

文章编号: 0253-9985(2011)02-0273-07

渤海海域新生代断裂发育特征及形成机制

余一欣^{1,2}, 周心怀³, 徐长贵³, 吕丁友³, 魏刚³, 王桂华⁴

[1. 中国石油大学 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249; 2. 中国石油大学 盆地与油藏研究中心, 北京 102249; 3. 中海石油(中国)有限公司 天津分公司, 天津 300452; 4. 中国石油集团测井有限公司 长庆事业部解释中心, 陕西 西安 710201]

摘要: 断裂是渤海海域油气成藏的主控因素之一, 利用地震剖面解释和构造编图成果, 对渤海海域新生代断裂发育特征及形成机制进行了分析。渤海海域主要发育伸展断裂和走滑断裂, 局部地区发育反转断裂。在平面上主要呈 NE、NW 和近 EW 向展布, 其中 NE 向断裂多属于郯庐走滑断裂带的组成部分, 在剖面上表现出花状构造特征。NW 向断裂主要与张家口-蓬莱走滑断裂带有关, 并与 NE 向断裂发生了相互剪切作用, 共同构成了渤海地区新构造期的共轭剪切破裂系统。近 EW 向断裂可分为两类: 大型近 EW 向断裂带多构成南部地区凸起和凹陷的分界断裂, 经历了早期伸展和晚期走滑作用的叠加, 在剖面上多表现为铲式主干正断层和浅层走滑分支断层相组合的似花状特征; 浅层密集发育的小型近 EW 向断裂多是受郯庐断裂带走滑作用影响而形成的派生断裂。

关键词: 形成机制; 伸展断裂; 走滑断裂; 新生代; 渤海海域

中图分类号: TE121.1

文献标识码: A

Characteristics and formation mechanisms of the Cenozoic faults in the Bohai Sea waters

Yu Yixin^{1,2}, Zhou Xinhui³, Xu Changgui³, Lü Dingyou³, Wei Gang³ and Wang Guihua⁴

(1. State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 2. Basin and Reservoir Research Center, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 3. CNOOC Tianjin Company, Tianjin 300452, China; 4. Changqing Department of CNPC Logging Corporation, WWLT, Xian, Shanxi 710201, China)

Abstract: Fault is one of the major factors that control hydrocarbon accumulation in the Bohai Sea waters. Based on seismic interpretation and structural mapping, this paper focuses on the characteristics and formation mechanisms of the Cenozoic faults in the Bohai Sea waters. In the study area, extensional and strike-slipping faults are the most predominant, and inverted faults are locally distributed. On plane view, most of the faults are of NE-, NW- or EW-trend, and the NE-trending faults mostly belong to the Tanlu strike-slip fault zone. While on sectional view, the faults occur as flower structures. The NW-trending faults are associated with the Zhangjiakou-Penglai strike-slip fault zone, and constitute a conjugate shear faults system with the NE-trending faults during the neotectonic stage. The near EW-trending faults can be classified into two types according to their scale. The large-scale EW-trending faults, acting as the boundary faults between the salient and trough in the southern part, experienced the early extensional and late strike-slipping movements. They exhibit quasi-flower structures composed of major listric faults and shallow branching strike-slipping faults on the section. The small-scale EW-trending faults are densely developed in the shallow strata, and they are mostly derivative faults resulted from the strike-slipping movement of the Tanlu fault zone.

Key words: formation mechanism, extensional fault, strike-slipping fault, Cenozoic, Bohai Sea waters

收稿日期: 2010-12-28。

第一作者简介: 余一欣(1977—), 男, 讲师, 盆地分析和构造地质。

基金项目: 国家自然科学基金项目(40802030); 中海油天津分公司科技攻关项目(S10TJTM016)。

渤海湾盆地位于我国东部大陆边缘地区,是我国第二大含油气盆地,主要包括华北平原、下辽河平原和渤海海域等 3 个地理单元。渤海湾盆地的断裂作用对油气的聚集成藏起着至关重要的作用,尤其是从盆地东部通过的郯庐断裂带对整个渤海湾盆地的形成演化和油气成藏都产生了重要影响^[1-8]。前人已针对渤海湾盆地的断裂发育特征、形成演化、相互作用及其对油气成藏的影响都进行了一定研究,并提出了许多有益认识^[4, 9-18],但目前针对渤海海域不同断裂体系发育特征开展的整体、系统研究还不常见,有关断裂发育特征及其形成机制的认识依然是制约油气勘探取得重大

