

文章编号: 1000-0550(2011)02-0395-07

# 苏北盆地金湖凹陷热史与成藏期判识

李亚军<sup>1</sup> 李儒峰<sup>1</sup> 陈莉琼<sup>2</sup> 宋宁<sup>2</sup> 方晶<sup>3</sup>

(1. 中国石油大学 北京 102249; 2. 中国石油化工股份有限公司江苏油田地质科学研究院 江苏扬州 225009;  
3. 天津师范大学城市与环境科学学院 天津 300386)

**摘要** 在镜质体反射率和磷灰石裂变径迹系统测试分析的基础上,对金湖凹陷西斜坡和卞闵杨构造带进行古地温梯度计算和热史恢复。根据镜质体反射率计算出西斜坡的古地温范围介于 45.6 ~ 128.4℃,古地温梯度为 45.5℃/km;卞闵杨构造带古地温为 26.4 ~ 120.3℃,古地温梯度为 42.7℃/km。根据磷灰石裂变径迹计算出西斜坡古地温梯度为 40.7℃/km,卞闵杨构造带为 45.8℃/km。对比分析得出凹陷内不同构造带均具有古地温梯度大于今地温梯度的规律,西斜坡古地温梯度高于现今 10.4 ~ 15.2℃/km,卞闵杨构造带古地温梯度高于现今 12.4 ~ 15.3℃/km。对西斜坡和卞闵杨构造带典型井进行热史模拟,得出古地温梯度随着凹陷地层年代变新而降低,三垛构造事件所导致的抬升剥蚀之前,凹陷已达到最大古地温。成熟度史反映出金湖凹陷埋深在 1 000 m 处  $R_o$  为 0.4%,烃源岩进入低熟阶段,在 1 900 m 处  $R_o$  为 0.65%,温度达到 90℃,烃源岩进入生烃高峰阶段。将金湖凹陷西斜坡典型单井埋藏史—热史与包裹体均一温度综合分析,判识出成藏期介于 47 ~ 41.5 Ma,确定了三垛期为金湖凹陷主成藏期。

**关键词** 金湖凹陷 地温梯度 古温标参数 热史恢复 成藏期

**第一作者简介** 李亚军 男 1983 年出生 硕士研究生 石油地质 E-mail: liyajun0416@163.com

**中图分类号** TE121.1 **文献标识码** A

金湖凹陷位于苏北盆地东台坳陷的西部,西北与建湖隆起相接,南至天长凸起,西南邻张八岭隆起,东与菱塘桥—柳堡低凸起相连,面积约为 5 500 km<sup>2</sup>。金湖凹陷是晚白垩世发育起来的断陷湖盆,根据北东和东西向断裂体系将凹陷划分为西斜坡、卞闵杨、三

河次凹、汉涧斜坡和石港—宝应构造带<sup>[1]</sup>(图 1)

金湖凹陷是苏北盆地主要产油凹陷,从 20 世纪 80 年代开始,前人陆续开展了热史及成藏期方面的研究工作<sup>[2,3]</sup>。但是利用多种古温标对金湖凹陷进行系统综合的古地温和热史恢复方面的研究较少。

