

文章编号: 1001-6112(2008)06-0537-05

中国近海石油勘探的战略选区研究

——以产烃模拟实验及成因法石油资源潜力评价为据

朱伟林¹, 黄正吉², 仝志刚³, 王毓俊³

(1. 中国海洋石油总公司, 北京 100010; 2. 中国海洋石油实业信息技术开发分公司, 河北 高碑店 074010;
3. 中国海洋石油有限公司 北京研究中心, 北京 100027)

摘要: 采用加水的密闭产烃模拟实验技术, 对中国近海主要含油气盆地第三系湖相、煤系和海相 3 类代表性烃源岩的石油生成过程、产出能力、成油规律及其产油率作了研究, 在此基础上, 结合石油地质条件, 用成因法评价了各盆地的石油资源潜力, 预测了石油资源分布, 结果是: 石油资源最富集者为渤海海域, 其后依次为珠江口盆地、东海陆架盆地、北部湾盆地、琼东南盆地、莺歌海盆地。可见, 湖相烃源岩发育的渤海、珠江口盆地、东海陆架盆地和北部湾盆地应该是中国近海海域石油勘探的首选领域。

关键词: 石油生成; 热模拟实验; 成因法; 资源评价; 勘探选区; 中国近海

中图分类号: TE155

文献标识码: A

SELECTION OF PETROLEUM EXPLORATION AREA IN OFFSHORE CHINA —IN TERMS OF THE ANALYSIS OF THERMAL SIMULATION EXPERIMENTS AND GENETIC RESOURCES ASSESSMENT

Zhu Weilin¹, Huang Zhengji², Tong Zhigang³, Wang Yujun³

(1. *Company Limited, CNOOC, Beijing 100010, China*; 2. *Information Technology Company, CNOOC, Gaobeidian, Hebei 074010, China*; 3. *Beijing Research Center, CNOOC, Beijing 100027, China*)

Abstract: The authors attempt to provide some suggestions to offshore China exploration based on the analysis of hydrous pyrolysis and subsequent genetic resources assessment. Hydrous-pyrolysis experiments were conducted in closed-system condition on the Tertiary lacustrine, coal measure strata and marine source rocks from six petroliferous basins to acquire information relating to hydrocarbon generation stages, potentials, kinetics and yield ratios. In conjunction with petroleum geological setting, resources potentials of each basin were evaluated by genetic method on the basis of hydro-pyrolysis results. The evaluation results show that the Bohai Bay Basin is the richest in petroleum resources, followed by Pearl River Mouth Basin, East China Sea Basin, Beibuwan Basin, Qiongdongnan Basin and Yinggehai Basin. Bohai Bay Basin, Pearl River Mouth Basin, East China Sea Basin and Beibuwan Basin with well-developed lacustrine source rocks are the promising petroleum exploration areas.

Key words: hydrocarbon generation; hydro-pyrolysis experiment; resource assessment; exploration targets; offshore China

石油资源的有限性和其在经济发展中的重要作用, 越来越成为各国经济发展、环境改善、政治交往和石油开发安全供应等需要整体考虑的方略……, 在中国的石油战略中加大勘探国内油气资源力度, 以保障国内有一定的资源储备是重要内容之一^[1]。近些年来, 随着我国国民经济的持续快速发展, 石油消费快速增长, 与国民经济的增长速度相比, 我

国油气产量的增长滞后, 油气供需矛盾日益突出。国内主产油区含水量增高, 勘探难度加大, 后备资源不足。为了保障国民经济的持续高速发展, 必须加强油气勘探, 实现资源战略接替, 增强国内油气资源对国民经济可持续发展的保障能力。为此, 专家们提出了: 深化东部, 开拓西部, 加快海域的勘探战略^[2~5]。

收稿日期: 2008-03-13; 修订日期: 2008-10-10。

作者简介: 朱伟林(1956—), 男, 教授级高级工程师, 博士, 从事石油与天然气勘探研究与管理工。E-mail: zhuwl@cnooc.com.cn。

我国海域与陆地相比,油气勘探程度低,潜力巨大。本文从产烃模拟实验的角度研究了我国近海海域不同类型的沉积盆地各类代表性烃源岩的石油生成过程、产出能力、成油规律及其产油率,在此基础上,用成因法评价了海域主要含油气盆地的石油资源潜力,旨在为近海海域石油勘探的战略选区提供依据。

