

文章编号: 0253-9985(2009)04-0455-07

渤海海域新生代褶皱作用

陈书平^{1,2}, 吕丁友³, 汤良杰^{1,2}, 王应斌³, 孙萌思^{1,2}, 屈冬萌^{1,2}, 杨先范^{1,2}[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
资源与信息学院, 北京 102249; 3 中海石油(中国)有限公司 天津分公司, 天津 300000]

摘要: 基于地震资料解释, 总结了渤海海域新生代褶皱作用的类型、控制因素及分布。从力学成因上看, 渤海海域褶皱作用可以划分为 4 种类型, 即与拉张作用有关的、与扭动作用有关的、与重力滑动诱导的挤压作用有关的和与压实、底辟等重力作用有关的褶皱作用。与拉张和挤压有关的褶皱作用发生在古近纪, 分别沿长期活动的控制性断裂和斜坡带分布。与扭动有关的褶皱作用发生在新近纪晚期, 主要分布在盆地东部郯庐断裂经过的地方。重力褶皱中的披覆褶皱作用贯穿于整个新生代, 分布在凸起上; 而盐底辟褶皱作用分布局限, 目前仅在盆地南部的莱州湾凹陷有所发现。从目前渤海海域油气勘探实践看, 沿断裂带分布的与新近纪晚期扭动褶皱相关的圈闭是有利的储油气构造。

关键词: 油气圈闭; 拉张褶皱作用; 扭动褶皱作用; 挤压褶皱作用; 重力褶皱作用; 新生代; 渤海海域

中图分类号: TE121.2 **文献标识码:** A

The Cenozoic folding in the Bohai Sea waters

Chen Shuping^{1,2}, Lü Dinyou³, Tang Liangjie^{1,2}, Wang Yingbin³,
Sun Mengsi^{1,2}, Qu Dongmeng^{1,2}, Yang Xianfan^{1,2}

(1 State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249 China;

2 Faculty of Natural Resource and Information Technology, China University of Petroleum, Beijing 102249 China;

3 CNOOC Tianjin Company, Tianjin 300000 China)

Abstract This paper summarizes the types of the Cenozoic folding, their controlling factors and distribution in the Bohai Sea waters based on seismic data interpretations. According to their mechanical genesis, the folding can be classified into four types which are respectively related to extension, wrench, compression induced by gravity sliding and compaction and diapirism caused by gravity. Extension-related folding and compression-related folding happened during the Paleogene and these two types of folds are distributed along the long-active main faults and slopes respectively. Wrench-related folding happened during the Neogene and the folds are distributed in the eastern part of the Bohai Bay Basin where the Tanlu fault zone passes by. Among the gravity-related folding types, the drape folding had been active in the whole Cenozoic and the folds are distributed on the salient. While the salt diapirism folding was restricted to certain areas and the faults occur only in the Laizhou Bay sag at the south of the basin. The current exploration results in the Bohai Sea waters show that traps located along the faults and related to the wrench folds of the Late Neogene are favorable for oil and gas accumulation.

Key words oil and gas trap; extensional folding; wrench folding; compressive folding; gravity folding; Cenozoic; Bohai Sea waters

渤海海域为渤海湾盆地的重要组成部分, 其发展演化经历了多期、多性质的地质动力作用。渤海海域主体表现为一个裂陷盆地^[1-4], 可以划

分为古近纪裂陷阶段和新近纪后裂陷热沉降阶段, 拉张构造为其主体构造特征。同时, 由于郯庐断裂从其东部切过, 受断裂影响, 盆地构造也表现

收稿日期: 2009-05-04。

第一作者简介: 陈书平(1965—), 男, 博士, 副教授, 构造地质学、大地构造学和盆地分析。

基金项目: 中海石油(中国)有限公司项目(SC06TJ-TQL-004); 国家自然科学基金项目(90814007)。

出走滑扭动构造的特点。盆地演化的拉张阶段和所受的扭动作用,都可伴生褶皱构造,它们在油气圈闭的形成中具有重要意义^[5-9]。本文根据地震资料,对渤海盆地的褶皱类型进行了划分,分析了褶皱作用类型的时空分布特点,讨论了圈闭作用在渤海海域石油勘探中的意义。

