

# 南堡凹陷边界断层分段特征及其对沉积体系的控制作用

章惠<sup>1</sup>, 孙思敏<sup>2\*</sup>, 季汉成<sup>2</sup>, 贾海波<sup>2</sup>, 陈亮<sup>2</sup>, 汤阳<sup>2</sup>

(1. 中国石化石油物探技术研究院, 江苏南京 210014; 2. 中国石油大学(北京)地球科学学院, 北京 102249)

**摘要:** 基于地震资料, 应用垂直位移分析法, 定量反演南堡凹陷西南庄断层的生长过程, 认为该断层在南堡凹陷演化过程中表现为早期分段、晚期连接的特征。在沙河街组沉积初期, 断层分段特征明显, 各分段断层具有独立的正断层位移特征; 至沙一段沉积时期—东营组沉积时期, 各分段断层有连接的趋势, 并最终连接为一条大型正断层。西南庄断层分段特征的差异性对研究区沉积体系的类型、展布具有重要的控制作用。断层演化过程中形成的最大断距处位于分段断层中央位置附近, 控制半地堑的形成, 易形成深湖—半深湖背景下的近岸水下扇沉积体系; 断层分段点为各分段断层的连接部位, 发育走向斜坡型和横向背斜型构造调节带, 是砂体进入凹陷的主要物源通道, 易形成扇三角洲沉积体系。

**关键词:** 定量分析 断层分段 构造调节带 沉积体系 南堡凹陷

中图分类号: TE111

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2016)03-0020-06

## Segmentation characteristic of boundary fault in Nanpu sag and its control on sedimentary system

Zhang Hui<sup>1</sup>, Sun Simin<sup>2</sup>, Ji Hancheng<sup>2</sup>, Jia Haibo<sup>2</sup>, Chen Liang<sup>2</sup>, Tang Yang<sup>2</sup>

(1. SINOPEC Geophysical Research Institute, Nanjing City, Jiangsu Province, 210014, China;

2. College of Geosciences, China University of Petroleum (Beijing), Beijing City, 102249, China)

**Abstract:** On the basis of seismic data and vertical fault displacement method, the growth process of Xi'nanzhuang fault in Nanpu sag was quantitatively inverted. It shows that the boundary fault had the characteristic of segmentation in the early stage and jointed together in the later stage during the sag evolution period. The segmentation of the fault were apparent at the beginning of the depositional period of the Shahejie Formation, and each segment had individual distribution of normal fault displacement. During the depositional period of the first member of Shahejie Formation, the segments showed the trend of linkage and in the depositional period of the Dongying Formation, the segments finally linked together to become a large fault. It also reveals that the spatiotemporal diversity of Xi'nanzhuang fault segmentation has great influence on sedimentary system of rifted-basin and its distribution. The maximum fault displacement formed by segmentation is at the center of fault, and controlled the formation of half graben where nearshore subaqueous fans easily developed under the background of half-deep lake and deep lake. Meanwhile, the segmentation points located where the fault segments connected, and structural accommodation zones of strike slope and transverse anticline developed as the main channels for sand body being transported into the depression and thus facilitate the development of fan delta sedimentary system.

**Key words:** quantitative analysis; fault segmentation; structural accommodation zone; sedimentary system; Nanpu sag

收稿日期: 2016-01-11。

作者简介: 章惠(1987—), 女, 湖南岳阳人, 助理工程师, 硕士, 从事地震资料解释和储层预测研究。联系电话: 13912968587, E-mail: zhanghui714@126.com。

\*通讯作者: 孙思敏(1967—), 男, 山东临沂人, 讲师, 博士。联系电话: 13381128613, E-mail: sun62446@163.com。

基金项目: 国家科技重大专项“南堡凹陷油气富集规律研究与有利成藏区带预测”(2011ZX05006-006)。

近年来,构造—沉积研究已成为含油气盆地分析的基本内容,特别是断裂与沉积的关系逐渐成为研究断陷盆地的热点问题。断裂活动对盆地的形成、发展和演化以及盆地内沉积体系的发育、展布具有重要的控制作用<sup>[1-5]</sup>。对断裂的生长过程进行反演及定量分析,不仅有助于研究沉积体系的分布特征,也对明确沉积盆地的演化过程有指导意义。

