

文章编号:1000-0550(2014)05-0893-08

# 构造对东营凹陷深层砂体发育的控制作用<sup>①</sup>

吴孔友<sup>1</sup> 秦磊<sup>1</sup> 谭明友<sup>2</sup> 王玥阳<sup>1</sup>

(1.中国石油大学(华东)地球科学与技术学院 山东青岛 266580;2.中国石化胜利油田分公司物探研究院 山东东营 257022)

**摘要** 充分利用钻井和地震资料,结合前人研究成果,确定控制东营凹陷深层砂体发育的主要因素为断层和古沟槽。断层对东营凹陷深层砂体发育具关键控制作用,砂体主要沿二级以上断层的下降盘呈裙带状分布,且断层活动强度决定了砂体的沉积厚度,断层落差变化趋势线与砂体厚度变化趋势线相吻合。受北断南超的构造背景控制,东营凹陷深层断裂活动也表现为北强南弱,从而控制了砂体发育由北部的近岸水下扇到中部的辫状河三角洲再到南部的扇三角洲演变。东营凹陷南部缓坡深大断层发育较少,古沟槽对深层砂体的发育具有明显控制作用,主要发育冲沟和断沟2种,以冲沟为主,且沟槽发育具有继承性,从而导致沙四至沙三段发育的扇体在垂向上叠置。最后,根据控砂要素,建立了东营凹陷深层砂体发育模式。

**关键词** 东营凹陷深层 断层控砂 沟槽控扇 控砂模式

**第一作者简介** 吴孔友 男 1971年出生 博士 教授 含油气盆地分析 E-mail:wukongyou@163.com

**中图分类号** P542 **文献标识码** A

## 0 引言

东营凹陷新生代同沉积构造活动及其产生的构造古地貌对沉积体系的发育与分布起到极其重要的控制作用。长期活动的断层及其组合制约着同裂陷期盆内可容空间的变化,从而控制着盆内的沉积物分散体系和砂体的分布样式。作为勘探老区,东营凹陷丰富的钻探资料及地球物理资料已经揭示了浅层的沉积特征及构造主控因素。随着勘探程度的进一步加深,埋深大于3 500 m或对应的层位为沙三段以下的深部已成为现今的勘探重点。如何有效地预测深层沉积体系和砂体分布,是取得油气勘探新突破的关键<sup>[1]</sup>。

东营凹陷深层(沙河街组三段下亚段以下古近系)形成期处于盆地发育早期阶段,湖盆规模小,形成的砂体薄,地震预测困难,影响了深层油气有效勘探。前人也对东营凹陷深层做过研究,主要集中在深层构造<sup>[2-4]</sup>、层序地层<sup>[5]</sup>及沉积古环境<sup>[6]</sup>等方面,对砂体的发育规律及控制因素有待深入。本文在分析主要断层活动强度及发育历史基础上,以沙河街组三段下亚段一四段为目的层,对东营凹陷深层砂体发育影响因素进行了研究,进一步深化了断层活动强度对北部陡坡带砂体类型及分布的控制,明确了古沟槽对

南部缓坡带扇体发育的控制,并建立了构造—沉积综合模式。

## 1 地质背景

东营凹陷是渤海湾盆地济阳坳陷的一个次级构造单元(图1),中生代后期至古近纪,凹陷北部的陈南大断层活动强烈,落差大;南部断层活动较弱,落差小,形成北陡南缓的箕状断陷。该凹陷二级以上断层均具有生长性质,它们在孔店期开始活动,沙四期逐渐增强,沙三期最为强烈,馆陶期趋于停止<sup>[7]</sup>。沙四

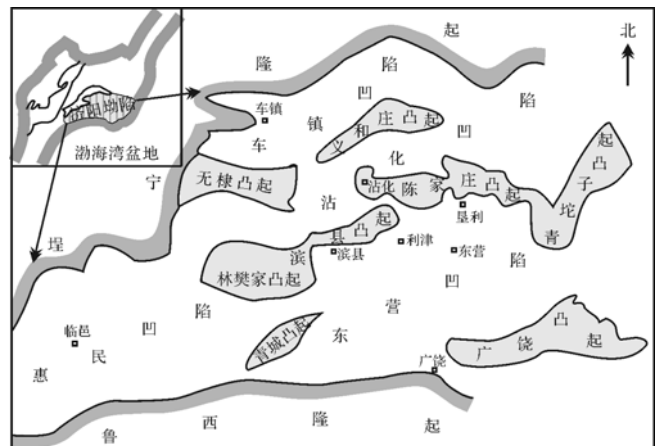


图1 东营凹陷区域位置图

Fig.1 Regional position of Dongying depression

①国家973计划(编号:2014CB239005)、国家科技重大专项(编号:2011ZX05001)、国家自然科学基金(批准号:41272142)与山东省自然科学基金(批准号:ZR2012DM011)联合资助

收稿日期:2013-09-10;收修改稿日期:2014-04-04

下亚段沉积期,气候干旱,在盆地的边缘区发育了大面积分布的河流—冲积扇沉积体系。沙四上亚段沉积期,气候由干旱向潮湿气候转变,湖盆扩张,北部陡坡带控凹断层活动强烈,在陈家庄凸起—滨县凸起—林樊家凸起的侧翼形成大面积的近岸水下扇和扇三角洲沉积体系。沙三下亚段处于湖盆断陷期,构造活动稳定、气候温湿、湖盆面积和深度达到最大值,物源供给不充分,深湖—半深湖相发育<sup>[8]</sup>。

