

文章编号: 1000-0550(2013)06-1059-11

# 南堡凹陷滩海地区不同级别断裂活动及其对沉积的影响<sup>①</sup>

万锦峰<sup>1</sup> 鲜本忠<sup>1,2</sup> 李振鹏<sup>3</sup> 张建国<sup>3</sup> 姜在兴<sup>3</sup> 王建伟<sup>4</sup>

(1. 中国石油大学地球科学学院 北京 102249;

2. 油气资源与探测国家重点实验室(中国石油大学) 北京 102249;

3. 中国地质大学能源学院 北京 100083; 4. 中国石油化工胜利油田有限公司现河采油厂 山东东营 257068)

**摘要** 南堡凹陷是渤海湾盆地中一个小型裂谷成因的陆相沉积盆地,盆地内不同级次的断裂活动影响着砂体的展布。所以在研究区中进行层序地层以及沉积相研究须以构造演化研究作为轴线,通过对不同级次断层活动史的分析解释沉积砂体在盆地内部的充填特征。基于580 m岩心的观察以及覆盖整个工区的三维地震资料,对南堡凹陷滩海地区进行了详细的沉积相与断层演化的研究。古近系沙河街组到东营组沉积时期该地区发育有七个裂陷亚幕。每个裂陷亚幕之间的沉积具有继承性,而裂陷内部砂体的垂向分期主要受湖平面的升降变化控制。湖盆边缘的断层影响朵叶体的迁移摆动以及沉积相的发育,湖盆内部次级断层则控制砂体的再次分配。明确不同级别断裂活动对沉积砂体展布的影响,为后续的勘探提供了新的思路。

**关键词** 边界断层 断裂活动 沉积充填 古近系 南堡凹陷

**第一作者简介** 万锦峰 男 1987年出生 硕士研究生 沉积学、层序地层学 E-mail: wanjinfeng-12345@163.com

**通讯作者** 鲜本忠 男 副教授 E-mail: xianbzh@163.com

**中图分类号** P512.2 **文献标志码** A

## 0 引言

构造活动与沉积相之间的关系一直为众人关注的热点。1982年李思田等<sup>[1]</sup>在我国提出把构造演化与沉积相模式作为整体进行研究。而后在1995年又提出构造运动是控制沉积物充填的首要因素<sup>[2]</sup>。同年,刘宝珺等人把构造演化和层序地层的发育模式联系在一起<sup>[3]</sup>。1996年,解习农认为陆相盆地层序地层分析必须与构造层序分析结合<sup>[4]</sup>。2000年,林畅松提出构造坡折带的概念,极大的推动了层序地层学在断陷盆地的应用<sup>[5]</sup>。王英民等在2003年对构造坡折带进行了分类讨论<sup>[6]</sup>。此后越来越多的研究人员开始利用这一概念讨论构造作用对于沉积充填的影响<sup>[7-10]</sup>。鲜本忠、邓宏文等人分别在2007年与2008年更加深入的讨论了不同类型断层对砂体展布的影响,并总结了各自盆地的沉积充填模式<sup>[11,12]</sup>。梁富康在2011年,专门对盆地内构造调解带的控砂作用做了细致的讨论<sup>[13]</sup>。

中国东部大陆边缘中生代含油气盆地,比如松辽、渤海湾、珠江口等,属于陆相断陷盆地<sup>[14]</sup>,其演化

过程具有多幕性<sup>[15-17]</sup>。南堡凹陷位于渤海湾盆地内,同样也具有幕式断裂的演化史,前人认为正是由于幕式裂陷作用控制了盆地的充填式样<sup>[18-20]</sup>,同时这些裂陷作用也控制了盆地内的岩性—地层油气藏的展布<sup>[21]</sup>。本文以南堡凹陷滩海地区为研究对象,综合讨论不同级次构造活动与沉积相之间的关系。

## 1 研究区概况

南堡凹陷地理上位于河北省唐山地区,构造上为渤海湾盆地黄骅拗陷北部的箕状断陷盆地(图1)。其演化史与渤海湾盆地相类似,可分为古近纪断陷期与新近纪、第四纪的拗陷期两个演化阶段<sup>[22]</sup>。盆地内构造变形是在前期伸展背景上叠加了后期走滑作用<sup>[23]</sup>。凹陷总面积1932 km<sup>2</sup>,滩海地区面积约1000 km<sup>2</sup>。盆地北部的西南庄断层以及柏各庄断层为边界断层。盆地内部构造分带明显,分别发育了1~5号构造单元。本次研究集中在2至4构造单元,以高柳断层为北部控边断层,即图1中红色线框中的地区。

高柳断层连接着西南庄断层与柏各庄断层,把盆

<sup>①</sup>国家自然科学基金项目(批准号:41172104,41202078)、国家油气重大专项(编号:2011ZX05014-001,2011ZX05009-002)、高等学校博士学科点专项科研基金项目(编号:20090007120001)、中国石油大学(北京)科研基金(编号:KYJJ2012-0106)联合资助  
收稿日期:2012-09-27; 收修改稿日期:2012-12-12

地分为南北两个部分。在东营组三段沉积时期由于强烈的翘倾作用使得高柳地区成为一个孤立的湖盆。柏各庄断层断面陡,显扭张性,是南堡凹陷东部的分界断层,倾角约50°左右。盆地的内部各种次级断层发育,断层类型以X型、Y型、多米诺型与负花状(蛤坨断层)为主。

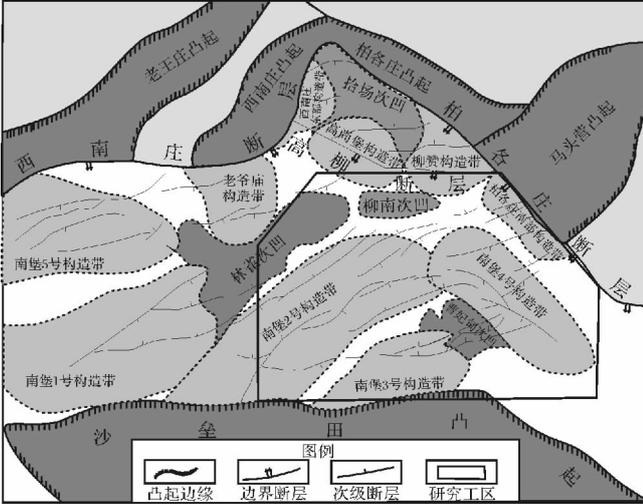


图1 南堡凹陷构造分区以及工区范围(据姜华 2009)  
Fig. 1 Location map of studied area(after Jiang Hua 2009)

## 2 幕式裂陷与沉积充填

中国东部的断陷盆地在中生代多数发育了早期裂陷和晚期裂后拗陷两个阶段。活动早期与伸展作用和地幔上隆过程有关,晚期则与热衰减沉降过程有关。南堡凹陷在古近系经历了裂陷充填期,而在新近系则进入了裂后拗陷阶段。对比渤海湾其它断陷盆地演化历史,在裂陷期内部识别出四期裂陷幕<sup>[19]</sup>。每一幕为区域性的古构造运动不整合面所限定,从而这四幕分别为:Es<sub>4+5</sub>层序对应裂陷一幕;Es<sub>2</sub>至Es<sub>3</sub>层序对应裂陷二幕;Es<sub>1</sub>层序对应裂陷三幕;Ed层序对应裂陷四幕。本次研究裂陷的第三幕以及第四幕。