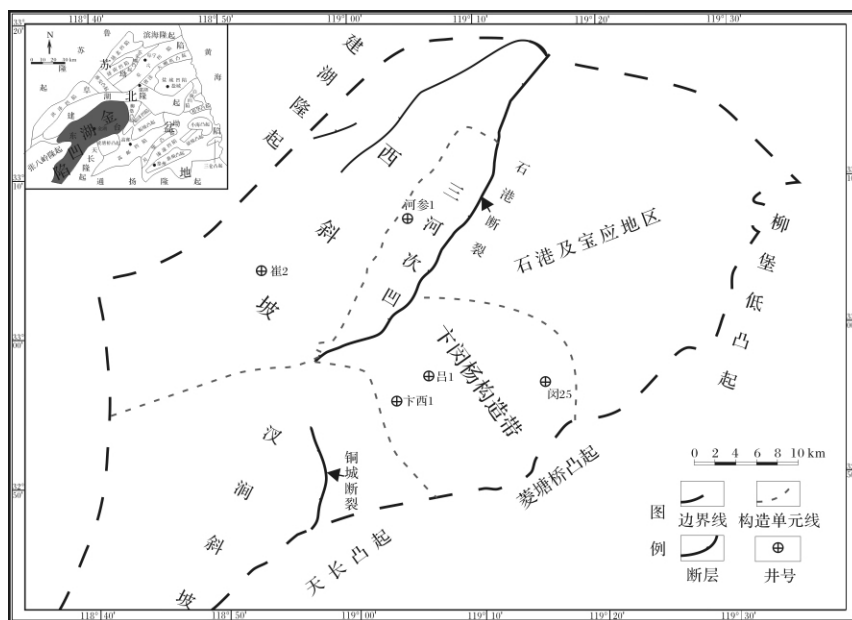


图 1 金湖凹陷构造单元划分图

Fig. 1 The division of tectonic units in Jinhu depression

收稿日期: 2010-01-18; 收修改稿日期: 2010-04-27

本文对金湖凹陷具有代表性的河参1、吕1、唐2和王4井系统测温井温度—深度拟合,得出4口井的平均地温梯度分别为 $23.5^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 、 $33.2^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 、 $30.2^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 和 $34.3^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ,金湖凹陷平均今地温梯度为 $30.3^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 。在此基础上重点应用镜质体反射率、磷灰石裂变径迹2种古温标参数恢复了金湖凹陷具有代表性的西斜坡和卞闵杨2个构造带的古地温和古地温梯度,结合包裹体均一温度分析,确定了金湖凹陷的成藏期。

## 1 古温标恢复古地温

### 1.1 镜质体反射率恢复古地温

本次镜质体反射率数据主要根据公式 $\ln(R_m) = 0.0078(T_{\max}) - 1.2$ <sup>[4]</sup>来拟合计算最大古地温,并得出古地温梯度。

西斜坡:镜质体反射率总体上随深度加深而变大(图2A)。 $R_o$ 分布范围介于 $0.49\% \sim 0.82\%$ ,阳1井1527.65 m处 $R_o$ 为 $0.43\%$ ,数值偏小,分析为测点较少可能有误差所致,其余线性关系较好。得出西斜坡 $R_o$ 均值为 $0.58\%$ ,计算得出:西斜坡的古地温范围介于 $45.6 \sim 128.4^{\circ}\text{C}$ ,阳1井在1527.65 m古地温最低,为 $45.6^{\circ}\text{C}$ ,刘10井在2291.38 m处古地温最高,为 $128.4^{\circ}\text{C}$ ,计算古地温梯度为 $4.55^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 。

卞闵杨构造带:镜质体反射率总体上随深度加深

而变大(图2B)。 $R_o$ 分布范围介于 $0.37\% \sim 0.77\%$ 。根据镜质体反射率古温标计算出:金湖凹陷卞闵杨构造带古地温为 $26.4 \sim 120.3^{\circ}\text{C}$ ,古地温梯度为 $4.27^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 。古地温梯度大于现今地温梯度。

### 1.2 磷灰石裂变径迹恢复古地温

本次研究结合苏北盆地实际情况取退火带的温度范围为 $70 \sim 125^{\circ}\text{C}$ <sup>[5]</sup>,通过温度差( $\Delta T$ )和深度差( $\Delta H$ )的比值对研究区进行了古地温梯度恢复。

西斜坡:通过对崔2井戴南组( $E_2d$ )、阜宁组( $E_1f$ )和泰州组( $K_2t$ )层位5个样品磷灰石径迹年龄和长度的分析,得出:随着深度增加,径迹年龄有规律减小,且年龄减小幅度较大。埋深1264.68 m样品径迹年龄为 $(109 \pm 4)$  Ma,远大于地层年龄,处于未退火带;埋深1824.62 m和1955.17 m两个样品测试径迹年龄虽大于地层年龄,但具有明显的随深度增加径迹年龄减小趋势,据此推算出退火带上限应小于1824.68 m,分析确定退火带上限为1800 m。退火带下限的确定综合考虑了径迹年龄和径迹长度两个因素,从年龄分布来看,埋深3150 m的样品仍处于部分退火带的范围,但是根据埋深2712.01 m样品径迹长度频率分布 $(10.6 \pm 2.2) \mu\text{m}$ 可以推断退火带下限为3150 m。据此,计算出古地温梯度为 $40.7^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ,高于今地温梯度(表1图3)。

