

渤海湾新生代盆地的两种构造系统 及其成因解释

漆家福

(石油大学石油天然气成藏机理教育部重点实验室, 北京 102249)

提要:渤海湾古近纪盆地可以划分为 3 个裂陷带和 1 个裂陷区, 都分布在上地幔隆起部位。盆地构造变形可以分为伸展构造和走滑构造两个相对独立、相互关联的新生代构造系统。伸展构造由不同尺度的伸展断层和与伸展断层垂直或斜交的变换断层构成连锁断层系统, 在盆地区具有分散的透入性特点, 并控制着古近纪断陷的分布和演化。在伸展构造变形基础上叠加了 3 条北北东向—北东向右旋走滑断裂(带), 后者及其伴生构造组成盆地中的呈带状展布的新生代走滑构造系统。伸展构造是一种“水平层状的”薄皮构造。正断层向深部收敛或终止于中地壳内的拆离断层面上。走滑构造是一种“垂直带状的”厚皮构造。浅层的走滑断层以多种方式并入到深断裂带中。这两种构造系统是盆地区新生代时期主动裂陷和被动裂陷两种作用机制的具体表现。

关键词:裂陷盆地; 伸展构造; 走滑构造; 渤海湾

中图分类号: P736.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2004)01-0015-08

渤海湾新生代盆地在剖面结构上包括两个层序, 即沉积作用明显受同生断层控制的古近系和沉积作用基本上不受断层影响的新近系—第四系。古近纪的断层作用还伴随有大量的火山作用, 且以玄武岩系列为主, 新近纪—第四纪时期的火山作用强度明显减弱^[1-3]。大量的地壳测深资料表明盆地区的地壳明显薄于周边山区(或隆起区), 且盆地内部的上地幔隆起与盆地基底面呈镜像反映^[4]。这些宏观的地质—地球物理现象表明渤海湾新生代盆地是一个陆内的裂陷盆地^[4]。裂陷盆地的重要特征之一是沉积凹陷的沉降—沉积中心的分布和迁移规律受伸展断层系统控制, 其中主干伸展断层的几何学和运动学特征起主要作用。但是, 渤海湾盆地也有明显的新生代走滑构造变形形迹。笔者在 1995 年曾用 NNE-NE 向伸展构造和 NNE 向右旋走滑构造两个相对独立和相互关联的构造系统来概括渤海湾新生代盆地构造特点^[5], 并认为伸展构造系统控制了古近纪盆地形成和演化^[6,7]。近几年的研究工作进一步支持和修正了这一基本认识, 并认为这两种构造系统是盆地区主动裂陷和被动裂陷两种作用机制的具体表现。

1 渤海湾盆地古近纪断陷构造基本格局

在石油勘探中, 通常将渤海湾新生代盆地划分为 7~8 个

拗陷和若干分隔拗陷的隆起。这种划分方案主要是考虑古近纪断陷的分布。这些断陷基本上分布在地壳或岩石圈减薄部位, 大致构成 3 个 NNE 向延伸的裂陷带和 1 个裂陷区, 即: (1) 由冀中拗陷、临清拗陷西部和汤阴地堑组成的冀中—汤阴裂陷带; (2) 由黄骅拗陷、临清拗陷东部和东濮凹陷组成的黄骅—东濮裂陷带; (3) 由下辽河拗陷、辽东湾拗陷、渤中拗陷东部和昌潍拗陷组成的下辽河—昌潍裂陷带; (4) 由渤中拗陷和济阳拗陷的主体部分组成的渤中—济阳裂陷区。其中黄骅—东濮裂陷带和下辽河—昌潍裂陷带呈右阶斜列, 渤中—济阳裂陷区将它们连接在一起, 事实上已经将渤海湾古近纪盆地区划分为东西两个相对独立的部分, 使整个盆地区在平面上显示出中间膨大的 N 型轮廓(图 1)。裂陷区的地壳厚度大致为 28~32 km, 盆地内部及周边隆起区的地壳厚度一般为 32~36 km^[8]。

渤海湾盆地区共发育约 65 个相对独立的古近纪断陷。控制断陷发育的边界断层主要有 NNE 向、NE 向、NW 向、NNW—近 EW 向等 4 组。单个断陷可以受一条或多条不同方向的边界断层约束, 剖面上表现为半地堑或地堑构造特征。在平面上, 3 条裂陷带中的单个断陷以 NNE 向、NE 向为主, 并呈带状展布。其中一些 NNW—近 EW 向的横向断裂

收稿日期: 2003-09-05; 改回日期: 2003-10-31

基金项目: 国家“973”项目(G1999043303)资助。

作者简介: 漆家福, 男, 1957 年生, 博士, 教授, 从事构造地质学、盆地分析等方面的教学与科研工作; E-mail: jqf@bjpeu.edu.cn。

