

渤海海域构造应力场演化及其在油气聚集中的作用

殷秀兰¹, 张清久²

(1 中国地质环境监测院, 北京 100081; 2 吉林油田分公司乾安采油厂, 乾安 138000)

摘要:渤海海域位于渤海湾盆地东部, 在盆地区域动力学背景下, 形成了渤海海域特征的沉积和构造环境。渤海海域新生代具有早期断陷、后期拗陷的特点, 断裂以 NE—NNE 走向为主, 其次是 EW 走向, 再次是 NW 走向。通过区域构造演化和沉积体系的深入研究, 将海域新生代地质构造活动按构造应力的方向、大小和其他构造形变参数划分为 4 个期次: 古新世; 始新世—渐新世; 中新世—早更新世; 晚更新世至今。在一系列构造演化过程中, 构造应力场的变化对海域内的 3 组主要断裂具有重要的影响。不同方向的断裂在不同阶段应力场的作用下, 所表现的特征和对油气的控制作用是不同的, 尤其是 NNE—NE 向断裂在构造演化过程中多次具有走滑活动, 油气主要聚集在走滑作用所派生的局部圈闭或附近存在的构造弱化带中。

关键词:构造应力; 断裂; 油气聚集; 渤海海域

中图分类号: P744.4

文献标识码: A

文章编号: 0256-1492(2007)05-0045-06

渤海海域是渤海湾盆地的重要组成部分, 位于 37°07′~41°00′N, 117°35′~121°10′E, 与渤海湾盆地陆上周缘的辽河、大港、胜利及冀东油田相连, 海域面积 7.7 万 km², 该区域与陆地部分相比, 其主要地质特点是新生代地层发育^[1], 断裂构造主活动期晚^[2-4], 有很多断裂至今仍在活动, 现今地震活动较强。海域部分总体勘探程度较低, 是众多地质工作者公认的油气勘探极有利的远景区。

1 区域背景

渤海湾盆地作为中国最大的裂谷型含油气盆地, 位于华北板块内部, 其东西两侧分别是呈 NNE 向展布的郯庐断裂带和太行山前深大断裂带, 南北两侧分别是近东西向展布的齐河—广饶弧形断裂带和昌黎断裂带。盆地南北两端较窄, 中间较宽, 总体上呈菱形(图 1)。盆地具有很厚的充填序列, 一般为 10~14 km, 显示了基底的快速沉降和盆地的快速充填。盆地具有典型的裂谷盆地的双层结构, 即古近纪的裂陷和新近纪的裂后热沉降形成的拗陷。盆地内部发育两组基底断裂, 一组为 NNE 向, 另一组为近 EW 向。前者主要发育于盆地的南北两端及西部, 后一组则发育于盆地的中东部。上述断裂系统控制了盆地内 7 个拗陷的发育, 自北向南依次为下辽河拗陷、冀中拗陷、黄骅拗陷、渤中拗陷、

临清拗陷、济阳拗陷及昌潍拗陷。各个拗陷之间由 4 个隆起间隔, 自北而南为沧县隆起、邢衡隆起、呈宁隆起和内黄隆起。渤中拗陷、济阳拗陷及昌潍拗陷呈 NEE 向, 下辽河拗陷、黄骅拗陷呈 NE 向; 冀中拗陷、临清拗陷则呈 NNE 向。

盆地深部特征揭示了岩石圈的减薄和同时发生的软流圈上隆^[6]。渤海湾盆地现今上隆最高点约 50 km, 位于渤中地区, 向周缘则逐渐加深。软流圈抬升越高, 盆地沉降越强烈^[7]。因此, 在包括海域在内的渤海湾盆地的演化过程中, 深部软流圈上隆具有由南向北迁移的特征。从盆地的沉积中心和火山活动特征来看, 渤海湾盆地的沉积从古近纪以来具有由南向北迁移的特点。孔店组沉积中心在昌维拗陷, 沙四段沉积中心在东营凹陷, 沙三段—沙二段沉积中心在沾化凹陷, 沙一段和东营组沉积中心在车镇拗陷。