## 2 断层对北部陡坡带砂体发育的控制作用

### 2.1 断层落差对砂体发育的控制

大型生长断层(主要为边界断层)长期活动,控制了断陷盆地可容空间,从而控制沉积物的分散体系与展布样式<sup>[9]</sup>。砂体主要沿边界断层的下降盘呈裙带状分布,断层的落差决定了砂体的沉积厚度<sup>[8]</sup>。本次研究,通过对 120 余口井钻遇砂体厚度的精细统计与分析,结合垂直于断裂走向的近 50 条地震剖面的精细解释与对比,绘制了东营凹陷深层砂体厚度与断层落差关系图(图 2)。研究结果显示,东营凹陷北部陡坡带陈南断层、滨南断层的断层落差大,其下降盘砂岩发育厚度大,对于砂体沉积的控制作用明显;南部缓坡带,砂体主要沿缓坡盆缘发育,但由于博兴断层、樊家断层的持续活动导致发育于盆缘的砂体再次向洼陷内部发生迁移。陈官庄—王家岗断层作为南部缓坡带重要的调节断层,它的持续活动使发育于八面河地区的砂体向牛庄洼陷推进。同一断层不同的构造部位由于断层落差的差异性导致砂岩发育厚度的不同,断层落差大的部位其砂岩发育厚度也大。以陈南断层为例,在沙四下沉积期其落差最大处可达 1 000 m,其下降盘对应位置所发育砂岩厚度大于 100 m(图 2c)。

整体上,博兴断层、石村断层、陈官庄—王家岗断层及八面河断层的断层落差曲线和砂体厚度曲线的变化趋势大致吻合,能间接反映出断层落差对砂体厚度的控制作用。陈南断层的断层落差曲线和砂体厚度曲线均呈现出多峰的特点,沙三下沉积期断层落差曲线和砂体厚度曲线的高峰相互对应,两条曲线吻合度较高,断层对砂岩沉积厚度的控制作用明显(图 2a)。在沙四上沉积时期,断层落差和砂体厚度曲线的在陈南断层的东段吻合度较高,西段吻合度差(图 2b)。在沙四下沉积时期,两条曲线较难吻合(图 2c)。这是由于沙四尤其是沙四下沉积期,陈家庄凸

起遭受了严重的剥蚀,从而导致断层落差和砂体厚度的正相关性不明显。同样,在沙三下和沙四上沉积期,青城凸起遭受了剥蚀致使高青—平南断层的断层落差曲线和砂体厚度曲线存在局部的不吻合现象。

