

文章编号: 1000-0550(2010)06-1047-07

# 南堡凹陷西南庄断层分段活动性及其对沉积的控制作用<sup>①</sup>

姜 华<sup>1</sup> 王建波<sup>2</sup> 张 磊<sup>1</sup> 方欣欣<sup>3</sup> 袁圣强<sup>1</sup>

(1. 中国石油勘探开发研究院石油地质所 北京 100083;

2. 中国石油化工股份有限公司东北分公司勘探开发研究院 长春 130062; 3. 中国地质大学 北京 100083)

**摘 要** 应用古落差方法进行南堡凹陷西南庄断层分段活动性的研究,并以此为基础对沉积的控制作用进行研究。西南庄断层可划分为 3 段,东段最先发育,西段和中段在中晚期强烈活动。其中,西段控制着南堡⑤号构造带的发育,由于强烈活动形成了其滚动背斜的构造样式;而中段和东段的连接部位正是老爷庙构造带的发育部位。正是由于两翼的强烈沉降,使老爷庙构造带形成了长轴垂直于西南庄断层的横向背斜。南堡⑤号构造带的物源主要是从断裂西段的倾没端沿断裂下降盘的沟槽进入西段控制的中心部位;老爷庙构造带对应着东段和中段的连接部位,是继承性发育的物源入口,沉积体系进入盆地后沿背斜枢纽部位向盆地中心运移。

**关键词** 南堡凹陷 西南庄断层 分段活动性 横向褶皱背斜

**第一作者简介** 姜华 男 1977 年出生 博士 层序地层学、沉积学 E-mail: sorcerer\_2004@126.com

**中图分类号** P512.2 **文献标识码** A

构造对沉积控制作用的研究一直是盆地分析领域的一个重要问题<sup>[1~4]</sup>。随着板块构造学说的兴起,以研究各种大地构造背景下沉积盆地形成、发展和演化过程及其盆内沉积作用为主要的构造沉积学或构造地层学得到长足的发展。在盆地内,构造对沉积的控制作用主要表现在控盆断裂及伴生的盆内断裂形成、演化对沉积体系类型及其展布的控制作用。构造对沉积的控制作用目前的研究主要集中在以下几个方面:(1) 构造活动的幕式构造活动控制着盆地沉积充填序列;(2) 构造活动及其演化控制着盆地沉积—沉降中心的分布及不同时期的变迁;(3) 构造活动形成的构造坡折带控制着沉积体系的类型及空间展布;(4) 断层之间形成的转换带和调节带部位控制着物源进入盆地的入口。随着研究的深入,控制盆地形成的边界断裂具有分段性的特征这一观点已经达成共识,但其分段演化规律及其对沉积控制作用的研究仍处于探索阶段:一方面断层活动具有时空演化的特点并受到区域应力场变化的控制得到普遍的认可,并有学者用落差法进行不同时期古落差的测量和构造演化史恢复;而另一方面由于地层往往是由多期构造频繁活动控制了地层的发育,以何种级别的地层作为演化对比往往成为研究中凸显的问题<sup>[5~8]</sup>。笔者认为,中国东部盆地普遍受到幕式构造活动的控制,控盆断裂也基本为区域幕式构造活动的响应,因此,合理的

划分构造幕,并按构造幕进行断裂活动的规律性研究是较为合理的,并以南堡凹陷西南庄断层为例,进行了断裂分段活动性及其对沉积控制作用的研究。

## 1 盆地背景

南堡凹陷位于华北板块北部,是渤海湾盆地群黄骀拗陷北部的一个中、新生代盆地(图 1),属于渤海湾盆地中油气资源丰富的小型凹陷。该凹陷东北部以柏各庄控盆断层为界与柏各庄凸起、马头营凸起毗邻;西北部以西南庄控盆断层为界与西南庄、王老庄凸起为邻;南部缓坡与沙垒田凸起呈超覆关系,该凹陷内总的构造格局呈 NNE 向,面积约 1 932 km<sup>2</sup>。南堡凹陷总体呈“北断南超”的复式半地堑结构<sup>[9~13]</sup>。西南庄断层是南堡凹陷北部重要的边界断层,控制着南堡 5 号构造带、老爷庙构造带和高尚堡构造带的形成,其产状和走向复杂多变,是南堡凹陷北部重要的油气勘探部位<sup>[14]</sup>。

