

文章编号: 1001-6112(2007)04-0411-04

苏北盆地高邮凹陷泰州组烃源岩演化

王永建, 王延斌, 郑亚斌, 刘国丰
(中国矿业大学 资源与安全工程学院, 北京 100083)

摘要:运用盆地模拟方法,对苏北盆地高邮凹陷泰州组烃源岩的埋藏史、温度史、成熟度史及生油史进行研究发现,三垛早期,泰二段烃源岩进入成熟阶段, R_o 达 0.6%,且随着埋深增大,地层温度、烃源岩成熟度和生烃能力也逐渐增加;三垛末期,地层埋藏深度、温度及烃源岩成熟度都达到最大,分别为 3 000 m, 110 °C 和 0.8%,同时烃源岩生油量也达顶峰,东部的焦 1 井高达 350 mg/g。由此看出,三垛时期是高邮凹陷泰二段烃源岩生、排烃的主要时期。另外,由于三垛时期构造、断层活动强烈,圈闭大多定型,因而综合分析认为,三垛时期也是油气运移、成藏的有利和主要时期。

关键词:盆地模拟;埋藏史;成熟度史;生油史;三垛时期;高邮凹陷;苏北盆地

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

HYDROCARBON SOURCE ROCK EVOLUTION IN TAIZHOU FORMATION, THE GAOYOU SAG, THE NORTH JIANGSU BASIN

Wang Yongjian, Wang Yanbin, Zheng Yabin, Liu Guofeng

(School of Resources and Safety Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China)

Abstract: Researches on burial, temperature, maturity and oil generation histories of hydrocarbon source rocks of Taizhou Formation in the Gaoyou Sag, the North Jiangsu Basin with basin modeling methods have indicated that, hydrocarbon source rocks of Tai 2 Member have entered mature stage and R_o has reached 0.6% during the early Sanduo period. As stratigraphic burial depth increases, stratum temperature, source rock maturity and hydrocarbon generation ability also increase gradually. In the end of Sanduo period, stratigraphic burial depth, temperature and hydrocarbon source rock maturity have reached the maximum, 3 000 m, 110 °C, 0.8%, respectively. At the same time, oil generation also reaches the maximum, and oil generation content of Well Jiao1 in the east reaches 350 mg/g. So, Sanduo period is the main stage during which Tai2 Member source rock generates and discharges hydrocarbon. In addition, tectonic and fault activities are strong during Sanduo period and most traps are formed. Therefore, Sanduo period is also the favorable and main period for oil-and-gas migration and accumulation.

Key words: basin modeling; burial history; maturity history; oil generation history; Sanduo period; the Gaoyou Sag; the North Jiangsu Basin

1 地质概况

高邮凹陷位于苏北盆地南部,东起白驹凹陷,西为菱塘桥低凸起,南临吴堡低凸起,北接栲栳低凸起与临泽凹陷相连。内部构造由南至北可分为南部断阶带、中央深洼带及北部斜坡带(图 1)。

苏北盆地形成于晚白垩世时期,经历了深陷扩张、合并抬升和坳陷 3 个演化阶段^[1]。泰州组时期

相当于深陷扩张早期,沉积了泰一段储层(砂岩)和泰二段烃源岩层(泥岩、泥灰岩)。研究区泰二段沉积了较厚的暗色泥岩(底部泥灰岩),但平面上分布不均衡,东部较厚,西部较薄;由东向西沉积相从深湖、半深湖逐渐变为滨、浅湖,且泥岩颜色随之变浅。研究区泰二段烃源岩有机质类型以 II、III 型为主;成熟度不高,镜质体反射率(R_o)主要集中在 0.6%~0.9%,属于低成熟—成熟阶段;有机质丰度总体较