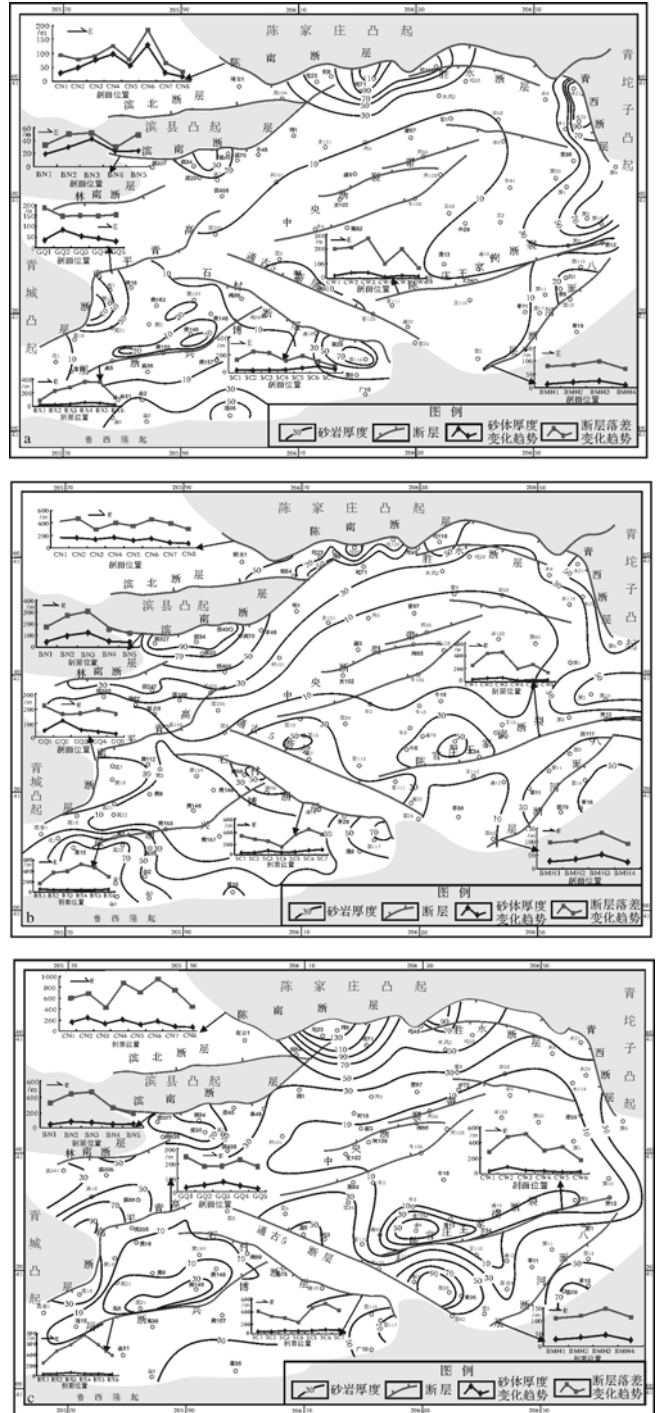


图 2 深层砂体厚度与断层落差关系图  
a. 沙三下; b. 沙四上; c. 沙四下

Fig.2 Relationship between thickness of deep sand bodies and intensity of faults activity  
a. the lower Sha 3 member; b. the upper Sha 4 member; c. the lower Sha 4 member

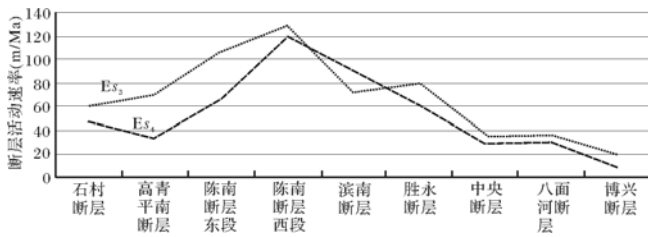


图3 沙三和沙四沉积期断层活动速率对比图

Fig.3 Comparison diagram of the fault activity rate during Sha 3 and Sha 4 member age

## 2.2 断层活动速率对砂体发育的控制

东营凹陷北部边界断层落差大,其控制下的陡坡带为湖泊深水沉积区,陈家庄凸起上的风化碎屑物在搬运介质的携带下直接进入深水区,形成以粗碎屑为主的近岸水下扇沉积。而南部缓坡带发育诸多调节断层,其断层落差小而形成滨浅湖沉积区,来自鲁西隆起的碎屑物质不断推进至此而沉积形成扇三角洲。因此,断层的活动强度对砂体发育类型具有明显控制作用。

采用断层生长指数法研究断层活动强度,在实际应用中存在一定问题<sup>[10]</sup>,本文采用断层活动速率法来判断断层的活动强度。断层活动速率是指某一地层单元在一定时期内,因断裂活动形成的落差与相应沉积时间的比值<sup>[11]</sup>。在具体计算过程中,针对上升盘剥蚀的断层,采用地层厚度加古水深的方法,估算断层活动速率。

东营凹陷从沙四下至沙三下沉积期,北部陡坡带断层活动最为强烈的是陈南断层,其活动速率均值在130 m/Ma左右(图3)。陈南断层的强烈活动造成湖盆沉陷,使陈南断层的下降盘沉积区一直处于较深水环境,发育了大规模的近岸水下扇沉积。胜永断层带是发育在陈南断层下降盘的次级调节断层带,它的不断活动导致近岸水下扇发生滑塌,并在湖盆深处形成了分散分布的“土豆状”的滑塌浊积砂体(图4)。滨南断层活动速率均值在75 m/Ma左右,其活动强度明显弱于陈南断层。因此,滨南断层下降盘沉积区在沙四下和沙三下沉积期一直处于滨浅湖的沉积环境,发育了辫状河三角洲。林南断层活动速率均值在40 m/Ma左右,其下降盘沉积区发育有扇三角洲沉积。由此可见,陈南断层、滨南断层及林南断层的断层活动强度的差异性造成了砂体发育类型从近岸水下扇、辫状河三角洲到扇三角洲的不同。

## 2.3 断层活动时空差异性对砂体发育的控制

不同样式的伸展构造控制了断陷盆地陡坡带沉

积体的类型、展布及其组合特征。同一时期主干边界断层的不同位置,沉积物的分布也不同<sup>[12]</sup>。有学者研究了东营凹陷北部陡坡带近岸水下扇沉积特征,提出受断层活动期次和横向活动差异的影响,东营凹陷北部陡坡带沙三早、中期近岸水下扇在平面上与剖面上出现不同的叠置特点<sup>[13]</sup>。

断层活动强度大的区域沉积相带宽、砂体分布趋于平铺;相反,断层活动强度小的区域沉积相带窄,砂体分布趋于叠加。通过比较东营凹陷北部陡坡带沙四上和沙三下近岸水下扇分布特点可以看出:沙四上沉积期近岸水下扇沉积相带窄,砂体间边界不明显、相互叠加,整体呈现连片分布的特点(图4b)。沙三下沉积期近岸水下扇沉积相带宽,砂体间边界明显,趋于孤立分布(图4a)。同时,沙四上沉积期陈南断层西段近岸水下扇沉积相带宽,而陈南断层东段的近岸水下扇沉积相带窄;沙三下沉积期陈南断层东段和西段近岸水下扇的沉积相带也存在西宽东窄的特点。沙四上至沙三下沉积期陈南断层活动强度增大,又由于其为拉张性正断层,所以伴随活动强度的增大,其所受拉张作用也会增强。在拉张作用下,断层上下盘相互背离从而产生更为宽广的沉积空间,砂体在宽广的沉积空间中不容易相互叠加而趋于孤立分布。相反,断层活动性弱,会导致沉积空间狭窄,砂体则容易相互叠加而趋于连片分布。同样,由于陈南断层西段活动强度大于东段,导致陈南断层西段发育的近岸水下扇相带宽,而东段发育的近岸水下扇相带窄。

