

doi:10.3799/dqkx.2016.116

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

田 杨¹, 叶加仁^{1*}, 雷 闯², 杨宝林¹, 单 超¹, 何清吟³, 刘一茗¹

1. 中国地质大学构造与油气资源教育部重点实验室, 湖北武汉 430074

2. 中国石油勘探开发研究院冀东油田分公司, 河北唐山 063004

3. 中国地质大学图书馆, 湖北武汉 430074

摘要: 下古新统月桂峰组是东海陆架盆地丽水—椒江富生烃凹陷的主力烃源岩系。利用钻井、地震及烃源岩有机地球化学、古生物等资料, 在烃源岩特征及其发育的构造—沉积与古气候背景分析的基础上, 探讨了控制丽水—椒江凹陷下古新统月桂峰组烃源岩发育的主要因素, 并建立了相应的形成模式。丽水—椒江凹陷月桂峰组烃源岩分布广、厚度大, 存在多个厚度中心; 有机质丰度较高, 有机质类型以 II₂ 型为主, 处于成熟—高成熟阶段。月桂峰组烃源岩发育于分割性较强、相对封闭的湖泊环境和半湿润—湿润亚热带型气候条件, 以低等水生生物贡献为主。月桂峰组烃源岩的发育主要受沉积—沉降速率、母质来源及有机质保存条件等因素控制, 其形成模式可概括为“快速沉降, 湿润气候, 水生有机质贡献为主, 淡水—微咸水, 弱氧化—弱还原环境”。

关键词: 月桂峰组; 烃源岩; 控制因素; 发育模式; 丽水—椒江凹陷; 沉积物。

中图分类号: P618.13

文章编号: 1000-2383(2016)09-1561-11

收稿日期: 2016-01-11

Development Controlling Factors and Forming Model for Source Rock of Yueguifeng Formation in Lishui-Jiaojiang Sag, the East China Sea Continental Shelf Basin

Tian Yang¹, Ye Jiaren^{1*}, Lei Chuang², Yang Baolin¹, Shan Chao¹, He Qingyin³, Liu Yiming¹

1. Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources of Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Jidong Oilfield Company, China National Petroleum Corporation, Tangshan 063004, China

3. China University of Geosciences Library, Wuhan 430074, China

Abstract: Source rock in Yueguifeng Formation of Lower Paleocene is the main source rock series in Lishui-Jiaojiang hydrocarbon generating sag of the East China Sea shelf basin. Using drilling, seismic data combined with organic geochemistry and paleontology data of hydrocarbon source rock, the development controlling factors for the Yueguifeng Formation of Lower Paleocene are discussed and the forming model also is established based on the analysis of characteristics of the hydrocarbon source rock and tectonic-sedimentary-paleoclimate development background in this study. It is found that source rocks in Yueguifeng Formation of Lishui-Jiaojiang sag are characterized by wide distribution, large thickness and multiple thickness centers abundance of organic matter, type II₂ dominated organic matter, and relatively high maturity. Development background of Yueguifeng Formation is an intensive separation and relatively closed lake environment with subhumid-humid subtropical climate condition, and predominantly aquatic organic matter contribution. Development of hydrocarbon source rocks in Yueguifeng Formation is mainly affected by deposit-sedimentation rate, parent material source and preservation condition of organic matter, and it could be concluded that its forming model features with “rapid subsidence, humid climate, aquatic organic

基金项目: 中海石油(中国)有限公司科研项目(No.102-KH126215).

作者简介: 田杨(1989-),男,博士,主要从事成藏动力学和成藏机理研究. E-mail: tianyang_happy@126.com

* **通讯作者:** 叶加仁, E-mail: jrye@cug.edu.cn

引用格式: 田杨, 叶加仁, 雷闯, 等, 2016. 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. 地球科学, 41(9): 1561-1571.

matter contribution, fresh-brackish water, and weak oxidation-reduction environment”.

Key words: Yueguifeng Formation; source rock; controlling factor; forming model; Lishui-Jiaojiang sag; sediments.

0 引言

自 20 世纪 70 年代初丽水—椒江凹陷开始油气勘探以来,迄今共钻探井 20 口,其中 12 口井见油气显示,6 口井提示油气层,发现了 LS36-1 气田以及 WZ13-1、NP5-2、LS35-3、WZ4-1 共 4 个含气构造和 LS36-2、WZ26-1 两个含油构造(郝乐伟等,2014)。40 余年来,前人对东海陆架盆地丽水—椒江凹陷展开了卓有成效的油气地质综合研究和勘探工作,证实丽水—椒江凹陷为富生烃凹陷。丽水—椒江凹陷内沉积体主要由古新统、始新统和新近系组成,其中下古新统月桂峰组湖相烃源岩被认为是该凹陷主要烃源岩之一。月桂峰组烃源岩不仅有机质丰度高、类型好,而且分布范围广,最大沉积厚度约 2 400 m,是丽水—椒江凹陷已发现油气田(含油气构造)的主力生供烃层系(田兵等,2012;付晓伟等,2015)。

已有研究表明,控制优质烃源岩形成的因素主要有两个方面:一是控制有机质输入的因素,二是控制有机质保存的因素。前者包括古气候(蔡雄飞,1994;刘春莲等,2001)、古生产力(Calvert *et al.*, 1995;张水昌等,2005)、营养物质(邓运华,2010)、水体环境(钱焕菊等,2009)、海洋上升洋流(David and Paul,2002;李红敬等,2012)、水底热液活动(孙省利等,2003;张文正等,2010)和火山活动(张文正等,2009)等,后者包括氧化—还原条件(Tyson and Pearson,1991)、沉积—沉降速率(Ellery and Philippe,1990)、沉积矿物类型(李志明等,2010;付小东等,2011)、水平面变化(田景春等,2006;高志勇等,2007)等。其中,古气候是影响盆地有机质输入的主控因素,而沉积环境在一定程度上影响着有机质的原始生产力、沉积速率及保存条件,决定了烃源岩有机质丰度、类型等特征(Pedersen and Calvert,1990;李天义等,2008),是控制盆地有机质保存的重要因素。前人对丽水—椒江凹陷下古新统月桂峰组烃源岩的质量、热成熟史、生排烃史、生物标志化合物特征、发育环境等研究较为深入(吕成福等,2011;张银国等,2012;殷世艳等,2014),但是对其发育的控制因素及形成模式认识不清,且研究区勘探程度低,目前仅有 4 口井(SMT-1、WZ26-1-1、NP6-8-1、WZ4-1-1)钻遇月桂峰组,制约了对凹陷的资源潜力评价和勘探方向选择。本文利用钻井、地震及烃源岩有机地

球化学与古生物学等资料,结合盆地构造演化和沉积充填背景,分析了丽水—椒江凹陷月桂峰组烃源岩发育的控制因素,并探讨了月桂峰组烃源岩的形成模式,以期为该地区油气勘探实践服务。

1 区域地质背景

丽水—椒江凹陷位于东海陆架盆地西部坳陷带台北坳陷的西南部,其西南以闽浙隆起带为界,北部以钱塘凹陷相接,东南以雁荡低凸起与福州凹陷相隔,总体为一呈 NE-SW 向展布的东断西超半地堑式断陷,面积约 1.46×10^4 km²;内部被灵峰凸起和丽南凸起分割成椒江凹陷、丽西凹陷、丽东凹陷和丽南凹陷 4 个次凹,具有“东西分带、南北分块”的构造格局(祝建军等,2012)(图 1)。