1 褶皱构造成因分类

渤海海域的褶皱构造从形成的动力学性质或背景上可以划分为拉张褶皱、扭动褶皱、挤压褶皱及重力褶皱(图 1)。

拉张性褶皱作用以逆牵引褶皱作用为主,其形成机理为剪切褶皱^[10-12]或膝折褶皱^[13],典型代表为 KL10-2 构造(图 2a)。拖曳褶皱作用为剪切褶皱或膝折褶皱的结果,形成的斜坡走向或褶皱长轴方向多与断层延伸方向平行,典型代表为 BZ30-1 构造(图 2b)。强制背斜的概念最初来自盐构造研究^[14],其形成与断块的差异升降有关,典型代表为 JZ20-1 构造 T₃ 反射层以上的褶皱变形(图 2c)。

扭动性褶皱与走滑断层的聚敛性走滑和离散性走滑有关。PL25-6 构造(图 3a)剖面上表现为一系列正断层组成的负花状构造,断层平面上表

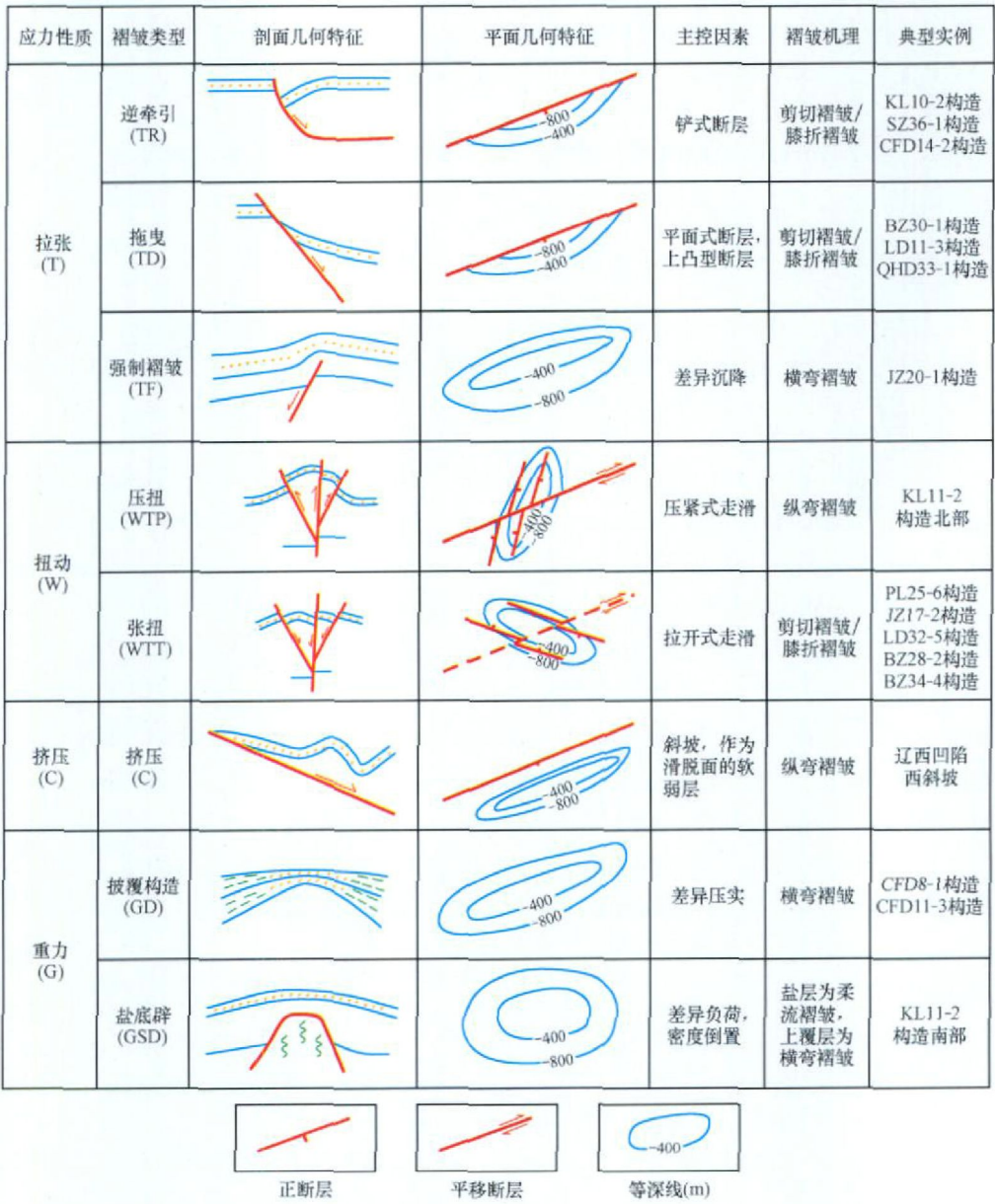


