

北塘凹陷古近系烃源岩特征及热演化史模拟

白云风^{1,2}, 王 华³, 王振升⁴, 廖远涛³, 林正良³, 黄传炎³

1. 吉林大学地球科学学院, 吉林长春 130061

2. 大庆油田有限责任公司勘探开发研究院, 黑龙江大庆 163712

3. 中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430074

4. 大庆油田有限责任公司勘探开发研究院, 天津大港 300280

摘要: 根据大量的烃源岩地球化学数据, 分析了北塘凹陷古近系烃源岩的地球化学特征, 从有机碳含量(TOC)、氯仿沥青“A”、总烃含量、 $S_1 + S_2$ 、有机质类型和成熟度(R_o)等方面对古近系烃源岩进行了系统分析, 结果表明北塘凹陷东三段、沙一段和沙三段是本区的烃源岩层段, 其中沙三段烃源岩生烃指标最好, 是本区的主力烃源岩层段。烃源岩的模拟结果表明: (1) 北塘凹陷的烃源岩门限深度为2390 m, 门限温度为94.2℃, 进入生烃门限的时间约为25~28 Ma; (2) 北塘凹陷沙三段的现今地层温度为140~160℃, R_o 达0.9%~1.4%, 正处于生油高峰期; 沙一、二段的现今地层温度为100~140℃, R_o 达到了0.75%~1.0%左右, 已进入中等成熟阶段; 东营组的现今地层温度为80~100℃, R_o 为0.45%~0.75%, 处于低一中等成熟阶段。

关键词: 北塘凹陷; 古近系; 烃源岩; 热演化史模拟; 沉积学。

中图分类号: TE135

文章编号: 1000-2383(2011)03-0565-07

收稿日期: 2010-12-28

Thermal Evolution Modeling and Characteristic of Source Rock of Paleogene in Beitang Sag

BAI Yun-feng^{1,2}, WANG Hua³, WANG Zhen-sheng⁴,
LIAO Yuan-tao³, LIN Zheng-liang³, HUANG Chuan-yan³

1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China

2. E & D Research Institute of Daqing Oilfield Company Ltd., Daqing 163712, China

3. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

4. E & D Research Institute of Dagang Oilfield Company Ltd., CNPC, Dagang 300280, China

Abstract: Based on large quantity of organic geochemistry data, the geochemistry characteristics are systematically analyzed on organic carbonate content (TOC), chloroform bitumen “A”, overall hydrocarbon content, $S_1 + S_2$, organic matter types and maturity (R_o %) and so on. It shows that the Dong 3 Member, Sha 1 Member and Sha 3 Member are the main oil source beds of Beitang sag, especially, Sha 3 Member is the best in source rock quality. The model results indicate that (1) The depth of oil generative threshold is about 2390 m, and the temperature is about 94.2℃, and the time entering on the oil generative threshold is from 25 Ma to 28 Ma in Beitang sag; (2) The present-day temperature of Sha 3 Layer is 140–160℃, the present-day R_o ranges between 0.9%–1.4%, It is in its peak of oil generation. The temperature of Sha 1+2 Layer is 100–140℃, the R_o ranged between 0.75%–1.0%, which suggests that it is in the middle-maturity at present. The present-day temperature of Dongying Layer is 80–100℃, the present-day R_o ranges between 0.45%–0.75%, which indicates that the present-day source rocks are in low maturation.

Key words: Beitang sag; Paleogene; source rock; thermal evolution history modeling; sedimentology.

0 引言

在油气勘探中, 烃源岩的评价将对勘探部署起决定作用, 而烃源岩的成熟度和热演化史是评价烃源岩生烃量的关键, 通过对烃源岩热演化史的分析, 可以确定盆地内生烃洼陷的位置, 进而对确定盆地内油气分布范围产生至关重要的影响. 盆地的热演化模拟不仅提供了烃源岩生烃状态和时空分布的研究基础, 同时也是油气运移和聚集的重要物理参数.