南堡凹陷为渤海湾盆地的小型富油气凹陷。前人研究成果表明,凹陷内的断裂活动对沉积体系分布,尤其对砂体的展布具有重要的影响<sup>[6-8]</sup>;但是目前针对西南庄断层分段特征的定量分析及其对沉积体系控制作用的研究还欠系统深入。为此,笔者在前人研究成果的基础上,利用钻、测井和地震等资料,应用垂直位移分析法,定量分析南堡凹陷西北部西南庄边界断层的活动特征,进而探讨断层分段特征的差异性对沉积体系的控制作用,以期对研究区下步的油气勘探提供借鉴。

## 1 地质概况

南堡凹陷位于渤海湾盆地黄骅拗陷北部,其西北部以西南庄断层为界与老王庄凸起相接,东北部以柏各庄断层为界与马头营凸起相邻,南部为缓坡带,与沙垒田凸起相连,整体表现为北断南超的箕状断陷(图1)。

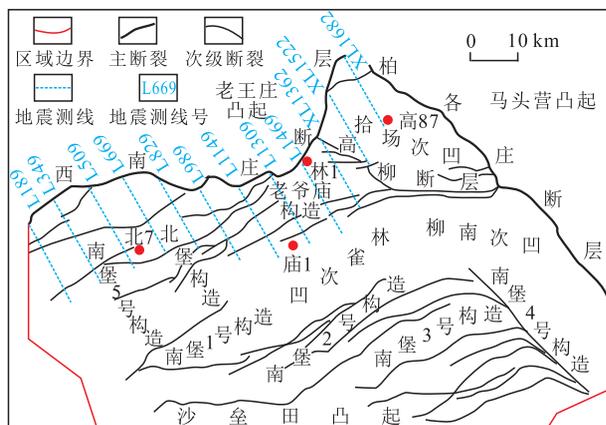


图1 南堡凹陷构造划分及地震测线分布

Fig.1 Tectonic map of Nanpu sag and the distribution of seismic survey line

西南庄断层作为南堡凹陷西北部的边界断层,控制形成拾场次凹、林雀次凹、老爷庙构造、北堡构造和南堡5号构造等,对凹陷的沉积演化具有重要的控制作用。古近纪是西南庄断层的主要活动期,由沙河街组沙三段4+5亚段沉积时期、沙三段3亚段沉积时期—沙二段沉积时期、沙一段沉积时期和东营组沉积时期4个裂陷幕组成。其中,沙三段4+5

亚段沉积时期是初始裂陷期,断层活动较弱;沙三段3亚段沉积时期—沙二段沉积时期为强烈裂陷期,断裂活动明显增强,南堡凹陷呈楔形沉积;沙一段沉积时期为裂陷稳定期,盆地虽然沉降明显,但断层活动差异降低;东营组沉积时期是裂陷活动的衰退期,研究区受高柳断层活动影响,北部拾场次凹东二段和东一段遭受剥蚀,仅保留东三段。受多期裂陷活动的影响,各沉积时期的沉积体系类型及展布特征均呈现出相应的特点,以发育冲积扇、扇三角洲、近岸水下扇和湖泊等沉积体系为主<sup>[8]</sup>。

## 2 断层分段特征

### 2.1 研究方法

盆地控边断层一般发育规模较大、延伸距离较远,其演化过程具有分段—连接的特征。在断层活动的初期阶段,表现为由走向上相对独立的分段断层组成,且各分段断层具有不同的活动特征;在断层活动的后期阶段,各分段断层侧向生长,并逐渐趋于统一,连接为一条大型的正断层,最终作为统一的断层系统活动<sup>[9-10]</sup>。根据断层分段—连接的特征,将断层演化过程划分为孤立时期、分段时期和连接时期共3个阶段。