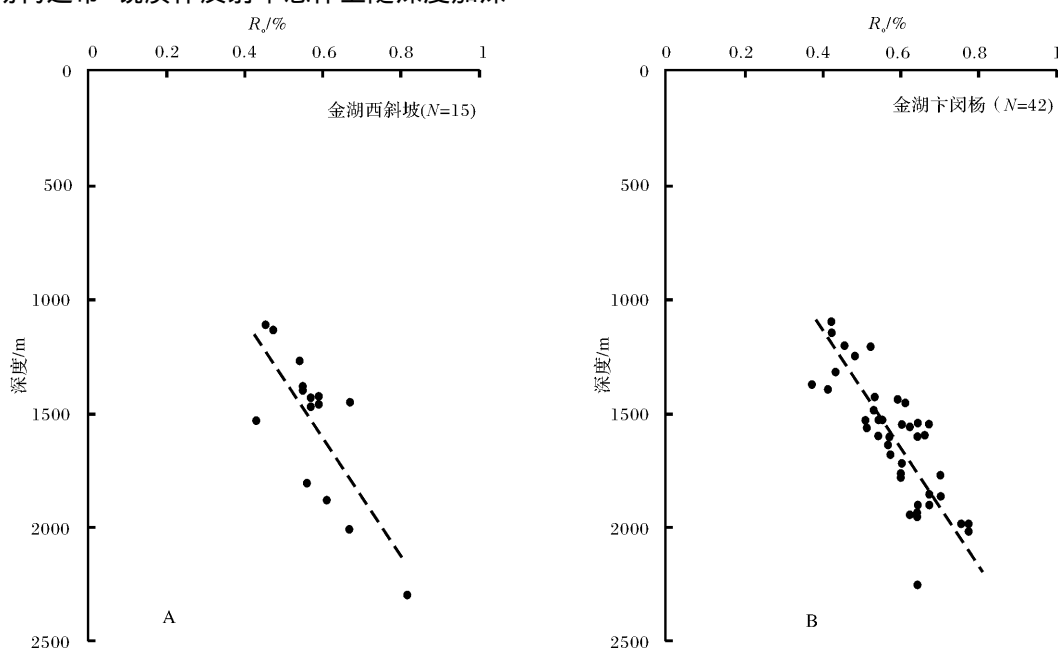


图2 金湖凹陷主要构造带 $R_o$ -深度剖面图

A 西斜坡

B 卞闵杨构造带

Fig.2 The  $R_o$ -depth profile in main tectonic zones of Jinhu depression

A. the west slope

B. the Bianminyang tectonic zone

表 1 金湖凹陷实测磷灰石裂变径迹年龄和长度数据

Table 1 The data of measured apatite fission-track age and length of Jinhu depression

构造单元	井名	层位	垂深/m	颗粒数/n	中心年龄/Ma(±1σ)	总体年龄(±1σ)	围限径迹长度/μm(N)
西斜坡	崔 2	E <sub>2</sub> d <sup>1</sup>	1264.68	16	109±14	109±14	
	崔 2	E <sub>1</sub> f <sup>2</sup>	1824.62	27	81±6	82±6	11.4±2.0(104)
	崔 2	E <sub>1</sub> f <sup>3</sup>	1955.17	26	76±6	76±5	11.1±1.9(107)
	崔 2	K <sub>2</sub> t	2645.41	28	46±7	41±4	11.2±2.1(18)
	崔 2	K <sub>2</sub> t	2712.01	28	65±6	63±6	10.6±2.2(57)
卞阎杨构造带	卞 11	E <sub>2</sub> d <sup>1</sup>	1432.52	28	148±11	155±11	11.9±1.9(97)
	阎 25	E <sub>1</sub> f <sup>3</sup>	1567.2	26	124±11	124±10	11.8±2.2(42)
	卞西 1	E <sub>1</sub> f <sup>3</sup>	1984.34	28	82±6	82±6	11.5±1.7(30)
	卞西 1	E <sub>1</sub> f <sup>2</sup>	2107	28	52±5	51±4	11.2±2.2(106)