## 3 沟槽对南部缓坡带砂体发育的控制作用

沟槽作为物源进入湖盆沉积的入口,对砂体发育具有重要控制作用<sup>[14,15]</sup>。古沟槽的形成往往是构造抬升期,盆地周缘水流下切的结果<sup>[16]</sup>。东营凹陷北部陡坡带发育的古沟槽,前人已进行过大量研究<sup>[15-19]</sup>,而南部缓坡研究较少。本次研究,通过大量近东西向地震剖面的精细解释与处理,揭示东营凹陷南部缓坡带主要发育2种沟槽:断沟和冲沟。断沟是由于断层活动而形成的低洼部位,发育在湖盆边缘,走向垂直于盆缘或和盆缘斜交,可以引导水系携带沉积物进入湖盆发生卸载和堆积。冲沟发育于湖盆边缘,走向和盆缘垂直,它的形成和水流冲刷密切相关。冲沟在地震剖面上表现为同相轴发生向下弯曲,向两侧可见明显的上超反射终止现象。而断沟在地震剖面上表现为地震同相轴的弯曲、错断,同时可见充填

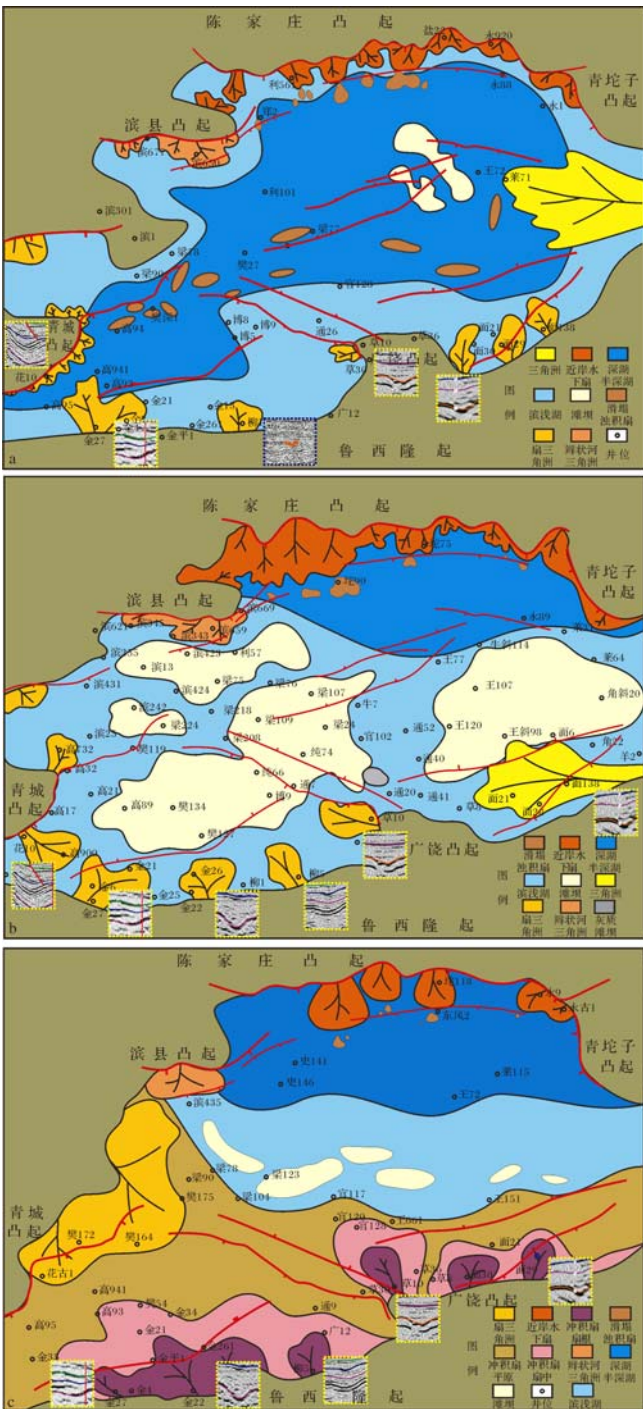


图4 断层与古沟槽控砂作用平面图(断层名称与图2一致)  
a. 沙三下; b. 沙四上; c. 沙四下

Fig.4 Plane graph on faults and ancient valley-troughs controlling sand bodies(the fault name is the same as Fig.2)  
a. the lower Sha 3 member; b. the upper Sha 4 member;  
c. the lower Sha 4 member

