

# 渤海湾盆地惠民凹陷临商断层特征 及其活动机制

颜世永<sup>1,2)</sup>, 吴智平<sup>2)</sup>, 李月<sup>3)</sup>, 黄铮<sup>2)</sup>, 郭新安<sup>2)</sup>, 樊瑞<sup>2)</sup>

1) 南京大学地球科学系, 南京, 210093; 2) 中国石油大学(华东)地球资源与信息学院, 山东青岛, 266555;

3) 山东科技大学地质科学与工程学院, 山东青岛, 266510

**内容提要:**临商断层为济阳坳陷惠民凹陷内部 NE 向展布的控注断层之一, 详细地分析这些断层的活动性对于深入了解古近系沙河街组沙三段开始沉积以来惠民凹陷的差异分化具有重要的意义。本文通过详细解剖临商断层的几何学特征, 不同时期、位置的断层活动性, 并结合新生代以来渤海湾盆地的构造演化, 得出以下认识: ① 临商断层的雏形为一右旋走滑正断层。② 断层的主枝由西往东活动速率逐渐增强, 而分枝断层则表现为中间强、两侧弱。③ 时间上的差异性表现为古近系沙河街组沙三段沉积期—古近系沙河街组沙二段沉积期断层的活动性较强, 在古近系沙河街组沙二段沉积期达到最高值, 而后逐渐减弱, 古近系东营组沉积期出现小规模的增强, 新近系馆陶组沉积期断层活动性达到最低值, 新近系明化镇组沉积期断层活动性开始增强。④ 空间上断层活动的差异主要是由于该断层走滑过程中形成的同向走滑断层的位置造成的, 而时间上的差异性与渤海湾盆地新生代的构造演化具有较好的一致性。

**关键词:** 渤海湾盆地; 惠民凹陷; 临商断层; 几何学; 断层活动速率

惠民凹陷是发育在华北克拉通上的中、新生代断陷盆地(Li Sanzhong et al., 2000; 李三忠等, 2000, 2004a, 2004b, 2005, 李三忠等<sup>①</sup>; 周立宏等, 2003, 2004; 刘建忠等, 2004; 郭兴伟等, 2009)。其主边界断层是位于凹陷北部边缘的基底断层(包括阳信断层、滋镇断层、临盘—商河断层等), 其中走向 NE、倾向 SE 的临商断层自凹陷西部边缘向 NE 方向延伸到凹陷内部, 古近系层序的沉积中心紧邻该断层南侧(图 1), 自下而上发育了孔店组(Ek), 沙河街组沙四段(Es<sub>4</sub>)、沙河街组沙三段(Es<sub>3</sub>)、沙河街组沙二段(Es<sub>2</sub>)、沙河街组沙一段(Es<sub>1</sub>)和东营组(Ed)(刘国臣等, 1993), 并总体上向 SE 方向减薄尖灭, 使断层上盘总体表现为向 NW—NNW 方向掀斜的构造斜坡(韩天佑等, 2004; 刘冠德等, 2007)。研究区在古近纪处于强烈的断陷时期, 断层发育并控制了上述地层沉积时期研究区的沉降中心(赵密福等, 2000); 新近纪以来, 研究区整体进入拗陷期, 自下而上发育了馆陶组(Ng)和明化镇组(Nm)(刘国臣等, 1993), 断陷活动减弱。前人的研究主要集中在断层对研究区油气运移及分布控制作用方面(付金华等,

2002, 赵密福等, 2000), 而对惠民凹陷中新世中期以来的差异分化则涉及较少, 由于临商断层受中新世中期以来右旋走滑作用明显, 因此分析其活动性对更深入探讨中新世中期以来惠民凹陷差异分化的形成具有重要意义。

## 1 临商断层的几何学特征

断层的几何学特征研究是分析断层成因的重要标志之一(李三忠等, 2004a; 夏斌等, 2006), 常用的断层几何学特征主要包括两个方面: 一是断层的平面组合型式, 如平行式、雁列式、羽状、帚状、斜交式等; 二是断层的剖面组合型式, 如铲状、“Y”字型及反“Y”字型、阶梯状、花状构造等(贾红义等, 2007), 详细描述断层的几何学特征对分析断层的性质具有重要意义。