丽水—椒江凹陷地质演化过程复杂,经历了晚白垩世时期的基隆运动、早古新世时期的雁荡运动、晚古新世—早始新世时期的瓯江运动、渐新世—早中新世时期的玉泉运动、古近纪与新近纪之间的龙井运动以及新近纪与第四纪之间的冲绳海槽运动,可划分为晚白垩世—古新世断陷、始新世坳陷和新近纪区域沉降 3 个演化阶段(姜亮等,2001;张升平等,2007)。

钻井及地震资料揭示,丽水—椒江凹陷沉积盖层自下而上由上白垩统石门潭组(K₂²sh)、下古新统月桂峰组(E₁¹y)、上古新统灵峰组(E₁²l)、上古新统明月峰组(E₁²m)、下始新统瓯江组(E₂¹o)、中始新统温州组(E₂²w)、上始新统平湖组(E₂³p)、渐新统花港组(E₃h)、下中新统龙井组(N₁¹lj)、中中新统玉泉组(N₁²y)、上中新统柳浪组(N₁³ll)、上新统三潭组(N₂s)及第四系东海群(Qd)组成,并以古新统和中下始新统为主。

2 月桂峰组烃源岩特征

丽水—椒江凹陷现仅有 SMT-1、WZ26-1-1、NP6-8-1 和 WZ4-1-1 共 4 口井钻遇月桂峰组,其中 SMT-1 井钻厚最大,为 288 m;地震资料显示,凹陷月桂峰组最大沉积厚度达 2 400 m,位于西次凹北洼。总体上,月桂峰组由两套粗—细—粗旋回叠加而

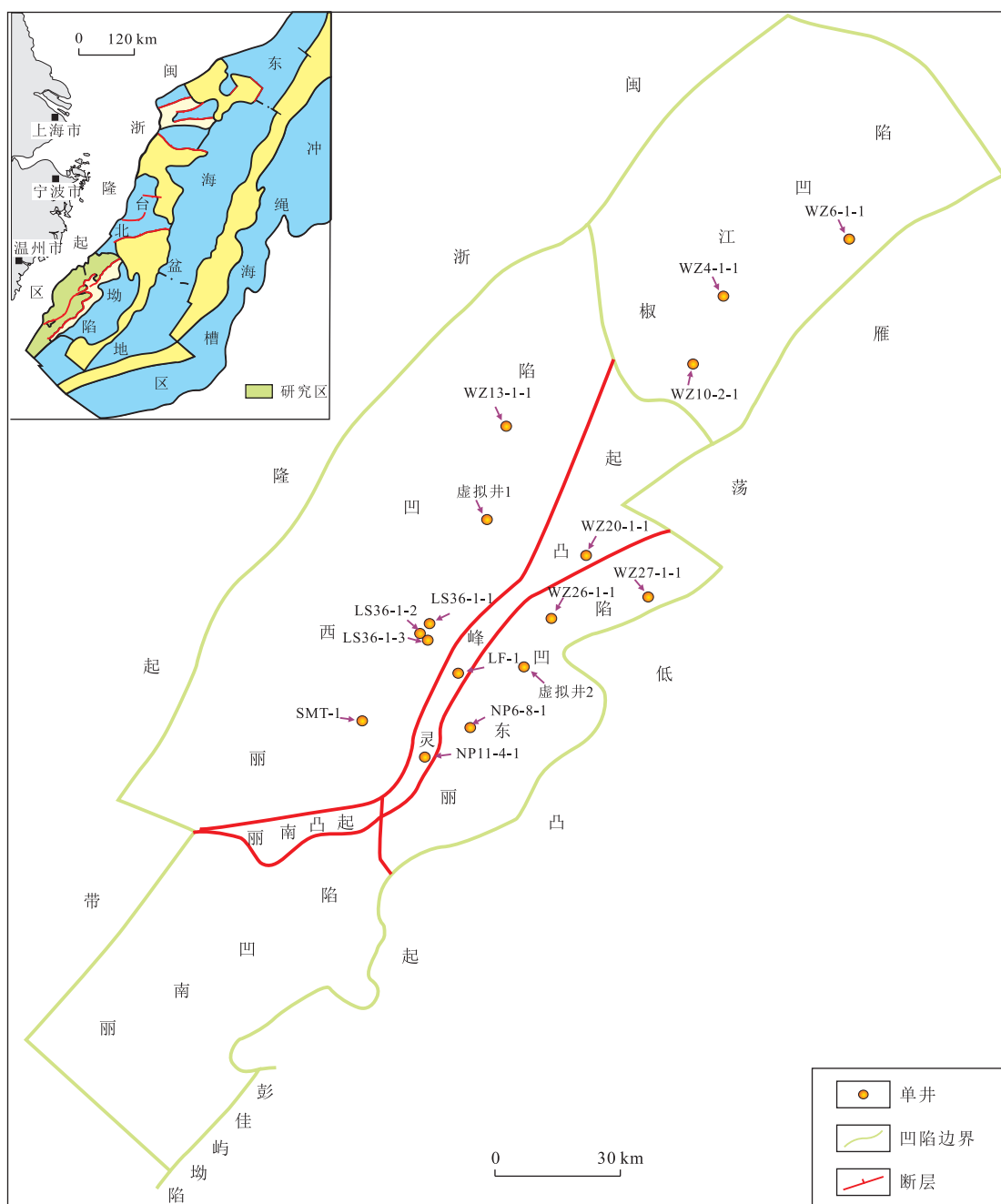


图 1 丽水—椒江凹陷位置及构造单元划分

Fig.1 Position and division of tectonic units of Lishui-Jiaojiang sag

成,烃源岩以暗色泥岩为主.受构造格局的影响,丽水—椒江凹陷月桂峰组暗色泥岩有多个厚度中心.其中,西次凹的厚度中心主要位于 LS36-1-1 和 SMT-1 井区,厚度 400~600 m;东次凹主要位于 WZ26-1-1 和 NP6-8-1 井区,最大厚度达 600 m;椒江凹陷厚度较小,为 200~400 m.

4 口井 49 个泥岩样品实测数据统计分析显示,月桂峰组烃源岩有机质类型以 II₂ 为主,II₁ 型次之(图 2a);暗色泥岩 TOC 平均值为 2.1%,生烃潜量

平均值在 3.5%左右,属中等—好级别烃源岩(图 2b).由于月桂峰组烃源岩埋深相对较大,现今均已进入成熟—高成熟阶段(殷世艳等,2014);油气源对比揭示(苏奥等,2014),凹陷内大部分已发现原油和天然气均来自月桂峰组高成熟烃源岩.另外,月桂峰组有机质来源以低等水生生物为主(图 3),且富藻、富无定形有机质与泥岩层之间具有良好的对应关系(李友川,2015).