南堡凹陷总体表现为幕式构造活动的特点,古近纪是西南庄断层主体活动期,该时期构造演化总体可以划分为 4 个构造幕(图 2)。其中,Es<sub>3</sub><sup>4+5</sup> 亚段是裂陷 I 幕,为初始裂陷幕,发育范围局限,厚度较薄,超覆于前第三系基底上;Es<sub>3</sub><sup>3</sup> 至 Es<sub>2</sub> 亚段是裂陷 II 幕,为主裂陷幕,是南堡迅速沉降扩张的关键时期,地层分布范围大,沉积地层较厚,与 Es<sub>3</sub><sup>4+5</sup> 亚段地层呈角

①国家重点基础研究规划项目(973) [编号:2007CB209502],国家自然科学基金项目(批准号:40872077)和湖北省重点自然科学基金(编号:2008CDA098)联合资助。

收稿日期:2009-09-28; 收修改稿日期:2009-10-10

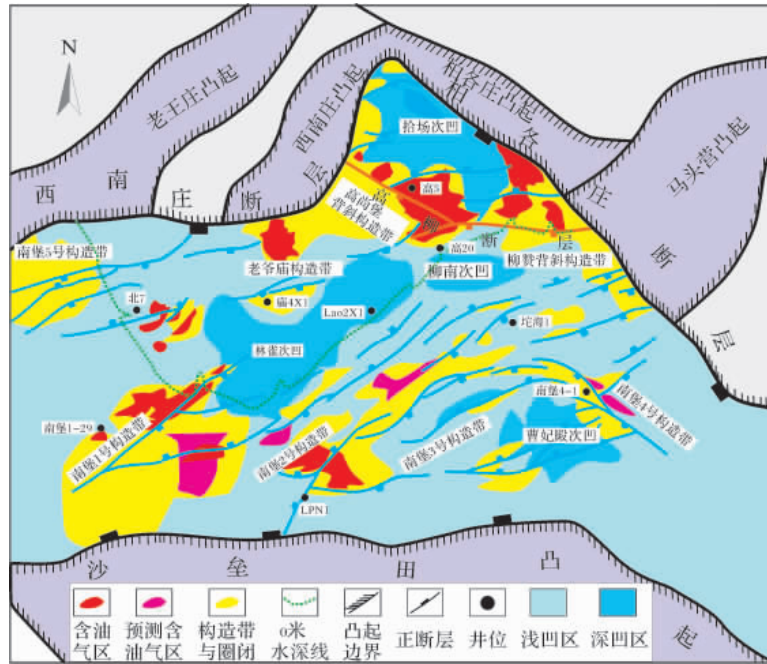


图1 渤海湾盆地南堡凹陷构造格局(据徐安娜 2008 修改)

Fig.1 Schematic structure of Nanpu sag in Bohaiwan basin (modified by Xu Anna 2008)

