

# 陆相断陷湖盆陡坡断裂带沉积响应及充填过程 ——以东营断陷湖盆北部陡坡断裂带古近系为例

谭先锋<sup>1,2</sup> 田景春<sup>2</sup> 白建平<sup>1</sup> 王艳碧<sup>1</sup> 邱桂强<sup>3</sup> 张守鹏<sup>3</sup>

(1.重庆科技学院石油工程学院,重庆 401331;2.成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室,四川 成都 610059;3.胜利油田地质科学研究院,山东 东营 257015)

**摘要:**陆相断陷湖盆陡坡带同沉积断裂对沉积充填过程具有明显的控制作用。东营凹陷北部陡坡带在古近纪沉积期断裂活动明显,主要受两条主断裂带控制,陈南断裂控制盆地演化,胜北断裂控制沉积体系的发育;碎屑物质主要来源于陈家庄凸起、滨县凸起和青坨子凸起;受断裂构造背景及物源控制,北部陡坡断裂带主要由冲积扇、扇三角洲、近岸水下扇、三角洲、滑塌浊积扇等 5 种沉积类型充填;时间和空间上,陡坡断裂带具有冲积扇→近岸水下扇→扇三角洲→近源滑塌浊积扇→湖泊的典型时空演化和充填模式;陡坡断裂带砂砾岩体由于具有物性好、近油源、构造活动强烈等特点,是油气聚集的有利场所。

**关键词:**陡坡断裂带;沉积响应;沉积充填;构造-沉积演化;陆相断陷盆地

**中图分类号:**P534.61<sup>+</sup>1,P512.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2010)02-0298-13

对于陆相盆地的研究,在中国油气勘探中得到了很好的应用,也形成了较多的油气勘探理论。无论是中国东部的拉张盆地,还是西部的压性盆地都形成了一些特有的理论。对于陆相断陷湖盆,国内学者进行过大量而全面的研究<sup>[1-10]</sup>,取得了较多的成果和理论。主要包括沉积充填模式、层序演化、成岩演化模式、构造-沉积演化、成藏等方面。这些理论的形成,提高了中国陆相盆地的油气勘探水平。本文在这些理论基础上,以东营凹陷北部陡坡带古近系为例,深入开展陡坡断裂带沉积体系及其控制下的沉积充填研究。东营凹陷是中国东部陆相断陷盆地中沉积相类型最为丰富的凹陷之一,也是典型的陆源粗碎屑断陷湖盆,纵观国内断陷湖盆研究成果<sup>[1-10]</sup>,研究最多最成熟的都集中在济阳拗陷的古近-新近系断陷湖盆中。因此,对东营凹陷陡坡断裂带的研究在该类研究中具有代表性。

## 1 区域地质背景

东营凹陷陡坡带位于东营古湖盆的陡岸边缘。指民丰和利津洼陷以北、陈家庄和滨县凸起以南、林樊家构造以东、青坨子凸起以西的广大地区<sup>[1]</sup>。东起永安镇的永 921 附近,经垦利地区丰深 1 井附近、利津的利 99 附近向西到单家寺的单 2 井附近的弧形带(图 1)。古近系包括孔店组、沙河街组和东营组。古近系沉积时期,北部陡坡断裂带各类扇体侧向尖灭在生油深洼陷中,具有比较好的油源条件,同期构造活动比较活跃,成藏条件极其复杂。自 20 世纪 60 年代以来,相继发现了胜坨、宁海、永安镇等油田。特别是近年来,不少学者对陡坡带砂砾岩体也有了较多的认识<sup>[3-4]</sup>,本文通过构造、物源、沉积响应及充填演化过程几个方面,对该类陡坡断裂的沉积过程进行研究。

收稿日期:2009-08-15;改回日期:2009-10-30

基金项目:中石化重点科技攻关项目“济阳拗陷深层(沙四段—孔店组)构造演化与岩相古地理研究”及中石油创新基金(2008D-5006-07-02)资助。

作者简介:谭先锋,男,1982 年生,讲师,主要研究方向为沉积地质学;E-mail:xianfengtan8299@163.com。

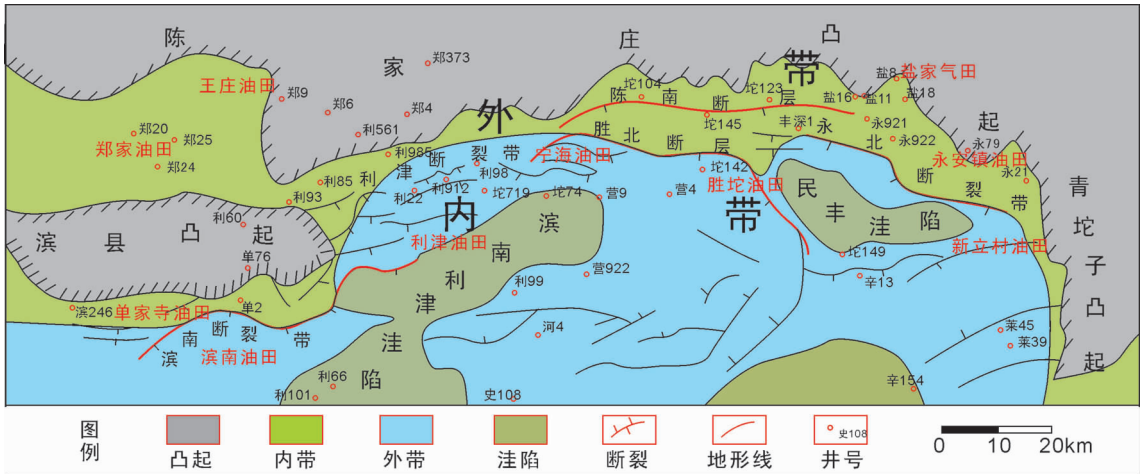


图 1 东营凹陷北部陡坡带构造单元图

Fig.1 Tectonic element map of the north steep slope rift belt in Dongying sag

东营凹陷新生代断陷盆地是以古生代—中生代地层为基底,局部地方出露了太古宙岩石,岩浆分布比较广。东营凹陷北部陡坡带具有地层产状很陡、深而窄、长而曲折等 3 个特征,由陈南断裂和胜北断层及控制的一系列构造组成,并主要表现为主断层陈南断层和在下降盘与其大角度相交的数量不多的次级组合。这些断裂在剖面上呈“Y”字型、断阶形、羽状或马尾状等组合,控制着沉积作用和沉积相带的分布<sup>[6]</sup>,也控制着盆地的形成和演化。其中,陈南断层可分为东西两段,控制了东营凹陷的发育演化。主要活动期为中生代—东营组沉积期,不同时期的活动强度有自东向西迁移的规律。胜北断层、永北断层属于陈南断层的主要伴生断层<sup>[11]</sup>。它们是控制构造的主断层,具有产生早、延伸长、断距大、继承性强等特点。平面上,可以将胜北断裂划分为内带和外带(图 1)。

## 2 沉积相特征及分布

**孔店组:** 古近系孔店组沉积时期处于整个济阳坳陷断裂活动的初期。从岩性上来看,孔店组沉积时期主要为一套紫红色玄武岩、砂质泥岩、暗色泥岩、砂砾岩、煤线、紫红色砂泥岩互层。颜色上为红色→灰色→红色的变化过程,反映从干旱到潮湿再到干旱的气候条件。由于该沉积时期属于裂谷初期沉积,整个东营凹陷受陈南断裂和石村断裂的影响,有两个沉积中心<sup>[12]</sup>,反应了断裂活动对沉积作用的控制作用。沉积响应上,物源主要来自陈家庄凸起的中生

代—古生代地层的剥蚀产物;主要沉积类型为冲积扇沉积(图 2),在陡坡带前端发育少量的滑塌扇体。总体来讲,整个东营凹陷北部陡坡带为较干旱的冲积扇体组合,局部地方可能为冲积平原。