2 构造演化

海域构造区划由渤中、下辽河、济阳、黄骅 4 个拗陷和埕宁隆起共 5 个一级单元组成。渤中拗陷由秦南、渤中、渤东、庙西凹陷和秦南、石臼坨、庙西、渤南凸起及渤东低凸起组成; 下辽河拗陷(海域)由辽西、辽中、辽东凹陷和辽西低凸起、辽东凸起组成; 济阳拗陷(海域)由黄河口、莱州湾、青东凹陷和垦东、潍北凸起及莱北低凸起组成; 黄骅拗陷(海域)由歧口、北塘、南堡、昌黎凹陷组成; 埕宁隆起由沙埕田、埕子口凸起及埕北低凸起和沙南、埕北凹陷组成(图 2)。

基金项目: 国家自然科学基金项目(40372102)

作者简介: 殷秀兰(1968-), 博士, 主要研究方向为盆地构造与流体, E-mail: yinxl@mail.cigem.gov.cn

收稿日期: 2007-05-12; 改回日期: 2007-08-20. 文凤英编辑

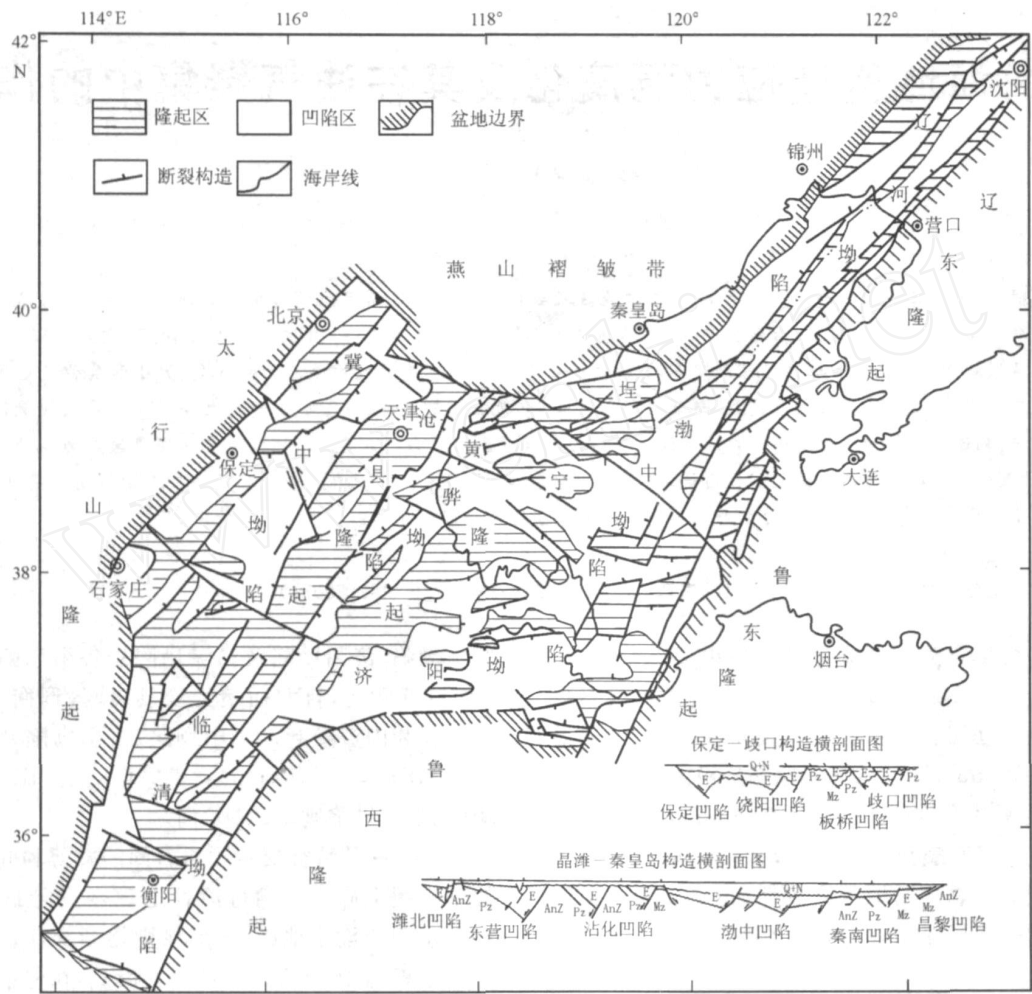


图 1 渤海湾盆地构造区划(据文献[5]略修改)