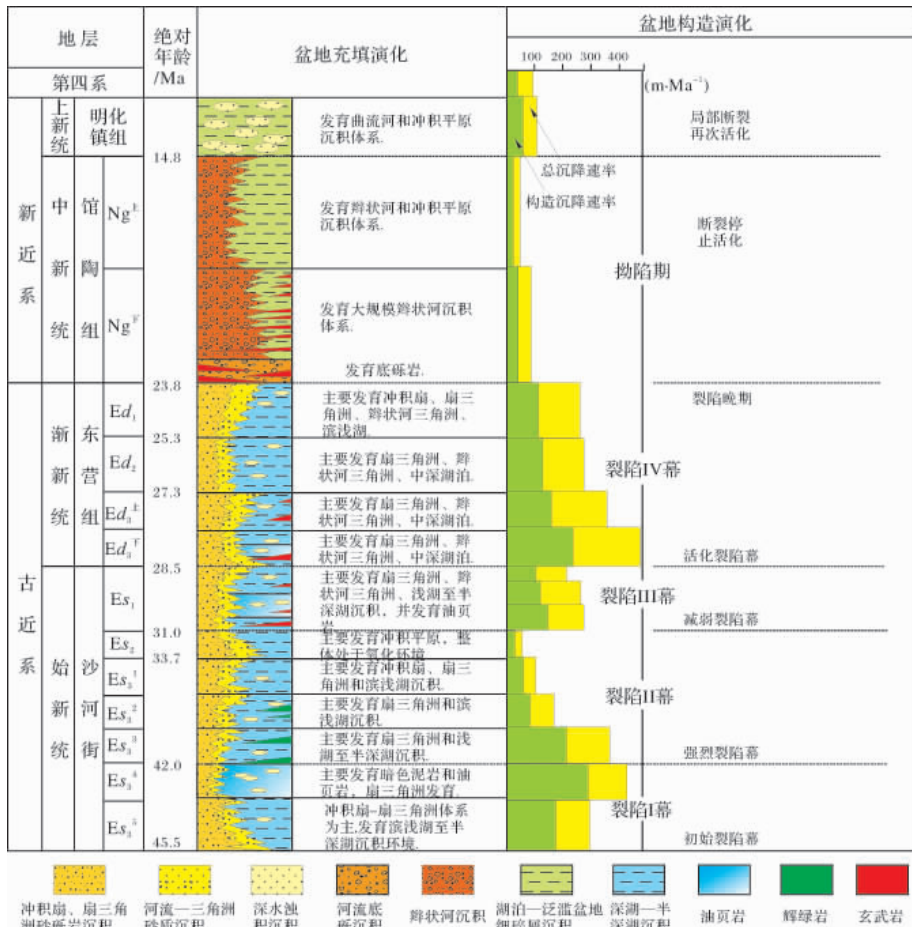


图2 南堡凹陷幕式构造运动特征

Fig.2 Characteristics of periodic rifting of Nanpu Sag

度不整合接触,也超覆于前第三系基底上。地层保存相对完整,可以划分出裂陷活动阶段(即  $E_{s_3}^3$  至  $E_{s_3}^1$  亚段)和裂后相对静止阶段(即  $E_{s_2}$  亚段)。 $E_{s_1}$  亚段是裂陷 III 幕,为衰退裂陷幕,与前期裂陷活动相比强度降低,厚度较薄,其发育范围与盆地最后的主体范围相当。 $E_d$  亚段是裂陷 IV 幕,为再活化裂陷幕,该幕处于裂陷晚期,但是构造活动强烈,沉积地层厚度大,盆地均一化程度高。

## 2 西南庄断层分段活动性研究

### 2.1 基本原理与分段性划分

国外学者研究表明,大型控盆断裂的形成通常要经历一个漫长的演化过程<sup>[5]</sup>(图 3),往往起始于相同应力场作用下形成的一系列小型弧状断裂。这些小型断裂不断扩展,进而相互影响,最后连接成为一条统一的大型断层。一条单独的弧状断层通常具有断层中心部位落差最大,向两侧变小直至落差为零。当这些小型断层连接成为一条大型断裂共同活动时,在相接部位落差往往仍相对较小,分析这一特征可以进行断层分段活动性的研究。这些分段活动断层的链

接部位往往是盆地早期构造转换带和调节带发育的部位,也就是物源进入盆地内部的入口,在伸展盆地中这些物源入口往往具有继承性发育的特点,这种方法可以作为判断盆地物源入口的新方法。

研究断层活动性差异主要是通过古落差的识别<sup>[15]</sup>,断层古落差指某地质历史时期的铅直断层滑距。在沉积补偿的情况下,沉积盆地的沉降幅度等于沉积物的厚度,可以利用两盘地层厚度代表生长断层两盘的下降幅度。虽然,计算断层古落差应考虑压实作用、剥蚀作用、塑性流动、古水深等因素的影响,但只要断层线附近沉积表面没有明显的高度差,都可以用两盘的地层厚度差代表两盘的下降幅度差,而不必考虑整个盆地是否沉积补偿。

应用古落差分析法分析各构造幕西南庄断层古落差的演化规律,可将其划分为 3 段(图 4)。其中东段最早发育于裂陷 I 幕,而中段和西段在裂陷 II 幕开始强烈活动,其强度在以后各个时期一直超过东段。在裂陷 III 幕构造活动期,高柳断层开始发育,使东段分为两个部分,并且两部分由于高柳断层的调节作用古落差产生明显的差异。

