

辽东湾-下辽河裂陷盆地的构造样式

漆家福

(石油大学地球科学系, 北京 100083)

陈发景

(中国地质大学能源地质系, 北京 100083)

辽东湾-下辽河裂陷盆地内存在两个相对独立, 又相互关联的新生代构造系统——伸展构造和走滑构造。伸展构造是控制盆地形成和演化的主体构造, 由不同级别的伸展断层构成向北西西倾斜的大型铲式扇正断层连锁系, 整个裂陷盆地是在该断层系上盘发育形成的。走滑构造分布在盆地东部边缘, 由高角度或近直立的基底走滑断层系及其各式伴生构造组合而成。走滑构造改造了伸展构造。

关键词 构造样式 伸展构造 走滑构造 郯庐深断裂 辽东湾-下辽河盆地

第一作者简介 漆家福 男 34岁 讲师 (博士后研究员) 构造地质学

位于辽东半岛以西的辽东湾海域和下辽河平原, 是一个新生代裂陷盆地, 属于华北平原-渤海湾-下辽河新生代裂陷盆地区的一部分。由于富含油气, 以及“郯庐深断裂”从辽东湾-下辽河裂陷盆地东部纵贯而过, 使这个盆地成为引人注目的研究目标^[1-5]。本文在观测和解释盆地区的大量地震剖面的基础上, 描述和讨论辽东湾-下辽河盆地的新生代构造样式。

一、基本构造格局及构造单元

地震勘探资料表明, 辽东湾-下辽河盆地的横剖面由三个不同特征的结构层次构成 (图1): 前第三系盆地基底及其块断系统; 受基底块断系统控制并卷入变形的盆地下部沉积盖层——下第三系; 未参与变形或很少变形的盆地上部沉积盖层——上第三系和第四系。基底块断作用形成一系列箕状半地堑, 与之同时沉积的下部盖层, 呈楔状沉积体充填于半地堑之中, 并卷入基底块断系统的构造变形。上部沉积盖层呈层状或毯状被覆于整个盆地区, 使毗邻的半地堑 (地堑) 及夹持于它们之间的半地垒 (地垒) 成为一个统一的地质构造单元——大陆内部拗陷盆地。

辽东湾-下辽河盆地东西两侧与隆起区之间均没有明显的边界断裂分隔, 南端与渤中盆地过渡亦没有明确的构造边界。因此, 我们称之为“盆地”或多或少带有一些地理上的概念, 与一些文献中所谓的“下辽河拗陷”或“下辽河断陷和辽东湾断陷”等所指的范围大致相同, 是华北平原-渤海湾-下辽河新生代盆地区的东北部分。

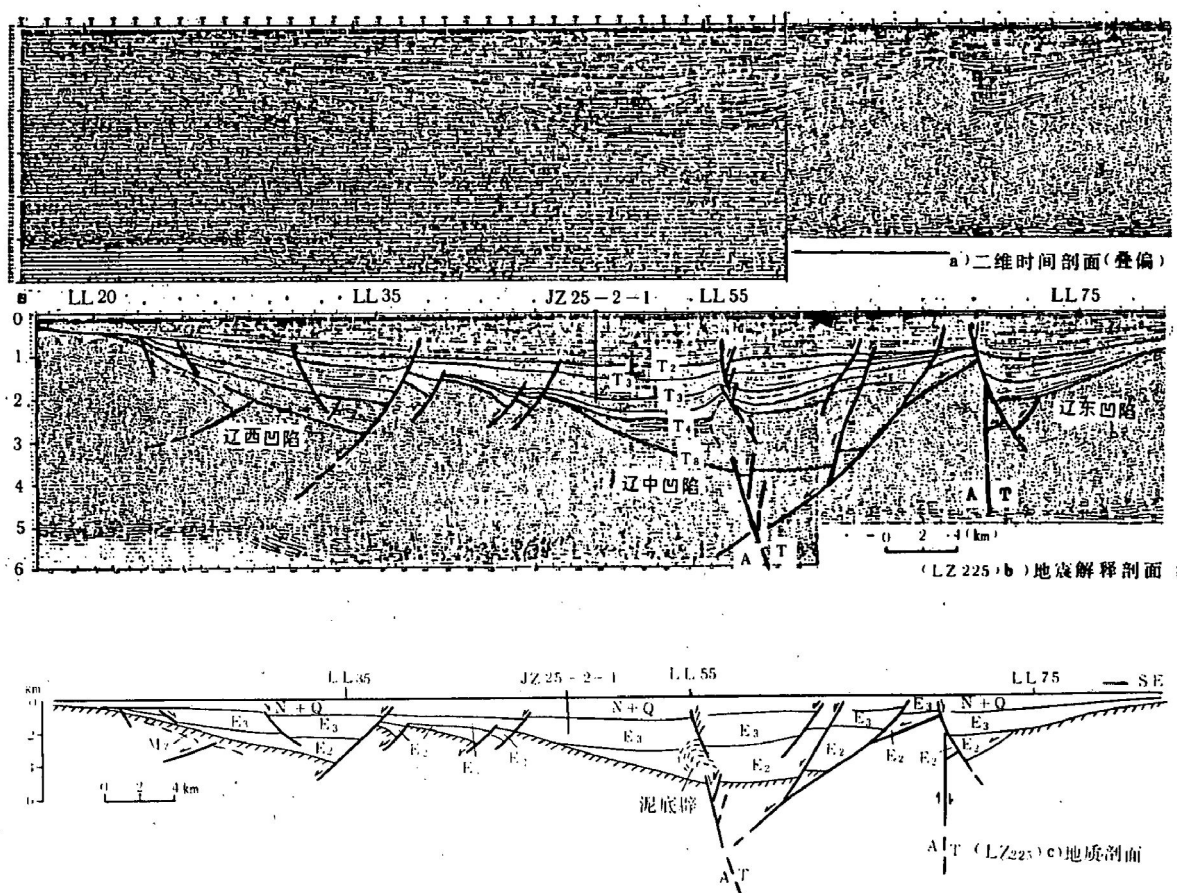


图1 辽东湾地区地震剖面及地质解释剖面(测线号: LZ225)