在盆地的热演化分析中, 许多学者指出, 沉积盆地的热演化史控制了油气的生成、运移、聚集及成藏, 盆地的类型和热动力学背景控制了油气的成藏期次, 决定着油气的勘探前景(赵重远等, 1990; 汪缉安和汪集旻, 1993; 胡圣标和汪集旻, 1995; 任战利, 1996, 1999), 任战利于 1996 年通过对鄂尔多斯盆地的研究, 认为构造热事件对油气的生成、运移和聚集有重要的控制作用. 此外, 不同的学者从不同的角度对热演化史和油气生成和运移之间的关系作了进一步研究, 总结了对盆地热演化过程能够产生影响的众多因素, 加深了对盆地热演化史的研究深度(胡圣标和汪集旻, 1995; 任战利和张世煊, 1999; Hertle and Littke, 2000; Sachsenhofer *et al.*, 2002; Mak-hous and Galushkin, 2003).

北塘凹陷位于黄骅拗陷北部, 歧口凹陷和南堡凹陷之间, 经历过多期的构造运动, 断裂发育, 地质条件极为复杂(图 1), 在渤海湾盆地中具有很强的代表性. 多年以来生油洼陷分析不足成为制约勘探工作的瓶颈. 针对北塘凹陷古近系的烃源岩发育规

律和热演化史的研究, 不仅为北塘凹陷的油气勘探提供了理论支持, 而且将有力地促进渤海湾周边盆地的油气勘探进程.

1 烃源岩的分布特征

北塘凹陷古近系经历了多期的构造活动, 凹陷内构造分区比较复杂. 总体上具有南北分区、东西分带以及隆凹相间的特点. 北部地区包括大神堂和涧河南部等构造带, 这些构造带靠近燕山褶皱带, 离物源区较近, 有机质含量较低, 因此不具备生油能力(邓荣敬等, 2001). 南部地区包括塘沽和新港等构造带, 以海河断层为界与歧口凹陷相邻. 南部地区古近系厚度较大, 最大厚度可达 5 000 m, 东三段、沙一段和沙三段的暗色泥岩比较发育. 其中沙三段的暗色泥岩尤为发育, 泥岩层段的厚度大, 而且在平面上分布较广, 是北塘凹陷的主力烃源岩层段, 富有勘探潜力.

2 烃源岩的有机地球化学特征

烃源岩的地球化学特征主要包括有机质丰度、有机质类型、有机质成熟度等, 它们是进行烃源岩评价的重要参数. 根据实测和收集的本区的烃源岩地球化学数据, 对北塘凹陷古近系烃源岩的有机地球化学特征进行了分析.

2.1 有机质丰度

油气勘探实践和油气地球化学研究表明, 表征有机质丰度的指标有残余有机碳含量(TOC, %)、氯仿沥青“A”含量(EOM, %)、总烃含量(HC, 10^{-6})、岩石热解生烃潜量($S_1 + S_2$, mg/g)等(陈荣书, 1994). 本文所采用的评价标准是胡见义等(1991)提出的陆相烃源岩有机质丰度评价标准.

2.1.1 有机碳 统计表明, 北塘凹陷沙三段有机碳含量分布范围在 0.63%~9.73%, 沙三 1 段、沙三 2 段和沙三 3 段的有机碳平均值分别为 1.17%、1.23% 和 1.11%. 沙一段有机碳含量平均值为 0.79%, 东三段有机碳平均值为 0.64%. 北塘地区各单井有机质丰度有所差异. 总体看来沙三段有机碳含量最高, 沙三段内部的 3 个层段的有机碳含量均超过 1%, 属于好烃源岩(表 1).

