

文章编号:1001-6112(2012)03-0319-06

# 低勘探程度盆地烃源岩热演化及排烃史研究

——以东海椒江凹陷为例

仝志刚,赵志刚,杨树春,席小应,郝建荣,喻英梅

(中海油研究总院,北京 100027)

**摘要:**低勘探程度盆地,特别是在海域,钻井稀少且一般位于构造高部位,而盆地中心烃源岩埋藏深,又无钻井揭示,如何评价盆地中心烃源岩的演化程度和排烃历史是盆地或凹陷评价的关键问题。该文以东海椒江凹陷为例,从凹陷边缘或构造高部位具备实测温度和镜质体反射率( $R_o$ )资料的钻井出发,利用正演模拟方法,恢复椒江凹陷岩石圈结构及其演化史,进而模拟整个凹陷古新统烃源岩的热演化史。研究表明,椒江凹陷古新统烃源岩现今最大 $R_o$ 达到2.8%,为过成熟状态。凹陷总排油量略多于排气量,总排烃量为 $33 \times 10^8 \text{ m}^3$ 油当量,主要的排烃期在中新世之前。下一步勘探应在凹陷中部凸起带选择圈闭条件好、且形成于中新世之前的目标进行钻探。

**关键词:**烃源岩热演化;正演模拟;岩石圈结构;低勘探程度盆地;东海椒江凹陷

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

## Research on thermal evolution and hydrocarbon expulsion history of source rocks in low-exploration basins:

a case study on Jiaojiang Sag, East China Sea Basin

Tong Zhigang, Zhao Zhigang, Yang Shuchun, Xi Xiaoying, Hao Jianrong, Yu Yingmei

(Research Institute of CNOOC, Beijing 100027, China)

**Abstract:** In low-exploration basins, especially offshore ones, wells are rare and usually locate in the higher positions. The source rocks in basin centers are buried deeply and are not drilled. Therefore, it is the key for basin/sag evaluation to study the thermal evolution and hydrocarbon expulsion history of source rocks in basin centers. Case studies have been carried out in the Jiaojiang Sag of the East China Sea Basin. Based on the measured temperature and  $R_o$  data collected from wells locating in the sag edge or the higher positions, by means of forward modeling method, the lithosphere structure and thermal history of the Jiaojiang Sag have been recovered, and the thermal history of Paleocene source rocks in the whole sag have been modeled. The results show that the maximum  $R_o$  of Paleocene source rocks in the sag is 2.8%, indicating over-mature state. The total amount of oil expulsion is a little bit more than that of gas expulsion, and the amount of hydrocarbon expulsion is  $33 \times 10^8 \text{ m}^3$  oil equivalent. Hydrocarbon expulsion mainly took place before Miocene. In the future exploration, the prospects with good traps and were formed before Miocene in the central uplifts should be focused on.

**Key words:** thermal evolution of source rock; forward modeling; lithosphere structure; low-exploration basin; Jiaojiang Sag of East China Sea Basin

随着地震和钻井工作量的不断增加,高勘探程度盆地的研究程度越来越高,油气勘探的难度也越来越大。人们不得不把注意力转移到低勘探程度地区,以寻找储量替代或勘探突破的新领域<sup>[1-3]</sup>。东海椒江凹陷是一个低勘探程度凹陷,到目前为止在凹陷的周缘和中部凸起共钻井5口(图1),没有商业发现。其中B井在凹陷中部凸起钻遇主要烃

源岩为古新统月桂峰组和灵峰组,该烃源岩在钻井处理藏浅,有机质为未成熟—低成熟状态。而凹陷中心埋藏深,无钻井揭示。如何分析主力烃源岩的热演化程度及其排烃史是椒江凹陷油气勘探潜力评价的关键。