在孤立时期,每个分段断层均具有独立的正断层位移特征,表现为中间位移最大,越往断层两端位移逐渐减小<sup>[11]</sup>。分段时期,各分段断层开始侧向生长,在其连接部位位移较小,因此将连接部位定义为断层分段点,也是构造调节带发育的部位;而分段断层中央位置的位移最大,因此将其定义为最大断距处,控制着半地堑的形成。连接时期,各分段断层生长连接为一条大型断层,断层的整体位移具有典型的正断层特征,即中间位移大、两端位移较小。这种断层早期分段、晚期连接的特征,对断层下降盘的地层展布具有重要的控制作用,同时断层分段点处发育的构造调节带还可以作为砂体进入凹陷的有利物源通道<sup>[12-18]</sup>。

目前对于断层分段特征的研究还比较薄弱,未形成统一有效的方法<sup>[19-20]</sup>。由于沿断层走向上垂直位移的变化可以反映出不同时期的断层活动特征,因此利用垂直位移分析法,通过计算在不同沉积时期沿断层走向上的垂直位移,可以实现对断层分段特征的定量研究。其计算式为

$$D_v = H_d - H_u \quad (1)$$

式中:  $D_v$  为生长断层沿走向方向的垂直位移, m;  $H_d$  为断层下降盘的地层厚度, m;  $H_u$  为断层上升

盘的地层厚度, m。

虽然垂直位移分析法未考虑地层压实、剥蚀以及古水深等方面的影响, 但由于边界断层附近没有明显的高度差, 因此, 可以利用垂直位移来表征断层的活动量, 而不需考虑盆地的沉积补偿问题<sup>[20]</sup>。

### 2.2 定量分析

为了精确计算沿断层走向的垂直位移, 以三级层序为单元对南堡凹陷垂直于西南庄断层走向的48条地震剖面进行解释(图1)。首先, 从西部主测线L189开始, 每隔40条测线(约1 km)分别统计各三级层序的双程旅行反射时间; 然后, 根据时深转换关系将时间域转换为深度域; 最终计算得到各三级层序沉积时期沿断层走向的垂直位移。为明确南堡凹陷断层分段特征, 结合各裂陷幕的活动特点, 分别选取沙三段4+5亚段沉积时期、沙三段3亚段沉积时期—沙二段沉积时期、东营组沉积时期沿西南庄断层走向的垂直位移来进行断层分段特征的定量分析(图2)。

沙三段4+5亚段沉积时期 沙三段4+5亚段沉积时期为初始裂陷期, 西南庄断层沿走向方向的垂直位移较小, 断层整体活动性较弱, 垂直位移小于400 m。研究区断层分段特征不明显, 初步可以划分为4段, 即西段、中一段、中二段和东段。其中, 西段以主测线L829为界, 断层活动较弱, 控制南堡5号构造的形成; 东段以联络测线XL1442附近为界, 控制着拾场次凹的沉积; 中一段和中二段的界限为主测线L1149, 中一段控制北堡构造的形成, 中二段则控制老爷庙构造的沉积。该沉积时期主测线L829, L1149和联络测线XL1442附近沿断层走向的垂直位移相对较小, 发育分隔西南庄断层4个沉降中心的低凸起, 断层分段特征已初步显现。

沙三段3亚段沉积时期—沙二段沉积时期 沙三段3亚段沉积时期—沙二段沉积时期为盆地的强烈裂陷期, 南堡凹陷西南庄断层活动性明显增强, 湖盆范围扩大, 断层分段特征最为明显。该沉积时期断层对凹陷的形成和演化起主要控制作用。其中, 中二段和东段的断层活动强度较大, 最大垂直位移约为1 400 m, 控制半地堑的沉积厚度也越大; 而分隔半地堑之间的低凸起处的垂直位移相对较小, 表现为沿断层走向垂直位移亏损的特征。

沙一段沉积时期 沙一段沉积时期为裂陷稳定期。西南庄断层西段和东段的活动性减弱, 断层分段特征不明显, 有连接为一条大型断层的趋势。整体上, 西南庄断层表现为正断层活动特征, 即中一段和中二段作为一个沉降中心, 整体断层的垂直