突破的瓶颈。本文主要依据最新的地震资料和构造编图成果,对渤海海域复杂的新生代断裂发育特征及其形成机制进行分析,进一步深化该地区油气成藏机理的认识。

1 地质概况

渤海湾盆地位于华北板块东缘,四周被胶辽隆起、燕山隆起、太行山隆起和鲁西隆起所围限,是一个以新生代沉积为主的大型板内裂谷盆地。渤海海域现今整体表现为不同走向凹陷和凸起相间排列的构造格局(图 1),沉积地层主要包括前

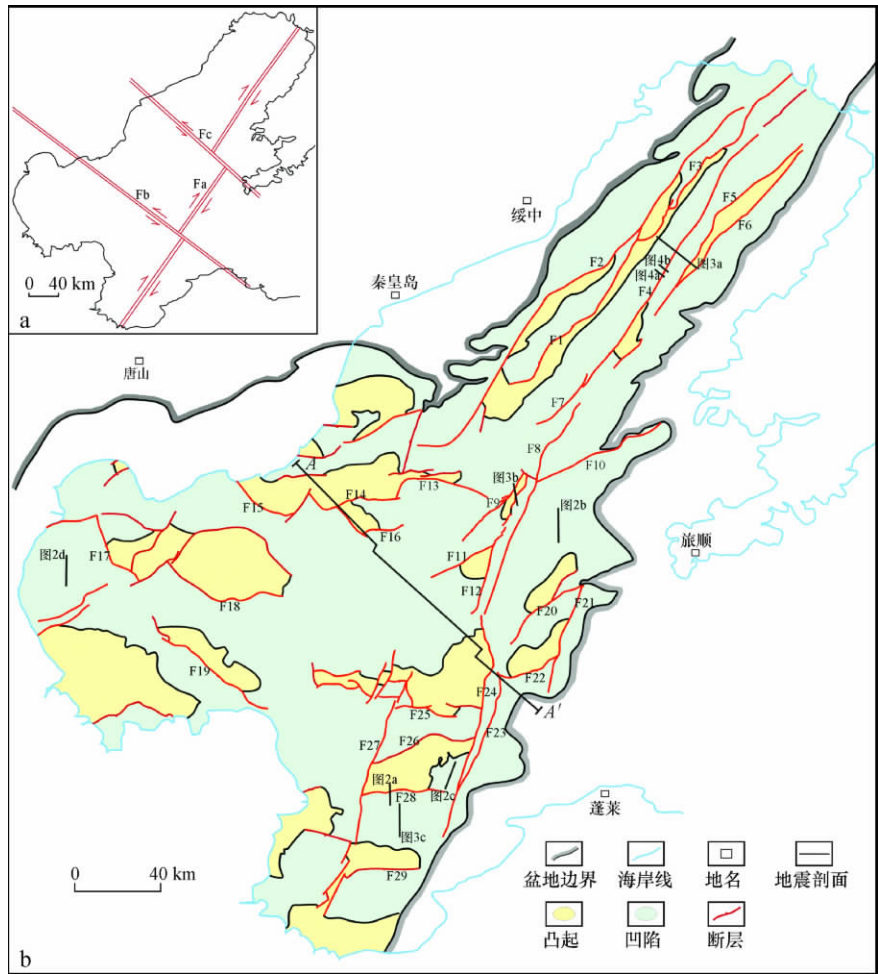


图 1 渤海海域主要断裂系统

Fig. 1 Distribution of the major faults in the Bohai Sea waters

Fa. 郯庐走滑断裂带; Fb. 张家口-蓬莱走滑断裂带; Fc. 秦皇岛-旅顺走滑断裂带; F1. 辽西 1 号断裂; F2. 辽西 2 号断裂; F3. 辽西 3 号断裂; F4. 辽中 1 号断裂; F5. 辽中 2 号断裂; F6. 辽东断裂; F7. 旅大 2 号断裂; F8. 旅大 1 号断裂; F9. 渤中 1 号断裂; F10. 渤东 3 号断裂; F11. 渤东 1 号断裂; F12. 渤东 2 号断裂; F13. 石臼坨 1 号断裂; F14. 石南断裂; F15. 柏各庄断裂; F16. 石臼坨 2 号断裂; F17. 海河断裂; F18. 沙南断裂; F19. 埕北断裂; F20. 庙西 1 号断裂; F21. 庙东断裂; F22. 庙西 2 号断裂; F23. 莱东 1 号断裂; F24. 莱东 2 号断裂; F25. 黄北断裂; F26. 莱北 1 号断裂; F27. 莱西断裂; F28. 莱北断裂; F29. 淮北断裂

裂谷期地层(前古近系)、裂谷期地层(古近系)和后裂谷期地层(新近系)。其中代表裂谷作用结束和后裂谷作用开始的古近系东营组和新近系馆陶组之间的区域不整合具有重要地质意义,该不整合上、下的盆地结构、断裂及地层沉积特征等均具有明显差异。