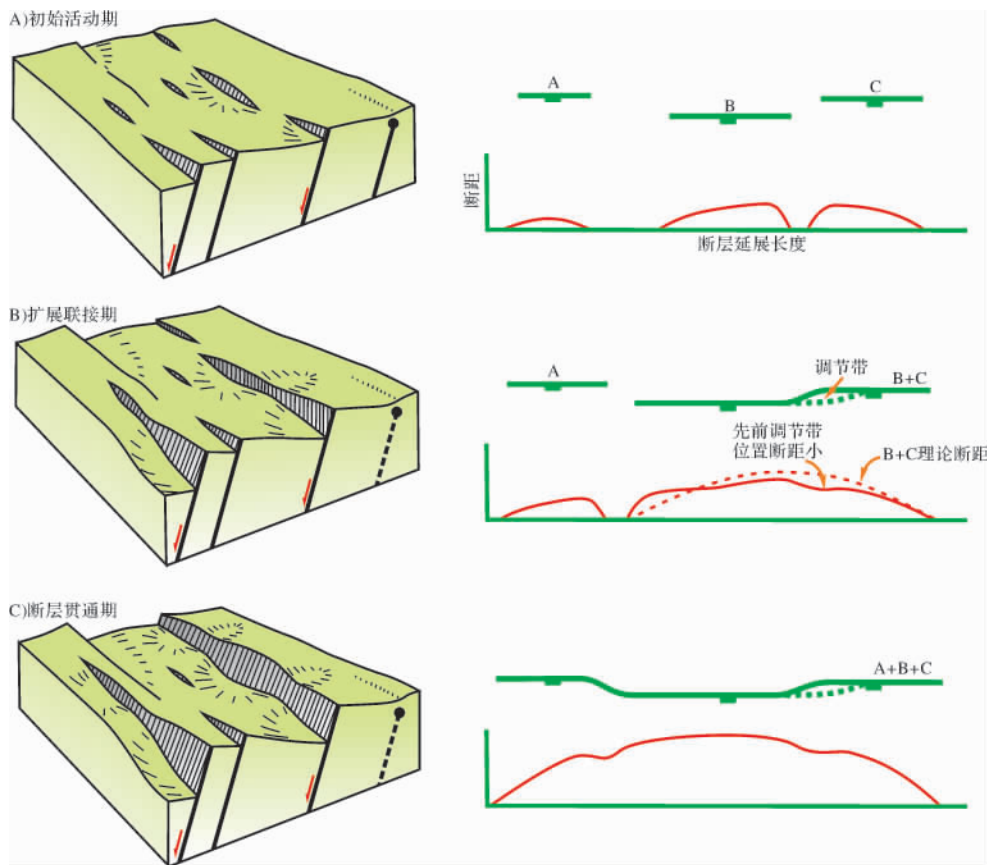


图 3 某盆地主干断层演化特征( Gawthorpe 2000)

Fig. 3 Evolution characteristics of trunk faults in certain foreign basin( Gawthorpe 2000)

