

文章编号: 1001- 6112(2010)03- 0233- 05

渤海湾盆地东营凹陷异常压力 分布和演化特征及与油气成藏关系

刘士林^{1,2,3}, 郑和荣¹, 林 舸³, 王 毅¹, 云金表¹, 高山林¹, 许 雷⁴

(1. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 中国地质大学 能源学院, 北京 100083;
3. 中国科学院 广州地球化学研究所, 广州 510640; 4. 中国京冶工程技术有限公司, 北京 100088)

摘要: 运用数值模拟方法对渤海湾盆地济阳拗陷东营凹陷新生界地层异常压力的分布和演化特征进行研究。结果表明, 古近系沙河街组三段和四段地层中广泛发育异常压力, 且以超压为主。自沙河街组沉积以来, 超压系统开始发育; 东营组沉积末期, 超压系统逐渐增大。渐新世末喜山运动 II 幕时期, 地层抬升剥蚀, 发育负压系统; 中新统馆陶组沉积时期, 超压系统再次迅速增大; 直至明化镇组一第四系沉积时期达到最大范围和最高值。现今凹陷 2 200 m 以上地层基本为常压, 2 200 m 以下开始出现明显压力异常。沙河街组高沉积速率导致的欠压实, 引发了该时期超压系统的形成, 而粘土矿物脱水和烃类大量生成造成了晚期超压系统的发育。结合油气成藏期次研究表明, 东营组末期、馆陶组末期及明化镇组一第四系沉积时期, 超压系统与凹陷的 3 期成藏期次具有很好的匹配关系, 暗示生烃作用是超压的重要成因, 超压又是油气运移的良好动力。

关键词: 异常压力; 剩余压力场演化; 油气成藏; 东营凹陷; 渤海湾盆地

中图分类号: TE 122.3

文献标识码: A

DISTRIBUTION AND EVOLUTION CHARACTERISTICS OF ABNORMAL PRESSURE AND ITS RELATIONSHIP WITH HYDROCARBON ACCUMULATION IN THE DONGYING SAG OF BOHAI BAY BASIN

Liu Shilin^{1,2,3}, Zheng Herong¹, Lin Ge³, Wang Yi¹, Yun Jinbiao¹, Gao Shanlin¹, Xu Lei⁴

(1. SINOPEC Exploration and Production Research Institute, Beijing 100083, China;

2. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

3. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong 510640, China;

4. China Jingye Engineering and Technology Co. Ltd., Beijing 100088, China)

Abstract: Numerical simulation method is applied to analyze distribution and evolution characteristics of abnormal pressure system in the Cenozoic Dongying Sag of the Jiyang Depression, the Bohai Bay Basin. The results show that there are extensive abnormal pressure systems in the 3rd and 4th members of Paleocene Shahejie Formation in the Dongying Sag, and they are mainly overpressure ones. Overpressure system has begun to develop since the Shahejie Formation deposits, and increases gradually until the terminal of Dongying episode. In the late Oligocene strata, uplifting and denudation which result from the 2nd episode of Himalaya Movement change the overpressure system into minus-pressure system. After this, fluid pressure of overpressure system increases once more along with the sedimentary period of Guantao Formation in Miocene, and achieves maximal area and maximum in the period of Minghuazhen Formation and Quaternary. At present the normal pressure system locates at the formation above 2 200 m in depth, and the overpressure system is formed at the formation below 2 200 m. High sedimentary rate of the Shahejie Formation makes the development of overpressure system during the early stage, whereas both clay mineral dehydration and hydrocarbon generation result in dramatically rising of fluid pressure of overpressure system since the Late Oligocene. Combined with research conclusion of hydrocarbon accumulation stages, overpressure systems which develop in the terminal of Dongying period, the terminal of Guantao period, and the Minghuazhen- Quaternary period have good relationship with the 3 hydrocarbon accumulation stages of the Dongying Sag. It suggests that hydrocarbon

收稿日期: 2009- 09- 11; 修订日期: 2010- 04- 07。

作者简介: 刘士林(1982-), 男, 博士, 主要从事构造地质与石油地质研究。E-mail: liushilin@pepris.com。

基金项目: 国家自然科学基金项目(40773004)资助。

generation is an important reason for overpressure development; meanwhile, overpressure is a favorable power for hydrocarbon migration.