2.1.2 氯仿沥青“A” 氯仿沥青“A”的含量也是判断烃源岩有机质丰度的重要参数之一. 从表 1 可以看出, 沙三段的氯仿沥青“A”的含量高于沙一段和

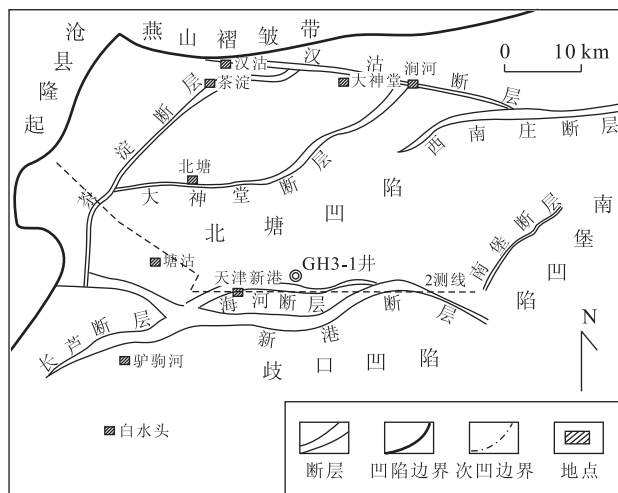


图 1 北塘凹陷构造位置

Fig. 1 Tectonic location map of Beitang sag

表 1 北塘凹陷古近系有机质丰度统计

Table 1 Abundance of organic of Paleogene in Beitang sag

| 层位 | 有机碳 (TOC, %) | 氯仿沥青“A” (EOM, %) | 总烃 (10^{-6}) | 生烃潜量 ($S_1 + S_2$, mg/g) |
|--------|------------------------|--------------------------|----------------------|-------------------------------|
| Ed_3 | 0.52~1.03 0.64(58) | 0.006~0.192 0.023(15) | 55~151 79(10) | 0.32~5.96 2.91(8) |
| Es_1 | 0.64~1.22 0.79(78) | 0.008~0.242 0.032(8) | 75~224 141(6) | 1.45~9.61 4.42(6) |
| Es_3 | 0.63~2.65 1.17(246) | 0.018~0.331 0.062(58) | 175~325 271(33) | 2.22~13.24 5.33(150) |
| Es_2 | 0.74~2.01 1.23(147) | 0.014~0.412 0.112(57) | 478~1 032 609(19) | 2.41~15.29 6.59(112) |
| Es_3 | 0.70~9.73 1.11(18) | 0.023~0.302 0.076(9) | 152~778 394(5) | 1.52~9.77 6.32(205) |

注:(1)表格中的数据含义 $\frac{\text{最小值} \sim \text{最大值}}{\text{平均值(样品数)}}$; (2)东三段和沙一段数据为 1999 年所测数据^①,沙三 1 段、沙三 2 段、沙三 3 段三组数据中增加了 2005 年以来所测的数据。

东三段。其中沙三 2 段的含量最高,可达到 0.112%。

2.1.3 总烃 总烃的含量变化依然是沙三段高于沙一段和东三段。东三段的总烃含量为 79×10^{-6} , 低于好生油岩的最低标准。沙三 2 段的总烃含量高达 609×10^{-6} , 属于好烃源岩^②。

2.1.4 岩石热解生烃潜量 生烃潜量就是烃源岩中的有机质在全部热降解完毕后所产生的油气质,即可溶烃(S_1) + 热解烃(S_2) (Tissot *et al.*, 1984)。北塘凹陷烃源岩的 $S_1 + S_2$ 分布范围 0.32 ~ 15.29 mg/g,沙三段的生烃潜量偏高,最高可达 6.59 mg/g,东三段略低,生烃潜量值为 2.91 mg/g。

2.2 有机质类型

评价有机质类型常用参数有:干酪根元素分析和烃源岩热解等参数 (Tissot *et al.*, 1984)。

2.2.1 干酪根元素分析 目前,干酪根元素分析工作中所采用的标准大多是 Tissot *et al.* (1984) 制定的分类标准。

通过对典型井干酪根类型的数据统计分析表明,在凹陷边缘,沙三段的干酪根类型以 III 型、I 型和 II₂ 型为主,其中 III 型干酪根在含量上占据优势;沙一段的干酪根以 III 型和 II₂ 型为主;东三段主要以 III 型干酪根为主。位于凹陷沉积中心的东三段、沙一段烃源岩干酪根类型可达到 II 型。I 型干酪根多集中在沙三 3 段,沙一段和东三段少数样品中能够检测到 I 型干酪根 (图 2)。这种差异是由于北塘凹陷存在多物源供给现象造成的 (白云风等, 2006, 2008)。