钻井处具有温度和镜质体反射率( $R_o$ )实测资料,可以利用正演或反演方法进行烃源岩的热演化

收稿日期:2011-11-15;修订日期:2012-03-31。

作者简介:仝志刚(1969—),男,博士,高级地质师,从事盆地模拟及油气勘探风险分析等研究工作。E-mail: tongzgh@cnooc.com.cn。

基金项目:国家重大科技专项(2008ZX05023-01)资助。

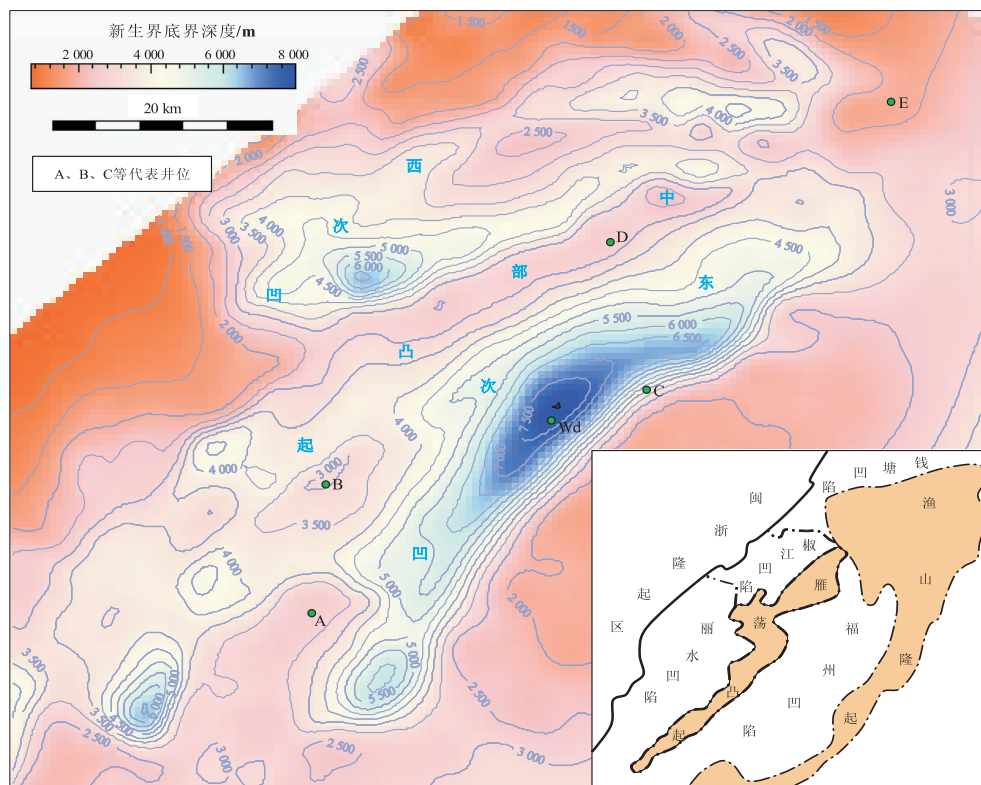


图1 东海椒江凹陷地理位置与凹陷结构

Fig. 1 Location and structure of Jiaojiang Sag, East China Sea Basin

史模拟恢复<sup>[4-8]</sup>。但是油气勘探中,钻井一般选择在构造高部位或盆地、凹陷的边部,特别是海上勘探,钻井稀少,盆地或凹陷中心几乎没有钻井,而烃源岩埋藏深,难以判断其现今的成熟状态。以往研究均采用钻井位置的模拟结果,沿深度向下外推盆地中心烃源岩的成熟度,或者利用盆地边缘钻井温度和镜煤反射率资料标定盆地中心虚拟井热流值进行模拟<sup>[9-11]</sup>。但由于盆地中心的地温梯度和热流值一般较盆地边缘或隆起区低<sup>[12-15]</sup>,以上研究方法都会导致盆地中心烃源岩的成熟度预测偏高,为生烃潜力和生烃高峰的研究带来误差。本文利用椒江凹陷周缘或凸起钻井温度和镜质体反射率资料模拟建立凹陷深部岩石圈的结构及其演化模型,再结合地质与地球化学资料,正演恢复椒江凹陷烃源岩的热演化史及排油气史,以期为进一步勘探提供指导。

## 1 区域地质概况

椒江凹陷位于东海陆架盆地台北坳陷中西部,西侧为闽浙隆起区,东侧为雁荡凸起的北段,南北分别与丽水凹陷和钱塘凹陷相连,面积3 500 km<sup>2</sup>,水深小于100 m,总体呈北东走向狭长地堑—半地堑结构,主要沉积为新生界地层。东次凹是凹陷的

主体,凹陷中心地层的最大埋深约8 000 m(图1)。

椒江凹陷与中国东部新生代陆相沉积盆地一样,总体上具有下部断陷、上部拗陷的“双层结构<sup>[16-17]</sup>”,但其裂陷期主要在古新世。椒江凹陷的构造演化总体为3期,分别为裂陷期、裂后拗陷期和区域沉降期(表1)。沉积环境从古到今由陆相到海陆过渡相演化,再逐渐到海相环境。

裂陷期自晚白垩世开始,持续到古新世。期间

表1 东海椒江凹陷地层划分

Table 1 Stratigraphic division of Jiaojiang Sag, East China Sea Basin

系	统	组	底界 年龄/Ma	构造演化 阶段
第四系	更新统	东海组	2.6	区域 沉降期
	上新统	三潭组	5.3	
新近系	中新统	柳浪组	10.4	
		玉泉组	16.3	
		龙井组	23.3	
古近系	渐新统	花港组	32	拗陷期
	始新统	平湖组	47	
		温州组	54	
	古新统	瓯江组	56.5	裂陷期
		明月峰组	58.5	
白垩系	上白垩统	灵峰组	61	裂陷期
		月桂峰组	65	
		石门潭组	76	

东海陆架区处于右旋张扭的裂隙伸展背景,产生了一系列东断西超的半地堑。椒江凹陷接受了巨厚的裂隙充填沉积,古新统地层最厚可达5 000 m,从下到上为一套湖相—海陆过渡相沉积。