Key words: abnormal pressure; evolution of overpressure field; hydrocarbon accumulation; Dongying Sag; Bohai Bay Basin

渤海湾盆地异常压力广泛发育,纵向上自上而下大致可分为静水压力带和超压带 2 个水动力系统,并且普遍认为异常压力主要是由欠压实、烃类生成及粘土矿物脱水等作用所致^[1-11]。总体上学者们对于异常压力的发育特征和成因机制研究较多,但却较少关注其形成时代和演化历史。研究表明异常高压的形成时间与油气运聚成藏的时间紧密相连^[12-13],并且油气都是由高势区向低势区迁移和聚集^[14-17]。运用盆地模拟技术,以地质时间为序列,综合地质地球物理、岩石力学和渗流力学等多种因素,对盆地异常压力场及流体势场演化进行模拟,可以从动态、定量的角度研究盆地异常压力的发育特征和演化历史^[18]。

济阳坳陷东营凹陷作为渤海湾盆地的一个三级负向构造单元,油气资源丰富。凹陷内广泛存在欠压实现象,尤其是在主力烃源岩层系中普遍发育超压^[1,19],这些发育程度不同的超压体系控制了油气的成藏^[2-3]。因此,深刻认识东营凹陷异常压力的形成和演化特征,既有理论意义,也有现实的勘探实践价值。本文旨在运用盆地模拟技术探讨东营凹陷异常压力的发育特征及演化历史,并分析其与盆地油气成藏的时空匹配关系。

1 地质背景

东营凹陷位于济阳坳陷南部,西以青城凸起、滨县凸起为界,北以陈家庄凸起为界与沾化凹陷为邻,南与鲁西隆起、广饶凸起相邻,东与青东凹陷沟通(图 1a)。剖面上具有北断南超的开阔型箕状凹陷特征(图 1b)。该凹陷是在前古生界基岩古地形背景上、经构造运动发育起来的断陷—坳陷盆地,中生代是凹陷的雏形发育期,新生代是主要成盆期;自中生代以来先后经历了印支、燕山和喜山 3 期构造运动^[20]。新生代东营凹陷先后沉积充填了古近系孔店组(Ek)、沙河街组(Es)、东营组(Ed)和新近系馆陶组(Ng)、明化镇组(Nm)以及第四系地层。古近纪是断陷的发育期,主要发育(扇)三角洲、滨浅湖、半深—深湖相沉积;新近纪是坳陷阶段,主要发育冲积扇—辫状河、曲流河沉积环境。沙河街组沙四上亚段和沙三中下亚段的厚层暗色泥岩及油页岩是东营凹陷的 2 套主力烃源岩^[21-22]。

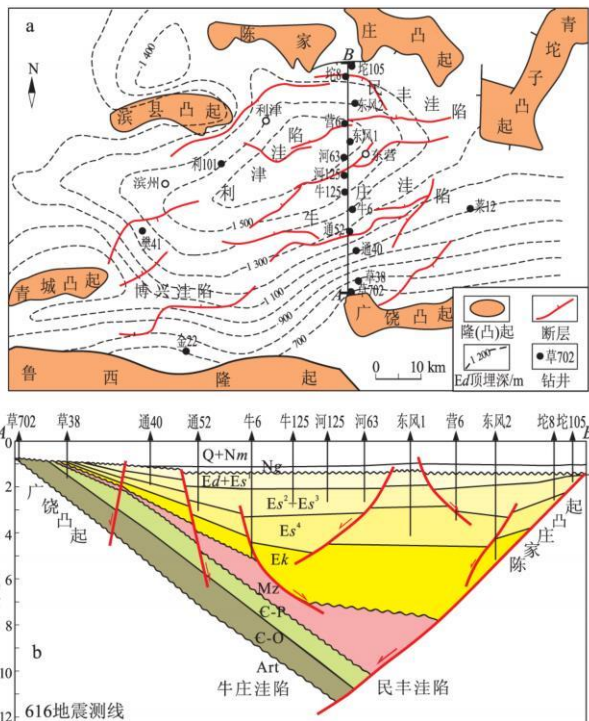


图 1 渤海湾盆地东营凹陷构造简图(a)及典型剖面特征(b)
Fig. 1 Simplified structure map (a) and typical section features (b) of Dongying Sag, Bohai Bay Basin