### 2.1 幕式裂陷历史

不同裂陷幕的沉积充填往往构成多个相当于二级的层序或三级层序组,而在每期裂陷幕的内部也可细分为次一级幕式运动对应于三级层序,属于一种构造层序<sup>[24]</sup>。王华把古近系(沙河街组—东营组)划分为7个三级层序,对应于不同期次的裂陷活动期<sup>[20]</sup>。分别为沙一下(SQ1),沙一中(SQ2),沙一上(SQ3),东三下(SQ4),东三上(SQ5),东二段(SQ6),东一段(SQ7)。

第三裂陷幕(沙河街组一段)时期,高柳断层以北的地区沉积中心萎缩,高柳断层开始活动,柳南洼陷逐渐形成。此时的裂陷作用相对于前两期强度较弱,可细分为三期次一级构造运动(图2)。初期到末期构造活动强度、构造沉降以及沉积沉降逐渐减弱。南堡凹陷沉降中心向南迁移,北堡和滩海地区沉积中心开始发育<sup>[25]</sup>。此时4号构造带的帚状断层也开始活动。沙河街一段上亚段沉积时期盆地抬升,全工区遭受剥蚀,形成了大规模的不整合面与上覆地层相接触。

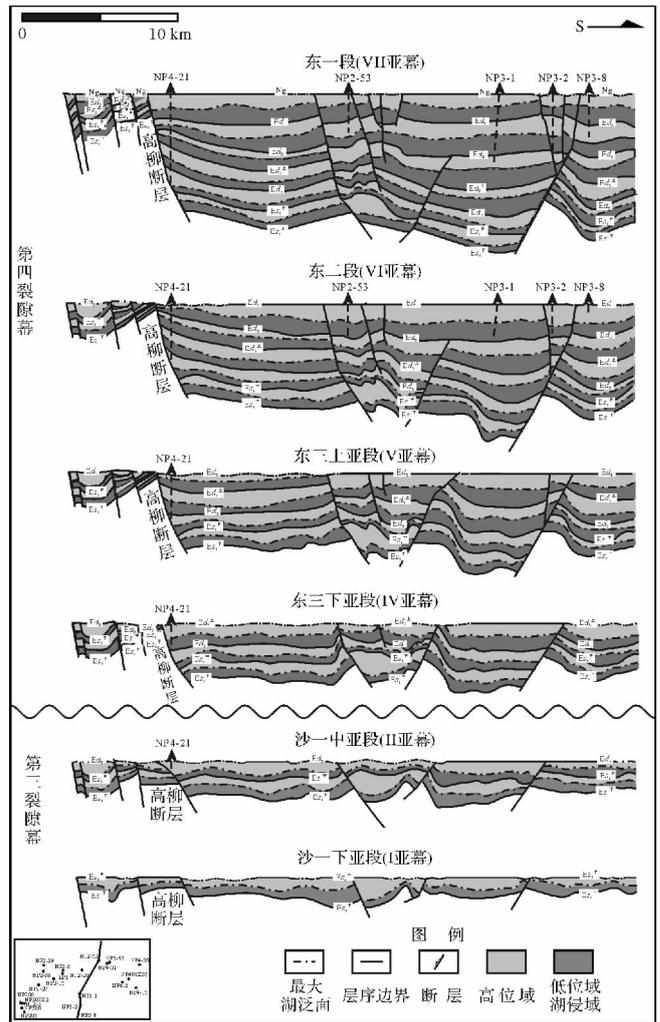


图2 渤海湾盆地南堡凹陷第三纪构造演化  
Fig. 2 Tectonic evolution of Tertiary in Nanpu sag, Bohai Bay Basin

第四裂陷幕(东营组)时期,盆地再次发生沉降。构造初期裂陷强度大,构造沉降接近200 m/Ma(图3),而后逐渐减小。东营组二段与一段时期,盆地构造已经演化为长时间的弱沉降特点,构造沉降强度已

经降为之前的一半。本期裂陷以盆内断层活动为主<sup>[25]</sup>。此时盆地内发育大量的拉伸走滑断层,帚状断层活动频繁。盆地的沉积中心继承了上一裂陷幕,林雀洼陷、柳南洼陷以及曹妃甸洼陷成为主要的沉积中心,且规模都相对前期扩大。本期裂陷结束以后盆地整体遭受抬升剥蚀,盆地进入裂后拗陷发育阶段。

### 2.2 沉积充填序列

不同裂陷幕由于沉降速率、同沉积断裂的活动期次、构造格局等的差异,沉积层序的几何形态、沉积体系域分布及其沉积相构成等也明显不同。即构造运动在时间维度上控制着沉积相的演变(图 3 与表 1)。

盆地南部缓坡带物源多来至于沙垒田凸起,同时在盆地东南端也识别出粗粒的物源体系,发育辫状河三角洲以及滨浅湖沉积;陡坡带则包括了高柳断层以及柏各庄断层,其物源多来至于北部的高柳地区以及

盆地东部边缘的马头营以及柏各庄凸起,断层上盘发育近岸水下扇以及扇三角洲等粗粒的冲积沉积;盆地中部为洼陷发育带,主要沉积了由南部与北部各种三角洲沉积前缘的滑塌成因的重力流沉积,在这些土豆状重力流砂体的周缘则沉积的是代表深湖一半深湖的泥岩。

沙河街组一段时期构造较为平静,高柳断层刚开始活动,以柏各庄断层为控边断层。本期沉积厚度最大可为 700 m,沉积中心在南堡 2-53 井附近。柏各庄断层上盘发育的扇三角洲在下亚段的高位期推进到了 4 号构造的帚状断层附近(图 3),为整个裂陷幕中推进最远。在其它时期同样发育有较大规模的扇体沉积,说明柏各庄凸起与马头营凸起为盆地带来了大量的碎屑物质。高柳断层的上盘也发育有一支扇三角洲,说明盆地还有一支 NW 向的物源体系。缓

