

泌阳凹陷核桃园组烃源岩 有机地化特征及热演化成熟史

董田¹, 何生¹, 林社卿²

(1. 中国地质大学(武汉)构造与油气资源教育部重点实验室, 武汉 430074;
2. 中国石化河南油田分公司勘探开发研究院, 河南 南阳 473132)

摘要: 南襄盆地泌阳凹陷有效烃源岩层系主要发育在始新统核三下、上段咸水湖或盐湖相沉积时期, 岩性主要为深灰、褐灰、灰色泥岩、钙质泥岩和白云质泥岩。核三下段和上段泥岩平均有机碳含量分别为 1.60% 和 2.23%; 核三下段干酪根类型主要为 II 型, 其次为 III 型; 上段主要为 II₁ 型, 其次为 I 型和 III 型, 反映沉积环境的生标化合物以低 Pr/Ph 比值和高伽马蜡烷含量为特征; 泥岩有机质成熟度 R_o 值介于 0.5% ~ 1.4%, 主要处在生油阶段, 现今门限深度约为 1 820 m。在凹陷南部陡坡带和深洼区, 核三下段底部最早在 37 Ma 达到生烃门限, 对应的深度约为 2 500 m, 温度约为 100 °C; 上段顶部最早在 23 Ma 达到生烃门限, 对应的深度约为 1 950 m, 温度约为 90 °C。核二段泥岩有机碳平均含量为 1.85%, 有机质类型以 I 型和 II 型为主, 主体未进入成熟门限。

关键词: 有机地化特征; 热演化史模拟; 烃源岩; 核三段; 泌阳凹陷; 南襄盆地

中图分类号: TE122.1⁺13

文献标识码: A

Organic geochemical characteristics and thermal evolution maturity history modeling of source rocks in Eocene Hetaoyuan Formation of Biyang Sag, Nanxiang Basin

Dong Tian¹, He Sheng¹, Lin Sheqing²,

(1. Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources of Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China; 2. Exploration and Development Research Institute of SINOPEC Henan Oilfield Company, Nanyang, Henan 473132, China)

Abstract: In the Biyang Sag of the Nanxiang Basin, effective hydrocarbon source rock system mainly develops in the lagoon or salt lake facies strata in the lower and upper parts of the 3rd member of the Hetaoyuan Formation. The source rocks include dark gray, brown gray, gray mudstones, calcareous mudstones and dolomitic mudstones. The average organic carbon contents of the lower and the upper parts of the 3rd member of the Hetaoyuan Formation are 1.60% and 2.23%, respectively. Kerogens of the lower part of the 3rd member of the Hetaoyuan Formation are mainly of type II, and part of them are of type III. In the upper part of the 3rd member of the Hetaoyuan Formation, kerogens are mainly of type II₁, and part of them are of types I and III. Pr/Ph ratio which illustrates depositional environment is low and gammacerane content is high. Organic matter maturity values (R_o) range from 0.5% to 1.4%, indicating for oil generation stage with current threshold depth of approximately 1 820 m. In the southern steep slope and deep depression, source rocks at the bottom of the 3rd member of the Hetaoyuan Formation enter the threshold for hydrocarbon generation at 37 Ma, and the corresponding depth and temperature are 2 500 m and 100 °C. At the top of the upper part, the threshold for hydrocarbon generation is at 23 Ma, and the corresponding depth and temperature are 1 950 m and 90 °C. The average organic carbon content of the 2nd member of the Hetaoyuan Formation is 1.85%. Organic matter types are mainly I and II, having not entered the mature threshold.

Key words: geochemical characteristics; thermal evolution modeling; source rock; 3rd member of Hetaoyuan Formation; Biyang Sag; Nanxiang Basin

收稿日期: 2012-01-12; 修订日期: 2013-02-22。

作者简介: 董田(1987—)男, 在读博士生, 从事油气成藏研究。E-mail: winter866877@126.com。

通讯作者: 何生(1956—)男, 教授, 博士生导师, 从事油气地质及地球化学的教学和科研工作。E-mail: shenghe@cug.edu.cn。

基金项目: 国家自然科学基金项目(41072093)和中国石化河南油田分公司科研项目(P07057-2)资助。

泌阳凹陷是我国东部新生代典型的富油小凹陷之一,面积仅约 1 000 km²,油气资源量约为 3.6 × 10⁸ t,资源丰度高达约 36 × 10⁴ t/km²,截止 2009 年资源探明率约为 70%,已处于高成熟勘探期,但仍有一定的潜力,因此深入开展烃源岩地球化学特征及热演化研究,对于更好地认识该凹陷主力烃源岩的生烃能力、进一步明确常规和非常规油气的勘探潜力仍显得非常重要^[1-6]。目前该方面研究存在的主要问题:一是由于该凹陷烃源岩的有机质类型偏腐泥型及富氢等原因,导致实测镜质体反射率偏低或测不准,影响了对烃源岩成熟度的正确认识;二是该凹陷在古近纪末期发生过较大规模的构造抬升和地层剥蚀,该事件对烃源岩热演化成熟史的影响需要进一步研究和认识。本文在分析已有地化资料的基础上,采用 Sweeney 和 Burnham^[7-8]提出的 Easy % R_o 模型,研究其烃源岩的成熟度。这是目前最常用的更加严谨科学的模拟干酪根热演化成熟史的化学动力学预测模型,并得到了广泛的应用^[9-14]。