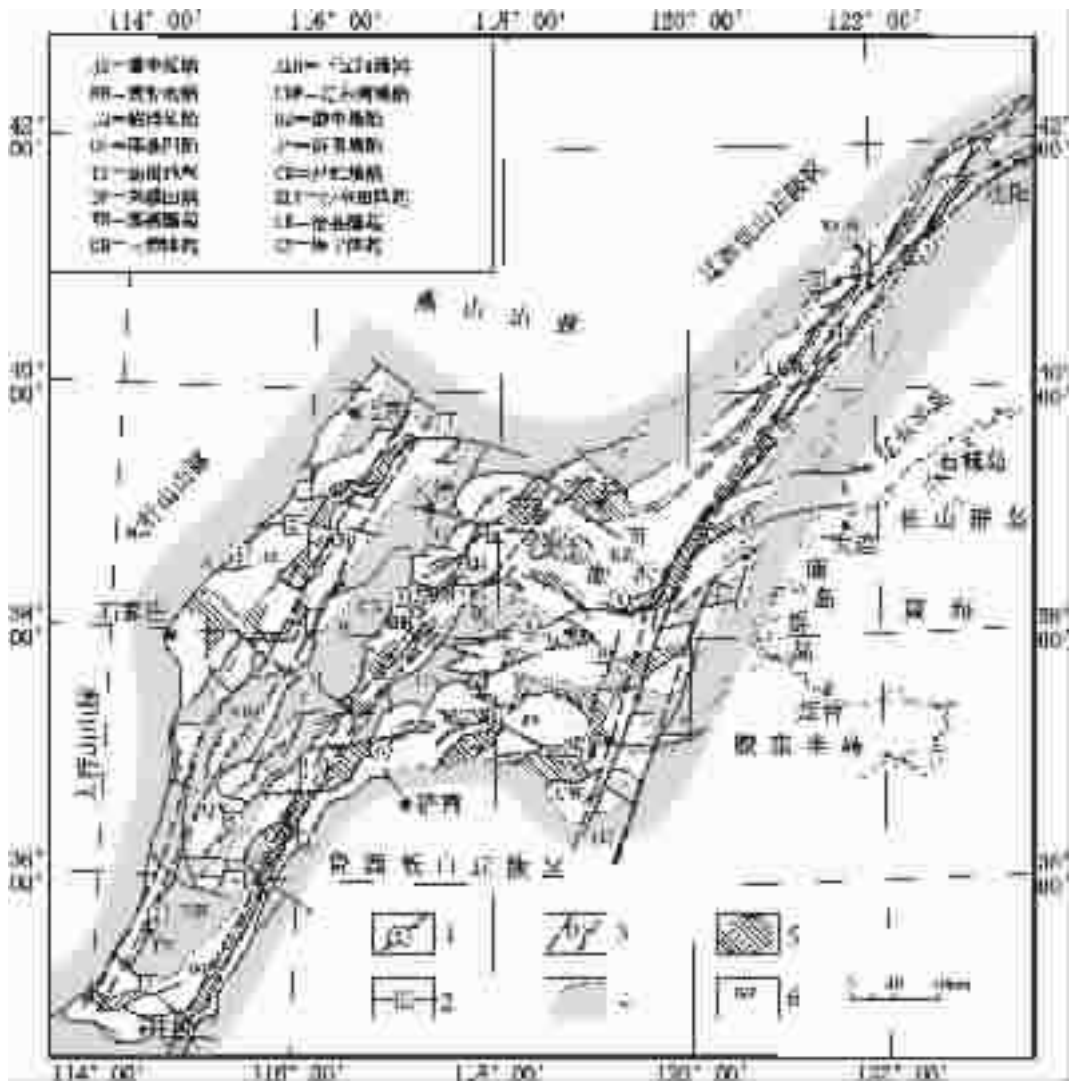


图 1 渤海湾新生代盆地区构造轮廓简要图

- 1—主要伸展断层:①—太行山前断层;②—汤阴地堑东边界断层;③—沧东断层;④—聊兰断层;⑤—邱县凹陷东边界断层;
 ⑥—济阳拗陷北边界断层;⑦—下辽河—辽东湾拗陷东边界断层带;⑧—渤东凹陷西边界断层;⑨—渤中凹陷东边界断层带;
 ⑩—昌潍拗陷北边界断层;2—区域性变换断层:①—冀中拗陷北缘断裂带;②—牛南断层;③—石家庄—衡水断层;④—内黄隆起北缘断裂带;
 ⑤—内黄隆起南缘断裂带;⑥—海河—新港断裂带;⑦—羊三木—羊二庄断裂带;⑧—辽河口近 EW 向断裂带;⑨—秦南断裂带;
 ⑩—埕岛—垦利断裂带;⑪—无棣—石村断裂带;3—NNE 向右旋走滑构造系统的主位移带:(1)—沈阳—潍坊断裂带;(2)—黄骅—东明断裂
 带;(3)—霸县—束鹿—邯郸断裂带;4—缺失古近系的隆起和高凸起;5—拗陷内部的低凸起;6—主要构造单元名称,代码说明见图左上角

Fig. 1 Cenozoic tectonic sketch map in Bohai Bay basin province

- 1—Major extensional faults: ①—Taihangshan foothill fault; ②—East boundary fault in the Tangyin Graben; ③—Cangdong fault; ④—Lialan fault;
 ⑤—East boundary fault in Qixian Sag; ⑥—North fault in Jiyang Depression; ⑦—East boundary fault in the Xiaohahe—Liaodongwan depression;
 ⑧—West boundary fault in the Bodong Sag; ⑨— East boundary fault in the Bozhong Sag; ⑩— North boundary fault in the Changwei Depression;
 2—Regional transfer faults: ①— North marginal fault in the Jizhong depression; ②—Niunan fault; ③—Shijiazhong—Henhshui fault;
 ④—North marginal fault in Neihuang uplift; ⑤—South fault in Neihuang uplift;⑥— Haihe—Xingang fault; ⑦— Yangerzhuang—Yangshanmu fault;
 ⑧—Nearly E—N—trending Liaohokou fault; ⑨—Qinnan fault zone;⑩—Chengdao—Kengli fault zone;⑪—Wudi—Shicun fault zone; 3—PDZ of NNE
 -trending dextral strike-slip fault: (1)—Shenyang—Weifang fracture zone; (2)—Huanghua—Dongming fracture zone; (3)—Baxian—Shulu—Handan
 fracture zone; 4—Uplift and high rise without the Palaeogene; 5—Low rise in the interior of the depression;
 6—Name of tectonic unit,for the code explanation,see the upper left corner of figure