2 技术方法及参数选取

本次对东营凹陷异常压力场和流体势场的模拟采用 Basin2.0 盆模软件,其理论基础主要包括介质连续性定理、流体流动方程和热传导方程等。该软件可以模拟盆地演化中岩石孔隙度、渗透率、古地温、古压力、流体势和热成熟度的变化过程等很多方面^[23]。模拟中选取的参数如下:

地质参数: 1) 地层年代。采用的济阳坳陷各组地层底界年龄分别为第四系(Q) 2.0 Ma, 明化镇组(Nm) 5.1 Ma, 馆陶组(Ng) 24.6 Ma, 东营组(Ed) 32.6 Ma, 沙一段(Es¹) 36 Ma, 沙二段(Es²) 38 Ma, 沙三段(Es³) 43 Ma, 沙四段(Es⁴) 50.5 Ma, 孔店组(Ek) 65 Ma^[24]; 2) 地层厚度、岩性及源岩百分比。依据钻井和地震资料统计获得; 3) 古水深、古地表温度和古热流。东营凹陷新生代发育河流、三角洲和湖泊等多种环境,最大水深不过百米^[25],故模拟中古水深取值一般为 0~50 m,古地表温度为 14 °C,古热流资料参照研究区的地质热

导率数据^[26]和古地温梯度资料^[27]换算获得; 4) 地质事件。模拟中对印支、燕山和喜山运动在研究区造成的地层剥蚀均以地层厚度变化体现, 喜山运动 II 幕和印支—燕山运动时期地层的剥蚀量分别采用刘士林^[28]和肖焕钦^[29]研究资料。

岩石物理参数: 包括岩石密度、孔隙度和渗透率, 采用 Xie 等^[30]资料。

流体力学参数: 包括流体密度、粘度等, 因缺少资料, 采用默认值。

3 异常压力形成分布与演化特征

本次模拟选取的剖面是过东营凹陷主体生油洼陷和油气田的 616 地震测线, 具有很好的代表性 (图 1b)。

3.1 异常压力形成和演化特征

异常压力的发育过程具有阶段性和增强性 (图 2, 3): 1) 经历了印支—燕山运动之后, 凹陷前新生代地层接受了孔店组地层的沉积埋藏增温作用, 在牛庄洼陷深处的石炭—二叠系 (C—P) 地层中出现小规模超压区, 最大值达 2.0 MPa; 2) 沙河街组沉积时期, 对应于盆地断陷的主要发育阶段, 断裂伸展活动强烈, 物源充沛, 沉积充填巨厚, 尤其是沙三—沙四段沉积时期充填了厚层暗色泥(页)岩, 模拟表明异常压力高值区主要分布在 $E_s^{4(上)}$ 和 E_s^3

地层中, 其值普遍较低, 一般为 0.2~1.2 MPa, 但到沙一段沉积末期超压值逐步增大, 最高值大于 2.0 MPa; 3) 东营组沉积时期超压范围明显增大, 并且核心部位主要分布在沙四段地层中, 超压值高达 6.0 MPa; 4) 渐新世末的喜山运动 II 幕造成地层抬升剥蚀, 剩余压力得到释放和减弱, 导致凹陷古近系地层异常压力变为负压系统, 值达 -1.2 MPa。同时石炭—二叠系地层中也存在一个明显的负压系统, 值达 -1.4 MPa; 5) 喜山运动 II 幕之后, 渤海湾盆地进入整体热沉降阶段, 接受馆陶组沉积, 沙河街组烃源岩再次进入埋藏增温阶段, 但该时期沙河街组地层的超压范围较小, 值也低, 在 0.2~1.6 MPa 之间; 6) 明化镇组—第四系沉积时期, 凹陷沙三—沙四段地层中超压现象明显, 达到历史时期最大规模和最高值 (12 MPa), 异常压力区起始深度在 2 200 m 左右 (图 3), 该深度之上为正常压力系统, 之下发育超压系统。该深度大致对应于凹陷沙三中亚段的上部, 形态变化大致与东营三角洲前积层的底界面起伏变化相吻合^[4], 这与钻孔实测压力资料以及前人研究成果相一致^[5]。