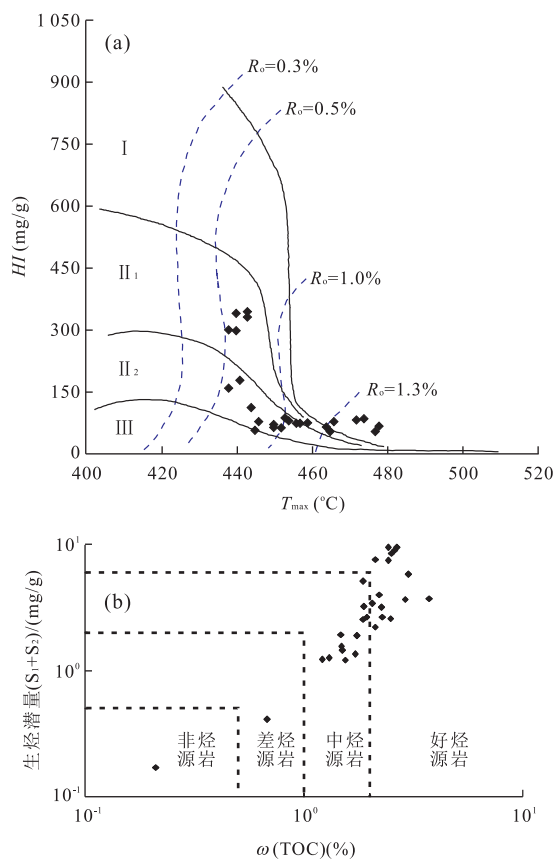


图 2 月桂峰组烃源岩有机质类型(a)和丰度判别(b)

Fig. 2 Organic matter type and abundance for source rock of Yueguifeng Formation

3 月桂峰组烃源岩发育背景

3.1 构造—沉积背景

烃源岩发育与盆地构造演化密切相关,快速沉降阶段往往形成较好的烃源岩;同时,沉积环境也是影响有机质富集的重要因素。前人研究表明,优质烃源岩主要发育于浅海、泻湖及半深湖—深湖环境(魏恒飞等,2013;赵志刚等,2016)。

下古新统月桂峰组发育于东海陆架盆地强烈断陷期,受以张性为主的构造应力场作用,此时丽水—椒江凹陷具有典型陆相断陷盆地东断西超的箕状结构。对凹陷内 13 口单井及 2 口虚拟井进行构造沉降史模拟,统计结果显示,月桂峰组沉积时期,总体上具有较高的沉降速率(图 4),为烃源岩的发育提供了可容纳空间,使得月桂峰组烃源岩在凹陷内广泛发育。同时,由于东海海平面处于相对低海面期,尚未有海水侵入,各次凹之间被灵峰凸起带所分隔,互不连通,因此月桂峰组发育于分割性较强、相对封闭的湖泊环境之中。

3.2 古气候背景

孢粉、藻类组合所代表的植物群类型是敏感的古气候标志,古气候、古环境条件的变化会引起古植被类型的变化,地层记录中古生物组合也会随之改变。因此,可以从孢粉古生物化石记录中得到古环境、古气候的信息(姜亮等,2004)。

WZ26-1-1 井孢粉古生物资料统计结果表明(图 5),在指示温度特征的孢粉中,月桂峰组以喜热类型的植物化石为主,占 60%~100%;喜温类型的植物化石次之,占 0~40%;未出现喜寒类植物化石。在指示湿度特征的孢粉中,月桂峰组以湿生和中生植物化石为主。根据赵秀兰等(1992)提出的孢粉气候带类型和干湿度类型划分模式可判断,丽水—椒江凹陷月桂峰组烃源岩发育时期处于半湿润—湿润南亚热带型气候。在该气候背景下,丽水—椒江凹陷降雨充沛,河流纵横,周缘地区植被发育,陆生有机质和营养物质通过古鳌江、古瓯江、古椒江等古水系经河流搬运作用进入盆地,同时使水生浮游植物得以繁荣,有机质生产力明显提高。

4 月桂峰组烃源岩发育控制因素

控制沉积盆地烃源岩发育的因素有很多,如古气候控制着沉积物的类型及生物的生长条件,古构造格局控制着沉积物的沉积速率和保存条件等(李友川等,2012;王维等,2015;周翔等,2016)。根据前文对丽水—椒江凹陷月桂峰组烃源岩地球化学特征及发育背景的分析,可总结出控制月桂峰组烃源岩发育的主要因素为沉积—沉降速率、母质来源以及有机质保存条件。

4.1 沉积—沉降速率

丽水—椒江凹陷在早古新世月桂峰组沉积时期处于断陷阶段。典型单井沉积—沉降史重建结果揭示(图 6),月桂峰组沉积时期的构造沉降速率分布在 40~140 m/Ma, 沉积速率分布在 80~300 m/Ma, 总体具有较高的沉积—沉降速率。但是,平面上月桂峰组烃源岩分布格局受到区域断裂的控制作用,在古新世早期发育的一系列近 NE 向和近 NNE 向控凹(洼)断裂的下降盘发育较厚,而上升盘基本不发育,因此凹陷内沉积—沉降中心附近的烃源岩厚度最大。此外,烃源岩层段的沉积—沉降速率对其有机质丰度具有明显的控制作用,如 WZ26-1-1 井月桂峰组的沉积速率为 300 m/Ma,其 TOC 平均值为 2.13%,而 WZ4-1-1 井月桂峰组的沉积速率较