现象(图4)。

依据沟槽的地震反射特征,在东营凹陷南坡识别

出多个沟槽。在近东西向切过花10井、金27井、金22井、柳5井、草10井及面29井的地震剖面上识别出了冲沟(图4)。另外,在柳1井附近发育一条北东走向的小型断层,其和湖盆边缘斜交并向湖盆内部延伸,地震剖面上亦具有充填特征,因此该断层实为一条断沟。在沙三下和沙四上沉积期,东营凹陷南部缓坡带古沟槽存在的位置均发育了扇三角洲,在沙四下沉积期古沟槽恰好对应于冲积扇扇根的发育位置(图4)。沙四下沉积期金27井、金22井、柳5井、草10井发育了冲沟,这些冲沟在沙四上沉积期依然存在。同样,在沙四上沉积期花10井、金27井、草10井及面29井发育的沟槽对沙三下沉积期发育的砂体也具有明显控制作用。因此,沟槽的发育具有一定的继承性,这种继承性也导致了扇体在沙四至沙三段的叠置。

#### 4 东营凹陷深层砂体发育模式

##### 4.1 局部模式

通过对东营凹陷深层砂体空间发育规律研究,揭示断层与古沟槽对砂体分布的控制作用主要通过5种方式,进而建立了5种模式:冲沟控砂模式、断层控砂模式、断—沟控砂模式、断—断平行控砂模式、断—断相交控砂模式(图5)。冲沟控砂模式在东营南部缓坡表现的尤为明显,控制了沙三至沙四沉积期的主要物源方向,并具有良好的继承性,典型实例为金家地区(图5a)。当断层与盆地边界大角度相交,在剥蚀改造下能成为物源供给通道,控制砂体发育位置,即构成断槽控砂模式,典型实例为柳1井区(图5b)。当断层与古沟槽共同控制砂体发育时,即形成断—沟控砂模式。典型实例为乐安地区,石村断层下降盘一侧有古沟槽,砂体沿沟槽运移并发生卸载时必然受石村断层的限制,而无法向东侧向迁移(图5c)。断—断平行控砂模式主要发育在北部陡坡带,陈南断层下降盘发育的近岸水下扇由于次级断层胜永断层带的活动,致使砂体向湖盆深部发生再次运移,从而形成了滑塌浊积扇沉积(图5d)。断—断相交控砂模式主要发育在两大断层交汇处,例如陈南大断层与青西断层的交角处,这种砂体规模往往较大(图5e)。