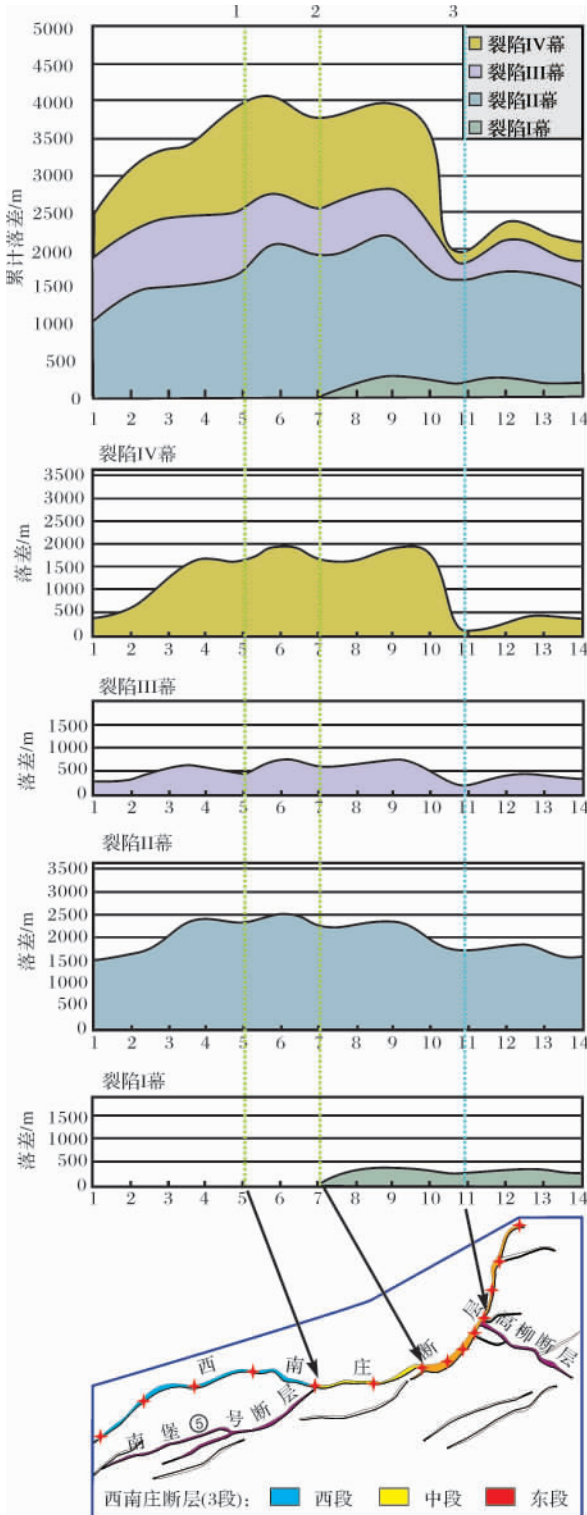


图4 西南庄断层分段性分析

Fig. 4 Analysis on segment of Xi' nanzhuang fault

2.2 西南庄断层分段性特征及其控制作用

对比西南庄断层的3段,除了古落差的差异性特征,还具有以下特征: a. 西段整体为一个NEE向为主

的弧状断层并伴生发育南堡⑤号断层;中段为近EW向展布;东段为近NE相展布,且东段由于在裂陷IV幕高柳断层强烈的活动,在这一时期分为两段; b. 西段断裂以铲状为主,中段和东段则以板状为主; c. 值得注意的是,西南庄断层西段控制着南堡⑤号构造带的发育,而老爷庙构造带恰恰对应东段和中段的连接部位。而通过地震解释发现,南堡⑤号构造带是一个长轴近平行于西段的滚动背斜构造,而老爷庙构造带则是一个长轴垂直于西南庄断层的横向褶皱背斜(图5)。

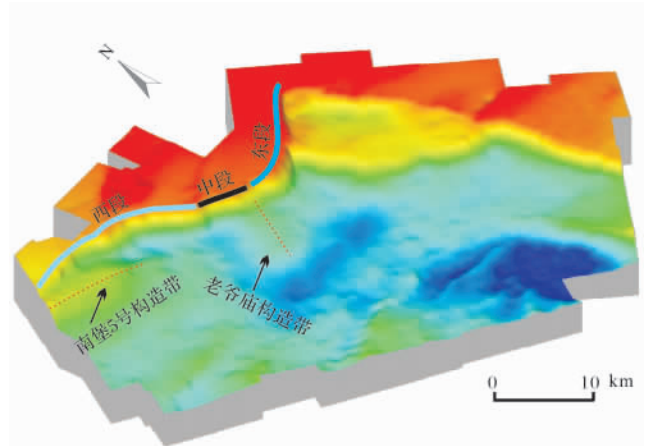


图5 西南庄断层下降盘构造带形态特征

——以东营组底界面为例

Fig. 5 Shapes of tectonic belts in down wall of Xi' nanzhuang fault: take base interface of Dongying Formation as an example

南堡⑤号构造带和老爷庙构造带是南堡凹陷内重要的二级含油气构造单元,特别是老爷庙构造带经过长期的勘探已证明具有丰富的油气产量。西南庄下降盘同时形成了南堡⑤号构造带滚动背斜构造样式和老爷庙构造带横向褶皱(横向背斜)构造样式,与该断层分段活动性有着密不可分的关系。通过前面对西南庄断层活动性的分析,可以对这种差异进行合理的解释。西南庄主要由3条独立的断裂最终合并成为一条断裂,老爷庙构造发育于中段和东段的结合部位,既是物源的输入部位,同时其两侧断裂沉降速度快,轴部较慢,逐渐形成枢纽垂直于断裂走向的横向背斜,并且在裂陷IV幕由于高柳断层的活动使东段分为两个部分且沉降最大部位向老爷庙构造带迫近,从而导致在东营期时期老爷庙构造带横向褶皱的特征最为明显;而北堡构造带主要受到西南庄断裂西段的控制,西南庄断裂西段断面呈铲状,延展较长,在其下降盘形成滚动背斜,其长轴方向基本与西南庄