1 近海沉积盆地类型与烃源岩

中国近海海域发育了众多类型的沉积盆地,有陆内裂谷盆地、聚敛型陆缘盆地、离散型陆缘盆地和扭张型陆缘盆地^[6]。陆内裂谷盆地主要发育了湖相烃源岩,源岩层分别是:渤海湾盆地古近系沙河街组和东营组下段、北部湾盆地始新统流沙港组。离散型陆缘盆地和聚敛型陆缘盆地湖相、煤系和海相烃源岩均有发育;属聚敛型陆缘的东海陆架盆地发育的湖相烃源岩是下古新统月桂峰组,煤系烃源岩为始新统平湖组、渐新统花港组、上古新统明月峰组;离散型陆缘盆地发育的湖相烃源岩是珠江口盆地始新统文昌组,煤系烃源岩为琼东南盆地渐新统崖城组、珠江口盆地始新一渐新统恩平组。海相烃源岩主要发育在属扭张型陆缘的莺歌海盆地和属离散性质的琼东南盆地,地层主要为新近系。

2 石油生成的模拟实验

2.1 样品及实验

渤海湖相烃源岩样品分别采自古近系沙河街组和东营组下段,沙河街组三段含I型有机质泥岩样品采自辽西低凸起,沙河街组三段含II₁型有机质泥岩样品采自沙南凹陷,沙河街组一段含II₁型有机质泥岩样品采自辽西凹陷,东营组下段含II₁型有机质泥岩样品采自渤中凹陷。东海陆架盆地含II₁型有机质湖相泥岩样品采自椒江凹陷下古新统月桂峰组。珠江口盆地湖相烃源岩样品采自盆地东部的始新统文昌组和盆地西部的文昌组三段,均为含II₁型有机质泥岩。北部湾盆地含I型有机质湖相泥岩样品采自涠西南凹陷始新统流沙港组,含II₂型有机质湖相泥岩样品采自乌石凹陷流沙港组。

海域的煤系烃源岩以珠江口盆地始新一渐新统恩平组含II₂型有机质煤系泥岩为代表。

莺歌海盆地海相烃源岩样品采自中央坳陷新近系黄流组,为含II₂型有机质泥岩。琼东南盆地含II₁型有机质海相泥岩样品采自崖北凹陷古近系崖城组一段,含III型有机质海相泥岩样品采自崖西低凸起陵水组。各盆地各类烃源岩样品的基本

地化参数列于表1。

实验采用加水的密闭产烃模拟实验技术^[7,8],实验仪器由反应釜、温控装置和产物收集分离系统三部分组成,反应釜内容积250 mL,设计压力为19.6 MPa。实验分9个温度点进行,样品碎至2.5~10 mm,各温度点恒温24 h。根据实验样品及不同的温度点加水量有所不同,生烃高峰段及其以前加水量为岩样的25%~50%,之后为15%~20%,500℃点加水量为7.5%~10%。各温度点样品反应完成之后,分别收集、计量生成的气态烃和液态烃。液态烃由排出油和残留油两部分组成,排出油中凝析油由色谱法定量,残留油由残渣样品经用氯仿抽提后获得。由完成产烃模拟实验后的各温度点残渣样品制备干酪根,测定R_o值,以确定各温度点的演化程度。依据各温度点的液态烃生成量编制产油率曲线。

2.2 结果与讨论

2.2.1 湖相烃源岩

渤海海域沙河街组三段湖相烃源岩:始新世中晚期形成了以深水湖泊为主的沙河街组三段沉积,该时期气候温暖潮湿,半咸水藻,如渤海藻、副渤海藻十分发育,这些浮游植物构成了沙三段烃源岩有机质生源的主体。沙三段源岩有机质含量高,母质类型好,生烃潜量(S₁+S₂)高,属很好级别的生油岩(图1,2)。产烃模拟实验结果:沙河街组三段含I型有机质泥岩从R_o大于0.5%开始,随温度升高生油量持续增大,生油高峰出现在R_o为1.1%左右,最大产油率达354 mg/g,R_o大于1.6%之后生油量迅速减少,表现出产油率高,生油窗宽的特征。沙河街组三段含II₁型有机质泥岩液态烃大量生成在R_o为0.8%~1.3%之间,生油高峰出现在R_o为1.2%左右,最大产油率达281.95 mg/g。

渤海海域沙河街组一段湖相烃源岩:早渐新世晚期又发生湖侵,形成了有机质含量高,母质类型好,生烃潜量高,属很好级别的湖相生油岩(图1,2)。产烃模拟实验结果:沙河街组一段含II₁型有机质泥岩液态烃大量生成在R_o为0.7%~1.3%之间,生油高峰出现在R_o为1.1%左右,最大产油率达306.8 mg/g。