临商断层位于临南洼陷西北缘(图 1), 对临南洼陷的形成具有重要的控制作用。从平面上看, 临商断层表现为 SW 端收敛 NE 端撒开的帚状(图 1)。从剖面上来看, 不同位置其剖面形态存在较大的差异, 西段的主断层主要表现为形态较简单的

注: 本文为国家油气专项(编号 2009GYXQ17)资助项目的成果。

收稿日期: 2010-02-20; 改回日期: 2010-04-13; 责任编辑: 章雨旭。

作者简介: 颜世永, 男, 1979 年生。博士研究生, 主要从事古生物地层学及构造地质学方面的研究。通讯地址: 266555, 山东青岛市黄岛区长江西路 66 号中国石油大学(华东)地球资源与信息学院; Email: lyysy\_79@163.com。

“Y”字型或者铲式(图 2a, b), 而东段开始撒开呈帚状, 部分剖面上表现为明显的多级“Y”字型或者呈现为负花状构造(图 2c, d), 东段的帚状末端则表现为由一系列正断层形成的阶梯状构造(图 2e)。

## 2 断层活动性分析

自从 Thorsen(1963)提出断层生长指数研究断

层的活动性以来(转引自郑德顺等, 2004), 生长指数在国内外同生断层的研究中得到了广泛的应用, 目前主要采用断层生长指数、断层落差、断层活动速率三类参数定量表示断层的活动性(赵密福等, 2000; 王书宝等, 2007; 郑德顺等, 2004; 衣学磊等, 2002; 韩天佑等, 2004; 于建国等, 2005; Yu Jianguo et al., 2005)。

最常用的研究断层活动性的方法是生长指数法, 但是当被研究断层的一盘未接受沉积或者遭受剥蚀(如边界控盆断层)时往往难以奏效; 断层落差虽然避开了断层生长指数的缺陷, 但是它没有体现出地质时间的概念, 反映的仅仅是某一地质时期的断层两盘升降的总体差异, 由于各地质时期不是等时划分的, 因而断层落差不能很好地体现断层在时间轴上的强弱变化。

