

文章编号: 1001-6112(2006)05-0409-05

渤海湾盆地边缘凹陷的构造意义

张树林, 费 琪, 叶加仁

(中国地质大学, 武汉 430074)

摘要:渤海湾盆地边缘凹陷反映出盆地形成演化具有继承性、多向伸展、旋转走滑的被动裂谷性质。结合盆地主体凹陷的构造特点, 总结出盆地新生代的裂陷作用是在区域构造应力作用和块体差异运动背景下发生的, 在块体间不均衡向北推移引起向北伸展的同时, 由于华北亚板块东西两端向北运动速率和距离的差异, 引起板内的北西向拉张。在块体差异运动过程中, 郯庐断裂起了走滑调节作用。渤海湾盆地的成盆模式可总结为: 地壳拉张—表壳破裂伸展和下岩石圈粘弹性流变减薄—地幔上隆—幔源物质侵入和部分熔融—(表壳上升剥蚀)—热沉降。

关键词:边缘凹陷; 断陷盆地; 盆地演化; 渤海湾盆地

中图分类号: TE121.2

文献标识码: A

在断陷盆地分析中, 边缘凹陷具有埋藏浅、构造遗迹便于辨认以及很多边缘凹陷处于构造枢纽带的优势, 能对研究盆地形成演化提供大量有用信息。本文在总结边缘凹陷提供的盆地演化信息的基础上, 结合渤海湾盆地的总体构造特点以及深部和区域地质信息, 探讨渤海湾盆地的形成演化机制。

1 渤海湾盆地的内部结构与构造

渤海湾盆地上第三系和第四系拗陷构造层的构造比较简单, 除渤海湾和附近地区断裂及相关构造较发育外, 地层总体为简单的向盆地中心下凹或近水平的状态。下第三系断陷构造层为一套含生油岩的湖相沉积, 分割性强, 每个凹陷为一个沉积和沉降中心, 每个拗陷都是一个独立或半独立的湖盆体系。断陷主要沿北北东、北东和近东西向断层分布, 形成长条形单断半地堑和双断地堑。根据凹陷(凸起)的走向和构造特征可以把渤海湾盆地分为 3 个构造区(图 1): 中部为近南北向伸展构造区, 构造走向以近东西向或北东东向为主, 为凸凹相间的构造格局, 凹陷以北断南超或双断为特点; 西部为北西—南东向伸展构造区, 构造走向为北东、北北东, 凹陷以北西断南东超为主; 东部为北北东向走滑构造区, 沿郯庐断裂带分布, 在北部形成北北东向狭长深凹的单断凹陷, 在南部形成拉分盆地样式的菱形凹陷。在 3 个构造区之间, 西部北西—南东向伸展构造区与中部近南北向伸展构造区呈弧形过渡或由横向断层调节; 中部近南北向伸

展构造区与东部北北东向走滑构造区多以断层分界, 过渡带的凹陷往往受伸展断层和走滑断层共同控制。按照裂陷动力机制可将凹陷分为走滑、伸展和转换 3 种类型。

1.1 走滑型凹陷

以盆地东侧北北东向凹陷为代表。除南部早期发育拉分型菱形凹陷(如潍北凹陷)外, 下辽河拗陷内的凹陷结构与伸展凹陷相似, 以单断箕状凹陷

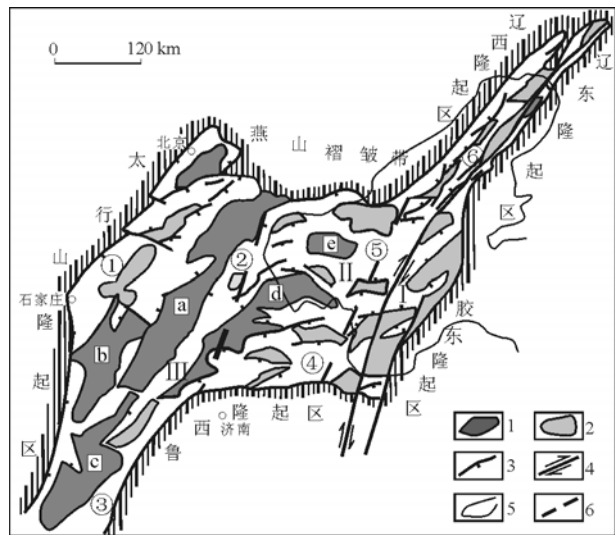


图 1 渤海湾盆地构造单元划分

1. 隆起区; 2. 凸起构造带; 3. 正断层; 4. 走滑断层; 5. 海岸线; 6. 构造分区线; ①冀中拗陷; ②黄骅拗陷; ③临清—东濮拗陷; ④济阳拗陷; ⑤渤中拗陷; ⑥下辽河—辽东湾拗陷; a. 沧县隆起; b. 邢衡隆起; c. 内黄隆起; d. 埕宁隆起; e. 沙垒田隆起; I. 北北东向走滑构造区; II. 近南北向伸展构造区; III. 北西向伸展构造区

