

文章编号: 0253-9985(2009)04-0393-05

渤海海域优质烃源岩及其分布预测

庞雄奇^{1,2}, 郭永华³, 姜福杰^{1,2,4}, 尹相东^{1,2}, 马行陟^{1,2}, 郭恩珍^{1,2}[1 中国石油大学 盆地与油藏研究中心, 北京 102249 2 中国石油大学 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249
3 中海石油(中国)有限公司 天津分公司 勘探开发研究院, 天津 300452 4 新疆大学 地质与勘查工程学院, 新疆 830046]

摘要: 采用地质统计和地化分析相结合的手段, 初步建立了评价和预测优质烃源岩的方法体系, 对渤海海域古近系优质烃源岩的发育分布进行了预测。结果表明, 纵向上沙河街组优质烃源岩厚度大、品质好, 占暗色泥岩比例较大, 东营组尽管暗色泥岩厚度较大, 其中能达到优质的部分却很少。平面上, 渤中凹陷优质烃源岩厚度最大, 分布面积最广, 其次是辽东湾地区以及歧口凹陷和黄河口凹陷。沙河街组四段+孔店组烃源岩主要发育辽东湾地区、莱州湾凹陷和歧口凹陷。总体而言, 沙河街组为渤海海域的主力烃源岩, 且以沙河街组三段最为重要。

关键词: 优质烃源岩; 排烃门限; 古近系; 渤海海域

中图分类号: TE122.1 文献标识码: A

High-quality source rocks and their distribution prediction
in the Bohai Sea watersPang Xiongqi^{1,2}, Guo Yonghua³, Jiang Fuyue^{1,2,4}, Yin Xiangdong^{1,2}, Ma Xingzhi^{1,2}, Guo Enzhen^{1,2}

(1 Research Center for Basin and Reservoir, China University of Petroleum, Beijing 102249 China)

2 State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249 China

3 Exploration and Development Research Institute, CNOOC Tianjin Company, Tianjin 300452 China

4 Faculty of Geology and Exploration Engineering, Xinjiang University, Urumqi Xinjiang 830046 China)

Abstract Although dark mudstones are well developed in the Paleogene of the Bohai Sea waters, the major source rocks are still poorly understood, constraining the planning of exploration strategy. To tackle the problem, researchers redefined the high-quality source rocks and preliminarily developed a systematic method for its evaluation and prediction. The method was applied to the prediction of source rocks in the Paleogene in the Bohai Sea waters. The following understandings were obtained. Vertically, the source rocks in the Shahejie Formation are large in thickness, high in quality and relatively large in proportion to the dark mudstones. In contrast, although the dark mudstones in the Dongying Formation are large in thickness, high-quality source rocks are rare. Laterally, source rocks in the Bozhong depression are the largest in both thickness and distribution, followed by Liaodong Bay, Qikou and Huanghekou depressions. Source rocks of Es⁴-Ek are mainly developed in Liaodong Bay area, Laizhou Bay and Qikou depressions. In general, the major source rocks in the study area are considered to come from the Shahejie Formation, of which the Es³ is the most important.

Key words high-quality source rock; expulsion threshold; Paleogene; Bohai Sea waters

渤海海域主要发育古近系沙河街组(沙一段、沙二段、沙三段和沙四段+孔店组)和东营组(东二段、东三段)烃源岩。但由于缺乏深入的认识,

烃源岩的有效性及其平面展布、作用程度等问题一直没有解决, 制约着勘探方向的选择和资源潜力的认识。基于存在的问题, 本文对渤海海域优质

收稿日期: 2009-06-03。

第一作者简介: 庞雄奇(1961—), 男, 教授, 油气藏形成与分布、盆地定量分析与油气资源评价。

基金项目: 油气资源与探测国家重点实验室项目(PRDPX2008-05); 中海石油(中国)有限公司项目(SC06TJ-TQL-004)。

烃源岩的分布特征进行了初步评价和预测。

1 优质烃源岩的概念

20 世纪 70 年代 Tissot 等人提出生油岩^[1]的概念,指已生油的、可以成为生油的、或已具备了生油能力的岩石。随后,学者们提出了有效烃源岩(有效生油岩)的概念^[2-3],强调烃源岩不仅能够生烃,而且还要能够排烃,并对油气成藏有贡献^[4-7]。并进一步认识到那些厚度不大,异常富有机质的烃源岩对油气聚集成藏有很大的贡献^[8-14],提出了优质烃源岩的概念^[15-17],认为有机质丰度高,类型好,对油气成藏有较大贡献的烃源岩是优质烃源岩^[18-21]。