断层活动速率( $v_f$ )为某一地质时期内断层落差与时间跨度的比值, 该参数反映了某断层在这段地质时期内的平均活动

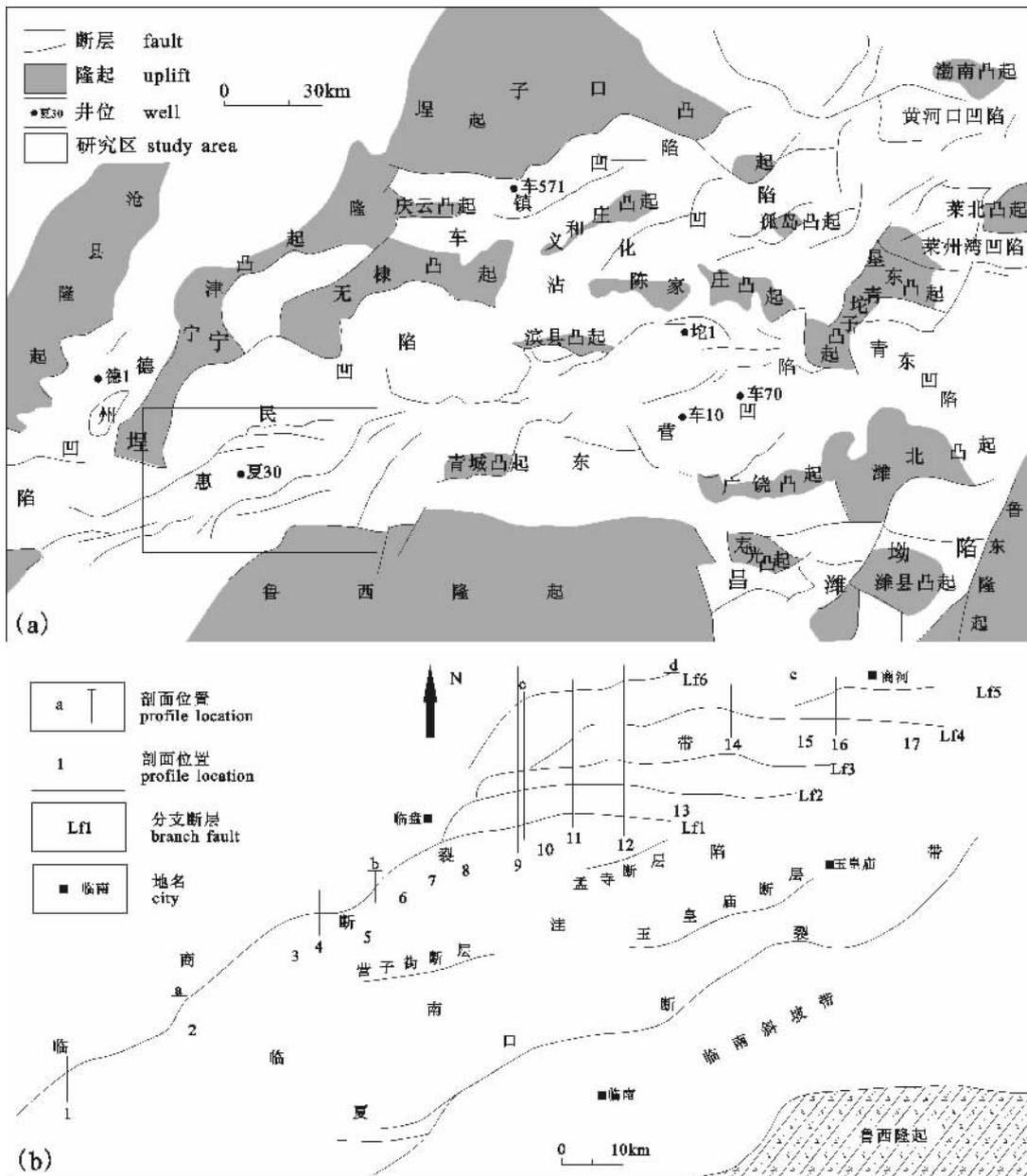


图 1 临南洼陷构造简图

Fig. 1 Simplified structural map of the Linnan Sag

Lf1~Lf6 分别为东段的六条分支断层; 1~8 为计算临商断层主支活动速率所用地震剖面位置;

9~17 为计算临商断层分支活动速率所用地震剖面位置

Lf1~Lf6 are six branching faults, respectively; 1~8: the location of seismic profile which used to calculate the fault movement rates of the main segment; 9~17: the location of seismic profile which used to calculate the movement rates of the brach faults

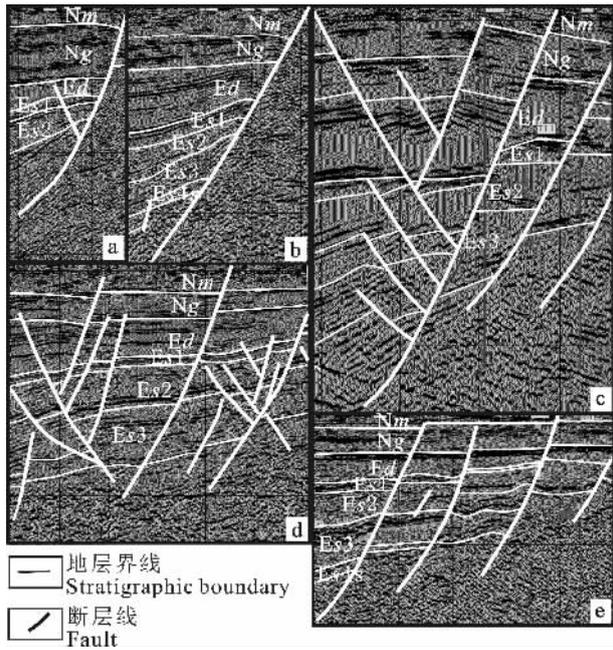


图 2 临商断层不同位置剖面图(剖面位置如图 1 所示)  
Fig. 2 Fragment of seismic profile through the Linshang fault at different position(see Fig. 1 for profile location)

强度,它既保留了断层落差的优点,又弥补了由于缺少时间概念所带来的不足,能够更好地反映断层的活动特点。因此,笔者选用该参数来描述断层的活动性,并依据断层活动对两盘地层所造成的沉积、剥蚀作用的差异性,针对不同类型的断层,确定了以下不同的计算方法(郑德顺等,2004):