古超压区在剖面上的分布规模随时间发生明显变化, 但其核部未发生重要迁移, 主体一直位于凹陷中心部位的沙河街组三段和四段地层中。只是随着沉积充填埋深的增加, 核部略有从沙四段向

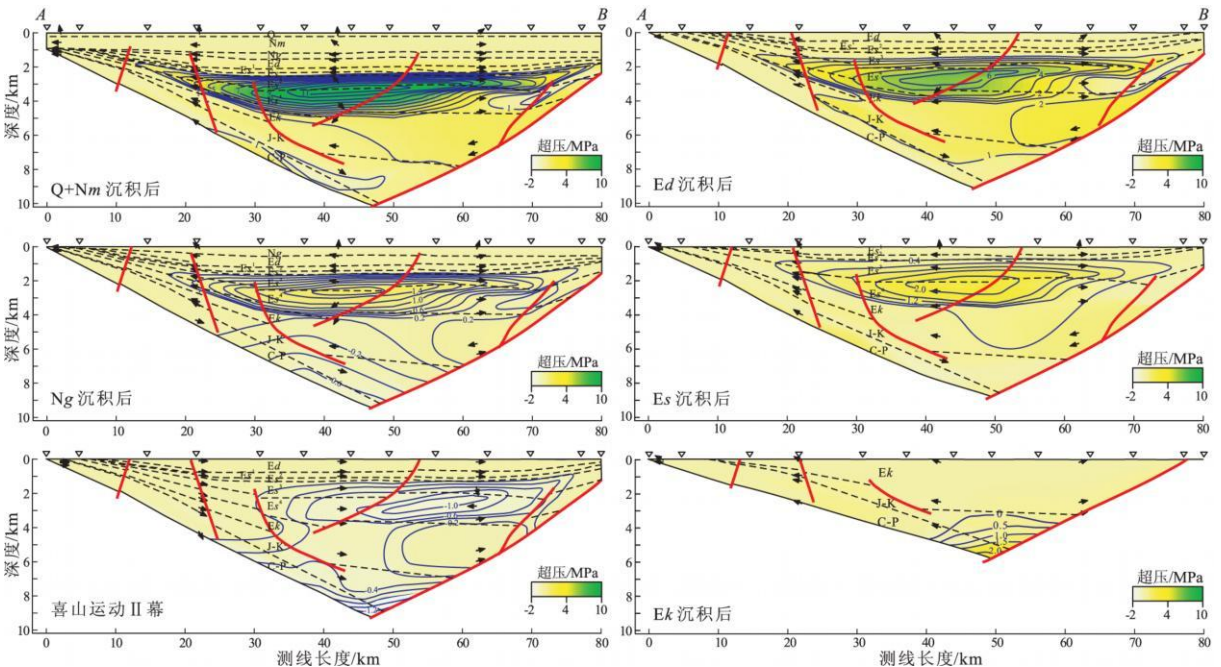


图 2 渤海湾盆地济阳拗陷东营凹陷 616 地震测线异常压力场和流体势场演化

图中井位自左向右依次为: 草 702、草 38、通 40、通 52、牛 6、牛 125、河 125、河 63、东风 1、营 6、东风 2、坨 8、坨 105、剖面位置见图 1。

Fig. 2 Abnormal pressure and fluid flow direction evolutions of seismic section 616 in Dongying Sag, Jiyang Depression, Bohai Bay Basin

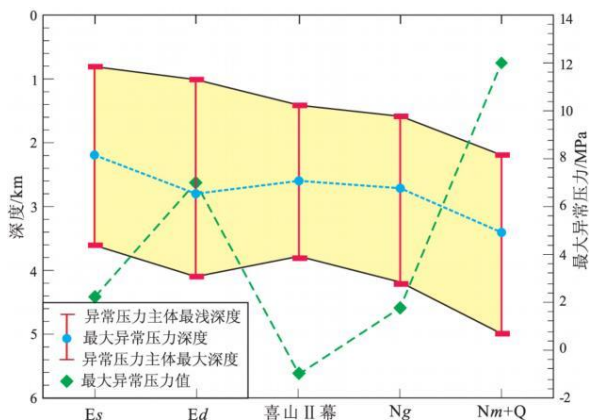


图 3 渤海湾盆地东营凹陷
新生代异常压力最大值和主体埋深演化

Fig. 3 Cenozoic evolution of maximum
abnormal pressure and main burial depths
in Dongying Sag, Bohai Bay Basin