从始新世到渐新世为裂后拗陷期。始新世开始,包括椒江凹陷在内的台北拗陷构造沉降速率减小,沉积了瓯江组和温州组滨浅海相地层。始新世后期到渐新世,由于区域的板块运动及其东部构造沉降速率的相对增大,椒江凹陷构造沉降速率相对减小,甚至抬升,渐新统和上始新统遭受了大面积剥蚀,但剥蚀厚度不大。

中新世以来,椒江凹陷与其东部的开阔区域一起进入平稳的热沉降阶段,大范围沉积了一套微向东倾斜的近水平地层,但总体沉积充填规模不大,凹陷范围内最大厚度约1 400 m。

目前在椒江凹陷共钻井5口,没有商业发现。其中B为油气层井,测井解释在下古新统的月桂峰组有4层7 m气层;C为显示井,在上古新统明月峰组仅见弱气测异常和气侵;其余3口均为干井。椒江凹陷属于生烃潜力尚未证实的低勘探程度凹陷。

## 2 烃源岩热演化史

椒江凹陷的5口钻井分布在凹陷周缘和中部凸起(图1),仅B井在中部凸起钻遇古新统月桂峰组和灵峰组烃源岩,其余4口井该套地层缺失。钻遇的月桂峰组和灵峰组地层为滨浅湖相—滨浅海相沉积,埋深约2 200~2 400 m,镜质体反射率 $R_o$ 为0.4%~0.6%,处于未成熟—低成熟状态。5口钻井中有地温资料的3口,有镜质体反射率资料的2口,2种资料都具备的只有C井,所以选择该井恢复凹陷的岩石圈结构和演化历史,模拟凹陷烃源岩的热演化史。

### 2.1 深部岩石圈结构及演化史恢复

C井位于椒江凹陷东缘的边界断层上,钻遇最老地层是上古新统明月峰组,完钻于古近系变质岩,井底深度3 570 m。早、中古新世为无沉积期,缺失月桂峰组和灵峰组。

椒江凹陷现今地壳厚度大约为28 km<sup>[18]</sup>,去掉凹陷沉积物的厚度,得到C井处的地壳厚度约为24 km。一般假定盆地形成前的原始地壳厚度为35 km,上地幔原始厚度为90 km<sup>[19]</sup>,则该井点处的地壳减薄系数为35/24,即1.458;采用地壳和上地幔双层均匀拉伸模型,最大拉伸状态时上地幔的厚度为90/1.458,即62 km。这样,就得到了椒

江凹陷形成演化过程中其深部岩石圈结构的演化历史(图2),原始岩石圈厚度为125 km(地壳厚度35 km+上地幔厚度90 km),随着岩石圈的拉张减薄,凹陷开始形成,到岩石圈的最大拉伸状态时,也就是裂陷期结束(古新世末)时,岩石圈最薄,厚度为86 km(地壳厚度24 km+上地幔厚度62 km)。随后凹陷进入热冷却沉降,地壳厚度不变,由于部分软流圈物质的冷却,上地幔厚度逐渐增大到现今的状态(现今上地幔厚度将通过模拟计算确定)。

在上述岩石圈模型下,基于岩石圈底界温度1 330 °C,利用构造热演化正演模拟原理<sup>[20-22]</sup>,模拟了C井的热演化史。模拟过程中先给出现今上地幔厚度的假定值,然后再不断调整,直到模拟结果与现今该井地温和镜质体反射率实测数据吻合(图3)为止。由此确定了现今岩石圈的厚度94 km(减去沉积物厚度),最终得到了C井处岩石圈结构的演化史。

由于椒江凹陷裂后热衰减的时间接近60 Ma,可以认为椒江凹陷上地幔厚度恢复到了相对稳定的状态,现今区域上软流圈顶界深度大体一致,大约为98 km。依照上述方法分别计算出凹陷中部凸起B井和凹陷中心Wd井处的岩石圈减薄系数,然后建立了B和Wd井处的岩石圈结构演化模型(图2)。

### 2.2 凹陷烃源岩热演化史恢复

椒江凹陷古新统烃源岩在凹陷中部凸起埋深相对较浅,约2 400 m,厚度较薄,约500 m;在东次凹埋深最大,约7 500 m,厚度约5 000 m。可以推断,凹陷深部的烃源岩首先成熟生烃,生烃量大,埋深相对较浅的烃源岩成熟晚,生烃量小。随着凹陷

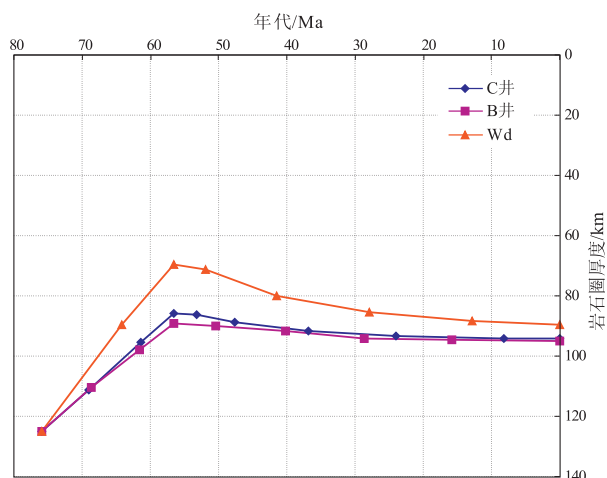


图2 东海椒江凹陷不同位置岩石圈厚度演化史  
Fig. 2 Evolution of lithosphere thickness at different locations in Jiaojiang Sag, East China Sea Basin