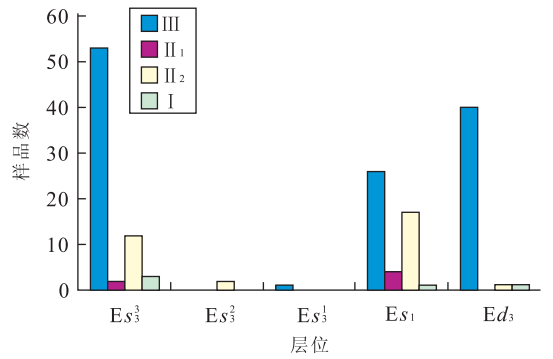


图 2 北塘凹陷古近系典型井干酪根类型统计结果
Fig. 2 Type of kerogens of Paleogene in Beitang sag

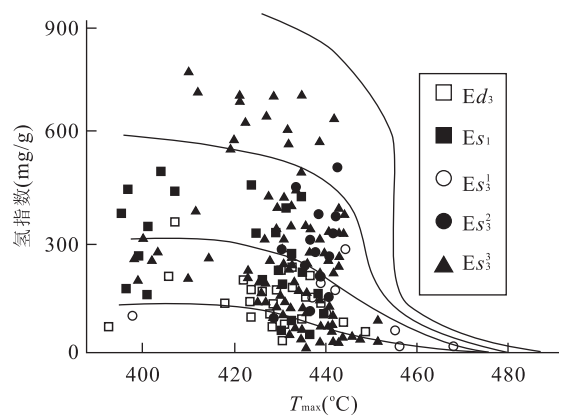


图 3 北塘凹陷古近系岩石热解干酪根类型判别

Fig. 3 Hierarchy of the Q-mode cluster analysis of the heavy minerals in Dongying Formation in Huanghua depression

2.2.2 烃源岩热解分析 烃源岩热解分析得出的氢指数(HI)和最大热解峰温(T_{max})等参数可以快速有效地评价烃源岩。

利用岩石热解资料编制的北塘凹陷烃源岩热解氢指数(HI)和最高热解峰温(T_{max})关系图反映出沙三 3 段烃源岩主要以 III 型、I 型和 II₂ 型为主;沙三 2 段和沙三 1 段主要以 III 型、II₂ 型为主, II₁ 和 I 型较少;沙一段与沙三段的的上部特点相同 (图 3)。

2.3 有机质成熟度

本次研究收集了共 7 口单井的镜质体反射率的数据,并在此基础上对有机质的成熟度进行了分析。

北塘凹陷古近系烃源岩镜质体反射率(R_o)实测值一般为 0.5%~1.4%,处于低成熟~成熟烃源岩指标范围之内。镜质体反射率的数值呈现出随埋深增加而逐渐增加的趋势,说明有机质演化受埋深影响比较大。在分析过程中,要去除一些异常值,比如受火山活动影响而出现的高异常值。

①王廷栋,徐志明,1999.北塘地区油藏地球化学研究.西南石油大学.
②秦若轶,黄隆基,1994.北塘滩海地区盆地模拟与油气资源评价.大港油田勘探开发研究院.

3 烃源岩热演化分析

烃源岩热演化史模拟是在埋藏史模拟的基础上进行的热史和成熟史模拟。通过对烃源岩热演化史的模拟研究,可以得到有关盆地的热背景、有机质成熟度和油气生成过程的动态认识,为油气成藏条件的时空配置以及油气资源评价等研究提供依据(郭秋麟等,1998;史忠生等,2005)。本次研究选用的盆地模拟软件为德国 IES 软件公司研发的 PetroMod 软件。该软件包含了 Sweeney 和 Burnham 于 1990 年建立的 EASY%R。理论模型,EASY%R。模型是目前烃源岩热演化分析中最常用的化学动力学预测模型。

3.1 一维单井热演化分析

本次研究选取了北塘凹陷的 BT36-1-1、GH3-1、T20、T28、T32 以及 T38 这 6 口单井作为一维模拟研究对象,对北塘凹陷古近系烃源岩的热演化史进行了分析。在模拟过程中,镜质组反射率模拟热演化史采用 EASY%R。模型(Burnham and Sweeney,1989; Sweeney and Burnham, 1990),校准数据采用了大港油田的实测数据。

下面以 GH3-1 井为例进行说明。在热史方面,现今大量的井底测温数据显示北塘凹陷现今地温梯度为 3.23 °C/100 m,略高于全球的平均值3.0 °C/100 m。在成熟度史方面,从模拟的烃源岩现今演化程度上来看,6 口单井的模拟结果表明北塘凹陷的烃源岩处于低成熟到成熟阶段。从模拟的门限值来

看,北塘凹陷的门限深度的大致为 2 390 m,门限温度为 94.2 °C。从模拟的生烃时间上来看,北塘凹陷进入生烃门限的时间约为 25~28 Ma(图 4,图 5)。