1 地质背景

泌阳凹陷位于河南省唐河县和泌阳县境内,是南襄盆地相对独立的次级构造单元^[15],其东南部为桐柏山,西北部是社旗凸起,东北部是伏牛山,西部以唐河低凸起与南阳凹陷相隔(图 1);由南向北,又可划分为南部陡坡带、中央深凹区及北部缓坡带 3 个构造带^[16-17]。凹陷总体上南深北浅、南陡北缓,拗隆相间,其构造演化史可划分为晚白垩世断陷初始发育期、古近纪主断陷期、古近纪末挤压抬升期和新近纪稳定拗陷期 4 个发展阶段。自下而上沉积了上白垩统胡岗组、古近系玉皇顶组(E_y)、大仓房组(E_d)、核桃园组(E_h)、廖庄组(E_l)、新近系凤凰镇组和第四系 6 套地层,其中廖庄组与新近系地层之间呈角度不整合接触。核桃园组是泌阳凹陷的含油层系,厚约 2 000 ~ 3 000 m,也是

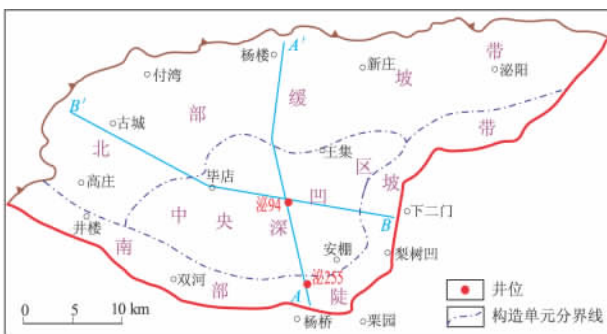


图 1 南襄盆地泌阳凹陷构造带划分
Fig. 1 Tectonic units of Biyang Sag, Nanxiang Basin

本次研究的目的层。根据岩性特征及沉积旋回,将核桃园组自下而上进一步划分为核三段(E_{h3})、核二段(E_{h2})、核一段(E_{h1})。核三段为主力烃源岩,岩性以灰色—深灰色泥岩为主夹泥质白云岩、白云岩和砂岩;次要烃源岩为核二段,岩性为灰色泥岩、泥质白云岩夹灰褐色白云岩、油页岩,同时核二段、核三段也是该凹陷的主要储层。核三段烃源岩可进一步划分为核三上段和核三下段,上段、下段有效烃源岩厚度分别约为 450 ~ 1 100 m 和 200 ~ 700 m。

2 烃源岩地球化学特征

2.1 有机质丰度

本次研究对泌阳凹陷不同地区核三段进行了取样,对测试结果统计并作了丰度的地球化学数据分析。为了能够正确地反映有效烃源岩的有机质丰度,按照我国目前较为通用的陆相烃源岩有机质丰度评价标准,剔除了 ω(TOC) < 0.4% 的样品^[18]。

纵向上来看(表 1),核三下段有机碳含量为 0.44% ~ 4.43%,平均为 1.60%;核三上段有机碳含量为 0.40% ~ 5.40%,平均为 2.23%;核二段有机碳含量为 0.50% ~ 3.31%,平均为 1.85%。对比来看,核三上段有效烃源岩的有机质丰度最高,核二段次之,核三下段最差,这可能与核三下段烃源岩具有较高的成熟度有关。氯仿沥青“A”和生烃潜量的统计结果也反映了有机质丰度的这一规律。

平面上来看(表 2),陡坡带有机碳含量介于 0.40% ~ 4.50%,平均为 2.03%;深凹区有机碳含量介于 0.54% ~ 5.40%,平均为 2.08%;缓坡带有机碳含量介于 0.50% ~ 4.06%,平均为 1.75%。可见,陡坡带与深凹区有机质丰度类似,而缓坡带相对较差。总体上来讲,不同层位不同构造单元带的烃源岩都属于好烃源岩级别,具有较好的生烃能力。

2.2 有机质类型

应用岩石热解分析的热解峰温(T_{max})和氢指数(I_H)以及干酪根元素分析对有机质的类型进行划分(图 2),并将成烃有机质划分为腐泥型(I型)、腐殖腐泥型(II₁型)、腐泥腐殖型(II₂型)和腐殖型(III型) 4 种。从图 2 中可以看出,核二段有机母质以 II₁型为主,少量 I 型和 II₂型;核三上段主要为 II₁型及少量 I 型和 II₂型;核三下段多为 II₁型、II₂型以及 III 型。岩石热解分析结果与元素分析结果存在一些差别,是因为氢指数受成熟度影响而变低。总体来说,烃源岩有机质以 II₁型和 II₂型为主,为偏腐泥型烃源岩。平面上各构造单元带烃源岩有机质类型相差无几。

表 1 南襄盆地泌阳凹陷核二、三段有机质丰度统计评价

Table 1 Statistical evaluation of organic abundance of 2nd and 3rd members of Hetaoyuan Formation, Biyang Sag, Nanxiang Basin

层位	$\omega(\text{TOC}) / \%$	氯仿沥青“A”/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	生烃潜量($S_1 + S_2$) / ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	生油级别
核二段	0.50 ~ 3.31 1.85(9)	665 ~ 9 066 2 913(9)	0.69 ~ 20.31 8.71(9)	好烃源岩
核三上段	0.40 ~ 5.40 2.23(26)	276 ~ 10 419 2 794(9)	0.30 ~ 33.18 11.69(26)	好烃源岩
核三下段	0.44 ~ 4.43 1.60(16)	366 ~ 6 820 2 390(11)	0.36 ~ 24.26 6.83(16)	好烃源岩

注: 表中分式意义为 $\frac{\text{最小值} \sim \text{最大值}}{\text{平均值(样品数)}}$ 。

表 2 南襄盆地泌阳凹陷各构造单元带中核二、三段有机质丰度统计评价

Table 2 Statistical evaluation of organic abundance of 2nd and 3rd members of Hetaoyuan Formation in each tectonic unit of Biyang Sag, Nanxiang Basin