**沙河街组:**从整个济阳坳陷构造背景来看,沙河街组沉积时期处于断裂活动发育期。由于盆地沉降,加上气候变潮湿及湖盆扩大,该时期北部陡坡带沉积体系类型从冲积扇逐步演变为扇三角洲扇体,从水上沉积演变为水下沉积。沙河街组四段主要继承了孔店组时期的沉积特点,下部主要发育紫红色、灰绿色泥岩为主,夹薄层砂岩、粉砂岩、薄层碳酸盐,以灰色、深灰色泥岩为主,夹岩盐层,该时期主要以冲积扇—间歇性盐湖沉积为主。沙三段整合于沙四段之上,主要处于断陷的发育期,以绿色、灰绿色砂岩互层(图 2)。该时期沉积充填类型多样,主要沿着断裂带分布各种扇体,特别是发育近岸水下扇和扇三角洲,并且在这类扇体前端发育近源浊积扇。沙二段沉积时期,东营凹陷发生较为强烈的构造运动,并在沙二段中间产生了局部的平行不整合面,因此在研究过程中将沙二段分为沙二下和沙二上。但实际上在很多井位中,这一平行不整合面并不明显。该时期主要以各种泥岩,砂砾岩及薄层碳酸盐为主,沉积了一套与砂砾岩有关的扇体沉积。由于受来自东部的东营三角洲沉积的影响,其物源供给极大影响了北部陡坡带的沉积格局。沙一段与沙二段为连续沉积,主要为泥岩和砂岩互层,并含有少量碳酸盐。

**东营组:** 东营组与沙河街组为整合接触或者是

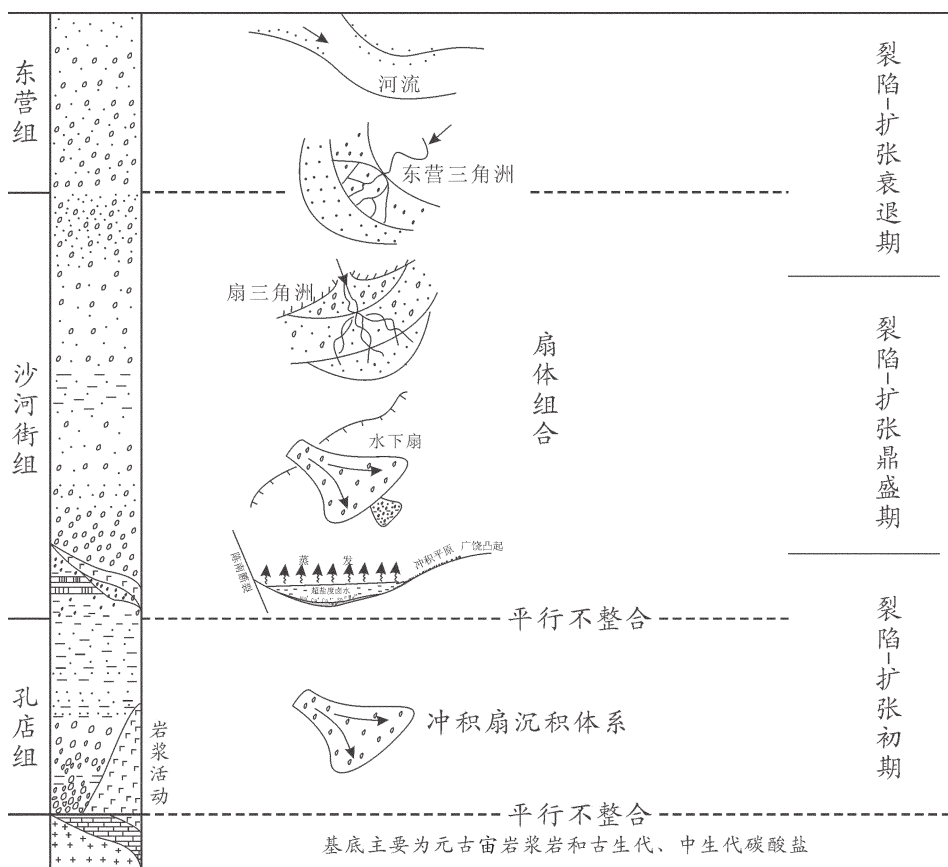


图2 东营凹陷北部陡坡带古近系沉积响应及环境解释

Fig.2 Depositional response and environmental explanation of Paleogene sediments of the north steep slope belt in Dongying sag

假整合接触,岩性主要为紫红色砂岩、砾岩、含砾砂岩以及泥岩互层。从沉积环境上看,在经历了断陷之后,东营组沉积时期,由于充填作用的持续进行,使部分地区物质搬运过程有所变化,特别是晚期,在北部陡坡带充填了一套河流沉积(图2),这套河流沉积主要以紫红色砂砾岩为特征。

### 3 主要沉积充填类型

东营凹陷的北部陡坡带构造活动强烈和近物源,沿着陡坡断裂带充填了一系列的砂砾岩体。主要发育冲积扇、辫状河三角洲、扇三角洲、近岸水下扇、陡坡深水浊积扇和近岸砂体前缘滑塌浊积扇等6种沉积充填类型。各种充填类型发育部位和层位不同,其特征也有较大的差异<sup>[4]</sup>。

**冲积扇:** 东营凹陷陡坡带在断陷早期古地形坡度降很大,季节性洪水搬运的粗碎屑物堆积在湖盆陡坡的峡谷出口处沉积充填,形成冲积扇。平面上沿

边界断层根部呈裙带分布,单个单元呈扇体状或舌状。并可将洪积扇进一步划分为扇根、扇中和扇缘3个亚相。主要岩性为角砾岩、砾岩、含砾砂岩夹薄层泥岩。大多呈混杂堆积,块状无层理,扇中见粒序层理,交错层理。测井曲线多为齿化箱形。向盆方向为长楔形,平行盆缘方向为丘形,内部可见斜交前积,发散前积等结构(图3)。郑家庄—王庄地区沙四段扇形砂体是这类成因,以剥蚀充填为主,突变性强,厚度和分布面积均大,岩性复杂,颜色多变,分选极差,砾石呈次棱角或次圆状,自扇根到扇端粒度逐渐变细,分选、磨圆变好(图5-A,5-B)。

**近岸水下扇:** 湖盆深陷期,由季节性洪流所携带的碎屑直接入湖堆积形成。主要充填于边界断层下降盘,砂体呈扇状。岩石类型主要包括砾岩、砂砾岩、含砾粗砂岩、细砂岩和深灰色泥岩。底部为混杂堆积,中上部为块状砂岩。沉积构造见各种层理。总体显示向上变细的层序。测井曲线扇根呈漏斗状或箱



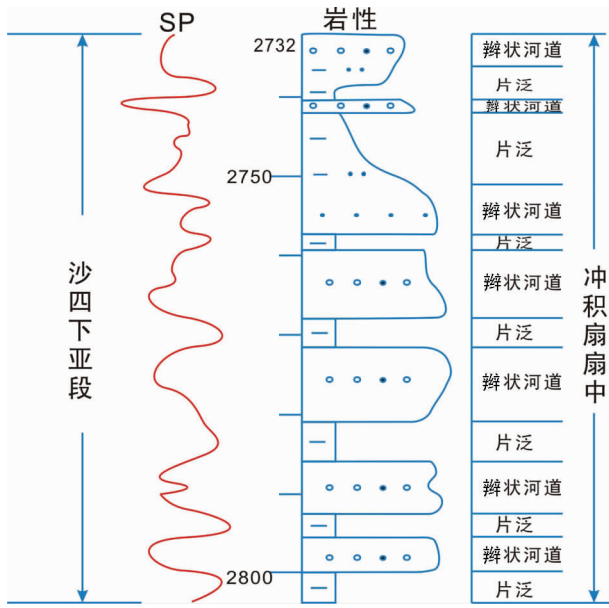


图 3 冲积扇沉积结构(T125,ES<sub>4</sub>下)