上迁移到沙三段地层中的趋势, 并且古超压区主体埋深范围总体上随时间逐步加深(图 3)。

流体势的指向比较单一, 都是从压力高值区指向低值区, 流动方向除喜山运动 II 幕时期外均为由凹陷中心向两侧流动, 并在断层附近有沿断层流动的趋势。

3.2 超压成因浅析

模拟结果中沙河街组沉积时期的超压很可能是由不平衡压实造成的。该时期凹陷内沉积的泥岩地层厚度大, 沉积速率高。如在沙三中亚段沉积期, 东营三角洲自东向西部的牛庄洼陷快速进积, 沉积速率高达 700 m/Ma^[11]。岩石颗粒沉积如此快速, 缺少足够时间来定向排列, 随埋深加大, 地层中的孔隙水一旦受到较强封堵, 就很难排出, 从而形成超压^[31]。其余东营组末期、馆陶组末期及明化镇组—第四系沉积时期的超压更可能与粘土矿物脱水和烃类生成有关。热力作用下蒙脱石向伊利石转化释放的晶格水和干酪根降解生成的烃类产物, 都会使得地层中孔隙水体积和压力增加, 引起超压, 这也得到了诸多研究资料的证实^[2-3, 5-6]。

4 异常压力与油气成藏的匹配关系

异常高压一直被认为是油气运移的重要动力^[32], 在很多情况下油气生成、运移和聚集的同时也是异常压力发生、发展的过程^[33]。因此, 东营凹陷不同时期地层中的异常压力分布特征, 在一定程度上反映了凹陷内油气的生成、运移和聚集过程。

济阳拗陷具有晚期成藏特征, 沙四上亚段烃源岩开始成藏的时间基本在东营组沉积末期^[34]。轻烃色谱法、包裹体均一温度法结合凹陷埋藏史分析

研究表明, 东营凹陷沙河街组烃源岩经历有渐新世东营组沉积末期、中新世馆陶组沉积末期以及上新世明化镇组沉积期—第四纪等 3 期生烃过程^[25], 这与本次模拟表明的超压波动性具有很好的对应关系。渐新世东营组沉积末期, 凹陷中心区域的沙四上亚段烃源岩开始进入生油门限并开始生烃, 主要在沙四上亚段中出现小范围超压, 超压驱使油气向邻近的圈闭运移聚集。但由于随后发生了喜山 II 幕构造运动, 地层抬升剥蚀, 烃源岩埋深变浅, 温度降低, 生烃过程受到抑制, 超压区变为泄压区, 成为负压系统, 生烃作用停止, 造成该阶段生成的油气较少, 且不易保存。到中新世馆陶组沉积期, 伴随着凹陷整体下沉, 烃源岩进一步被埋藏升温, 成熟范围进一步扩大, 再次生烃, 再次形成超压系统, 并且超压主体相比东营组沉积末期的超压有从沙四段向沙三段地层中迁移的特点, 表明该时期沙三段烃源岩也开始成熟生烃。上新世—第四纪, 厚层的明化镇组和第四系沉积使沙三段及沙四上亚段烃源岩进一步埋藏, 生烃作用继续增强, 成熟范围不断扩大, 烃源岩整体进入生、排烃高峰期, 出现最大范围和强度的超压, 表明有大量油气生成, 此时微弱的构造活动和馆陶组—明化镇组厚层的泥岩盖层等条件十分有利于油气聚集成藏和保存。目前, 东营凹陷发现的油气成藏时期大多与该期超压有密切关系。因此, 东营凹陷沙河街组烃源岩的 3 期幕式生烃过程中均有超压出现, 且具有很好的匹配关系。

在超压区内, 烃类和水等流体可在压力差作用下从高压泥岩向与其相邻的砂岩运移, 形成区域“离心式”流体势场^[5]。在“离心式”流体势场的作用下, 油气从凹陷内的生油中心沿断层、不整合面以及连通砂体等“网毯式”疏导通道, 向凹陷边缘地区进行侧向、垂向运移并聚集成藏^[35](图 4a), 最终形成东营凹陷内油气藏围绕主要生烃中心呈“环带状”分布的格局(图 4b)^[36]。