渤海海域东营组下段湖相烃源岩:中渐新世时期,盆地沉降速度增大,水体加深,较深水湖相沉积发育,形成了东营组下段的好生油岩(图1,2)。产烃模拟实验结果:东营组下段含II₁型有机质泥岩液态烃大量生成在R_o为0.8%~1.3%之间,生油高峰出现在R_o为1.2%左右,最大产油率达301.7 mg/g。

表 1 中国近海主要含油气盆地代表性烃源岩地球化学基本参数
Table 1 Basic geochemical parameters of typical source rocks in offshore China

| 盆地类型 | 盆地 | 构造单元 | 层位 | 样品 | 沉积相 | TOC, % | 生烃潜量/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) | 干酪根腐泥组分含量, % | $T_{\text{max}}/^\circ\text{C}$ | $R_o, \%$ | 母质类型 |
|---------|-----|-------|---------------------|-------|-------|--------|--|--------------|---------------------------------|-----------|-----------------|
| 陆内裂谷盆地 | 渤海 | 辽西低凸起 | 沙河街组三段(E_s^3) | 褐色泥岩 | 中深湖 | 3.14 | 18.52 | 85 | 425 | 0.30 | I |
| | | | | 褐色泥岩 | 中深湖 | 2.77 | 15.25 | | 433 | | II ₁ |
| | | 辽西凹陷 | 沙河街组一段(E_s^1) | 褐色泥岩 | 中深湖 | 2.27 | 8.89 | 79 | 429 | 0.39 | II ₁ |
| | | | | 深灰色泥岩 | 浅湖 | 1.36 | 5.33 | 86 | 435 | 0.38 | II ₁ |
| | 北部湾 | 涠西南凹陷 | 流沙港组二段($E_2 l^2$) | 褐色泥岩 | 中深湖 | 6.68 | 31.65 | 78 | 437 | 0.42 | I |
| | | | | 褐色泥岩 | 浅湖 | 0.98 | 1.52 | 70 | 444 | 0.52 | II ₂ |
| 聚敛型陆缘盆地 | 东海 | 椒江凹陷 | 月桂峰组($E_1 y$) | 深灰色泥岩 | 中深湖 | 2.34 | 4.99 | 60 | 439 | 0.42 | II ₁ |
| 离散型陆缘盆地 | 珠江口 | 文昌凹陷 | 文昌组三段($E_2 w^3$) | 褐色泥岩 | 浅一半深湖 | 2.58 | 7.93 | 78 | 436 | 0.38 | II ₁ |
| | | | | 深灰色泥岩 | 湖沼 | 2.23 | 3.39 | 50 | 443 | | II ₂ |
| | 琼东南 | 崖北凹陷 | 崖城组一段($E_2 y^1$) | 深灰色泥岩 | 滨海泥坪 | 0.76 | 1.20 | 65 | 433 | 0.42 | II ₁ |
| | | | | 深灰色泥岩 | 内浅海 | 0.60 | 0.26 | 50 | 446 | | III |
| 扭张型陆缘盆地 | 莺歌海 | 中央坳陷 | 黄流组($N_2 h$) | 灰色泥岩 | 半深海 | 0.52 | 0.77 | 65 | 438 | 0.60 | II ₂ |

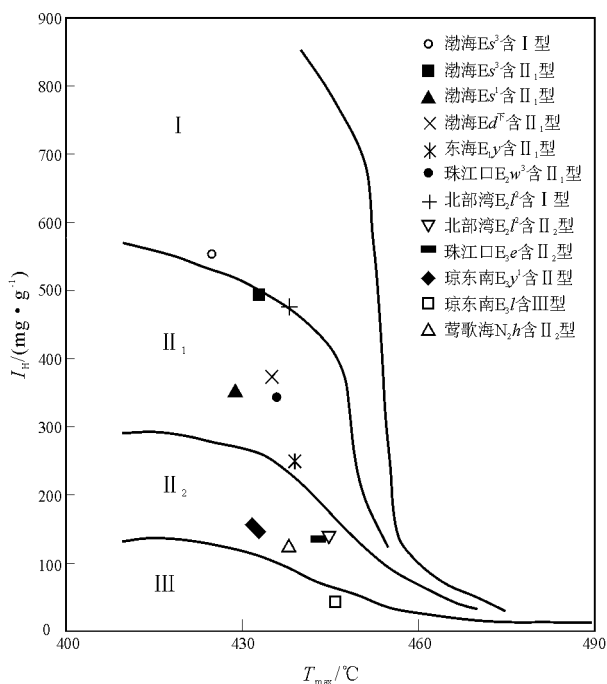


图 1 中国近海主要含油气盆地代表性烃源岩热解 $I_H - T_{\text{max}}$ 关系图

Fig. 1 The relationship of thermolysis $I_H - T_{\text{max}}$ for typical source rocks in offshore China