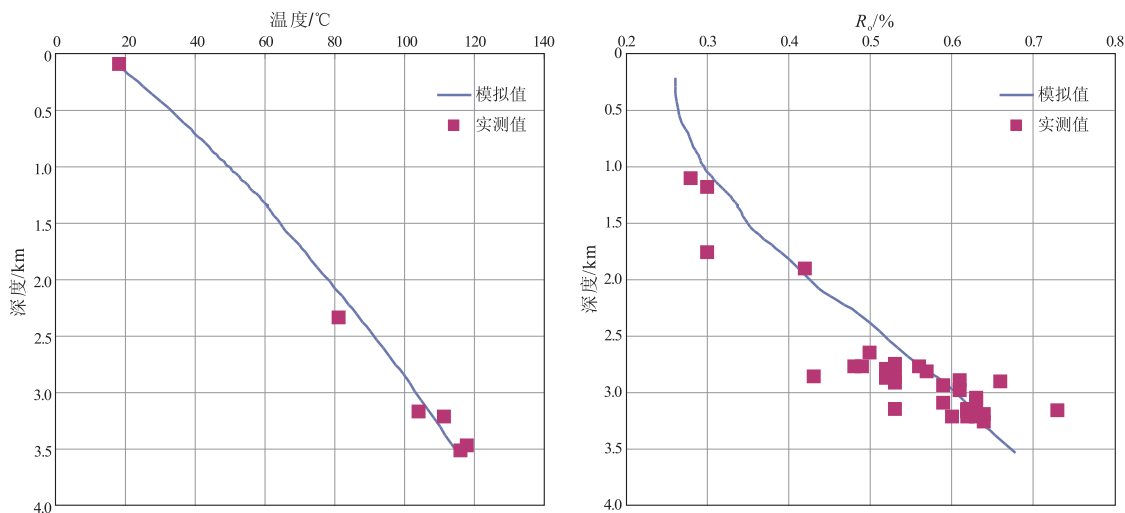


图 3 东海椒江凹陷 C 井温度和  $R_o$  模拟结果与实测值对比

Fig. 3 Modeled and measured temperature and  $R_o$  in well C, Jiaojiang Sag, East China Sea Basin

的不断沉降, 烃源岩从深到浅的成熟生烃是个连续过程, 任何一个点的热演化史都不能代表整个凹陷烃源岩的成熟史, 需要在三维空间内研究烃源岩的成熟史和生烃史, 才能正确恢复椒江凹陷的排烃潜力与排烃史。

位于凹陷中心最深点 Wd 和凸起 B 井分别代表了椒江凹陷烃源岩埋藏最深和较浅的位置, 在烃源岩的演化过程中代表了早晚两端。通过利用上述 2 个点深部岩石圈的演化模型, 模拟恢复其热史和烃源岩成熟史。模拟结果表明, 相同深度, 凹陷凸起部位的地温梯度(图 4)和有机质成熟度大于凹陷中心(图 5), 所以, 凹陷周缘或构造高部位烃源岩的热演化史和成熟史不能代替凹陷中心的烃源岩演化过程。

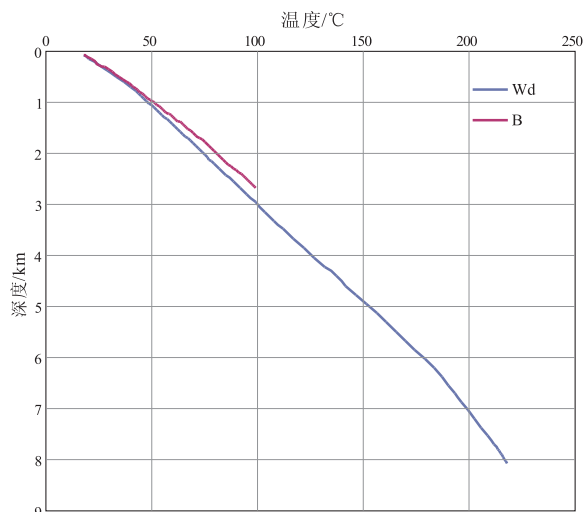


图 4 东海椒江凹陷不同位置现今地温曲线

Fig. 4 Present temperatures at different locations in Jiaojiang Sag, East China Sea Basin