Fig. 1 Structural units in the Bohai Bay Basin

收稿日期: 2006-07-31; 修订日期: 2006-09-09。

作者简介: 张树林(1962—), 男(汉族), 博士、教授, 主要从事盆地构造和油气成藏研究与教学。

基金项目: 国家自然科学基金项目(40172051)。

为主,但边界断层陡直,具有明显的走滑特征^[1]。凹陷狭长,且一般断陷较深,长宽比一般大于 10 : 1,凹陷宽度与沉积盖层厚度比一般在 2 : 1 左右,甚至达到 1 : 1,表壳伸展率一般小于 10%。在较小的区域内,沉积幅度大,反转构造幅度也大,反映了受走滑活动的影响。因此,这类凹陷一般都以郯庐断裂为边界断层,其形成和演化与郯庐断裂张扭运动有关。

1.2 伸展型凹陷

渤海湾盆地西部与中部构造区同为伸展构造区,都为凹凸相间的构造格局,大部分凹陷以单断为主,即凹陷一侧受边界主断层控制,另一侧向凸起超覆。控凹边界断层倾角较缓,呈犁式、座椅式或平面式,具有明显拉张正断的特点。由于断层走向的变化,局部有一定走滑分量,凹陷长宽比一般小于 6 : 1,凹陷宽度与沉积盖层厚度之比一般大于 3 : 1,表壳伸展率在 10%~35%左右。

1.3 转换型凹陷

分布在中部近南北向伸展构造区东部,凹陷主体以北断南超的伸展断陷为主,但受郯庐断裂影响,东侧边界为走滑断层切割(图 2)。

2 边缘凹陷反映的渤海湾盆地形成演化特点

2.1 伸展破裂面具有继承性

大部分边缘凹陷揭示出在断陷初期具有多沉降中心,不同方向的断层都可能产生断陷。随着断陷作用的增强,断层活动才向一定方向的断层集

中,其他方向的沉降中心逐步被边缘化。众多废弃型边缘凹陷说明这些破裂面不是在断陷期统一应力场作用下新生的,而是利用先期存在的破裂面正断活动。有些边缘凹陷还能清楚看到其边界断层就是利用早期的逆断层,如临清拗陷东部的梁村洼陷,洼陷发育在古生代断背斜和中生代凸起之上,控洼断层为先期逆断层反转活动(图 3)。

无论是边缘凹陷还是主体凹陷,大部分控凹断层都有多段联合的特点,而且在断陷早期各段的活动性差异比较大,随着断陷作用不断加强才逐步统一,反映出利用前期多条断层、在断陷作用下逐步归一的特点。

先期破裂面的存在使得盆地形成演化的边界条件复杂化,因此就不能简单地根据盆地形态用破裂理论解释盆地的形成。

2.2 渤海湾盆地的被动裂谷性质

首先,伸展具有明显的方向性。渤海湾盆地中部近南北向伸展^[2,3],以北断南超为主,西部为北西—南东向伸展,以西断东超为主,两者之间呈弧形过渡。临清拗陷北部和黄骅拗陷南部都处于这 2 个构造区的过渡带,是调节型边缘凹陷主要发育区,无论近东西向还是北东向的调节型边缘凹陷都表现为断陷,具有“盆—岭”结构,在断陷期没有明显大规模走滑或拉分的现象。

第二,多期构造反转显示了构造应力作用的影响^[4]。尽管反转构造的区域分布和方向还不清楚,但多期反转作用是明显的,至少存在沙四段、沙二段和东营组沉积末 3 期,也就是说每个断陷旋回结束都发生过构造反转。