收稿日期: 2006-11-15; 修订日期: 2007-06-14。

作者简介: 王永建(1981—),男(汉族),安徽寿县人,博士生,主要从事石油地质与油气储层评价研究。

基金项目: 国家自然科学基金项目(40272070)。

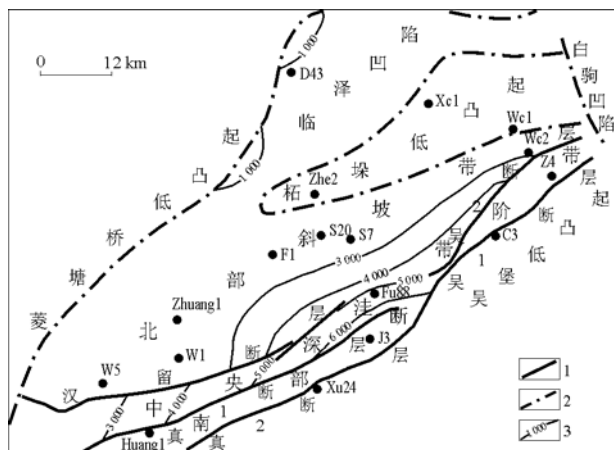


图 1 苏北盆地高邮凹陷构造区划
1. 断层; 2. 构造单元边界; 3. 构造层埋深/m
Fig. 1 Tectonic division of the Gaoyou Sag, the North Jiangsu Basin

差,有机碳(TOC)平均为 0.935%,氯仿沥青“A”平均为 0.036%,生烃潜量($S_1 + S_2$)平均为 1.348 mg/g。目前,研究区来自泰二段的油藏发现较少,因而有关泰二段烃源岩的研究有限,对其演化特征还不是很清楚。为弄清泰二段烃源岩的演化过程,通过盆地模拟方法与构造演化等相结合,对其地史、热史、生、排烃史等进行研究。结果表明,三垛时期是泰二段烃源岩演化的主要阶段和生油高峰期,也是油气运移和成藏的有利和主要时期,希望这一结果能为今后泰州组油气的深入勘探和开发提供依据。

苏北盆地的形成演化过程中经历了仪征、吴堡、三垛、真武、盐城等 5 次大的构造运动。其中,前 3 次运动制约了盆地的基本构造和沉积展布特征,尤其三垛运动^[2~5]。它是始新世晚期发生的一次大规模的断裂活动,几乎所有断裂在此时形成,并造成上下盘厚度差异;除 I, II 级断层在盐城构造运动早期仍有活动外,绝大多数 III, IV 级断层在三垛运动末结束。三垛运动造成苏北盆地长达 17.4 Ma 的沉积间断,整个盆地沉积背景转化为坳陷沉积,并在盐城运动早期构造运动渐缓而以披覆式沉积为主。三垛运动后形成了大量的断块、断鼻圈闭,吴堡时期形成的圈闭也在此时接受改造且基本定形。因此,三垛运动是盆地演化过程中最重要的一次运动,对研究区乃至整个盆地的油气形成、运移和成藏都起到了重要作用。

2 盆地模拟

盆地模拟产生于 20 世纪 70 年代,是石油地质理论不断发展完善并与计算机技术紧密结合而形

成的一种新方法,是含油气盆地定量动态分析和石油地质量化的有效途径^[6~9]。近十年来,它在油气勘探与石油地质综合研究中发挥着重要的作用。

2.1 参数选取

盆地模拟结果的可信程度主要取决于参数的选取情况,特别是关键性的参数决定了模拟结果的优劣。根据 BASINMODE 软件特点,主要使用烃源岩有机质类型、有机碳、地层剥蚀厚度、地面热流值、地层厚度、地层岩性组成等作为参数;其中,关键参数是有机质类型、有机碳、地层剥蚀厚度与地面热流值,它们是左右盆地模拟的主要因素。有机质类型、有机碳和热流值主要根据测试、分析的结果。地层剥蚀厚度是最重要的参数,它的选取将对模拟结果有重要影响。苏北盆地形成以来虽经历了 5 次构造抬升运动,但对高邮凹陷泰州组影响最大的是三垛运动。因此,主要对三垛运动造成的第三系地层剥蚀厚度进行恢复。

高邮凹陷第三系地层剥蚀厚度的恢复前人已做过较多研究。例如,杨立干等^[10]、刘小平等^[11]都利用泥岩声波时差法和镜质体反射率法模拟恢复了研究区第三系剥蚀厚度。陈安定^[12]通过甾烷热演化参数、粘土矿物、裂变径迹、镜质体反射率等 4 种方法对研究区第三系剥蚀厚度进行了模拟恢复。总体看来,他们的恢复结果都比较接近,地层剥蚀量都在 700~2 200 m 之间;但各构造单元之间存在明显的不均衡,深凹带为 700 m 左右,北斜坡为 900~1 600 m,南断阶及低凸起地区为 1 600~2 200 m。因此,本文的地层剥蚀厚度主要参照陈安定等的恢复结果。