图 1 渤海海域新生代褶皱作用类型

Fig. 1 Types of the Cenozoic folding in the Bohai Sea waters

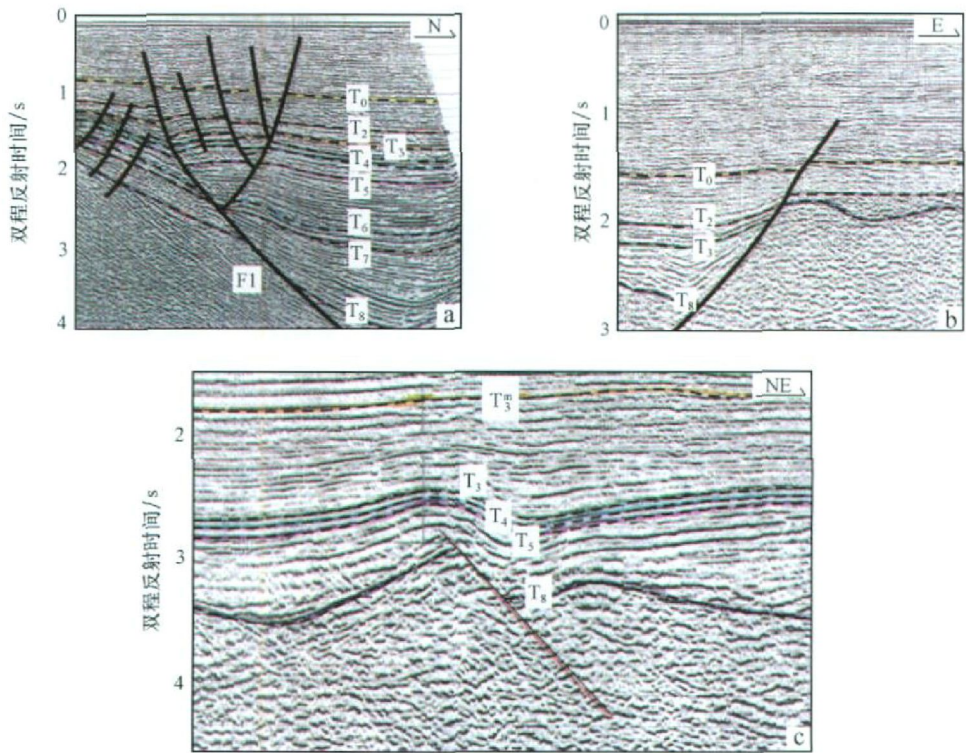


图 2 拉张条件下的褶皱作用

Fig. 2 Extension-related folding

a. 滚动背斜 (KL10-2 构造); b. 拖曳褶皱 (BZ30-1 构造); c. 强制褶皱 (JZ20-1 构造)

T₈. 新生界 (Cz) 底面反射; T₇. 沙四段 (E₂s⁴) 底面反射; T₆. 沙三段 (E₂s³) 底面反射;

T₅. 沙二段 (E₃s²) 底面反射; T₄. 沙一段 (E₃s¹) 底面反射; T₃. 东营组 (E₃d) 底面反射;