同沉积正断层:

$$\text{断层活动速率} (v_f) = \frac{\text{上盘沉积厚度} - \text{下盘沉积厚度}}{\text{时间}} (v_f > 0) \quad (1)$$

边界正断层:

$$\text{断层活动速率} (v_f) = \frac{\text{上盘沉积厚度} - \text{下盘剥蚀厚度}}{\text{时间}} (v_f > 0) \quad (2)$$

逆断层:

$$\text{断层活动速率} (v_f) = \frac{\text{上盘剥蚀厚度} - \text{下盘沉积厚度}}{\text{时间}} (v_f < 0) \quad (3)$$

当断层发生构造反转,由逆断层转变为正断层,  $v_f$  的值则表现为由负值到正值的转变。

### 2.1 临商断层主支活动性分析

为了分析临商断层主支的活动性,笔者等依次计算了南北向地震剖面 L170、L560、L850、L900、

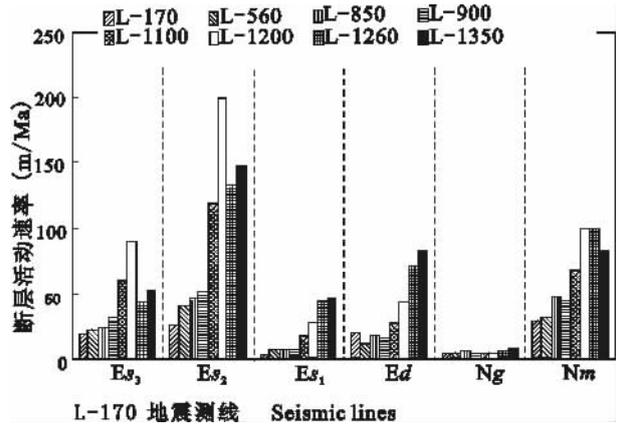


图 3 临商断层主支断层活动速率直方图  
(剖面位置见图 1)

Fig. 3 The movement rate histogram of the main branch of the Linshang fault (see Fig. 1 for profile location)

L1100、L1200、L1260、L1350 中各时期对应的断层活动速率(图 3),计算过程中,综合采用了中国地质典(1999)、王秉海等(1992)以及张愷等(2005)的地质时代划分为依据来确定济阳拗陷各沉积期的时间跨度(表 1)。结果表明,从时间上看,临商断层的西段主支自惠民凹陷内部出现差异开始( $E_{s3}$  开始沉积时)活动就很强烈,到  $E_{s2}$  沉积时期其活动性达到最大值,之后开始逐渐衰弱,至  $N_g$  沉积时期达到最低值,  $N_m$  沉积时期断层活动性又增强;从空间上看,在断层活动较强的  $E_{s3}$ 、 $E_{s2}$ 、 $E_{s1}$ 、 $E_d$  和  $N_m$  沉积时期,断层活动性总体表现出西弱东强的特点,而在活动性较弱的馆陶组沉积时期,不同位置断层活动速率的差异不大。

### 2.2 临商断层帚状分支活动性分析

由于东段分枝的断层较多,笔者等选取了其中的 6 条(图 1),利用地震剖面计算得到了各分支断层的活动速率(图 4),计算中使用了表 1 中济阳拗陷各沉积时期的时间跨度。结果表明,从时间上看各分支断层自  $E_{s3}$  开始沉积时就开始活动且活动性较强,  $E_{s2}$  沉积时期断层活动速率达到最大值,之后逐渐减弱,  $E_d$  沉积时期又出现一个小的峰值,  $N_g$  沉积时期断层的活动速率达到最小值,  $N_m$  沉积时期断层活动略有加强;从空间上看,在  $E_{s3}$ 、 $E_{s2}$  和  $E_d$  沉积时期,各分支断层活动表现为中间强、南北两侧弱;  $E_{s1}$  沉积时期,表现为北强南弱的特点,  $N_m$  沉积时期,则表现为南强北弱的特点,  $N_g$  沉积时期,各分支断层的活动性没有明显的差异。

表 1 济阳拗陷古近系孔店组——新近系明化镇组年代表

Table 1 Geologic time scale of the Paleogene Kongdian Formation to Neogene Minghuazheng Formation, in the Jiyang Depression