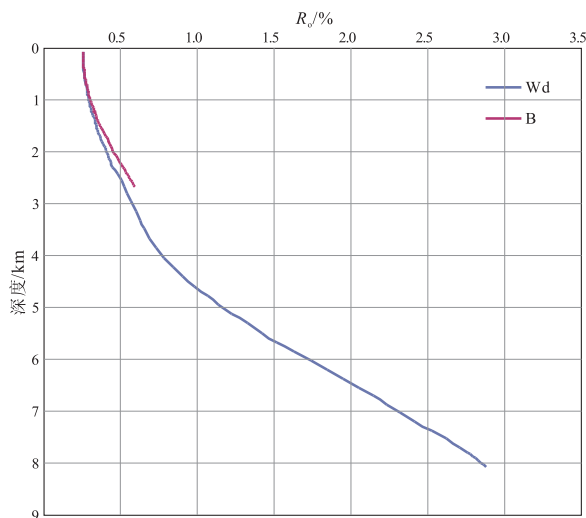


图 5 东海椒江凹陷不同位置现今  $R_o$  曲线

Fig. 5 Present  $R_o$  at different locations in Jiaojiang Sag, East China Sea Basin

而同一层位的烃源岩, 现今凹陷中心的成熟度远大于凸起区, 且在埋藏史中热演化程度的增大相对很快(图 6)。凹陷中心 Wd 井月桂峰组底部烃源岩在古新世末期就已成熟, 到始新世中期  $R_o$  达到 2%, 其后, 成熟度增加减缓, 到现今  $R_o$  约 2.8%。凹陷中部凸起 B 井处月桂峰组底部烃源岩的成熟相对缓慢, 大约在中新世早期  $R_o$  才达到 0.5%, 进入生烃门限, 直到现今仍处于低熟状态。

凹陷中不同位置烃源岩的热演化史与其埋藏深度相关。把这种相关关系应用到各时期烃源岩的埋藏深度图上<sup>[23]</sup>, 得到了椒江凹陷烃源岩在平面上各时期的成熟度。

现今椒江凹陷月桂峰组底界烃源岩都已成熟(图 7), 东次凹和西次凹  $R_o$  都大于 0.7%, 处于成



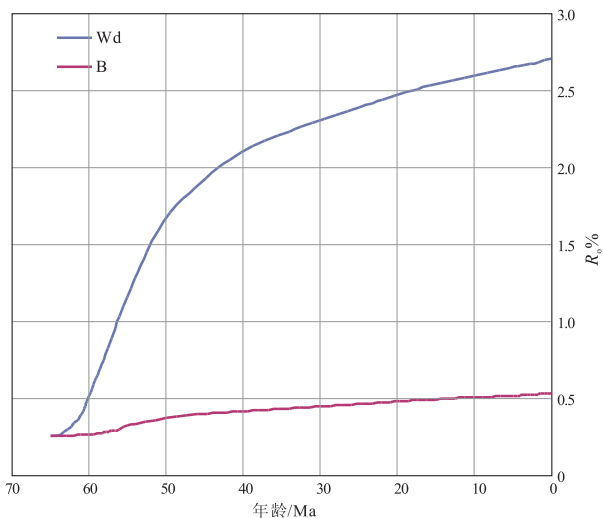


图6 东海椒江凹陷不同位置月桂峰组底界烃源岩成熟度演化史

Fig. 6 Maturity evolution of source rocks at the bottom of Yueguifeng Formation at different locations in Jiaojiang Sag, East China Sea Basin

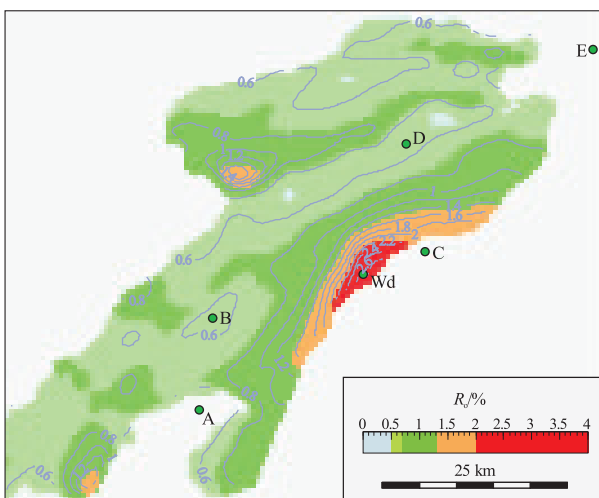


图7 东海椒江凹陷月桂峰组底界有机质成熟度

Fig. 7 Maturity at the bottom of Yueguifeng Formation, Jiaojiang Sag, East China Sea Basin

熟状态,进入油窗。东次凹中心大约 1/3 的面积  $R_o$  大于 1.35%, 进入湿气窗,中心部分烃源岩  $R_o$  大于 2%, 进入干气窗,  $R_o$  最大近 2.8%, 为过成熟状态。灵峰组顶界烃源岩仅有一半面积处于低熟—成熟状态, 仅有东次凹中心局部范围达到成熟(图 8)。