对高邮凹陷泰二段共 7 口井进行了单井盆地模拟,关键参数的取值见表 1。

2.2 盆地模拟分析

2.2.1 埋藏史

高邮凹陷泰二段 7 口井埋藏史分析表明(图 2),

表 1 苏北盆地高邮凹陷泰二段盆地模拟关键参数
Table 1 Key parameters of basin modeling of Tai2 Member, the Gaoyou Sag, the North Jiangsu Basin

井号	剥蚀厚度/ m	干酪根 类型	有机碳, %	热流值/ (mW·m ⁻²)
焦 1	1 600	I	2.66	20.0~61.0
马 5	1 200	II	0.79	25.0~60.5
瓦 6	800	III	0.18	25.0~60.0
吴岔 1	1 500	I	1.26	20.0~61.0
吴岔 3	1 500	II	1.25	30.0~63.0
柘 1	1 600	II	0.41	25.0~62.0
庄 8	1 600	III	1.01	20.0~61.0

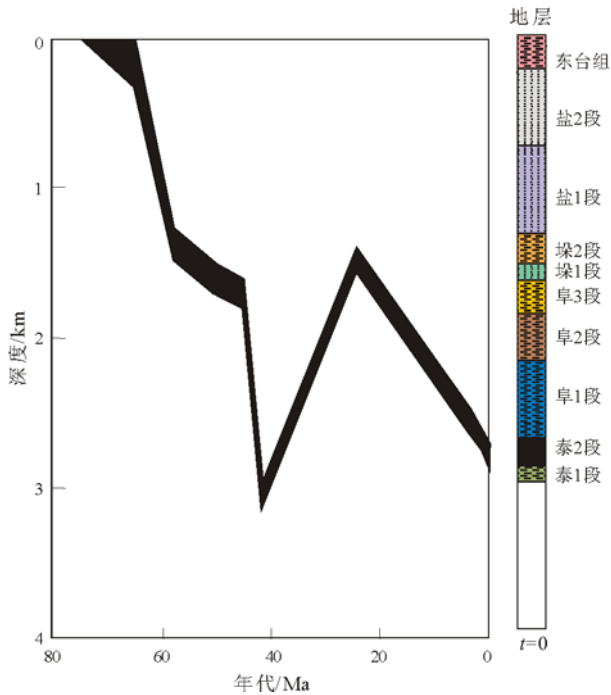


图 2 苏北盆地高邮凹陷泰二段焦 1 井埋藏史
Fig. 2 Well Jiao1 burial history of Tai2 Member, the Gaoyou Sag, the North Jiangsu Basin

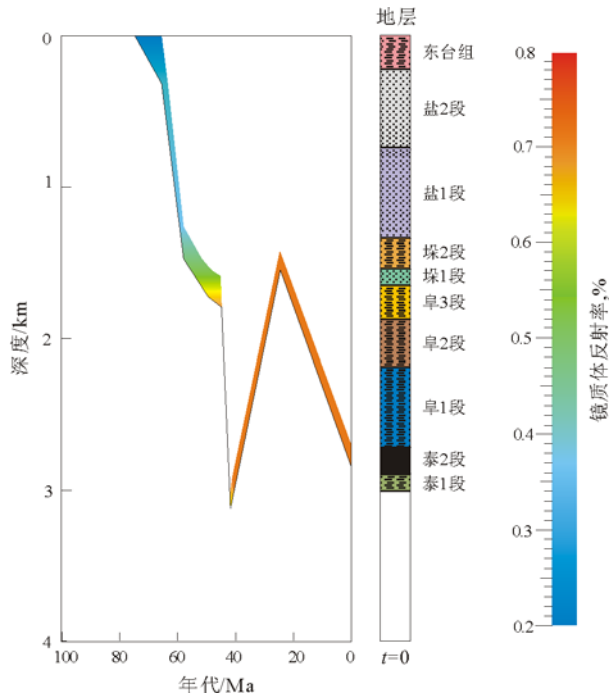


图 3 苏北盆地高邮凹陷泰二段焦 1 井成熟度史
Fig. 3 Well Jiao1 maturity history of Tai2 Member, the Gaoyou Sag, the North Jiangsu Basin