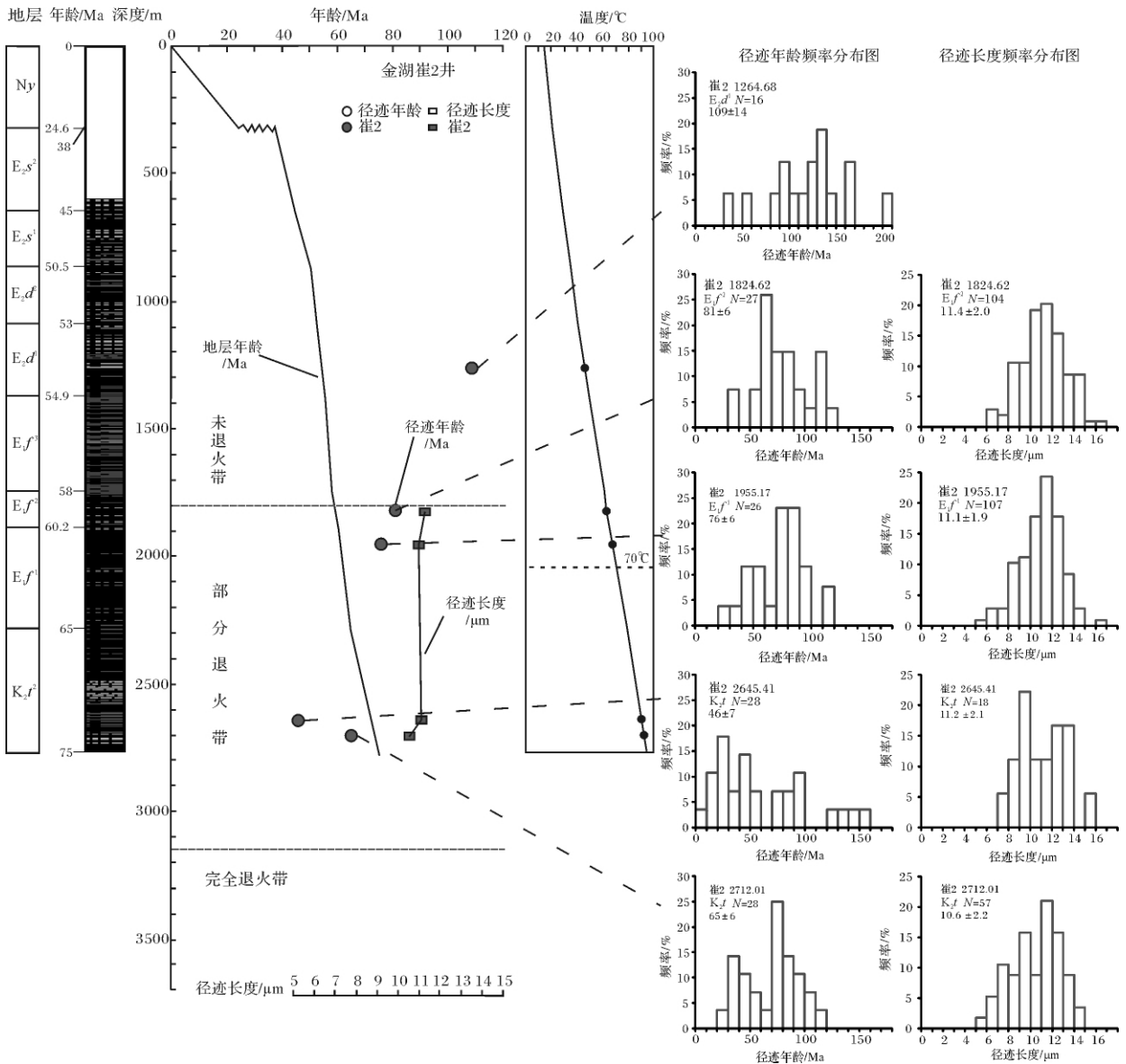


图 3 金湖凹陷西斜坡磷灰石裂变径迹年龄和长度与深度关系剖面图

Fig. 3 The relationship between apatite fission track age and track length and depth in the west slope of Jinhu depression