T₂—T₈为地震反射界面, 地质剖面图例同图3

辽东湾-下辽河盆地内部基底块断系统构成的半地堑-半地垒式构造, 在平面上呈北北东向平行展布, 它们是盆地的次一级构造单元。图2是沿用前人的命名原则及划分方案展示了各次级构造单元的分布, 下面就有关几个问题进一步讨论。

(1) 辽东湾-下辽河盆地由两个东断西翘的半地堑带组成, 而辽东湾地区东部的东断西翘半地堑, 在渐新世被“郯庐深断裂”右旋走滑活动引起的线型地垒带分隔成两个凹陷带——辽中凹陷与辽东-渤东北凹陷带^[5]。

(2) 北北东向构造带是盆地的主体构造, 其中辽东-渤东低凸起带对应于“郯庐深断裂”在盆地区的延伸位置, 在区域重磁场及区域地质上都有明显的显示^[1-2]。在下辽河地区, “郯庐深断裂”沿东部凹陷延伸至沈北凹陷, 与东北构造区的“依兰-伊通深断裂”和“密山-敦化深断裂”交汇、截接。

(3) 盆地基底中还发育有北东东、近东西和北西西向多组横向断裂, 并造成盆地基底沿轴向的低幅度起伏, 使北北东向狭长的凹陷带分隔成串珠状或斜列的次级凹陷(洼陷)。横向构造在盆地西部更发育些, 它们向东延伸多被“郯庐深断裂”对应的渤东-辽东凸起带限制或切错。盆地的横向分带(即北北东向构造带)和纵向分块的总体构造格局, 多少都继承了前新生代的基底古构造, 新生代裂陷作用赋予它们新的内涵, 塑造出盆地中的新生代构造样式。

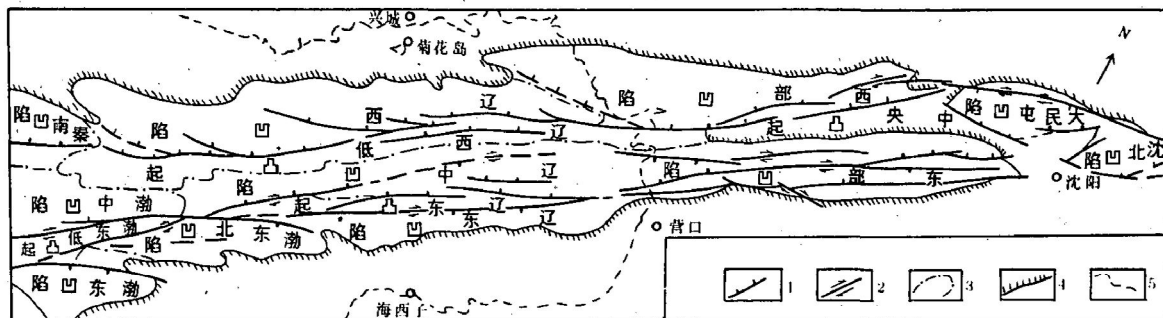


图2 辽东湾-下辽河盆地构造单元分布图

(据渤海石油公司、辽河油田资料编, 1989)

- 1—主要伸展断层, 2—主要走滑断层, 3—构造单元界线 (未标明处以断层为界),
4—早第三纪裂陷区大致范围, 5—海岸线

二、断层的几何学和运动学特征

盆地中发育有不同尺度、不同性质的各种断裂构造。断层及由它们分割的断块构成复杂块断系统, 是盆地区新生代构造变形的主要特点。按断层规模大小及在盆地演化中的作用, 可分为基底主断层、基底次级断层和盖层断层三个级别, 按其构造运动学特点又可分为伸展断层和走滑断层 (包括正-走滑断层和逆-走滑断层) 两种性质 (图 3-a、b)。