5 结论

东营凹陷古近系沙河街组三段和四段烃源岩地层中普遍发育异常压力, 并且以超压为主。现今 2 200 m 之上为正常压力系统, 之下为超压系统。

数值模拟结果表明, 东营凹陷异常压力系统演化具有波动性。自沙河街组沉积以来, 凹陷发育有沙河街组末、东营组末、馆陶组末及明化镇组—第四系沉积期等 4 期超压系统和喜山运动 II 幕 1 期负压系统。其中, 沙河街组沉积末期的超压很可能

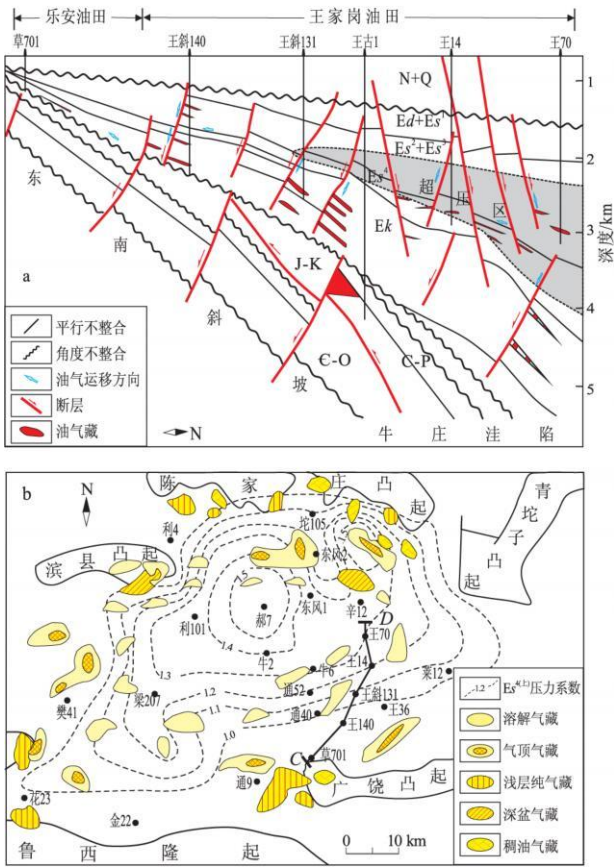


图 4 渤海湾盆地东营凹陷异常压力分布与油气成藏特征³⁶⁾
 a. 东营凹陷东南斜坡超压分布与油气运聚特征;
 b. 异常压力与天然气藏环状平面分布

Fig. 4 Abnormal pressure distributions and oil and gas accumulation features of Dongying Sag, Bohai Bay Basin

是由于泥岩欠压实所致, 而后 3 期超压可能是由生烃作用和粘土矿物脱水作用引起的。

东营组末、馆陶组末及明化镇组—第四系沉积时期的 3 期超压系统的发育, 分别与东营凹陷沙四段—沙三段烃源岩在渐新世末、中新世末以及上新世—第四纪的 3 期油气成藏具有良好的匹配关系。烃源岩的生烃作用在一定程度上引起了超压现象, 同时超压作为动力又促使油气沿断裂、不整合及疏导砂体做侧向和垂向运移, 形成油气藏围绕凹陷中心呈环状分布的局面。

致谢: 与胜利油田肖焕钦、周建国、鲁国明等高级工程师的讨论使作者受益匪浅, 在此表示感谢!

参考文献:

[1] 郑和荣, 黄永玲, 冯有良. 东营凹陷下第三系地层异常高压体系及其石油地质意义[J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(4): 67-70.
 [2] 陈中红, 查明, 金强. 东营凹陷超压系统的幕式排烃[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(4): 444-454.
 [3] 陈中红, 查明. 断陷湖盆超压封存箱形成机理与油气成藏机制: 以渤海湾盆地东营凹陷为例[J]. 地质科学, 2008,

43(1): 50-64.