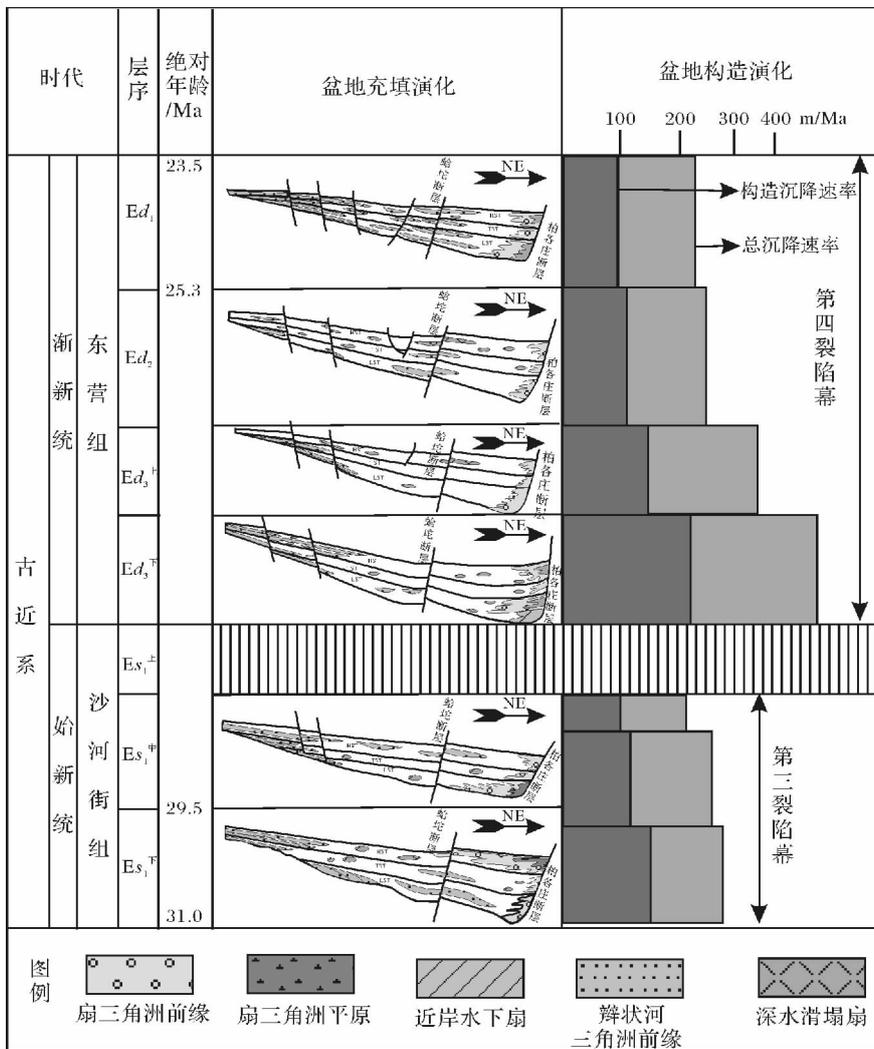


图 3 渤海湾盆地南堡凹陷第三纪盆地充填演化图(据姜华 2009,有修改)

Fig. 3 Filling Sequences evolution of Tertiary in Nanpu sag , Bohai Bay Basin( from Jiang Hua ,2009 , modified)

坡带以发育辫状河三角洲为主 A 号构造带在沙河街组的顶底部出现东南方向物源输入。湖盆中心发育了来自陡坡与缓坡带各种扇体滑塌或者洪积作用搬运来的重力流成因砂体。底部浅灰色砂砾岩、灰色细砂岩以及粉砂岩与浅灰、深灰色的湖相泥岩不等厚互层;向上由于物源强度的减弱很少见砂砾岩,粒度变细,浅灰色细砂岩、粉砂岩与浅灰色泥岩不等厚交互,交错层理发育,但整体粒度分选与磨圆都不好,长石与岩屑含量都比较高,说明为近物源的辫状河三角洲沉积。在沙一下亚段以及中亚段每个裂隙亚幕内,底部砂地比最大向上逐渐下降;湖侵体系域的顶部湖平面最大,因此陡坡以及缓坡带的砂体都向湖岸后退,砂地比下降;高位体系域内由于湖平面的下降陡缓两坡的沉积砂体范围有所增加(图3)。说明在每个裂隙亚幕内,由于构造运动强度恒定,砂体的垂向分期主要与湖平面的升降变换相关。

东营组沉积时期整体为二级层序,可细分为四个三级层序(图2)。东营组三段下亚段以构造总沉降大为特点,东营组二段与一段则以弱强度长时段沉降为特点(图3)。东营组三段湖平面快速上升,因此在下亚段时期陡坡带发育有粗粒的近岸水下扇沉积,在其底部沉积的规模最大。缓坡带对应发育辫状河三

角洲的沉积,在三角洲前端发育各种重力流成因的砂体。随着时间的推移裂隙强度逐渐减弱,但持续时间增加,使得湖盆的可容空间持续增加,水体加深,陡坡带扇三角洲以及缓坡带的辫状河三角洲沉积规模逐渐减弱,到东营组二段时达到最小,此时在盆地的洼陷中央则继承性的发育着范围较大的“土豆粒”状或沿着断层成条带状分布的重力流成因砂体,以砂质碎屑流为主<sup>[26]</sup>。东营组一段沉积时期,湖平面快速下降,陡坡带的扇三角洲沉积体系迅速扩大,向盆内最远推进到南堡2-58井。同时缓坡带的辫状河三角洲也向盆地内部推进,造成湖盆面积急剧萎缩,重力流成因砂体只在很小的范围内发育。湖盆演化历史中各个裂隙亚幕之间砂体的前积与退积分期主要受控于湖平面的变化,反应了湖平面的升降。特别是东营组一段与东营组二段在构造沉降速率、总沉降速率以及沉积持续时间上都相似,但东营组一段由于湖平面快速下降砂体规模相对于东二段急剧增加,因此砂体垂向上的规模大小主要与湖平面的升降有联系。

总体上,沉积砂体垂向分期受控于湖平面升降的旋回性以及构造运动强度的分期变化,而继承性则是物源变化和构造沉降量变化的函数。

表1 研究区沙一段—东营组层序划分及沉积相类型

Table 1 Sequence classification and sedimentary facies from Shahejie Formation to Dongying Formation in study area

岩石地层				层序地层		湖平面升降	2号构造带		3号构造带	4号构造带				
系	组	段	亚段	体系域	层序		南部(Np2-29以南)	北部(Np2-15以北)		西北部(Np4-38以北)	东南部(Np4-55以南)	东部(Np4-20以东)		
古近系	东营组	东一段	上部	高位域	SQ(E <sub>d1</sub> )		BD	L-SF	BD	FD-SF	BD	L-SF		
			下部	低位+湖侵域			BD	BD	BD	FD	BD	FD-L		
		东二段	上部	高位域	SQ(E <sub>d2</sub> )		SF-L	SF-L	D-SF	L-SF	D-SF	FD-SLF		
			下部	低位+湖侵域			D-SF	SF-L	D-SF	FD-SF	BD	FD-SLF		
		东三段	上亚段	上部	高位域		SQ(E <sub>d3a</sub> )	BD-SF	BD	SF-L	FD	SF-L	FD-SLF	
				下部	低位+湖侵域			BD-SF	SF-L	BD-SF	L-SF	BD	FD	
			下亚段	上部	高位域		SQ(E <sub>d3b</sub> )	BD-SF	SF-L	BD	L-SF	BD	FD	
				下部	低位+湖侵域			BD-SF	SF-L	BD	L-SF	FD	FD	
		沙河街组	沙一段	上亚段										
				中亚段	上部		高位域	SQ(E <sub>s1</sub> )	BD-SF	L-SF	BD	FD-SF	BD-SF	FD-SLF
	下部				低位+湖侵域	BD-SF	L-SF		BD	L-SF	FD-SF	FD		
	下亚段			上部	高位域	SQ(E <sub>s2</sub> )	BD-SF	L-SF	BD	FD-SF	FD	FD		
				下部	低位+湖侵域		BD-SF	L-SF	BD	FD-SF	BD	FD		