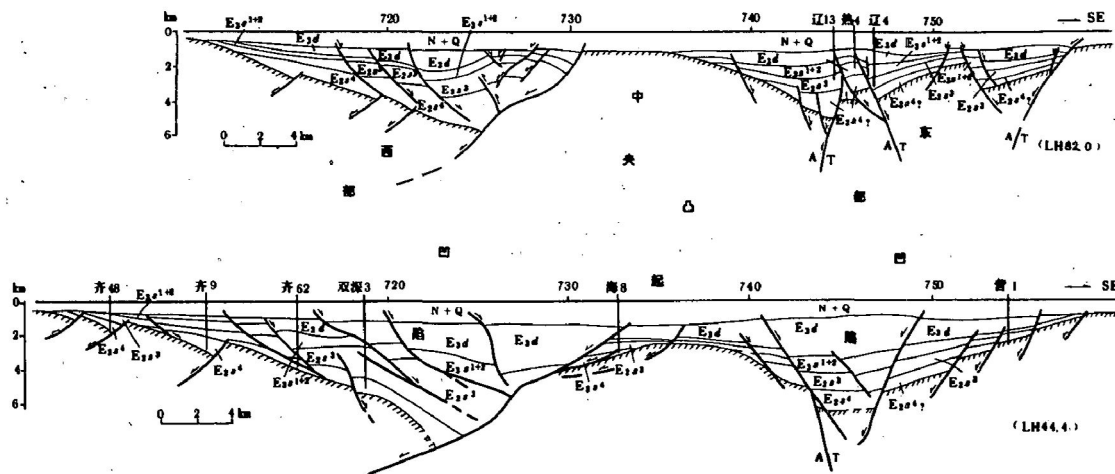


图3-a 下辽河地区南部联合剖面图

1. 基底主断层

基底主断层是指构成半地堑凹陷与凸起的边界断层。这类断层延伸长 (30—120 km)、断

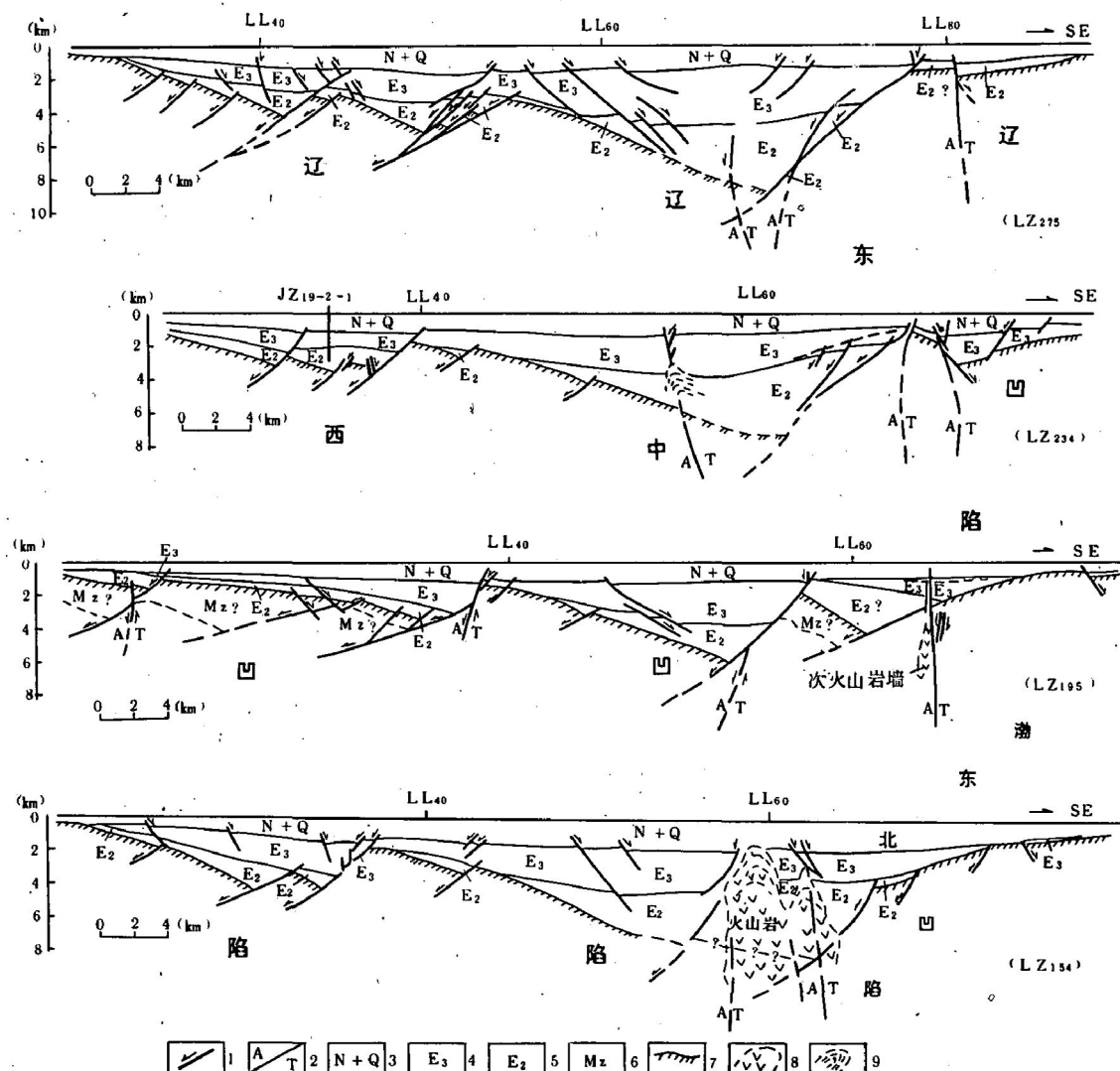


图3-b 辽东湾中北部地区联合剖面图

1—正断层, 2—走滑断层 (A 盘离观察者而去, T 盘向观察者而来), 3—上第三系及第四系, 4—渐新统 (沙河街组一、二段及东营组) 5—始新统 (沙河街组三、四段), 6—中生界, 7—盆地基底面, 8—火山岩刺穿, 9—泥底辟

距大 (基底面落差 1000—7000 m), 同时切割盆地基底与沉积盖层, 其断裂变形一般影响至上第三系底部 (错断 T_2 界面, 个别断层错断 T_0 或 T_1 界面), 是早第三纪时期的主要同生断层。

基底主断层走向以北北东向为主, 单条断层之间以尾端分叉过渡和羽列或雁列式重叠等多种形式延续成带。剖面上, 辽西凹陷和西部凹陷东缘的基底主断层, 具有旋转的铲式正断层的几何学和运动学特征。断层面向北西西向倾斜, 上部的断层倾角约 30—40°; 断层上盘基底面向南东东向倾斜, 倾角约 10—25°。辽中凹陷和下辽河东部凹陷的基底主断层, 实际上同时具有伸展断层和走滑断层的性质。在有些剖面上可以清楚地观察到, 后期发育的高角度正—走滑断层切错和替代早期的低角度伸展断层, 而成为控制凹陷发育的边界断层 (图 3)。辽东凹陷和渤海北凹陷西缘的基底主断层, 是高角度或近直立的走滑断层 (或正—走滑断层)。在盆