构造单元	$\omega(\text{TOC}) / \%$	氯仿沥青“A”/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	生烃潜量($S_1 + S_2$) / ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	生油级别
缓坡带	0.50 ~ 4.06 1.75(15)	807 ~ 1 380 1 093.5(2)	0.69 ~ 26.79 9.87(15)	好烃源岩
深凹区	0.54 ~ 5.40 2.08(17)	276 ~ 10 419 2 810(10)	0.70 ~ 27.29 9.54(17)	好烃源岩
陡坡带	0.40 ~ 4.50 2.03(19)	366 ~ 2 294 1164(8)	0.30 ~ 33.18 9.55(19)	好烃源岩

注: 表中分式意义为 $\frac{\text{最小值} \sim \text{最大值}}{\text{平均值(样品数)}}$ 。

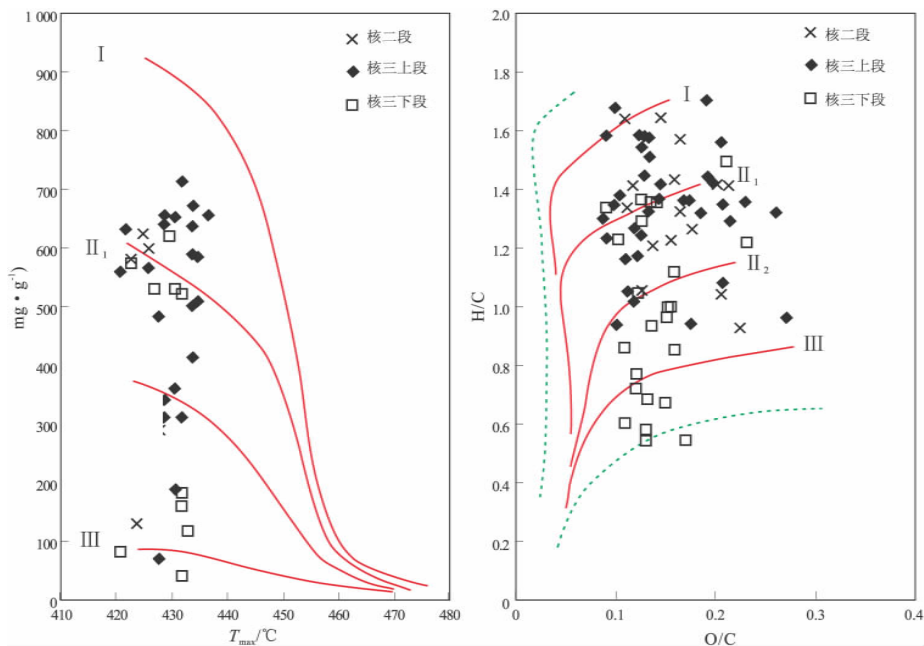


图 2 南襄盆地泌阳凹陷岩石热解资料和干酪根元素分析划分有机质类型

Fig. 2 Organic types based on Rock - Eval pyrolysis and kerogen element analysis, Biyang Sag, Nanxiang Basin

饱和烃气相色谱可以反映有机质来源、沉积环境和有机质成熟度,其中姥鲛烷、植烷及其 Pr/Ph 比值常作为判断原始沉积环境氧化—还原条件及介质盐度的标志。通过对烃源岩样品的饱和烃气相色谱分析(表 3),Pr/Ph 值集中在 0.24 ~ 0.93 之间,为植烷略占优势的强还原环境。用 Pr/Ph,Pr/

nC_{17} , Ph/ nC_{18} 的三角图版可以对有机质的成因环境作出判识。从图 3a 中可以看出,泌阳凹陷核桃园组烃源岩主要分布在 II 区和 III 区,表明研究区总体的沉积环境为半咸水—咸水至盐湖环境。

5 α 14 α 17 α (20R) 生物构型的 C₂₇、C₂₈ 和 C₂₉ 甾烷三角图常用来区分有机质的母质类型。从甾烷

表 3 南襄盆地泌阳凹陷烃源岩地球化学参数

Table 3 Geochemical characteristics of source rocks in Biyang Sag, Nanxiang Basin

井号	层位	深度/m	岩性	Pr/Ph	C ₂₄ 四环萜/ C ₂₆ 长链三环萜	伽马蜡烷 指数
泌 78	Eh ₂	1 922.6	深褐灰色泥岩	0.45	1.61	0.04
泌 331	Eh ₂	1 938.7	深褐灰色泥岩	0.73	2.27	0.09
云 9	Eh ₂	2 064.0	深灰褐色页岩	0.27	1.88	0.24
云 2	Eh ₃ ^上	2 108.5	灰褐色白云质泥岩	0.93	0.10	0.76
云 6-1	Eh ₃ ^上	2 197.0	灰褐色白云质泥岩	0.24	0.94	-
泌 130	Eh ₃ ^上	2 488.2	深灰褐色泥岩	0.32	0.42	0.33
泌 191	Eh ₃ ^上	2 595.5	灰褐色页岩	0.42	0.22	0.72
泌 96	Eh ₃ ^上	2 752.5	深褐灰色泥岩	0.37	0.85	0.18
泌 78	Eh ₃ ^上	2 831.5	深褐灰色页岩	0.25	0.36	0.54
泌 78	Eh ₃ ^上	2 895.0	灰褐色泥质白云岩	0.27	0.44	0.43
泌 197	Eh ₃ ^下	2 871.0	深灰色页岩	0.35	1.00	0.63
泌 197	Eh ₃ ^下	3 210.5	黑灰色泥岩	0.33	0.91	-
泌 96	Eh ₃ ^下	3 397.0	深灰色白云质泥岩	0.65	0.48	0.25
泌 212	Eh ₃ ^下	3 503.0	黑色泥岩	0.40	0.38	0.24

