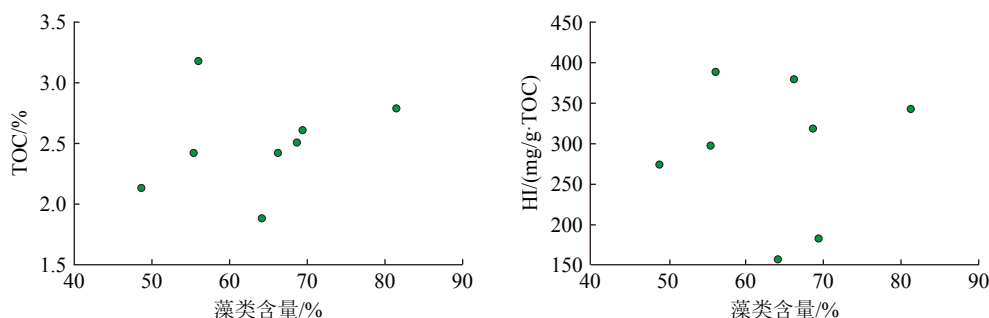


图 11 椒江凹陷月桂峰组烃源岩藻类含量与有机质富集关系

Fig.11 Relationship between algae content and organic matter abundance of the Yueguifeng source rock in the Jiaojiang Sag

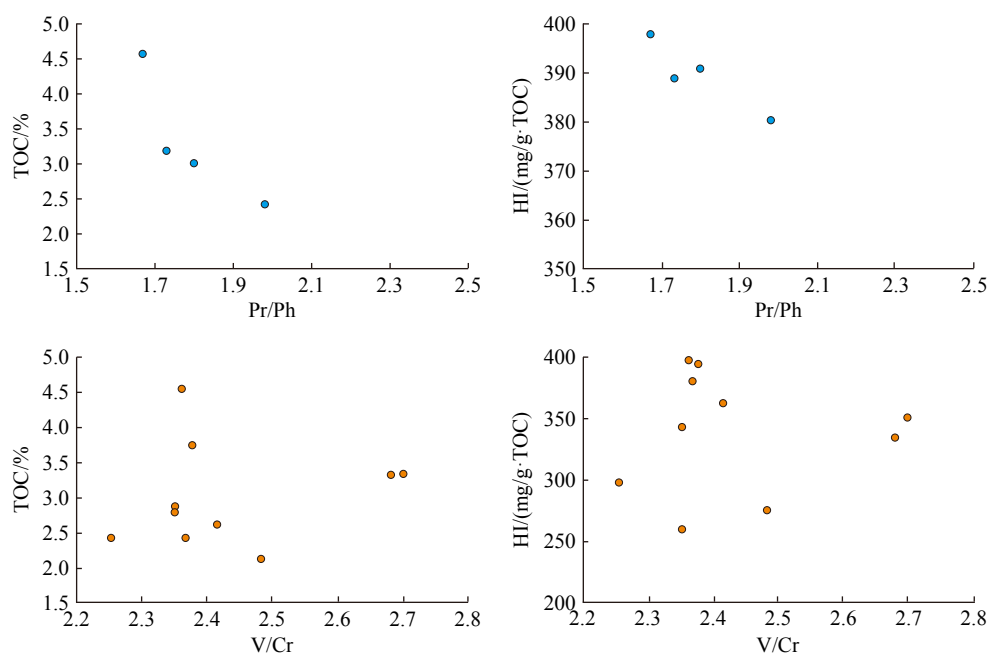


图 12 椒江凹陷月桂峰组烃源岩氧化还原环境与有机质富集关系

Fig.12 Relationship between redox condition and organic matter abundance of the Yueguifeng source rock in the Jiaojiang Sag