地演化早期(始新世),辽东凹陷和渤海东北凹陷实际上是辽中-渤中凹陷带的一部分,受统一的向北西西倾斜、并具铲式正断层性质的基底主断层控制,走滑断层的形成与发展使它们从辽中凹陷中分隔出来而逐渐成为相对独立的沉积凹陷,走滑断层成为控制凹陷发育的基底主断层。

2. 基底次级断层

发育于半地堑凹陷内部,断层规模和断距相对较小的基底断层称为基底次级断层。基底次级断层以走向北北东向、北东向和近东西向三组为主,单条断层一般延伸几公里至十几公里(少数可延伸至20—40 km)。它们发育于基底主断层上盘,基本不切割主断层面,其中有些是基底主断层尾端的分枝断层或羽列断层。剖面上,基底次级断层多与基底主断层大致同向倾斜,其断裂变形主要影响到下第三系下部(T_4 反射界面以下地层),少数影响到下第三系上部或断至上第三系底部。

基底次级断层多属伸展断层,且具有铲式正断层的几何学和运动学特征。近东西向的基底次级断层兼有传递断层(transfer fault,亦译为变换断层)性质,起着调节伸展的作用。大部分基底次级断层是与基底主断层同时形成的,对盆地雏型的形成及盆地早期的演化起积极作用,在盆地发育过程中逐渐相继停止活动而处于从属地位。

3. 盖层断层

盖层断层是指发育于盆地盖层中的断层,其断裂变形主要影响下第三系上部和上第三系下部(断错 T_2 — T_4 反射界面),一般不断错基底面。盖层断层的规模和断距均较小,但发育频数较高,以走向北东向和近东西向两组最为发育。

盖层断层与基底块断系统有多种组合型式,并有指示盆地构造活动性质的功能。如盆地西部的北东向盖层断层,常构成与基底断层系倾向相反的盖层伸展构造系统,指示盆地的伸展变形,同时表明盆地裂陷晚期(渐新世)的伸展方向为南东向,这一时期盆地的基底主断层在伸展活动中兼有一定量的右旋走滑分量;而另一些位于盆地东部基底走滑断层带附近的盖层断层,在剖面上和平面上均为斜列式,反映基底断层的右旋走滑活动。

盆地中的断层纵横交错、上下叠置,构成协调而统一的两个构造系统,即伸展构造和走滑构造。

三、伸展构造系统

正断层(伸展断层)是伸展构造的基本结构要素^[6]。不同几何学和运动学特征的正断层可以组合成不同样式的伸展构造^[7-8]。辽东湾-下辽河盆地各次级凹陷的基底主断层多为铲式正断层,它与其上盘发育的基底次级断层和盖层断层一起构成铲式扇正断层连锁系统(listric fan linked-fault systems),并控制其上盘箕状半地堑凹陷的形成与演化。这种由铲式正断层控制的箕状半地堑是盆地中伸展构造的基本样式。

图3基本展示了盆地中伸展构造的几何结构。其中辽西凹陷的基底主断层和基底次级断层同向倾斜,在旋转伸展过程中形成复式半地堑(即大型半地堑内包括有一系列小尺度的半地堑)。发育于半地堑构造斜坡的盖层断层与基底断层系倾向相反,并与基底断层系叠置或连锁在一起,构成一个以基底主断层为骨干断层的铲式扇伸展构造系统(图4)。半地堑内充填的下第三系盖层,呈楔状向构造斜坡方向尖灭或超覆,自盆地基底面往上的各地层之倾角逐

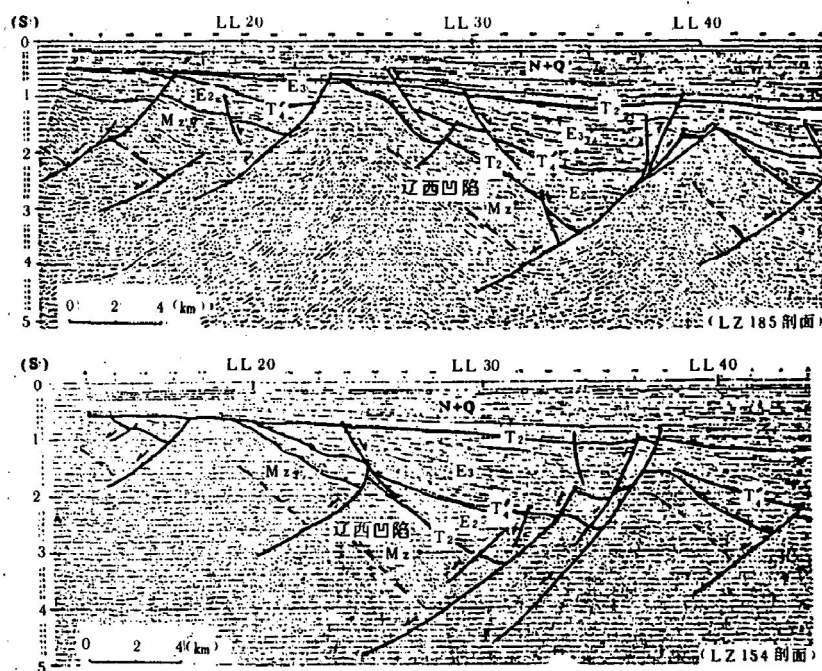


图4 辽西凹陷地震剖面解释图
(二维叠偏时间剖面)

次递减,表明基底面及半地堑内各岩层面的掀斜是在同沉积过程中,基底主断层上盘断块系统的旋转伸展运动中形成的。整个辽西凹陷-西部凹陷带,实际上是由若干东断西翘的半地堑首尾衔接而成的。单个半地堑长40—100 km,宽10—25 km(下第三系覆盖部分),深2000—5000 m(下第三系最大厚度)。有些地段的基底主断层具有断坡-断坪式正断层特征,使复式半地堑的结构样式更加复杂化(图5,图3-a)。