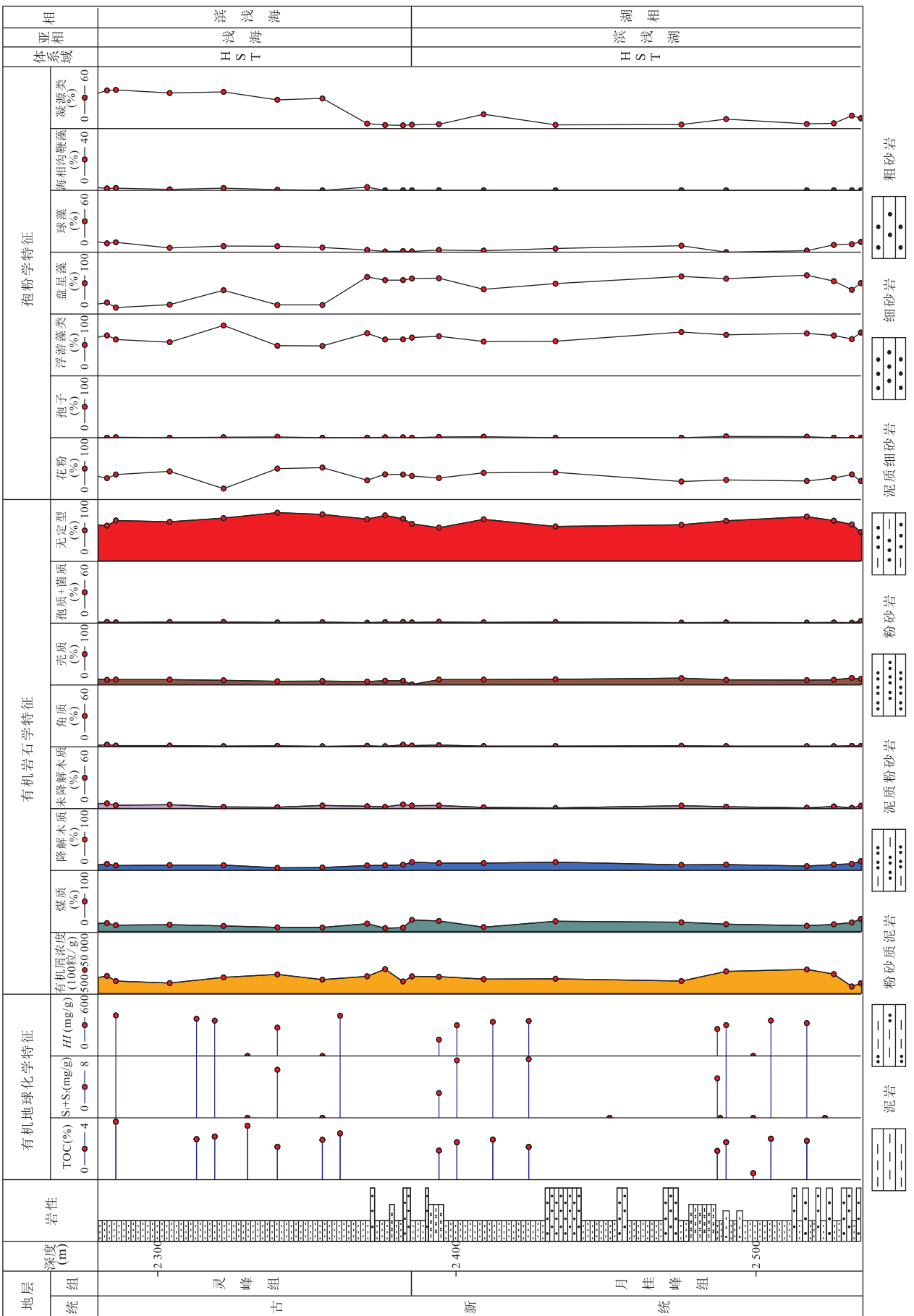


图3 WZ4-1-1井沉积与地球化学综合分析
Fig.3 Integrated sedimentary and geochemical section of WZ4-1-1 well

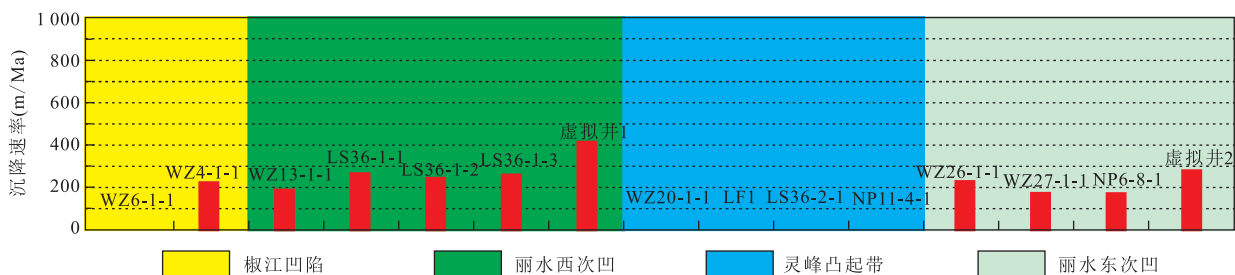


图 4 丽水—椒江凹陷月桂峰组沉积时期基底沉降速率直方图

Fig.4 Subsidence rate of basement during the sedimentary period of Yueguifeng Formation in Lishui-Jiaojiang sag

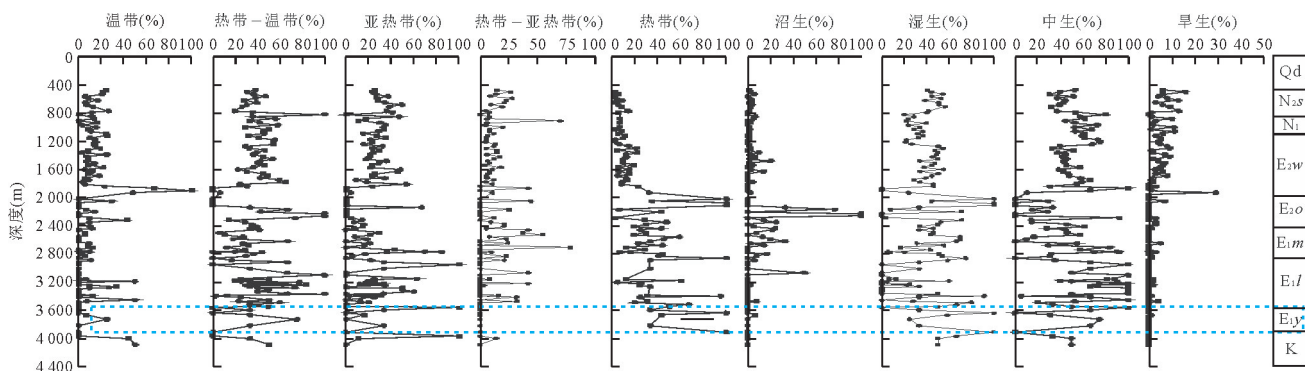


图 5 WZ26-1-1 井孢粉组合特征及古气候意义

Fig.5 Characteristics of pollen assemblage of WZ26-1-1 well and its paleoclimatic significance

小(80 m/Ma),其 TOC 值也相应的较小,为 1.83%。显然,古新世时期的断陷作用导致丽水—椒江凹陷不同区域沉积—沉降速率的差异,从而控制着月桂峰组沉积时期的沉积物充填与烃源岩发育。

4.2 母质来源

烃源岩母质类型及贡献是控制沉积物中有机质富集程度的最重要因素,较高的古生产力不仅可以增加沉积物中有机质含量,而且过剩有机质的氧化作用还会造成水体底部缺氧,有利于有机质的保存,这对烃源岩的形成非常重要。

丽水—椒江凹陷 WZ4-1-1 井古新统浮游藻类含量与有机质丰度对比分析表明(图 3),月桂峰组的浮游藻类含量高达 48.3%~81.5%,与之相应的有机碳含量为 1.1%~3.75%,氢指数为 110~394 mg/g,而缺乏浮游藻类的层段烃源岩质量往往较差,说明水生浮游藻类的生产力控制着沉积物中有机质的富集程度。从有机质的组成来看(图 3),月桂峰组富含浮游植物成因的无定形有机质,与植物微体化石揭示的有机质输入特征一致。

三环萜烷和四环萜烷的热稳定性好,具有较强的抗生物降解能力,是反映有机质来源的重要参数。 C_{19} 三环萜烷/ C_{23} 三环萜烷、 C_{20} 三环萜烷/ C_{23} 三环萜

烷、 C_{24} 四环萜烷/ C_{26} 三环萜烷 3 个参数比值越大反映陆源有机质输入越多。统计结果表明,丽水—椒江凹陷月桂峰组泥岩 3 个参数比值均较低,其中 C_{19} 三环萜烷/ C_{23} 三环萜烷比值分布在 0.14~0.52,平均为 0.37; C_{20} 三环萜烷/ C_{23} 三环萜烷比值分布在 0.66~1.02,平均为 0.87; C_{24} 四环萜烷/ C_{26} 三环萜烷比值分布在 0.84~1.29,平均为 1.01,说明水生浮游藻类对烃源岩贡献较大。烃源岩三环萜烷比值与有机碳含量关系也揭示(图 7),月桂峰组烃源岩主要与水生有机质输入有关。

总之,月桂峰组烃源岩形成时期水生浮游藻类生产力是控制沉积物中有机质富集程度的重要因素之一。

4.3 有机质保存条件

沉积阶段及早期成岩阶段的氧化—还原条件对有机质的保存具有非常重要的作用。目前,分析氧化—还原条件的方法主要有古生物、微量元素、稀土元素和生物标志化合物等。

3 个样品微量元素测试结果统计表明(图 8a, 8b),丽水—椒江凹陷月桂峰组烃源岩主要形成于弱氧化—弱还原的沉积环境,其中钒铬比值(V/Cr)分布范围在 2.62~2.94,平均为 2.82;钒镍比值(V/