和横向构造使裂隙带分隔成不同的区段。裂隙区内的单个断陷往往受多组断裂控制,总体上表现为近 EW 向走向。裂隙带和裂隙区内部都由 2~3 个平等排列的半地堑、地堑式断陷带及夹持其间的半地垒、地垒式凸起带组成,并被一些横向断层、构造带分隔成若干段。单个半地堑(地堑)式断陷带亦往往包含着相间排列的次级半地堑(地堑)和次级半地垒(地垒)构造和次级的横向构造。盆地构造在不同尺度上具有一定的自相似性,不同尺度的断层控制不同规模的沉积单元,

若干个相似的或有成因联系的次级构造-沉积单元构成了更高级别(尺度)的构造-沉积单元,表现出由不同尺度的 NNE 向、NE 向、NW 向、NWW—近 EW 向等多组断裂交织构成的盆地基本构造格局。

从新生代构造变形组合以及盆地中古近系层序结构反映出的不同方向断裂的运动学特征分析,渤海湾盆地中不同尺度、不同层次的断裂体现了盆地形成和演化过程中地壳的两种变形方式,即伸展构造变形和右旋走滑构造变形,形成

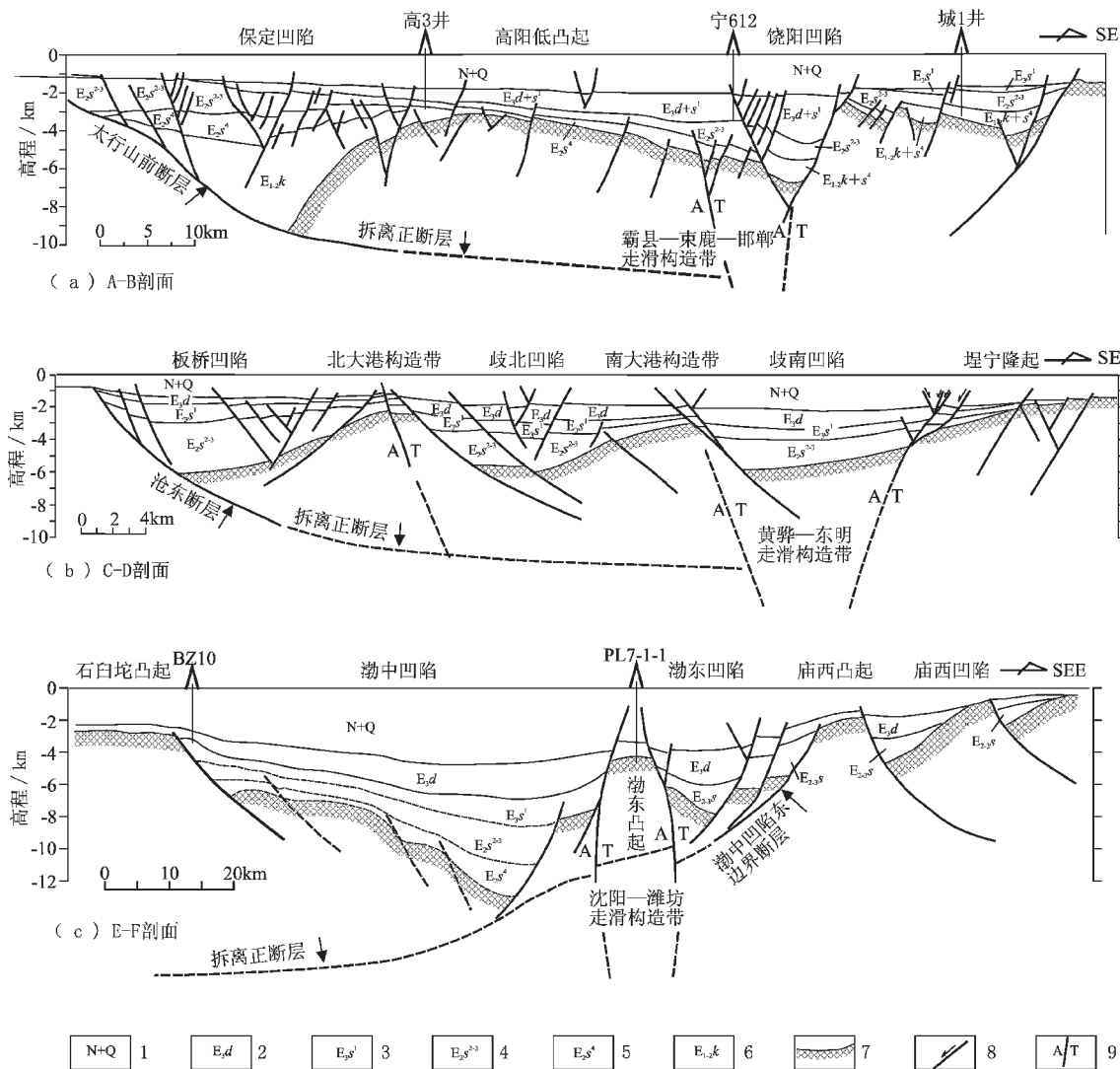


图 2 渤海湾新生代盆地剖面图(剖面位置见图 1)