##### 4.2 综合模式

从沙四下到沙四上再到沙三下沉积期,气候由于干旱逐步发展潮湿,整个湖盆也从裂陷初期逐步演变到裂陷鼎盛期,水体覆盖范围不断扩大,水深也不断增

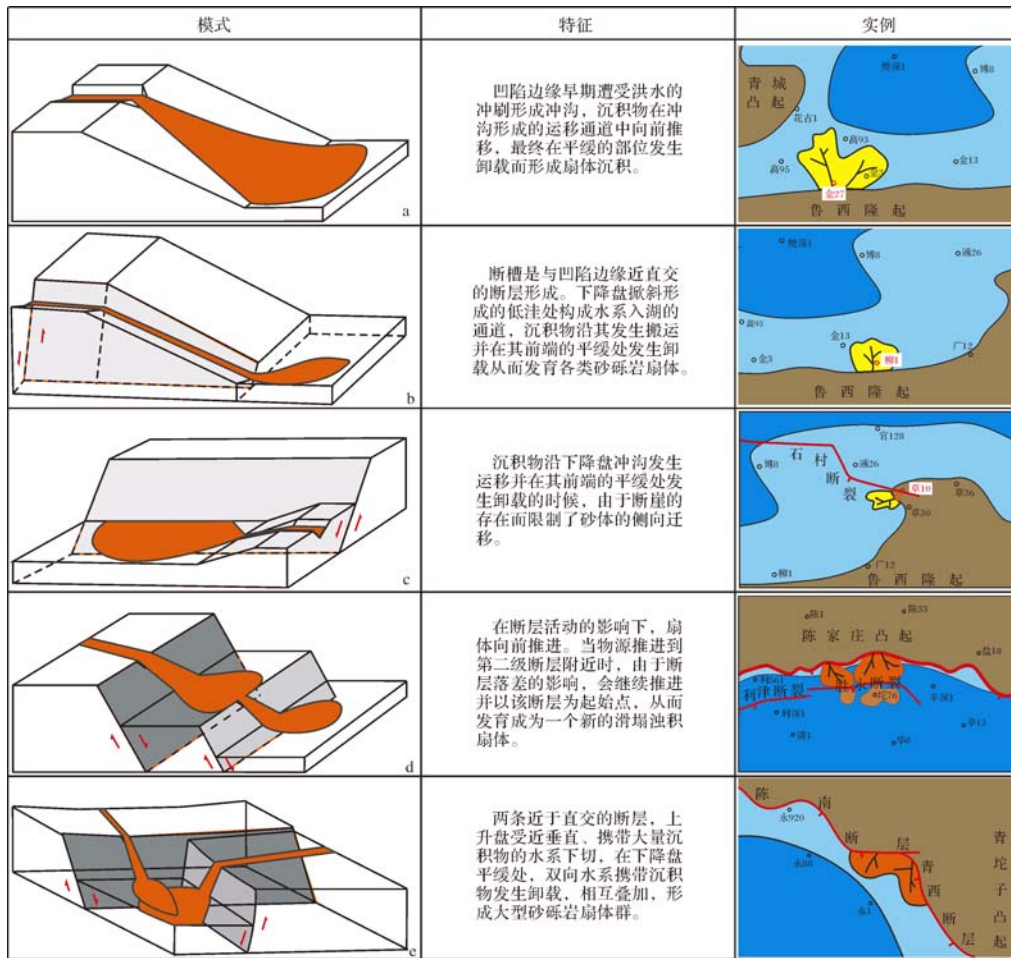


图 5 东营凹陷构造控砂模式

a. 冲沟控砂; b. 断槽控砂; c. 断—沟控砂; d. 断—断平行控砂; e. 断—断相交控砂

Fig.5 Patterns of structures controlling sand bodies in Dongying depression

a. incised valley controlling sand bodies; b. fault controlling sand bodies; c. fault and incised valley controlling sand bodies; d. parallel faults controlling sand bodies; e. intersectant faults controlling sand bodies

加。北部陡坡带陈南断层、滨南断层活动强度大, 控制沉积作用明显。南部缓坡砂体主要受沟槽控制, 仅有石村断层和高青—平南断层控砂明显。利津断层、胜永断层、博兴断层及陈官庄—王家岗断层等尽管规模小, 但由于多期活动, 对砂体沉积也有重要影响<sup>[17]</sup>。

通过对沉积期岩相古地理的恢复, 结合盆地充填与演化史分析, 构建了东营凹陷深层构造—沉积综合模式(图 6)。东营凹陷在沙四下沉积期以冲积扇沉积为特征, 沙四上沉积期以大范围发育的滩坝为特征, 而到了沙三下沉积期则以分散的浊积砂体为特征, 这一规律与构造活动密切相关<sup>[20]</sup>。沙四下沉积期湖盆处于裂陷初期, 水体浅且分布范围有限, 导致陆上堆积的冲积扇发育; 沙四上沉积期, 湖盆裂陷加剧, 水体范围增加且滨浅湖范围扩大导致滩坝发育;

沙三下沉积期, 湖盆处于裂陷鼎盛期, 水体加深, 深湖范围扩大, 滩坝被破坏, 砂体进入深湖区沉积, 形成了分散的浊积砂。在这个过程中, 断层的活动以及中央隆起带的形成不断改变古地貌, 引起水体环境的局部变化, 也会导致沉积特征的差异。比如沙三下沉积期中央背斜带的形成, 控制了小规模滩坝的沉积。

在湖盆从沙四至沙三的演化过程中, 构造控砂作用体现明显。控砂的构造因素主要有两个方面: 一个是断层, 另一个是古沟槽。陈南断层下降盘近岸水下扇沉积相带宽窄的变化, 砂体呈孤立或连片分布的特点都和陈南断层活动强度变化密切相关。陈南断层、滨南断层及林南断层下降盘发育砂体分别近岸水下扇、辫状河三角洲和扇三角洲, 这种砂体发育类型的区别也是由断层活动强度差异性所致<sup>[21]</sup>。