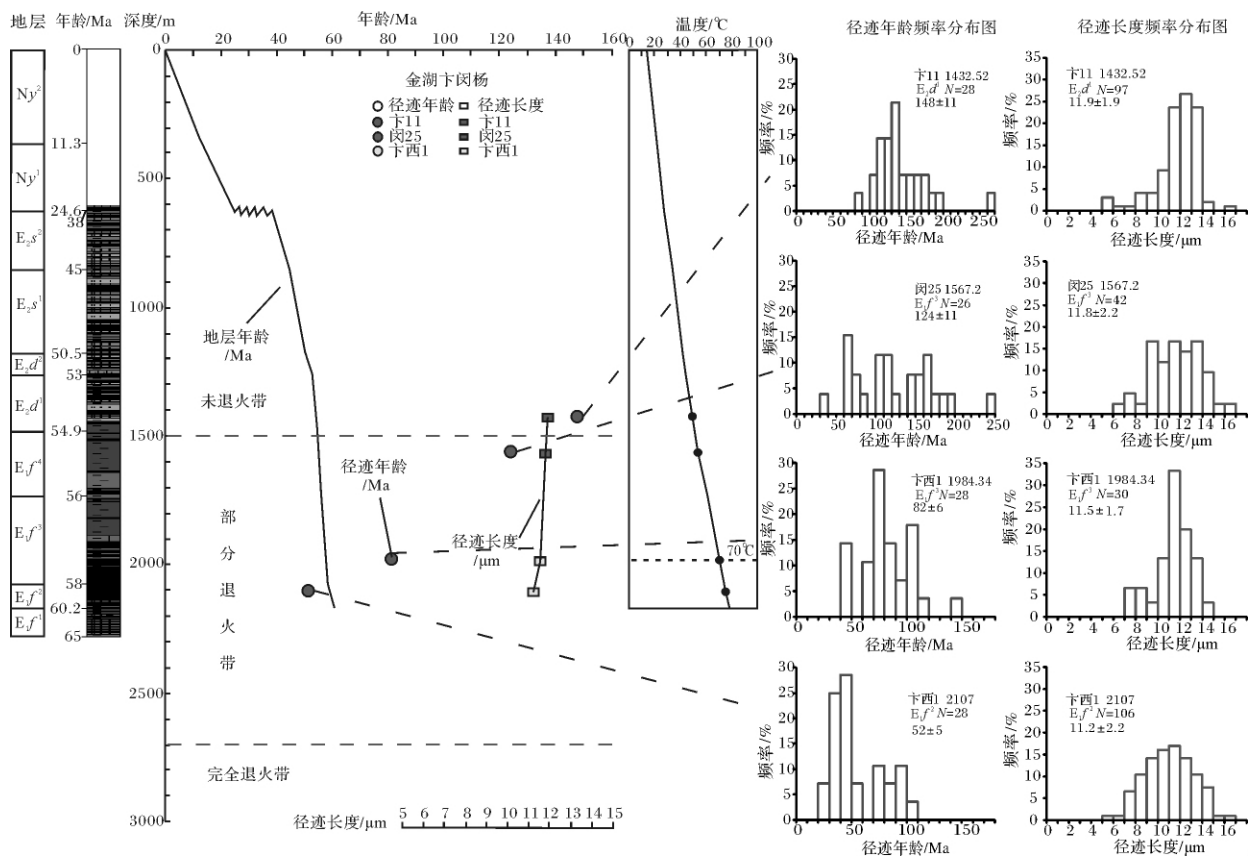


图4 金湖凹陷卞闵杨构造带磷灰石裂变径迹年龄和长度与深度关系剖面图

Fig. 4 The relationship between apatite fission track age and track length and depth in the bianminyang tectonic zone of Jinhu depression

卞闵杨构造带: 对卞 11、卞西 1 和闵 25 井三口井戴南组 ( $E_2d$ ) 和阜宁组 ( $E_1f$ ) 层位 4 个样品磷灰石径迹年龄分析, 得出随着深度增加径迹年龄有规律减小, 年龄跨度较大, 测试分析的样品均未进入完全退火带。分析径迹长度分布, 得出闵 25 井和卞 11 井样品的径迹长度分布明显不同, 从单峰狭窄形状开始向展宽分布, 据此推断退火带的上限深度在 1 432.52 ~ 1 567.2 m 之间, 分析确定退火带上限为 1 500 m。根据 4 个样品年龄变化的趋势线外推, 得出退火带下限深度为 2 700 m。据此, 计算古地温梯度为 45.8°C/km, 高于现今地温梯度(表 1, 图 4)。

根据磷灰石裂变径迹古温标计算得出: 金湖凹陷西斜坡古地温梯度为 40.7°C/km; 卞闵杨构造带古地温梯度为 45.8°C/km; 呈现出古大于今的变化规律。

## 2 热史恢复

目前恢复沉积盆地热史方法较多<sup>[6-8]</sup>。本文通过镜质体反射率热降解的化学动力学方法即通过

Easy $R_0\%$  反演方法来恢复热史<sup>[9]</sup>。该方法不但可以恢复热史, 还可以恢复热流史、成熟度史和地层剥蚀厚度等, 本文重点剖析了金湖凹陷西斜坡崔 2 井和卞闵杨构造带吕 1 井的热史和成熟度史。

对西斜坡崔 2 井(图 5)和卞闵杨构造带吕 1 井(图 6)进行热史模拟, 得出金湖凹陷地温梯度随盆地的地层年代变小而降低, 表现为古新世前( $K_2t \sim E_1f$ )地温梯度高于古新世之后( $E_2d \sim Ny$ )。图 5 和图 6 反映出现今地温低于三垛构造抬升事件前的古地温, 由此得出崔 2 和吕 1 井均在抬升剥蚀之前达到最大古地温。

成熟度史反映出崔 2 井已处于低成熟或成熟早期阶段, 在埋深 1 000 m 处  $R_0$  为 0.4%, 烃源岩进入低成熟阶段; 埋深接近 1 900 m 处  $R_0$  为 0.65%, 温度达到 90°C, 烃源岩进入成熟期, 为生烃高峰阶段。而吕 1 井大部分处于低成熟阶段, 在 1 000 m  $R_0$  开始达到 0.4%, 处于低熟阶段; 埋深在 1 900 m  $R_0$  达到 0.65%, 开始进入成熟期, 进入生烃高峰阶段, 此时温

度约 83℃。虽然 2 口井在相同的深度段均进入低熟和成熟期,然而,由于崔 2 井埋深大于吕 1 井,因此,崔 2 井主力烃源岩低熟和成熟期早于吕 1 井。

确定成藏时期。在恢复地层埋藏史、单井热史的基础上,结合包裹体测温数据来标定油气成藏时间。

金湖凹陷西斜坡崔 2 井 ( $E_1f^2$ ) 包裹体样品均一温度介于 62℃ ~ 92℃ (表 2),将温度点标注在生烃史图上,确定出金湖凹陷成藏时间为 47 ~ 41.5 Ma (图 7)。