2 断裂剖面变形特征

渤海海域新生代断裂的发育主要受伸展和走滑作用控制,局部地区还受反转作用影响。相应地,断裂在剖面上主要表现为伸展断裂和走滑断裂特征,局部地区发育反转断裂。

伸展断裂是渤海地区最主要的断裂类型,在全区不同层系内均广泛发育,断裂规模大小不一,走向和倾向多变。大型伸展断裂在剖面上多表现出铲式断层和坡坪式断层特征,而小型伸展断裂上下产状基本一致,多条伸展断裂可组合成耙式、X型、Y型等组合样式(图2)。

走滑断裂主要发育在盆地东部地区,其东西向展布范围从北部辽东湾经渤中向南至渤南地区

逐渐增大,另有一部分走滑断裂沿张家口-蓬莱一带发育,在剖面上多表现出典型的正花状、负花状和半花状特征(图3)。

反转断裂与郯庐走滑断裂带密切相关,主要发育在盆地东部的局部地区。如辽东湾拗陷的辽中1号断裂属于郯庐断裂带的重要组成部分,其倾向及断裂性质沿断裂走向均发生变化。从南往北,断裂倾向依次从向西倾斜逐渐变为近直立和向东倾斜,有时表现为正断层,有时表现为反转断裂和逆断层特征(图4)。

在纵向上,以新近系馆陶组为界,可分为深、浅层两套断裂体系(图5)。深层以规模较大的主干断裂为主,向下延伸进入基底,部分向上进入第四系,平面延伸长度也较大。该类断裂大多控制了盆地及盆地内部凸起和凹陷的形成,具有发育早、断距大和长期活动的特点。浅层主要发育大量密集排列、规模较小的次级断裂,而且都基本形成于深层主干断裂附近(图5)。这也表明深、浅层断裂体系之间存在密切联系,浅层断裂明显受深层主干断裂的制约,是断裂多期活动的结果。

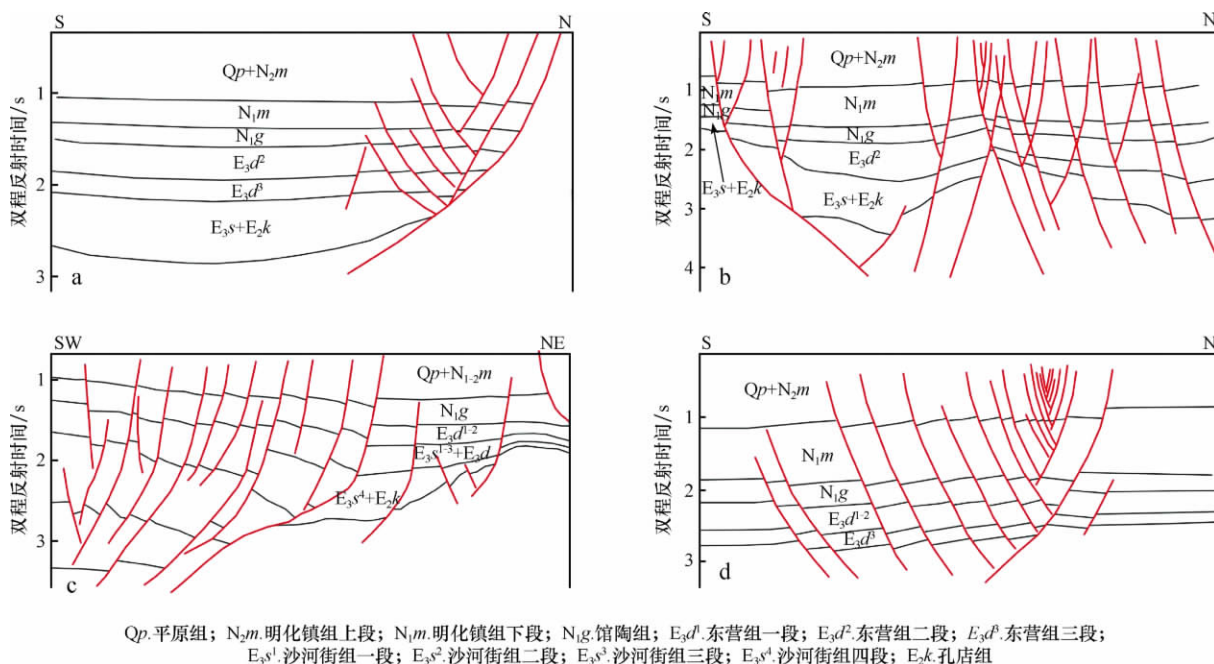


图2 渤海海域伸展断裂特征(剖面位置见图1)