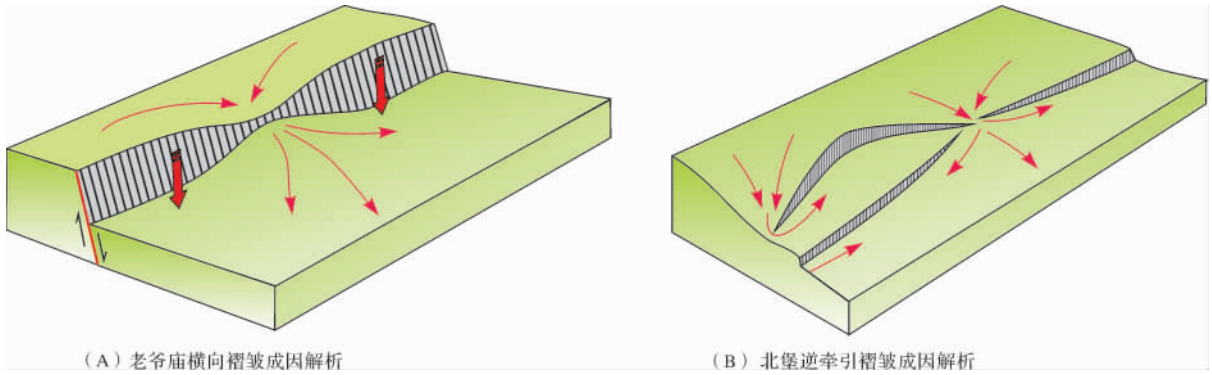


图 6 西南庄断层横向褶皱与滚动背斜成因解析

Fig. 6 Analysis on formation of transverse fold and rollover anticline in Xi'nanzhuang fault

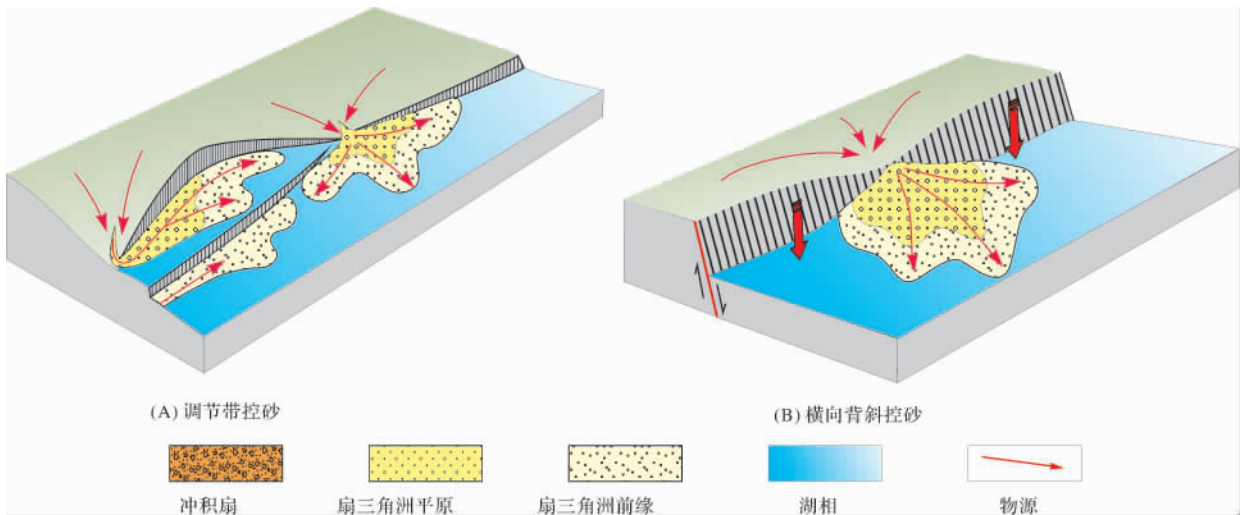


图 7 南堡凹陷西南庄断裂控砂模型

Fig. 7 Models of cotrolling of Xi'nanzhuang fault on sand bodies in Nanpu Sag

断裂西段走向平行,其物源主要是从西部西南庄断层末端输入凹陷内部(图 6)。

### 3 西南庄断层分段活动性对沉积体系展布的控制

西南庄断层的倾末端和连接部位是盆地早期的构造调节带部位,随着构造发育各段连接成为一条大断裂,但是早期形成的物源通道已经继承发育继续沿原部位或附近地区进入凹陷,并随着凹陷内部古地貌的改变在凹陷内重新分配。因此,其控制作用主要表现在早期的调节带及其继承发育的对沉积体系展布的控制作用,总体可以划分为两种类型,即调节带控砂和横向背斜拉砂。

#### 3.1 调节带控砂

调节带的概念最早出现在挤压地区的构造研究

中。20 世纪 80 年代,国外学者 Scott 等<sup>[16]</sup>、Morley 等<sup>[17]</sup>将这一概念应用于伸展构造研究,用来描述控凹主干断层沿走向通过其它形式的构造(分支断裂、凸起、走向斜坡或撕裂断层等)传递或转换为另一条控凹主断层,以保持应变和位移(伸展量)量守恒,由于物源的继承性,原来调节带输砂的方向往往是后期物源进入盆地的继承性通道。