前人对于优质烃源岩的评价,主要集中在有机质丰度、类型和对油气成藏的贡献 3 个方面^[22-24]。但这些标准多因盆地自身地质条件的差异,而多以地质统计的结果定性的反应某一盆地烃源岩的优劣,未能形成系统化、量化的评价思路 and 标准。另外,也有学者根据有机质丰度进行判别^[23-25],但由于生烃过程是多种地质因素共同作用的结果,导致仅用这一指标判别优质烃源岩存在偏差。如有机质丰度低、类型差的烃源岩在热演化程度高的情况下也会排出油气^[26-27]。

鉴于此,本文将优质烃源岩定义为:能够生排烃且相对排烃量大于自身相对厚度的烃源岩层段。相对排烃量是指该烃源岩层段排烃量占有烃源岩层总排烃量的百分比;相对厚度是指该烃源岩层段厚度占有烃源岩层总厚度的百分比。为了便于比较,可将优质烃源岩分为两类:Ⅰ类优质烃源岩(该层段相对排烃量大于或等于自身相对厚度的 2 倍的烃源岩层段)和Ⅱ类优质烃源岩(该层段相对排烃量大于自身相对厚度但小于相对厚度 2 倍的烃源岩层段)。

2 优质烃源岩判别标准

2.1 地质特征

优质烃源岩为细粒的泥岩、页岩等,从外观上看呈黑色、黑灰色、灰色和浅灰色以及灰绿色等,一般发育于弱还原-还原的水体比较平静的半深湖相、深湖相沉积环境。

2.2 地化特征

只有烃源岩的生烃量大到足以满足烃源岩自身吸附、孔隙水溶、油溶和毛细管封堵等多种残留条件时,油气才能从烃源岩中排出^[26-27],因此生排烃特征突出的优质烃源岩层位的 TOC 值与目的层其他烃源岩层位相比必然比较高。

优质烃源岩具有相对生排烃量大的特征,有机质类型一般来讲比较好。根据渤海优质烃源岩研究成果,优质有机质类型大多为Ⅰ型、Ⅱ₁型和Ⅱ₂型,少数为Ⅱ型。

2.3 生排烃贡献

烃源岩层段的生排烃相对贡献量比相对厚度是优质烃源岩层段判别的主要依据。优质烃源岩的判别公式是:

$$\frac{\text{源岩相对贡献量}}{\text{源岩相对厚度}} = \frac{Q_{ei} Q_e}{H_i / \sum H_i} \\ = \frac{q_e H_i \text{TOC}_i}{q_e \sum H_i \text{TOC}_i} / \left| H_i / \sum H_i \right| \quad (1)$$

式中: Q_e 为总排烃量, 10^8 t ; Q_{ei} 为第 i 层烃源岩的排烃量, 10^8 t ; H_i 为第 i 层烃源岩的厚度, m ; q_e 为单位面积烃源岩的排烃强度, 10^4 t/km^2 ; TOC_i 为第 i 层烃源岩的 TOC 值,该值小于 0.5 时为差烃源岩,该值为 0.5~1.0 时为一般烃源岩,该值为 1.0~2.0 时为Ⅱ类烃源岩,该值为大于 2.0 时为Ⅰ类烃源岩。

根据优质烃源岩的判别公式,建立了优质判别图版,横坐标为烃源岩相对厚度,纵坐标为烃源岩相对贡献量,将判别公式计算的结果投在判别图版上,即可判别出烃源岩的品质(图 1)。

2.4 油气源对比

根据油气源对比结果可以进一步判定优质烃源岩可能发育的大套层位,如果资料足够精细,可以直接识别出生排烃特征突出、对油气成藏贡献大的优质烃源岩层段。

3 优质烃源岩层位分布

3.1 各层位预测结果与资源潜力评价

依据优质烃源岩判别标准,统计分析了资料较全的 16 口探井所建立的烃源岩评价图版(图 2)