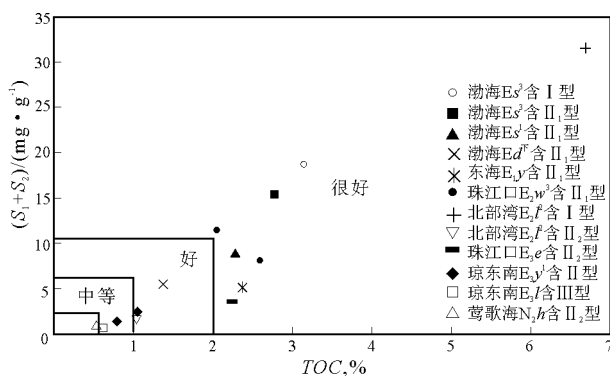


图 2 中国近海主要含油气盆地代表性烃源岩 $(S_1 + S_2) - \text{TOC}$ 关系图

Fig. 2 The relationship of thermolysis $(S_1 + S_2)$ and TOC for typical source rocks in offshore China

东海陆架盆地月桂峰组湖相烃源岩: 古新世是东海陆架盆地裂陷发育期, 形成东断西超的箕状断陷。早古新世断陷中为湖泊相沉积, 形成了下古新统月桂峰组湖相烃源岩。该源岩有机质富集, 多数样品的有机碳含量 (TOC) 大于 1.0%, 部分大于 2.0%, 烃含量高, 干酪根腐泥组分含量达 60%, 属

于好生油岩,部分为很好级别的生油岩(图 1,2)。产烃模拟实验结果表明有强的产油能力,生油高峰时的产油率达 129.3 mg/g,主成油带范围是 R_o 为 0.75%~1.3%,生油高峰出现在 R_o 为 1.1%左右。

北部湾盆地流沙港组湖相烃源岩:始新世时期北部湾盆地稳定下沉,湖泊发育,湖盆中藻类生物繁盛,形成了流沙港组湖相烃源岩。流沙港组源岩有机质丰富,母质类型好,生烃潜量高,干酪根腐泥组分含量达 70%~78%,属好—很好级别的生油岩(图 1,2)。产烃模拟实验结果:含 I 型有机质泥岩具有很高的产油能力,生油高峰时的产油率达 268.4 mg/g,生油高峰出现在 R_o 为 1.2%左右。含 II₂ 型有机质源岩产油能力较高,生油高峰时的产油率为 109.6 mg/g,生油高峰出现在 R_o 为 1.1%左右。

珠江口盆地文昌组湖相烃源岩:始新世亦是珠江口盆地古湖泊鼎盛发育期,湖水宽广,生物繁盛,有机质富集,形成了文昌组湖相烃源岩。该源岩有机质含量高,生烃潜量高,干酪根腐泥组分含量达 8%~80%,属好—很好级别的生油岩(图 1,2)。产烃模拟实验结果:文昌组湖相烃源岩具有强的产油能力,其中盆地东部文昌组含 II₁ 型有机质湖相泥岩的最大产油率达 179.6 mg/g,盆地西部文昌组三段含 II₁ 型有机质湖相泥岩的最大产油率为 168.1 mg/g,盆地西部文昌组二段烃源岩质量好于三段,产油能力应该更强。

2.2.2 煤系烃源岩

我国近海海域的煤系烃源岩主要分布在南部海域的渐新统和东海陆架盆地的始新统和渐新统地层,烃源层主要是琼东南盆地渐新统崖城组、珠江口盆地始新—渐新统恩平组和东海陆架盆地始新统平湖组、渐新统花港组。

由于煤系烃源岩的有机质组成、形成环境与湖相烃源岩不同,因此其产油能力、成油特征及产油率与湖相烃源岩大不一样。本文以珠江口盆地恩平组煤系烃源岩为代表,探索海域煤系烃源岩的石油生成问题。