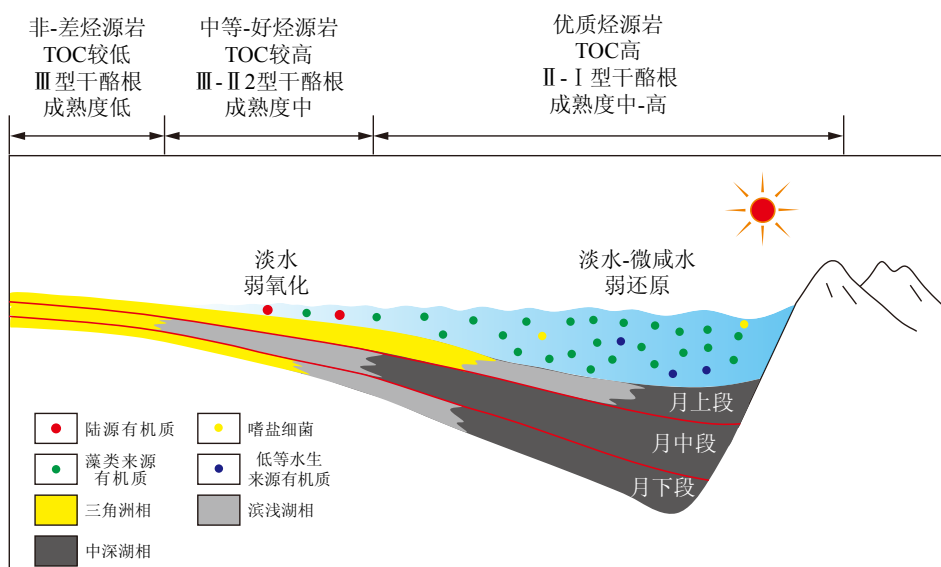


图 13 椒江凹陷月桂峰组烃源岩发育模式

剖面位置见图 1 中 a-a'。

Fig.13 The schematic model of the formation of the Yueguifeng source rock in the Jiaojiang Sag

The section position is shown in Fig. 1.

原环境,对有机质的聚集、保存具有明显的促进作用^[21-25]。姜雪等^[24]研究认为在淡水-微咸水环境下,优质烃源岩的发育通常需要满足沉降速率 $>100\text{ m/Ma}$ 、断层活动速率 $>100\text{ m/Ma}$ 、沉积/沉降速率介于 $0.7\sim 1$ 之间的要求。椒江凹陷主力洼陷椒江 A 洼月桂峰期沉降速率 $>500\text{ m/Ma}$ 、控洼断层活动速率 $>400\text{ m/Ma}$,能提供充足的沉积物可容纳空间,中东部洼陷区在月桂峰组沉积期长期处于欠补偿状态,利于深水湖盆和强还原环境的形成,从而对优质烃源岩的发育和保存起到良好促进作用。

5 烃源岩发育模式

月桂峰组沉积时期气候温暖湿润,水生生物输入丰富,为偏还原的淡水湖泊环境,并且在湖盆中心水生生物输入以及保存条件都达到了最好的条件,因此,在中深湖沉积相发育了月桂峰组湖相最优质的烃源岩,并以湖盆为中心,向凹陷边缘水生生物输入逐渐减少,水体还原性逐渐减弱,因而发育的烃源岩要差于湖盆中心。也就是说湖盆中心发育最优烃源岩,烃源岩有机质丰度高,以 II-I 型为主,同时埋深大,有机质成熟度为中—高;三角洲前缘-滨浅湖沉积相发育中等—好的烃源岩,烃源岩有机质丰度较高,以 II 2-III 型为主,埋深适中,有机质成熟度中等;三角洲平原发育品质最差的烃源岩,烃源岩有机质丰度最低,以 III 型为主,埋深浅,

有机质成熟度低,图 13 中以月桂峰组中段为例自西向东划分三角洲、滨浅湖、中深湖相界面。月桂峰组中段湖盆范围最广,同时中深湖平面上分布最广,纵向上沉积最厚,烃源岩指标最好,发育椒江凹陷最优质的烃源岩。