### 3 油气成藏期标定

盆地热演化在油气成藏中的重要应用之一就是

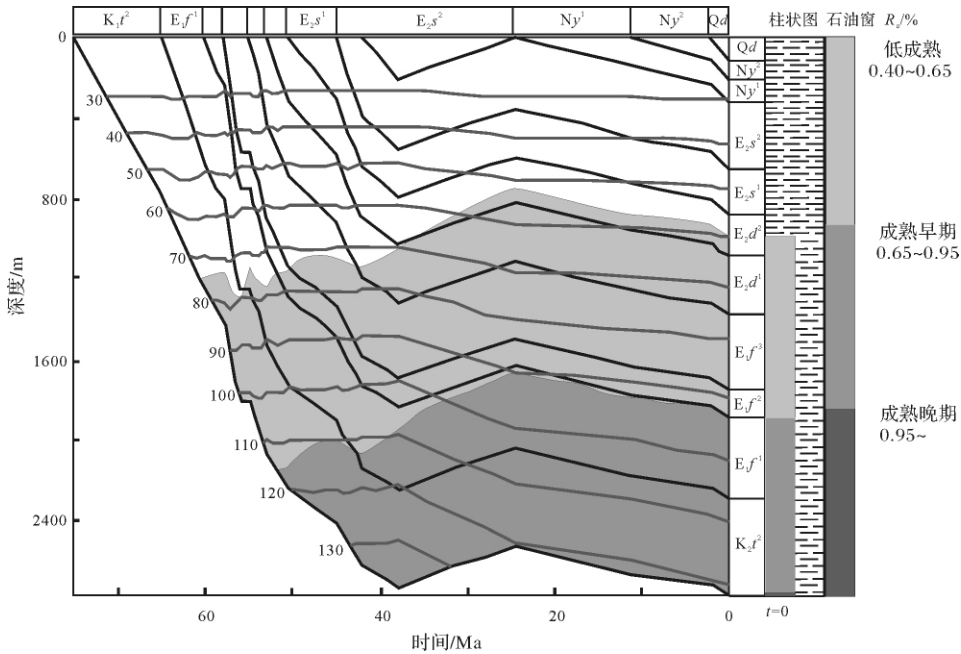


图 5 崔 2 井埋藏史、热史和成熟度史模拟图

Fig. 5 The burial history, thermal history and mature history of Well Cui 2

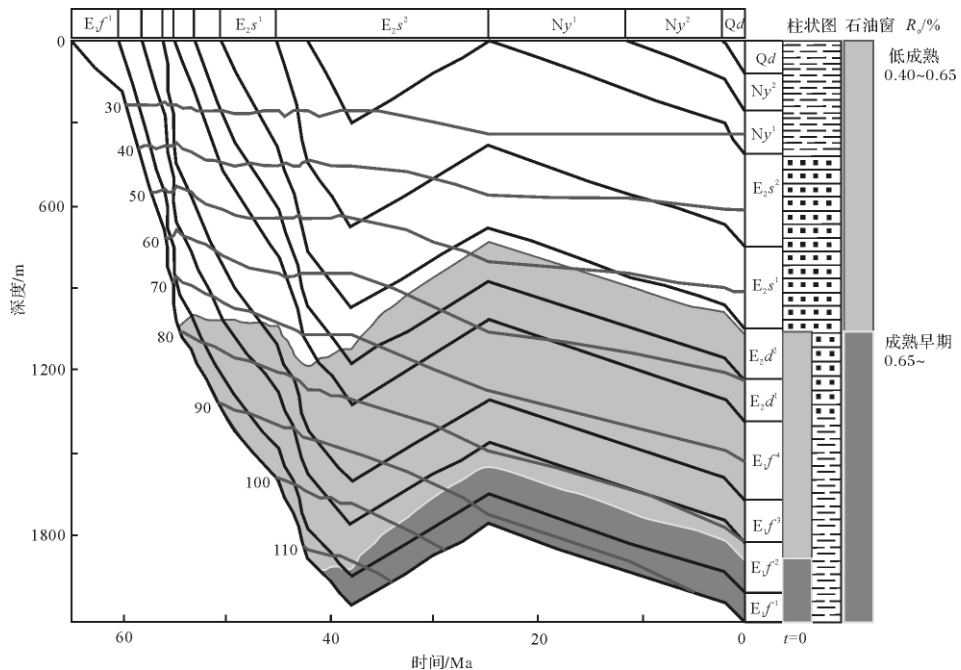


图 6 吕 1 井埋藏史、热史和成熟度史模拟图

Fig. 6 The burial history, thermal history and mature history of Well Lü 1

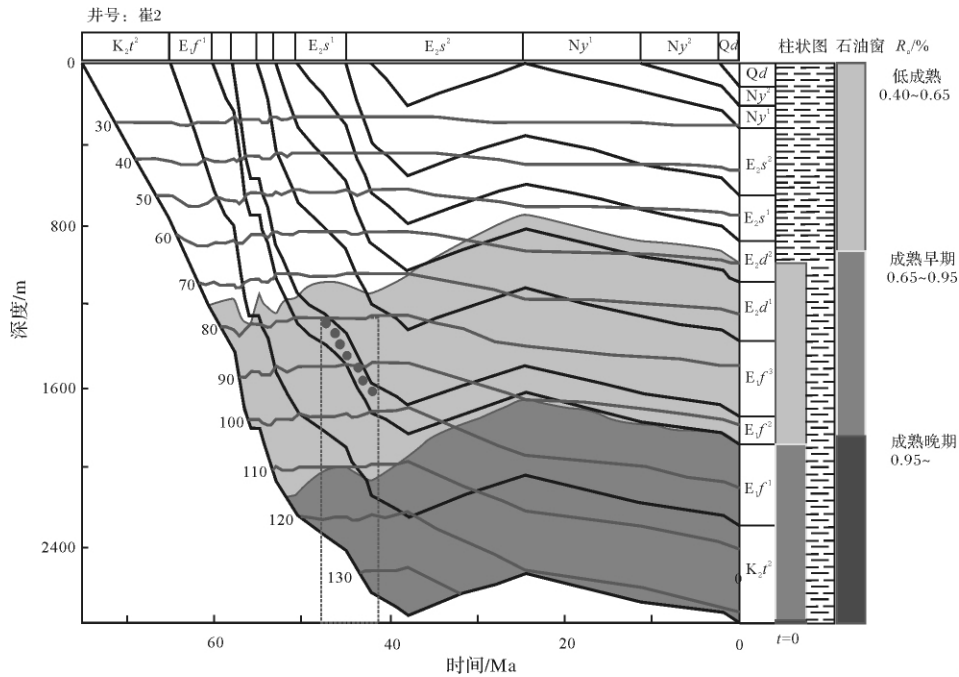


图7 崔2井 E<sub>1</sub>f<sub>2</sub>成藏期标定

Fig.7 The calibration of E<sub>1</sub>f<sub>2</sub> accumulation period of Well Cui 2