Fig. 1 Tectonic division map of Bohai Bay basin (after reference[5])

整个区域的构造应力场经历过多次由左旋压扭到右旋张扭的反转。 J_2/J_3 时期是燕山运动的主幕,左旋压扭构造应力场导致了盆地 NE 向燕山褶皱带和构造岩浆带的发育。晚中生代期间断陷盆地的发育则直接受控于 J_3-K_1 期右旋张扭构造应力场。 K_2 —新生代初期,盆地在压扭应力场控制下的挤压隆升作用直接导致了区域古近系底界不整合面(T_R)的发育^[8]。

新生代具有早期断陷、后期拗陷的特点。古近纪始新世、渐新世(孔店组、沙河街组、东营组沉积时期)发育箕状或堑状断陷,堆积了巨厚的中深湖至浅湖相碎屑;新近纪中新世、上新世(馆陶组、明化镇组沉积时期)转变为拗陷,整体沉降,沉积覆盖了各个单元。渤海沉积、沉降中心由陆地向海域中心的渤中凹陷迁移,因此,渤中凹陷是新近系和第四系沉积厚度最大的单元(最大厚度达 4 800 m)^[9]。

3 断裂的分布及其与新生代构造应力场的相关性

海域较大的断裂有 50 条,以 NE—NNE 走向为主,其次是 EW 走向,再次是 NW 走向(图 3)。

NE—NNE 向断裂主要分布在海域东部的辽东湾、渤东、庙西凹陷内,是郯庐断裂带的一部分,与辽河拗陷陆地区域有相同的成因;EW 走向断裂主要在渤西的歧口凹陷、南堡凹陷及渤南的黄河口和莱州湾凹陷。该组断裂与济阳拗陷和歧口凹陷陆地区有相同的成因;NW 走向断裂是渤中拗陷独特的一组断裂,是控制渤中凹陷发育的主体断裂。