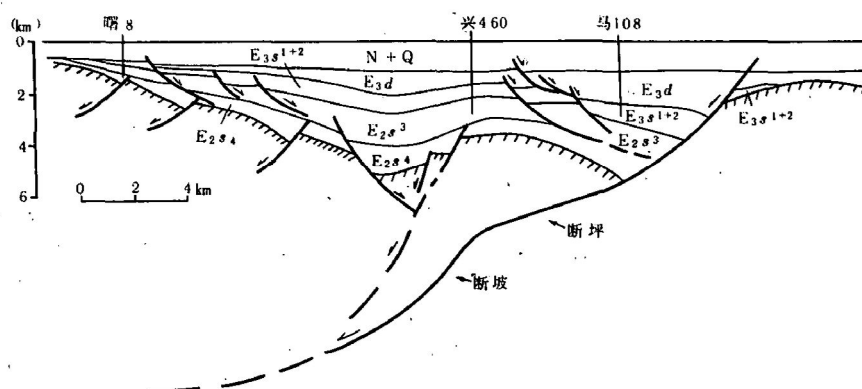


图5 下辽河西部凹陷剖面图

(据 LH63.3 地震剖面解释,示断坡-断坪式边界断层及上盘变形情况,图例见图3)

辽中凹陷虽受走滑构造影响,大部分地段仍显示与辽西凹陷类似的复式半地堑结构(图

3-b)。所不同的是辽西凹陷的基底主断层为旋转的铲式正断层，上下盘同向掀斜（上盘掀斜角更大些）使断层倾角亦逐渐变小；辽中凹陷的基底主断层仅上盘发生掀斜旋转，下盘基本是均匀上升。从运动学的协调性上考虑，辽中凹陷的基底主断层更可能是非旋转的铲式正断层。与辽中凹陷对应的下辽河东部凹陷因受走滑构造的强烈改造，东断西翘的半地堑样式已不明显，但从凹陷中充填的沙三、四段（下部沉积盖层底部）的厚度变化趋势及基底面总体倾斜方向上，可以判断出该凹陷发育早期亦具东断西翘半地堑样式（图3-a）。

西断东翘的辽东凹陷半地堑与上述伸展型半地堑不同，其基底主断层为高角度或近直立的走滑断层（或正走滑断层）。断层面与上盘基底面之间的夹角大于或近似等于 90° ，这种几何学特征表明该半地堑凹陷在其演化过程中基本未发生伸展（图3-b）。从某种意义上讲，辽东凹陷属于东断西翘的辽中凹陷的一部分，只是由于盆地东部走滑构造形成和演化过程中产生的辽东凸起，使它们分隔开来并各自成为相对独立的沉积凹陷。渤海凹陷亦属于类似的情形，它在盆地发育早期属于东断西翘的辽中-渤海凹陷带的东缘断阶带的一部分（图3-b）。

综上所述，辽东湾-下辽河盆地的伸展构造系统，由两个平行排列的东断西翘半地堑组成。盆地基底的伸展断层多向北西西倾斜，构成一个区域规模的铲式扇连锁正断层系，整个辽东湾-下辽河盆地是在该铲式正断层系上盘发育的伸展盆地。图6是以辽东湾地区LZ247剖面为基础，按平衡剖面原理编制的平衡剖面，大致反映了辽东湾-下辽河盆地伸展构造系统的整体几何结构和基本构造样式。

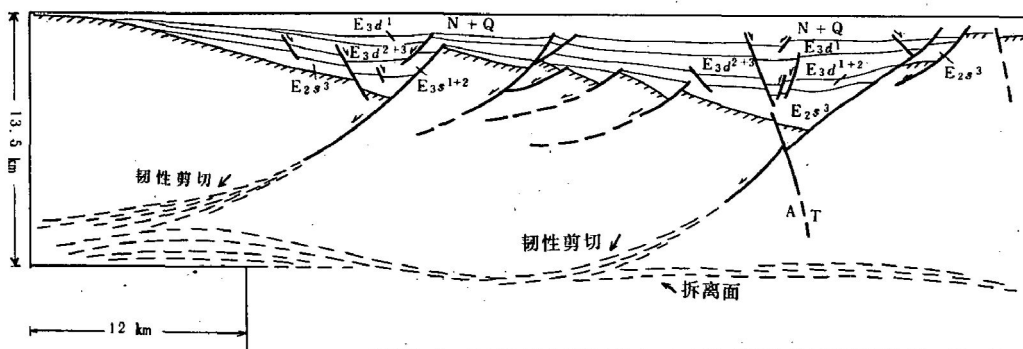


图6 辽东湾地区伸展构造系统的平衡剖面图（LZ247剖面）

（伸展构造系统的水平伸展量为12 km，拆离深度为13.5 km。图例参见图3，纵横比例尺相等）

四、走滑构造系统

走滑构造系统主要由走滑断层（包括部分走滑正断层和走滑逆断层）及其伴生构造组成，呈狭窄的“带状”分布于辽东湾-下辽河盆地东部边缘，与盆地区的“郯庐深断裂”的位置基本一致。

辽东湾-下辽河盆地东部，发育有两条规模较大的基底走滑断裂（带）。一条沿渤东-辽东凸起带东侧（构成辽东凹陷、渤东北凹陷西侧的边界主断层）向北北东延伸，进入下辽河地区顺东部凹陷东缘继续北延；另一条顺渤东凸起西侧边界向北经辽东凸起南段的西侧进入辽