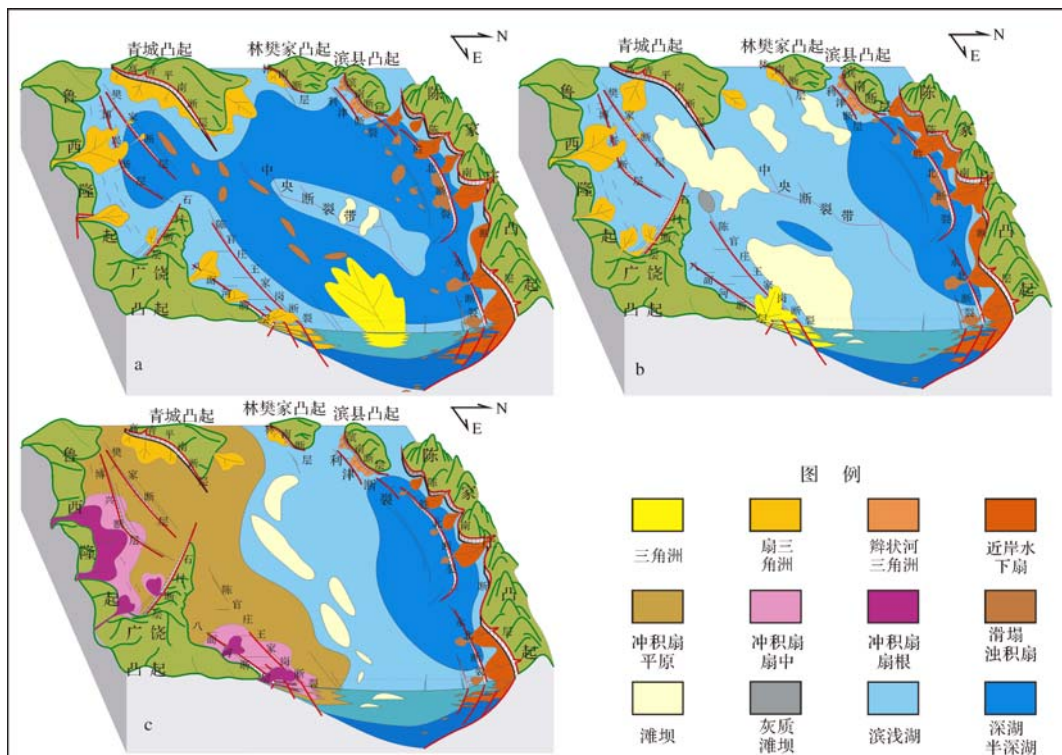


图6 东营凹陷构造—沉积综合模式

a.沙三下;b.沙四上;c.沙四下

Fig.6 Comprehensive patterns of structure and deposition in Dongying depression

a. the lower Sha 3 member; b. the upper Sha 4 member; c. the lower Sha 4 member

总之,受构造活动、古气候、古地貌及物源的影响,东营凹陷沙四下至沙三下亚段的沉积特征表现为:盆地不同部位因构造特征的差异而发育不同的沉积体系;盆地同一部位不同时期因构造强度的差异性,沉积体系也将发生明显改变。

### 5 结论

(1) 断层对东营凹陷深层砂体发育具控制作用,特别是北部陡坡带,断层控砂尤为明显,且断层落差控制砂体发育厚度,断层活动速率控制砂体发育类型,断层活动时空差异性控制砂体发育模式。

(2) 古沟槽对东营凹陷南部缓坡深层砂体的发育具有明显控制作用,主要发育冲沟和断沟2种,以冲沟为主,且沟槽发育具有继承性,从而导致沙四至沙三段发育的扇体在垂向上叠置。

(3) 构造对东营凹陷深层砂体发育的控制具5种模式。垂向上,沙四下沉积期湖盆处于裂陷初期,冲积扇发育;沙四上沉积期,湖盆裂陷加剧,滨浅湖范围扩大导致滩坝发育;沙三下沉积期,湖盆处于裂陷鼎盛期,深湖范围扩大,发育大量浊积砂体。平面上,

构造活动强度的差异性导致砂体发育类型从北部(陈南断层下降盘)的近岸水下扇到中部(滨南断层下降盘)的辫状河三角洲再到南部(缓坡)的扇三角洲演变。

### 参考文献 (References)

- 1 李理,钟大赉,时秀朋. 鲁西隆起和济阳拗陷新生代隆拗耦合关系[J]. 地质学报,2007,81(9):1215-1225 [Li Li, Zhong Dalai, Shi Xiupeng. Cenozoic uplifting/subsidence coupling between the west Shandong rise and the Jiyang depression, Northern China[J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81(9): 1215-1225]
- 2 杨辉,程军,王宜昌. 重新认识东营凹陷的深层构造[J]. 石油地球物理勘探,2005,40(3):360-365 [Yang Hui, Cheng Jun, Wang Yichang. Renewing knowledge of deep structures of Dongying depression[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2005, 40(3): 360-365]
- 3 任建业,于建国,张俊霞. 济阳拗陷深层构造及其对中生代盆地发育的控制作用[J]. 地学前缘,2009,16(4):117-137 [Ren Jianye, Yu Jianguo, Zhang Junxia. Structures of deep bed in Jiyang sag and their control over the development of Mesozoic and Cenozoic basins[J]. Earth Science Frontiers, 2009, 16(4): 117-137]
- 4 贾红义,于建国,王金铎. 东营凹陷深层构造剖析及其地质意义[J]. 油气地球物理,2007,5(1):59-64 [Jia Hongyi, Yu Jianguo,