纪	世	组	段	年代(Ma)	
新近纪	上新世	明化镇组(Nm)		1.8	
				5.3	
古近纪	中新世	馆陶组(Ng)		14	
				24.6	
	渐新世	东营组(Ed)	间断期		32.8
			沙一段( $E_{s1}$ )		36.7
			沙二段( $E_{s2}$ )		38.2
			沙三段( $E_{s3}$ )		43.7
	始新世	$E_s$	沙四段( $E_{s4}$ )		50.5
					65
	古新世		孔店组(Ek)		

### 3 讨论:临商断层性质及活动性差异

前人研究表明,渤海湾盆地的构造演化与郯城——庐江断裂有着密切关系,三叠纪以来的多次构造运动均对郯庐断裂的活动产生了较大影响,尤其是喜马拉雅运动的侯镇幕、济阳幕、东营幕和渤海幕对渤海湾盆地新生代的构造演化具有明显的控制作用,受此影响临商断层的形成主要经历了以下几个阶段:

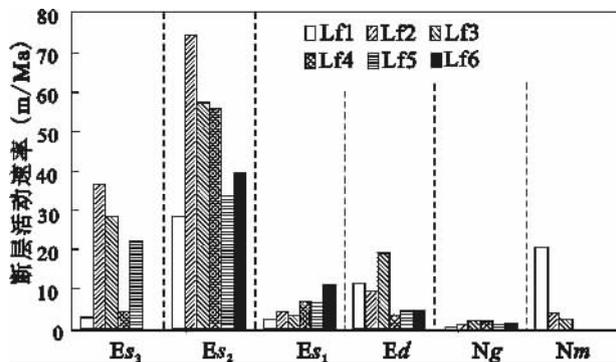


图 4 临商断层东段各分支活动速率直方图 (剖面位置见图 1)

Fig. 4 The movement rate histogram of the branches in the eastern section of the Linshang fault (see Fig. 1 for profile location)

裂陷阶段早期( $E_k-E_{s4}$ ):该阶段早期,整个渤海湾盆地断层活动较弱,仅在沿郯庐断裂、兰聊断裂和太行山断裂的局部地区活动剧烈(周立宏等,2003;李三忠等,2004a;吉双文等,2008),研究区恰好是紧靠兰考——聊城断裂的强烈活动区之一(郭兴伟等,2009;李三忠等<sup>①</sup>)。Ek 沉积时期,研究区发育非旋转地堑构造样式,临商断层已经形成(谭明文,2003),非旋转地堑常常是走滑作用的产物(戴俊生等,1998),表明形成该地堑的北西部断裂——临商断层在 Ek 时期受走滑作用明显,一直到  $E_{s4}$  期,研究区处于张扭应力作用之下,因此临商断层的雏形可能为一 Ek 期形成的走滑明显的正断层。

裂陷阶段中期( $E_{s3}-E_{s2}$ ):该时期渤海湾盆地岩浆活动强烈,其中在惠民凹陷就有三期岩浆活动(张小莉等,2008),而且郯庐断裂由左旋转变为右旋,使得研究区乃至整个渤海湾盆地应力方向都转变为近 NW 向的拉伸(李三忠等,2004a;刘朝露等,2007),临商断裂的伸展活动明显,表现为其断层落差和断层活动速率均较大,断层活动速率在  $E_{s2}$  期达到高峰。

裂陷阶段晚期( $E_{s1}-Ed$ ):受岩浆活动减弱的影响,该阶段研究区伸展作用减弱,临商断层活动速率明显降低, $E_{s1}$  期出现一个低谷,Ed 期断层活动速率略微增加,这与该时期济阳拗陷的断陷活化有关(刘朝露等,2007),虽然伸展作用减弱,走滑作用却依然强烈(夏斌等,2006;李三忠等<sup>①</sup>),受其影响,研究区发育形成了典型的走滑构造。

拗陷阶段( $Ng-Nm$ ):该阶段研究区岩浆活动主要表现为小规模碱性玄武岩(夏斌等,2006,张小莉等,2008),表明处于构造活动相对平静期,由于构造活动减弱,壳幔边界热冷却,盆地整体沉降(李三忠等,2004a)。临商断层表现为 Ng 期基本停止活动,断层活动速率达到最低值,且各测线处断层活动速率相近,这可能与该时期盆地的整体热沉降有关,Nm 期断层活动速率增加与郯庐断裂、兰聊断裂右旋走滑派生的 NEE 向应力场有关(刘朝露等,2007),NE 向的断层表现为右旋剪切,走滑构造进一步发育,临商断层最终形成。