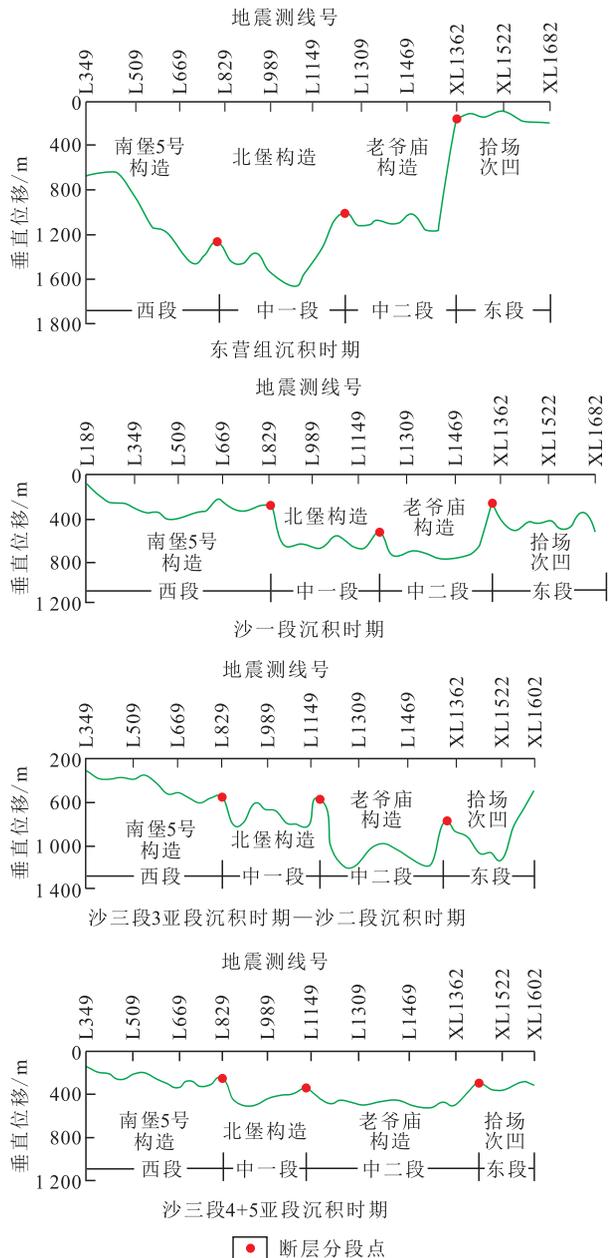


图2 西南庄断层不同沉积时期沿走向方向的垂直位移分布

Fig.2 Vertical displacement distribution along the strike of Xi'nanzhuang fault in different sedimentary periods

位移较大, 向西段和东段断层垂直位移逐渐减小。该沉积时期, 在断层分段点处垂直位移的变化更明显, 形成分隔两侧半地堑的横向凸起。

东营组沉积时期 东营组沉积时期继承沙一段沉积时期的连接趋势, 西南庄断层整体活动性较强, 但东段活动性较弱, 并逐渐消亡。其西段、中一段和中二段最终连接为一条大型断层, 仅有一个沉降中心, 形成统一的断层系统。

### 2.3 差异性

南堡凹陷西南庄断层是不同沉积时期各分段断层活动叠加的结果, 具有明显的差异性。在沙河

街组沉积时期,西南庄断层活动强烈,分段特征明显,地层厚度变化较大,呈楔形沉积;在断层下降盘沿走向方向产生一系列半地堑以及连接各个半地堑之间的走向斜坡型构造调节带,这种半地堑与构造调节带的组合关系对凹陷西部油气的生成、运移和聚集具有重要的指示作用<sup>[4-5]</sup>。东营组沉积时期,西南庄断层连接为一条大型断层,地层沉积范围较大且横向厚度变化较小,使研究区早期形成的洼隆相间的构造格局进一步均一化,整体发育一个沉降中心;在沿断层走向方向各分段断层的连接部位形成的横向背斜型构造调节带是有利的物源通道,对砂体展布起着重要的控制作用。

### 3 断层分段特征对沉积体系的控制作用

#### 3.1 对沉积沉降中心的控制作用

断层活动对沉积体系的控制作用主要表现在不同的构造单元,其中半地堑为盆地最基本的构造单元,通常受一条边界断层控制,具有断层中央部位活动性强的特征。边界断层分段特征的差异性控制半地堑构造的演化,影响地层展布特征,控制了断陷盆地的地层沉积样式,进而影响沉积体系的类型及展布规律。