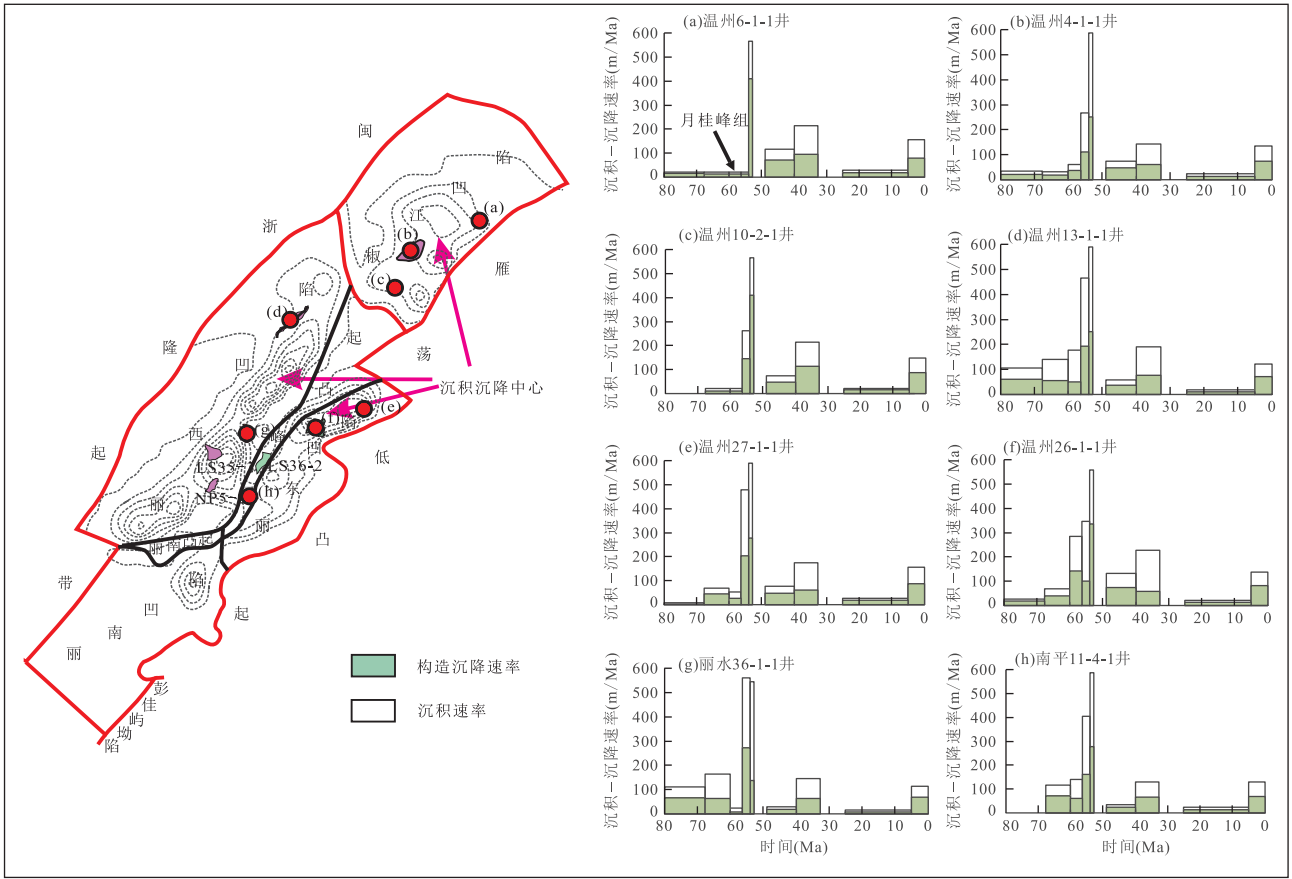


图 6 丽水—椒江凹陷沉积—沉降速率分布

Fig.6 Spatial-temporal characteristics of subsidence rate of Lishui-Jiaojiang sag

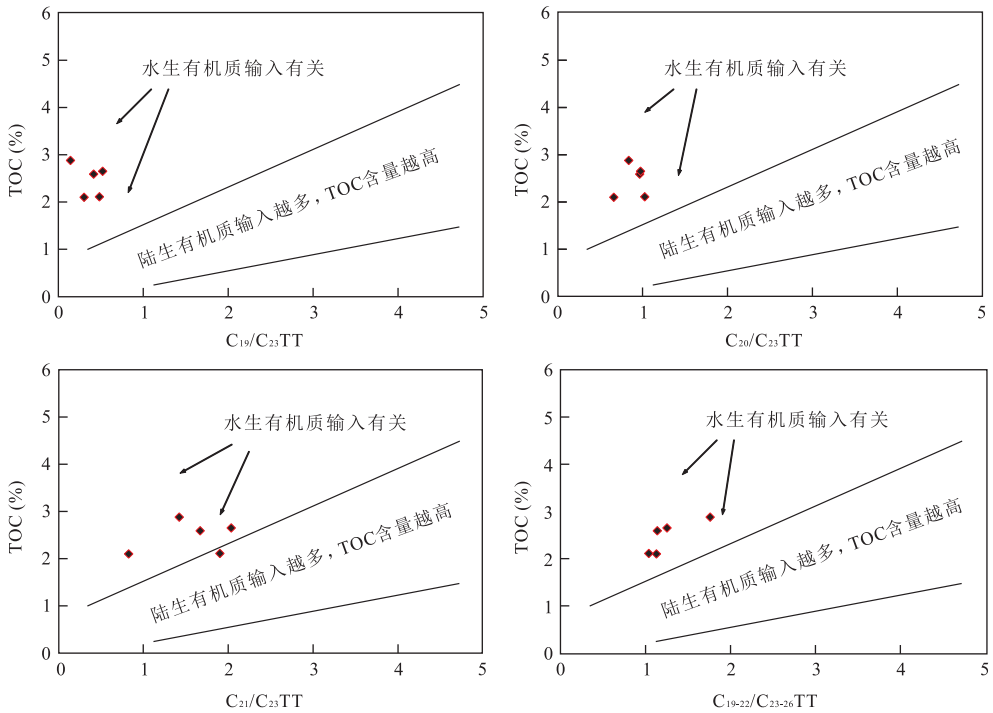


图 7 月桂峰组烃源岩 TOC 与三环萜烷比值交汇图

Fig.7 Intersection of the TOC and tricyclic terpene ratio in Yueguifeng Formation

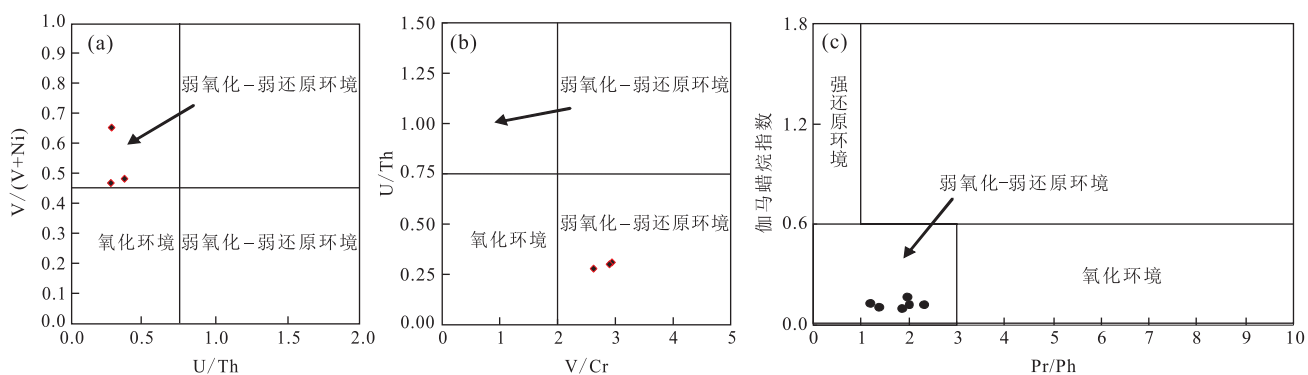


图 8 月桂峰组烃源岩氧化-还原环境判别

Fig.8 Discrimination of oxidation-reduction environment of Yueguifeng Formation

V+Ni)分布范围在 0.45~0.65,平均为 0.52; 铀钍比值(U/Th)分布范围在 0.28~0.31,平均为 0.30. 另外,基于生物标志化合物参数判别的氧化-还原条件结果表明(图 8c),月桂峰组在湖相沉积环境中表现为弱氧化-弱还原性,这与微量元素的判别结果吻合.