临商断层的右旋走滑在临南洼陷内部形成同向走滑断层、反向走滑断层以及正断层(郭兴伟等,2009)。通过恢复  $E_{s3}$  期构造图(图 5)发现,同向走滑断层主要分布于洼陷内部及临商断层的西段主枝附近,且沿临商断层主枝由西往东,同向走滑断层的数量减少、离临商断层的距离增加,造成了在临商断

层的最西端大量同向走滑断层的活动释放了大量的拉张应力,使得最西端断层活动速率较低;而由西往东,释放应力的同向走滑断层减少,越来越多的拉张应力集中在临商断层上释放,造成了临商断层的主枝由西往东其活动速率由小变大。由临商断层活动形成的正断层主要分布在临南洼陷的NE端,临商断层东段的帚状分支包括这些正断层及临商断层主枝的延伸部分,新形成的正断层往往分布在主断层延伸部分的两侧。由于主断层是主要的应力释放点,因此由主断层向两侧,断层的活动速率呈降低的趋势。

由此可见,临商断层活动速率时间上的差异性与渤海湾盆地新生代的构造演化有着密切的关系,空间上的差异性则与临商断层右旋走滑活动派生次级断层的分布关系密切。

## 4 结论

通过上述研究,本文得出以下几点新认识:

(1) 临商断层平面上为西段收敛、东段撒开的帚状,剖面上由西往东依次呈现为“Y”字型、板状、多级“Y”字型、负花状构造和阶梯状,为一右旋走滑正断层。

(2) 临商断层的主支由西往东活动速率逐渐增加,而分支断层则表现为中间断层活动速率大,往两侧逐渐减小;时间上主支断层和分支断层的活动性相似,都表现为古近系沙河街组沙三段( $E_{s3}$ )沉积时期开始活动且强度较大,沙河街组沙二段( $E_{s2}$ )沉积时期活动速率达到最高值,而后逐渐减弱,东营组( $E_d$ )沉积时期出现小规模增强,新近系馆陶组( $N_g$ )沉积时期活动速率降到最低值,明化镇组( $N_m$ )沉积时期断层活动又略有增强。

(3) 临商断层主支不同位置活动性的差异与该断层走滑过程中形成的同向走滑断层的位置有关,而时间上的差异性与渤海湾盆地新生代的构造演化具有较好的一致性。

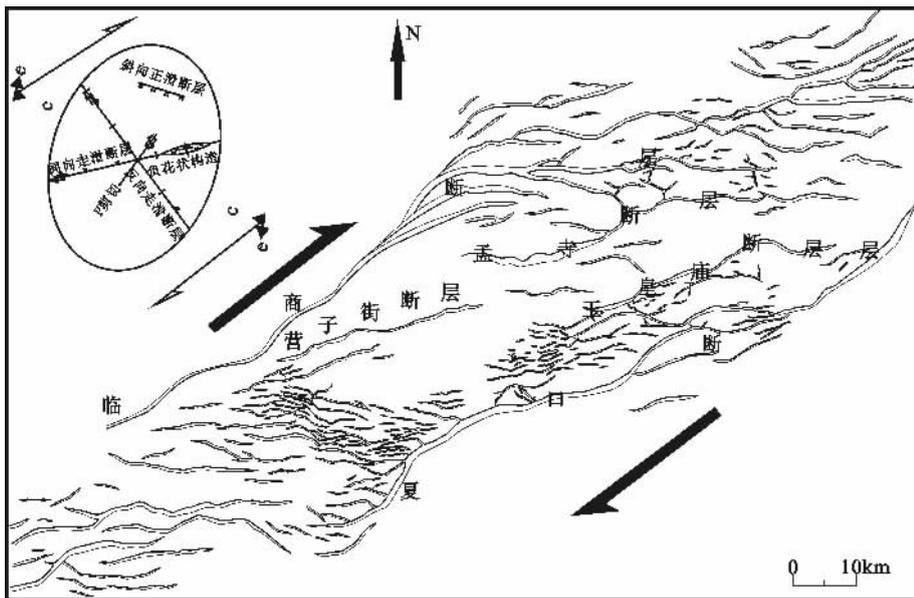


图5 临南洼陷古近系沙河街组沙三段——沙一段沉积时期活动断层分布图

Fig. 5 Distribution of active fault during depositing of the Member 3 to member 1 of the Paleogene Shahejie Formation in the Linnan Sag