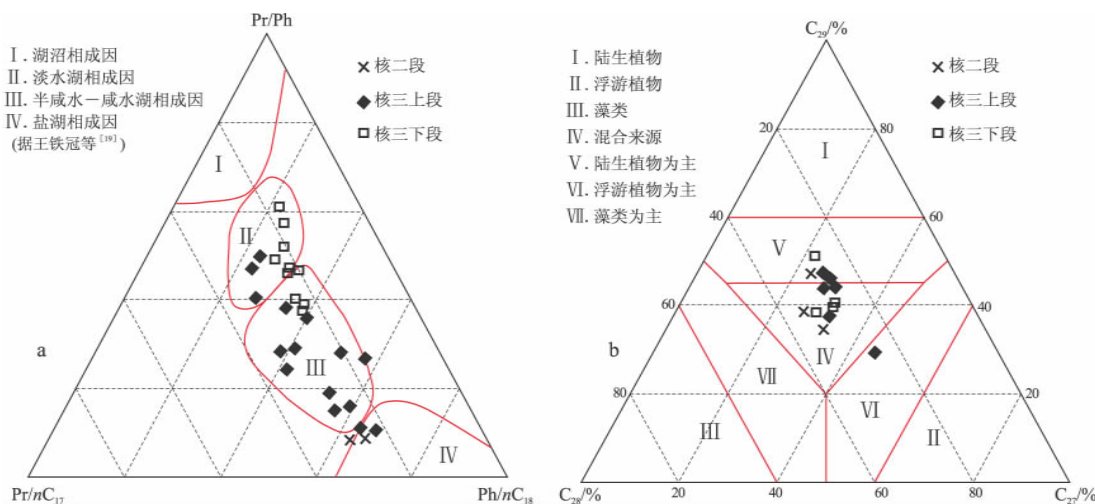


图 3 南襄盆地泌阳凹陷烃源岩 Pr/Ph、Pr/nC₁₇ 和 Ph/nC₁₈ 及甾烷碳数三角分布

Fig. 3 Pr/Ph, Pr/nC₁₇, Ph/nC₁₈ and sterane carbon number of source rocks in Biyang Sag, Nanxiang Basin

三角图中(图 3b)可以看出,绝大部分样品集中分布在混合来源的 IV 区和以陆生植物为主的 V 区,这说明烃源岩母质以混合来源为主,且陆源生物比例偏重。

泌阳凹陷核桃园组烃源岩的姥鲛烷/植烷(Pr/Ph)比值、伽马蜡烷指数(伽马蜡烷/ $\alpha\beta$ C₃₀藿烷)和 C₂₄四环萜/C₂₆长链三环萜比值表明(表 3)核三段烃源岩的 Pr/Ph 为 0.24~0.93,伽马蜡烷含量相对较高,伽马蜡烷指数一般在 0.18~0.76 之间,C₂₄四环萜/C₂₆长链三环萜比值为 0.10~0.94,说明此时沉积水体为咸化或盐湖环境,低等水生生物对沉积有机质的贡献占优势,强还原环境为有机质的保存提供了有利的条件。核二段烃源岩的伽马蜡烷指数为 0.04~0.24,C₂₄四环萜/C₂₆长链三环萜比

值为 1.61~2.27,为低伽马蜡烷指数和相对较高 C₂₄四环萜/C₂₆长链三环萜比值,可能表明核二段烃源岩沉积时,水体盐度有所降低,陆源高等植物的贡献相对较丰富,有机质的保存条件较好。

2.3 有机质成熟度

凹陷内不同地区在廖庄组沉积末期地层剥蚀程度差别很大(图 4),之后地层统一沉降,东南部地区地层现今埋深已超过最大古埋深,但是西北部地区地层后期的沉降仍未超过最大古埋深,烃源岩保持抬升前的成熟度。从镜质体反射率随深度的变化趋势(图 5)可以看出,缓坡带内杨楼、王集、新庄、古城、井楼以及杜坡地区的样品埋深多小于 1 000 m,但是 R_o 介于 0.3%~0.75% 之间,处于未成

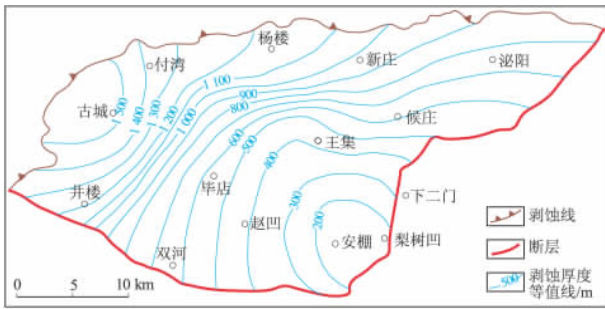


图 4 南襄盆地泌阳凹陷廖庄组沉积末期地层剥蚀厚度

Fig.4 Strata erosion thickness at the end of Liaoziang period, Biyang Sag, Nanxiang Basin

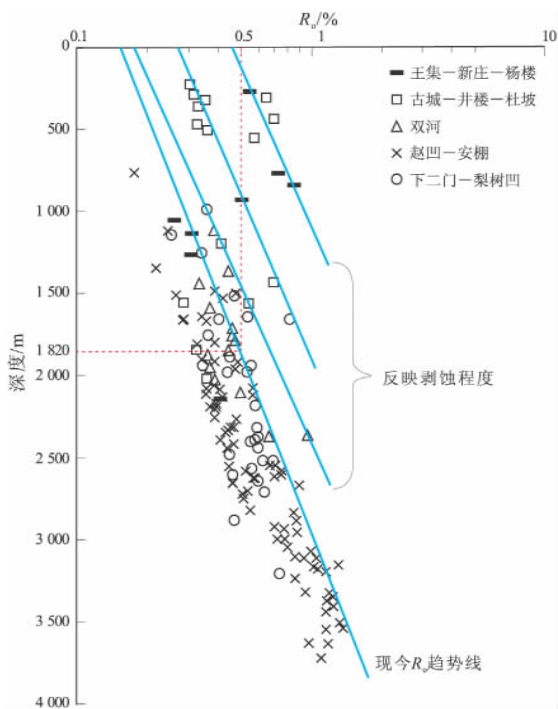


图 5 南襄盆地泌阳凹陷核桃园组镜质体反射率随深度变化趋势

Fig.5 Measured R_o vs. burial depth of Hetaoyuan Formation, Biyang Sag, Nanxiang Basin