(a)—横穿冀中拗陷中部的剖面;(b)—横穿黄骅拗陷中部的剖面;(c)横穿渤中拗陷北部的剖面; 1—新近系和第四系; 2—东营组,渐新统;3—沙河街组一段,渐新统;4—沙河街组二段、三段,始新统;5—沙河街组四段,始新统;6—孔店组,始新统和古新统; 7—新生代盆地基底;8—伸展断层;9—右旋走滑构造系统的主位移带

Fig. 2 Sections across the Cenozoic Bohai Bay basin (for the section location, see Fig. 1)

(a)—Section across the central part of the Jizhong depression; (b)—Section across the central part of the Huanghua depression; (c)—Section across the north part of the Bozhong depression; 1—Neogene and Quaternary; 2—Dongying Formation, Oligocene; 3—First Member of Shahejie Formation, Oligocene; 4—Second and Third Member of Shahejie Formation, Eocene; 5—Fourth Member of Shahejie Formation, Eocene; 6—Kongdian Formation, Eocene and Paleocene; 7—Basement of Cenozoic basin; 8—extensional fault; 9—PDZ of the dextral strike-slip tectonic system

了各具特征的两个相对独立又相互关联的新生代构造系统。

2 伸展构造系统

伸展构造系统是由不同尺度的伸展断层和具变换断层性质的横向和斜向断层组成,其中主干伸展断层对伸展构造变形以及断陷的形成和演化有重要的影响^[9,10]。伸展断层系统中可以发育不同方向的断层,但是它们应该同时体现统一的伸展应变场特征。那些走向与区域伸展方向近垂直的断层属于真正的伸展断层,其他方向则可发育变换断层^[11]或调节构造带,它们的变形过程受伸展断层的位移控制^[12]。伸展构造变形也可以利用先存的基底断层,这种情况下伸展凹陷的边界断层的走向可能与区域伸展方向是斜交的,边界断层表现出走滑伸展位移或伸展走滑位移^[13]。渤海湾盆地中古近纪断陷的主边界断层大多为铲式或坡坪式伸展断层,其上盘断块发生掀斜旋转形成半地堑断陷,并发育同向或反向次级正断层及横向和斜向的变换断层。这些断层向深部逐渐收敛、终止或过渡到中地壳层内的大型拆离断层之上,构成连锁的断层系统。伸展断层具有不同的尺度,不同尺度和样式的变换断层、调节构造带和不同层次的滑脱层、拆离断层使它们连接起来,构成了控制整个裂陷盆地形成和演化的伸展构造系统。

冀中—汤阴裂陷带:该裂陷带大致以石家庄—衡水断层为界可以分为南北两段。北段的冀中坳陷以 NNE 向的太行山前断层为主干伸展断层,它们向深部延伸可能在中地壳层次滑脱成为一条大型拆离断层(图 2—a),其他不同尺度和不同产状的断层均可看成是发育于这条大型拆离断层上盘的地壳断块中,其中 NW—NWW 向或近 EW 向的断层和断陷之间的横向、斜向凸起在伸展断层系中起变换断层和构造变换带的作用,协调着不同位态的断陷的伸展变形。总体的伸展方向为 NW—SE 向。裂陷带的南段的裂陷伸展程度明显低于北段,主干伸展断层走向为 NNE 向,并且发育多条 NW 向、NWW 向的变换断层,丘县凹陷为东断西超的半地堑构造,邯郸—汤阴地堑受两条平行延伸的 NE—NNE 向伸展断层控制,但是地堑的基底面总体上是向东掀斜的,具不对称特征,暗示地堑西侧的主干伸展断层向深部过渡到地壳内部的大型拆离断层面上。

黄骅—东濮裂陷带:NNE 走向、向 SEE 倾斜的沧东断层是该裂陷带北段的主干伸展断层(图 2—b)。该断层总体上为铲式—坡坪式正断层,大致在中地壳层中拆离滑脱,黄骅坳陷内部的其他 NNE—NE 向伸展断层和 NW—NWW、近 EW 向变换断层向深部延伸与深层的拆离断层连锁在一起,构成控制黄骅坳陷古近纪断陷盆地形成和演化的伸展断层系统。沧东断层的几何形态、拆离深度和伸展量沿走向有明显的变化,并且影响着上盘的伸展构造变形样式,导致其上盘发育多条横向的变换断层和变换构造带,如 NWW 向的海河—新港断层和羊三木—羊二庄构造带等。南段的临清坳陷东部和东濮坳陷主要是受盆地东部边缘的 NNE 走向、向 NWW 倾斜

的兰聊断层控制。兰聊断层亦具有铲式—坡坪式伸展断层特征,其上盘发育有大量的 NE、NNE 向伸展断层和 NW、近 EW 向的变换断层。一些 NW 向变换断层两侧的伸展构造样式有显著差异,例如 NW 向的大名断裂的北侧的临清坳陷发育若干小型半地堑和不对称地堑构造,南侧的东濮凹陷是一个发育有内部凸起的东断西翘的大型复式半地堑。

下辽河—潍坊裂陷带:该裂陷带被 NW—NWW 向的区域性变换带分为若干段。北段的下辽河—辽东湾坳陷发育两条平行延伸的东断西翘半地堑带,主干伸展断层位于盆地东部边缘,走向 NNE—NE、向 NWW 倾斜。该主干伸展断层受到沈阳—潍坊走滑构造带的叠加构造变形的影响,部分地段的地震剖面上可以看到近垂直的走滑断层切割缓倾斜的伸展断层的现象^[14]。中段包括走向 NNE、倾向 NWW 的伸展断层和 NE 走向、倾向 SE 的伸展断层。前者主要分布在沈阳—潍坊走滑构造带西侧,控制着秦南、渤中凹陷(东部)的形成和演化;后者主要分布在沈阳—潍坊走滑构造带东侧,控制着渤东凹陷、庙西凹陷的形成和演化(图 2—c)。南段受沈阳—潍坊走滑构造带的强烈改造,昌潍坳陷及其附近的断陷中的沉积层序依然反映出受 NE—NEE 走向、向南倾斜的伸展断层控制的迹象。