浮游藻类含量主要与水体生产力有关,而无定形有机质含量受控于水体生产力和贫氧的水底环境.换言之,浮游藻类含量代表了初始水生有机质的数量,无定形有机质含量代表了最终保存下来的水生有机质的数量,若有机质在沉积过程中得到了很好保存,两者将存在明显的线性关系.由图 9 可以看出,丽水-椒江凹陷 WZ4-1-1 井月桂峰组烃源岩中浮游藻类含量与无定形有机质含量之间存在明显的线性关系,指示浮游藻类有机质得到了有效保存.结合沉积环境的氧化-还原条件来看,月桂峰组水生有机质在弱氧化-弱还原条件下得到了有效保存,并具有较高的有机质丰度.

另外,水体的含盐度影响着生物群落的发育,在一定程度上控制着有机质的富集.基于 6 口单井微量元素测试数据,统计微量元素锶与钡的比值(图 10)发现,月桂峰组锶钡比值(Sr/Ba)分布范围在 0.1~0.75,平均值为 0.51,即月桂峰组主要为淡水-微咸水的沉积环境,这为水生生物的发育创造了有利条件.

5 月桂峰组烃源岩发育模式

综上所述,月桂峰组烃源岩发育于丽水-椒江凹陷断陷期,该时期是陆相断陷盆地湖相烃源岩形成的主要时期,在半湿润-湿润亚热带型气候影响下,其形成主要受控于沉积-沉降速率、母质来源

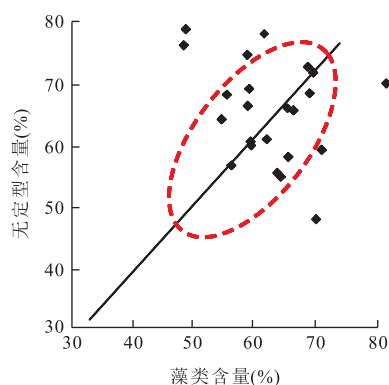


图 9 WZ4-1-1 井月桂峰组烃源岩藻类含量和无定形含量交汇图

Fig.9 Intersection of algae content with the amorphous content from Yueguifeng Formation of WZ4-1-1 well

以及有机质保存条件中的氧化还原条件,在此基础上建立了月桂峰组烃源岩发育模式:①快速沉降;②气候湿润;③水生有机质贡献为主;④淡水-微咸水,有机质保存在弱氧化-弱还原环境(图 11).

6 结论

(1)丽水-椒江凹陷下古新统月桂峰组湖相烃源岩分布广,厚度大,存在多个厚度中心;有机质丰度高,有机质类型以 II₂ 为主,总体上处于成熟-高成熟阶段;有机质以低等水生生物贡献为主,是研究区的主力烃源岩系.

(2)月桂峰组沉积时处于分割性较强、相对封闭的湖泊环境和半湿润-湿润亚热带型气候,陆生有机质和营养物质在河流的搬运作用进入盆地,使水生浮游植物繁荣和有机质生产力提高.

(3)月桂峰组烃源岩的发育主要受沉积-沉降速率、母质来源及有机质保存条件等因素控制,其形

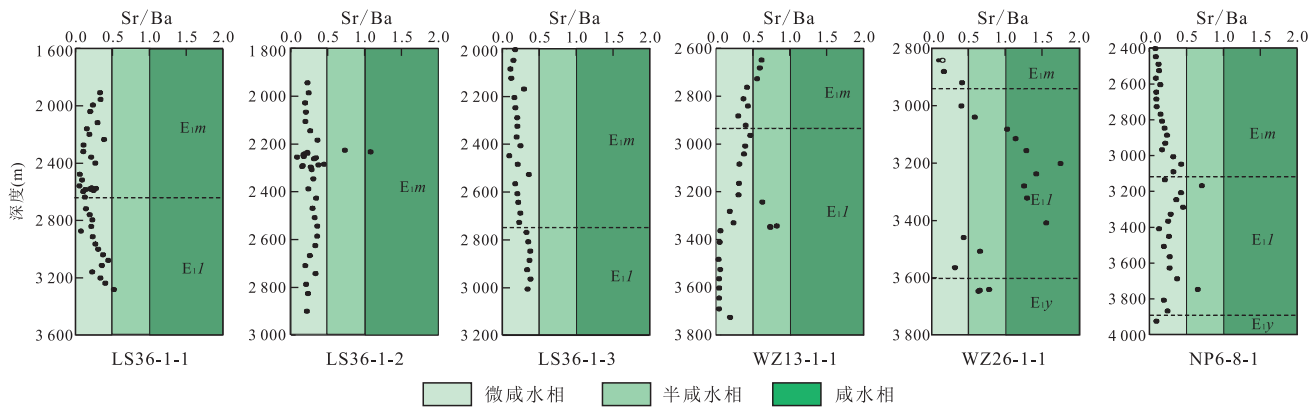


图 10 丽水—椒江凹陷微量元素 (Sr/Ba) 与井深关系

Fig.10 Trace elements (Sr/Ba) with well depth relation in Lishui-Jiaojiang sag

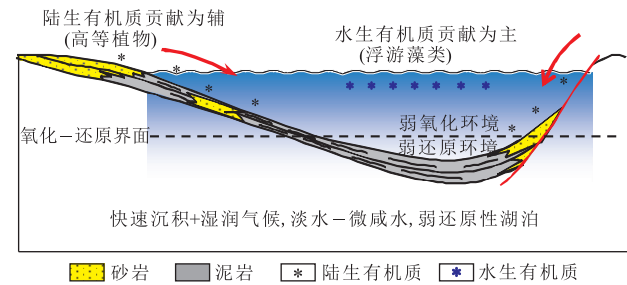


图 11 月桂峰组烃源岩发育模式

Fig.11 Development model for source rock of Yueguifeng Formation

成模式可概括为“快速沉降,湿润气候,水生有机质贡献为主,淡水—微咸水,弱氧化—弱还原环境”。

References

Cai, X.F., 1994. Palaeoclimates as a Necessary Factor in Basin Analysis. *Sedimentary Facies and Palaeogeography*, 14(2): 42—46 (in Chinese with English abstract).

Calvert, S.E., Pedersen, T.F., Naidu, P.D., et al., 1995. On the Organic Carbon Maximum on the Continental Slope of the Eastern Arabian Sea. *Journal of Marine Research*, 53(2): 269—296.

David, Z.P., Paul, K.L., 2002. An Upwelling Model for the Phosphoria Sea: A Permian, Ocean-Margin Sea in the Northwest United States. *AAPG Bulletin*, 86(7): 1217—1235.