## 注释 / Note

- ① 李三忠, 索艳慧, 戴黎明, 刘丽萍, 金龙, 刘鑫, 郝天兆, 周立宏, 刘保华, 周均太, 焦倩. 2010. 渤海湾盆地形成与华北克拉通破坏. 地质学前沿, 出版中.

## 参考文献 / References

- 戴俊生, 陆克政, 漆家福, 陈书平. 1998. 渤海湾盆地早第三纪构造样式的演化. 石油学报, 19(4): 16~22.
- 付金华, 刘玉琼, 刘金, 郑明学, 梁建军, 高志卫. 2002. 临南地区断层输导体系与油气成藏模式. 油气地质与采收率, 9(3): 55~58.
- 郭兴伟, 吴智平, 杨小秋, 许鹤华, 张志珣, 施小斌, 孙珍. 2009. 渤海湾盆地临南洼陷张扭构造演化及应力场数值模拟. 海洋地质与第四纪地质, 29(6): 75~82.
- 韩天佑, 石硕. 2004. 惠民凹陷临南地区新生代构造演化特征研究. 东华理工学院学报, 27(4): 309~314.
- 侯贵廷, 钱祥麟, 蔡东升. 2001. 渤海湾盆地中、新生代构造演化研究. 北京大学学报(自然科学版), 37(6): 845~851.
- 吉双文, 燕子杰, 姜能栋. 2008. 渤海湾盆地构造及沉积演化探讨——以济阳坳陷为例. 石油地质与工程, 22(3): 21~26.
- 贾红义, 于建国, 王金铎. 2007. 惠民凹陷东部区域性走滑断裂构造的发现和意义. 大地构造与成矿学, 31(1): 14~20.
- 李三忠, 许书梅, 单业华, 李西双, 等. 2000. 渤海湾及邻区构造演化与盆地组合规律. 海洋学报, 22(增刊): 220~229.
- 李三忠, 周立宏, 刘建忠, 许淑梅. 2004a. 华北板块东部新生代断裂构造特征与盆地成因. 海洋地质与第四纪地质, 24(3): 57~66.
- 李三忠, 刘建忠, 赵国春, 吴福元, 韩宗珠, 杨中柱. 2004b. 华北克拉通东部地块中生代变形的关键时限及其对构造的制约——以胶辽地区为例. 岩石学报, 20(3): 633~646.