Fig.3 Depositional structure of alluvial fan (T125, ES<sub>4</sub>lower)

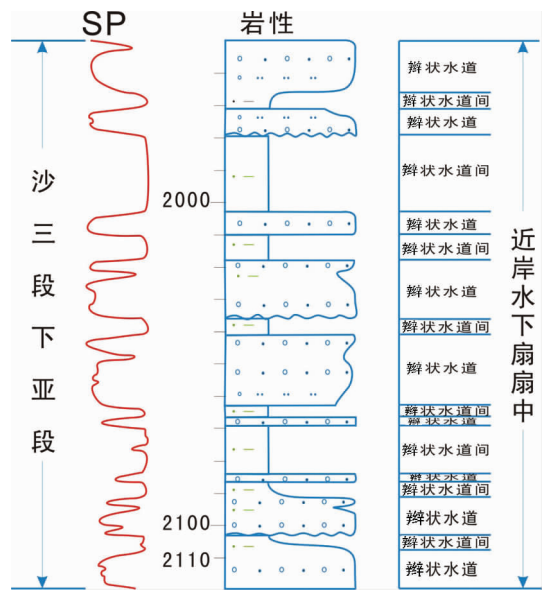


图 4 近岸水下扇沉积剖面(Y18,ES<sub>3</sub>下)

Fig.4 Depositional structure of the nearshore subaqueous fan (Y18,ES<sub>3</sub>lower)

状,上部扇中为钟形。连续性和振幅差,具扇状外形斜交前积。自然电位曲线主要表现为中幅箱形、齿化钟形、齿形及低幅指形。从内扇到外扇,曲线由中幅箱形、钟形变为低幅指形(图 4)。主要分布在单家寺,郑家地区沙三段和沙四段,以砂砾岩体为主具有块状及槽状交错层理(图 5-C,5-D)。

扇三角洲:湖盆发育早期和湖盆深陷后收缩期,季节性洪流所携带的碎屑物质于断裂控制的湖盆陡坡处入湖堆积形成,这类扇体受河流-波浪作用改造较大。主要位于边界断层下降盘,砂体呈扇状,朵状。岩性以砂砾岩为主,夹泥岩、砂岩。各种层理具向上变粗的反旋回特征。测井曲线为漏斗状,箱状式钟形(图 6)。振幅与连续性较好,具有不明显的前积结构,向盆地边缘过渡为冲积扇充填。

沙四上亚段和沙二上、下亚段沉积期是东营凹陷湖盆收缩期,地形为陡坡,近物源。粗碎屑物入湖后具重力流特征,底部下切能力较强,多形成稳定推进的扇三角洲沉积体系。可进一步分为扇三角洲平原、扇三角洲前缘和前扇三角洲 3 个亚相。郑家—王庄地区沙三上亚段和单家寺地区沙四上亚段砂体属于这种成因的砂体(图 5-E)。该沉积体系由于水道冲刷和湖水波浪的双重作用,水下分流河道前方不易形成完整的河口坝,而广泛发育扇三角洲前缘席状砂。

三角洲:沙二段沉积时期之后,湖盆上升回返阶段水体变浅,古地形较为平坦,气候温暖湿润,受东部物源影响,整个北部陡坡带几乎被东营三角洲所充填。位于河流与湖水汇合处。砂体形态呈朵状,发育在湖盆长轴方向,距物源较远。岩性由下而上砂岩层逐渐增多增厚,粒度变粗。沉积构造主要为波状层理、流水沙纹层理、变形层理(图 5-F)。测井曲线主要呈箱状-钟状漏斗状,外形为宽缓席状,内部具斜交前积结构,以及呈复合状。主要发育在胜坨地区沙三上亚段和沙二段(图 7)。断裂活动变弱时,湖水变浅,辫状河携带粗碎屑物入湖后卸载快,进积作用强,形成垂直河流向的规模小而独立的三角洲砂体,其中包括三角洲平原、三角洲前缘和前三角洲 3 个亚相。

深湖浊积扇:主要在湖盆最大深陷期形成,一种为分布于陡坡之下的深湖浊积扇,一种为三角洲前缘滑塌浊积扇。季节性洪水期,来自多方向物源的大量粗碎屑物沿着陡坡主河流方入湖,形成高密度流,沿湖盆最低洼的断槽运动,形成轴向浊流扇或沟道浊流扇。扇体走向与断槽一致,形态受断层产状控制,扇体前方或侧翼被深水区烃源岩包围。浊积扇发育于深湖半深湖,可进一步分为内扇、中扇和外扇 3 个亚相。岩性主要为深湖泥岩夹砂砾岩层。具下粗上

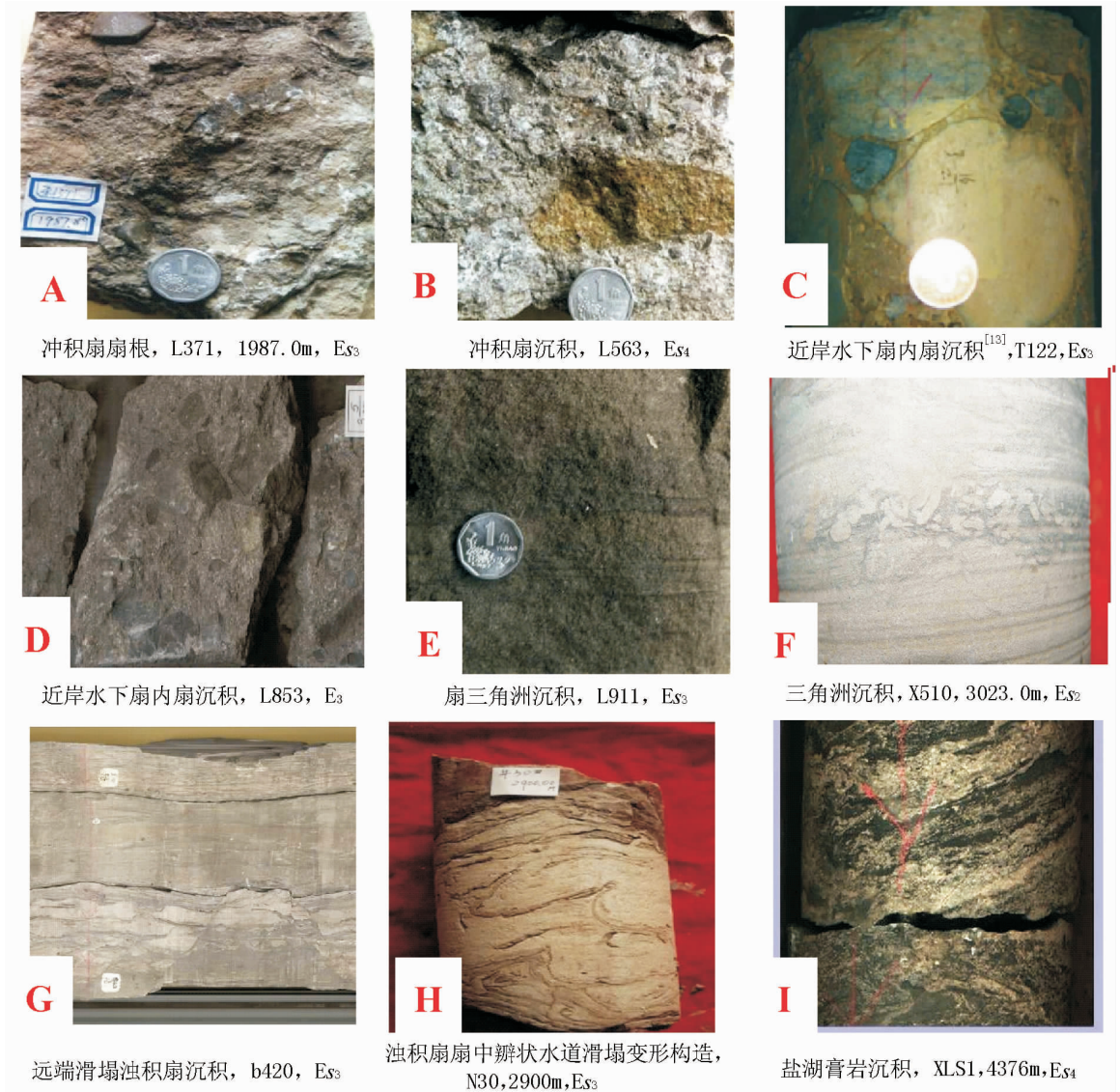


图 5 东营凹陷古近系沉积特征

Fig.5 Sedimentary characteristics of Paleogene sediments in Dongying sag

细的正旋回,可见不完整或完整的鲍马层序(图 5-G, 5-H)。湖盆扩大时,扇体沿岸线后退,或叠加在水下扇体上。测井曲线为振幅箱形、齿化钟形或指形。地震反射外形为反楔形或丘形,内部为断续波状,无明显前积结构或外形为短楔形,内部为杂乱结构。