Deng, Y.H., 2010. Analysis on Correlation of River and Petroleum. *Acta Petrolei Sinica*, 31(1): 12—17 (in Chinese with English abstract).

Ellery, E.I., Philippe, V.C., 1990. Relation between Sedimentation Rate and Burial of Organic Phosphorus and Organic Carbon in Marine Sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 54(2): 373—386.

Fu, X.D., Qin, J.Z., Teng, G.E., et al., 2011. Mineral Compo-

nents of Source Rocks and Their Petroleum Significance: A Case from Paleozoic Marine Source Rocks in the Middle-Upper Yangtze Region. *Petroleum Exploration and Development*, 38(6): 671—684 (in Chinese with English abstract).

Fu, X.D., Zhu, W.L., Chen, C.F., et al., 2015. Detrital Zircon Provenance of Upper Mingyuefeng Formation in West Slope of Lishui-Jiaojiang Sag, the East China Sea. *Earth Science*, 40(12): 1987—2001 (in Chinese with English abstract).

Gao, Z.Y., Zhang, S.C., Zhu, R.K., et al., 2007. Sea-Level Change and Heterogeneity of Source Rocks of Lianglitage Formation in the Central Tarim Area. *Acta Petrolei Sinica*, 28(5): 45—50 (in Chinese with English abstract).

Hao, L.W., Wang, Q., Liang, J.S., et al., 2014. Mechanism of Hydrocarbon Accumulation in Oujiang Sag, the East China Sea Shelf Basin. *Natural Gas Geoscience*, 25(6): 848—859 (in Chinese with English abstract).

Jiang, L., Wang, Y., Jin, Q., 2001. Petroleum System and Oil Exploration in the West Lishui Sag, the East China Sea Basin. *Petroleum Geology & Experiment*, 23(4): 368—372, 389 (in Chinese with English abstract).

Jiang, L., Li, B.H., Zhong, S.L., et al., 2004. Biostratigraphy and Paleoenvironment of the Yueguifeng Formation in the Taipei Depression of the Continental Shelf Basin of the East China Sea. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 24(1): 37—42 (in Chinese with English abstract).

Li, H.J., Xie, X.N., Huang, J.H., et al., 2012. Main Factors Controlling the Formation of Excellent Marine Source Rocks in Permian Maokou Formation of Northwest Sichuan, China. *Earth Science*, 37(1): 171—180 (in Chinese with English abstract).

Li, T.Y., He, S., Yang, Z., 2008. The Marine Source Rock Formation Conditions and Control Factors. *Geological Science and Technology Information*, 27(6): 63—70 (in

Chinese with English abstract).

- Li, Y. C., 2015. Main Controlling Factors for the Development of High Quality Lacustrine Hydrocarbon Source Rocks in Offshore China. *China Offshore Oil and Gas*, 27(3): 1—9 (in Chinese with English abstract).
- Li, Y. C., Deng, Y. H., Zhang, G. C., 2012. Zoned Distribution of Source Rocks and Hydrocarbon Offshore China. *China Offshore Oil and Gas*, 24(1): 6—12 (in Chinese with English abstract).
- Li, Z. M., Yu, X. L., Xu, E. S., et al., 2010. The Characteristics of Mineral Components for Effective Source Rocks from Dongying Depression of Bohai Bay Basin and Its Significance. *Petroleum Geology & Experiment*, 32(3): 270—275 (in Chinese with English abstract).
- Liu, C. L., Yang, J. L., Röhl, H. J., et al., 2001. Factors Influencing Organic Carbon Distribution in Lacustrine Sediments. *Acta Sedimentologica Sinica*, 19(1): 113—116 (in Chinese with English abstract).
- Lü, C. F., Chen, G. J., Liang, J. S., et al., 2011. Evolutionary History of the Paleocene Deposits in Oujiang Sag, East China Sea Basin. *Marine Geology Frontiers*, 27(8): 1—7 (in Chinese with English abstract).
- Pedersen, T. F., Calvert, S. E., 1990. Anoxia vs. Productivity: What Controls the Formation of Organic-Carbon-Rich Sediments and Sedimentary-Rocks. *AAPG Bulletin*, 74(4): 454—466.
- Qian, H. J., Lu, X. C., Zhang, X. F., et al., 2009. Spatial Paleosalinity Distribution and Element Geochemistry of Argillaceous Source Rocks in the Upper Part of 4th Member of Tertiary Shahejie Formation in Dongying Sag. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 28(2): 161—168 (in Chinese with English abstract).
- Su, A., Chen, H. H., Cao, L. S., et al., 2014. Genesis, Source and Charging of Oil and Gas in Lishui Sag, East China Sea Basin. *Petroleum Exploration and Development*, 41(5): 523—532 (in Chinese with English abstract).
- Sun, X. L., Chen, J. F., Liu, W. H., et al., 2003. Hydrothermal Venting on the Seafloor and Formation of Organic-Rich Sediments—Evidence from the Neoproterozoic Xiamaling Formation, North China. *Geological Review*, 49(6): 588—595 (in Chinese with English abstract).
- Tian, B., Pang, G. Y., Wang, Q., et al., 2012. Hydrocarbon Accumulation Condition of Superimposed Rift-Subsidence Basin: A Case Study from Lishui-Jiaojiang Sag in the East China Sea. *Lithologic Reservoirs*, 24(5): 32—37, 42 (in Chinese with English abstract).
- Tian, J. C., Chen, H. D., Zhang, X., et al., 2006. Features of Condensed Section and Its Relationship with Source Rocks: Taking Marine Sinian-Middle Triassic in Southern China as Example. *Oil & Gas Geology*, 27(3): 378—383 (in Chinese with English abstract).
- Tyson, R. V., Pearson, T. H., 1991. Modern and Ancient Continental Shelf Anoxia: An Overview. *Geological Society of Special Publication*, 58(1): 1—24. doi: 10.1144/GSL.SP.1991.058.01.01
- Wang, W., Ye, J. R., Yang, X. H., et al., 2015. Sediment Provenance and Depositional Response to Multistage Rifting, Paleogene, Huizhou Depression, Pearl River Mouth Basin. *Earth Science*, 40(6): 1061—1071 (in Chinese with English abstract).
- Wei, H. F., Chen, J. F., Chen, X. D., et al., 2013. The Controlling Factors and Sedimentary Environment for Developing Coastal Coal-Bearing Source Rock of Pinghu Formation in Xihu Depression. *Geology in China*, 40(2): 487—497 (in Chinese with English abstract).
- Yin, S. Y., He, S., Lei, C., et al., 2014. Characteristics and Hydrocarbon Generation-Expulsion History of Yueguifeng Formation Source Rock in Lishui-Jiaojiang Depression, East China Sea Shelf Basin. *Marine Geology Frontiers*, 30(8): 35—41, 65 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, S. C., Zhang, B. M., Bian, L. Z., et al., 2005. Development Constraints of Marine Source Rocks in China. *Earth Science Frontiers*, 12(3): 39—48 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, S. P., Lü, B. F., Xia, B., et al., 2007. The Structural Transfer Zone and Its Scientific Significance on Oil & Gas Accumulation in the Lishui-Jiaojiang Sag, East China Sea. *Natural Gas Geoscience*, 18(5): 653—655 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, W. Z., Yang, H., Peng, P. A., et al., 2009. The Influence of Late Triassic Volcanism on the Development of Chang 7 High Grade Hydrocarbon Source Rock in Ordos Basin. *Geochimica*, 38(6): 573—582 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, W. Z., Yang, H., Xie, L. Q., et al., 2010. Lake-Bottom Hydrothermal Activities and Their Influences on the High-Quality Source Rock Development: A Case from Chang 7 Source Rocks in Ordos Basin. *Petroleum Exploration and Development*, 37(4): 424—429 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Y. G., Ge, H. P., Yang, Y. Q., et al., 2012. Division and Controlling Factors of Paleocene Sequence Strata in Lishui Sag, East China Sea Basin. *Marine Origin Petroleum Geology*, 17(3): 33—39 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, X. L., Zhao, C. B., Guan, X. T., et al., 1992. The Application of Spore-Pollen data in a Quantitative Explanation of Terti-

ary Palaeoclimate in Our Country. *Acta Petrolei Sinica*, 13 (2): 215—225 (in Chinese with English abstract).