T₃^m. 东营组二段 (E₃d²) 底面反射; T₂. 馆陶组 (N₁g) 底面反射; T₀. 明化镇组 (N₂m) 底面反射; F₁. 断层

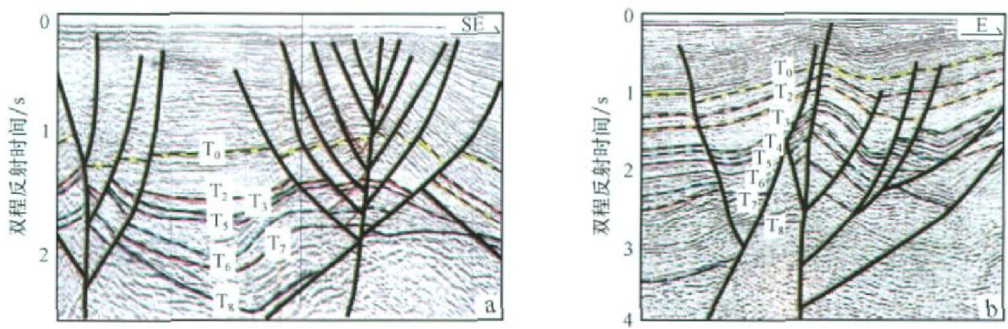


图 3 扭动褶皱作用

Fig. 3 Wrench-related folding

a. 压紧性褶皱 (PI25-6 构造); b. 拉开性褶皱 (KL11-2 构造北部)

(反射层对应的地质层位见图 2)

现为左阶式排列, 反映右行扭动作用, 整体构造形态表现为背斜。KL11-2 构造北部 (图 3b) 整体作北西向延伸, 内部被逆断层复杂化, 组合成正花状构造, 是右行扭动的结果。

挤压褶皱与重力滑动有关, 主要发生在凹陷的斜坡地带。目前发现的这种褶皱作用主要分布在辽西凹陷的西斜坡, 如图 4 中的背斜 A1 和 A2

褶皱卷入的地层为古近系, 基本没有波及到新近系, 与古近纪裂陷时的断块掀斜有关。

重力褶皱作用主要包括披覆构造和盐底辟。披覆背斜的典型代表为 CFD11-3 构造的 T₂ 反射层 (图 5a)。盐底辟背斜的典型代表为 KL11-2 构造南部, 其早期发育在一定程度上与盐的上拱有关^[15] (图 5b)。

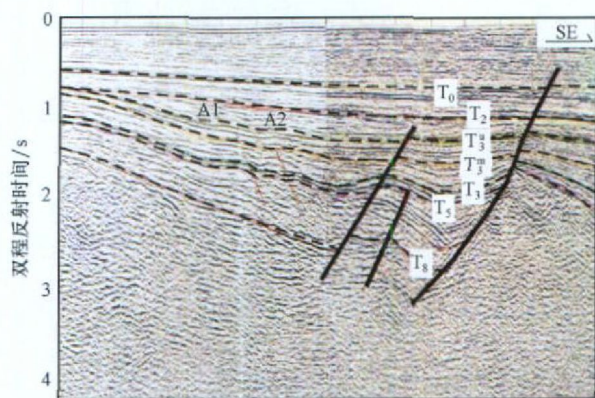


图 4 挤压褶皱作用

Fig. 4 Compression-related folding

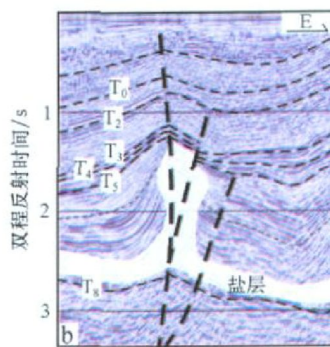
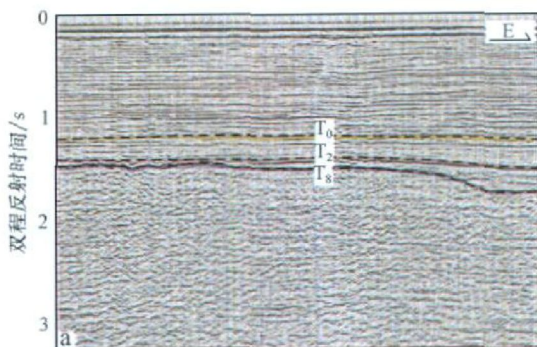
[过 JZ19-2 构造的地震剖面。T₃⁰ 东营组一段 (E₃d¹)
底面反射; 其余反射层对应的地质层位见图 2。]