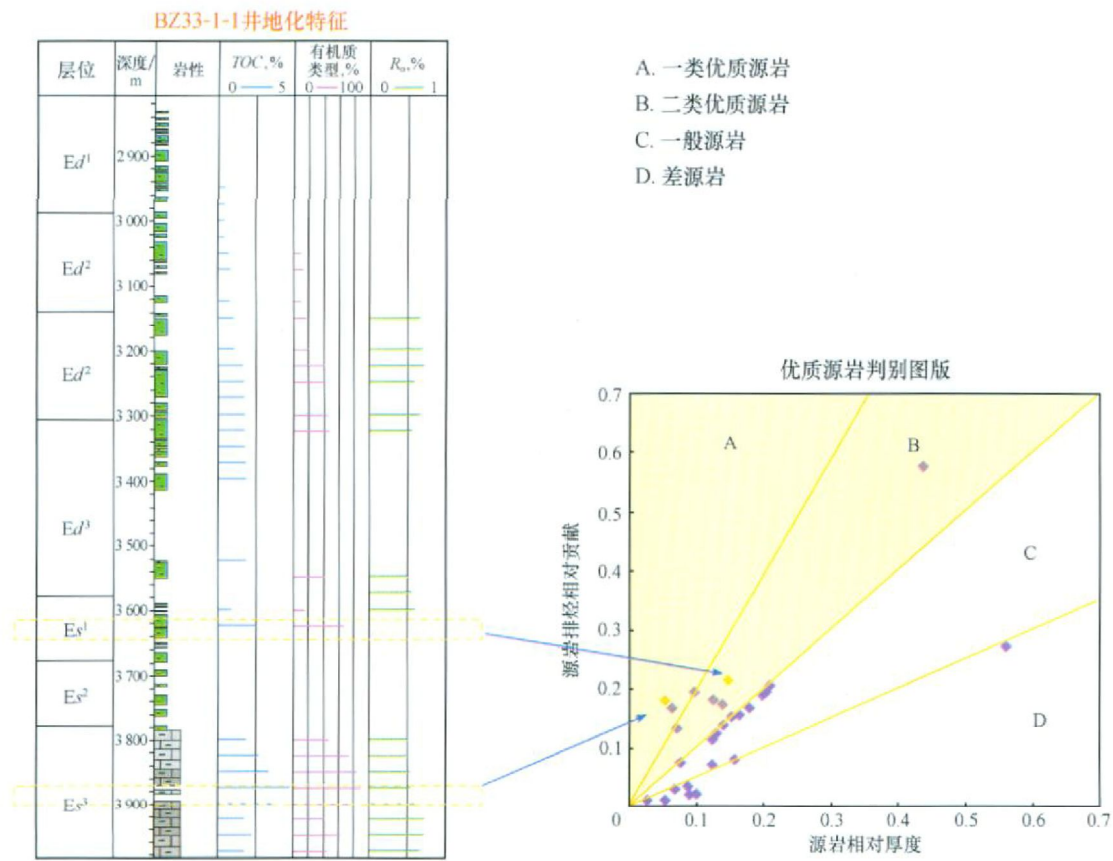


图 1 优质烃源岩判别过程

Fig. 1 Process of discriminating high-quality source rocks

表明: 东二段烃源岩绝大多数为一般烃源岩, 少数为优质烃源岩; 东三段烃源岩品质要好于东二段, 多为优质烃源岩; 沙一段、沙二段优质烃源岩的比例明显高于东营组, 多为优质烃源岩; 沙三段优质烃源岩比率最高, 品质最好。通过对渤海海域 539 口探井、2 348 个热解分析数据、2 109 个镜质体反射率数据的综合分析, 对渤海海域 5 个目的层 (东

二段、东三段、沙一段、沙二段、沙三段、沙四段 + 孔店) 优质烃源岩分布进行了预测 (图 3 图 4)。

从渤海全区来看, 沙河街组优质烃源岩分布范围比东营组广, 厚度也比较大。渤中凹陷是优质烃源岩发育面积最大的凹陷, 其次是辽东湾地区, 再次是歧口凹陷和黄河口凹陷。其中, 东二段优质烃源岩在渤中凹陷最为发育, 凹陷西南部优质烃源岩厚度 250 m 以上; 歧口凹陷和黄河口凹陷, 最大厚度为 90 m。东三段优质烃源岩发育特征与东二段相似, 但厚度略大。沙一段、沙二段优质烃源岩在渤中凹陷最发育, 其次是辽中凹陷、歧口凹陷和黄河口凹陷。沙三段优质烃源岩最大厚度超过 400 m, 辽中凹陷、歧口凹陷、辽西凹陷和黄河口凹陷也比较发育。沙四段 + 孔店组优质烃源岩厚度在 100~ 300 m 之间, 局部厚度超过 350 m, 受沉积环境影响较大^[28]。