根据前人的研究成果^[10-14],结合本次研究分析,将渤海地区的新生代地质构造活动按构造应力的方向、大小和其他构造形变参数划分为 4 个期次(表 1)。

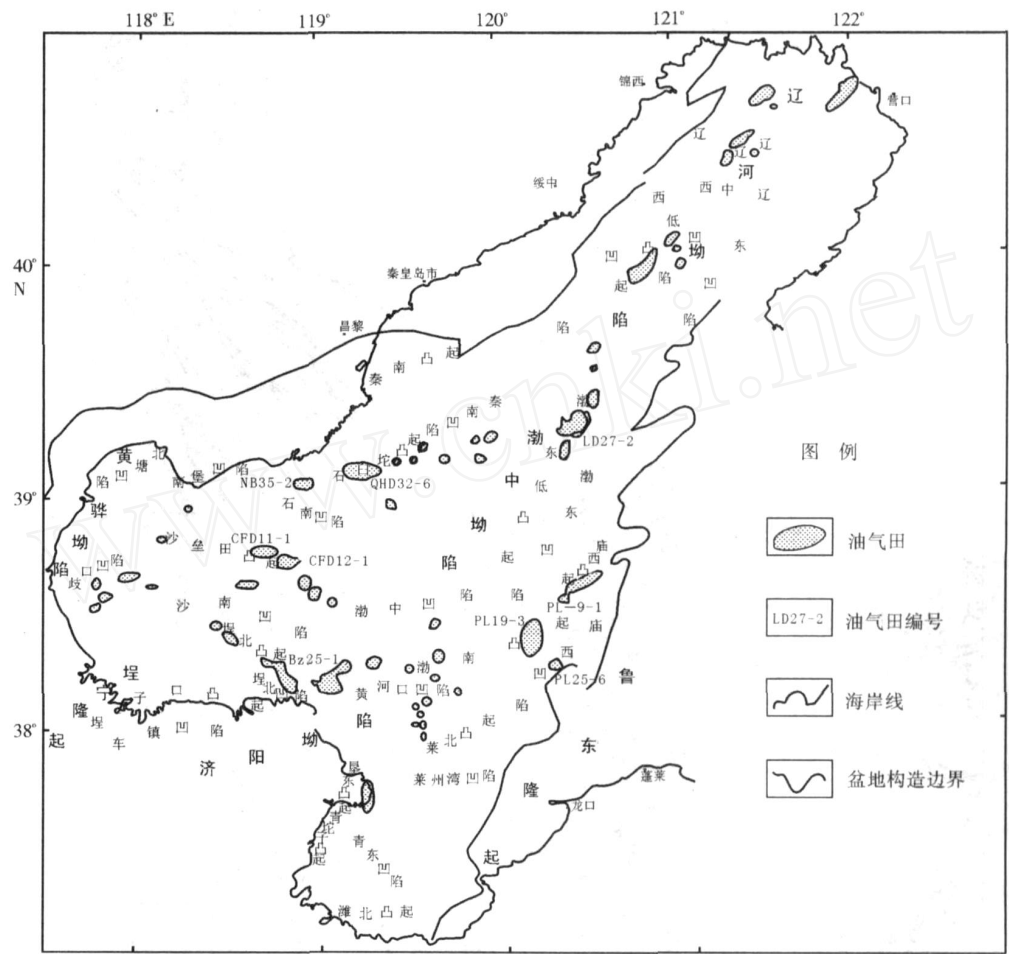


图 2 渤海海域主要构造单元及主要油气田的分布(据文献[2]、[4]略修改)

Fig. 2 Distribution of main structural units and oil/ gas fields in Bohai Sea (after references[2] and [4])

古新世时在 NNE 向主压应力的作用下,NNE 走向的断裂带转为张性活动,开始形成伸展性断陷,同时 NE 向的断裂使得 NNE 向的断陷进一步强化和复杂化,形成了辽东湾—渤东—莱州湾断陷;始新世—渐新世时期在 NWW 向主压应力的作用下 NW 向断裂以左行走滑活动为主,和 EW 向呈张性的断裂带共同作用形成了渤中凹陷,由于 NW 向断裂的东北盘是辽东基地,以太古界和下元古界的裂隙槽为主,相对于西南盘的鲁东基底强度要弱得多,更容易压缩变形。该构造期同时伴生一些 NEE 走向的具右行走滑性质的平移断层,辽东湾—渤东—莱州湾断陷的断裂构造格局基本定型;早中更新世时期,近南北向的作用力使 NNE 向断裂构造呈走滑伸展的构造特征,NW 走向的断裂则以走滑活动为主,构成了凸起和凹陷的边界;晚更新世以来的现在构造应力场以近东西向的挤压为主^[15],进一步加强了 NE 和 NW 向构造的活动强度,形成了大型的断裂构造带,尤其是近 EW 向的断裂呈张性特征,

为油气的运移和存储提供了良好的条件。

4 各构造期的油气聚集作用评价

根据上述构造应力场演化特征和断裂带的关系可知,古近纪时期(沉积地层为 E₁s—E₁d),在构造应力场的作用下,NNE 及 NE 向的断裂构造活动强度小,聚油气条件最好。新近纪时 NNE 向断裂左行平移,活动强的断裂带有利于油气向上部运移和在浅部地层聚集,近南北走向的断裂在该期是不利于油气聚集的,而 NW 向的断裂转变成右行走滑断裂,也有利于油气向上部运移和在浅部地层聚集。晚期活动性较强的 EW 向和 NEE 向构造带油气聚集条件差,但 NW 和近 SN 向及 NNE 向的断裂带封闭条件较好,有利于油气的聚集。