2 褶皱构造时空展布特征

渤海海域褶皱作用与盆地发育过程有直接对应关系。从时间上看, 古近纪为渤海海域强烈拉张裂陷时期, 此时伴生与拉张作用有关的褶皱作用, 尤其是沿控制凹陷和凸起发育的主断裂附近的牵引褶皱作用和强制褶皱作用 (图 6); 滚动背斜主要发生在古近纪, 莱州湾凹陷北部、渤南凸起东部、沙南凹陷西部和辽西凸起南部等滚动背斜褶皱作用一直延续到新近纪早期。走滑褶皱作用在渤海海域广泛发育, 但主要集中在盆地东部邻庐断裂带经过的地方, 发育时期主要在新近纪晚期到第四纪, 局部地区如莱州湾凹陷、辽西凹陷和辽中凹陷在古近纪晚期也发育走滑褶皱作用, 形成相关的背斜构造。走滑褶皱的排列方式以及与走滑褶皱相关的断层的排列方式都反映出为右旋

走滑活动。与重力滑动有关的挤压褶皱作用主要发育在古近纪晚期, 与断块的掀斜形成的斜坡型地形有关, 如辽西凹陷的西斜坡, 其底部滑脱面为沙河街组三段或四段内部的盐泥层。重力褶皱作用中的披覆褶皱作用则贯穿于整个新生代, 主要发育在凸起内部和凸起边部被断层切割的地方; 盐底辟褶皱作用分布局限, 目前仅在莱州湾凹陷的 KL11-2 构造北部有所发现, 但该构造可能叠加了右旋走滑褶皱作用的影响。

在空间上, 拉张性褶皱作用主要受规模较大的控制盆地凹凸格局的长期活动性断层控制。渤海海域中, 辽东湾地区主要受北北东向正断层控制, 盆地东南部受近东西向正断层控制, 盆地西南部受北西西向正断层控制, 盆地西北部的秦南凹陷受北东向正断层控制, 不同方向展布的断层与盆地整体伸展背景下的局部应力作用方向的改变有关。走滑褶皱作用主要发育在盆地东部, 即邻庐断裂经过的地方, 与邻庐断裂新近纪晚期的右旋走滑有关, 辽东凸起、辽西凸起、渤东凸起、渤南凸起等都有明显的表现。挤压褶皱作用主要发育在辽西凹陷西斜坡, 与基底沿东部控制性断层下滑引起的断块掀斜抬升有关。披覆褶皱作用主要发育在凸起内部和被断裂切割的凸起边部, 如沙垒田凸起、辽东凸起和辽西凸起等。盐底辟褶皱作用目前仅在莱州湾凹陷东部有所发现, 如 KL11-2 构造, 与古近系下部盐层的流动有关。从深、浅层褶皱作用叠合情况看, 盆地西部地区大部分表现为深、浅层褶皱作用一致: ①深层古近系为披覆褶皱作用, 浅层新近系也表现为披覆褶皱作用, 如石臼坨凸起和沙垒田凸起; ②深、浅层都为逆牵引