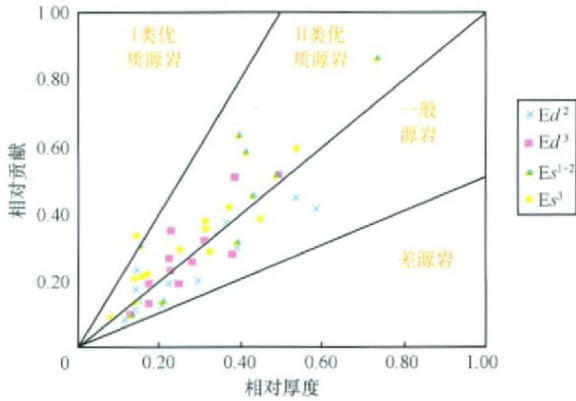


图 2 渤海 Ed^2 , Ed^3 , Es^{1+2} 和 Es^3 烃源岩品质评价

Fig. 2 Quality evaluation of source rocks from the Ed^2 , Ed^3 , Es^{1+2} and Es^3 of the Shehejie Formation in the Bohai Sea waters

3.2 各凹陷预测结果与资源潜力评价

各个凹陷对比结果 (图 5), 渤中凹陷优质烃源岩生排烃特征最突出, 东营组和沙河街组优质

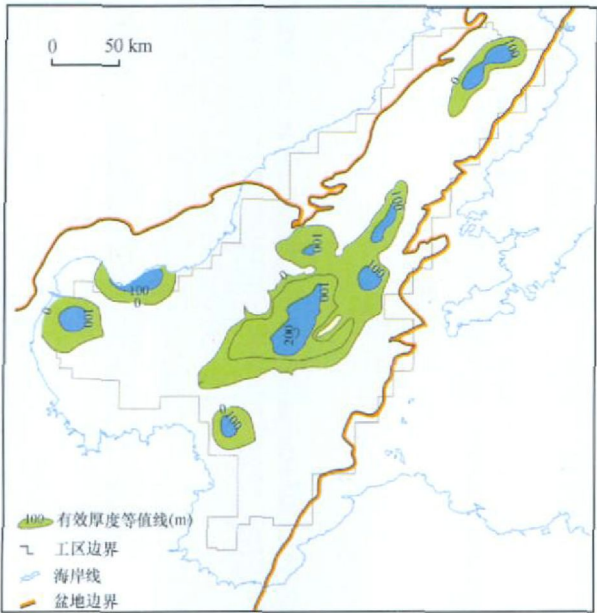


图3 渤海海域东营组三段优质烃源岩平面分布
Fig.3 Areal distribution of high-quality source rocks in the Dongying Formation of the Bohai Sea waters



图4 渤海海域沙河街组三段优质烃源岩平面分布
Fig.4 Areal distribution of high-quality source rocks in the Shahejie Formation of the Bohai Sea waters

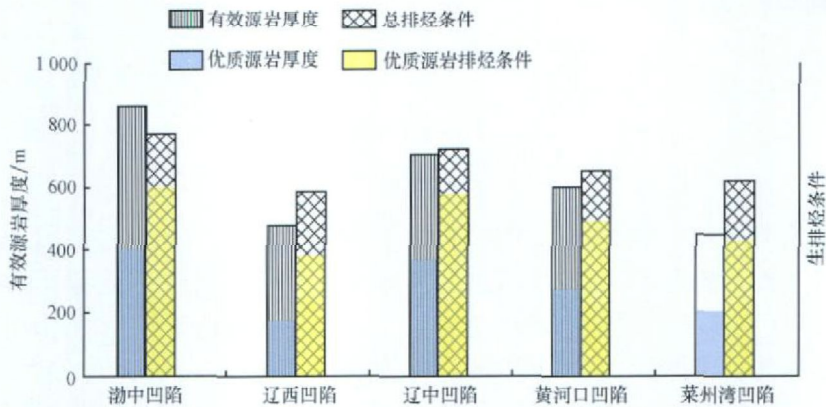


图5 渤海海域主要凹陷有效烃源岩与优质烃源岩比较

Fig.5 Comparison between effective source rocks and high-quality source rocks in the major depressions of the Bohai Sea waters
烃源岩累计评价厚度也最大,分布面积也最广;辽中凹陷的生排烃条件和平均厚度仅次于渤中凹陷;黄河口凹陷,辽西凹陷和莱州湾凹陷的优质烃源岩平均厚度和生排烃条件相当。