地层最大埋深 3 000 m 左右,且大多在三垛运动前就达到最大埋深,仅瓦 6 井后来埋深超过了三垛运动前。这可能是由于瓦 6 井处于深凹与斜坡的过渡地带,剥蚀较少,仅 800 m 左右;而其他几口井处于斜坡或低凸起上,剥蚀厚度较大,达 1 200 ~ 1 600 m,所以目前埋深未能超过三垛运动前的最大埋深。遗憾的是,在深凹带没有井钻遇泰二段,由于深凹带内三垛运动造成的剥蚀量小,而且盐城和东台组地层沉积厚度大,因此推测目前埋深必然超过三垛运动前的最大埋深,对生烃更有利。

2.2.2 成熟度史

高邮凹陷泰二段 7 口井的成熟度史分析表明(图 3),烃源岩一般在三垛时期进入成熟阶段, R_o 值达 0.6%,埋深为 1 600 ~ 2 200 m;大量生烃在三垛末期, R_o 值最大为 0.8% 左右。从整体分析看,泰二段烃源岩大多在三垛末期成熟度达最大,且由于后期埋深未超过剥蚀前最大埋深,因此只有一次成熟和一次生烃,但这仅限于斜坡带和低凸起上。推测深凹带泰二段烃源岩由于后期埋深更大,应该有二次成熟和二次生烃,目前很可能仍处在生烃期。

2.2.3 温度史

高邮凹陷泰二段 7 口井的温度史分析表明(图 4),地层在三垛运动前古地温达到最大,为 130 °C 左右;而现今地温大多在 80 ~ 110 °C,要低于古地温,但瓦 6 井较高,仍为 130 °C。造成这一现象主要

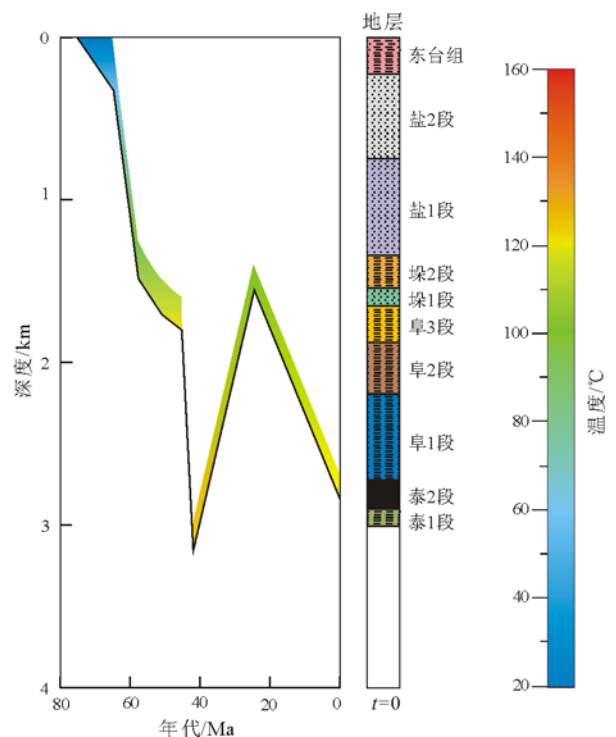


图 4 苏北盆地高邮凹陷泰二段焦 1 井温度史
Fig. 4 Well Jiao1 temperature history of Tai2 Member, the Gaoyou Sag, the North Jiangsu Basin