FD-扇三角洲 BD-辫状河三角洲 D-三角洲 SF-滑塌扇 L-湖水 SLF-近岸水下扇

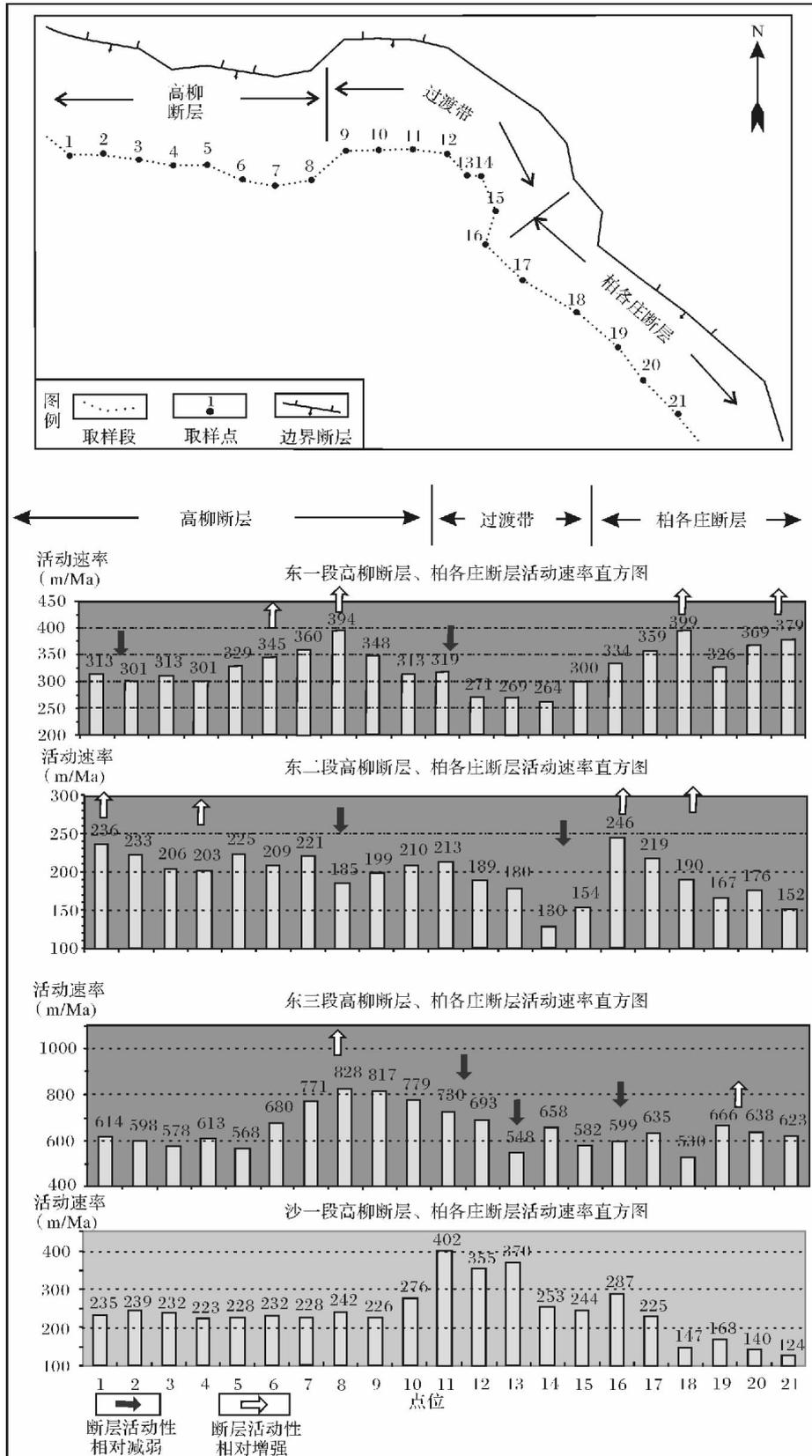


图 4 高柳断层及柏各庄断层活动速率直方图

Fig. 4 Fault activity rate histogram of Gaoliu fault and Boge Zhuang fault

### 3 不同级别断层的活动及其对沉积的影响

构造活动不仅控制着沉积相在时间维度上的演化与叠置,同样由于构造运动的分段性、断层的类型以及组合关系控制着古水系的流向、物源的入口以及砂体的三维空间展布。边界断层的活动控制了盆地整体的形态以及盆缘的古水系以及沟谷的入湖口的分布<sup>[27]</sup>,同时其伴生的同沉积构造也成为了类似于大陆架上的坡折带<sup>[5]</sup>。沉积地层厚度的变化是受构造作用控制的<sup>[28]</sup>。根据“每期沉积填平补齐”的原则,沉积地层的厚度变化可以近似的反映出古地貌的演化。

#### 3.1 边界断层

断裂带不同的部位其活动性也有差异,从而改变了物源的入口以及古水流的方向。在构造调节带处构造强度下降,使得断距变小,而在调节带两端由于断距较大,阻挡了沉积物的运动,使得沉积物选择更容易通过的构造调节带进入汇水盆地。构造调节带做为物源入口也得到了很多研究人员的认同<sup>[29-31]</sup>。

为研究高柳断层、柏各庄断层以及过渡带的活动性,拟采用断层活动速率来表征其活动性。断层的活动速率指的是单位时间内断层的上升或下降的幅度。沿这两条断层的上盘选取了 21 个点计算其断层活动速率(图 4)。在相同的裂隙幕内,由于构造调节带的迁移造成了沉积砂体在平面上的摆动。

东营组三段沉积时期,边界断层的活动性整体上继承了沙河街组的格局,过渡带活动强度最大而两边

界断层相对较弱。盆地整体的裂隙作用加强,翘倾作用进一步明显,使得高柳断层下盘成为整个南堡凹陷的沉降中心。凹陷中老爷庙南部以及曹妃甸洼陷(图 5)沉积厚度最大,为凹陷内部的沉降中心。在东营组三段时期第 5、6 构造活动强度较低的点地层厚度都较邻近的点薄(图 4),说明该处为物源口,发育有扇三角洲的沉积砂体(图 6)。

东营组二段沉积时期,两条边界断层整体强度减弱,但过渡带处构造强度减弱的更为明显。所以物源供给在过渡带逐渐减弱,到东营组二段上亚段时期过渡带扇三角洲已经不发育。反观两条控边断层在第 3、4 观测点处高柳断层的活动相对弱(图 4),发育了构造转换带,沉积物从此处进入湖盆水体,沉积了规模较大的扇三角洲砂体(图 6)。

东营组一段沉积时期,高柳断层与柏各庄断层活动强度再次增强,过渡带沉积只较东营组二段稍有增强。所以在控边断层下降盘沉积物的可容空间急剧增加,使得在盆地北部发育有大规模叠置连片的扇三角洲砂体沉积向南延伸至 NP4-20 井。

总体而言,控边断层在同一沉积时期内部活动强弱变化控制了盆地可容纳空间的变化,活动强度越大则可容纳空间越大。同时,在断层内部由于调节带的迁移,造就了沉积物入盆口的摆动迁移,从而控制了扇三角洲扇体在各个沉积时期的平面展布。