Zhao, Z. G., Wang, P., Qi, P., et al., 2016. Regional Background and Tectonic Evolution of East China Sea Basin. *Earth Science*, 41 (3): 546—554 (in Chinese with English abstract).

Zhou, X., He, S., Chen, Z. Y., et al., 2016. Characteristics and Controlling Factors of Source Rocks in Yanchang Formation Sequence Framework, Ordos Basin. *Earth Science*, 41 (6): 1055—1066 (in Chinese with English abstract).

Zhu, J. J., Wang, Q., Liang, J. S., et al., 2012. Cenozoic Geological Structure and Tectonic Evolution of Southern East China Sea Shelf Basin. *Natural Gas Geoscience*, 23 (2): 222—229 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

蔡雄飞, 1994. 古气候条件是盆地分析不可缺少的因素. 岩相古地理, 14 (2): 42—46.

邓运华, 2010. 论河流与油气的共生关系. 石油学报, 31 (1): 12—17.

付小东, 秦建中, 滕格尔, 等, 2011. 烃源岩矿物组成特征及油气地质意义——以中上扬子古生界海相优质烃源岩为例. 石油勘探与开发, 38 (6): 671—684.

付晓伟, 朱伟林, 陈春峰, 等, 2015. 丽水—椒江凹陷西斜坡明月峰组上段碎屑锆石物源. 地球科学, 40 (12): 1987—2001.

高志勇, 张水昌, 朱如凯, 等, 2007. 塔中地区良里塔格组海平面变化与烃源岩的非均质性. 石油学报, 28 (5): 45—50.

郝乐伟, 王琪, 梁建设, 等, 2014. 东海陆架盆地瓯江凹陷油气成藏机制探讨. 天然气地球科学, 25 (6): 848—859.

姜亮, 王毅, 金强, 2001. 东海盆地丽水西凹陷含油气系统与油气勘探目标. 石油实验地质, 17 (3): 368—372, 389.

姜亮, 李保华, 钟石兰, 等, 2004. 东海陆架盆地台北坳陷月桂峰组生物地层及古环境. 海洋地质与第四纪地质, 24 (1): 37—42.

李红敬, 解习农, 黄俊华, 等, 2012. 川西北二叠系茅口组海相优质烃源岩发育控制因素. 地球科学, 37 (1): 171—180.

李天义, 何生, 杨智, 2008. 海相优质烃源岩形成环境及其控制因素分析. 地质科技情报, 27 (6): 63—70.

李友川, 2015. 中国近海湖相优质烃源岩形成的主要控制因素. 中国海上油气, 27 (3): 1—9.

李友川, 邓运华, 张功成, 2012. 中国近海海域烃源岩和油气的分带性. 中国海上油气, 24 (1): 6—12.

李志明, 余晓露, 徐二社, 等, 2010. 渤海湾盆地东营凹陷有效烃源岩矿物组成特征及其意义. 石油实验地质, 32 (3): 270—275.

刘春莲, 杨建林, Jöhl, H. L., 等, 2001. 影响湖相沉积岩中的有机碳分布的主要因素——以三水盆地为例. 沉积学报, 19 (1): 113—116.

吕成福, 陈国俊, 梁建设, 等, 2011. 东海陆架盆地瓯江凹陷古

近系沉积演化. 海洋地质前沿, 27 (8): 1—7.

钱焕菊, 陆现彩, 张雪芬, 等, 2009. 东营凹陷沙四段上部泥质烃源岩元素地球化学及其古盐度的空间差异性. 岩石矿物学杂志, 28 (2): 161—168.

苏奥, 陈汉红, 曹圣来, 等, 2014. 东海盆地丽水凹陷油气成因、来源及充注过程. 石油勘探与开发, 41 (5): 523—532.

孙省利, 陈践发, 刘文汇, 等, 2003. 海底热水活动与海相富有机质层形成的关系——以华北新古元界白口系下马岭组为例. 地质论评, 49 (6): 588—595.

田兵, 庞国印, 王琪, 等, 2012. 叠合断陷盆地油气成藏条件分析——以东海丽水—椒江凹陷为例. 岩性油气藏, 24 (5): 32—37, 42.

田景春, 陈洪德, 张翔, 等, 2006. 凝缩段特征及其与烃源岩的关系——以中国南方海相震旦系、中三叠统为例. 石油与天然气地质, 27 (3): 378—383.

王维, 叶加仁, 杨香华, 等, 2015. 珠江日盆地惠州凹陷古近纪多幕裂陷旋回的沉积物源响应. 地球科学, 40 (6): 1061—1071.

魏恒飞, 陈践发, 陈晓东, 等, 2013. 西湖凹陷平湖组滨海型煤系烃源岩发育环境及其控制因素. 中国地质, 40 (2): 487—497.

殷世艳, 何生, 雷闯, 等, 2014. 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. 海洋地质前沿, 30 (8): 35—41, 65.

张水昌, 张宝民, 边立增, 等, 2005. 中国海相烃源岩发育控制因素. 地学前缘, 12 (3): 39—48.

张升平, 吕宝凤, 夏斌, 等, 2007. 东海盆地丽水—椒江凹陷构造转换带及其对油气藏形成和分布的意义. 天然气地球科学, 18 (5): 653—655.

张文正, 杨华, 彭平安, 等, 2009. 晚三叠火山活动对鄂尔多斯盆地长7优质烃源岩发育的影响. 地球化学, 38 (6): 573—582.

张文正, 杨华, 解丽琴, 等, 2010. 湖底热水活动及其对优质烃源岩发育的影响——以鄂尔多斯盆地长7烃源岩为例. 石油勘探与开发, 37 (4): 424—429.

张银国, 葛和平, 杨艳秋, 等, 2012. 东海陆架盆地丽水凹陷古新统层序地层的划分及控制因素. 海相油气地质, 17 (3): 33—39.

赵秀兰, 赵传本, 关学婷, 等, 1992. 利用孢粉资料定量解释我国第三纪古气候. 石油学报, 13 (2): 215—225.

赵志刚, 王鹏, 祁鹏, 等, 2016. 东海盆地形成的区域地质背景与构造演化特征. 地球科学, 41 (3): 646—554.

周翔, 何生, 陈召佑, 等, 2016. 鄂尔多斯盆地南部延长组层序地层格架中烃源岩特征及控制因素. 地球科学, 41 (6): 1055—1066.

祝建军, 王琪, 梁建设, 等, 2012. 东海陆架盆地南部新生代地质结构与构造演化特征研究. 天然气地球科学, 23 (2): 222—229.