需要特别注意的是,在渤海海域,由于 NNE—NE 向断裂在构造演化过程中多次具有走滑活动,油气经常聚集在走滑作用所派生的局部圈闭或附近

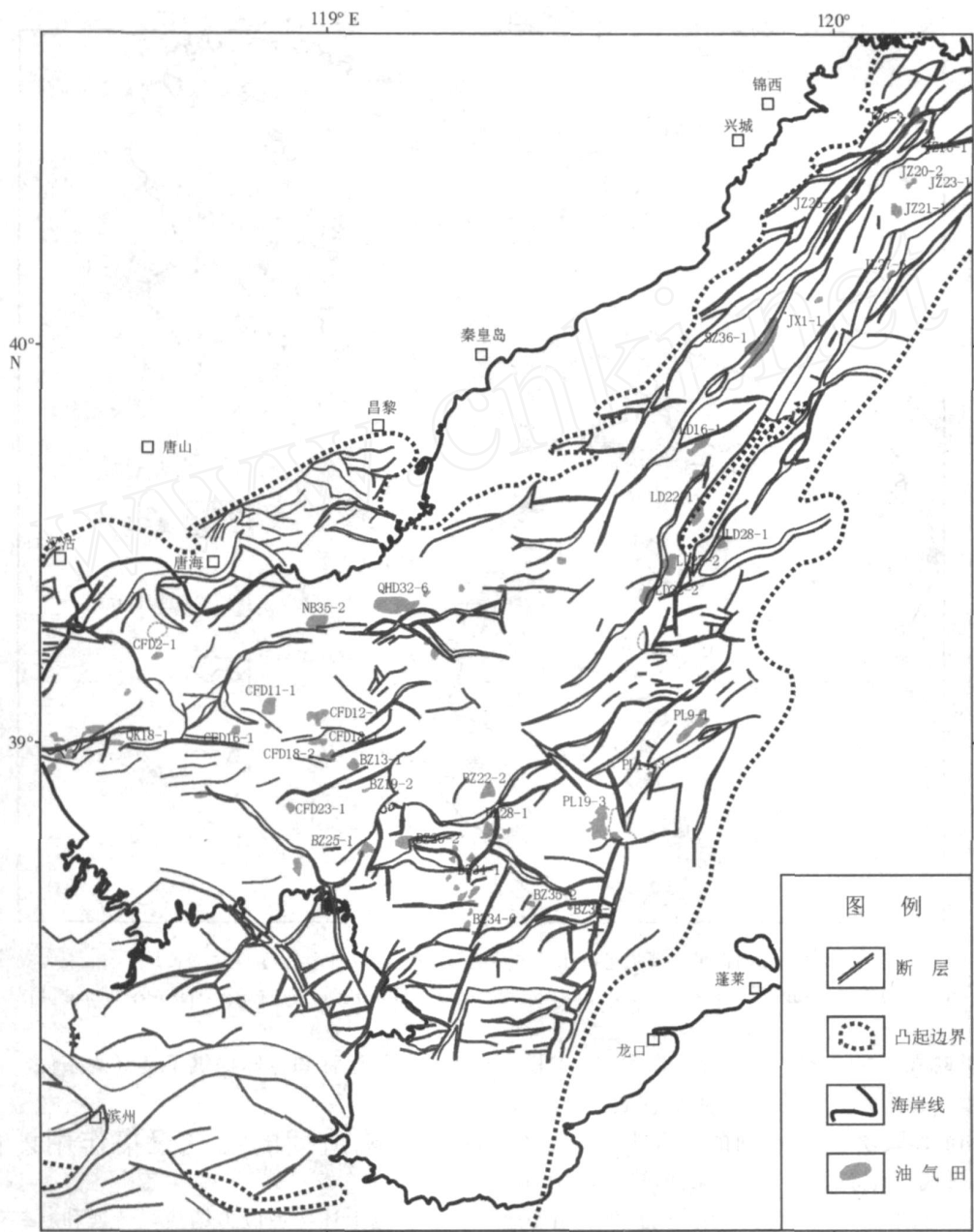


图 3 渤海海域主要断裂分布(据文献[1-3])