#### 3.2 盆内次级断层

盆内次级断层的活动强度影响了盆地中各个次级洼陷的发育以及砂体的沉积。以 4 号构造带为例,第四裂隙幕初期,工区整体裂隙强度很大但由于蛤坨

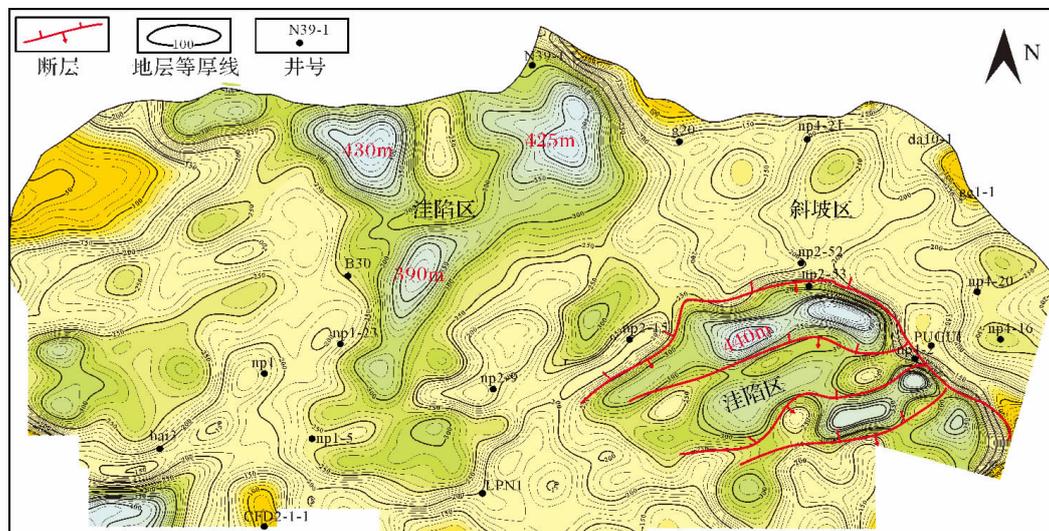


图 5 南堡凹陷东三段下亚段上部地层厚度图(东方地球物理公司 2010,修改)

Fig. 5 The thickness of Upper part of Lower Dongying Formation (modified from Bureau of Geophysical Prospecting, 2010)

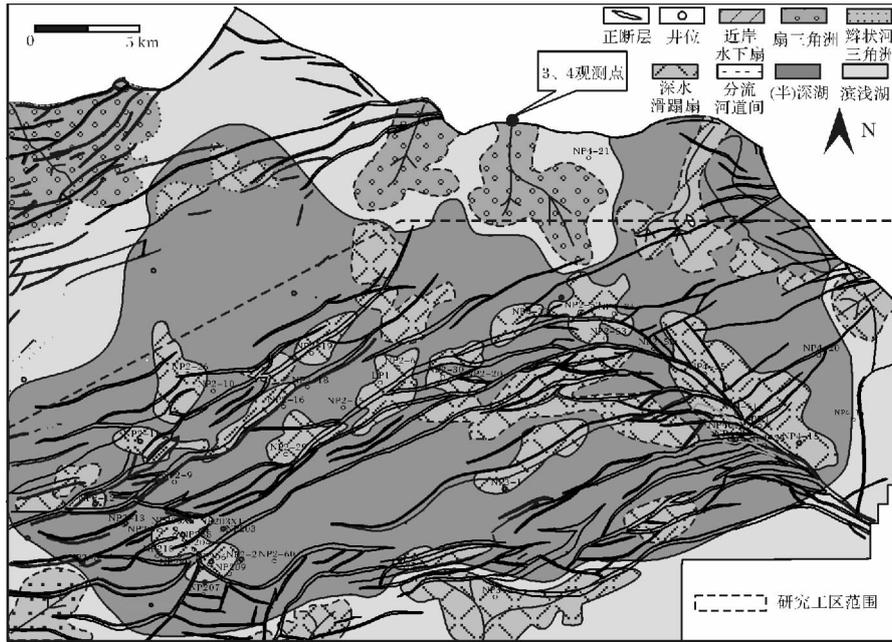


图 6 南堡凹陷东营组二段上亚段沉积相图

Fig. 6 Upper member 2 of Dongying Formation sedimentary facies in Nanpu sag

断层活动较弱,所以曹妃甸洼陷还没完全成型,只是在构造带西南部出现了两个小型洼陷的雏形。东营组三段上亚段继承了前期的两个洼陷,虽然凹陷裂陷强度下降但由于帚状断层活动性的增强,沿帚状断层形成了三个规模较大的洼陷中心。到东营组二段 4 号构造的沉积中心向西南部发生了迁移(图 7)。所以不同构造时期受控与盆内次级断层的活动,次级洼

陷的演化是继承性与多变性并存的。

对盆内砂体平面展布的控制作用同控边断层类似,更主要的是提供了重力流成因砂体的搬运途径以及沉积空间(图 8)。当陡坡带“短源”的沉积物通过控边断层处的构造调节带进入湖盆后,由于次级断层的活动可使得扇体的前端发生滑塌,沿断层面下滑形成块体搬运沉积。如果沉积物继续向前搬运,通过次

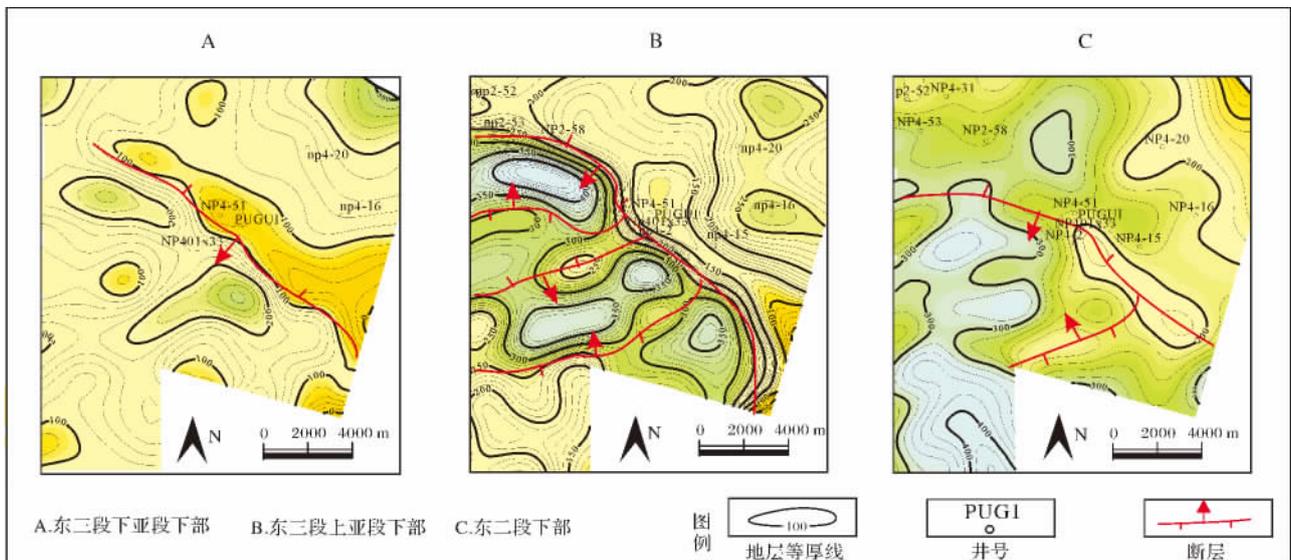


图 7 南堡凹陷 4 号构造带东营组二、三段地层厚度图( 东方地球物理公司 2010, 修改)