地层温度、有机质成熟度与埋藏深度的关系非常密切(Suggate,1998)。通过钻井资料得到的地层温度和 R_o 。实测值为模拟结果提供了校准数据。一维单井模拟出来的温度趋势线、 R_o 。趋势线与实测之间的吻合程度是对热史和成熟度史等一系列模拟展开分析的必要前提和基本保证(史忠生等,2005)。这次模拟的现今地温趋势和现今成熟度趋势与实测资料吻合程度较好。说明所指定的模拟参数和所建立的地质模型较为客观地反应了实际的地质情况。

3.2 二维剖面热演化分析

在二维剖面的热演化分析中,以北塘凹陷 2 测线为重点进行模拟,模拟结果表明:(1)温度:北塘凹陷沙三段的现今地层温度在 140~160 °C 左右,沙一、二段的现今地层温度在 100~140 °C 左右,东营组的现今地层温度 80~100 °C 左右(图 6a);(2)成熟度:北塘凹陷沙三段底界的现今成熟度 R_o 。达 0.9%~1.4%,正处于生油高峰期,但分布的范围较小,沙一、二段底界的现今成熟度 R_o 。达到了 0.75%~1.0%左右,已进入中等成熟早期阶段,东营组底界现今成熟度为 0.45%~0.75%,刚进入生油门限(图 6b)。