该类沉积体系主要发育在沙四上亚段和沙三下、中亚段低位体系域和湖侵体系域,是深陷期的重力流沉积系列。永 554 和坨 71 等扇群都是典型的深水浊积扇砂体(图 8)。陡坡带沉积物堆积到一定程度时,重力、地震和洪水等作用触发前缘沉积物滑塌,再次搬运形成滑塌浊积扇。该类浊积扇与陡坡近

岸水下扇、扇三角洲伴生。利津、滨南洼陷的南坡均发育这类成因扇体。

#### 4 物源体系

古近纪沉积时期,由于受郯庐断裂的影响,东营凹陷在盆地基底上发育了一系列的断裂构造。由于断陷周围的隆起中,除了太古宙碎屑岩和基性火山岩之外,还分布了古生代沉积的海相碳酸盐和中生代沉积的碎屑岩。这些在后来的古隆起均可以成为沉积物来源。从前人研究来看<sup>[13]</sup>,凹陷中沉积物基本属于陈家庄凸起近源堆积所形成。本次研究表明,东

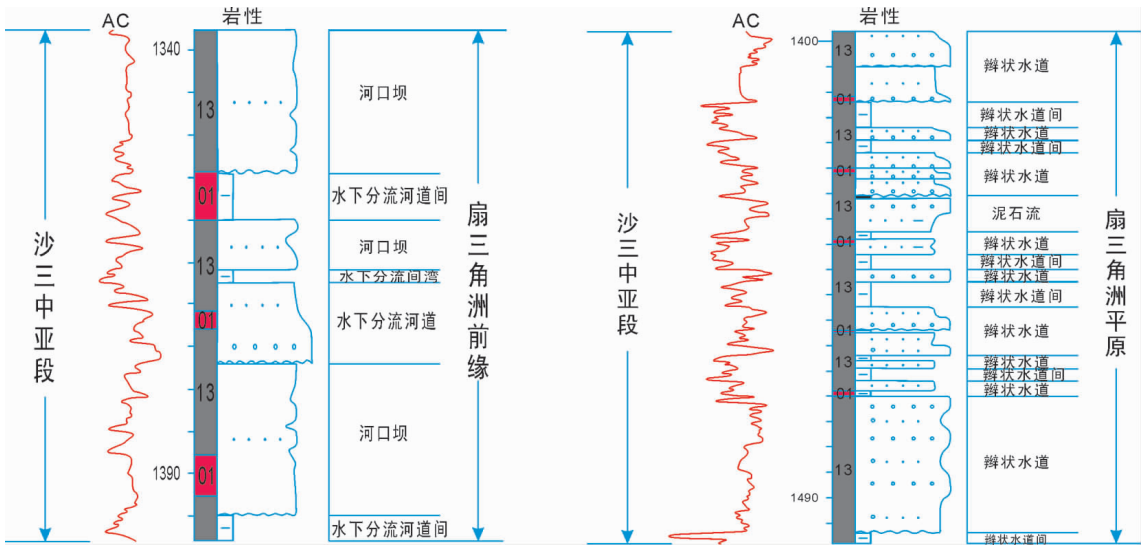


图 6 扇三角洲沉积剖面图(Y79,ES3<sup>中</sup>)

Fig.6 Depositional structure of fan delta (Y79, ES3<sup>中</sup>)

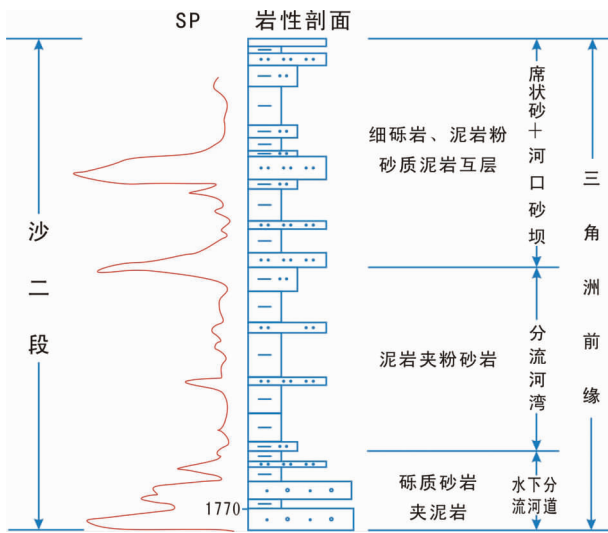


图 7 三角洲沉积结构图(Y19, ES2)

Fig.7 Depositional structure of delta (Y19, ES2)

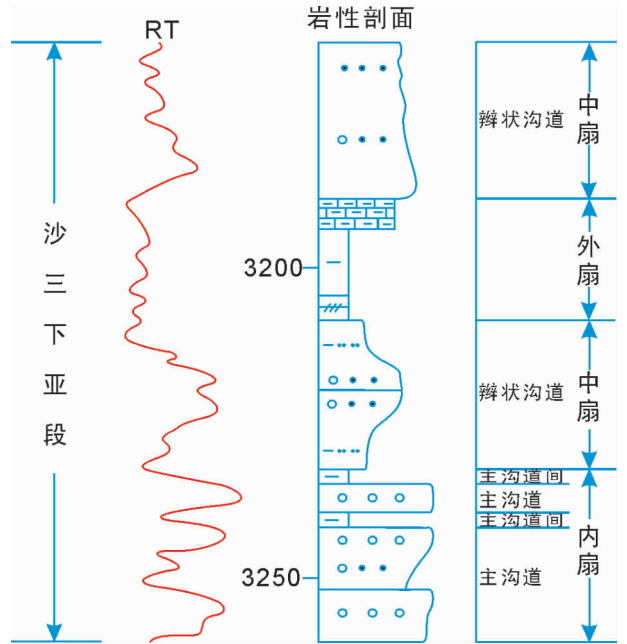


图 8 近端滑塌浊积扇沉积结构图(T71,ES3<sup>下</sup>)

Fig.8 Depositional structure of fluxoturbidite-fan (T71, ES3<sup>下</sup>)

营凹陷北部陡坡带断裂控制下的沉积体系的物质来源主要有 3 个:陈家庄凸起,主要出露太古宙-元古宙以及零星分布的古生代碳酸盐岩地层以及西部的滨县凸起和东部的青坨子凸起。从现有的钻井资料来看,滨县凸起钻遇寒武系,说明该凸起为古生代之后所形成,长期处于剥蚀状态;东部的青坨子凸起也为太古宙-元古宙之后所形成的碎屑岩-火山岩基底以及零星分布的碳酸盐岩地层。

东营凹陷北部陡坡带发育大量的砂砾岩体,主

要为冲积扇-近岸水下扇-扇三角洲组合类型,这些砾岩中,砾石成分能够反映母岩区岩石类型。本次研究对砾石的砾石成分进行了分析(表 1),从这些资料的砾石成分来看,主要有灰岩岩屑、白云岩岩屑、砂岩岩屑,部分砾石为喷出岩岩屑和片麻岩岩屑。这些砾石成分反映陈家庄凸起的剥蚀情况,说明北部陡坡带碎屑沉积中物源主要来自中生界火山岩、碎