表 1 为渤海海域主要凹陷优质烃源岩的特

征。整体上看,5个主力凹陷的 TOC 值较高,均值在 1.4% 以上; R_o 均值大于 0.6%; 这反映 5 个主力凹陷的生排烃潜力大,具有良好的资源潜力前景,实际勘探也表明渤海海域大多数的大中型油气藏分布在这 5 个凹陷内或者周缘的凸起上。

表 1 渤海海域主要凹陷优质烃源岩特征

Table 1 Statistics of characteristics of high-quality source rocks from the major depressions of the Bohai Sea waters

凹陷	层段	平均厚度 /m	TOC^* , %	有机质类型	R_o^* , %	沉积环境	沉积体系	沉积相带
渤中凹陷	Ed^3, Es^{1+2}, Es^3	88.6	1.52/(0.50~4.00)	II /I ~ III	0.80/(0.50~2.50)	还原环境	高位体系域	滨浅湖, 深湖相
黄河口凹陷	Es^{1+2}, Es^3	43.2	1.46/(0.34~4.75)	II /I ~ III	0.70/(0.50~0.83)	还原环境	高位体系域	深湖相, 浅湖相
辽西凹陷	Es^3, Es^4	40.1	1.51/(0.65~3.44)	II /I ~ III	0.65/(0.30~0.72)	还原环境	水进体系域	深湖相
辽中凹陷	Ed, Es^{1+2}, Es^3	53.2	1.43/(0.88~2.63)	II /I ~ III	0.75/(0.40~1.20)	还原环境	水进体系域	滨浅湖, 深湖相
莱州湾凹陷	Es^{1+2}, Es^3, Es^4	51.6	1.63/(0.80~2.40)	II /I ~ III	0.65/(0.47~0.74)	还原环境	水进体系域	滨浅湖, 深湖相

* 数据为均值 /范围。

各个凹陷相比而言, 渤中凹陷的优质烃源岩的厚度最大, 平均厚度为 88.6 m, TOC 均值为 1.52%, R_o 值也达到了 0.8% 以上, 资源潜力最大, 在渤中凹陷及其周缘凸起发现大量的油气藏, 呈环状分布。辽中凹陷的优质烃源岩厚度仅次于渤中凹陷, 为 53.2 m, 但 TOC 均值比其他 4 个凹陷都小, 为 1.43%, R_o 值在 0.75% 以上; 莱州湾凹陷优质烃源岩的厚度均值为 51.6 m, 主要为沙河街组, TOC 均值为 1.63%; R_o 都基本大于 0.65%; 黄河口凹陷优质烃源岩平均厚度为 43.2 m, 也主要发育于沙河街组, TOC 均值为 1.46%, R_o 值在 0.7% 以上; 辽西凹陷优质烃源岩主要发育于沙三段和沙四段, 平均厚度为 40 m, TOC 均值为 1.51%, R_o 值在 0.65% 以上。

6 结论

1) 据优质烃源岩评价标准, 渤海海域沙河街组优质烃源岩虽然分布范围比东营组小, 但其厚度大, 品质好, 对油气藏的贡献更大。

2) 渤中凹陷是渤海海域优质烃源岩最为发育的一个凹陷, 平均厚度大于 100 m, 其次是辽东湾地区, 莱州湾凹陷优质烃源岩面积和厚度均最小, 但其沙河街组优质烃源岩较发育。