3.3 烃源岩热演化影响因素分析

在烃源岩热演化过程中,盆地的构造活动是重要的影响因素(何丽娟等,1998)。黄骅坳陷在沙河街

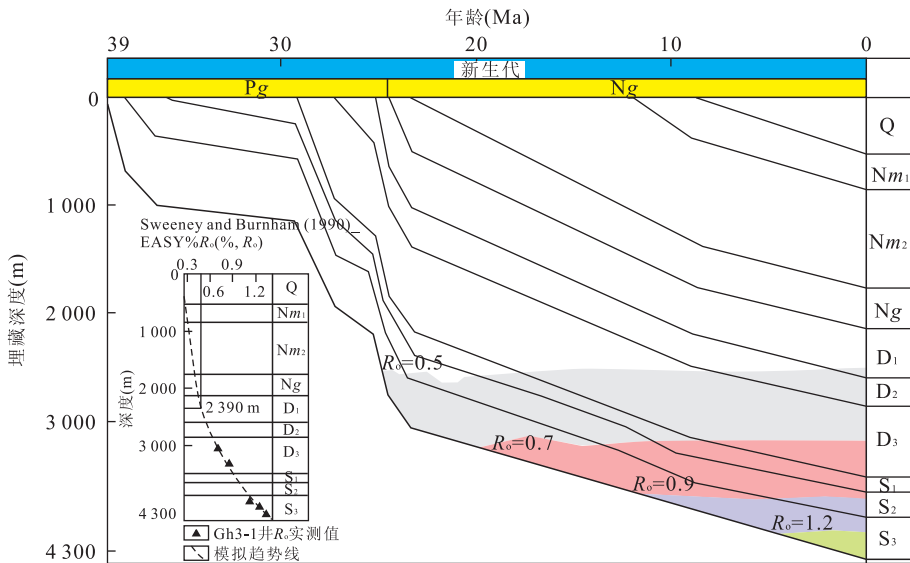


图 4 北塘凹陷 GH3-1 井埋藏史与热演化特征

Fig. 4 Burial history and temperature evolution of Well GH3-1 in Beitang sag

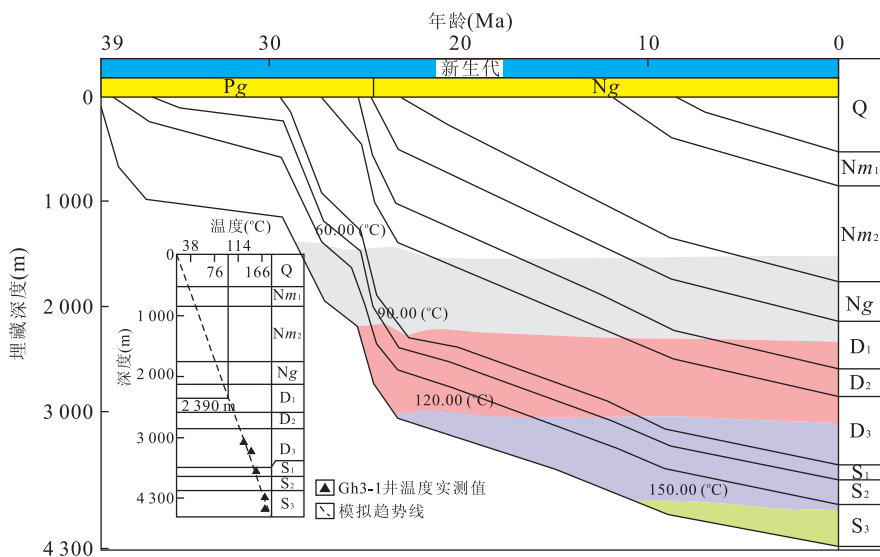


图 5 北塘凹陷 GH3-1 井埋藏史与有机质成熟度演化

Fig. 5 Burial history and organic maturity evolution of Well GH3-1 in Beitang sag

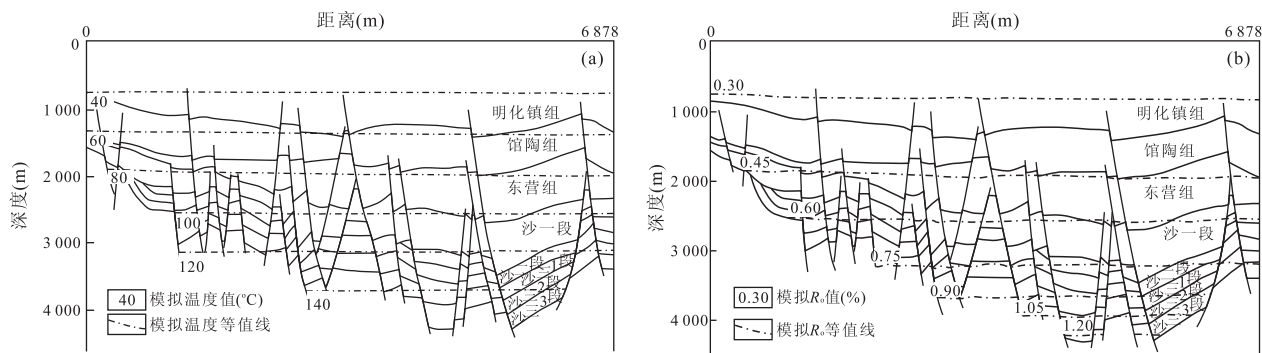


图 6 北塘凹陷 2 测线模拟温度剖面(a)和成熟度剖面(b)

Fig. 6 Modeling temperature section (a) and maturity section (b) of line 2 in Beitang sag

一东营组沉积期具有快速旋回性构造沉降特征,该时期火山活动频繁,说明黄骅坳陷在该时期经历了裂谷发展阶段(胡圣标等,1999).

北塘凹陷和歧口凹陷同是黄骅坳陷的两个二级构造单元.歧口凹陷生油门限深度在 2 900 m 左右(王振升等,2009).而北塘凹陷与之相比,门限深度略高.造成这种现象的原因可能有两个:(1)两个生油凹陷所处的构造部位不同,构造演化的差异性导致门限深度的不同;(2)统计样品的差异.

此外,在做烃源岩热演化分析时,经常会出现门限温度和门限深度在油气生成时与现今值有一定偏差的现象,这正反映了时间与温度对烃类生成的影响.即埋藏时间较短的地层要使有机质进入生烃门限必须要有较高的温度.而埋藏时间较长的地层,时间可以补偿温度对有机质的成熟的影响.

4 讨论与结论

从有机碳、氯仿沥青 A、总烃和岩石热解生烃潜力的实测数据来看,这 4 个指标均超过有机质丰度评价标准,说明北塘凹陷烃源岩发育情况良好.北塘凹陷的源岩层共有 3 层,其中沙三段泥岩中含有 I 和 II₂ 型干酪根,可以作为油源层,而沙一段和东三段中的干酪根以 III 型和 II₂ 型为主,生油能力较差,但是可以作为气源岩层.