渤中—济阳裂陷区:裂陷区内的断陷构造受不同走向的伸展断层控制,显示该区域在古近纪盆地演化过程中具有平面上的二维伸展(双向伸展)构造变形特征。其中北部地区显示的主要(最大)伸展方向为 NWW—SEE 向,南部地区显示的主要(最大)伸展方向为近 SN 向,裂陷区北部以东断西超(翘)的半地堑凹陷为主,南部则以北断南超(翘)的半地堑凹陷为主。渤中凹陷主要受东侧的 NNE—NE 向伸展断层控制,但是南、北两侧的 NEE 向、NWW 向边界断层也明显具有伸展断层特征。渤中凹陷等主要受走向 NWW—近 EW 向、向南倾斜的伸展断层控制。济阳坳陷中的古近纪断陷均受 NE 向、NW 向和近 EW 向等多组基底伸展断层控制,西部的主干伸展断层以 NE 走向为主,东部以 NW—NWW 向为主,它们在空间上彼此交错构成了古近纪断陷的锯齿状边界断层。这些不同方向的断层都是兼有走滑位移分量的伸展断层,从宏观上看,基底断块面总体上向北或北西倾斜,济阳凹陷与鲁西隆起没有明显的构造边界。

3 走滑构造系统

渤海湾盆地伸展构造系统中的变换断层多具有走滑构造特征,它们是伸展构造系统中的构造要素。本文所称的走滑构造系统是指在盆地区呈线型或带状分布的 NNE 向右旋走滑构造变形带,由 NE—NNE 向的右旋走滑断裂(带)及其走滑伴生构造组成。这些右旋走滑构造变形带叠加在伸展构造之上而又保持相对的独立性和完整性,构成盆地区的新生代走滑构造系统。至少有 3 条区域规模的新生代 NNE 向右旋走滑构造带,自东而西分别为:沈阳—潍坊走滑构造带、

黄骅—德州—东明走滑构造带和霸县—束鹿—邯郸走滑构造带(图 1~2)。它们沿渤海湾盆地区的一些区域性 NNE 向深断裂分布,是深断裂在新生代时期右旋走滑运动的表现。在构造强度上,这 3 条 NNE 向走滑构造带明显具有自东而西递减的趋势。

沈阳—潍坊走滑构造带:沈阳—潍坊走滑构造带自沈阳向南从下辽河拗陷东部凹陷带延伸到辽东湾海域的辽东凸起和渤海海域中渤东凸起两侧,继续向南延伸到昌潍拗陷的潍坊附近,是中国东部著名的“郯庐深断裂带”在新生代盆地中的一部分。在下辽河—辽东湾拗陷东部边缘至少有两处规模较大的 NNE 向基底走滑断层,构成走滑构造系统中的主干走滑位移带。两条走滑断裂大致平行,或分或合,并有互换其位置彼此替代成交织状的特征,其内部还发育有若干不同尺度的次级走滑断裂或走滑正断层,与主断裂组成辫状交织的复杂走滑断裂带^[9]。下辽河拗陷大民屯凹陷西缘发育有另一条规模较大的北东向走滑断裂,向北东延伸可能通过本区域东北的昌图—铁岭盆地东南边缘而进入依兰—伊通断裂带中。在辽东湾辽东凸起两侧的走滑断裂在震害剖面上的反射特征十分清楚,近直立的主断层面可一直断至第四系中,主断层两侧发育一系列相向倾斜的分支正断层系并构成负花状构造样式。辽东凸起本身就是在走滑构造活动过程中形成的。沈阳—潍坊走滑构造带中的走滑伴生构造亦很发育。走滑断层夹持的基底断块在走滑运动过程中上升形成线型地垒(如辽东凸起、茨榆坨凸起等),盖层中形成左阶斜列的正断层组和右阶斜列的褶皱构造(如辽河黄金构造带、大平房构造等),沿着走滑断裂还出现大量的火山作用和岩浆底辟现象。

黄骅—德州—东明走滑构造带:在黄骅拗陷,这条走滑构造带大致北起北塘凹陷东斜坡沿渤海湾海岸线到歧口,向南经孔店凸起东侧延伸到吴桥凹陷。黄骅拗陷南部 NNE 向的徐西断层是切割到盆地盖层(古近系、新近系)的基底主干走滑断层之一,其他的基底主干走滑断层主要是潜伏在盆地基底,但是其新生代的走滑位移明显影响到盆地盖层中。黄骅拗陷中的一些横向构造线延伸到这条走滑构造带后会发生转向或突然中止,盆地中的新生代火山岩也多沿着这一走滑构造带分布。该走滑构造带南延穿过德州凹陷,并顺莘县凹陷和东濮凹陷中央低凸起带继续延伸。这一地段的基底走滑断层大多直接切割到盆地盖层中,改造和利用古近纪伸展断层。如东濮凹陷中央低凸起带的一系列剖面上都能见到近直立的走滑断层切割缓倾的伸展断层。东濮凹陷东部边缘的主干伸展断层是一条坡坪式正断层,它可能是在先存的陡倾的深断裂的基础上演化而成的,同时又受到深断裂后期的走滑活动的改造。