在沙三段4+5亚段沉积时期,南堡凹陷西南庄断层由于沿走向方向具有分段性,控制形成了多个半地堑(图2);在凹陷西部发育4个沉积沉降中心,分布于各分段断层的下降盘;其中半地堑中央部位断层垂直位移较大,断层上升盘与下降盘之间存在地形的突变;半地堑之间的地层厚度较薄,地形表现为渐变,发育小型凸起。至东营组沉积时期,西

南庄断层沿走向方向的垂直位移差逐渐减小,半地堑之间的结构差异也逐渐变小,早期互相分割的小规模半地堑开始连接为一体,形成结构较为均一的大型半地堑;同时,地层展布范围明显扩大,均一化程度较高,沉积厚度中心具有连续统一的特点。由此认为,研究区西南庄断层分段特征的差异性控制半地堑的发育,进而控制不同沉积时期南堡凹陷西部沉积沉降中心的展布。

#### 3.2 对地层沉积样式的控制作用

受南堡凹陷西南庄断层分段特征差异性的影响,各分段断层控制形成不同的沉积沉降中心,同时,研究区各分段断层的分段点和最大断距处的地层沉积样式也呈现出不同的特征。

断层分段点位于断层垂直位移相对较小的部位,表现为古构造较高,地层倾角较小,地层坡度自断层向盆地内部逐渐变缓,为横向延伸较远的背斜状构造(图3a)。以老爷庙构造的庙1井为例,该井位于主测线L1189附近,为断层分段点发育部位。在东一段沉积时期,砂体沿断层分段点高部位进入盆地内部,以进积式叠加样式为主,砂岩厚度较大,砂地比较高,且越往湖盆内部方向,砂体推进距离越远、展布范围越大,为有利砂体发育区。

最大断距处即断坡带发育部位,其断层下降盘垂直位移相对最大。整体上,最大断距处的地层陡倾,坡度变化较大,剖面上呈楔形展布(图3b)。以林雀次凹的林1井为例,该井位于主测线L1509附近,对应最大断距处;在东一段沉积时期,其水体相对较深,沉积物以退积式或垂向加积式叠加样式为主,砂体厚度较小或基本不发育,以泥质沉积为主。

#### 3.3 对砂体展布规律的控制作用

边界断层对陆相盆地演化及沉积体系展布等

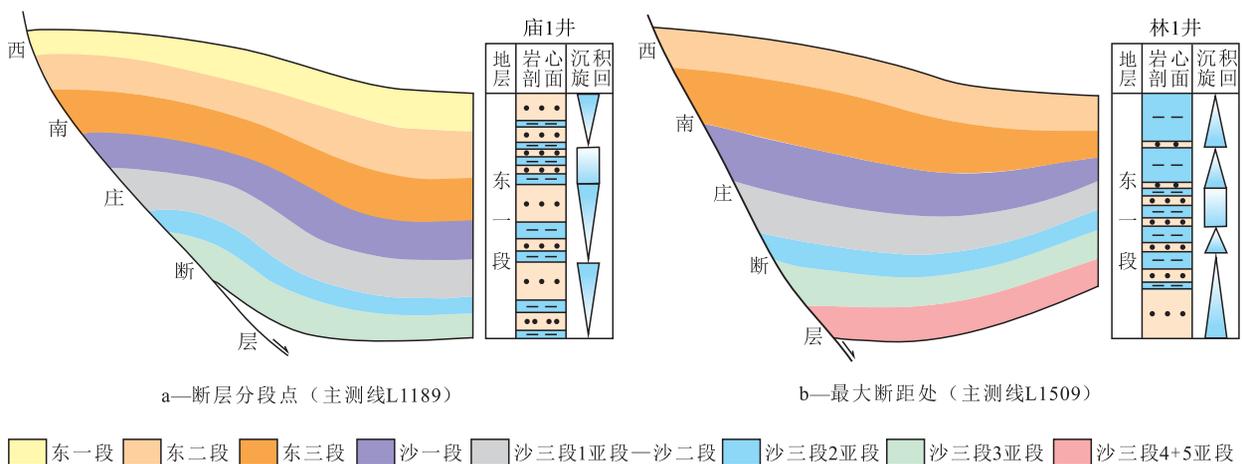


图3 断层分段点和最大断距处的地层沉积样式

Fig.3 Sedimentary style of strata at the position of fault segmentation points and the maximum fault displacement