北塘凹陷古近系烃源岩一维模拟结果表明北塘凹陷的门限深度的大致为 2 390 m,门限温度为 94.2 °C.进入生烃门限的时间约为 25~28 Ma.二维模拟结果表明:(1)温度:北塘凹陷沙三段的现今地层温度在 140~160 °C 左右,沙一、二段的现今地层温度在 100~140 °C 左右,东营组的现今地层温度 80~100 °C 左右;(2)成熟度:北塘凹陷沙三段底界

的现今成熟度 R_0 达 0.9%~1.4%，正处于生油高峰期，但分布的范围较小，沙一、二段底界的现今成熟度 R_0 达到了 0.75%~1.0% 左右，已进入中等成熟早期阶段，东营组底界现今成熟度为 0.45%~0.75%，刚进入生油门限。

通过对凹陷内单井和二维测线的模拟结果分析可知，沙三段和沙一段的埋藏深度和地温都已经进入生油门限值，而东三段刚刚进入生油门限值，不能大规模生烃。因此，沙三段是北塘凹陷最主要的烃源岩层。

北塘凹陷东部深凹区古近系沉积厚度大，埋藏深，主力烃源岩已经成熟。润南发育润南和润南南油源断层，新港东发育海河和新港油源断层，可以作为运移通道，油源条件有利，富有勘探潜力。

References

- Bai, Y. F., Wang, Z. S., Wei, A. J., et al., 2008. Time and space distribution characteristics and material resource system of heavy minerals in Dongying Formation of Huanghua depression. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 27(2): 39–42 (in Chinese with English abstract).
- Bai, Y. F., Zhang, B., Wang, H., et al., 2006. Research on the source direction of Palaeogene Dongying Formation in Huanghua depression. *Journal of Oil and Gas Technology*, 28(3): 17–19 (in Chinese with English abstract).
- Burnham, A. K., Sweeney, J. J., 1989. A chemical kinetic model of vitrinite maturation and reflectance. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 53(10): 2649–2656. doi:10.1016/0016-7037(89)90136-1
- Chen, R. S., 1994. Geology of oil and gas. China University of Geosciences Press, Wuhan, 121–126 (in Chinese).
- Deng, R. J., Chai, G. Q., Yang, H., et al., 2001. Forming conditions and distribution characteristics of Tertiary oil and gas pools in Beitang sag. *Petroleum Exploration and Development*, 28(1): 27–29 (in Chinese with English abstract).
- Guo, Q. L., Mi, S. Y., Shi, G. R., et al., 1998. Principle and method of basin modeling. Petroleum Industry Press, Beijing, 1–7 (in Chinese).
- He, L. J., Xiong, L. P., Wang, J. Y., 1998. Effects on the tectonothermal modeling of extensional basins. *Scientia Geologica Sinica*, 33(2): 222–228 (in Chinese with English abstract).
- Hertle, M., Littke, R., 2000. Coalification pattern and thermal modeling of the Permo-Carboniferous Saar basin (SW-Germany). *International Journal of Coal Geology*, 42: 273–296.
- Hu, J. Y., Huang, D. F., Xu, S. B., et al., 1991. The foundation of China's non-marine petroleum geology theory. Petroleum Industry Press, Beijing, 167–222 (in Chinese).
- Hu, S. B., Wang, J. Y., 1995. Principles and progresses on thermal regime of sedimentary basins—an overview. *Earth Science Frontiers*, 2(3–4): 171–180 (in Chinese with English abstract).
- Hu, S. B., Zhang, R. Y., Luo, Y. H., et al., 1999. Thermal history and tectonic-thermal evolution of Bohai basin, East China. *Chinese Journal of Geophysics*, 42(6): 748–755 (in Chinese with English abstract).
- Makhous, M., Galushkin, Y. I., 2003. Burial history and thermal evolution of the southern and western Saharan basins: synthesis and comparison with the eastern and northern Saharan basins. *AAPG Bulletin*, 87(11): 1799–1822. doi:10.1306/06180301123
- Ren, Z. L., 1996. Research on the relations between geothermal history and oil-gas accumulation in the Ordos basin. *Acta Petroli. Sinica*, 17(1): 17–24 (in Chinese with English abstract).
- Ren, Z. L., 1999. Research on geothermal history in sedimentary basins of the North China. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).
- Ren, Z. L., Zhang, S. H., 1999. Research on the relations between geothermal history and oil-gas accumulation in sedimentary basins of the North China. *Acta Geoscientia Sinica*, 20(Suppl.): 489–494 (in Chinese with English abstract).
- Sachsenhofer, R. F., Privalov, V. A., Zhykalyak, M. V., et al., 2002. The Donets basin (Ukraine/Russia): coalification and thermal history. *International Journal of Coal Geology*, 49(11): 33–55.
- Shi, Z. S., He, S., Yang, D. Q., 2005. A study of source rock thermal evolution modeling of Hetaoyuan Formation in Dongzhuang sag of Nanyang oilfield. *Geological Science and Technology Information*, 24(2): 85–89 (in Chinese with English abstract).
- Suggate, R. P., 1998. Relations between depth of burial, vitrinite reflectance and geothermal gradient. *Journal of Petroleum Geology*, 21(1): 5–32. doi: 10.1306/BF9AB79C-0EB6-11D7-8643000102C1865D
- Sweeney, J. J., Burnham, A. K., 1990. Evaluation of a simple model of vitrinite reflectance based on chemical kinetics. *AAPG Bulletin*, 74(10): 1559–1570.
- Tissot, B. P., Welte, D. H., 1984. Petroleum formation and