霸县—束鹿—邯郸走滑构造带:这条走滑构造带纵贯冀中盆地东部凹陷带,向南延伸到邯郸—汤阴地堑带中。该走滑构造带中的主干走滑位移带并没有连续地贯通所经之地

的古近系沉积盖层,但是新生代地层的变形现象仍然能反映主干基底走滑断层在新生代时期发生了右旋走滑位移。走滑构造带北段,在霸县凹陷的西斜坡上的基底走滑断层切割到新生代盆地盖层中,并构成负花状构造;走滑构造带中段沿任邱、河间西潜山带延伸到束鹿凹陷东缘,基底走滑断层可能迁就了或切割了早期形成的伸展断层。在任邱—河间西潜山带及其附近区域,局部地段的新生代地层倾角可以达到 40°~60°,而区域上的由伸展断层引起的新生代地层的旋转一般不超过 30°。抑或还可以见到新生代地面与断面相交的俯角为直角或钝角。这种不协调的构造变形是主干走滑断层位移引起的断块体旋转的结果。汤阴—邯郸地堑带的北北东向边界断层也可能是被走滑断层改造和迁就利用的伸展断层。确定霸县—束鹿—邯郸走滑构造带存在的另一些证据是沿着这一地带的新生代沉积盖层中发育大量左阶斜列的 NEE 向正断层。

4 伸展构造系统和走滑构造系统之间的关系

渤海湾盆地中的新生代伸展构造和走滑构造是盆地区浅层次地壳中相对独立的两个构造系统,它们在空间上相互利用、改造,形成了复杂的构造叠加或复合关系。同时,浅层次地壳构造与深层次地壳构造,特别是深断裂带之间亦有不同方式的构造过渡和联络关系。

研究渤海湾盆地区中伸展构造系统与走滑构造系统的叠加复合关系是认识和解析盆地新生代构造特征的关键。渤海湾盆地中的一些 NNE 向的主干走滑断层在一些地段同时构成伸展凹陷的边界断层,这些断层均具有伸展和走滑活动的双重性质,断层的结构常表现为向下分叉或分散的多个断层面复合,因而用“断层带”来描述这些断裂构造更准确些。如辽中凹陷南部的边界断层带,一系列向西倾斜的断面向下分散在剖面上呈“帚状”结构,其中一些断面向深处延伸可能呈铲式变缓或被缓倾角伸展断层所截而归顺到伸展构造系中,另一些断面则呈高角度平面状切入深层地壳并以某种方式与深断裂联系在一起。这种断层带结构实际上是不同时期、不同类型构造变形的叠加,先存的“郯庐深断裂”构造中的部分断裂构造面部分被新生代伸展断层利用和改造,渐新世时期深断裂的走滑活动又利用和改造了始新世时期的伸展断层面。黄骅—德州—东明走滑构造带在黄骅盆地和东濮凹陷中、霸县—束鹿—邯郸走滑构造带在饶阳凹陷、束鹿凹陷和汤阴凹陷中亦都不同程度地显示出由伸展构造系统和走滑构造系统叠加构成的复杂变形现象。

渤海湾盆地中的伸展构造和走滑构造是浅层次地壳或中上层地壳中的两种不同类型的构造系统,它们以不同的过渡和联络方式与深层次地壳构造联系在一起。伸展构造是控制盆地形成和发育的主体构造,它在盆地区具有分散的透人性特点。浅层次地壳中的伸展构造以近水平的拆离断层与深层次地壳中的韧性伸展层分隔开来。一般来说,铲式正断

层系统的后缘主断层向深部延伸其产状逐渐变缓,成为包容整个伸展断层系统的拆离面^[16],多米诺式正断层系统也往往是在某大型低角度正断层上盘或某近水平的韧性拆离层之上的地壳中发育^[14,17]。因此,从某种意义上讲,浅层次地壳中以正断层为基本结构要素的伸展构造系统是地壳上层的一种“薄皮构造”或“水平层状构造”。在一个特定的地区可以存在一个或多个近水平的拆离面或韧性拆离层,一般发育于中层地壳范围内,具有脆—韧性过渡或韧性构造变形特征。按照剖面上裂隙盆地的面积和相应的伸展量的比例推算,渤海湾盆地区的伸展断层系的拆离深度大致在6~25 km范围内,以12~16 km居多,与大量文献报导的华北地区壳内高导低速层^[13,18]的深度大致相当。

在理论上,走滑构造亦可在一定深度的拆离面或韧性拆离层上发育。但是,渤海湾盆地区的走滑构造系统在空间上与盆地区内的地壳或岩石圈深断裂上下叠置,彼此之间有更深刻的内在联系。沈阳—潍坊走滑构造带与“郯庐深断裂”位置一致。黄骅—德州—东明走滑构造带与地壳探测资料确定的“黄骅—聊城—兰考深断裂”位置相当。霸县—束鹿—汤阴走滑构造带也有相应的深断裂与之关联。盆地中的伸展断层向深部逐渐过渡到拆离断层中,而盆地中的走滑构造则与深断裂保持更密切的联系。在空间位置上地壳或岩石圈深断裂对应于盆地中新生代走滑构造带。因此,可以认为盆地中的走滑构造是深断裂在新生代时期右旋走滑活动的结果。