表2 崔2井 E<sub>1</sub>f<sub>2</sub> 1 824.62 m 处包裹体样品均一温度

Table 2 The homogenization temperatures of fluid inclusions in 1 824.62 m (E<sub>1</sub>f<sub>2</sub>) in Well Cui 2

赋存矿物产状	测温类型	共生类型	均一温度/℃
石英碎屑	含烃盐水包裹体	液烃包裹体	62
石英碎屑	含烃盐水包裹体	液烃包裹体	92
石英碎屑	含烃盐水包裹体	液烃包裹体	69
方解石脉	含烃盐水包裹体	液烃包裹体	86
方解石脉	含烃盐水包裹体	液烃包裹体	92
方解石脉	含烃盐水包裹体	液烃包裹体	93
方解石脉	含烃盐水包裹体	液烃包裹体	78
方解石脉	含烃盐水包裹体	液烃包裹体	78
方解石脉	含烃盐水包裹体	液烃包裹体	65

### 4 结论

(1) 2种古温标计算得出金湖凹陷西斜坡古地温梯度为 40.1 ~ 45.5 °C/km, 卞闵杨构造带为 42.7 ~ 45.8 °C/km; 金湖凹陷现今地温梯度为 27 °C/km。总体上古地温梯度明显高于今地温梯度。