Fig. 3 Distribution map of the main faults in Bohai Sea(after references[1-3])

表 1 渤海海域新生代构造期、构造应力场及构造变形

Table 1 Structural stages , stress and deformation in Bohai Sea since Cenozoic

期次	地质年代	沉积地层	同位素年龄 / Ma	最大主压 应力	1 - 3 / MPa	应变速率 / (, 1/ s)
	上更新世—现在	Q ₂	0.75	NEE80°	18.6	
	中新世—早更新世	N ₁ —Q ₁	23.5	NNE3°	80~90	1.15 ×10 ⁻¹⁷
	始新世—渐新世	E ₂ —E ₃	52	NWW290°	45.7	1.29 ×10 ⁻¹⁵
	古新世	E ₁		NNE19°	78~98	4.9 ×10 ⁻¹⁶

存在的构造弱化带中,如渤中坳陷的 PL19-3 构造和下辽河坳陷的燕南构造等。图 4 显示了燕南构造

的北部在不断进行的区域性侧向运移基础上,张扭应力场背景又为垂向运移创造了极好的条件,即晚

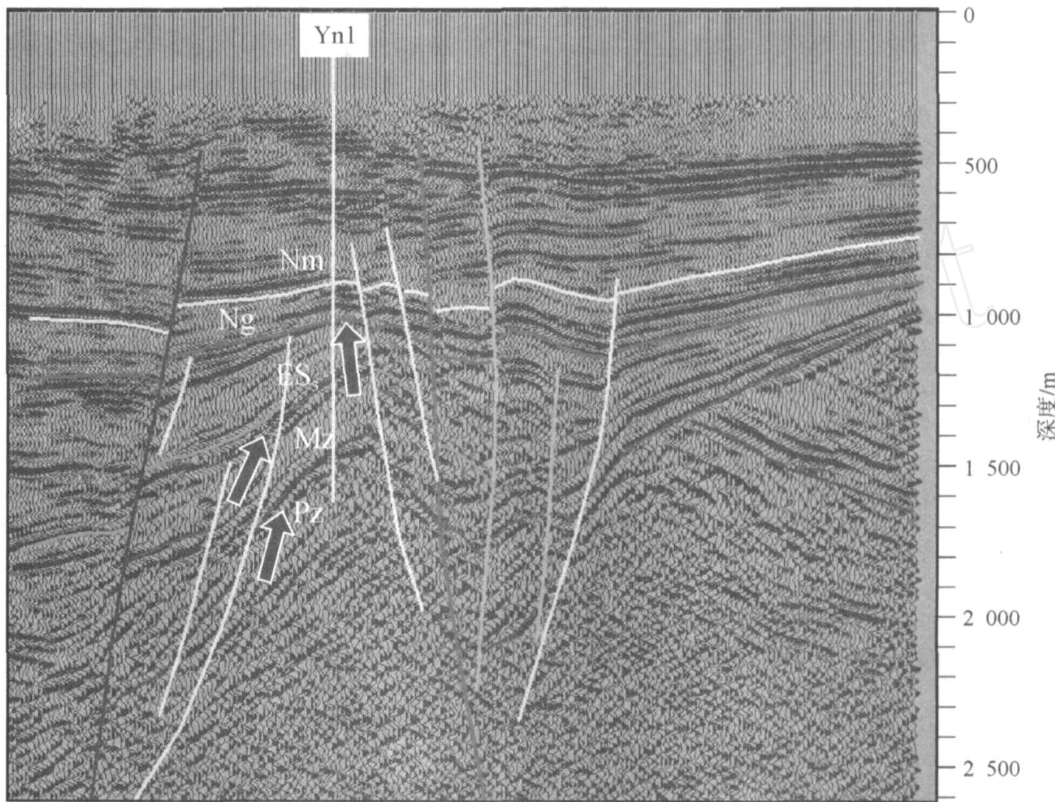


图 4 辽河滩海地区燕南构造地震剖面(据辽河油田勘探开发研究院)
Fig.4 Seismic profile of Yunnan area in offshore Xiaohaohe Depression
(after Research Institute of Petroleum Exploration and Development , Liaohe Oil Company)