Fig. 2 Characteristics of extensional faults in the Bohai Sea waters

a. 莱州湾凹陷; b. 渤东东斜坡; c. KL6-4 构造区; d. 歧口凹陷

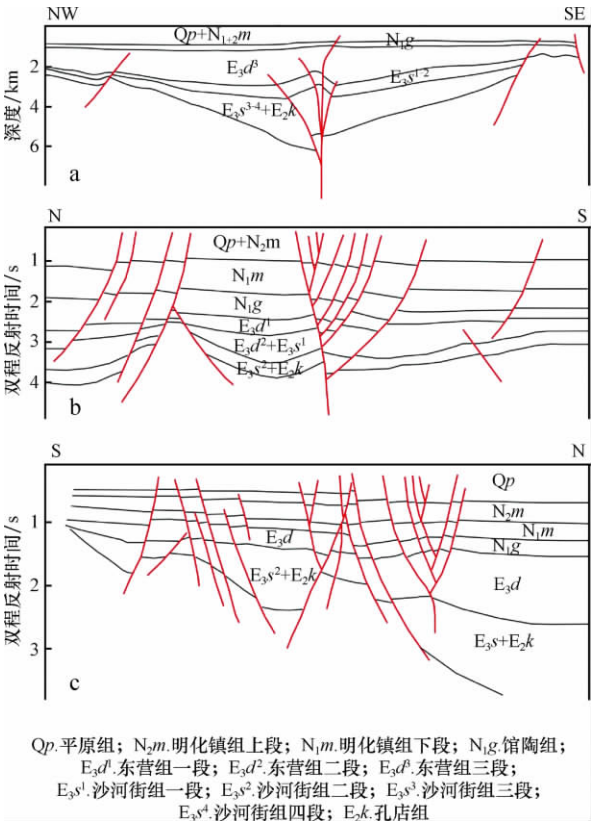


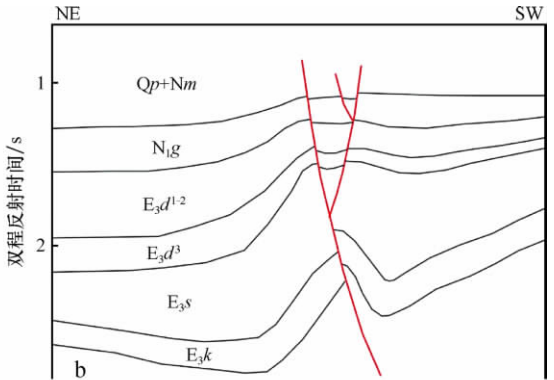
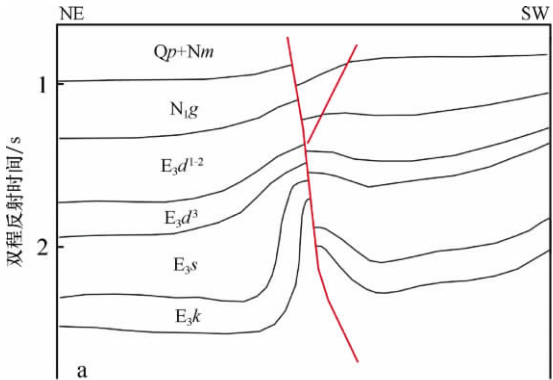
图 3 渤海海域走滑断裂特征(剖面位置见图 1)

Fig. 3 Characteristics of strike-slip faults in the Bohai Sea waters

a. 辽东湾凹陷; b. PL2-2 构造区; c. 莱州湾凹陷

3 断裂平面展布特征

渤海地区断裂密集发育,平面展布特征错综



Qp.平原组; N₂m.明化镇组上段; N₁m.明化镇组下段; N₁g.馆陶组; E₃d¹.东营组一段; E₃d².东营组二段; E₃d³.东营组三段; E₃s.沙河街组; E₃k.孔店组

图 4 辽中 1 号断裂发育特征(剖面位置见图 1)

Fig. 4 Characteristics of LZ-1 fault in the Bohai Sea waters

复杂,走向多变,但优势走向主要为 NE、NW 和近 EW 向(图 6)。在平面上,不同规模和走向的断裂相互交织在一起,形成雁列式、网格状、分叉状等多种组合样式。

整体来看,渤海海域断裂平面展布特征具有较明显的分区性。东部地区主要发育 NE 向断裂,内部夹有近 EW 向断裂,表现出明显受郯庐断裂带影响的强走滑作用特征。中部和南部地区主要发育近 EW 向和 NW 向断裂,表现出明显的伸展作用特征,局部地区也受到了 NW 向张家口-蓬莱断裂带和秦皇岛-旅顺断裂带的走滑作用影响。