### 3 烃源岩排烃史

椒江凹陷主要烃源岩为中下古新统灵峰组和月桂峰组。B 钻井揭示,灵峰组上段为滨浅海相沉积,有机碳含量平均为 2.82%, 氢指数为 325 mg/g, II 型干酪根;下段没有钻井揭示。但根据邻区丽水凹陷的资料,灵峰组沉积早期亦为滨浅海环境,有机

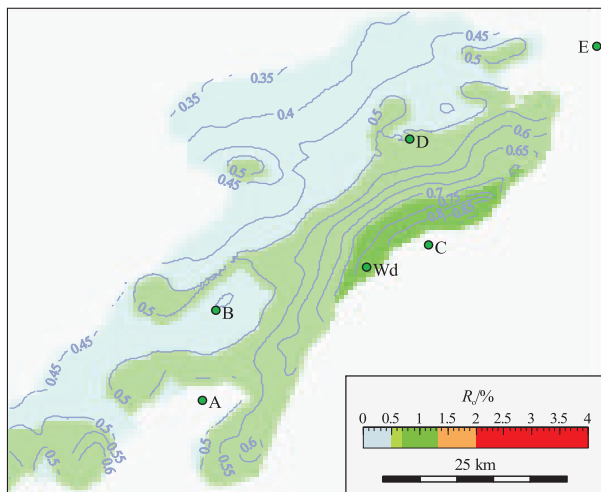


图8 东海椒江凹陷灵峰组顶界有机质成熟度

Fig. 8 Maturity at the top of Lingfeng Formation, Jiaojiang Sag, East China Sea Basin

碳含量取值为 2.82%, 氢指数为 300 mg/g。月桂峰组为滨浅湖相沉积,有机碳含量平均为 2.27%, 氢指数为 296 mg/g, II 型干酪根。根据地震和区域资料推测凹陷中心可能发育有半深湖相沉积,但由于没有确切资料,本次模拟计算仍以滨浅湖相沉积取值,计算结果可能略保守。灵峰组的烃源岩厚度约占其总厚度的 50%, 月桂峰组烃源岩的厚度约占其总厚度的 60%。

在热演化模拟基础上,模拟了椒江凹陷的排烃历史。模拟可知,椒江凹陷月桂峰组和灵峰组烃源岩的总排烃量为  $33 \times 10^8 \text{ m}^3$  油当量(表 2), 其中排油量  $19 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 排气量  $14 \times 10^8 \text{ m}^3$  油当量。主要贡献是月桂峰组和灵峰组下段,灵峰组上段可以忽略。在平面上,东次凹的排烃量远大于西次凹,西次凹可以忽略。

从东次凹的排烃史上可以看出,烃源岩的排烃较早,中新世以后的排烃量急剧减少,仅为  $7 \times 10^8 \text{ m}^3$  油当量。其中,月桂峰组中新世以后的排油、气量分别为  $0.5 \times 10^8 \text{ m}^3$  和  $1.6 \times 10^{11} \text{ m}^3$ , 仅占其总排油量的 7%、总排气量的 19%, 上新世以后的排烃量几乎为零

表2 东海椒江凹陷主要烃源岩排烃量统计

Table 2 Amount of hydrocarbon expulsion from main source rocks in Jiaojiang Sag,

East China Sea Basin  $10^8 \text{ m}^3$  油当量

地层	东次凹		西次凹		总排烃量	排烃比例/%
	排油量	排气量	排油量	排气量		
灵峰上段	0.3	0.0	0.0	0.0	0.3	1
灵峰下段	10.2	4.8	0.1	0.0	15.2	46
月桂峰组	7.3	8.8	0.8	0.3	17.1	52
合计	17.8	13.6	0.9	0.3	32.6	

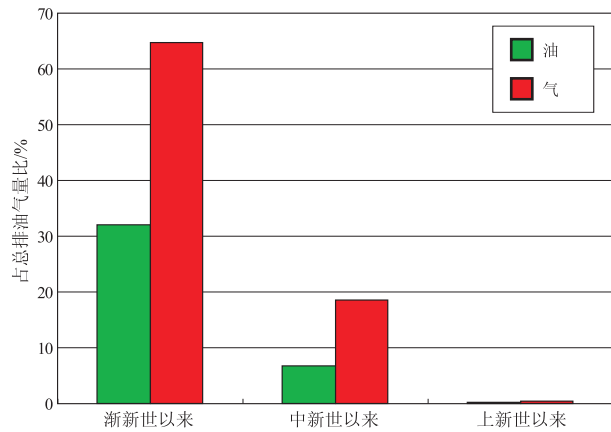


图9 东海椒江凹陷东次凹月桂峰组各时期排油气量

Fig. 9 Proportion of oil & gas expulsion during different stages from Yueguifeng Formation, eastern sub-sag of Jiaojiang Sag, East China Sea Basin