熟—中低成熟阶段,仍保持着最大古埋深时的成熟度;深凹区和陡坡带内双河、赵凹、安棚、下二门及梨树凹地区样品埋深大于 1 000 m, R_o 介于 0.3% ~ 1.4% 之间,从未成熟阶段到高成熟阶段样品均有分布。拟合的趋势线表明泌阳凹陷生烃门限约为 1 820 m,部分样品 R_o 值偏小,偏离正常趋势线,这可能与有机母质偏腐泥型有关。

3 热演化模拟

有机质丰度及类型表明核二段、核三上段、下段烃源岩都是很好的生油岩,因此研究烃源岩的成熟史可以很好地分析该凹陷各层段烃源岩的生烃条件^[20]。

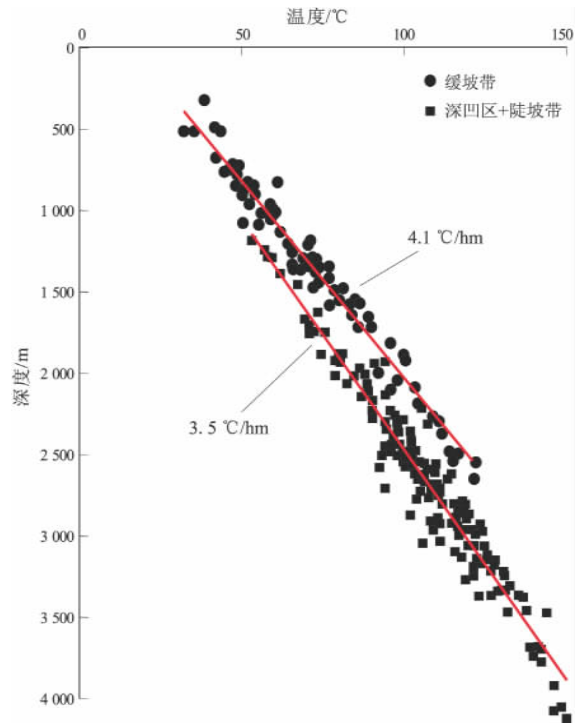


图 6 南襄盆地泌阳凹陷实测地温随深度变化趋势

Fig.6 Measured temperature vs. burial depth in Biyang Sag, Nanxiang Basin

3.1 现今地温场特征

前人研究表明,泌阳凹陷西北部与东南部的地温具有一定差异^[21]。对泌阳凹陷 292 个测温数据进行分析,从温度与深度拟合的关系曲线(图 6)可以看出,北部缓坡带的地温梯度约为 4.1 °C/hm,而中央深凹区及南部陡坡带的地温梯度略低一点,约为 3.5 °C/hm,总体上泌阳凹陷的地温梯度较高。

3.2 成熟史恢复

镜质体反射率是反映烃源岩成熟度较可靠的指标,也是目前使用最广泛的指标^[22-23],可以用它来校正模拟结果。基于现今地温,运用 BasinMod 模拟软件中的 EASY% R_o 模型对泌 255 井地层的成熟史进行模拟(图 7),从图 7 左可以看出,选用的模型和参数具有可行性。

泌 255 井位于凹陷陡坡带,埋藏较深,钻井地层较全。为了对主力烃源岩进行精细的成熟史模拟,本次将核三段地层划分为核三段 1-2(Eh_3^{1-2})、核三段 3(Eh_3^3)、核三段 4(Eh_3^4)、核三段 5(Eh_3^5)、核三段 6-8(Eh_3^{6-8})共 5 部分(图 7 右)。泌 255 井埋藏史表明,核三段地层在约 42 Ma 时开始沉积充填并且快速沉降,此时盆地处于主断陷期;核二段地层开始沉积时,凹陷的沉降速率明显变低,此时盆地处于断陷末期;古近纪末发生抬升,地层遭受剥蚀,剥蚀厚度约为 230 m,约在 10 Ma 时再次接受沉积,