表 1 东营凹陷北部陡坡带古近系砂砾岩砾石成分分析  
Table 1 Gravel composition analyses of Paleogene conglomerate in the north steep slope rift belt of Dongying sag

井号	构造单元	深度/m	层位	岩石类型	砾石成分
陈 163	滨南—利津断裂构造带	1458.10	E <sub>d</sub>	中细粒长石砂岩	以石英岩屑为主, 少量白云岩、结晶岩、中酸性喷出岩屑等
陈 15	滨南—利津断裂构造带	1238.90	E <sub>s1</sub>	含砂质砾岩	微晶、显微晶、隐晶灰岩为主, 其次有石英岩屑、结晶岩屑和长石等
坨 147	坨一胜—永断裂构造带	2685.00	E <sub>s3</sub>	砾岩	结晶岩屑和灰岩岩屑
坨 147	坨一胜—永断裂构造带	2685.00	E <sub>s3</sub>	砂状砾岩	石英岩屑、灰岩岩屑、白云岩岩屑和结晶岩屑、泥质岩屑等
坨 147	坨一胜—永断裂构造带	2685.00	E <sub>s3</sub>	砾岩	结晶灰岩、泥质白云岩、泥质粉砂岩岩屑和燧石
坨 147	坨一胜—永断裂构造带	2685.00	E <sub>s3</sub>	含砾不等粒岩屑砂岩	结晶灰岩、白云岩岩屑
坨 125	坨一胜—永断裂构造带	2481.84	E <sub>s4</sub>	砂质砾岩	主要为喷出岩岩屑和白云岩岩屑
坨 125	坨一胜—永断裂构造带	2484.78	E <sub>s4</sub>	砂质砾岩	石英中砂岩屑, 可能有喷出岩岩屑
坨 125	坨一胜—永断裂构造带	2488.14	E <sub>s4</sub>	砂质细砾岩	泥岩、喷出岩和白云岩等岩屑, 尚见结晶岩岩屑和石英、长石等
坨 144	坨一胜—永断裂构造带	2604.21	E <sub>s4</sub>	砂质砾岩	火山岩屑、白云岩岩屑等
坨 144	坨一胜—永断裂构造带	2609.52	E <sub>s4</sub>	砂质砾岩	火山岩屑、砂岩岩屑、结晶岩屑等
坨 160	坨一胜—永断裂构造带	2588.60	E <sub>s4</sub>	砾岩	主要为喷出岩屑、灰岩岩屑、白云岩岩屑, 砂岩岩屑等
坨 165	坨一胜—永断裂构造带	3498.90	E <sub>s4</sub>	砂质砾岩	砾石成分为结晶岩屑; 中—粗砂成分为石英、长石、岩屑等。铁白云石隐晶结构
坨 166	坨一胜—永断裂构造带	3253.50	E <sub>s4</sub>	含白云质砂砾岩	砾石成分为白云岩、片麻岩屑; 砂质成分为石英岩、结晶岩、白云岩、泥岩屑及石英、长石碎屑等
坨 168	坨一胜—永断裂构造带	3109.90	E <sub>s4</sub>	含砾中粒岩屑长石砂岩	石英岩屑
坨 168	坨一胜—永断裂构造带	3110.40	E <sub>s4</sub>	砾质不等粒长石岩屑砂岩	灰岩、白云岩、结晶岩、石英岩屑和长石碎屑
坨 168	坨一胜—永断裂构造带	3110.90	E <sub>s4</sub>	砾质不等粒岩屑砂岩	结晶岩屑为主, 另见白云岩屑、石英岩、喷出岩和泥质岩屑等
坨 168	坨一胜—永断裂构造带	3111.45	E <sub>s4</sub>	含砾不等粒长石岩屑砂岩	石英岩、结晶岩、白云岩、灰岩、喷出岩屑、泥质岩屑及白云石碎屑等
坨 168	坨一胜—永断裂构造带	3111.90	E <sub>s4</sub>	含砾不等粒长石岩屑砂岩	结晶岩、喷出岩屑和长石碎屑
坨 168	坨一胜—永断裂构造带	3112.10	E <sub>s4</sub>	含砾不等粒长石岩屑砂岩	主要为结晶岩屑, 另见泥质岩屑
坨 168	坨一胜—永断裂构造带	3113.60	E <sub>s4</sub>	砾质不等粒长石岩屑砂岩	结晶岩屑为主, 其次为石英、长石碎屑
利 853	滨南—利津断裂构造带	2978.82	E <sub>s4</sub>	含砾不等粒岩屑砂岩	主要为灰岩, 其次为结晶和泥质岩屑
利 853	滨南—利津断裂构造带	2765.73	E <sub>s4</sub>	砂质砾岩	主要为结晶和灰岩岩屑, 其次为石英岩屑、斜长石等
利 853	滨南—利津断裂构造带	2765.73	E <sub>s4</sub>	砂质砾岩	主要为结晶和灰岩岩屑, 其次为石英岩屑、斜长石等

屑岩和太古宙花岗岩片麻岩风化剥蚀的产物。这些风化物质在陡坡带直接入湖,形成具有典型特征的砂砾岩体。成分的复杂性主要是由于北部陡坡带构造活动强烈,使凸起上不同位置的老地层不同程度被剥蚀。研究表明,古近—新近纪沉积物埋藏时期,陈家庄凸起已被剥蚀至最古老的太古宙花岗岩片麻岩,只在局部仍保留古生代碳酸盐岩地层与中生代地层,加之西部的滨县凸起和东部的青坨子凸起,这些凸起上的地层剥蚀也为北部陡坡带沉积充填提供了物质来源。

### 5 构造-沉积演化及沉积响应

中国东部断陷盆地其构造演化可分为 3 个大的阶段<sup>[14-18]</sup>:①太古宙至早、中元古代时期的地台基底形成、变形和固结阶段;②晚元古代及古生代时期稳定地台覆盖层发育阶段;③中、新生代时期地台活化、裂陷盆地发育阶段。东营凹陷就是中生代—古近纪一个断陷复合盆地。在剖面上,东营凹陷由 3 个不同结构特征的构造层叠置而成。底部为前中生代形成的盆地基底岩系构造层。中部为盆地断陷期构造层,由上侏罗统—下白垩统和古近系组成,二者之间为一区域性的角度不整合面,将盆地划分为两个不同的裂陷作用阶段。盆地断陷期构造层受断层活动控制,并呈楔状或梯形状充填于半地堑式断陷盆地或对称的地堑之中。上部为盆地断裂后期构造层,由新近系组成,变形微弱,分布范围广,地层从断陷中

心边缘凸起逐层超覆<sup>[14]</sup>。在东营凹陷形成过程中,发生在古近—新近纪的裂陷—扩张阶段与油气藏形成具有最直接关系,它又可分为 3 个发育期:

#### A.裂陷—扩张初期(Ek—Es<sub>4</sub><sup>下</sup>)

该时期断裂活动强烈。陈南和石村断层都继承性活动,产生了高青、博兴、金家、陈官庄等新断裂,孔店期凹陷内存在分别受控于陈南断裂和石村断裂带的两个沉降中心,冲积扇和扇三角洲体系沿断裂呈近东西向展布。沙四期的盆地基本构造格局与孔店期相似,盆地仍然有 2 个沉积和沉降中心。