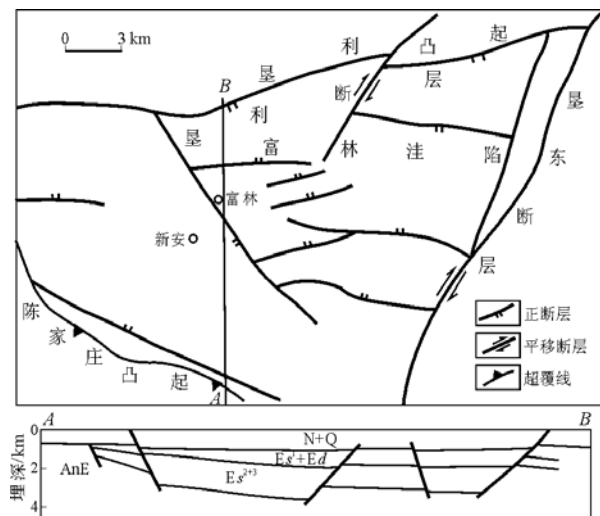


图 2 渤海湾盆地富林洼陷构造纲要
Fig. 2 Structural sketch map of the Fulin Sag in the Bohai Bay Basin

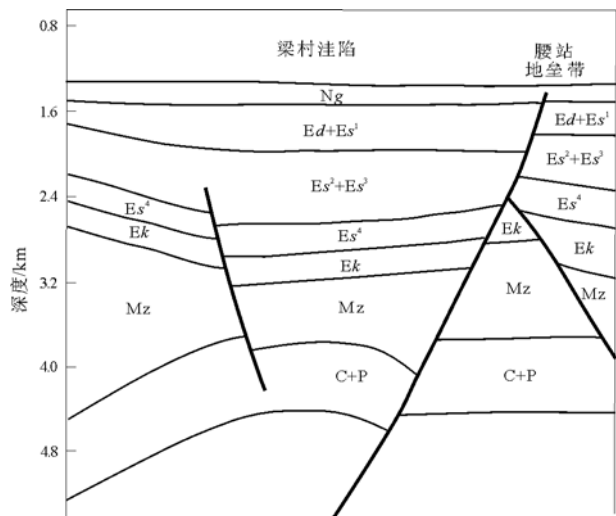


图 3 渤海湾盆地梁村洼陷剖面
Fig. 3 Structural section in the Liangcun Sag in the Bohai Bay Basin

第三, 岩浆活动频繁, 火成岩具有多期次喷发、分布范围较广、总体体积不大的特点。过渡型和调节型边缘凹陷的火成岩研究表明, 新生代岩浆活动始于始新世初, 主要活动期在早第三纪和晚第三纪, 第四纪仍有火山活动, 在平面上多沿基底断裂附近喷发。火山岩岩石化学特征分析表明, 区内火山岩属拉张环境下大陆裂谷盆地的产物, 岩石化学性质有从中基性向基性转化的趋势。幔源玄武岩微量元素换算的软流圈深度数据显示地幔上隆与表壳裂隙协调发展, 裂隙前的 (125 km) 与邻区一致, 没有所谓地幔上隆表壳抬升剥蚀阶段。沙三段和东营组沉积时期分别为 95 和 65 km, 馆陶组沉积时期的软流圈深度与现今接近, 为 50 km。

2.3 走滑与伸展的关系

在渤海湾盆地断陷过程中, 郯庐断裂在下辽河—辽东湾和渤中拗陷的走滑早被前人证实^[1], 转换型凹陷的走滑与南北伸展是同期的。但潍北凹陷被废弃表明, 渤海湾盆地范围内郯庐断裂的整体走滑只发生在断陷早期, 随着济阳、黄骅和渤中拗陷大规模的南北向伸展, 郯庐断裂在济阳拗陷以南段的走滑作用不明显, 走滑现象主要发生在济阳拗陷东侧和下辽河—辽东湾、渤中拗陷, 济阳拗陷仅在东端发育转换型凹陷, 真正走滑所造成的沉降和挤压主要表现在下辽河—辽东湾和渤中拗陷。表明郯庐断裂的走滑与渤海湾盆地中部的南北向伸展是有关联的。

渤海湾盆地西部伸展区的断层没有明显的走滑迹象, 而中部伸展区的北部发育有明显的东西向走滑断层, 如南堡凹陷的北高断层, 在北堡段为典型的花状构造, 沿边界伸展断层的基底段垂向上生长(图 4), 表明基底断块发生了一定的平移^[5,6]。南堡北部洼陷被废弃后, 北高断层高尚堡段同时还