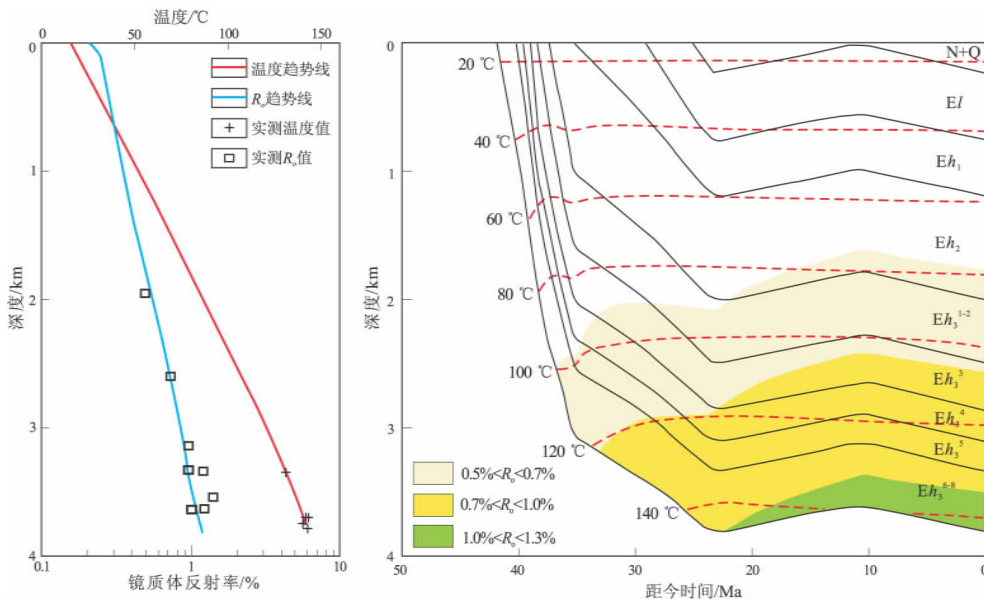


图 7 南襄盆地泌阳凹陷泌 255 井成熟史模拟

Fig. 7 Maturity history modeling of well B255 in Biyang Sag, Nanxiang Basin

此时盆地处于稳定的坳陷期, 沉降缓慢。成熟史表明核三下段地层约在始新世末期 (37 Ma) 进入生烃门限 (低成熟阶段), 此时对应的门限深度约为 2 500 m, 门限温度约为 100 °C, 在渐新世早期 (33 Ma) 进入成熟阶段, 中新世早期 (21.5 Ma) 时达到生烃高峰, 现今 R_o 处于 0.9% ~ 1.3% 之间; 核三上段地层约在 35 Ma 达到低成熟阶段, 对应的门限深度和温度分别是 2 400 m 和 95 °C, 在 26 Ma 进入成熟阶段, 现今 R_o 处于 0.5% ~ 0.9% 之间; 核二段地层在 21 Ma 时开始进入生烃门限, 对应的门限深度和温度分别是 1 950 m 和 90 °C, 现今只有下部少量烃源岩达到成熟, 现今门限深度约 1 820 m, 门限温度约为 79 °C, 这与实测镜质体反射率与深度变化趋势线所对应的门限深度是吻合的。

4 烃源岩现今成熟度特征

泌阳凹陷各构造单元间埋深差异很大, 同一地区不同层位成熟度差异大, 不同地区同一层位成熟度也存在很大差别, 因此, 很有必要了解全区内不同层位烃源岩现今成熟度情况。

由于缺乏足够的实测 R_o 值, 因此选择 AA'、BB' 剖面模拟其现今成熟度。从图 8 可以看出, 东南部地区 (陡坡带和部分深凹区) 核三段地层均已进入生烃门限, R_o 值介于 0.5% ~ 1.3% 之间。核三下段主体处于成熟阶段, 下部烃源岩已达到生烃高峰, 深度为 3 300 m, 部分地区已进入凝析油或湿气生成阶段 (高成熟阶段), 埋深超过 3 600 m; 核三上段处于低成熟—成熟阶段, 已能大量生油, 对

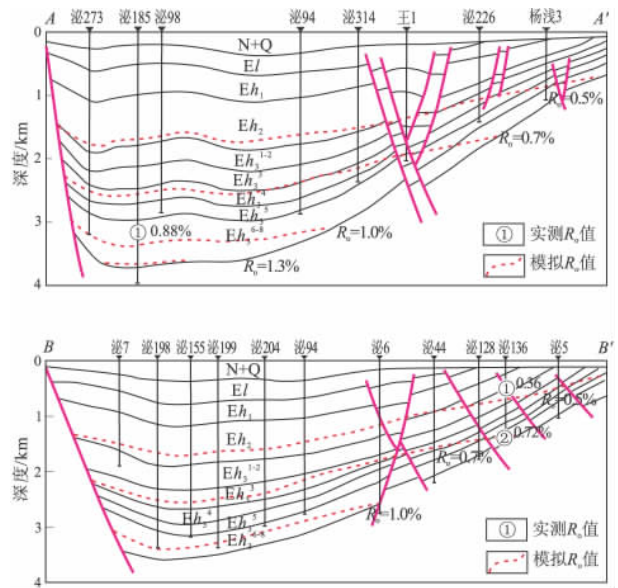


图 8 南襄盆地泌阳凹陷现今成熟度模拟

剖面位置见图 1。

Fig. 8 Present maturity modeling of Biyang Sag, Nanxiang Basin

应的深度为 1 900 ~ 2 600 m; 核二段的下部已进入生烃门限, 处于低成熟阶段。从剖面上可以看出, 西北部地区 (缓坡带) 核二段地层大量遭受剥蚀, 还未沉降到最大古埋深, 至今还未进入生烃门限; 核三上段地层处于未成熟到低成熟阶段; 核三下段地层主体已进入生烃门限。

从核三段烃源岩的 R_o 平面分布特征来看 (图 9) 核三上段顶部烃源岩只在深凹区达到低成熟阶段。对于核三上段底部烃源岩, 凹陷深凹处 R_o 已全部达到 0.5%, 地层埋藏较深的地区 (如安棚地

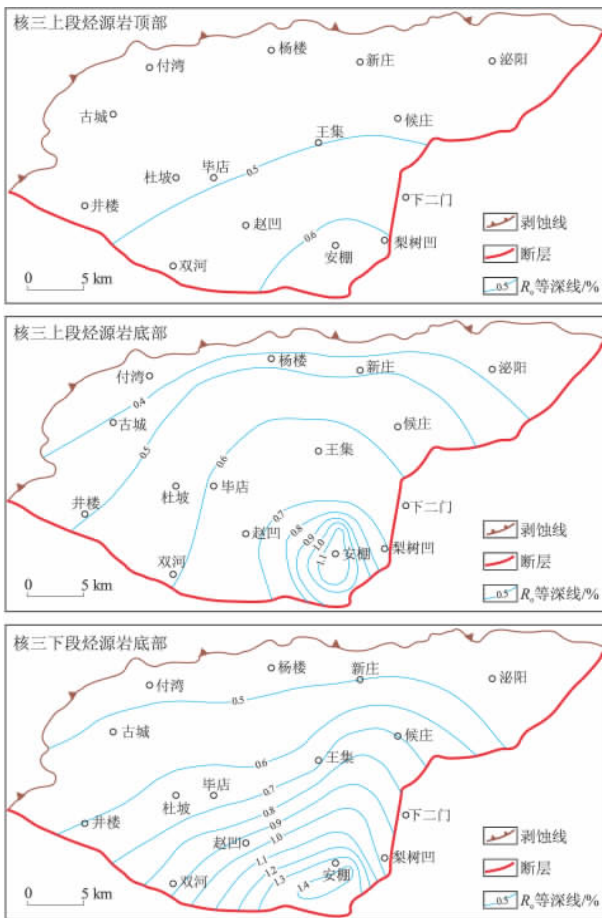


图9 南襄盆地泌阳凹陷核三段烃源岩 R_0 等值线

Fig. 9 R_0 isolines of source rocks in 3rd member of Hetaoyuan Formation, Biyang Sag, Nanxiang Basin