#### B.裂陷—扩张鼎盛期(Es<sub>4</sub><sup>上</sup>—Es<sub>2</sub><sup>下</sup>)

该时期断陷强烈,盆地沉降幅度大,扩张速度快,盆地主断层均处于发育的高峰期,新生断层大都发育在北部陡坡和凹陷的中央而不是南斜坡。此时中央隆起带开始拱起,造成东营凹陷的东半部进一步分化,形成牛庄、民丰、利津 3 个次级洼陷。这样,东营凹陷由于早期和后期的构造作用,出现博兴、牛庄、利津和民丰 4 个次级洼陷。沙河街组从早到晚,沉积中心迁移有明显的规律,沉降中心由东向西迁移,孔店—沙四期,东段断层活动强度大,北部陡坡带水体由东向西水体变浅,坡度变缓。相应地,其沉积类型由较大型的冲积扇向扇三角洲过渡。

从沙四下到沙四上,陈南断裂带的活动不断向北迁移,扇三角洲朵体随着可容空间向北的不断增大而迁移,显示断裂活动对扇朵体的明显控制作用。该时期主要发育冲积扇沉积体系(图 9)。在石村断

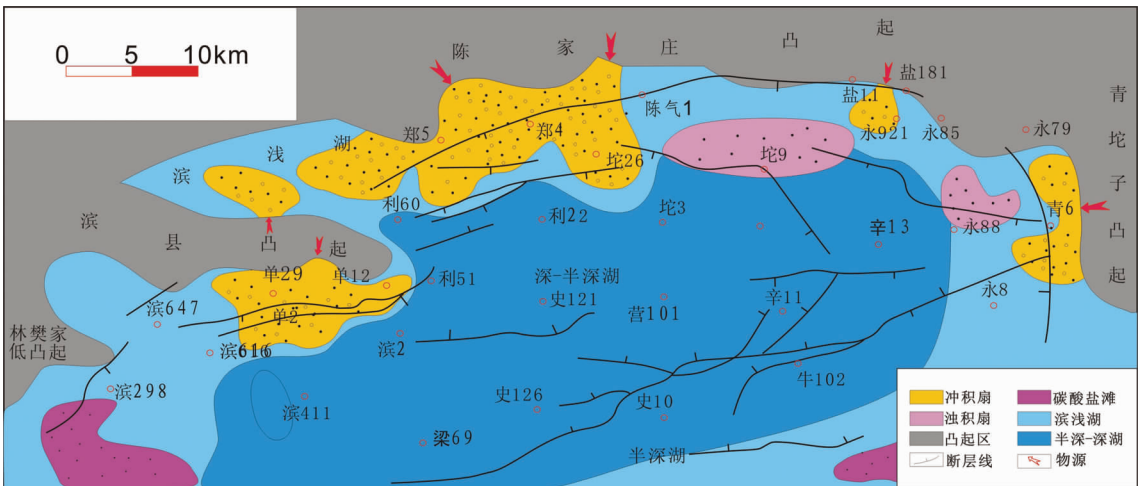


图 9 东营凹陷北部陡坡带沙四上层序沉积相平面展布  
Fig.9 Sedimentary plane graph of sequence Es4upper of Paleogene sediments in the north steep slope belt of Dongying sag



裂带南侧,从沙四下到沙四上的扇体显示出由NW向SE迁移的趋势,也可能与该断裂西段在早期活动较强,而东部的活动则在晚期比较强烈有关。

从沙三期开始盆地裂陷作用和扩张作用明显增强,盆地沉降幅度大,扩张速度加快,区内主要断层处于发育高峰期,由于快速的断陷和扩展,区内形成了大面积的深水油盆,广泛发育暗色泥岩,是凹陷生油岩最有利的发育期,湖盆边缘发育冲积扇和扇三角洲,大型的东营三角洲就形成于该阶段。

沙三早、中期,东部地区扇体规模变小,相带变窄,后期郑家和滨县两扇群由于古地形抬升而逐渐

消失。而东部盐家地区的近岸水下扇仍继承性发育,规模渐小。

沙三下沉积期(图10),胜北地区深陷,发育了较东西两端更大规模的三角洲扇体。扇三角洲朵体沿湖盆边缘断裂带分布,特别重要的是在胜北断层、陈南断层和八面河断层下降盘内均有低位扇体发育。这些低位扇体沿上述断层在盆地呈环状展布。东营三角洲在这个时期开始发育,在一定程度上,其前缘朵体受到南北向断层的控制,如青8井附近(图10)。

沙三中沉积期(图11),除了盆地边缘断裂的强烈活动之外,陈家庄—王家岗断裂带的活动明显加

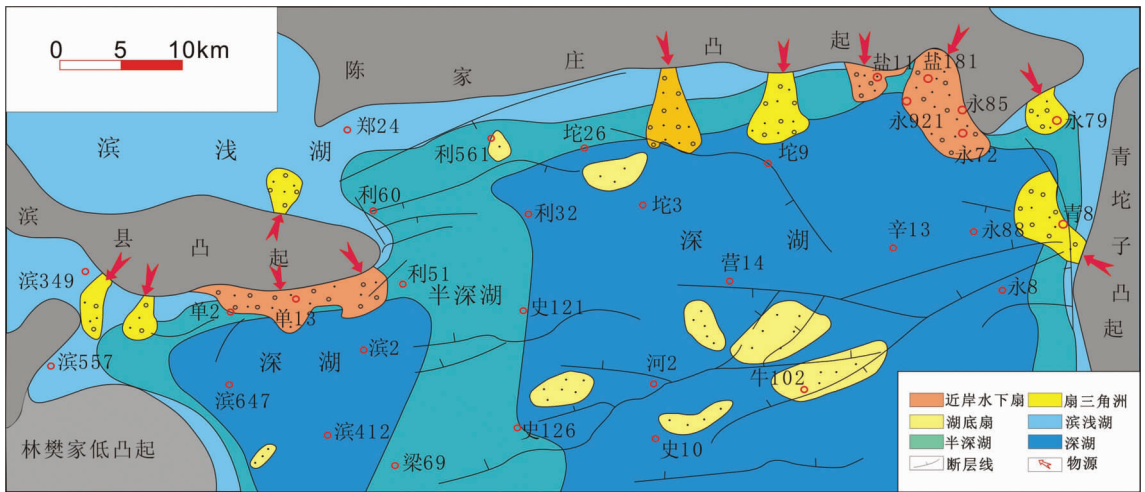


图10 东营凹陷北部陡坡带沙三下层序沉积相平面展布

Fig.10 Sedimentary plane graph of sequence Es3lower of Paleogene sediments in the north steep slope belt of Dongying sag

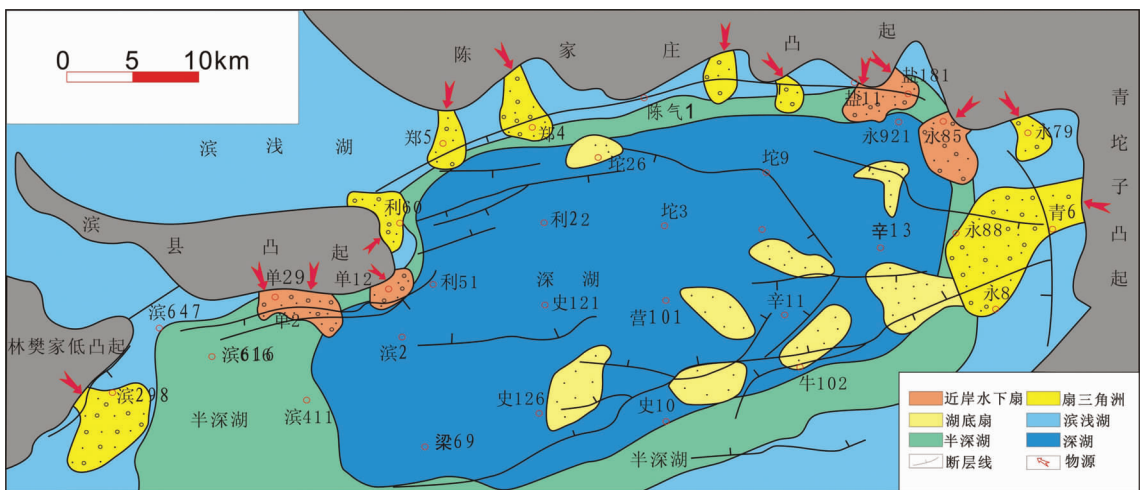


图11 东营凹陷北部陡坡带沙三中层序沉积相平面展布

Fig.11 Sedimentary plane graph of sequence Es3middle of Paleogene sediments in the north steep slope belt of Dongying sag