6 结论

(1)断陷早期月桂峰组湖相暗色泥岩是椒江凹陷主力烃源岩,有机质丰度高,有机质类型好,以 II 1-II 2 型为主,总体上处于低成熟—成熟阶段;其中湖扩期月桂峰组中段中深湖相暗色泥岩平面上分布广,纵向上厚度大,品质最佳,是椒江凹陷主力烃源岩层段。

(2)建立月桂峰组条带状烃源岩发育模式,即洼槽带水生生物贡献为主,有机质生产力高,还原性水体环境,有机质保存条件亦最好,同时具有较高的沉积速率,发育中深湖相优质烃源岩;缓坡带主要为陆源高等植物母质输入,有机质生产力中等,偏氧化性水体环境,发育滨浅湖相中等—好烃源岩。

(3)月桂峰组优质烃源岩发育模式有助于下步精细化落实烃源岩分布面积(或范围),圈定优质烃源岩体积,重新估算洼陷资源潜力,同时为明确洼陷下步勘探方向提供烃源方面的支持。

参考文献 (References)

- [1] 蔡佳, 祁鹏, 崔敏, 等. 椒江凹陷已钻井分析及对油气勘探的启示 [J]. 海洋石油, 2016, 36(4): 33-39. [CAI Jia, QI Peng, CUI Min, et al. Well analysis of information from drilled wells and revelation to oil & gas exploration in Jiaojiang Sag[J]. Offshore Oil, 2016, 36(4): 33-39.]
- [2] 张胜利, 夏斌. 丽水-椒江凹陷构造演化特征与油气聚集 [J]. 天然气地球科学, 2005, 16(3): 324-328. [ZHANG Shengli, XIA Bin. Characters of tectonic evolution of the Lishui-Jiaojiang Sag and oil accumulation[J]. Natural Gas Geoscience, 2005, 16(3): 324-328.]
- [3] 田兵, 李小燕, 庞国印, 等. 叠合断陷盆地沉积体系分析: 以东海丽水—椒江凹陷为例 [J]. 沉积学报, 2012, 30(4): 696-705. [TIAN Bing, LI Xiaoyan, PANG Guoyin, et al. Sedimentary systems of the superimposed rift-subsidence Basin: taking Lishui-Jiaojiang Sag of the East China Sea as an example[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2012, 30(4): 696-705.]
- [4] 陈春峰, 朱伟林, 付晓伟, 等. 东海椒江凹陷晚古新世物源变化 [J]. 同济大学学报 (自然科学版), 2017, 45(10): 1522-1530, 1548. [CHEN Chunfeng, ZHU Weilin, FU Xiaowei, et al. Provenance change and its influence in Late Paleocene, Jiaojiang Sag, East China Sea shelf Basin[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2017, 45(10): 1522-1530, 1548.]
- [5] 殷世艳, 何生, 雷闯, 等. 东海陆架盆地丽水—椒江凹陷月桂峰组烃源岩特征及生排烃史 [J]. 海洋地质前沿, 2014, 30(8): 35-41, 65. [YIN Shiyan, HE Sheng, LEI Chuang, et al. Characteristics and hydrocarbon generation-expulsion history of Yueguifeng Formation source rock in Lishui-Jiaojiang Depression, East China Sea Shelf Basin[J]. Marine Geology Frontiers, 2014, 30(8): 35-41, 65.]
- [6] 田杨, 叶加仁, 雷闯, 等. 东海陆架盆地丽水-椒江凹陷月桂峰组烃源岩发育控制因素及形成模式 [J]. 地球科学, 2016, 41(9): 1561-1571. [TIAN Yang, YE Jiaren, LEI Chuang, et al. Development controlling factors and forming model for source rock of Yueguifeng Formation in Lishui-Jiaojiang Sag, the East China Sea continental shelf Basin[J]. Earth Science, 2016, 41(9): 1561-1571.]
- [7] 雷闯, 殷世艳, 叶加仁, 等. 东海盆地椒江凹陷古新统烃源岩地球化学特征及生烃历史 [J]. 地球科学, 2021, 46(10): 3575-3587. [LEI Chuang, YIN Shiyan, YE Jiaren, et al. Geochemical characteristics and hydrocarbon generation history of Paleocene source rocks in Jiaojiang Sag, East China Sea Basin[J]. Earth Science, 2021, 46(10): 3575-3587.]
- [8] 陈晓东, 蒋一鸣, 漆滨汶, 等. 东海丽水凹陷古新统非典型湖相烃源岩及油气特征 [J]. 海洋地质前沿, 2021, 37(4): 25-38. [CHEN Xiaodong, JIANG Yiming, QI Binwen, et al. An atypical lacustrine source rock and its petroleum characteristics in the Lishui Sag of the East China Sea[J]. Marine Geology Frontiers, 2021, 37(4): 25-38.]
- [9] 王毅, 姜亮, 杨伟利. 丽水-椒江凹陷断裂构造运动学 [J]. 地质科学, 2000, 35(4): 441-448. [WANG Yi, JIANG Liang, YANG Weili. Kinematical analysis on faults in the Lishui-Jiaojiang Sag[J]. Chinese Journal of Geology, 2000, 35(4): 441-448.]