区) R_0 已达到 1.0%, 处于生烃高峰期, 缓坡带在杨楼、新庄及古城地区 R_0 尚未达到 0.5%, 而杜坡、毕店地区刚好处于低成熟阶段, 这可能是由于古近纪末期强烈的抬升, 至今未到达最大埋深, 使得烃源岩仍保持抬升前的成熟度。对于核三下段底部, 凹陷内烃源岩 R_0 几乎全部超过 0.5%, 深凹区主体已达到 1.0%, 处于生油高峰期, 部分地区已超过 1.3%, 进入凝析油气生成阶段, 缓坡带也已进入生烃门限。

由此可见, 核二段烃源岩只在深凹区的部分地区刚刚达到低成熟阶段; 核三上段成熟烃源岩的范围已经扩展到缓坡带地区; 核三下段成熟烃源岩的面积可以达到凹陷总面积的 80%。

5 结论

1) 泌阳凹陷核三下段、上段和核二段烃源岩有机碳平均含量分别为 1.60%、2.23%、1.85%, 3 个层位有机质类型均以 II 型为主, 有机质沉积时期为半咸水—咸水盐湖环境, 有机质来源以混合为主, 偏向

于陆源生物。现今生烃门限深度约为 1 820 m。

2) 根据对实测镜质体反射率与烃源岩的热演化成熟史模拟结果的对比分析, 泌阳凹陷尤其是深凹区的样品实测镜质体反射率值偏低, 说明用实测值评价在一定程度上低估了主生排烃区的烃源岩成熟度。古近纪末的构造抬升造成古近系地层遭受较大规模的剥蚀, 凹陷缓坡带地层剥蚀厚度达 800 ~ 1 500 m, 新近纪的再次沉积的地层厚度明显小于剥蚀厚度, 所以核三段烃源岩在新近纪的再次埋藏对其热成熟演化基本没有影响; 深凹区地层剥蚀厚度为 200 ~ 700 m, 新近纪再次沉积的地层厚度相当于或略大于剥蚀厚度, 所以对核三段烃源岩的热演化影响也不大。

3) 泌阳凹陷陡坡带核三下段烃源岩在约 37 Ma 开始生烃, 对应的门限深度和温度分别是 2 500 m 和 100 °C; 核三上段烃源岩在约 35 Ma 进入生烃期, 对应的门限深度和温度分别是 2 400 m 和 95 °C; 核二段烃源岩约在 23 Ma 达到生烃门限, 对应的门限深度和温度分别是 1 950 m 和 90 °C。

4) 垂向上, 陡坡带和深凹区核三段烃源岩已全部成熟, 尤其核三下段已达到生油高峰期, 甚至进入凝析油气生成阶段, 核二段处于未成熟至低成熟演化阶段; 在西北部缓坡带核三段主体处于低成熟阶段, 核二段未成熟。平面上, 核二段烃源岩只在深凹区的部分地区刚刚达到低成熟阶段; 核三上段成熟烃源岩的范围已经扩展到缓坡带地区; 核三下段成熟烃源岩的面积可以达到凹陷总面积的 80%。

参考文献:

- [1] 秦伟军, 林社卿, 程哲, 等. 南襄盆地泌阳凹陷油气成藏作用及成藏模式[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(5): 668-673.
- [2] 秦伟军, 周庆凡. 影响泌阳凹陷资源评价结果主要因素分析[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2007, 11(S1): 16-20.
- [3] 郭毅, 白海琴, 王峰, 等. 泌阳凹陷北部斜坡不整合与油气成藏[J]. 特种油气藏, 2006, 13(6): 20-28.
- [4] 余功铭, 王德发, 张绍华, 等. 南襄盆地泌阳凹陷油气成藏体系及资源潜力[J]. 断块油气田, 2007, 14(1): 27-29.
- [5] 谈彩萍, 陈拥锋, 江兴歌, 等. 成烃成藏定量研究及在泌阳凹陷的应用[J]. 石油实验地质, 2011, 33(5): 468-473.
- [6] 杨道庆, 陆建林. 泌阳凹陷新生代构造演化及其形成机制[J]. 石油天然气学报, 2005, 27(4): 416-419.
- [7] Sweeney J J, Burnham A K. Evaluation of a simple model of vitrinite reflectance based on chemical kinetics [J]. AAPG Bulletin, 1990, 74: 1559-1570.
- [8] 石广仁. 油气盆地模拟数值模拟方法[M]. 3 版. 北京: 石油工业出版社, 2004: 1-9.
- [9] He Sheng, Middleton M. Heat flow and thermal maturity modelling