具有重要的控制作用。断层分段特征不仅控制沉积沉降中心的分布和地层沉积样式的发育,也对砂体展布规律具有重要控制作用。不同沉积时期、不同构造部位断层活动的差异性使得沉积体系的横向发育和纵向分布均呈现出一定的规律性。

横向上,断层沿走向方向的分段点和最大断距处,分别对应于相对古构造高部位和低部位,控制沉积体系的横向展布。在沙河街组沉积早期,南堡凹陷西南庄断层分段点处发育走向斜坡型构造调节带,表现为不同的分段断层走向平行且存在相互叠覆的部分,形成一个长轴平行于断层走向的斜坡地貌。由于叠覆部分的地层代表古构造低部位,所以走向斜坡型构造调节带是山间河流进入盆地的入口,对碎屑物质进入凹陷具有控制作用,可以成为较好的物源通道并控制砂体的展布<sup>[12-13]</sup>。在沙河街组沉积晚期—东营组沉积时期,西南庄断层分段点处发育横向背斜型构造调节带,表现为断层上升盘地势较低,易于形成汇水区,陆源碎屑物质由上升盘构造低部位直接进入凹陷,物源供给充足,沉积物向盆地方向推进距离远,横向分布范围广,是各种有利储集砂体发育的良好场所<sup>[16-18]</sup>。整体而

言,断层分段点处发育的构造调节带是较好的物源通道,其地层坡度缓,有利于储集砂体顺着缓坡延伸方向进入凹陷,沉积体系具有垂向厚度较小、平面展布范围较大和砂体较发育等特点,以扇三角洲沉积为主。最大断距处的垂直位移较大、坡度较陡、水体较深,沉积物供给较弱,发育半深湖—深湖相泥岩沉积;当存在充足的物源时,由于运移距离短、碎屑物质粗、分选磨圆差,易于形成近源快速堆积的砂砾岩体。因此其沉积体系的垂向厚度较大、平面展布范围较小,以近岸水下扇沉积为主。

纵向上,在不同的沉积时期,研究区西南庄断层的活动强度具有一定的差异性,致使其沉积体系演化也存在较大的差异,进而对凹陷发育产生重要的影响。在沙河街组沉积时期,西南庄断层的活动性表现为由弱至强的特征,其沉积体系由早期的扇三角洲沉积逐渐转变为深湖—半深湖背景下的近岸水下扇沉积,且沉积体系的平面展布范围较小,主要集中在最大断距处(图4a)。东营组沉积时期,西南庄断层的活动性表现为由强变弱的特征,沿边界断层多发育扇三角洲沉积,沉积规模较大、分布范围较广,且多分布于断层分段点处(图4b)。