Fig. 7 The thickness of member 2 and member 3 of Dongying Formation in the Forth structural belt of Nanpu sag ( modified from Bureau of Geophysical Prospecting , 2010)

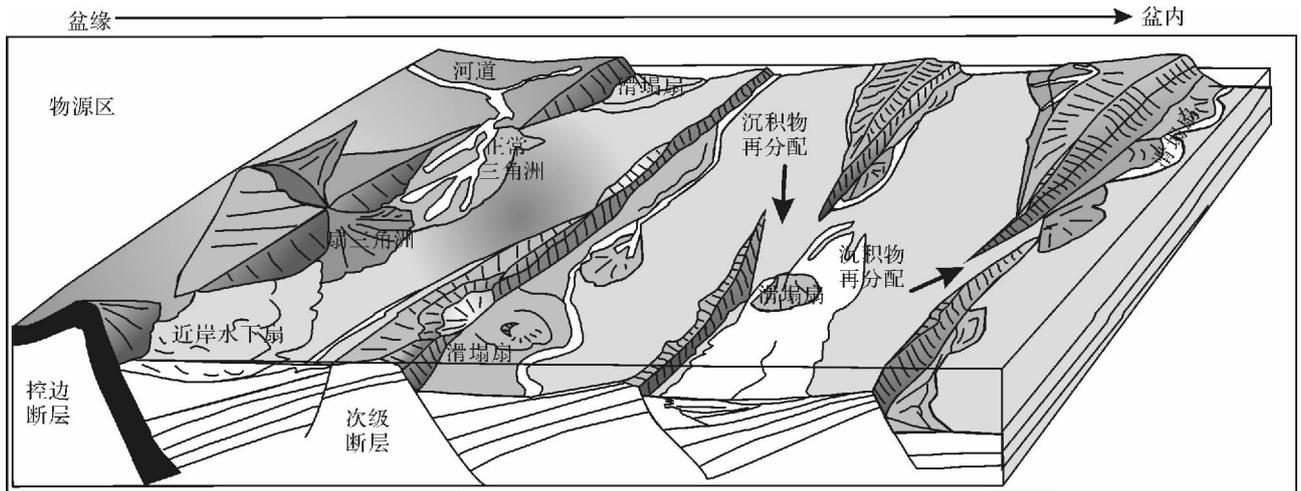


图8 不同级别断层控制沉积物分布示意图(据 Fauld ,1998<sup>[32]</sup> ,修改)

Fig.8 Sediment distribution controlled by different levels faults( modified from Fauld ,1998<sup>[32]</sup> )

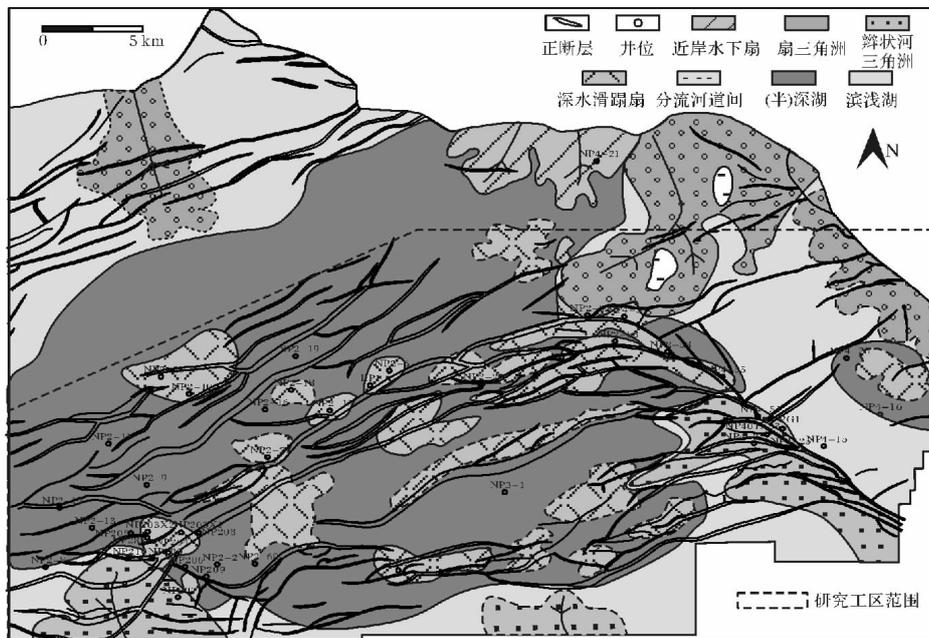


图9 南堡凹陷东营组二段下亚段沉积相图

Fig.9 Sedimentary facies of Lower member 2 of Dongying Formation in Nanpu sag

级断层的调节带向断层下降盘搬运并最终在坡角形成深水滑塌扇沉积。而对于缓坡带“长源”的沉积物,次级断层除有上述作用外,其形成的负向构造(断槽)为砂体的搬运提供了通道。4号构造中的帚状断层,其为东南方向的物源提供了可供砂体搬运的断槽,砂体也多紧沿着帚状断层下降盘发生沉积,成爪式分布,改变了原来湖盆中砂体应有的展布。东营组二段下亚段次级断层对砂体的再分配作用体现的最为明显(图9),辫状河三角洲沿着帚状断层延伸至

盆地内部,而在其前端也发育有多个沿断槽的重力流滑塌扇的沉积。同时陡坡带发育的扇三角洲前端由于断层的同沉积作用,沿着断层面滑动至 NP2-53 以北,并沿断槽成条带状的分布。  
所以,盆内次级断层的活动性变化影响了盆地内部的次级洼陷的发育,同时也使得构造调节带在盆地中的迁移,从而影响了可容空间的变化以及砂体搬运途径的迁移,最终使得砂体在湖盆内部进行了再次的分配,控制砂体在盆地内部的平面展布情况。

## 4 结论

(1) 南堡凹陷共经历了四幕裂陷作用,其中最后两幕可细分为七个次级裂陷幕,分别对应了七个三级层序。这七期裂陷亚幕充填了大量的碎屑沉积物。沉积物整体为底部正粒序顶部反粒序,反映了沉积水体范围的逐渐扩大后缩小。在湖盆的四周广泛发育了扇三角洲、近岸水下扇、辫状河三角洲,在这些沉积相前端以及湖盆中心往往发育有滑塌成因的重力流沉积;

(2) 相同裂陷亚幕且同一构造单元内,沉积砂体的基本类型以及组合具有很强的继承性。例如陡坡带主要发育洪水性质的扇三角洲沉积,在缓坡带则以辫状河三角洲沉积为主。垂向上砂体在粒度及含泥量变化而体现出的分期性,明显受控于湖平面的周期性升降;

(3) 不同裂陷亚幕之间,由于边界活动强度的演化,造成了物源入湖口的左右摆动,从而控制了扇三角洲平面上的发育位置。湖盆内部次级断层的活动则控制了盆内洼陷的发育,同时通过断层调节带控制砂体在盆内的再分配作用;