中凹陷内部继续延伸, 至下辽河地区大致沿东部凹陷内部或西部边缘延伸。两条走滑断裂在平面上的走向大致平行, 但亦时分时合, 并有互换位置彼此替代、呈交织状的特征。前者规模更大, 线性延伸特征更清楚。两条走滑断裂在剖面上均呈高角度倾斜或直立产状, 沿断层走向其断面倾斜可发生正反方向交替变化。两条走滑断裂夹持的中间断片, 为狭长的透镜体并呈串珠状排列, 其内部还发育有若干不同尺度的、具走滑性质的分枝断裂和次级断裂与主干走滑断裂交织在一起, 构成复杂的右旋走滑断裂系统。

走滑断裂在 seismic 剖面上常表现为高角度倾斜或近直立的主断层面及向上分支扩散并相向倾斜的分枝断层系, 构成不同形式的“花状构造”^[9]。辽东湾-下辽河盆地的走滑断裂多呈“负花状构造”(图7), 相向倾斜的分枝断层具正断距, 剖面上组成小地堑和挠曲褶皱, 平面上则呈斜列式分布。

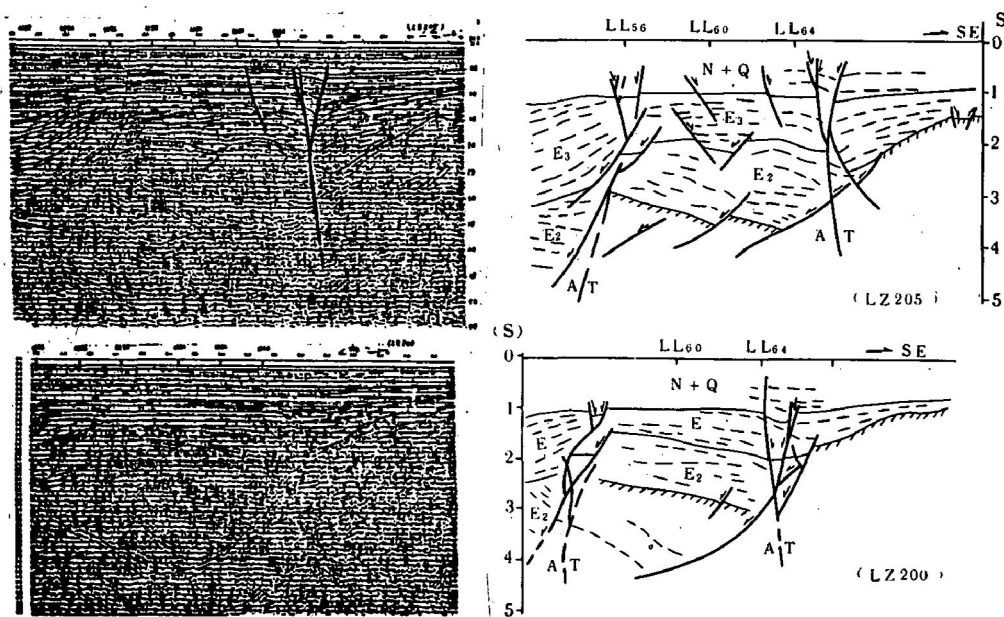


图7 辽东湾东部走滑断裂的 seismic 剖面与解释剖面
(图例参见图3)

走滑断裂还常使异岩异相的地层(包括同时代地层)不协调地截合在一起, 并有沿走向显示枢纽断层活动的特点。此外, 与主干走滑断裂(位移)带相应还有多种伴生构造发育, 而这些伴生构造共同反映地壳或岩石圈块体的统一的走滑运动体制^[10]。辽东湾-下辽河盆地的走滑断裂伴生构造较为丰富, 择其主要论述如下:

(1) 线型地堑与地垒: 两条走滑断裂交织成带状延伸, 其间夹持的中间断片在断裂走滑活动中同时发生差异升降, 形成沿断裂带走向相间出现的线型地堑与地垒。下辽河东部凹陷中发育的一系列小规模透镜状地堑与地垒即属此类构造。从宏观上看, 辽东凸起亦属于这种类型的走滑伴生构造(图3-b, 图8)。

(2) 斜列的盖层正断层组及褶皱构造: 基底断裂的走滑活动可导致在上覆沉积盖层中形成斜列的断层与褶皱^[10]。辽东凸起带附近发育一系列呈左阶斜列的盖层正断层组, 下辽河东部凹陷中发育一系列右阶斜列的盖层褶皱, 均属于这种类型的走滑伴生构造。下辽河东部凹陷