- [10] 陈志勇. 丽水、椒江凹陷油气潜力分析和勘探突破口的选择 [J]. 中国海上油气·地质, 1997, 11(6): 451-458. [CHEN Zhiyong. Analysis of hydrocarbon potential and selection of exploration prospect of Lishui and Jiaojiang sags[J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 1997, 11(6): 451-458.]
- [11] 覃军, 张迎朝, 刘金水, 等. 东海陆架盆地丽水—椒江凹陷古新统L气田成藏过程与主控因素 [J]. 天然气地球科学, 2022, 33(4): 605-617. [QIN Jun, ZHANG Yingzhao, LIU Jinshui, et al. Hydrocarbon accumulation process and main controlling factors of Paleocene L Gas Field in Lishui-Jiaojiang Sag, East China Sea Shelf Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2022, 33(4): 605-617.]
- [12] 夏斌, 张敏强, 万志峰, 等. 东海丽水-椒江凹陷构造样式与含油气远景 [J]. 华南地震, 2007, 27(3): 1-8. [XIA Bin, ZHANG Minqiang, WAN Zhifeng, et al. Structural styles and hydrocarbon prospects in the Lishui-Jiaojiang Sag, the East China Sea[J]. South China Journal of Seismology, 2007, 27(3): 1-8.]
- [13] 蔡周荣, 夏斌, 孙向阳, 等. 丽水-椒江凹陷断裂构造特征与成盆机制的关系 [J]. 海洋地质动态, 2007, 23(10): 1-5. [CAI Zhouong, XIA Bin, SUN Xiangyang, et al. The relationship between tectonic feature and Formation mechanism of Lishui-Jiaojiang Depression[J]. Marine Geology Letters, 2007, 23(10): 1-5.]
- [14] 于仲坤, 赵洪, 刁慧, 等. 东海陆架盆地丽水凹陷热演化模拟及现今地温场特征 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2020, 40(2): 124-134. [YU Zhongkun, ZHAO Hong, DIAO Hui, et al. Thermal evolution modeling and present geothermal field of the Lishui Sag of East China Sea Basin[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2020, 40(2): 124-134.]
- [15] Ten Haven H L, De Leeuw J W, Rullkötter J, et al. Restricted utility of the pristane/phytane ratio as a palaeoenvironmental indicator[J]. *Nature*, 1987, 330(6149): 641-643.
- [16] 李守军. 正烷烃、姥鲛烷与植烷对沉积环境的指示意义: 以山东济阳坳陷下第三系为例 [J]. 石油大学学报: 自然科学版, 1999, 23(5): 14-16, 23. [LI Shoujun. Sedimentary environmental significance of normal alkane and the ratio of pristane to phytane[J]. Journal of the University of Petroleum, China, 1999, 23(5): 14-16, 23.]
- [17] 刘伟. 渤中凹陷湖相优质烃源岩形成机理与发育模式研究 [D]. 荆州: 长江大学, 2020. [LIU Wei. Study on the formation mechanism and development model of lacustrine high quality source rocks in Bozhong sub-Basin[D]. Jingzhou: Yangtze University, 2020.]
- [18] 徐波, 刁慧, 王宁, 等. 东海盆地丽水凹陷古新统微量元素地球化学特征及其指示意义 [J]. 海洋地质前沿, 2022, 38(12): 64-74. [XU Bo, DIAO Hui, WANG Ning, et al. Geochemical characteristics and indicative significance of trace elements in the Paleocene in Lishui Sag, East China Sea Basin[J]. Marine Geology Frontiers, 2022, 38(12): 64-74.]
- [19] 刘俊海, 杨香华, 于水, 等. 东海盆地丽水凹陷古新统沉积岩的稀土元素地球化学特征 [J]. 现代地质, 2003, 17(4): 421-427. [LIU Junhai, YANG Xianghua, YU Shui, et al. The REE geochemical characteristics of Paleocene-Eocene in the Lishui Sag of the Donghai Basin[J]. Geoscience, 2003, 17(4): 421-427.]
- [20] 于海田, 许中杰, 程日辉, 等. 北黄海盆地中侏罗世-早白垩世构造体制转换期的古气候演化及元素地球化学响应 [J]. 地球科学, 2021, 46(3): 1100-1118. [YU Haitian, XU Zhongjie, CHENG Rihui, et al. Paleoclimate evolution and elemental geochemical response during Middle Jurassic-Early Cretaceous in tectonic regime transition Period