(4) 沉积充填主要受构造运动的期次性、活动强度以及构造样式组合的影响,同时湖平面的升降以及气候的变化也起着十分重要的作用,决定了裂陷亚幕内沉积物在垂向上的演化。

致谢 感谢冀东油田勘探开发研究院滩海室的李雪芹、陈蕾高级工程师在资料收集和问题讨论中给予的帮助和提出的宝贵意见。

### 参考文献 (References)

- 李思田,李宝芳,杨士恭,等. 中国东北部晚中生代断陷型煤盆地的沉积作用和构造演化[J]. 地球科学,1982,18(3):275-294 [Li Sitian, Li Baofang, Yang Shigong, et al. Sedimentation and tectonic evolution of Mesozoic faulted coal basins in northeastern China [J]. Earth Science, 1982, 18(3): 275-294]
- 李思田. 沉积盆地的动力学分析——盆地研究领域的主要趋向[J]. 地学前缘,1995,2(3-4):1-8 [Li Sitian. Geodynamics of sedimentary basins—the main trend of basin research [J]. Earth Science Frontiers, 1995, 2(3-4): 1-8]
- 刘宝珺,许效松,徐强. 扬子东南大陆边缘晚元古代—早古生代层序地层和盆地动力演化[J]. 岩相古地理,1995,5(3):1-18 [Liu Baojun, Xu Xiaosong, Xu Qiang. Sequence stratigraphy and basin dynamics of the southeastern margin of the Yangtze plate in South China during the Late Proterozoic to Early Palaeozoic [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 1995, 5(3): 1-18]
- 解习农,程守田,陆永潮. 陆相盆地幕式构造旋回与层序构成[J]. 地球科学,1996,21(1):27-33 [Xie Xinong, Cheng Shoutian, Lu Yongchao. Episodic tectonic cycles and internal architectures of sequences in continental basin [J]. Earth Science, 1996, 21(1): 27-33]
- 林畅松,潘元林,肖建新,等. “构造坡折带”——断陷盆地层序分析和油气预测的重要概念[J]. 地球科学,2000,25(3):260-266 [Lin Changsong, Pan Yuanlin, Xiao Jianxin, et al. Structural slope-break zone: Key concept for stratigraphic sequence analysis and petroleum forecasting in fault subsidence basins [J]. Earth Science, 2000, 25(3): 260-266]
- 王英民,金武弟,刘书会,等. 断陷湖盆多级坡折带的成因类型、展布及其勘探意义[J]. 石油与天然气地质,2003,24(3):199-203 [Wang Yingmin, Jin Wudi, Liu Shuhui, et al. Genetic types, distribution and exploration significance of multistage slope breaks in rift lacustrine basin [J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(3): 199-203]
- 冯有良,徐秀生. 同沉积构造坡折带对岩性油气藏富集带的控制作用——以渤海湾盆地古近系为例[J]. 石油勘探与开发,2006,33(1):22-31 [Feng Youliang, Xu Xiusheng. Syndepositional structural slope-break zone controls on lithologic reservoirs: A case from Palaeogene Bohai Bay Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(1): 22-31]
- 于兴河,姜辉,李胜利,等. 中国东部中、新生代陆相断陷盆地沉积充填模式及其控制因素——以济阳拗陷东营凹陷为例[J]. 岩性油气藏,2007,19(1):39-45 [Yu Xinghe, Jiang Hui, Li Shengli, et al. Depositional filling models and controlling factors on Mesozoic and Cenozoic fault basins of terrestrial facies in eastern China: A case study of Dongying sag of Jiyang depression [J]. Lithologic Reservoirs, 2007, 19(1): 39-45]
- 林畅松. 沉积盆地的层序和沉积充填结构及过程相应[J]. 沉积学报,2009,27(5):851-862 [Lin Changsong. Sequence and depositional architecture of sedimentary basin and process responses [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27(5): 851-862]
- 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):754-761 [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): 754-761]
- 鲜本忠,王永诗,周延全,等. 断陷湖盆陡坡带砂砾岩体分布规律及控制因素——以渤海湾盆地济阳拗陷车镇凹陷为例[J]. 石油勘探与开发,2007,34(4):429-436 [Xian Benzong, Wang Yongshi, Zhou Yanquan, et al. Distribution and controlling factors of glauconite bodies in the arctic region of a rift basin: an example from Chechen sag, Bohai Bay Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2007, 34(4): 429-436]
- 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]
- 梁富康,于兴河,慕小水,等. 东濮拗陷南部沙三中段构造调节带对沉积体系的控制作用[J]. 现代地质,2011,25(1):55-61 [Liang