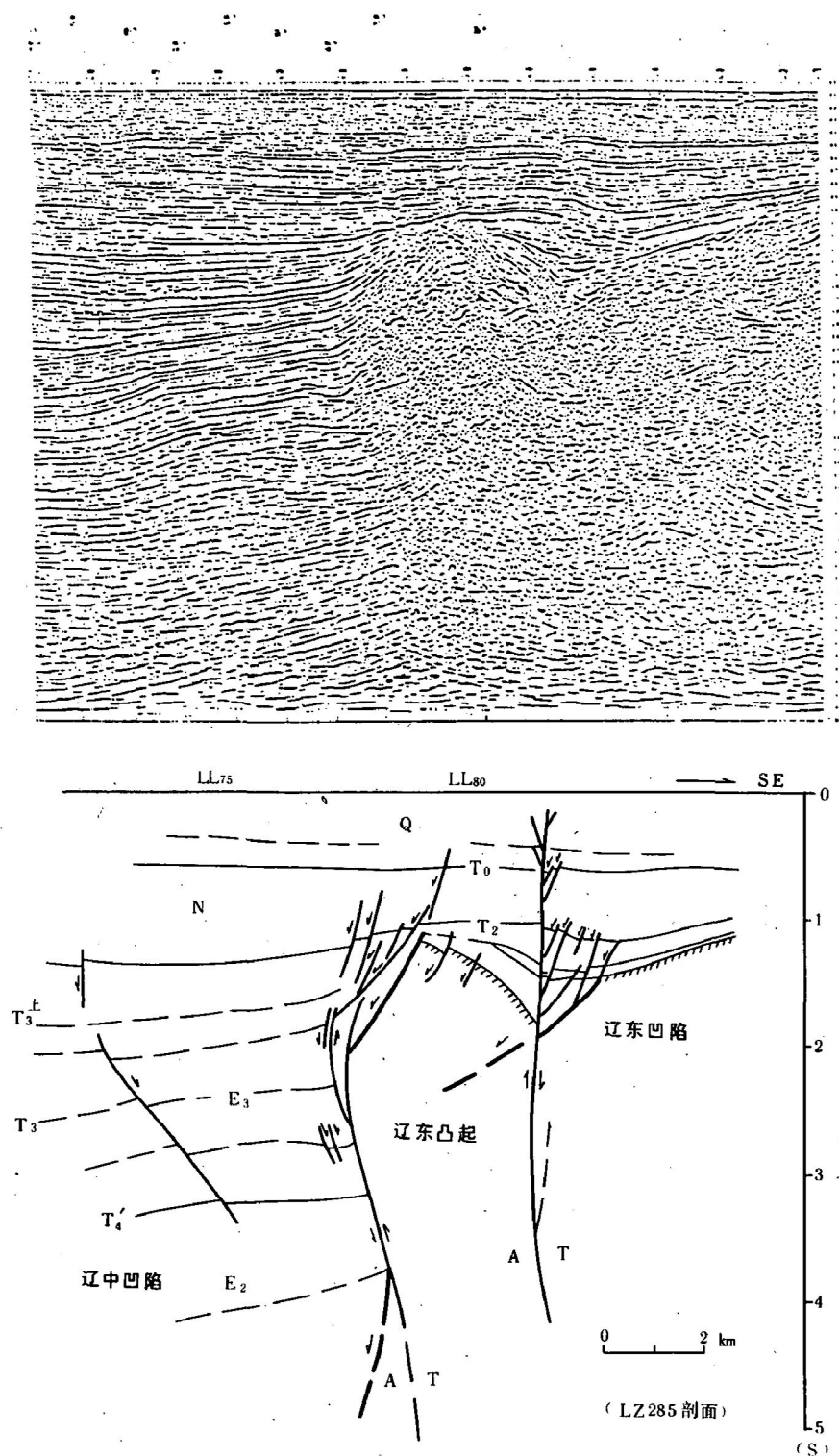


图8 辽东凸起(北段)地震剖面与地质解释剖面(LZ285剖面)

(呈地垒状凸起的辽东凸起在平面上为狭长的透镜体。注意辽东凸起两侧的走滑断层发育为小型“花状构造”，并切断早期的伸展断层。图例参见图3)

中的右阶斜列的盖层褶曲还形成良好的油气圈闭构造,如于楼、黄金带和热河台油田等。

(3) 沿断裂带发育的火山底辟与泥岩底辟体:断裂为岩浆活动提供通道,盆地中的走滑断裂带亦是新生代火山活动最强烈、最明显的地带。渤东凸起北端及辽东凸起南段,沿走滑断裂带发育的火山岩-次火山岩底辟构造十分醒目。此外,在辽中凹陷中段发育长达40 km、宽仅1 km左右的泥岩底辟带亦与基底走滑断裂活动有关(图3-b)。

沿走滑断裂带还发育有局部的拉分与推挤构造带以及块体的转动等现象。所有这些伴生构造现象与走滑断裂一起,构成一个统一的右旋走滑构造系统。辽东湾地区的走滑构造更多地兼有伸展的成分,而下辽河地区的走滑构造则或多或少兼有收缩的成分。辽东湾-下辽河盆地的走滑构造系统,延伸至盆地北端的下辽河沈北凹陷、大民屯凹陷与东北构造区的依兰-伊通断裂带、密山-敦化断裂带的南延部分呈复杂的交截关系。大民屯凹陷西缘发育的走滑逆断层(带)及东部凹陷北端的部分走滑断裂,可能分别是依兰-伊通断裂和密山-敦化断裂的南延部分,而辽东湾-下辽河盆地东部地区的走滑构造带,则是盆地区的“郯庐断裂带”新生代活动,在地壳浅层中留下的构造形迹。

五、伸展构造、走滑构造以及“郯庐深断裂”之间的关系

辽东湾-下辽河盆地中的新生代伸展构造和走滑构造是两种不同类型的构造,各自成为相对独立的构造系统。在空间上它们又相互利用、叠加和改造,形成复杂的构造复合关系。

伸展构造系统是控制盆地形成与演化的主体构造。浅层地壳中的铲式扇连锁正断层系,以近水平的拆离断层滑脱于中层地壳内的韧性层或某些大型滑脱界面上。根据构造平衡的几何学和运动学原则,利用浅层地壳的构造变形样式,可以图解或计算出伸展构造拆离面的深度^[11-12]。对辽东湾-下辽河盆地区的19条横剖面,进行系统的几何学和运动学“平衡”分析表明,伸展构造系统的拆离面深度为9—18 km,平均约14 km。这一深度与该区地壳中的高导低速层深度^[13-14]大致相当。

由于岩石圈力学性质的成层性变化,一个特定的地区可以存在一个或多个拆离界面(相对韧性层),在盆地浅层地壳中具分散的透入性特点的伸展构造,从某种意义上讲又是一种“薄皮构造”或“水平成层性构造”。