4 断裂形成机制

主要分布于渤海东部地区的 NE 向断裂属于郯庐断裂带的组成部分,是郯庐基底主干断裂走滑活动在沉积盖层中的具体表现,在剖面上多表现为花状构造特征(图 3)。从 NE 向断裂的平面展布范围来看,北部辽东湾地区呈狭窄、连续的条带状展布,而渤中和渤南地区呈断续展布,但展布范围明显变大(图 6)。上述展布特征可能与不同地区早期先存基底主干断裂和后期构造主压应力方向夹角存在差异有关,这也已得到了物理模拟实验的证实^[19]。

渤海地区 NW 向断裂主要包括张家口-蓬莱断裂带及其伴生的次级断裂,是中国东部 NW 向断裂体系的重要组成部分,具有明显的左行走滑

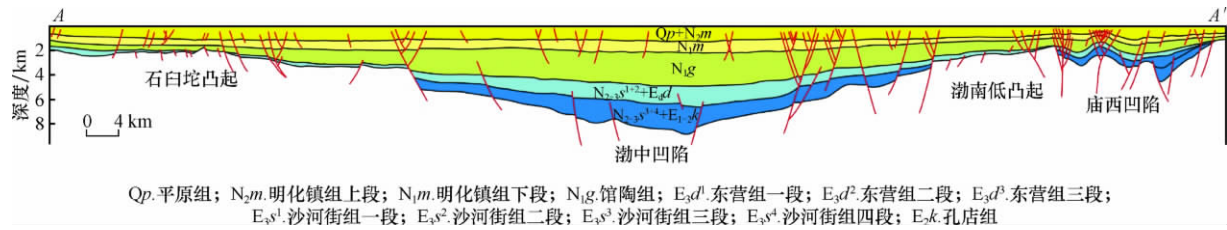


图 5 渤海海域深、浅层断裂发育特征(剖面位置见图 1)