[4] 隋凤贵. 东营断陷盆地地层流体超压系统与油气运聚成藏[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2004, 28(3): 17-21.
 [5] 刘震, 许晓明, 谢启超, 等. 渤海湾盆地异常高压晚期形成特征分析[J]. 现代地质, 2006, 20(2): 259-267.
 [6] 刘震, 戴立昌, 赵阳, 等. 济阳拗陷地温—地压系统特征及其对油气分布的控制作用[J]. 地质科学, 2005, 40(1): 1-15.
 [7] 谯汉生. 渤海湾地区异常高压与烃的生成及运移[J]. 石油勘探与开发, 1985, 12(3): 1-4.
 [8] 查明, 陈发景, 张一伟. 压实流盆地流体势场与油气运聚关系: 以东营凹陷为例[J]. 现代地质, 1996, 10(1): 102-110.
 [9] 刘晓峰, 解习农. 东营凹陷流体压力系统研究[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2003, 28(1): 78-86.
 [10] 肖焕钦, 刘震, 赵阳, 等. 济阳拗陷地温—地压场特征及其石油地质意义[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(3): 68-70.
 [11] 李阳, 王建伟, 赵密福, 等. 牛庄洼陷沙河街组超压系统发育特征及其演化[J]. 地质科学, 2008, 43(4): 712-726.
 [12] HUNT J M. Generation and migration of petroleum from abnormally pressured fluid compartments [J]. AAPG Bulletin, 1990, 74(1): 1-12.
 [13] LAW B E, SPENCER C W. Abnormal pressure in hydrocarbon environments [J]. AAPG Memoir, 1998, 70: 1-11.
 [14] LEETARU H E. Trials, tribulations, and potential of using 3-D geologic visualization for subsurface reservoir characterization [J]. AAPG Bulletin, 1999, 83(8): 1369-1370.
 [15] 王毅, 宋岩, 单家曾. 构造应力在油气运聚成藏过程中的作用[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(5): 563-571.
 [16] 王福勇. 东营凹陷南坡异常高压分布与油气运移[J]. 油气地质与采收率, 2008, 15(3): 43-45.
 [17] 谈彩萍, 江兴歌, 陈拥锋, 等. 石油运移成藏有利区预测方法研究: 以渤海湾盆地东营凹陷为例[J]. 石油实验地质, 2008, 30(6): 629-635.
 [18] 王华, 王方正, 周海民, 等. 渤海湾盆地南堡凹陷演化的热动力学和成藏动力学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2002.
 [19] 赵国欣. 烃源岩层中异常高压研究: 以渤海湾盆地东营凹陷古近系为例[J]. 石油实验地质, 2008, 30(4): 340-344.
 [20] 吉双文, 燕子杰, 姜能栋. 渤海湾盆地构造及沉积演化探讨: 以济阳拗陷为例[J]. 石油地质与工程, 2008, 22(3): 21-25.
 [21] 朱光有, 金强, 戴金星, 等. 复合生烃系统: 陆相断陷盆地烃源岩评价和油气预测的重要概念[J]. 地质科学, 2005, 40(1): 133-144.
 [22] 刘伟. 东营凹陷沙河街组烃源岩结构对排烃及成藏的控制作用[J]. 油气地质与采收率, 2005, 12(5): 30-32.
 [23] BETHKE C M, LEE M K, PARK J. Basin modeling with Basin2 Release 5.0 [R]. Hydrogeology Program, University of Illinois, 2002.
 [24] 胜利油田石油地质志编辑委员会. 中国石油地质志(卷六): 胜利油田[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993: 83-160.
 [25] 李丕龙. 陆相盆地油气地质与勘探(卷三) 陆相断陷盆地油气生成与资源评价[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 14-182.
 [26] HE Lijuan, WANG Jiyang. Tectono-thermal modeling of sedimentary basins with episodic extension and inversion, a case history of the Jiyang Basin, north China [J]. Basin Research, 2004, 16(4): 587-599.