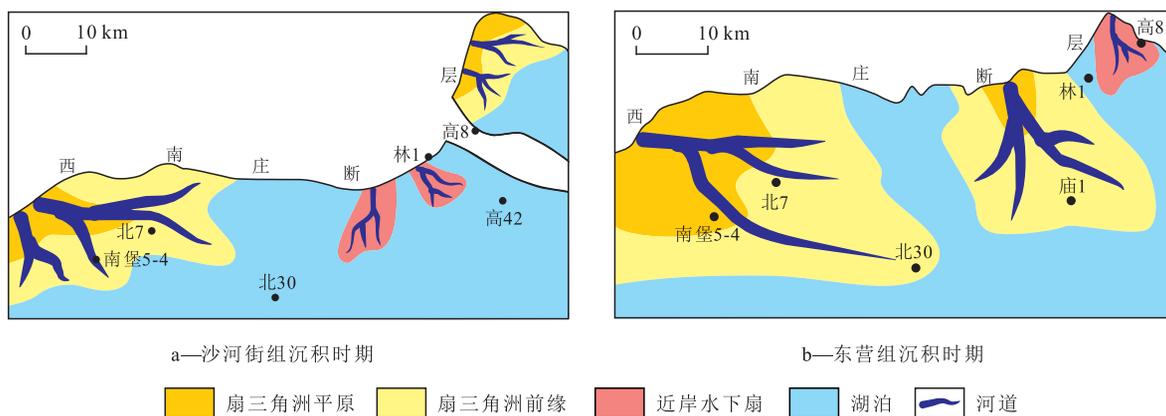


图4 南堡凹陷西部不同沉积时期沉积体系平面展布

Fig.4 Sedimentary facies distribution in different periods in the west of Nanpu sag

## 4 结论

应用垂直位移分析法对南堡凹陷西南庄断层的分段活动特征进行定量研究。通过反演断层的生长过程,揭示了西南庄断层在时间和空间上的变化规律,为分析断层对沉积体系的控制作用奠定了基础。西南庄断层在不同沉积时期表现为早期分段—晚期连接的特征。不同沉积时期断层分段特征不同,在沙河街组沉积时期断层分段特征明显,沙一段沉积时期—东营组沉积时期各分段断层有

连接的趋势,并最终连接为一条大型断层,形成中间垂直位移大、两端垂直位移逐渐变小的典型正断层。综合断层分段特征定量分析结果,认为南堡凹陷西南庄断层分段特征对研究区沉积沉降中心、地层沉积样式及沉积体系的类型、展布等均具有重要控制作用。最大断距处地层较为陡倾,控制半地堑的形成,若物源供应较充足,易发育深湖—半深湖背景下的进积式近岸水下扇沉积;断层分段点处地层较平缓,发育走向斜坡型和横向背斜型构造调节带,为较好的物源通道,有利于砂体进入凹陷,易发育横向展布范围较广的扇三角洲沉积体系。