始新世晚期—渐新世,珠江口盆地发育进入裂陷衰退期,该时期盆地沉降速率减缓,物源供给充分,大面积的平原河流相、湖沼和沼泽相沉积产生,形成了广泛分布的恩平组煤系烃源岩。恩平组煤系泥岩有机碳含量多数大于 2.0%,部分为 10%~30%,生烃潜量多在 6~20 mg/g 之间,部分大于 20 mg/g,母质类型多为 II₂ 型—III 型。用含煤地层生油岩有机质丰度评价标准^[9] 衡量,该源岩属好—很好

级别的生油岩,应该具有好的油气勘探前景。

产烃模拟实验结果:恩平组 II₂ 型煤系泥岩有较强产油能力,生油高峰时的产油率达 135 mg/g,生油主带靠前,生油窗比较窄,生油高峰出现在 R_o 为 0.8%左右。

2.2.3 海相烃源岩

海相烃源岩主要发育在属扭张型陆缘的莺歌海盆地和属离散性质的琼东南盆地,地层主要为新近系。

新近纪以来,莺歌海盆地快速深陷沉降,接受了上千米新近系海相沉积,所形成的海相烃源岩多数层段有机质丰度偏低,干酪根腐泥组分含量高者达 65%,低者不足 6%,有机质的生源构成既有水生生物,又有陆源有机质输入,以陆源有机质为主,母质类型为 II₂—III 型,以 III 型者居多。产烃模拟实验结果:莺歌海盆地海相烃源岩产油能力不强,新近系黄流组含 II₂ 型有机质半深海相泥岩可溶烃含量较高,不溶有机质热解产油量不高,最大产油率仅有 65.9 mg/g。

琼东南盆地的海相沉积始于始新世末至渐新世,该期在海岸平原相带形成了沼泽煤系烃源岩,在坳陷深处形成了渐新统海相烃源岩。之后,盆地进入裂后坳陷发育阶段,接受了新近系的海相沉积。

渐新统海相烃源岩有机质含量不高,部分样品的干酪根腐泥组分含量达 50%~65%,以陆源有机质为主。新近系三亚组二段至陵水组上部源岩多数样品 TOC 在 0.6%~1.0%之间,少数样品大于 1.0%,部分样品生烃潜量大于 2.0 mg/g,多数样品热解氢指数大于 150 mg/g,属较好级别的生油岩。产烃模拟实验结果:陵水组内浅海相含 III 型有机质泥岩产油能力低,生油高峰时的产油率仅为 69.7 mg/g,生油高峰在 R_o 为 1.2%左右;崖城组一段含 II₁ 型有机质海相泥岩产油量较高,生油高峰时的产油率为 130.1 mg/g,生油高峰在 R_o 为 1.1%~1.2%之间。三亚组二段含 II₂ 型有机质海相泥岩应该有较强的产油能力,需要深入研究。

3 石油资源潜力评价

在上述石油生成模拟实验研究的基础上,结合盆地的石油地质条件,用盆地模拟法测算了近海主要含油气盆地的石油生成量和聚集量,评价了盆地的石油资源潜力。

在盆地模拟石油生成和聚集过程中主要包含了如下几项内容:用回剥法恢复盆地的沉积埋藏史;用正演法和 EasyRo 法结合实测 R_o 值模拟恢

复盆地的热史和有机质成熟历史;用产油率图版法计算各地质历史时期的生油量;结合石油生成和排聚研究估算出聚集体。

评价结果:在近海主要含油气盆地中,石油资源最富集者为渤海海域,其后依次为珠江口盆地、东海陆架盆地、北部湾盆地、琼东南盆地、莺歌海盆地。

4 石油勘探战略选区问题讨论

在中国陆相石油地质理论中,“源控论”^[10,11]应该是其重要组成部分。由于用“源控论”指导我国陆相沉积盆地的油气勘探已经取得了富有成效的结果^[12,13],因此,选择石油资源富集的盆地作为我国海域石油勘探战略选区之首选应该是顺理成章的事。勘探实践证明,在含油气盆地中,大油气田往往分布在盆地中的富油气凹陷及其周围^[6,10,14]。因此,在石油资源富集的盆地中优选富油气凹陷,查明油气富集的有利场所对勘探成功与否至关重要。