浅层次地壳中的某些断裂(如本文描述的主干走滑断层)可以是深断裂带的组成部分,但不一定是深部断裂在浅层次地壳中的直接显露。深断裂在垂向上亦具有层次性,不同层次可以具有不同的变形特征和组构特征。浅层次地壳中的断裂与深层次地壳中的断裂之间可能有多种过渡和联络方式,但是浅层次构造与深层次构造又不是像伸展构造那样被拆离断层分隔开来,而是以复杂的方式(如断裂在垂向上的分叉、斜列、交织过渡)保持其垂向上的联系,使其成为连续的、完整的统一体。因而深断裂是一个宏观上的概念,是地壳或岩石圈中的一种“垂直构造带”。从这个意义上看,盆地区的走滑构造系统是这种“垂直构造带”的浅层次构造变形部分。渤海湾盆地区中的新生代走滑构造系统作为深断裂“垂直构造带”的一部分与盆地中的伸展构造系统在构造几何学和运动学上都有明显的差异。将盆地中的走滑构造系统归属于深断裂带并非认为深断裂只是一条走滑断裂。深断裂构造在其演化过程中的力学性质及运动方式是多变的。在新生代裂隙伸展过程中,盆地区的深断裂带同样受引张而发生伸展,某些伸展断层甚至亦可以认为是在前新生代深断裂带的基础上发展起来的。从构造几何学和运动学特征以及浅层次构造与深层次构造的联系过渡形式上则完全可以将盆地中的新生代构造变形解析为伸展构造系统和走滑构造系统。

5 裂隙作用机制

裂隙盆地的动力学机制有主动裂隙作用和被动裂隙作用两种^[19]。由地幔底辟导致岩石圈的主动裂隙形成的地壳伸展方向应该是垂直于地幔隆起轴向,而板块构造运动导致的板内区域应力场引起的被动裂隙形成的地壳伸展方向应该与最大主张应力方向一致。渤海湾盆地中古近纪3个裂隙带的伸展方向总体上为NWW—SEE向或NW—SE向,渤中—济阳裂隙区具有双向伸展变形特征,主要伸展方向为NNE向和NWW向。这与现今观测到的地幔隆起轴向基本垂直。古近纪裂隙作用是在区域性隆起背景上以强烈火山作用作为序幕而开始的。这些地质事件暗示渤海湾古近纪发生主动裂隙作用。在右旋走滑构造带及其附近,局部的伸展方向为NNW—SSE向或近SN向,并有双向伸展变形的迹象。这表明走滑带是在斜向右旋张扭作用下形成的。亦可以认为是板块运动施加给该地区岩石圈的区域应力场导致深断裂带两侧的岩石圈块体之间发生相对右旋张扭作用,是深断裂被动裂隙作用的表现。

渤海湾盆地中的伸展构造系统和走滑构造系统的构造演化过程有相互消长的特点,即伸展构造活动相对减弱时走滑构造活动相对增强。从构造叠加的几何学特征上判断,走滑构造系统主要是在渐新世才开始在盆地盖层中发育,而且在新近纪甚至第四纪时期还有明显的活动迹象。而盆地区的伸展断层则在始新世甚至古新世就有强烈的活动,而在新近纪—第四纪时期基本不活动。可以认为渤海湾新生代盆地区的形成和演化是受各种外部的(包括板块的碰撞、俯冲作用)和内部的(包括岩石圈结构及热作用)多种地球动力学因素制约的。在新生代时期至少受到两种动力的作用;其一是岩石圈底部热脉冲、热底辟引起的岩石圈裂隙作用,裂隙方向既受到上涌的地幔热异常体走向的影响,也受区域大地构造背景(包括先存岩石圈结构、板块构造环境等)的制约;其二是周围板块运动施加给该地区岩石圈的区域应力场的作用,而在区域应力场作用下该区发生何种型式的构造变形也受到先存岩石圈结构、地壳构造特征等的影响。前者导致渤海湾盆地区在古近纪时期发生幕式裂隙作用和发生伸展构造变形,形成裂隙盆地,后者则是导致渤海湾盆地区岩石圈块体之间发生相对右旋剪切作用并在盆地中产生右旋走滑构造变形的动力学原因。因此,渤海湾盆地的裂隙作用机制实际上是主动裂隙和被动裂隙“复合”的动力学机制。

参考文献(References):

- [1] 大港油田科技丛书编委会. 大港油田科技丛书(2): 第三系石油地质基础[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999. 190~215.
Editorial Committee of "Series of Science and Technology in Dagang Oil Field". Series of Science and Technology in Dagang Oil Field (Vol. 2): Tertiary Basic Geology [M]. Beijing: Petroleum In