期断裂活动使生成的油气向上运移至沙河阶组及馆陶组地层,但因走滑断裂带内断层发育,形成众多小断块,故其含油气性复杂。

5 结论

(1) 渤海海域的构造应力场经历过多次由左旋压扭到右旋张扭的反转,新生代以来主要经历了 4 期构造作用,分别为古新世、始新世—渐新世、中新世—早更新世、晚更新世至今。

(2) 新生代以来的各期构造应力场使海域内的主要断裂带呈现不同的活动特征,古新世在 NNE 向主压应力的作用下,NNE 走向的断裂带转为张性活动;始新世—渐新世时期在 NWW 向主压应力的作用下 NW 向断裂以左行走滑活动为主,同时伴生一些 NEE 走向的具右行走滑性质的平移断层;早中更新世时期近南北向的作用力使 NNE 向断裂构造呈走滑伸展的构造特征,NW 走向的断裂则以走滑活动为主;晚更新世以来的构造应力场进一步加强了 NE 和 NW 向构造的活动强度,近 EW 向的断裂呈张性特征。

(3) 海域内不同构造期活动性质发生变化的断裂带以及同一构造期不同活动性质的断裂带为油气的聚集提供了特有的条件。

参考文献(References)

[1] 蔡乾忠,刘守全. 渤海湾盆地成盆前后重大地质事件与浅层油气富集[J]. 中国海上油气(地质), 2001, 15(1): 11-14. [CAI Qian-zhong, LIU Shou-quan. Major geological events of basin development and shallow hydrocarbon accumulation in Bohai Bay basin[J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 2001, 15(1): 11-14.]

[2] 米立军. 新构造运动与渤海海域上第三系大型油气田[J]. 中国海上油气(地质), 2001, 15(1): 21-28. [MI Li-jun. The Neotectonism and major Neogene oil and gas fields in Bohai Sea [J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 2001, 15(1): 21-28.]

[3] 蔡东升,罗毓辉,武文来,等. 渤海浅层构造变形特征、成因机理与渤中坳陷及其周围油气富集的关系[J]. 中国海上油气(地质), 2001, 15(1): 35-43. [CAI Dong-sheng, LUO Yu-hui, WU Wen-lai, et al. Shallow tectonic deformation and its relationship to hydrocarbon enrichment in Bozhong depression and adjacent areas, Bohai Bay basin[J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 2001, 15(1): 35-43.]