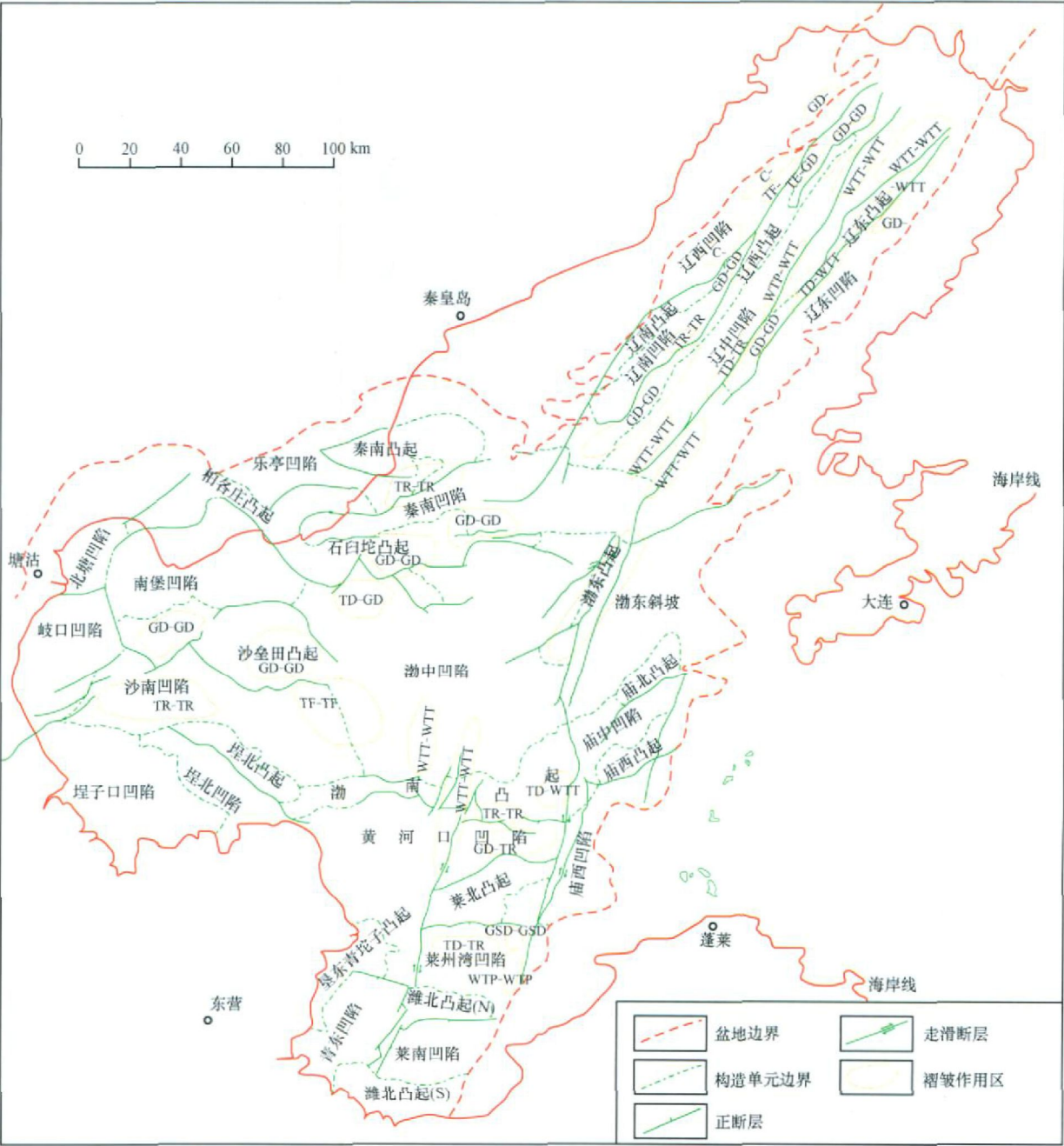


图 6 渤海海域褶皱作用分区

Fig.6 Zonation of folding in the Bohai Sea waters

(褶皱区代号的前半部分代表古近系褶皱作用类型, 后半部分代表新近系褶皱作用类型, 后半部分空缺时说明新近系没有发生褶皱作用。)

T. 拉张; TR. 逆牵引; TD. 拖曳; TF. 强制褶皱; W. 扭动; WTP. 压扭; WTT. 张扭; C. 挤压; G. 重力; GD. 披覆构造; GSD. 盐底辟

褶皱作用, 如秦南凹陷北部。东部地区存在多个褶皱区深、浅层褶皱作用不一致的地方——深层为拉张性褶皱作用或披覆褶皱作用、浅层为走滑褶皱作用, 如渤南凸起中部、渤东凸起、辽东凸起和辽西凸起等, 反映了两个主要褶皱期, 即早期古近纪的拉张性褶皱作用和后期新近纪的走滑性褶皱作用的叠加。

3 褶皱作用与区域构造演化的关系

渤海海域的褶皱作用与其所经历的大地构造环境的变迁及相关盆地演化有关。新生代, 受欧亚板块、印度板块、太平洋板块和菲律宾板块相互作用的影响, 在古新世—早始新世渤海海域进

入初始裂陷阶段^[16-17]。

始新世—渐新世早期,拉开了渤海海域大规模裂陷发育的序幕,与此伴生的正断层活动引起了拉张性褶皱作用^[18-19]。由于受早期先存基底断裂,如北北东向的郯庐断裂和北西向的蓬(莱)张(家口)断裂的影响,渤海海域不同构造部位表现出不同方向的裂陷作用。沿蓬张断裂发育北东向的裂陷作用,主控正断层北西向延伸;盆地东部辽东湾地区受郯庐断裂影响,发生北西—南东向伸展作用,形成北北东向正断层。盆地东南部处于上述两个方向断裂的交界部位,形成近东西向正断层;盆地西北部的秦南凹陷一带,受局部应力状况的影响发育北东向正断层。不同方向的正断层控制着褶皱多方向的展布。