- dustry Press, 1999.190~215 (in Chinese).
- [2] 譙汉生,方超亮,牛嘉玉,等.中国东部深层石油地质学丛书(1):中国东部深层石油地质[M].北京:石油工业出版社,2002.208~223.
- Qiao Hansheng, Fang Chaoliang, Niu Jiayu, et al. Series of Petroleum Geology of Deep Horizon in East China (Vol. 1): Petroleum Geology of Deep Horizon in East China [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002.208~223 (in Chinese).
- [3] 魏文博,谭捍东,金胜,等.华北中部岩石圈电性结构[J].地球科学,2002,27(5):645~650.
- Wei Wenbo, Tan Handong, Jin Sheng, et al. Conductivity structure of lithosphere in Central North China. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2002, 27(5):645~650 (in Chinese with English abstract).
- [4] 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.
- Ma Xingyuan, Liu Hefu, Wang Weixiang, et al. Meso-Cenozoic taphrogeny and extensional tectonics in Eastern China [J]. Acta Geologica Sinica, 1983, 57(1):22~32 (in Chinese with English abstract).
- [5] 漆家福,张一伟,陆克政,等.渤海湾盆地新生代构造样式[A].见:史训之,等主编.石油勘探新进展国际研讨会论文集[C].北京:石油工业出版社,1995.97~105.
- Qi Jiafu, Zhang Yiwei, Lu Kezheng, et al. Cenozoic structural styles in Bohai Bay basin province [A]. In: Shi Xunzhi and Zhang Yiwei (eds). Selection Papers from International Workshop about New Development of Petroleum Exploration [C]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995.97~105 (in Chinese).
- [6] 漆家福,张一伟,陆克政,等.渤海湾盆地新生代构造演化[J].石油大学学报,1995,19(增刊):1~6.
- Qi Jiafu, Zhang Yiwei, Lu Kezheng, et al. Cenozoic tectonic evolution in Bohai Bay basin province [J]. Journal of the University of Petroleum, China, 1995, 19(Sup.):1~6 (in Chinese with English abstract).
- [7] 漆家福,张一伟,陆克政,等.渤海湾新生代裂陷盆地的伸展构造及其动力学过程[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 rifting basin in the Bohai Bay [J]. Experimental Petroleum Geology, 17(4):316~323 (in Chinese with English abstract).
- [8] 刘国栋.华北平原新生代裂谷系的深部过程[A].现代地壳运动(1):大陆裂谷与深部过程[C].北京:地震出版社,1985.17~25.
- Liu Guodong. Deep internal processes about Cenozoic rifting system in North China Plain [A]. Research On Recent Crustal Movement (1): Continental Rift and Deep Internal Processes [C]. Beijing: Seismological Press, 1985.17~25 (in Chinese).
- [9] Gibbs A D. Linked fault families in basin formation[J]. J. Struct. Geol., 1990, 12:795~803.
- [10] Dawers N H and Underhill J R. The role of fault interaction and linkage in controlling syn-rift stratigraphic sequences: late Jurassic, Statfjord East area, northern North Sea[J]. AAPG Bulletin, 2000, 84:45~46.
- [11] Morley C K, Nelson R A, Patton T L, et al, Transfer zones in the East African Rift system and their relevance to hydrocarbon exploration in rifts[J]. AAPG. 1990, 74(8):1234~1353.
- [12] Younes A I, and McClay K, Development of an accommodation zones in the Gulf of Suez-Red Sea rift, Egypt. AAPG Bulletin, 2002, V.86:1003~1026.
- [13] Gibbs A D. Development of extension and mixed mode sedimentary[A]. In: Coward M P, Dewey J F and Hancock P L (eds). Continental Extensional Tectonics. Spec. Geol. Soc. London, 1987, 28:19~33.
- [14] 漆家福,陈发景.辽东湾—下辽河盆地构造样式[J].石油与天然气地质,1992,13(3):272~283.
- Qi Jiafu, Chen Fajing. Structural style in Liaodongwan-Xialiaohe basin [J]. Oil & Gas Geology, 1992, 13(3):272~283 (in Chinese with English abstract).
- [15] 漆家福,陈发景.下辽河—辽东湾新生代裂陷盆地构造解析[M].北京:地质出版社,1995.44~53.
- Qi Jiafu, Chen Fajing. Structural Analysis for Liaodongwan-Xialiaohe Cenozoic Rifting Basin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1995.44~53 (in Chinese).
- [16] Jackson J A and McKenzie P P. The geometric evolution of normal fault systems[J]. Journal of Structural Geology, 1983, 5:471~482.
- [17] Wernicke B. Uniform-sense normal simple shear of continental lithosphere [J]. Canadian Journal of Earth Science, 1985, 22:108~125.
- [18] 嘉世旭,刘昌铨.华北地区人工测深震相与地壳结构研究[J].地震地质,1995,17(5):97~105.
- Jia Shixu, Liu Changquan. Study on the seismic phase of DSS in North China. Seismology and Geology, 1995, 7(5):97~105 (in Chinese with English abstract).
- [19] Sengor A M C. Sedimentary and tectonics of fossil rifts[C]. In: Busby C J, Ingersoll R V (eds). Tectonics of Sedimentary Basin [C]. Blackwell Science, 1995. 53~118.

Two tectonic systems in the Cenozoic Bohai Bay basin and their genetic interpretation

QI Jia-fu

(Key Lab for Hydrocarbon Accumulation Mechanism, University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: The Paleogene Bohai Bay basin may be divided into three rift zones and one rift area, which correspond to the updoming zone of the upper mantle. The tectonic deformation in the basin may be classified into two relatively independent and interconnected Cenozoic tectonic systems: the extensional tectonic system and strike-slip tectonic system. The extensional tectonic system is a linked fault system formed by extensional faults of different scales and transform faults perpendicular or oblique to the extensional faults. In the basin they are dispersed and penetrate into the upper crust and control the distribution and evolution of the Paleogene rifting. Three NE-NNE right-lateral strike-slip faults are superposed on the extensional system. These strike-slip faults and their associated structural elements form the Cenozoic strike-slip tectonic system. The extensional system is a “horizontal layered” thin-skinned tectonics at the crustal scale. The normal faults converge toward great depths or terminate at the detachment fault surfaces within the mid-crust. The strike-slip system is a “vertical belt-like” thick-skinned tectonics at the crust scale. The strike-slip faults at the shallow level of the crust are merged into the deep fault zones in several ways. The two tectonic systems are concrete manifestations of the active rifting and passive rifting mechanisms in the basin during the Cenozoic.

Key words: rift basin; extensional tectonics; strike-slip tectonics; Bohai Bay