## 参考文献:

- [1] 林畅松. 沉积盆地的构造地层分析——以中国构造活动盆地研究为例[J]. 现代地质, 2006, 20(2): 185-194.  
Lin Changsong. Tectono-stratigraphic analysis of sedimentary basins: A case study on the inland tectonically active basins in China[J]. Geoscience, 2006, 20(2): 185-194.
- [2] 王永利, 陈树光. 渤中坳陷沙北地区构造—沉积分析[J]. 油气地质与采收率, 2015, 22(4): 26-32.  
Wang Yongli, Chen Shuguang. Tectonic-sedimentary analysis of Shabei area in Bozhong depression[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(4): 26-32.
- [3] 刘军锴, 简晓玲, 康波, 等. 东营凹陷东营三角洲沙三段中亚段古地貌特征及其对沉积的控制[J]. 油气地质与采收率, 2014, 21(1): 20-23.  
Liu Jun'e, Jian Xiaoling, Kang Bo, et al. Paleogeomorphology of the middle part of 3rd member of Shahejie formation and their effects on depositional systems, Dongying delta, Dongying depression [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(1): 20-23.
- [4] 尚墨翰. 东濮凹陷构造—沉积演化与油气成藏的关系[J]. 油气地质与采收率, 2014, 21(4): 50-53, 57.  
Shang Mohan. Relationship between structural-depositional evolution and oil-gas accumulation in Dongpu sag [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(4): 50-53, 57.
- [5] 孙波, 陶文芳, 张善文, 等. 济阳坳陷断层活动差异性与油气富集关系[J]. 特种油气藏, 2015, 22(3): 18-21.  
Sun Bo, Tao Wenfang, Zhang Shanwen, et al. Relationship between fault activity difference and hydrocarbon enrichment in Jiyang Depression [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2015, 22(3): 18-21.
- [6] 姜华, 王建波, 张磊, 等. 南堡凹陷西南庄断层分段活动性及其对沉积的控制作用[J]. 沉积学报, 2010, 28(6): 1 047-1 052.  
Jiang Hua, Wang Jiangbo, Zhang Lei, et al. Segment activity of Xi' nanzhuang fault in Nanpu Sag and its controlling on sedimentary process [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 28(6): 1 047-1 052.
- [7] 史冠中, 王华, 徐备, 等. 南堡凹陷柏各庄断层活动特征及对沉积的控制[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2011, 47(1): 85-90.  
Shi Guanzhong, Wang Hua, Xu Bei, et al. Activity of Baigezhuang fault of Nanpu depression and its controlling on sedimentation [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2011, 47(1): 85-90.
- [8] 张翠梅. 渤海湾盆地南堡凹陷构造—沉积分析[D]. 武汉: 中国地质大学(武汉), 2010: 1-20.  
Zhang Cuimei. Tectonic and sedimentary analysis of the South Fort depression in the Bohai Bay Basin [D]. Wuhan: China University of Geosciences (Wuhan), 2010: 1-20.
- [9] Anders M H, Schlische R W. Overlapping faults, intra-basin highs, and the growth of normal faults [J]. The Journal of Geology, 1994, 102(2): 165-179.
- [10] Schlische R W. Geometry and origin of fault-related folds in extensional settings [J]. AAPG Bulletin, 1995, 79(11): 1 661-1 678.
- [11] Dawers N H, Anders M H. Displacement-length scaling and fault linkage [J]. Journal of Structural Geology, 1995, 17(5): 607-614.
- [12] 徐长贵. 渤海古近系坡折带成因类型及其对沉积体系的控制作用[J]. 中国海上油气, 2006, 18(6): 365-370.  
Xu Changgui. Genetic types of Paleogene slope-break zones and their controls on depositional system in Bohai offshore [J]. China Offshore Oil and Gas, 2006, 18(6): 365-370.
- [13] 侯宇光, 何生, 王冰洁, 等. 板桥凹陷构造坡折带对层序和沉积体系的控制[J]. 石油学报, 2010, 31(5): 754-760.  
Hou Yuguang, He Sheng, Wang Bingjie, et al. Constraints by tectonic slope-break zones on sequences and depositional systems in the Banqiao Sag [J]. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31(5): 754-760.
- [14] 汪新伟, 郭彤楼, 沃玉进, 等. 埕紫罗断裂带深部构造分段特征及构造变换作用[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(2): 220-228.  
Wang Xinwei, Guo Tonglou, Wo Yujin, et al. Characteristics of deep structural segmentation and transformation of the Yaziluo fault zone [J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(2): 220-228.
- [15] 谭建财, 范彩伟, 任科英, 等. 琼东南盆地北部构造变换带及其油气地质意义[J]. 油气地质与采收率, 2014, 21(2): 62-65.  
Tan Jiancai, Fan Caiwei, Ren Keying, et al. Structural transfer zone and significance for hydrocarbon geological in northern Qiongdongnan basin [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(2): 62-65.
- [16] 陈发景, 贾庆素, 张洪年. 传递带及其在砂体发育中的作用[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(2): 143-148.  
Chen Fajing, Jia Qingsu, Zhang Hongnian. Transfer zone and its relation with distribution of sand bodies [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(2): 143-148.
- [17] 王家豪, 王华, 肖敦清, 等. 伸展构造体系中传递带的控砂作用——储层预测的新思路[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(1): 19-25.  
Wang Jiahao, Wang Hua, Xiao Dunqing, et al. Control of transfer zone on sandbodies in the extensional structure system—a new approach to reservoir prediction [J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(1): 19-25.
- [18] 冯有良. 断陷湖盆沟谷及构造坡折对砂体的控制作用[J]. 石油学报, 2006, 27(1): 13-16.  
Feng Youliang. Control of valley and tectonic slope-break zone on sand bodies in rift-subsidence basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(1): 13-16.
- [19] 孙思敏, 彭仕宓, 汪新文. 东濮凹陷长垣断层的生长特征与半地堑演化[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(2): 123-124.  
Sun Simin, Peng Shimi, Wang Xinwen. Growing characteristics of Chuangyuan fault and half-graben evolution in Dongpu depression [J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(2): 123-124.
- [20] 赵勇, 戴俊生. 应用落差分析研究生长断层[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(3): 13-16.  
Zhao Yong, Dai Junsheng. Identification of growth fault by fault fall analysis [J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(3): 13-16.