3) 沙四段 + 孔店组优质烃源岩主要发育在辽东湾地区、歧口凹陷和莱州湾凹陷。

参 考 文 献

- 1 Tissot B P, Welte D. Petroleum formation and occurrence a new approach to oil and gas exploration[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1978
- 2 Mamer J A. Oil migration limitations suggested by geological and geochemical considerations[J]. AAPG Bulletin, 1978, 62(3): 545
- 3 Jones R W. Some mass balance and geological restraints on migration mechanism s[J]. AAPG Bulletin, 1978, 62(3): 528
- 4 Hunt J M. Petroleum geochemistry and geology[M]. San Francisco, USA: Freeman and Company, 1979. 524
- 5 盛志伟. 关于有效生油岩问题[J]. 石油实验地质, 1989, 11(1): 7~15
- 6 金强. 有效烃源岩的重要性及其研究[J]. 油气地质与采收率, 2001, 8(1): 1~4
- 7 饶丹, 章平澜, 邱蕴玉. 有效烃源岩下限指标初探[J]. 石油实验地质, 2003, 25(增刊): 578~581
- 8 张林晔, 孔祥星, 张春荣, 等. 济阳坳陷下第三系优质烃源岩的发育及其意义[J]. 地球化学, 2003, 32(1): 35~41
- 9 梁狄刚, 张水昌, 张宝民, 等. 从塔里木盆地看中国海相生油问题[J]. 地学前缘, 2000, 7(4): 534~547
- 10 金之钧. 中国典型叠合盆地与油气成藏研究新进展——以塔里木盆地为例[J]. 中国科学(D辑), 2004, 34(1): 1~12
- 11 张宝民, 张水昌, 尹磊明, 等. 塔里木盆地晚奥陶世良里塔格型生烃母质生物[J]. 微体古生物学报, 2005, 22(3): 243~250
- 12 陈践发, 张水昌, 等. 海相碳酸盐岩优质烃源岩发育的主要影响因素[J]. 地质学报, 2006, 80(3): 467~472
- 13 腾格尔, 刘文汇, 徐永昌, 等. 高演化海相碳酸盐烃源岩地球化学综合判识——以鄂尔多斯盆地为例[J]. 中国科学(D辑), 2006, 36(2): 167~176
- 14 腾格尔, 胡凯, 高长林, 等. 上扬子东南缘下组合优质烃源岩的发育及生烃潜力评价[J]. 石油实验地质, 2006, 28(4): 359~365
- 15 陈践发, 孙省利, 刘文汇, 等. 塔里木盆地寒武统底部富有机质层段地球化学特征及成因探讨[J]. 中国科学(D辑), 2004, 34(增刊 I): 107~113
- 16 张林晔, 孔祥星, 张春荣, 等. 济阳坳陷下第三系优质烃源岩的发育及其意义[J]. 地球化学, 2003, 32(1): 35~42
- 17 孙省利, 陈践发, 刘文汇. 海底热水活动与海相富有机质层形成的关系——以华北下马岭组为例[J]. 地质评论, 2003, 49(6): 588~595
- 18 朱光有, 金强. 东营凹陷两套优质烃源岩地质地球化学特征研究[J]. 沉积学报, 2003, 21(3): 506~512
- 19 郑红菊, 董月霞, 朱光有, 等. 南堡凹陷优质烃源岩的发现[J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(4): 385~391
- 20 张文正, 杨华, 李善鹏. 鄂尔多斯盆地长 91 湖相优质烃源岩成藏意义[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(5): 557~562
- 21 张文正, 杨华, 傅锁堂, 等. 鄂尔多斯盆地长 91 湖相优质烃源岩的发育机制探讨[J]. 中国科学(D辑), 2007, 37(增刊 I): 33~38
- 22 金强, 朱光有, 王娟. 咸化湖盆优质烃源岩的形成与分布[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2008, 32(4): 19~23
- 23 Stein R, Rullkötter J, Welte D H. Accumulation of organic carbon-rich sediments in the Late Jurassic and Cretaceous Atlantic Ocean—A synthesis[J]. Chem Geol, 1986, 56: 1~32
- 24 侯读杰, 张善文, 肖建新, 等. 济阳坳陷优质烃源岩特征与隐蔽油气藏的关系分析[J]. 地学前缘, 2008, 15(2): 137~146
- 25 李剑, 蒋助生, 罗霞, 等. 高成熟碳酸盐气源岩定量评价标准的探讨[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(4): 354~356
- 26 姜福杰, 庞雄奇, 姜振学, 等. 东营凹陷沙四上亚段烃源岩排烃特征及潜力评价[J]. 地质科技情报, 2007, 26(2): 69~74
- 27 庞雄奇, 李丕龙, 金之钧, 等. 油气成藏门限研究及其在济阳坳陷中的应用[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 204~209
- 28 侯贵廷, 钱祥麟, 蔡东升. 渤海中、新生代盆地构造活动与沉积作用的时空关系[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(3): 201~206

(编辑 高 岩)