Fig. 5 Characteristics of shallow and deep faults in the Bohai Sea waters

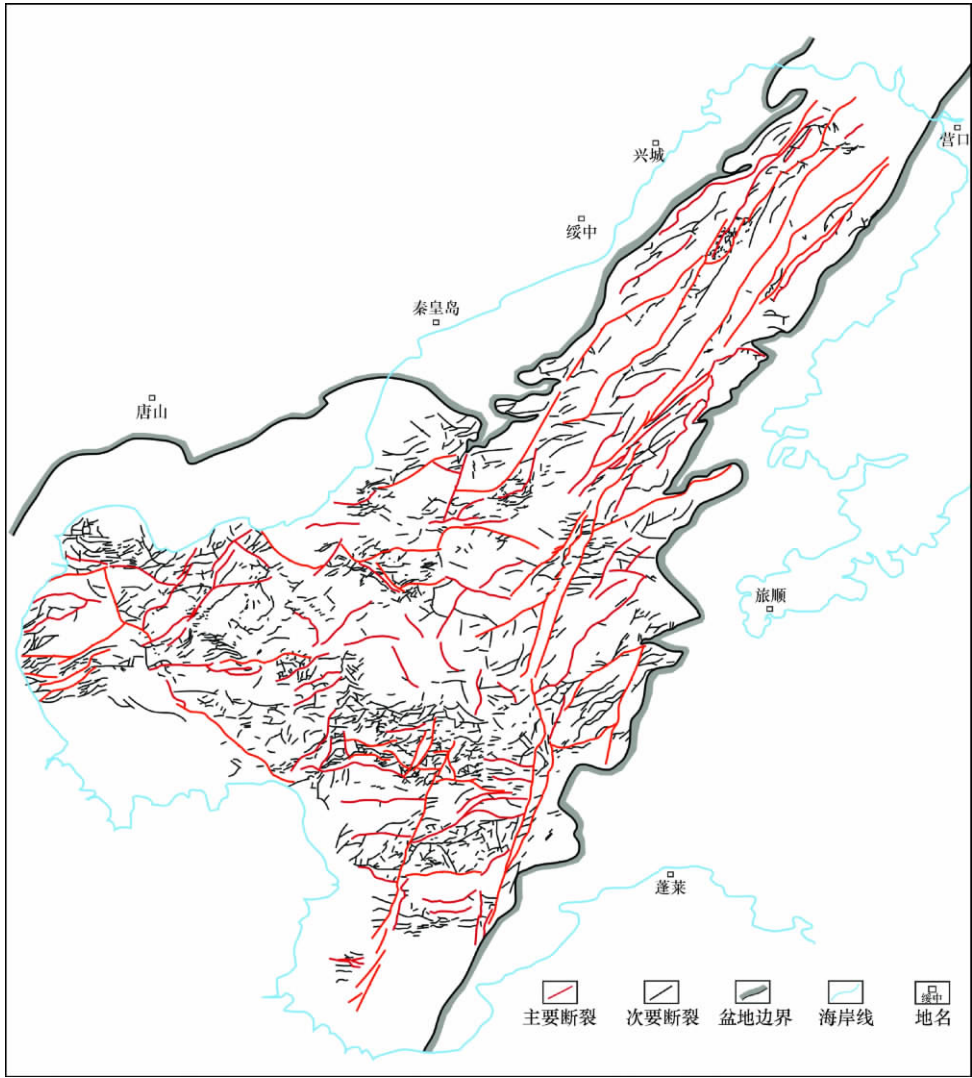


图 6 渤海海域古近系底界断裂分布

Fig. 6 Distribution of faults on the base of the Paleogene in the Bohai Sea waters

和分段变形特征(图 1)^[20-21]。受张家口-蓬莱断裂带左行走滑作用影响,渤中西斜坡地区的断裂在该断裂带附近均呈向西北收敛的雁列式分布^[12]。

在新构造期,受太平洋板块俯冲和印度板块碰撞影响,我国大陆东部地区处于东西两侧受斜

向挤压的构造环境,区域构造应力场作用于具有先存构造的地壳,使适合于两组最大剪切应力方向的先存断裂继续发育和活动,从而形成 NW 和 NE 向断裂带,共同构成我国大陆东部新构造期的一套地壳共轭剪切破裂系统^[22]。渤海海域的 NW 和 NE 向断裂带反映了共轭错动的特征,是我国东

部 NW 和 NE 向共轭剪切破裂系统的重要组成部分。

根据渤海地区近 EW 向断裂的发育特征,可将其分为两类,一类是大型的近 EW 向断裂,多构成凸起和凹陷的边界,主要控制凸起和凹陷的形成过程。该类断裂主要分布在渤中、渤西和渤南地区,如石南断裂、沙南断裂、黄北断裂、莱北断裂和潍北断裂等(图 1)。另一类则是主要分布在东部郯庐断裂带内部及其旁侧的近 EW 向小规模断裂,主要密集发育在浅部地层内。

在地震剖面上,大型近 EW 向边界断裂带的主干断层大多表现为铲式正断层特征,上盘发育多条分支断层,组成似花状构造,与下部近直立的典型走滑断裂带有明显区别(图 2a,图 3a)。该类断裂早期发育主要与地幔上隆和地壳减薄而引起的南北向伸展应力有关,晚期则叠加了一定的走滑作用。因此,该类近 EW 向边界断裂带在地震剖面上主要表现为似花状特征。

分布在 NE 向郯庐断裂带内部及其旁侧的浅层近 EW 向断裂规模都较小,大多呈雁行式排列,其形成与郯庐断裂带的走滑作用密切相关,是一类次级的派生断裂(图 7)。该类断裂与郯庐断裂带的相互关系符合经典的走滑断裂派生构造发育模式,多具有张性正断层性质,对油气运移可能比较有利(图 7)。

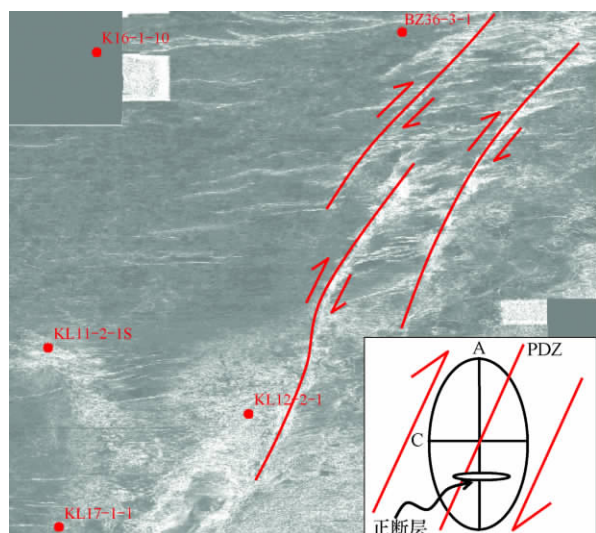


图7 莱州湾凹陷东侧郯庐断裂带及内部次级断裂发育特征(底图为500 ms时间切片)

Fig. 7 Characteristics of the Tanlu fault zone and its derivative faults on the eastern side of the Laizhouwan Trough

5 结论

渤海海域主要发育伸展断裂和走滑断裂,局部地区存在反转断裂。伸展断裂在剖面上主要表现为铲式断层和坡坪式断层特征,组合样式有耙式、X型和Y型等,走滑断层主要表现为正花状、负花状和半花状特征。以新近系馆陶组为界,深、浅层断裂发育特征具有明显差异。断裂走向以NE、NW和近EW向为主,平面展布表现出明显的分区性。