正确的勘探战略、决策是我国油气勘探持续发展的关键^[15],合理的战略选区则是勘探成功的前提。

从本评价结果来看,湖相烃源岩发育的渤海、珠江口盆地、东海陆架盆地和北部湾盆地应该是中国近海石油勘探的首选领域。诚然,这些盆地的油气勘探,经过不懈努力,已取得了丰硕成果,地质认识不断深化,油气产量连年攀升^[16~21]。只要我们坚定信心,努力拼搏,在上述领域将会发现更多的石油资源。

此外,台西盆地、南黄海、台西南和北黄海盆地是具有远景的含油气沉积盆地^[22~25],需要加深研究,进一步明确油气资源潜力,加大勘探力度,发掘其油气资源。

中国近海蕴藏着丰富的油气资源,随着勘探程度的不断提高,一批批大中型油气田相继被发现,展示了中国海域油气勘探的美好前景。可以预见,在不远的未来,中国海洋石油勘探的进展将会成为新世纪中国石油工业璀璨夺目的新亮点,实现海陆油气资源战略接替亦将指日可待。

参考文献:

1 胡见义. “9·11”后世界石油和中国的应对措施[J]. 石油科技论坛,2002,(6):22~25

- 2 黄第藩. 二十一世纪初我国油气地球化学面临的任务和展望[J]. 沉积学报,2001,19(1):1~6
- 3 潘继平,金之钧. 中国油气资源潜力及勘探战略[J]. 石油学报,2004,25(2):1~6
- 4 张抗. 中国石油资源基础的战略观[J]. 海洋石油,2004,24(4):1~6
- 5 邱中建,方辉. 中国油气资源可持续发展的分析[J]. 中国石油勘探,2005,10(5):1~4
- 6 龚再升. 中国近海大油气田[M]. 北京:石油工业出版社,1997
- 7 赵政璋,李永铁,叶和飞等. 青藏高原海相烃源层的油气生成[M]. 北京:科学出版社,2000.101~173
- 8 王东良,刘宝泉,国建英等. 塔里木盆地煤系烃源岩生排烃模拟实验[J]. 石油与天然气地质,2001,22(1):38~41
- 9 黄第藩,熊传武. 含煤地层中石油的生成、运移和生油潜力评价[J]. 勘探家,1996,1(2):6~11
- 10 胡朝元. 生油区控制油气田分布:中国东部陆相盆地进行区域勘探的有效理论(源控论)[J]. 石油学报,1982,3(2):8~13
- 11 胡朝元. “源控论”适用范围量化分析[J]. 天然气工业,2005,25(10):1~7
- 12 戴金星. 加强天然气地质研究,勘探更多大气田[J]. 天然气地球科学,2003,14(1):1~14
- 13 赵文智,张光亚,王红军等. 中国叠合含油气盆地石油地质基本特征与研究方法[J]. 石油勘探与开发,2003,30(2):1~8
- 14 吴聿元,周荔青. 松辽盆地主要断陷大中型油气田形成分布特征[J]. 石油实验地质,2007,29(3):231~237
- 15 王庭斌. 正确的勘探战略、决策是我国油气勘探持续发展的关键[J]. 石油与天然气地质,2007,28(5):557~563
- 16 龚再升,王国纯. 中国近海油气资源新认识[J]. 中国海上油气(地质),1997,11(1):1~12
- 17 龚再升. 对中国近海油气勘探观念变化的回顾[J]. 中国海上油气(地质),2002,16(2):73~80
- 18 朱伟林. 中国近海找油的勘探战略[J]. 中国海上油气(地质),1997,11(6):407~414
- 19 朱伟林,王国纯. 渤海浅层油气成藏条件分析[J]. 中国海上油气(地质),2000,14(6):367~374
- 20 邓运华. 渤海实现稳产1000万吨石油资源分析及勘探战略方向[J]. 中国海上油气(地质),1997,11(6):415~419
- 21 黄正吉. 珠江口盆地陆相烃源岩与油气生成[J]. 中国海上油气(地质),1998,12(4):255~261
- 22 黄正吉,李友川. 渤海湾盆地渤中坳陷东营组烃源岩的烃源前景[J]. 中国海上油气(地质),2002,16(2):118~124
- 23 易海,钟广见,马金凤. 台西南盆地新生代断裂特征与盆地演化[J]. 石油实验地质,2007,29(6):560~564
- 24 朱平. 南黄海盆地北部凹陷含油气系统分析[J]. 石油实验地质,2007,29(6):549~553
- 25 金仁植,费琪,杨香华等. 北黄海盆地含油气系统与勘探前景[J]. 石油实验地质,2006,28(5):445~449