- in the North Yellow Sea Basin[J]. *Earth Science*, 2021, 46(3): 1100-1118.]
- [21] 金强, 朱光有, 王娟. 咸化湖盆优质烃源岩的形成与分布 [J]. *中国石油大学学报 (自然科学版)*, 2008, 32(4): 19-23. [JIN Qiang, ZHU Guangyou, WANG Juan. Deposition and distribution of high-potential source rocks in saline lacustrine environments[J]. *Journal of China University of Petroleum*, 2008, 32(4): 19-23.]
- [22] 张慧芳, 吴欣松, 王斌, 等. 陆相湖盆沉积有机质富集机理研究进展 [J]. *沉积学报*, 2016, 34(3): 463-477. [ZHANG Huifang, WU Xinsong, WANG Bin, et al. Research progress of the enrichment mechanism of sedimentary organics in Lacustrine Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2016, 34(3): 463-477.]
- [23] 吴克强, 姜雪, 孙和风. 近海富生油凹陷湖相烃源岩发育模式: 以黄河口凹陷古近系为例 [J]. *地质科技情报*, 2015, 34(2): 63-70. [WU Keqiang, JIANG Xue, SUN Hefeng. Model of lacustrine source rocks in offshore oil Kitchen Sags: a case study of Paleogene in Huanghekou Sag[J]. *Geological Science and Technology Information*, 2015, 34(2): 63-70.]
- [24] 姜雪, 吴克强, 刘丽芳, 等. 构造活动对富生油凹陷烃源岩的定量控制: 以中国近海古近系为例 [J]. *石油学报*, 2014, 35(3): 455-461. [JIANG Xue, WU Keqiang, LIU Lifang, et al. Quantitative control of tectonic activity for source rocks in rich oil kitchen sags: a case study of Paleogene in China offshore[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2014, 35(3): 455-461.]
- [25] 赵鹏, 彭光荣, 吴静, 等. 珠一坳陷小型洼陷文昌组烃源岩发育模式与主控因素 [J]. *沉积学报*, 2022, 40(4): 1109-1121. [ZHAO Peng, PENG Guangrong, WU Jing, et al. Lacustrine source rock deposition model and main controlling factors of the Wenchang Formation in Asmall-scale Sag, Zhui Depression, Pearl River mouth Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2022, 40(4): 1109-1121.]