渤海海域NW和NE向断裂的发育主要与郯庐断裂带和张家口-蓬莱断裂带有关,共同构成新构造期的共轭剪切破裂系统,其中NE向走滑断裂的发育特征可能与不同地区早期先存基底主干断裂和后期构造主压应力方向夹角存在差异有关。大型近EW向断裂带经历了早期伸展和晚期走滑作用的叠加,多表现出铲式主干正断层和浅层走滑分支断层相结合的似花状构造特征,而浅层密集发育的近EW向断裂多是受郯庐断裂走滑作用影响而形成的派生断裂,多具有张性正断层性质。

致谢: 本文研究过程得到了夏庆龙、庞雄奇、薛永安、吕修祥、彭文绪、牛成民和李建平等人的指导和帮助,在此深表谢意。

参考文献

- [1] Chen W P, Nabelek J. Seismogenic strike-slip faulting and the development of the North China Basin [J]. Tectonics, 1988, 7(5): 975-989.
- [2] 严俊君, 马前贵. 渤海海域的郯庐扭断裂及含油气盆地的发育[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1992, 17(1): 31-38.
Yan Junjun, Ma Qiangui. The Tancheng-Lujiang wrench fault system in Bohai Bay area [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1992, 17(1): 31-38.
- [3] 漆家福, 张一伟, 陆克政, 等. 渤海湾新生代裂陷盆地的伸展模式及其动力学过程[J]. 石油实验地质, 1995, 17(4): 316-323.
Qi Jiafu, Zhang Yiwei, Lu Kezheng, et al. Extensional pattern and dynamic process of the Cenozoic rift basin in the Bohai Bay [J]. Experimental Petroleum Geology, 1995, 17(4): 316-323.
- [4] 邓运华. 郯庐断裂带新构造运动对渤海东部油气聚集的控制作用[J]. 中国海上油气(地质), 2001, 15(5): 301-305.
Deng Yunhua. Control of the neotectonism along Tangcheng-Lujiang fracture zone on hydrocarbon accumulation in the eastern Bohai Sea [J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 2001, 15