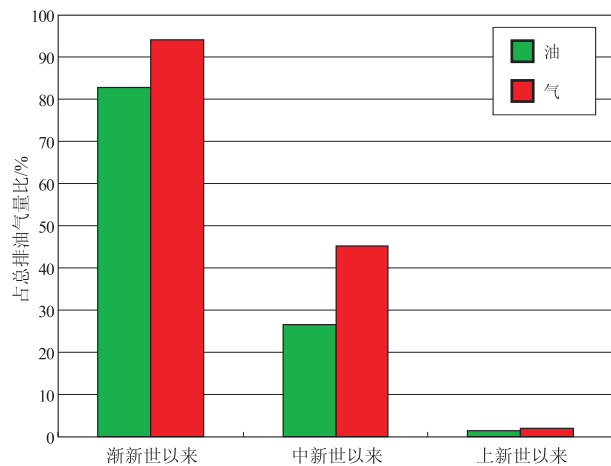


图10 东海椒江凹陷东次凹灵峰组下段各时期排油气量

Fig. 10 Proportion of oil & gas expulsion during different stages from Lower Lingfeng Formation, eastern sub-sag of Jiaojiang Sag, East China Sea Basin

(图9)。灵峰组下段中新世以后的排油、气量分别为  $2.7 \times 10^8 \text{ m}^3$  和  $2.2 \times 10^{11} \text{ m}^3$ , 占其总排油量的27%、总排气量的45%(图10)。

综上所述,椒江凹陷今后的勘探应主要围绕生烃中心——东次凹进行,寻找形成于中新世之前的圈闭。A、E和C井处于凹陷长轴的两端和半地堑的断阶陡坡带,其失利均是由于其不在油气汇聚的有利方向造成的。中部凸起带是油气汇聚的有利方向,但B和D两口井的失利,前者是储层质量差,后者是圈闭问题造成的。下一步勘探应在中部凸起带选择圈闭条件好、且形成于中新世之前的目标进行钻探。

## 4 讨论与结论

1) 尽管裂谷盆地的动力学模型很多,但椒江

凹陷深部没有大的低角度拆离断层和滑脱面,凹陷的沉降中心与莫霍面隆起基本一致,采用均匀纯剪切拉张模型进行盆地热史的正演模拟,模拟结果与现今实测温度和  $R_0$  对比,吻合良好,可以认为该模型能够反映椒江凹陷的热演化过程。

2) 在低勘探程度盆地,利用盆地边缘或构造高部位具备实测资料的钻井模拟外推盆地的岩石圈结构及演化过程,正演恢复盆地中心烃源岩的热演化历史,可以客观反映盆地烃源岩的演化程度和排烃史。

3) 椒江凹陷中心烃源岩的最大成熟度  $R_0$  值达到2.8%,达到过成熟状态,排油量略多于排气量,主要的排烃期在中新世之前。下一步勘探应在中部凸起带选择圈闭条件好、且形成于中新世之前的目标进行钻探。

### 参考文献:

- [1] 曹强,叶加仁,石万忠,等. 低勘探程度盆地烃源岩早期评价:以南黄海北部盆地东北凹为例[J]. 石油学报,2009,30(4):522-529.
- [2] 瞿辉,赵文智,胡素云. 我国油气资源潜力及勘探领域[J]. 中国石油勘探,2006(4):1-5.
- [3] 赵政璋,何海清. 中国石油近几年新区油气勘探成果及下一步工作面临的挑战和措施[J]. 沉积学报,2004,22(S1):1-7.
- [4] 胡圣标,何丽娟,朱传庆,等. 海相盆地热史恢复方法体系[J]. 石油与天然气地质,2008,29(5):607-613.
- [5] 杨树春,全志刚,贺清,等. 潮汕坳陷中生界生烃历史及火成岩侵入影响分析[J]. 中国海上油气,2008,20(3):152-156.
- [6] 何丽娟,汪集旸. 沉积盆地构造热演化研究进展:回顾与展望[J]. 地球物理学进展,2007,22(4):1215-1219.
- [7] 胡圣标,张容燕,周礼成. 油气盆地地热史恢复方法[J]. 中国石油勘探,1998,3(4):56-61.
- [8] 冉启贵,胡国艺,陈发景. 镜质体反射率的热史反演[J]. 石油勘探与开发,1998,25(6):29-32.
- [9] 宗奕,邹华耀,于开平. 辽东湾地区古近系烃源岩热演化模拟[J]. 天然气工业,2010,30(7):21-24.
- [10] 郭小文,何生. 珠江口盆地白云凹陷烃源岩热史及成熟史模拟[J]. 石油实验地质,2007,29(4):420-425.
- [11] 王颖,张凯. 云龙凹陷构造—热演化史分析[J]. 石油勘探与开发,2006,33(4):470-473.
- [12] 刘丽,任战利,崔营滨,等. 东濮凹陷现今地温场分布特征[J]. 地质科学,2007,42(4):787-794.
- [13] 邱楠生. 柴达木盆地现代大地热流和深部地温特征[J]. 中国矿业大学学报,2001,30(4):412-415.
- [14] 王社教,胡圣标,李铁军,等. 准噶尔盆地大地热流[J]. 科学通报,2000,45(12):1327-1332.
- [15] 汪集旸,汪缙安,王永玲,等. 辽河盆地地热测量[J]. 科学通报,1985(13):1008-1010.
- [16] 杨风丽,王敏雪,庄建建,等. 西湖凹陷反转构造定量运动学过程及对油气的控制作用[J]. 石油学报,2010,31(4):596-601.