- [4] 龚再升. 中国近海大油气田[M]. 北京:石油工业出版社,1997. [GONG Zai-sheng. Continental Basin Analysis and Hydrocarbon Accumulation of the Northern South China Sea[M]. Beijing: Science Press,1997.]
- [5] 池英柳. 渤海新生代含油气系统基本特征与油气分布规律[J]. 中国海上油气(地质),2001,15(1):3-10. [CHI Ying-liu. Basin characteristics and hydrocarbon distribution in Cenozoic petroleum systems, Bohai Sea[J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 2001, 15(1): 3-10.]
- [6] 李思田,路凤香,林畅松,等. 中国东部及邻区中、新生代盆地演化及地球动力学背景[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1997:225. [LI Si-tian, LU Feng-xiang, LIN Chang-song, et al. Evolution of Mesozoic and Cenozoic Basins in Eastern China and Their Geodynamic Background[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press,1997:225.]
- [7] 肖龙,王方正,王华,等. 地幔柱构造对松辽盆地及渤海湾盆地形成的制约[J]. 地球科学,2004,29(3):283-292. [XIAO Long, WANG Fang-zheng, WANG Hua, et al. Mantle plume tectonics constraints on the formation of Songliao and Bohaiwan Basins[J]. Earth Science- Journal of China University of Geosciences, 2004, 29(3): 283-292.]
- [8] 李思田. 大型油气系统形成的盆地动力学背景[J]. 地球科学,2004,29(5):505-512. [LI Si-tian. Basin geodynamics background of formation of huge petroleum systems[J]. Earth Science- Journal of China University of Geosciences, 2004, 29(5): 505-512.]
- [9] 龚再升,王国纯. 渤海新构造运动控制晚期油气成藏[J]. 石油学报,2001,22(2):1-7. [GONG Zai-sheng, WANG Guo-chun. Petroleum exploration neotectonism and late hydrocarbon accumulation in Bohai Sea[J]. Acta Petrolei Sinica, 2001,22(2): 1-7.]
- [10] 万天丰. 中国东部中、新生代板内变形、构造应力场及其应用[M]. 北京:地质出版社,1993. [WAN Tian-feng. Deformation Intra-Plate, Structural Stress Field and Their Application Since Mesozoic and Cenozoic in Eastern China[M]. Beijing: Geological Publishing House,1993.]
- [11] 刘东生. 第四纪环境[M]. 北京:科学出版社,1997. [LIU Tung-sheng. Quaternary Environment[M]. Beijing: Science Press,1997.]
- [12] 王伟锋,陆诗阔,金强. 中国大陆东部盆地构造动力学分析[J]. 石油大学学报自然科学版,1999,23(4):1-5. [WANG Wei-feng, LU Shi-kuo, JIN Qiang. Basin tectonic dynamic analysis of eastern continent China[J]. Journal of the University of Petroleum,1999, 23(4): 1-5.]
- [13] 胡望水,吕炳全,官大勇,等. 郯庐断裂带及其周缘中生代盆地发育特征[J]. 海洋地质与第四纪地质,2003,23(4):51-58. [HU Wang-shui, LÜ Bing-quan, GUAN Da-yong, et al. Characteristics of Tanlu fault zone and development Mesozoic and Cenozoic basins along it [J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2003, 23(4): 51-58.]
- [14] 谢富仁,崔效锋,赵建涛,等. 中国大陆及邻区现代构造应力场分区[J]. 地球物理学报,2004,47(4):654-662. [XIE Fu-ren, CUI Xiao-feng, ZHAO Jian-tao, et al. Regional division of the recent tectonic stress field in china and adjacent areas[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2004, 47(4): 654-662.]
- [15] 崔效锋,谢富仁,赵建涛. 中国及邻区震源机制解的分区特征[J]. 地震地质,2005,27(2):298-307. [CUI Xiao-feng, XIE Fu-ren, ZHAO Jian-tao. The regional characteristics of focal mechanism solutions in China and its adjacent areas[J]. Seismology and Geology, 2005, 27(2): 298-307.]

EVOLUTION OF THE STRUCTURAL STRESS AND ITS FUNCTION DURING OIL/ GAS ACCUMULATION IN BOHAI SEA

YIN Xiu-lan¹, ZHANG Qing-jiu²

(1 China Institute of Geo-Environmental Monitoring, Beijing 100081, China;

2 Qian'an Oil Extraction Factory, Subsidiary Company of Jilin Oil Field, Qian'an 138000, China)

Abstract: Bohai Sea area covers Bozhong depression and the offshore part of Xialiaohe, Jiyang, Huanghua depressions and Chengning uplift. Unique sediments and structures of Bohai Sea were formed under regional dynamic setting in Bohai Bay basin. Its evolution has experienced early rifting stage and late down warping depression since Cenozoic. The main faults are NE-NNE trending, and then are EW and NW trending in the area. Based on the direction, magnitude and deformation parameters of structural stress, four structural successions are recognized in the Bohai Sea that are Paleocene, Eocene-Oligocene, Miocene-early Pleistocene, late Pleistocene-present. These four structural stages played an important role in the fault-controlling oil/ gas in the Bohai Sea, especially for NNE-NE trending faults. After strike-slip activities, NNE-NE trending faults induced local traps and unsubstantial structure zone, which provide pathways for oil/ gas migrating or accumulating.

Key words: structural stress; fault; oil/ gas accumulation; Bohai Sea