强, 该断裂是发育于盆地斜坡带上的反向调节式断裂带, 其重要的意义在于形成了盆地缓坡构造坡折带, 并控制了沙三中低时期湖盆范围, 牛庄—王家岗低位扇即分布在这条断裂带的下降盘内。在这个时期, 位于研究区东部的青 6—永 8 井分布的东营三角洲前缘朵体已推进到上述缓坡构造坡折带部位, 并受陈家庄—王家岗断裂带活动的控制。

沙三上沉积期, 陡坡带水体由东向西变深, 相应地西部滨县单家寺、王庄地区发育扇三角洲, 而胜北以东地区则广布三角洲体系(图 12)。盆地深洼带位于断层的下降盘内, 其位置偏北。中央洼陷带受轴向水流控高水位期, 构造活动平静, 发育三角洲—滑塌浊积体系。东营三角洲长期继承性发育, 规模大, 以进积作用为主, 共发生了三期依次由东向西的推进, 并造成多个叠合连片展布的浊积岩分布区。三期进积分别与沙三下、中和上三次构造脉动作用相对应。低位期和湖扩展期, 构造活动强烈, 可容空间增大。高位期, 构造活动性减弱, 三角洲进积充填盆地。高青三角洲规模较小, 由于高青断裂的持续下陷, 可容空间的增大与物源供给的平衡, 三角洲前缘以加积作用为主, 滑塌浊积砂分布范围较小。

沙二下沉积期, 东营凹陷东南部地区主要被三角洲充填。盆地周缘地形开始趋于平缓, 盆地构造活动性由最初的增强趋于平稳, 尽管如此, 这个时期局部断层仍有较强的活动性, 并控制了沙二下低位扇

体的发育。

C. 裂陷—扩张衰退期( $E_{s_2}^{上}-Ed$ )

裂陷活动进入后期, 形成许多次级断裂, 对初始构造带进行断裂改造。沙二上至东营期是盆地另一个裂陷作用幕, 盆地的构造活动性有所增强, 盆地范围扩大, 水体变浅, 水域扩大, 但其活动的强度和幅度均小于沙三期断裂的活动。

总之, 东营凹陷的北部陡坡带构造活动强度和沉积中心迁移有明显的规律, 即从早到晚, 沉降中心由东向西迁移, 孔店—沙四期, 东段断层活动强度大, 北部陡坡带水体由东向西水体变浅, 坡度变缓。相应地其沉积类型由较大型的冲积扇向扇三角洲过渡。沙三早、中期, 胜北地区深陷, 发育了较东西两端更大规模的三角洲扇体。东部地区扇体规模变小, 相带变窄, 后期郑家地区的郑 4 井区和滨县凸起的滨 298 地区两扇群由于古地形抬升而逐渐消失。而东部盐家地区的近岸水下扇仍继承性发育, 规模渐小。沙三晚期, 陡坡带水体由东向西变深, 相应地西部滨县单家寺、王庄地区发育扇三角洲, 而胜北以东地区则广布三角洲体系。盆地深洼带位于断层的下降盘内, 其位置偏北。

## 6 陡坡断裂带沉积充填模式及其与油气的关系

同沉积断裂活动控制沉积体系在中国的陆相盆

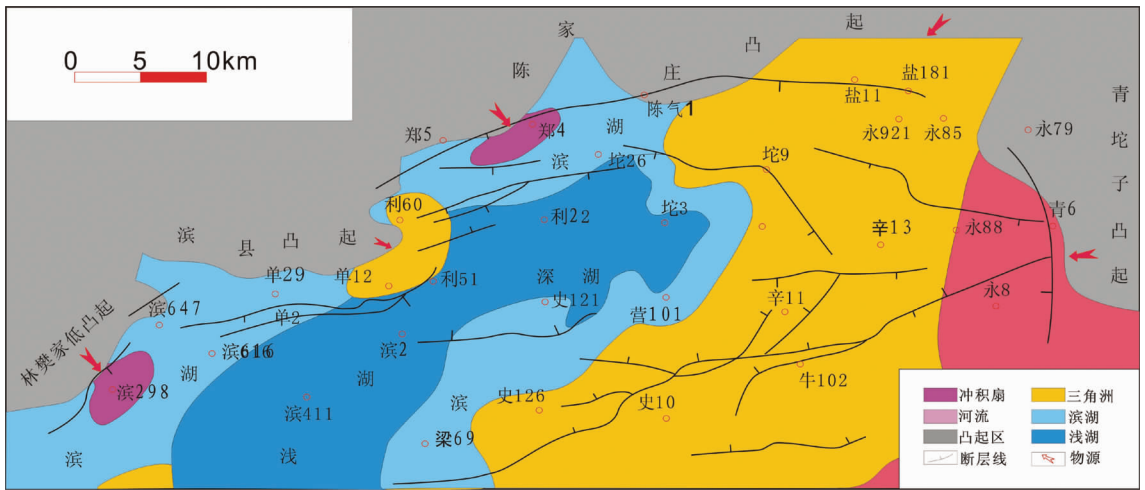


图 12 东营凹陷北部陡坡带沙三上—沙二下层序沉积相平面展布  
Fig.12 Sedimentary plane graph of sequence Es3upper-Es2lower of Paleogene sediments in the north steep slope belt of Dongying sag

地中比较常见,除了本文研究中的东营凹陷陡坡带之外,笔者在对柴达木盆地干柴沟组、川中须家河组的研究中均发现了类似的同沉积断裂控制沉积充填效应。近年来,也不乏有学者对该类沉积充填效应进行研究<sup>[19-22]</sup>。本文通过对东营凹陷陡坡断裂带古近系沉积响应及特征、构造-沉积演化及充填等研究,结合区域构造背景,建立了该断裂系统控制下的沉积充填及与油气关系模式(图13)。

从该模式中可以看出,陡坡断裂带由于地形高差比较大,沉积体系同时受到地形和断裂系统的作用,往往发育有冲积扇、近岸水下扇、扇三角洲的扇体组合体系。在断裂的下降盘,陆源物质的持续充

填,同时受到地形的陡然下降,容易形成一些滑塌堆积扇。当然,这类构造-沉积模式,通常在充填的中后期,也会形成与坡降较大相关的辫状河三角洲。但是就本次研究来看,陡坡断裂带,时间和空间上,充填方式为冲积扇→近岸水下扇→扇三角洲→近源浊积扇→湖相泥岩的充填模式。从与油气的关系来说,由于这类砂砾岩扇体组合通常是直接入湖,而且受到断裂系统和近烃源岩的双重控制,通常具有很好的石油地质条件。同时,这些储层中溶蚀作用比较发育,加之本地区原生碳酸盐岩胶结物比较发育,更有利于次生孔隙的发育。但是并不是所有的扇体都非常有利于储集油气,从图13的模式来看,通常与断