走滑构造系统呈带状分布于盆地东部,其位置与区域磁场及地震测深^[14]反映的“郯庐深断裂”基本一致。在理论上,走滑构造亦可在一定的深度上拆离滑脱。就辽东湾-下辽河盆地中的走滑构造系统而言,它可能与“郯庐深断裂”有更深刻的内在联系,是深断裂活动的直接反映。

对于“郯庐深断裂”,很多地质、地球物理学家都进行过深入的研究。一些作者的注意力过多地集中在讨论浅层地壳中,某一条或某几条断裂是“郯庐深断裂”的主断裂这个并非关键的问题。我们认为浅层地壳中的某些构造(如本文所述的走滑构造),可以作为深断裂的组成部分,但不一定是深部断裂在浅层地壳中的直接显露。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。浅层断层与深部断层之间可能有多种联系方式(如断裂在垂向上的分叉、斜列等),但又不是象前述伸展构造那样被拆离断层将上下层次分隔开来,而是以特定的方式保持其垂向的联系,使其成为完整的构造统一体。因而深断裂是一个宏观的概念,是地壳或岩石圈中的一种“垂直构造”(郯庐深断裂亦不例外)。

关于“郯庐深断裂”的构造属性前人曾有大量的论述^[4,15]。我们将盆地中的走滑构造归属于“郯庐深断裂”的一部分,并非认为它只是一条走滑断裂。作为一条长期发育的深断裂构造,在其演化过程中的力学性质和运动方式是多变的。在新生代裂陷作用过程中,本区的“郯庐深断裂”同样受引张而发生伸展变形,甚至亦可认为盆地中的伸展构造是在前新生代“郯庐深断裂”基础上发展起来的。盆地发育早期的伸展断层,可能部分迁就了深断裂系统中的某些浅层构造面。渐新世以后由于深断裂的走滑活动又改造了盆地中的伸展构造,发育成为本文所描述的走滑构造系统。因此,辽东湾-下辽河盆地中的伸展构造、走滑构造以及“郯庐深断裂”构造之间有十分密切的关系。本文是从构造几何学和运动学特征,以及浅层构造与深部构造的联系形式上,将盆地中的新生代构造解析为伸展构造系统和走滑构造系统。

最后,应该指出本文对辽东湾-下辽河盆地新生代构造样式的描述和讨论还是很不完全的。构造样式一词原本是用来描述褶皱变形的“风格”,意指一群有生成联系的构造体或构造系的总特征。现代的构造样式概念有更加广泛的寓意,包括构造几何学和运动学特征的双重意义。限于篇幅,对于辽东湾-下辽河盆地新生代构造的运动学特征及构造演化规律,将在后续的论文中进一步报道和讨论。

本课题得到渤海石油公司资助,并允许利用和发表该公司拥有的部分地震剖面,同时得到辽河石油管理局的支持。在此,一并致谢。

参 考 文 献

- 1 承娟英. 郯庐断裂在渤海海域的构造特征. 辽宁地质学报, 1985, (2): 28—37.
- 2 李嘉琪. 郯庐断裂在渤海海域的地球物理场特征. 见: 地质构造论丛 (3). 北京: 地质出版社, 1984, 219—237.
- 3 刘星利. 渤海地区构造展布特征与油气分布. 石油与天然气地质, 1987, 8 (1): 45—54.
- 4 陈义贤. 辽河裂谷盆地断裂演化序次和油气藏形成模式. 石油学报, 1985, 6 (2): 1—11.
- 5 王国纯. 辽东湾拗陷构造格局的探讨. 海上油气, 1988, 2 (2): 85—89.
- 6 马杏垣. 论伸展构造. 地球科学, 1983, (3): 15—21.
- 7 Gibbs A D. Linked fault families in basin formation. *Journal of structural Geology*, 1990, 12: 795—803.
- 8 Lowell J D. Structural styles in Petroleum Exploration. Tulsa, OGCI publication, 1985. 1—250.
- 9 Harding T P. Seismic characteristics and identification of negative flower structure, positive flower structure and positive structural inversion. *AAPO Bull.* 1985, 69 (4): 582—600.
- 10 Sylvestre A G. Strike-slip faults. *Bull. Geol. Soci. Am.*, 1988, 100 (11): 1666—1703.
- 11 White N J, Jakson J A, McKezie D P. The relationship between the geometry of normal faults and that of sedimentary layers in their hanging-walls. *J. struct. Geol.* 1986, 8 (8): 897—909.
- 12 Williams G, Vann I. The Geometry of listric normal faults and deformation in their hanging - walls. *J. struct. Geol.* 1987, 9 (7): 789—795.
- 13 刘国栋. 华北平原新生代裂谷系深部过程. 见: 现代地壳运动 (1). 北京: 地震出版社. 1985.
- 14 国家地震局监测司. 中国大陆深部构造的研究与进展. 北京: 地震出版社. 1988. 1—119.
- 15 国家地震局地质研究所. 郯庐断裂. 北京: 地震出版社. 1984. 25—130.

STRUCTURAL STYLE IN LIAODONGWAN- XIALIAOHE BASIN

Qi Jiafu

(Department of Earth Sciences, University of Petroleum, Beijing)

Chen Fajing

(Department of Energy Source Geology, China University of Geosciences, Beijing)

Abstract

Two independent but interrelated Cenozoic structural systems—extensional structure and strike-slip structure developed in the Liaodongwan-Xialiaohe Basin. The extensional structure was the main structure styled in half graben-half horst assemblage that controlled the formation and evolution of the basin. The strike-slip structure was distributed in the east margin of the basin, reconstructed the extensional structure and consisted of high-angle or nearly vertical basement strike-slip faults and various associated structures including linear graben and horst, echelon folds, volcanic and mudstone diapir structures. The strike-slip structure with a dextral character may be related with activity of Tanlu deep fault since Oligocene.