- (5): 301–305.
- [5] Hsiao L Y, Graham S A, Tilander N. Seismic reflection imaging of a major strike-slip fault zone in a rift system: Paleogene structure and evolution of the Tan-Lu fault system, Liaodong Bay, Bohai, offshore China [J]. AAPG Bulletin 2004, 88 (1): 71–97.
- [6] 龚再升, 蔡东升, 张功成. 郯庐断裂对渤海海域东部油气成藏的控制作用 [J]. 石油学报 2007, 28(4): 1–10.
Gong Zaisheng, Cai Dongsheng, Zhang Gongcheng. Dominating action of Tanlu Fault on hydrocarbon accumulation in eastern Bohai Sea area. Acta Petroli Sinica 2007, 28(4): 1–10.
- [7] 漆家福, 邓荣敬, 周心怀, 等. 渤海海域新生代盆地中的郯庐断裂带构造 [J]. 中国科学 (D 辑) 2008, 38(增刊I): 19–29.
Qi Jiafu, Deng Rongjing, Zhou Xinhui, et al. Structural characteristics of the Tan-Lu fault zone in Cenozoic basins offshore the Bohai Sea [J]. Science in China (Series D) 2008, 38(S1): 19–29.
- [8] 万桂梅, 周东红, 汤良杰. 渤海海域郯庐断裂带对油气成藏的控制作用 [J]. 石油与天然气地质 2009, 30(4): 450–454.
Wan Guimei, Zhou Donghong, Tang Liangjie. Control of the Tan-Lu fault zone on hydrocarbon accumulation in the Bohai Sea waters [J]. Oil & Gas Geology 2009, 30(4): 450–454.
- [9] 李家康. 渤海油气成藏特点及与断层关系 [J]. 石油学报, 2001, 22(2): 26–31.
Li Jiakang. The relationship between the characteristic of hydrocarbon and the fault and hydrocarbon exploration in Bohai [J]. Acta Petroli Sinica 2001, 22(2): 26–31.
- [10] 漆家福. 渤海湾新生代盆地的两种构造系统及其成因解释 [J]. 中国地质 2004, 31(1): 15–22.
Qi Jiafu. Two tectonic systems in the Cenozoic Bohai Bay basin and their genetic interpretation [J]. Geology in China 2004, 31(1): 15–22.
- [11] 余一欣, 周心怀, 魏刚, 等. 渤海湾地区构造变换带及油气意义 [J]. 古地理论 2008, 10(5): 555–560.
Yu Yixin, Zhou Xinhui, Wei Gang, et al. Structural transfer zones and the ir hydrocarbon significances in Bohai Bay area [J]. Journal of Palaeogeography 2008, 10(5): 555–560.
- [12] 周心怀, 余一欣, 魏刚, 等. 渤海辽东湾海域 JZ25–1S 转换带与油气成藏的关系 [J]. 石油学报 2008, 29(6): 837–840.
Zhou Xinhui, Yu Yixin, Wei Gang, et al. Relationship between JZ25–1S transfer zone and hydrocarbon accumulation in Liaodongwan offshore of Bohai Bay Basin [J]. Acta Petroli Sinica 2008, 29(6): 837–840.
- [13] 余一欣, 周心怀, 汤良杰, 等. 渤海海域辽东湾坳陷正断层联接及其转换带特征 [J]. 地质论评 2009, 55(1): 79–84.
Zhou Xinhui, Yu Yixin, Tang Liangjie, et al. Linkages of normal faults and transfer zones in the Liaodongwan depression, offshore Bohai Bay basin [J]. Geological Review 2009, 55(1): 79–84.
- [14] 余一欣, 周心怀, 汤良杰, 等. 渤海湾地区 X 型正断层及油气意义 [J]. 地质学报 2009, 83(8): 1083–1088.
Zhou Xinhui, Yu Yixin, Tang Liangjie, et al. X-pattern normal faults in the offshore Bohai Bay basin and its significance on hydrocarbon [J]. Acta Geologica Sinica 2009, 83(8): 1083–1088.
- [15] 姜丽娜, 邹华耀. 郯庐断裂带渤中–渤南段新构造运动期断层活动与油气运聚 [J]. 石油与天然气地质 2009, 30(4): 462–468.
Jiang Lina, Zou Huayao. Fault activities and hydrocarbon migration and accumulation during the Neotectonic period in the Bozhong–Bonan segment of the Tanlu fault zone [J]. Oil & Gas Geology 2009, 30(4): 462–468.
- [16] 周心怀, 牛成民, 滕长宇. 环渤中地区新构造运动期断裂活动与油气成藏关系 [J]. 石油与天然气地质 2009, 30(4): 469–475.
Zhou Xinhui, Niu Chengming, Teng Changyu. Relationship between faulting and hydrocarbon pooling during the Neotectonic movement around the central Bohai Bay [J]. Oil & Gas Geology 2009, 30(4): 469–475.
- [17] 朱秀香, 吕修祥, 王德英, 等. 渤海海域黄河口凹陷走滑转换带对油气聚集的控制 [J]. 石油与天然气地质 2009, 30(4): 476–482.
Zhu Xiuxiang, Lu Xiuxiang, Wang Deying, et al. Controlling effect of a strike-slip transform belt on hydrocarbon accumulations in the Huanghekou Sag, the Bohai Sea waters [J]. Oil & Gas Geology 2009, 30(4): 476–482.
- [18] 杨桥, 魏刚, 马宝军, 等. 郯庐断裂带辽东湾段新生代右旋走滑变形及其模拟实验 [J]. 石油与天然气地质 2009, 30(4): 483–489.
Yang Qiao, Wei Gang, Ma Baojun, et al. Characteristics and modelling of the Cenozoic right-lateral slip deformation in the Liaodong Bay segment of the Tan-Lu fault zone [J]. Oil & Gas Geology 2009, 30(4): 483–489.
- [19] Casas A M, Gapais D, Nalpas T, et al. Analogue models of transpressive systems [J]. Journal of Structural Geology 2001, 23(5): 733–743.
- [20] 徐杰, 宋长青, 楚全芝. 张家口—蓬莱断裂带地震构造特征的初步探讨 [J]. 地震地质 1998, 20(2): 146–154.
Xu Jie, Song Changqing, Chu Quanzhi. Preliminary study on the seismotectonic characters of Zhangjiakou–Penglai fault zone [J]. Seismology and Geology 1998, 20(2): 146–154.
- [21] 高战武, 徐杰, 宋长青, 等. 张家口—蓬莱断裂带的分段特征 [J]. 华北地震科学 2001, 19(1): 35–42.
Gao Zhanwu, Xu Jie, Song Changqing, et al. The segmental character of Zhangjiakou–Penglai fault [J]. North China Earthquake Sciences 2001, 19(1): 35–42.
- [22] 徐杰, 马宗晋, 陈国光, 等. 中国大陆东部新构造期北西向断裂带的初步探讨 [J]. 地学前缘 2003, 10(特刊): 193–198.
Xu Jie, Ma Zongjin, Chen Guoguang, et al. NW trending active fault zones of the eastern Chinese continent in Neotectonic time [J]. Earth Science Frontiers 2003, 10(Suppl): 193–198.