(下转第329页)

龙门山前鸭子河—大邑地区三维地震资料已连片,为该方法的应用提供了资料基础;目前地震资料三维可视化技术飞速发展,该方法从实现原理上并非异常困难,为我们提供了技术支撑。此方法若与改进后的 Allan 剖面结合起来,可以实现断层封闭性研究地质与物探的完美结合,使断面及两盘的地质、地球物理信息同时展现在断面剖面上,大大增强断层封堵性研究的直观性、可信度,具有较高的实用性。

#### 参考文献:

- [1] 罗啸泉,李书兵,赵锡奎. 川西龙门山构造特征与油气关系[J]. 石油实验地质,2011,33(4):384-387.
- [2] 罗啸泉,李书兵,何秀彬,等. 川西龙门山油气保存条件探讨[J]. 石油实验地质,2010,32(1):10-14.
- [3] 杨长清,岳全玲,燕继红,等. 龙门山北段构造变形特征与物理模拟[J]. 断块油气田,2010,7(6):686-689.
- [4] 金文正,汤良杰,杨克明,等. 龙门山冲断带前缘地区侏罗系出露与油气分布关系[J]. 断块油气田,2010,17(4):385-388.
- [5] Smith D A. Theoretical consideration of sealing and nonsealing faults[J]. AAPG Bulletin,1966,50(2):363-374.
- [6] Downey M W. Evaluating seals for hydrocarbon accumulations[J]. AAPG,1984,68(11):1752-1763.
- [7] 陈发景,田世澄. 压实与油气运移[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1989.
- [8] Allan U S. Model for hydrocarbon migration and entrapment within faulted structures[J]. AAPG Bulletin,1989,73(3):803-811.
- [9] 吕延防,李国会,王跃文,等. 断层封闭性的定量研究方法[J]. 石油学报,1997,17(3):39-45.
- [10] 吕延防,陈章明,陈发景. 非线性映射分析判断断层封闭性[J]. 石油学报,1995,16(2):36-41.
- [11] Lindsay N G, Murphy F C, Walsh J J. Outcrop studies of shale smears on fault surfaces[C] // Flint S S, Bryant I D, eds. The geological modeling of hydrocarbon reservoir and outcrop analogues. The International Association of Sedimentologists Special Publication 15,1993:113-123.
- [12] Yielding G, Freeman B, Needham D T. Quantitative fault seal prediction[J]. AAPG Bulletin,1997,81(6):897-917.
- [13] 吕延防,付广. 断层封闭性研究[M]. 北京:石油工业出版社,2002.
- [14] 陈章明,吴元燕,吕延防,等. 油气藏保存与破坏研究[M]. 北京:石油工业出版社,2003.
- [15] 周文,黄辉. 盖层及断裂带的封堵作用评价[M]. 北京:科学技术出版社,1999.
- [16] 李智武,罗玉宏. 川东北地区岩石声发射试验及历史构造应力研究[J]. 成都理工大学学报(自然科学版),2005,32(6):614-620.
- [17] 李书兵,罗啸泉. 四川盆地西缘逆冲推覆带油气保存条件研究[R]. 成都:中国石化西南油气分公司勘探开发研究院,2008.
- [18] 王强,李玲. 地震资料人机交互解释[M]. 北京:石油工业出版社,1995:131-177.
- [19] 张永华,贾曙光. 断层封堵性的应用研究[J]. 石油物探,2001,40(4):83-88.

(编辑 徐文明)

(上接第324页)

- [17] 严德天,王华,王清晨. 中国东部第三系典型断陷盆地幕式构造旋回及层序地层特征[J]. 石油学报,2008,29(2):185-190.
- [18] 高德章,赵金海,薄玉玲,等. 东海及邻近地区岩石圈三维结构研究[J]. 地质科学,2006,41(1):10-26.
- [19] 何丽娟,熊亮萍,汪集咏. 拉张盆地构造热演化模拟的影响因素[J]. 地质科学,1998,33(2):222-228.
- [20] He Zhiyong, Crews S G, Corrigan J. Rifting and heat flow; why the McKenzie Model is only part of the story [C] // Basin Modeling Perspectives: Innovative Developments and Novel Applications. AAPG Hedberg Conference, Hague, Netherlands, 2007.
- [21] Lin Changsong, Zhang Yanmei, Li Sitian, et al. Quantitative modeling of multiphase lithospheric stretching and deep thermal history of some Tertiary rift basins in eastern China [J]. Acta Geologica Sinica, 2002, 76(3): 324-330.
- [22] McKenzie D P. Some remarks on the development of sedimentary basins[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1978, 40(1): 25-32.
- [23] 全志刚,贺清,何仕斌,等. 东海西湖凹陷地温场及其对烃源岩的作用[J]. 石油实验地质,2009,31(5):466-471.

(编辑 黄娟)