- Wang Jinduo. The analysis and geologic significance of the deep structures in Dongying sag [J]. *Petroleum Geophysics*, 2007, 5(1): 59-64]
- 5 贾红义, 于建国, 王金铎. 济阳拗陷深层构造层序划分[J]. 油气地球物理, 2007, 5(3): 45-50 [Jia Hongyi, Yu Jianguo, Wang Jinduo. Compartmentalization of deep structural sequence in Jiyang depression [J]. *Petroleum Geophysics*, 2007, 5(3): 45-50]
  - 6 王健, 操应长, 刘惠民, 等. 东营凹陷沙四下亚段沉积环境特征及沉积充填模式[J]. 沉积学报, 2012, 30(2): 274-282 [Wang Jian, Cao Yingchang, Liu Huimin, et al. Characteristics of sedimentary environment and filling model of the lower submember of the fourth member of Shahejie Formation, Dongying depression [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2012, 30(2): 274-282]
  - 7 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): 1047-1053 [Jiang Hua, Wang Jianbo, 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): 1047-1053]
  - 8 刘震, 李运振, 赵阳, 等. 济阳拗陷古近系多级控砂机制分析[J]. 地质学报, 2007, 81(5): 701-711 [Liu Zhen, Li Yunzhen, Zhao Yang, et al. Analysis of multi grade controlling of formation and distribution on Paleogene sand bodies in the Jiyang depression, Bohai Bay Basin [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2007, 81(5): 701-711]
  - 9 路智勇. 渤海湾盆地车镇凹陷古近系构造样式对沉积及储集层的影响[J]. 古地志, 2008, 10(3): 276-285 [Lu Zhiyong. Influence of the Paleogene structural styles on deposition and reservoir in Chezhen sag, Bohai Bay Basin [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2008, 10(3): 276-285]
  - 10 李勤英, 罗凤芝, 苗翠芝. 断层活动速率研究方法及应用探讨[J]. 断块油气田, 2000, 7(2): 14-17 [Li Qinying, Luo Fengzhi, Miao Cuizhi. Research on fault activity ratio and its application [J]. *Fault-Block Oil & Gas Field*, 2000, 7(2): 14-17]
  - 11 王燮培. 石油勘探构造分析[M]. 北京: 石油工业出版社, 1990: 1-128 [Wang Xiepei. *Structural Analysis of Hydrocarbon Exploration* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1990: 1-128]
  - 12 张善文, 隋风贵, 王永诗. 济阳拗陷下第三系陡岸沉积模式[J]. 沉积学报, 2001, 19(2): 219-222 [Zhang Shanwen, Sui Fenggui, Wang Yongshi. Depositional models on the steep slope of Paleogene, Jiyang Sub-basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2001, 19(2): 219-222]
  - 13 李桂范, 李建平, 王根照, 等. 渤中拗陷青东凹陷古近系沙三下亚段构造—古地貌对沉积的控制[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(4): 425-430 [Li Guifan, Li Jianping, Wang Genzhao, et al. Control of structure-paleogeomorphology on the deposition of the lower part of the third member of the Paleogene Shahejie Formation in the Qingdong sag of the Bozhong depression [J]. *Oil & Gas Geology*, 2009, 30(4): 425-430]
  - 14 陶晓风, 刘登忠, 朱利东. 陆相盆地沉积作用与构造作用的关系[J]. 沉积学报, 2001, 19(3): 410-414 [Tao Xiaofeng, Liu Dengzhong, Zhu Lidong. Relationship between sedimentary process in terrestrial basin and tectonic process [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2001, 19(3): 410-414]
  - 15 林畅松, 刘景彦, 胡博. 构造活动盆地沉积层序形成过程模拟——以断陷和前陆盆地为例[J]. 沉积学报, 2010, 28(5): 868-874 [Lin Changsong, Liu Jingyan, Hu Bo. Computer simulation on the formation of depositional sequences in tectonic active basin: Case study on rift and foreland basins [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2010, 28(5): 868-874]
  - 16 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): 260-265 [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): 260-265]
  - 17 冯有良. 东营凹陷下第三系层序地层格架及盆地充填模式[J]. 地球科学, 1999, 24(6): 635-642 [Feng Youliang. Lower Tertiary sequence stratigraphic framework and basin filling model in Dongying depression [J]. *Earth Science*, 1999, 24(6): 635-642]
  - 18 孔凡仙. 东营凹陷北带砂砾岩扇体勘探技术与实践[J]. 石油学报, 2000, 21(5): 27-31 [Kong Fanxian. Exploration technique and practice of sandy-conglomeratic fans in the northern part of Dongying depression [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2000, 21(5): 27-31]
  - 19 操应长. 断陷湖盆中强制湖退沉积作用及其成因机制[J]. 沉积学报, 2005, 23(1): 84-90 [Cao Yingzhang. Sedimentation and its forming mechanism of the forced lacustrine regression in the rift lacustrine basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2005, 23(1): 84-90]
  - 20 Gawthorpe R L, Hurst J M. Transfer zones in extensional basins: their structural style and influence on drainage development and stratigraphy [J]. *Journal of Geology Society*, 1993, 150(6): 1137-1152
  - 21 Withjack M O, Islam Q T, La Pointe P R. Normal faults and their hanging-wall deformation: an experimental study [J]. *AAPG Bulletin*, 1995, 79(1): 1-18

## Research on Structures Controlling the Development of Deep Sand Bodies in Dongying Depression

WU Kong-you<sup>1</sup> QIN Lei<sup>1</sup> TAN Ming-you<sup>2</sup> WANG Yue-yang<sup>1</sup>

(1. School of Geosciences, China University of Petroleum, Qingdao, Shandong 266580;

2. Geophysical Research Institute of SINOPEC, Shengli Oilfield Company, Dongying, Shandong 257022)

**Abstract:** Faults and ancient valley-troughs controlled the development of deep sand bodies in Dongying depression by analyzing borehole data, seismic data and previous conclusion. The fault is key element to control the distribution of sand bodies in the northern part of Dongying depression. The sandstone distributes along downthrown side of main faults like skirt sides. The intensity of the faults activity decided the thickness of sandstone, the changing trend line of the fault throw is consistent with the thickness of sandbodies. The intensity of the faults activity also controlled the facies type of sandbodies. The deep faults activity gradually intensified from north to south in Dongying depression due to the northern-faulted and southern-overlapped structural setting, so the facies type of sandbodies are changed from nearshore subaqueous fans in the northern part to braided river deltas in the middle part and to fan deltas in the southern part. The ancient valley-troughs which include the fault troughs and the incised valley with extensive development obviously controlled the distribution of sandbodies in the southern part of Dongying depression as a result of the lack of the deep-large faults. The developing succession of the ancient valley-troughs resulted in the vertical superposition of sand bodies from Sha 4 member to Sha 3 member. At last, the formation patterns of deep sandbodies in Dongying depression were set up according to controlling factors.

**Key words:** the deep bed of Dongying depression; faults controlling sand; valley-troughs controlling fan; formation patterns of sand bodies