- Fukang, Yu Xinghe, Mu Xiaoshui, *et al.* Accommodation zones and their controls on depositional system in the Middle of third member of Shahejie Formation, south of Dongpu sag[J]. *Geoscience*, 2011, 25(1): 55-61]
- 14 王涛. 中国东部裂谷盆地油气藏地质[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997 [Wang Tao. Reservoirs Geology of Rift Basin in Eastern of China[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997]
- 15 任建业, 刘文龙, 林畅松, 等. 中国大陆东部晚中生代裂陷作用的表现形式及其幕式扩展[J]. *现代地质*, 1996, 10(4): 526-531 [Ren Jianye, Liu Wenlong, Lin Changsong, *et al.* Features of Late Mesozoic rifting in east China and its episodic extension[J]. *Geoscience*, 1996, 10(4): 526-531]
- 16 Lin C S, Li S, Zhang Q M, *et al.* Subsidence and stretching of some Mesozoic and Cenozoic rift basins in East China[C]//Liu B J, Li S T, eds. Basin analysis, globe sedimentology geology and sedimentology. Proceeding 30th International Geology Congress, 1997, 1(b): 176-196
- 17 Li S, Lin C S, Zhang Q M, *et al.* Multiple rifting dynamics of the continental margin basins and tectonic events since 10 Ma in the northern South China Sea[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1998, 43(8): 797-809
- 18 焦养泉, 周海民, 刘少峰, 等. 断陷盆地多层次幕式裂陷作用于沉积充填相应——以南堡老第三纪断陷盆地为例[J]. *地球科学*, 1996, 21(6): 633-636 [Jiao Yangquan, Zhou Haiming, Liu Shaofeng, *et al.* Multistage episodic rifting and its controls on filling in rift basin: Taking the eogene Nanpu rift basin as an example[J]. *Earth Science*, 1996, 21(6): 633-636]
- 19 姜华, 王华, 林正良, 等. 南堡凹陷古近系幕式裂陷作用及其对沉积充填的控制[J]. *沉积学报*, 2009, 27(5): 976-982 [Jiang Hua, Wang Hua, Lin Zhengliang, *et al.* Periodic rifting activity and its controlling on sedimentary filling of Paleogene Period in Nanpu sag[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2009, 27(5): 976-982]
- 20 王华, 姜华, 林正良, 等. 南堡凹陷东营组同沉积构造活动性与沉积格局的配置关系研究[J]. *地球科学与环境学报*, 2011, 33(1): 70-77 [Wang Hua, Jiang Hua, Lin Zhengliang, *et al.* Relations between synsedimentary tectonic activity and sedimentary framework of Dongying Formation in Nanpu sag[J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2011, 33(1): 70-77]
- 21 Xu Anna, Dong Yuexia, Zou Caineng, *et al.* Division and evaluation of oil-gas prolific zones for litho-stratigraphic reservoirs in the Nanpu sag[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2008, 35(3): 272-280
- 22 周海民, 从良滋. 浅析断陷盆地多幕拉张与油气的关系——以南堡凹陷的多幕裂陷作用为例[J]. *地球科学*, 1999, 24(6): 625-629 [Zhou Haiming, Cong Liangzi. Polyphase extension and its impact on hydrocarbon accumulation in fault basin-case analysis of polyphase rifting in Nanpu depression[J]. *Earth Science*, 1999, 24(6): 625-629]
- 23 董月霞, 汪泽成, 郑红菊, 等. 走滑断层作用对南堡凹陷油气成藏的控制[J]. *石油勘探与开发*, 2008, 35(4): 424-430 [Dong Yuexia, Wang Zecheng, Zheng Hongju, *et al.* Control of strike-slip faulting on reservoir formation of oil and gas in Nanpu sag[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2008, 35(4): 424-430]
- 24 林畅松, 张燕梅, 李思田, 等. 中国东部中生代断陷盆地幕式裂陷过程的动力学响应和模拟[J]. *地球科学*, 2004, 29(5): 583-588 [Lin Changsong, Zhang Yanmei, Li Sitian, *et al.* Episodic rifting dynamic process and quantitative model of Mesozoic-Cenozoic faulted basins in eastern China[J]. *Earth Science*, 2004, 29(5): 583-588]
- 25 张翠梅. 渤海湾盆地南堡凹陷构造—沉积分析[D]. 北京: 中国地质大学, 2010 [Zhang Cuimei. Tectono-sedimentary Analysis of Nanpu Sag in the Bohaiwan Basin[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2010]
- 26 鲜本忠, 万锦峰, 姜在兴, 等. 断陷湖盆洼陷带重力流沉积特征与模式: 以南堡凹陷东部东营组为例[J]. *地学前缘*, 2012, 19(1): 121-135 [Xian Benzong, Wan Jinfeng, Jiang Zaixing, *et al.* Sedimentary characteristics and model of gravity flow deposition in the depressed belt of rift lacustrine basin: A case study from Dongying Formation in Nanpu depression[J]. *Earth Science Frontiers*, 2012, 19(1): 121-135]
- 27 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]
- 28 张凡芹, 王伟峰, 张晶, 等. 沾化凹陷断层对沉积的控制作用[J]. *石油大学学报(自然科学版)*, 2005, 29(5): 1-6 [Zhang Fanqin, Wang Weifeng, Zhang Jing, *et al.* Controlling of faults on sedimentation in Zhanhua sag[J]. *Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science)*, 2005, 29(5): 1-6]
- 29 刘德来, 王伟, 马莉. 伸展盆地转换带分析——以松辽盆地北部为例[J]. *地质科技情报*, 1994, 13(2): 5-9 [Liu Delai, Wang Wei, Ma li. Transfer zone analysis in extensional basin —A study on Songliao Basin[J]. *Geological Science and Technology Information*, 1994, 13(2): 5-9]
- 30 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]
- 31 秦雁群, 邓宏文, 丁寒生. 乌尔逊—贝尔坳陷构造调解带特征、成因机制及其地质意义[J]. *现代地质*, 2009, 23(5): 872-879 [Qin Yanqun, Deng Hongwen, Ding Hansheng. Characteristic, geologic meaning and forming mechanisms of the structural accommodation zones in Wuersun-Beier depression[J]. *Geoscience*, 2009, 23(5): 872-879]
- 32 James E Faulds, Robert J Varga. The role of accommodation zones and transfer zones in the regional segmentation of extended terranes [J]. *Geological Society of America Special Papers*, 1998, 323: 1-45

## Different Levels of Rift Activity and Its Impact on Deposition in Offshore Area , Nanpu Sag

WAN Jin-feng<sup>1</sup> XIAN Ben-zhong<sup>1 2</sup> LI Zhen-peng<sup>3</sup>  
ZHANG Jian-guo<sup>3</sup> JIANG Zai-xing<sup>3</sup> WANG Jian-wei<sup>4</sup>

(1. College of Geosciences , China University of Petroleum , Beijing 102249;

2. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting , China University of Petroleum , Beijing 102249;

3. China University of Geosciences , Beijing 100083;

4. Xianhe Production Factory , Shengli Oilfield Company , SINOPEC , Dongying , Shandong 257068)

**Abstract:** Nanpu sag , located in Bohai Bay Basin , is a small rift lacustrine basin. In study areas , the sand distributions were effected by the fault activity in different levels and thus study of sequence stratigraphy and sedimentary should be guided by tectonic evolution as a principal axis. Through the analysis of faulting histories in different levels , the filling characteristics of sand body inside the basin can be explained. Combining 580 m core observation and 3D seismic data which covered the entire study area , sedimentary facies and fault evolution in offshore area of Nanpu Sag were defined. Periodic rifting activity in Nanpu sag could be classified into two periods from 31 Ma to 23.5 Ma , one is Shahejie Formation and the other is Donying Formation. Shahejie Formation can be divided into three sub-episodes which correspond with three third order sequences and only two sequences in Shahejie Formation would be discussed because of the overlying strata of study area were eroded in the course of the First member of Shahejie Formation and four third sub-episodes , which correspond to 4 third order sequences , were identified in Dongying Formation. Fan-delta and nearshore subaqueous fan were formed in the hanging wall of boundary fault , and the braided river delta deposits were developed in the gentle slope belt and the gravity flow deposits were found in deep lake and semi-deep lake area. In the same tectonic unit , steep region or gentle slope , for example , though the feature of sedimentary facies evolution is inheritance , vertical stages are obvious , by analyzing the filling sequences evolution sections. Active intensity of tectonic remains constant in each sub-episode , so vertical stages of sand bodies in the form of foreset and retrograde were controlled mainly by lake-level fluctuations which also have some impact on vertical stages between each sub-episode. After calculated and analyzed the fault activity velocity of Boge Zhuang Fault , Gaoliu Fault and the faults in the transition zone coupled with the plans of sedimentary facies , to make clear the control of the fault to the deposition and filling , figured out the distributions of detrital material in catchment basin are strongly controlled by different level of faults which were classified into boundary fault and secondary fault. The activity of boundary fault with time-shared and segmentation control the migration and swing of fan delta deposit around steep slope through controlling the swing of transfer zone around the margin of basin. Some gravity flow deposits caused by earthquake or delta frontal instability occurred re-distribution along the transfer zones , which belong to secondary fault between the edge and inner of the basin. As the secondary fault movement is a multi-stage process , the inner transfer zones control the redistribution of autogenic deposits. All in all , the deposition and filling of basin were controlled by the fault evolution , activity intensity and tectonic styles and structural associations. The lake-level variation and climate exchange also play a very important role in determining the vertical stages in sub-episode. The research on fault activity in different levels and its impact for the depositional sand distribution can provide a new idea for the subsequent exploration.

**Key words:** boundary fault; rift activity; deposition; Paleogene; Nanpu sag