南堡⑤号滚动背斜构造带受控于西南庄断层西段弧形断层控制,该断层两端成为沉积物进入凹陷的入口,然后沿着断裂横向进行展布(图 7A)。由于该段在东营组沉积期强烈的活动,地层严重翘倾,该部位的西南庄断层下降盘基本为沟槽式充填。而凹陷西部物源的一支,沿南堡⑤号断层向凹陷深部展布(图 7A)。

### 3.2 横向背斜控砂

老爷庙构造带是一个典型的横向背斜,由于该部位对应着西南庄断层中段和东段的连接部位,即是继承性的物源通道,因此该部位砂体发育。同时,由于老爷庙构造两翼的断裂强烈沉降,造成老爷庙构造呈现枢纽垂直于西南庄断层的横向背斜样式。从而形成了老爷庙构造独特的构造形态和砂体展布特征(图7B)。

## 4 结论与讨论

控盆边界断裂的活动差异性不应仅仅理解为断裂发育的横向差异性,更应对其发育史和分段活动特征进行研究。西南庄断层按其古落差可以划分为3段,各段发育时期不同,东段最先发育,而中段和西段在中晚期活动强烈。各段之间的连接部位和断层倾末端是早期构造调节带发育的部位,也是晚期物源继承性发育的部位。同时,由于其分段活动导致其下降盘发育滚动背斜和横向背斜两种褶皱,并且控制着储集砂体的展布样式。

通过断裂分段活动性研究可以进行物源进入盆地通道的判断,从而对沉积体系的展布进行有效预测。

### 参考文献(References)

- 1 Galloway W E. Genetic stratigraphic sequence in basin analysis I: architecture and genetics of flooding surface bounded depositional units [J]. *AAPG Bulletin*, 1989, 73: 125-142
- 2 邓宏文, 郭建宇, 王瑞菊, 等. 陆相断陷盆地的构造层序地层分析 [J]. *地学前缘*, 2008, 15(2): 1-7 [Deng Hongwen, Guo Jianyu, Wang Ruiju, *et al.* Tectono-sequence stratigraphic analysis in continental faulted basins [J]. *Earth Science Frontiers*, 2008, 15(2): 1-7]
- 3 王家豪, 王华, 肖敦清. 伸展构造体系中传递带的控砂作用 [J]. *石油与天然气地质*, 2008, 29(1): 19-25 [Wang Jiaohao, Wang Hua, Xiao Dunqing. Transfer zone controlling on sandbodies in extensional structure system [J]. *Oil & Gas Geology*, 2008, 29(1): 19-25]
- 4 林畅松, 郑和荣, 任建业, 等. 渤海湾盆地东营、沾化凹陷早第三纪同沉积断裂作用对沉积充填的控制 [J]. *中国科学: D 辑*, 2003, 33(11): 1025-1036 [Lin Changsong, Zheng Herong, Ren Jianye, *et al.* Tectono-stratigraphic analysis of sedimentary basins: a case study on the inland tectonically active basins in China [J]. *Geoscience*, 2006, 20(2): 185-194]
- 5 Gawthorpe R L, Leedert M R. Tectono-sedimentary evolution of active extensional basins [J]. *Basin Research*, 2000, 12: 195-218
- 6 叶兴树, 王伟锋, 陈世悦, 等. 东营凹陷断裂活动特征及其对沉积的控制作用 [J]. *西安石油大学学报: 自然科学版*, 2006, 21(5): 29-34 [Ye Xingshu, Wang Weifeng, Chen Shiyue, *et al.* Characteristics