渐新世晚期,裂陷作用逐渐衰减,相应地郯庐断裂带等北北东向深断裂受日本海扩张派生的北东—南西向挤压影响而发生右旋走滑位移,使渤海海域表现出主压应力轴为北东—南西或北东东—南西西向的复杂区域应力场特征^[20]。受此影响,莱州湾凹陷和辽中凹陷局部地区发育压扭性走滑褶皱作用。

新近纪时,随着周边板块构造环境的改变,渤海海域主要表现为在前期裂陷基础上的热冷却沉降,该区进入坳陷发育阶段,断裂活动和褶皱作用都弱。

新近纪晚期,印度板块与欧亚板块再次发生剧烈碰撞作用。该次碰撞作用在青藏高原和天山造山带都有明显的表现^[21-22],加之日本海的进一步打开,郯庐断裂发生右旋走滑活动,渤海海域沿郯庐断裂经过的地方发生与右旋走滑有关的褶皱作用。

4 褶皱作用与油气聚集

渤海海域目前共探明油 $20.6 \times 10^8 \text{ m}^3$, 气 $2\,293.0 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。从目前发现的油气藏来看,它们主要分布在 1 000~2 000 m 深度范围内^[23],地质层位相当于明化镇组下部—东营组上部。在该深度范围的石油储量占渤海海域石油储量的 80% 左右。

从层位上看,石油的分布以新近系为主,占石油储量的 61%。明化镇组、馆陶组和东营组二段

中的石油分别占渤海海域石油储量的 39%, 22% 和 24%, 合计占 85%。

从圈闭的含油气情况看,背斜圈闭中的油气聚集数量较多,探明储量约占渤海海域油气探明储量的 14%; 断背斜油气藏探明储量约占 14%; 断鼻油气藏的探明储量占 13%。上述 3 种类型的油气藏都与褶皱有关,合计占渤海海域油气探明储量的 41%。如果以该比例计算,并考虑层系中的油气比例,则新近系中与褶皱作用有关的油气聚集占盆地总探明储量的 25%; 如果加上东营组二段的油气聚集,则该比例将达到 35%。

渤海海域与褶皱有关的圈闭构造,如背斜、断背斜和断鼻等在石油勘探中占有重要地位。渤海海域油气分布明显受断层控制,而断层与褶皱构造的发育具有紧密的联系。从褶皱发育时间上看,除东营组沉积期间可能存在与伸展有关的褶皱圈闭构造外,发育在东营组二段及其以上地层中的与褶皱作用有关的圈闭构造主要形成于新近纪晚期,与走滑褶皱作用有关。这说明,沿断裂带发育的与新近纪晚期走滑褶皱作用相关的圈闭是圈闭,这也是渤海海域进一步油气勘探应该注意的方向。

5 结论

从力学成因上看,渤海海域褶皱作用可以划分为拉张褶皱作用、扭动褶皱作用、挤压褶皱作用和重力褶皱作用 4 种类型。与拉张作用有关的褶皱作用主要发育在古近纪,盆地内沿控制性断裂广泛分布。走滑褶皱作用主要发育在新近纪晚期到第四纪,分布在盆地东部郯庐断裂经过的地方。挤压褶皱作用主要发生在古近纪时的凹陷斜坡上。重力褶皱作用的披覆褶皱在凸起上广泛分布,而盐底辟褶皱作用分布局限。渤海海域褶皱作用的时空分布反映了盆地新生代构造演化过程及大地构造背景的变迁。从石油勘探角度看,沿主断裂带分布的、与新近纪晚期褶皱作用有关的构造圈闭是圈闭。