(2) 热史恢复的结果表明金湖凹陷西斜坡和卞闵杨构造带在三垛构造事件之前达到最高古地温, 西斜坡烃源岩处于低熟或成熟阶段, 卞闵杨构造带烃源岩处于低熟阶段。

(3) 金湖凹陷西斜坡主要成藏时期介于 47 ~ 41.5 Ma。

### 参考文献 (References)

- 1 杨立干. 金湖凹陷古近系戴一段成藏条件和成藏模式研究[J]. 岩性油气藏, 2008, 20(3): 34-39 [Yang Ligan. Study on the Paleogene reservoir conditions and accumulation mode of Daiyi group in Jinhu depression [J]. Lithologic Reservoirs, 2008, 20(3): 34-39]
- 2 王良书, 施央申. 油气盆地地热研究[M]. 南京: 南京大学出版社, 1989 [Wang Liangshu, Shi Yangshen. The Geothermal Research on Oil and Gas Basin [M]. Nanjing: Nanjing University Press, 1989]
- 3 陈安定, 唐焰. 苏北盆地热史、埋藏史研究及其对南黄海南部盆地油气勘探的启示[J]. 中国海上油气, 2007, 19(4): 234-239 [Chen Anding, Tang Yan. A study on the geothermal and burial history of Su-bei basin and its enlightenments on petroleum exploration in South basin, the southern Yellow Sea [J]. China Offshore Oil and Gas, 2007, 19(4): 234-239]
- 4 Barker C E, Pawlewicz M J. The correlation of vitrinite reflectance with maximum temperature in humic organic matter [M] // Buntebarth G, Stegena L, eds. Paleogeothermics, Lecture Notes in Earth Sciences, V. 5: New York, Springer-Verlay, 1991: 79-228
- 5 Gleadow A J W, Duddy I R, Lovering J F. Fission track analysis: a new tool for the evaluation thermal histories and hydrocarbon potential [J]. APEA Journal, 1983, 24: 93-102
- 6 周中毅, 潘长春. 沉积盆地古地温测定方法及其应用[M]. 广州: 广东科技出版社, 1992 [Zhou Zhongyi, Pan Changchun. The Measurement of Paleotemperature in Ancient Sedimentary Basin and Its Application [M]. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Publishing House, 1992]

- 7 胡圣标,汪集暘. 沉积盆地热体制研究的基本原理和进展[J]. 地学前缘,1995,2(3-4):171-180 [Hu Shengbiao, Wang Jiyang. Principles and progresses on thermal regime of sedimentary basins-an overview[J]. Earth Science Frontiers, 1995, 2(3-4): 171-180]
- 8 邱楠生,胡圣标,何丽娟. 沉积盆地地热体制研究的理论与应用[M]. 北京:石油工业出版社,2004 [Qiu Nansheng, Hu Shenbiao, He Lijuan. The Research and Application of Sedimentary Basin Geothermal Systems[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004]
- 9 Sweeney J J, Burnham A K. Evaluation of a simple model of vitrinite reflectance based on chemical kinetics[J]. AAPG Bulletin, 1990, 74: 1559-1571

## Thermal History Reconstruction and Hydrocarbon Accumulation Period Discrimination of Jinhu Depression in Subei Basin

LI Ya-jun<sup>1</sup> LI Ru-feng<sup>1</sup> CHEN Li-qiong<sup>2</sup> SONG Ning<sup>2</sup> FANG Jing<sup>3</sup>

(1. Research Center of Basin & Reservoir, China University of Petroleum, Beijing 102249;

2. Jiangsu Oilfield Geological Science Research Institute, SINOPEC, Yangzhou Jiangshu 225009;

3. The City and Environmental Science College of Tianjin Normal University, Tianjin 300386)

**Abstract** Based on the analysis of the vitrinite reflectance and apatite fission track inclusions system testing, we carried out the calculation of paleotemperature gradient and reconstruction of thermal history, and then identified the paleotemperature gradient of west slope and Bianminyang tectonic zone of Jinhu depression. According to the vitrinite reflectance, we calculated that the range of the paleotemperature being between 45.6 ~ 128.4°C and the paleotemperature gradient was 45.5 °C/km in the west slope, the paleotemperature in Bianminyang tectonic zone was 26.4 ~ 120.3°C and the paleotemperature gradient was 42.7°C/km. According to the apatite fission track, we calculated that the paleotemperature gradient in the west slope was 40.7°C/km, and in Bianminyang tectonic zone was 45.8°C/km. From the comparative analysis with different tectonic zones of Jinhu depression, we concluded a law that the paleotemperature gradient was higher than present-day geothermal gradient, specifically as follows: in the west slope, paleotemperature was 10.4 ~ 15.2°C/km higher than the current, and in Bianminyang tectonic zone paleotemperature was 12.4 ~ 15.3°C/km higher than the present. By the thermal history modeling of typical wells in west slope and Bianminyang tectonic zone, it could be seen that the paleo-geothermal gradient became lower with the stratigraphical time changed for the new. It shows that the geothermal gradient of  $K_2t \sim E_1f$  was higher than  $E_2d \sim Ny$ . Before the uplift and erosion caused by the Sanduo tectonic events, the paleo-temperature of depression had reached the maximum. The maturity history of depression reflected that the  $R_o$  was 0.4% in the depth of 1 000 m of Jinhu depression. The source rock was at the low-mature stage. The  $R_o$  was 0.65% in the depth of 1 900 m and the temperature reached 90°C, the hydrocarbon source rocks entered the peak phase. The homogenization temperature of fluid inclusion samples was between 62 ~ 93°C of Well Cui 2 in the west slope. Through the comprehensive analysis of the burial history-thermal history of typical single-well and the homogenization temperature of fluid inclusions, it can be identified that the accumulation period of Jinhu depression was between 47 ~ 41.5 Ma. Then it could be judged that the Sanduo period ( $E_2s$ ) was the main hydrocarbon accumulation period of Jinhu depression.

**Key words** Jinhu depression; geothermal gradient; ancient temperature scale; thermal history reconstruction; hydrocarbon accumulation period