- of fault activities in Dongying Depression and their controlling effects on sediment [J]. *Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition*, 2006, 21(5): 29-34]
- 7 白新华, 罗群. 东营凹陷纯东地区断裂划分及断裂活动特征 [J]. *大庆石油学院学报*, 2004, 28(6): 1-7 [Bai Xinhua, Luo Qun. Division and analysis of activity characters of faults in Chundong area of Dongying depression [J]. *Journal of Daqing Petroleum Institute*, 2004, 28(6): 1-8]
- 8 刘苏, 王伟锋. 惠民凹陷沙三期—东营期断裂活动性研究 [J]. *西安石油大学学报: 自然科学版*, 2007, 22(3): 38-41 [Liu Su, Wang Weifeng. Study on fault activities in Shahejie-Dongying period in Huimin Sag [J]. *Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition*, 2007, 22(3): 38-41]
- 9 刘延莉, 邱春光, 邓宏文, 等. 冀东南堡凹陷古近系东营组构造对扇三角洲的控制作用 [J]. *石油与天然气地质*, 2008, 29(1): 95-101 [Liu Yanli, Qiu Chunguang, Deng Hongwen, *et al.* Control of the structure of the Paleogene Dongying Formation upon fan-delta deposition in the Nanpu Sag [J]. *Oil & Gas Geology*, 2008, 29(1): 95-101]
- 10 徐安娜, 郑红菊, 董月霞, 等. 南堡凹陷东营组层序地层格架及沉积相预测 [J]. *石油勘探与开发*, 2006, 33(4): 437-443 [Xu Anna, Zheng Hongju, Dong Yuexia, *et al.* Sequence stratigraphic framework and sedimentary facies prediction in Dongying Formation of Nanpu Sag [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2006, 33(4): 437-443]
- 11 管红, 朱筱敏. 南堡凹陷东营组层序地层格架及沉积体系 [J]. *沉积学报*, 2008, 26(5): 730-736 [Guan Hong, Zhu Xiaomin. Sequence framework and sedimentary facies of Ed Formation in Paleogene, Nanpu Sag [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2008, 26(5): 730-736]
- 12 袁选俊, 薛叔浩, 王克玉. 南堡凹陷第三系沉积特征及层序地层学研究 [J]. *石油勘探与开发*, 1994, 21(4): 87-94 [Yuan Xuanjun, Xue Shuhao, Wang Keyu. Sedimentary features and sequence stratigraphy of Eogene system in Nanpu Sag [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1994, 21(4): 87-94]
- 13 王家豪, 王华, 周海民, 等. 河北南堡凹陷老爷庙油田构造活动与油气聚集 [J]. *现代地质*, 2002, 16(2): 205-209 [Wang Jiaohao, Wang Hua, Zhou Haimin, *et al.* Tectonic activity and petroleum enrichment in the Laoyemiao oil field in the Nanpu Sag [J]. *Geoscience*, 2002, 16(2): 205-209]
- 14 周海民, 魏忠文, 曹中宏. 南堡凹陷的形成演化与油气的关系 [J]. *石油与天然气地质*, 2000, 21(4): 345-349 [Zhou Haimin, Wei Zhongwen, Cao Zhonghong. Relationship between formation, evolution and hydrocarbon in Nanpu Sag [J]. *Oil & Gas Geology*, 2000, 21(4): 345-349]
- 15 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]
- 16 Morley C K, Nelson R A, Patton T L, *et al.* East African rift system and the irrelevance to hydrocarbon exploration in rifts [J]. *AAPG Bulletin*, 1990, 74(8): 1234-1253
- 17 Scott D L, Rosendahl B R. North Viking graben: an east African prospective [J]. *AAPG Bulletin*, 1989, 73(2): 155-165

## Segment Activity of Xi' nanzhuang Fault in Nanpu Sag and Its Controlling on Sedimentary Process

JANG Hua<sup>1</sup> WANG Jian-bo<sup>2</sup> ZHANG Lei<sup>1</sup> FANG Xin-xin<sup>3</sup> YUAN Sheng-qiang<sup>1</sup>

(1. PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration & Development , Beijing 100083;

2. Research Institute of Exploration and Development , Northeast Branch , SINOPEC , Changchun 130062;

3. China University of Geosciences , Beijing 100083)

**Abstract** Segment activity of Xi' nanzhuang fault in Nanpu Sag was studied by using fault fall. On the base of this , controlling of fault on sedimentary Process was researched. Xi' nanzhuang fault was divided into three parts , the eastern part was developed firstly , the western part and the middle part was strongly activated at the middle and later period. Furthermore , the western part controlled development of Nanpu-5 tectonic belt , rollover anticline was formed in there; While linkage of the middle and eastern part was the developed part of Laoyemiao tectonic belt , it was a transverse fold of which axis was vertical to Xi' nanzhuang fault. It was formed for bilateral strong subsidence. Sedimentary source of Nanpu-5 tectonic belt came from pitching end of the western part into the center of western part along down wall; Laoyemiao tectonic belt was correlated with inherited sedimentary source entrance , depositional systems entered the center of sag along hinge of transverse fold.

**Key words** Nanpu sag; Xi' nanzhuang fault; segment activity; transverse fold anticline