occurrence; a new approach to oil and gas exploration. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

- Wang, J. A., Wang, J. Y., 1993. The geothermal character and oil-gas resource of sedimentary basin in China continent. In: Zhao, C. Y., ed., The research progresses of petroliferous basin geology. Northwest University Press, Xi'an, 227-234 (in Chinese).
- Wang, Z. S., Liu, Q. X., Tan, Z. H., et al., 2009. Comprehensive evaluation of source rock of Qinan sag, Huanghua depression. *Natural Gas Geoscience*, 20(6): 968-971 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, C. Y., Liu, C. Y., Ren, Z. L., 1990. Geology of petroliferous basins and their systematic engineering in research. *Oil & Gas Geology*, 11(1): 108-113 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 白云风,王振升,韦阿娟,等,2008.黄骅坳陷东营组重矿物时空展布特征及物源体系分析.大庆石油地质与开发,27(2):39-42.
- 白云风,张兵,王华,等,2006.黄骅坳陷古近纪东营组物源方向研究.石油天然气学报,28(3):17-19.
- 陈荣书,1994.石油天然气地质学.武汉:中国地质大学出版社,121-126.
- 邓荣敬,柴公权,杨桦,等,2001.北塘凹陷第三系油气藏形成条件与油气分布.石油勘探与开发,28(1):27-29.
- 郭秋麟,米石云,石广仁,等,1998.盆地模拟原理方法.北京:

石油工业出版社,1-7.

- 何丽娟,熊亮萍,汪集昉,1998.拉张盆地构造热演化模拟的影响因素.地质科学,33(2):222-228.
- 胡见义,黄第藩,徐树宝,等,1991.中国陆相石油地质理论基础.北京:石油工业出版社,167-222.
- 胡圣标,汪集昉,1995.沉积盆地热体制研究的基本原理和进展.地学前缘,2(3-4):171-180.
- 胡圣标,张荣燕,罗毓辉,等,1999.渤海盆地热历史及构造—热演化特征.地球物理学报,42(6):748-755.
- 任战利,1996.鄂尔多斯盆地热演化史与油气关系的研究.石油学报,17(1):17-24.
- 任战利,1999.中国北方沉积盆地构造热演化史研究.北京:石油工业出版社.
- 任战利,张世焕,1999.中国北方沉积盆地构造热演化史与油气关系研究.地球学报,20(增刊):489-494.
- 史忠生,何生,杨道庆,2005.南阳油田东庄次凹核桃园组烃源岩热演化史模拟研究.地质科技情报,24(2):85-89.
- 汪缉安,汪集昉,1993.中国大陆沉积盆地地热特征及油气资源.见:赵重远编.含油气盆地地质学研究进展.西安:西北大学出版社,227-234.
- 王振升,刘庆新,谭振华,等,2009.黄骅坳陷岐南凹陷烃源岩评价.天然气地球科学,20(6):968-971.
- 赵重远,刘池洋,任战利,1990.含油气盆地地质学及其研究中的系统工程.石油与天然气地质学,11(1):108-113.