- in the Northern Carnarvon Basin of the North West Shelf, Australia [J]. *Marine and Petroleum Geology* 2002, 19: 1073 – 1088.
- [10] 史忠生,何生,杨道庆. 南阳凹陷东庄次凹核桃园组烃源岩热演化模拟研究[J]. *地质科技情报* 2005, 24(2): 85 – 89.
- [11] 苏玉平,付晓飞,吴大成,等. EASY% Ro 法在滨北地区热演化史中的应用[J]. *大庆石油学院学报* 2006, 30(2): 5 – 8.
- [12] 段威,侯宇光,何生,等. 澳大利亚波拿巴盆地侏罗系烃源岩热史及成熟史模拟[J]. *地质科技情报* 2011, 30(3): 65 – 71.
- [13] 刘文超,叶加仁,雷闯,等. 琼东南盆地乐东凹陷烃源岩热史及成熟史模拟[J]. *地质科技情报* 2011, 30(6): 110 – 115.
- [14] Guo Xiaowen, He Sheng, Liu Keyu, et al. Modelling of the petroleum generation and migration of the third member of Shahejie (E₃) Formation in Banqiao Depression of Bohai Bay Basin, Eastern China [J]. *Journal of Asian Earth Sciences* 2011, 40: 287 – 302.
- [15] 王定一,车自成,张数田,等. 南襄盆地构造发育特征及形成机制[J]. *石油与天然气地质* 1987, 8(4): 22 – 25.
- [16] 邱荣华,付代国,万力. 泌阳凹陷南部陡坡带油气勘探实例分析[J]. *石油与天然气地质* 2007, 28(5): 605 – 609.
- [17] 杨晓培. 河南复杂断块油藏滚动勘探实践及认识[J]. *断块油气田* 2011, 18(2): 217 – 219.
- [18] 何生,叶加仁,徐思煌,等. *石油与天然气地质学* [M]. 武汉: 中国地质大学出版社 2010: 182 – 196.
- [19] 王铁冠,钟宁宁,候读杰,等. 低熟油气形成机理与分布规律 [M]. 北京: 石油工业出版社 1995.
- [20] 全志刚,赵志刚,杨树春,等. 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 [J]. *石油实验地质*, 2012, 34(3): 319 – 329.
- [21] 符勇,张友安,王万新. 泌阳凹陷地温场控制因素与地温异常形成机制 [J]. *河南理工大学学报: 自然科学版* 2008, 27(2): 177 – 182.
- [22] Allen P A, Allen J R. *Basin analysis principles and applications* [M]. Oxford: Blackwell Scientific Publications 1990: 282 – 301.
- [23] Tissot B P, Welte D H. *Petroleum formation and occurrence* [M]. Berlin: Springer – Verlag, 1984: 601 – 604.

(编辑 黄娟)

(上接第 178 页)

- [11] 刘洛夫,朱毅秀,胡爱梅,等. 滨里海盆地盐下层系的油气地质特征[J]. *西南石油学院学报: 自然科学版* 2002, 24(3): 11 – 15.
- [12] 刘洛夫,郭永强,朱毅秀. 滨里海盆地盐下层系的碳酸盐岩储集层与油气特征[J]. *西安石油大学学报: 自然科学版*, 2007, 22(1): 53 – 61.
- [13] Ботнева Т А, Калинин М К. Геолого – геохимическое обоснование нефтегазописковых работ в Прикаспийской впадине [J]. *Советская Геология* 1990(7): 15 – 23.
- [14] Багринцева К И. Оценка удельной поверхности карбонатных пород – коллекторов порового типа месторождений Прикаспийской впадины [J]. *Геология Нефти и Газа* 1996(6): 24 – 33.
- [15] 王瑞,朱筱敏,陈焯菲,等. 滨里海盆地肯基亚克地区中、下石炭统碳酸盐岩储层特征与成岩作用[J]. *石油与天然气地质* 2012, 33(2): 225 – 235.
- [16] Билхасимов Б А. Закономерности пространственного размещения природных резервуаров Прикаспийской впадины [J]. *Геология Нефти и Газа* 2007(6): 11 – 17.
- [17] Абилхасимов Х Б. Сравнительная характеристика палеозойских карбонатных платформ Прикаспийской впадины [J]. *геология нефти и газа* 2008(3): 6 – 20.
- [18] Нурсултанова Н С. Карбонатные резервуары юга Прикаспийской впадины, геологическое строение и нефтегазоносность [J]. *Геология Нефти и Газа* 2010(2): 43 – 48.
- [19] Воцалевский Э С. Эволюция позднепалеозойских карбонатных платформ юга Прикаспийской впадины [M] // Воцалевский Э С, Пилифосов В М, Шлыгин Д А, и др. *Геодинамика и минерагения Казахстана*. 2Ч. Алматы: РИО ВАК РК 2000.
- [20] Абилхасимов Х Б. Типизация разрезов подсолевого комплекса восточного борта прикаспийской впадины [J]. *Геология Нефти и Газа* 2003(4): 32 – 38.
- [21] 杨孝群,汤良杰,朱勇. 滨里海盆地东缘盐构造特征及其与乌拉尔造山运动关系[J]. *高校地质学报* 2011, 17(2): 318 – 326.
- [22] 赵凤英,顾俊,郭念发. 滨里海盆地 Adaiski 区块盐下沉积环境与成藏组合分析[J]. *中国石油勘探* 2012(2): 50 – 57.
- [23] 刘洛夫,朱毅秀. 滨里海盆地及中亚地区油气地质特征 [M]. 北京: 中国石化出版社 2007.
- [24] 郑俊章,周海燕,黄先雄. 哈萨克斯坦地区石油地质基本特征及勘探潜力分析[J]. *中国石油勘探* 2009(2): 80 – 86.
- [25] 苗红生,王晓钦,何玲娟. 中亚地区上古生界油气形成与分布规律及其对准噶尔盆地油气勘探的启示 [J]. *中国石油勘探* 2012(2): 50 – 57.
- [26] 张建球,米中荣,周亚彤,等. 滨里海盆地东南部盐上层系油气运聚规律与成藏[J]. *中国石油勘探* 2010(5): 58 – 62 80.
- [27] 张家青. 哈萨克斯坦滨里海盆地东南部油气地质特征及勘探方向[J]. *海洋地质前沿* 2011, 27(7): 50 – 56.
- [28] 刘洛夫,朱毅秀,张占峰,等. 滨里海盆地盐上层的油气地质特征[J]. *新疆石油地质* 2002, 23(5): 442 – 447.

(编辑 徐文明)