是由于斜坡带和低凸起上现今埋藏深度小于三垛运动前,而瓦 6 井现今埋深较大,超过了三垛运动前深度。由此推测深凹地区现今地温也较高。结

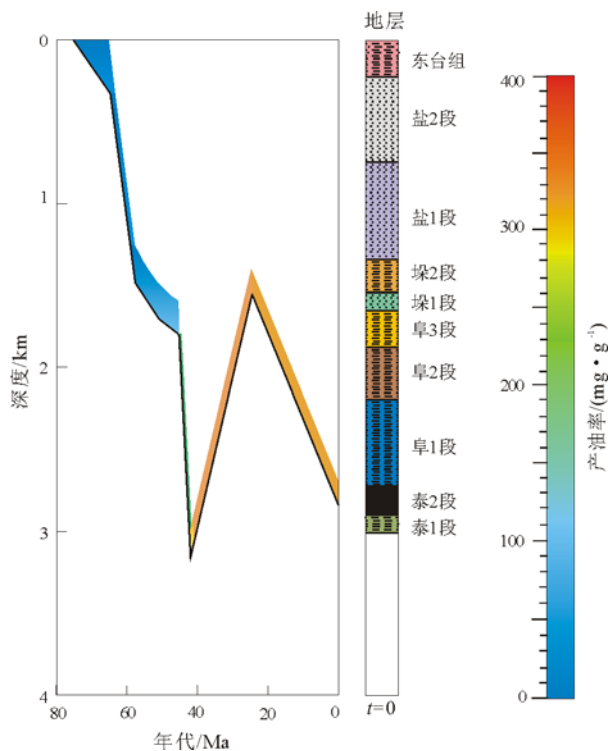


图5 苏北盆地高邮凹陷泰二段焦1井生油史

Fig. 5 Jiao1 well oil generation history of Tai2 Member, the Gaoyou Sag, the North Jiangsu Basin

合三垛时期地层埋藏深度,可以计算出当时古地温梯度大约为 4.3 °C/hm,这一结果和前人对高邮凹陷的认识基本一致。

2.2.4 生油史

高邮凹陷泰二段7口井的生油史分析表明(图5),烃源岩随着埋深增加和时间推移,生油能力逐渐增加,并在三垛末期达到最大,即三垛时期是生油高峰期。从总体来看,泰二段烃源岩东部生油能力较好,西部相对较差,例如,焦1井达 350 mg/g,而庄8井仅为 40 mg/g。这可能是由于烃源岩的有机质类型和丰度不同所造成的,且这一特征符合沉积相的平面变化。

3 结论

综合以上对高邮凹陷泰二段烃源岩的埋藏史、成熟度史、温度史及生油史的模拟分析表明,三垛末期,斜坡和低凸起上烃源岩的地层埋深、成熟度、

古地温和生油能力都达到最大。首先,成熟度随着埋深增加而增加,在三垛时期进入成熟阶段,且在末期大量生烃,但斜坡和低凸起上显示未出现二次生烃。其次,生油能力也随着埋深加大而逐渐增加,生油高峰主要在三垛末期;但在平面上存在非均质性,总体来说东部较好,西部较差。由此看出,三垛时期是高邮凹陷泰二段烃源岩生、排烃的主要时期。结合盆地的构造演化特征,由于三垛时期构造、断层活动强烈,圈闭也大多定型,因此认为这一时期也是油气运移、成藏的最有利时期。另外,据以上分析可推测,深凹带在盐城组沉积之后埋深超过三垛运动前的最大埋深,因而泰二段烃源岩应该存在二次生、排烃,对晚期成藏更为有利。

参考文献:

- 侯建国,林承焰,姚合法等. 断陷盆地成藏动力系统特征与油气分布规律:以苏北盆地为例[J]. 中国海上油气,2004,16(6): 361~364
- 刘小平,王俊芳,李洪波. 苏北盆地高邮凹陷热演化史研究[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报),2005,27(1):17~18
- 李月容. 油气成藏动力学模拟现状与展望[J]. 石油实验地质,2006,28(1):78~82
- 徐健,熊学洲. 苏北盆地高邮凹陷油气成藏特征研究[J]. 石油勘探与开发,2000,27(4):80~83
- 李亚辉. 苏北盆地高邮凹陷构造转换带控油机制研究[J]. 石油实验地质,2006,28(2):109~112
- 张庆春. 盆地模拟技术的发展现状与未来展望[J]. 石油实验地质,2001,23(3):312~315
- Welte D H, Yukler M A. Petroleum origin and accumulation in basin evolution;a quantitative mode[J]. AAPG Bull,1981,11: 1387~1396
- 徐晨光,张金功. 盆地与油气成藏模拟软件的发展趋势分析[J]. 西安石油学院学报(自然科学版),2001,16(3):17~20
- Miall A D. Principles of sedimentary basin analysis[M]. 2nd ed. New York: Springer-Verlag, 1990
- 杨立干,陆英,陈平原. 高邮凹陷上下第三系之间地层剥蚀量的研究[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报),2003,25(增刊):33~34
- 刘小平,杨立干,徐健. 苏北盆地高邮凹陷始新统剥蚀厚度恢复[J]. 新疆石油地质,2004,25(2):128~130
- 陈安定. 苏北第三系成熟演化指标与深度关系的3种模式[J]. 石油实验地质,2003,25(1):58~63