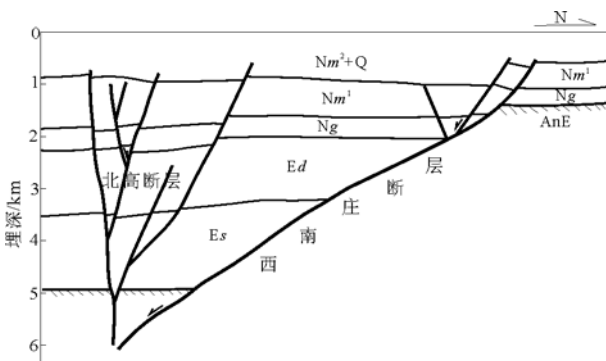


图 4 渤海湾盆地南堡凹陷伸展边界断层与走滑断层(北堡段)

Fig. 4 Extension and strike-slip faults in Beipu, the Nanpu Sag, the Bohai Bay Basin

起伸展作用, 北部洼陷被废弃可能也与走滑形成东西向断层有关。

3 渤海湾盆地形成演化的动力学及运动学特点

3.1 伸展与走滑作用

中国大陆地处印度板块、欧亚板块和太平洋板块的交会部位, 在中国大陆西南侧, 印度板块以 50 mm/a 的速度向欧亚板块推进, 在中国西部产生向北的强烈推挤力; 在中国东部, 太平洋板块向欧亚板块的俯冲和日本海的弧后扩张, 相当于施加了一个北西西向的推挤力。因此, 印度板块和太平洋板块作用的综合效应, 在中国大陆区形成了主压应力轴由西部的近南北向有规律地向东部偏转成北东东向的总体应力场格局(图 5)。在这样的区域应力场作用下, 中国西部地壳除在逆冲断裂带附近缩短外, 其间的塔里木和甘青块体等以 14~15 mm/a 的速率向北运动。向东由于主压应力轴逐渐向东偏转, 其向北的作用力分量将会有规律地依次递减, 包括青藏高原东缘的川滇菱形块体、甘青块体东部和华北亚板块西部等地区随印度板块的大规模向北推进而被动地向北运动, 运动幅度和速度向东逐渐减小, 使得包括华北及其邻区在内的中国东部广大地区自早第三纪以来普遍被动地发生了大规模的顺时针转动^[7]。据早第三纪玄武岩和砂岩的古地磁磁偏角计算, 华北及其邻区顺时针转动大约 10.6°, 其中华北亚板块的顺时针转动量较西部的新疆和田地区要大 1.6°~3.5°(图 6)^[8]。

渤海湾盆地新生代的裂陷作用就是在上述区域应力作用和块体差异运动背景下发生的, 在块体间不均衡向北推移引起向北伸展的同时, 由于华北亚板块东西两端向北运动速率和距离的差异, 引起板内的北西向拉张。具体表现为燕山褶皱带和太

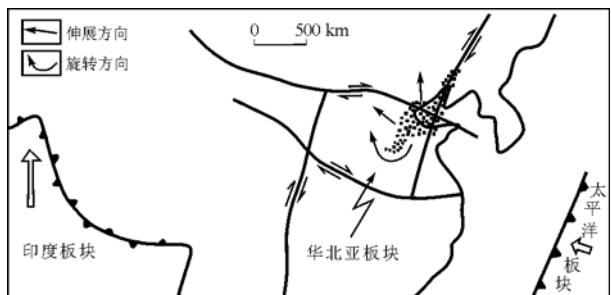


图 5 渤海湾盆地形成演化与板块相互作用

Fig. 5 Relation between the formation of the Bohai Bay Basin and the actions among plates