参考文献

- 1 李德生. 渤海湾含油气盆地的地质构造特征与油气田分布规律 [J]. 海洋地质研究, 1981, 1(1): 11~20

- 2 陆克政, 漆家福, 戴俊生. 渤海湾新生代含油气盆地构造模式 [J]. 北京: 地质出版社, 1997. 251
- 3 汤良杰, 万桂梅, 周新怀, 等. 渤海海域新生代构造演化 [J]. 高校地质学报, 2008, 14(2): 191~198
- 4 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
- 5 Xiao H, Suppe J. Origin of rollover [J]. AAPG Bulletin, 1992, 76: 509~529
- 6 葛建党. 郯庐断裂在渤中凹陷的构造特征与油气成藏的关系 [J]. 海洋石油, 2001, (1): 14~20
- 7 刘和甫, 李晓清, 刘立群, 等. 伸展构造与裂谷盆地成藏区带 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(5): 537~552
- 8 漆家福, 王德仁, 陈书平, 等. 兰聊断层的几何学、运动学特征对东濮凹陷构造样式的影响 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(4): 451~459
- 9 邓津辉, 周心怀, 魏刚, 等. 郯庐走滑断裂带活动特征与油气成藏关系——以金县地区为例 [J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(1): 102~105
- 10 Rowan M G, Kligfield R. Cross section restoration and balancing as aid to seismic interpretation in extensional terranes [J]. AAPG Bulletin, 1989, 73(8): 955~966
- 11 White N J, Jackson J A, McKenzie D P. The relationship between the geometry of normal faults and that of the sedimentary layers in their hanging walls [J]. Journal of Structural Geology, 1986, 8: 897~909
- 12 Gibbs A. Development of extension and mixed-mode sedimentary basins in continental extensional tectonics [A]. In Cowar M P, Dewey J F, Hancock P L, eds Geological Society Special Publication London, 1987, 28: 19~33
- 13 Williams G, Vann I. The geometry of listric normal faults and deformation in their hanging walls [J]. Journal of Structural Geology, 1987, 9: 789~795
- 14 Withjack M O, Galloway S. Active normal faulting beneath a salt layer: an experimental study of deformation patterns in the cover sequence [J]. AAPG Bulletin, 2000, 84(5): 627~651
- 15 余一欣, 周心怀, 汤良杰, 等. 渤海海域莱州湾凹陷 KL112 地区盐构造特征 [J]. 地质学报, 2008, 82(6): 731~737
- 16 Lee T Y, Lawver L A. Cenozoic plate reconstruction of southeast Asia [J]. Tectonophysics, 1995, 251: 85~138
- 17 Engenbreton D C, Cox A, Gordon R G. Relative motions between oceanic and continental plates in the Pacific basin [J]. The Geological Society of America Special Paper, 206, 1985: 1~59
- 18 马杏垣, 刘和甫, 王维襄, 等. 中国东部中-新生代裂陷作用和伸展构造 [J]. 地质学报, 1983, 57(1): 22~32
- 19 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
- 20 Maruyama S, Isozaki Y, Kimura G, et al. Paleogeographic maps of the Japanese Islands: plate tectonic synthesis from 750 Ma to the present [J]. Island Arc, 1997, 6: 121~142
- 21 汤良杰, 贾承造, 皮学军, 等. 库车前陆褶皱带盐相关构造样式 [J]. 中国科学 (D 辑), 2003, 33(1): 38~46
- 22 Zhou J X, Xu F Y, Wang T C, et al. Cenozoic deformation history of the Qaidam basin, NW China: results from cross-section restoration and implications for Qinghai-Tibet tectonics [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2006, 243: 195~210
- 23 彭文绪, 周心怀, 彭刚, 等. 渤海海域油气藏特征统计分析 [J]. 中国海上油气, 2008, 20(1): 18~21

(编辑 李 军)

(上接第 454 页)

- 18 Mercier J L, Hou M in jing, Vergé P, et al. Structural and stratigraphical constraints on the kinematics history of the Southern Tan-Lu Fault Zone during the Mesozoic, Anhui Province, China [J]. Tectonophysics, 2007, 439(1~4): 33~66
- 19 陈宣华, 王小凤, 张青, 等. 郯庐断裂带形成演化的年代学研究 [J]. 长春科技大学学报, 2000, 30(3): 215~220
- 20 胡圣标, 张容燕, 罗毓晖, 等. 渤海盆地热历史及构造-热演化特征 [J]. 地球物理学报, 1999, 42(6): 748~755
- 21 Hu Shengbiao, O'Sullivan P B, Raza A, et al. Thermal history and tectonic subsidence of the Bohai Basin, northern China: a Cenozoic rifted and local pull-apart basin [J]. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 2001, 126(3~4): 221~235
- 22 薄景山, 陶夏新, 周宏. 渤海裂谷系的形成和演化 [J]. 东北地震研究, 1996, 12(3): 7~14

(编辑 李 军)