- 李三忠,王金铎,刘建忠,于建国,吕海青,侯方辉. 2005. 鲁西地块中生代挤压构造格局及其形成背景. 地质学报, 79(4): 487~497.
- 刘朝露,夏斌. 2007. 济阳坳陷新生代构造演化特征与油气成藏组合模式. 天然气地球科学, 18(2): 209~215.
- 刘冠德,夏斌,于俊峰,陈根文,范立勇. 2007. 惠民凹陷南坡北北西向走滑断裂带的发育特征及成因分析. 大地构造与成矿学, 31(2): 168~173.
- 刘国臣,陆克政,徐寿根,任安身,李训海. 1993. 惠民凹陷构造特征与圈闭类型研究. 石油大学学报(自然科学版), 17(1): 16~23.
- 刘建忠,李三忠,周立宏,高振平. 2004. 华北板块东部中生代构造演化与盆地格局. 海洋地质与第四纪地质, 24(4): 45~54.
- 谭明友. 2003. 渤海湾盆地东营—惠民凹陷孔店期原型盆地分析. 石油实验地质, 25(4): 348~352.
- 王秉海,钱凯. 1992. 胜利油区地质研究与勘探实践. 东营:石油大学出版社, 20~95.
- 王书宝,钟建华,陈志鹏. 2007. 惠民凹陷新生代断裂活动特征研究. 地质力学学报, 13(1): 86~96.
- 夏斌,刘朝露,陈根文. 2006. 渤海湾盆地中新代构造演化与构造样式. 天然气工业, 26(12): 57~60.
- 衣学磊,侯贵廷. 2002. 济阳坳陷中、新生代断裂活动强度研究. 北京大学学报(自然科学版), 38(4): 504~509.
- 于建国,李三忠,王金铎,王新红,路慎强. 2005. 东营凹陷泥岩底辟作用与中央隆起带断裂成因. 地质科学, (2): 355~367.
- 赵密福,刘泽容,信荃麟,李亚辉. 2000. 惠民凹陷临南地区断层活动特征及控油作用. 石油勘探与开发, 27(6): 9~13.
- 张小莉,冯乔,查明,巨银娟,杨懿. 2008. 惠民凹陷岩浆作用对碎屑岩储层的影响. 地质学报, 82(5): 655~662.
- 张愷,贾东,陈竹新,王良书,陆建军,陈晓明. 2005. 济阳坳陷中、新生代构造沉降与板块聚敛速率关系探讨. 高校地质学报, 11(4): 642~648.
- 郑德顺,吴智平,李陵,陈燕章,李伟,周瑶琪. 2004. 惠民凹陷中生代和新生代断层发育特征及其对沉积的控制作用. 石油大学学报(自然科学版), 28(5): 6~12.
- 中国地层典编委会. 1999. 中国地层典(第三系). 北京:地质出版社, 25~73.
- 周立宏,李三忠,刘建忠,高振平. 2003. 渤海湾盆地燕山期构造特征与原型盆地. 地球物理学进展, 18(4): 692~699.
- Li Sanzhong, Xu Shumei, Shan Yehua, Li Xishuang, Zhou Lihong, Hao Yinquan, Fan Zheqing, Liang Huilan. 2000. Tectonic evolution and basin assemblage in the Bohai Bay and its neighbors. Acta Oceanologica Sinica, 19(4): 91~106.
- Yu Jianguo, Li Sanzhong, Wang Jinduo, Kusky T M, Wang Xinhong, Lu Shengqiang. 2005. Relationship between salt diapirism and faulting of the central uplift belt in the Dongying Sag of the Bohai Bay Basin, North China. Acta Oceanologica Sinica, 24(2): 28~42.

## Characteristics and Faulting Mechanism of Linshang Fault in the Huimin Sag, Bohai Bay Basin

YAN Shiyong<sup>1,2)</sup>, WU Zhiping<sup>2)</sup>, LI Yue<sup>3)</sup>, HUANG Zheng<sup>2)</sup>, GUO Xin'an<sup>2)</sup>, FAN Rui<sup>2)</sup>

1) Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing, 210093;

2) College of Geo-resources and Information, China University of Petroleum, Qingdao, Shandong, 266555;

3) College of Geological Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qiandao, Shandong, 266510

**Abstract:** Linshang fault is one of the NE-striking faults which controls the Huiming Sag in the Bohai Bay Basin. The writers tried to analyze the activity of these faults for understanding differentiation of the Huimin Sag after the depositing of the Member 3 of the Paleogene Shahejie Formation. By analyzing the fault geometry, activity of different stages and segments of the Linshang fault, and the related Cenozoic structural evolution of the Bohai Bay Basin, this paper gets some new conclusions as following: ① The prototype of the Linshang fault is a dextral transtensional fault. ② The movement rates of the main segment gradually increases from west to east, and movement rates of the branch faults decrease from center to both sides. ③ The movement rates of the fault are stronger during the depositing of the Member 3 to Member 2 of the Paleogene Shahejie Formation, reaching to the maximum during the depositing of the Member 2 of the Paleogene Shahejie Formation, then gradually decreasing, increasing a little during depositing of the Paleogene Dongying Formation, reaching to the minimum during depositing of the Neogene Guantao Formation, and increasing during depositing of the Neogene Minghuazhen Formation. ④ The difference of the fault activity at the different segments were controlled by the location of strike-slip fault in the same direction which formed with the strike-slipping of the Linshang fault, and the differences at different stages of faulting are consistent with the Cenozoic structural evolution of the Bohai Bay Basin.

**Key words:** Bohai Bay Basin; Huiming Sag; Linshang fault; geometry; fault movement rate