(下转第 241 页)

且烃源岩范围和厚度较武尔坎次盆大, 所以其具有较大的勘探潜力, 近两年波拿巴盆地大的油气发现都集中在这些区域也说明了这一点。

另一勘探潜力较大的区域是莫利塔地堑与皮特尔次盆过渡区域, 这一区域长期处于隆起位置, 东南和西北两侧分别是古生界和中生界烃源岩, 能够捕获生成的油气而成藏。

参考文献:

- [1] GEOSCIENCES AUSTRALIA. Bonaparte Basin [OL]. [2008-10-18]. http://www.ga.gov.au/oceans/rpg_Bonaparte.jsp.
- [2] GEOSCIENCES AUSTRALIA. Oil and gas resources of Australia 2008[M]. Canberra: Geoscience Australia, 2008.
- [3] IHS ENERGY GROUP. Basin Monitor, Bonaparte Basin, Australia, Indian Ocean Region[DB]. Englewood, Colorado: IHS Energy Group, 2009.
- [4] 童晓光, 关增森. 世界石油勘探开发图集(亚洲太平洋地区分册)[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001: 1-288.
- [5] CASTILLO D A, BISHOP D, DONALDSON J I, et al. Trap integrity in the Laminaria High-Nancarrow Trough region, Timor Sea: prediction of fault seal failure[J]. APPEA Journal, 2000, 40: 151-173.
- [6] PRESTON J C, EDWARDS D S. The petroleum geochemis-

try of oils and source-rocks from the north Bonaparte Basin, offshore northern Australia[J]. APPEA Journal, 2000, 40: 257-282.

- [7] SEGGIE R J, AINSWORTH R B, JOHNSON D A, et al. Awakening of a super giant, Sunrise-Troubadour Gas-Condensate Field[J]. APPEA Journal, 2000, 40: 417-438.
- [8] BROOKS D M, GOODY A K, O'REILLY J B, et al. Bayu/Undan gas-condensate discovery: Western Timor gap zone of cooperation, area A[J]. APPEA Journal, 1996, 36: 142-160.
- [9] 胡文海, 陈冬晴. 美国油气田分布规律和勘探经验[M]. 北京: 石油工业出版社, 1995: 357-364.
- [10] LEMON N M, BARNES C R. Salt migration and subtle structures: Modeling of the Petrel Sub-basin, Northwest Australia[J]. APPEA Journal, 1997, 37: 245-258.
- [11] MCCONACHIE B A, BRADSHAW M, BRADSHAW T J. Petroleum systems of the Petrel Sub-basin: an integrated approach to basin analysis and identification of hydrocarbon exploration opportunities[J]. APPEA Journal, 1996, 36: 242-268.
- [12] BOREHAM C J, HOPE J M, HARTUNG B, et al. Understanding source, distribution and preservation of Australian Natural gas: a geochemical perspective[J]. APPEA Journal, 2001, 41: 523-547.

(编辑 徐文明)

(上接第237页)

- [27] 邱楠生, 苏向光, 李兆影, 等. 济阳拗陷新生代构造—热演化历史研究[J]. 地球物理学报, 2006, 49(4): 1127-1135.
- [28] 刘士林. 济阳拗陷喜山运动 II 幕构造—沉积响应及其对油气成藏的制约[D]. 广州: 中国科学院广州地球化学研究所, 2008.
- [29] 肖焕钦. 济阳拗陷中生代原型盆地恢复[D]. 广州: 中国科学院广州地球化学研究所, 2006.
- [30] XIE Xinong, BETHKE C M, LI Sitian, et al. Overpressure and petroleum generation and accumulation in the Dongying Depression of the Bohaiwan Basin, China [J]. Geofluids, 2001, 1(4): 257-271.
- [31] OSBORNE M J, SWARBRIEK R E. Mechanisms for generating overpressure in sedimentary basins: a reevaluation [J]. AAPG Bulletin, 1997, 81(6): 1023-1041.

- [32] RONEHET J. Stress fields—A key to oil migration [J]. AAPG Bulletin, 1981, 65(3): 74-85.
- [33] 郝芳, 邹华耀, 倪建华, 等. 沉积盆地超压系统演化与深层油气成藏条件[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2002, 27(5): 610-615.
- [34] 蒋有录, 刘华, 张乐. 东营凹陷油气成藏期分析[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 215-218.
- [35] ZHANG Shanwen, WANG Yongshi, SHI Dishu, et al. Fault-fracture mesh petroleum plays in the Jiyang depression of the Bohai Bay Basin, eastern China[J]. Marine and Petroleum Geology, 2004, 21: 651-668.
- [36] 李春光. 东营盆地油、气藏分布规律与成因探讨[J]. 石油勘探与开发, 1991, 18(2): 19-24.

(编辑 韩 或)