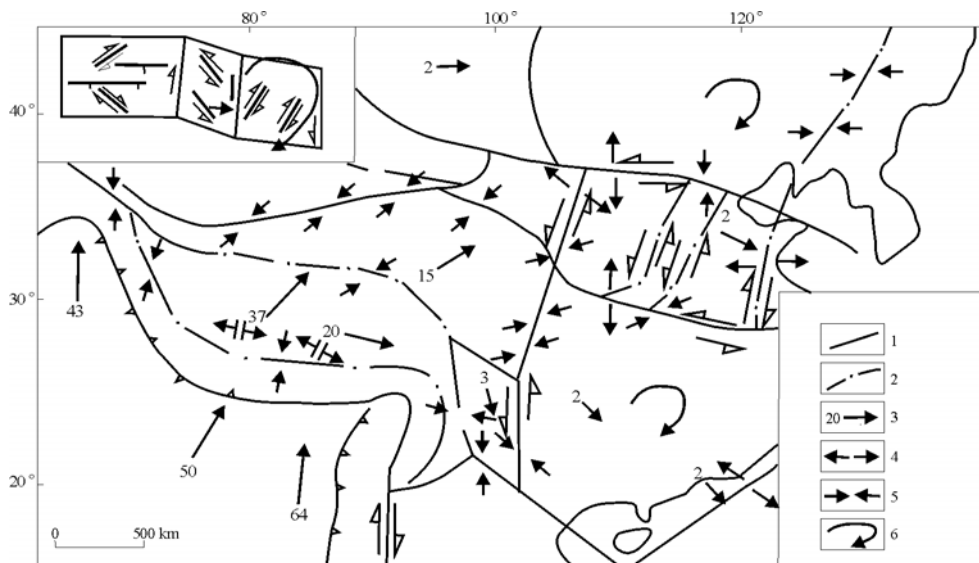


图 6 华北及其相邻块体运动示意^[8]

1. 亚板块边界; 2. 板块边界; 3. 亚板块与块体相对运动方向和速率/(mm · a⁻¹);
4. 伸展方向; 5. 区域压缩方向; 6. 亚板块转动方向

Fig. 6 Movements of the North China and its adjacent plates

行山隆起向北和北西运动, 昌黎和太行山山前断裂发生正断作用, 在这 2 条边界断层正断作用的控制下, 其南和南东的断块发生掀斜伸展, 形成渤海湾盆地早第三纪北东—近东西走向多凸多凹的构造格局。在块体差异运动和上述掀斜伸展运动过程中, 郯庐断裂起了走滑调节作用, 使剪切应力得到有效释放。同时, 在郯庐断裂带形成一系列走滑型凹陷。

3.2 深部地质作用过程

华北地区岩石圈结构具有纵向分层及横向分区的变化特点^[9]。这种岩石圈结构纵横向上的不均一性, 为中生代以来渤海湾地区岩石圈分层拆离提供了物质基础。深部地球物理研究表明, 渤海湾地区莫霍面埋深与地表升降变化呈明显的“镜像对应”关系, 总体表现为拗陷区地壳强烈减薄, 上地幔隆升, 而隆起区地壳较厚的特点。说明盆地地壳伸展减薄, 浅部构造与深部构造相呼应, 有内在的成生关系。

天然地震的震源深度表明, 渤海湾盆地的表壳脆性破裂伸展作用主要发生在 10~12 km 范围内, 其他的伸展和沉降作用与深部的粘弹性流变有关, 表壳断块掀斜伸展与深部流变伸展之间的过渡带往往是滑脱剪切带, 深部地球物理资料得出的 10~12 km 低速层证实了这一滑脱剪切带的存在^[10]。但长期以来, 对渤海湾盆地地壳厚度和岩石圈厚度与表壳沉积厚度呈镜像关系的形成演化存在着是表壳破裂伸展引起深部流变、还是深部流

变引起表壳破裂伸展的争论。幔源玄武岩微量元素换算的软流圈深度数据表明, 地幔上隆是由表壳破裂伸展引起的, 即渤海湾盆地属被动裂谷性质。因此, 渤海湾盆地的成盆模式可总结为: 地壳拉伸—表壳破裂伸展和下岩石圈粘弹性流变减薄—地幔上隆—幔源物质侵入和部分熔融—(表壳上升剥蚀)—热沉降。这个过程可能是多次重复, 至少有孔店组—沙四段、沙三段—沙二段、沙一段—东营组和上第三系—第四系沉积时期 4 幕。

4 结论与讨论

由上述可见, 渤海湾盆地属大陆裂谷盆地, 不是由于软流圈上拱、导致岩石圈热膨胀隆起—冷却收缩形成的裂谷盆地, 其软流圈平衡的破坏与区域应力场的作用密切相关。如古生代末期—三叠纪的扬子板块与华北板块的聚敛缝合^[11], 中生代库拉板块、新生代太平洋板块相对欧亚大陆东部边缘的俯冲, 中生代的特提斯板块、新生代印度洋板块向北推移与欧亚大陆的碰撞, 以及渤海湾盆地东部边界断裂——郯庐断裂中、新生代的走滑位移活动等均对渤海湾盆地的形成和演化起着重要的控制作用。因此, 可将研究区中新世代裂陷作用动力学过程总结如下:

古生代末期—三叠纪, 扬子板块与华北板块的聚敛运动以及库拉板块向华北板块的俯冲使包括研究区在内的华北地区大范围隆起, 此时研究区处于大型复式隆起的向斜部位, 接受了三叠系沉积。

侏罗纪—早白垩世,东部的库拉板块继续向北推挤,迫使处于板块边缘的中国东部地区继续挤压上隆,侵蚀作用和岩石圈断裂使岩石圈变薄并激发地幔垫形成,从而出现拱张断陷并伴有大量的岩浆活动,渤海湾盆地表现为右旋应力场。

晚白垩世,位于库拉板块南部的太平洋板块范围扩大,向北北西方向挤压,迫使库拉板块运移至日本海附近(日本海产生),板块的俯冲作用和盆地地区早期的裂陷作用使华北地区出现了大范围的地幔异常,造成岩石圈热膨胀隆起,地表遭受了强烈的剥蚀夷平。

古新世—渐新世时期开始,在印度板块和太平洋板块的共同作用下,渤海湾地区发生多期裂陷和反转。裂陷主要与印度板块向北推移有关,反转作用可能与太平洋板块的关系更密切。

晚第三纪以后,断陷作用基本结束,以热沉降为主。

参考文献:

- 1 漆家福,陈发景. 辽东湾—下辽河裂陷盆地的构造样式[J]. 石油与天然气地质,1992,13(3):272~283
- 2 谢锐杰. 渤海湾盆地东营凹陷北部地区新生代构造演化特征研究[J]. 石油实验地质,2004,26(5):427~431
- 3 马丽娟,郑和荣. 渤海湾盆地东营凹陷中央隆起带构造特征[J]. 石油实验地质,2006,28(2):103~108
- 4 王燮培,严俊君,林 军. 反转构造及其石油地质意义[J]. 地球科学——中国地质大学学报,1989,14(1):101~108
- 5 张树林,朱水安. 南堡凹陷构造样式及其演化[J]. 复式油气田,1999,(2):49~53
- 6 Harding T P. Seismic characteristics and identification of negative flower structures, positive flower structures, and positive structural inversion[J]. AAPG Bulletin,1985,69(4):582~600
- 7 刘泽容. 冀鲁帚状构造体系应力场的初步数学模型[J]. 石油与天然气地质,1983,4(2):181~191
- 8 徐锡伟,程国良,马杏垣. 华北及相邻块体转动模式和动力来源[J]. 地球科学——中国地质大学学报,1994,19(2):129~138
- 9 吕俊祥,黄泽光,翟常博. 南华北地区中新生代盆地成盆环境分析[J]. 石油实验地质,2005,27(2):118~123
- 10 马杏垣. 中国及临近海域岩石圈动力学图[M]. 北京:地质出版社,1986
- 11 吉让寿,高长林,秦德余. 华北与扬子两板块的拼贴方式与扬子北缘古生代盆地应变特征[J]. 石油实验地质,2004,26(2):143~152

STRUCTURAL SIGNIFICANCE OF BRINK SAGS IN THE BOHAI BAY BASIN

Zhang Shulin, Fei Qi, Ye Jiaren

(China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China)

Abstract: According to the structural characteristics of brink sags in the Bohai Bay Basin, the formation and evolution of the basin show the characteristics of passive rift basins, which are provided with inheritance, multi-direction extension and rotation strike-slip. In co-ordination with the structural characteristics of host sags, the rift-subsidence which occurred in Cenozoic in the background of area stress actions and fault-block movements in the Bohai Bay Basin is summarized in this paper. Together with the northward extension caused by the unbalance of fault-blocks moving northward, the northern plate extended north-westward inner due to the difference of movement between speed and distance from the east to the west of the plate. During the differential movement of fault-blocks tilting and extending process, the Tan-Lu fault belt adjusted in the strike-slip process and made shearing stress release effectively. At the same time, a series of strike-slip sags were formed along the fault belt. The formation model of the Bohai Bay Basin can be summed up as: the crust extension—the crust rift and extension as well as the sub-geosphere viscoelasticity rheid becoming thinner—the mantle uplift—the mantle plume invasion and melting—the crust rise and erosion—the thermal subsidence.

Key words: brink sags; faulted basins; basin evolution; the Bohai Bay Basin