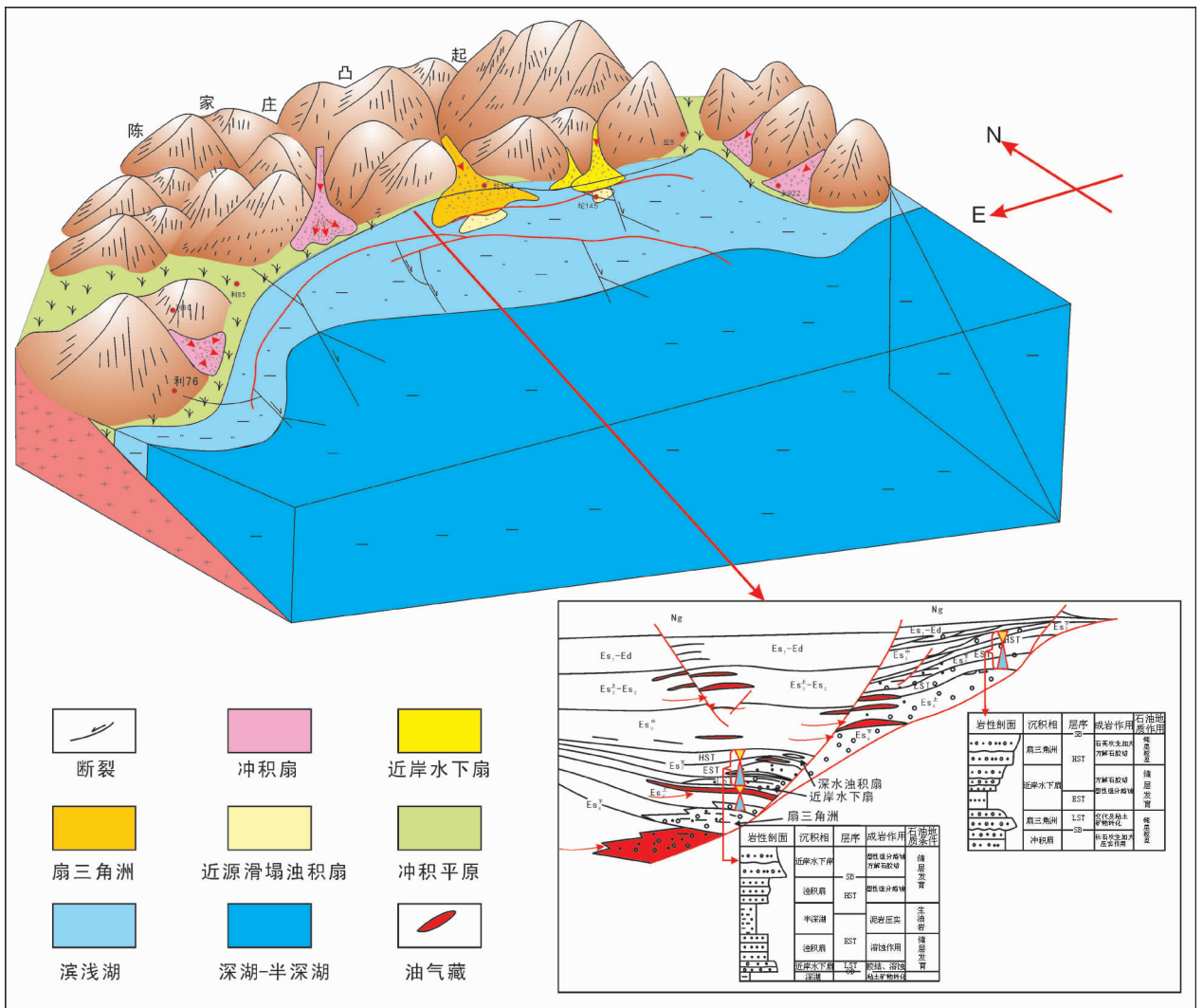


图13 东营凹陷陡坡断裂带沉积充填及与油气关系综合模式  
Fig.13 Composite model of sedimentary filling in relation to oil and gas in the steep slope faulted belt of Dongying sag



裂系统伴生的砂体位置是有利的油气聚集场所,近源浊积扇体也为比较有利的聚集场所。总之,陆相断陷盆地陡坡断裂带,具有较好的石油地质条件,具有物性好、油源近等特点,是油气勘探的重点区域。

## 7 结 论

陆相断陷盆地沉积充填过程跟断裂活动密切相关,特别是陡坡断裂带,不但控制了盆地的演化,而且控制了沉积体系的充填过程。研究表明,陡坡断裂带具有近物源、快速堆积的特点,沉积对构造的响应效果明显。由于受到了构造、气候、物源等影响,沉积响应具有明显的旋回性、粒度较粗、成分成熟度和结构成熟度都较低等特点。陡坡断裂带同沉积构造活动控制了沉积物的充填过程,使其在时间和空间上,具有从冲积扇→近岸水下扇→扇三角洲→滑塌浊积扇→湖盆的演化特征和充填模式,其特征反映了断裂活动从初期—鼎盛期—衰退期的演变过程。这种典型的陡坡带沉积充填模式,具有近油源、物性好、构造活跃等特点,是油气聚集的有利场所。

致谢:感谢审稿专家提出的建设性意见!

## 参考文献 (References):

- [1] 李丕杰. 陆相断陷盆地油气地质与勘探,卷 1-5[M]. 北京:地质出版社, 2003.  
Li Pilong. Oil-gas Geology and Exploration of Terrestrial Fault-Depressed Basin, vol. 1-5 [M]. Beijing:Geological Publishing House, 2003.
- [2] 蔡希源, 李思田. 陆相盆地高精度层序地层学[M]. 北京:地质出版社, 2003.  
Cai Xiyuan, Li Sitian. High Degree Strata-sequence of Terrestrial Basin[M]. Beijing:Geological Publishing House, 2003.
- [3] 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):227-231.  
Kong Fanxian. Exploration technic and experience of sand-conglomerate in north steep slope rift belt in Dongying sag [J]. Acta Petrolei Sinica, 2000, 21(5):227-231(in Chinese with English abstract).
- [4] 田景春. 箕状断陷湖盆陡坡带砂体特征、演化及控制因素[J]. 矿物岩石, 2001, 21(5):56-63.  
Tian Jingchun. The feature, evolution and controlling factors of terrigenous clastic reservoir sand bodies on the steep slope of the half graben-like rift lake basin [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2001, 21(5):56-63(in Chinese with English abstract).
- [5] 田景春, 谭先锋, 孟万斌, 等. 箕状断陷湖盆陡坡带层序地层格架内成岩演化研究[M]. 地质出版社, 2008.  
Tian Jingchun, Tan Xianfeng, Meng Wanbin, et al. Research on the Diagenetic Evolution in Sequence Stratigraphic Framework in the Steep-slope Zone of Half Graben-like Rift Basin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2008.
- [6] 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):1026-1036.  
Lin Changsong, Zheng Herong, Ren Jianye, et al. Manipulation of syndepositional fault on the sedimentary of Paleogene in Dongying sag, Zhanhua sag in Bohaiwan basin [J]. Science in China (seriesD), 2003, 33(11):1026-1036.
- [7] 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—以济阳坳陷东营凹陷为例 [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 [J]. Lithologic Reservoirs, 2007, 19(1):39-45(in Chinese with English abstract).
- [8] 潘元林, 宗国洪. 济阳断陷湖盆层序地层学及砂砾岩油气藏群[J]. 石油学报, 2003, 24(3):16-23.  
Pan Yuanlin, Zong Guohong. Strata-sequence and sand-conglomerate oil-gas reservoir in Jiyang Terrestrial Fault-depressed Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2003, 24(3):16-23(in Chinese with English abstract).
- [9] 操应长, 姜在兴, 夏斌, 等. 陆相断陷湖盆 T-R 层序的特点及其控制因素—以东营凹陷古近系沙河街组三段层序地层为例[J]. 地质科学, 2004, 39(1):111-122.  
Cao Yingchang, Jiang Zaixing, Xia Bin, et al. Characteristic and controlling factor of T-R strata-sequence in Terrestrial Fault-depressed Basin[J]. Chinese Journal of Geology, 2004, 39(1):111-122 (in Chinese with English abstract).
- [10] 夏景生, 王成明, 王志坤, 等. 山东东营凹陷东部深层浊积扇储层的微观特征及影响因素[J]. 中国地质, 2008, 35(5):975-983.  
Xia Jingsheng, Wang Chengming, Wang Zhikun, et al. Micro-properties and influence factors of deep turbidite fan reservoirs in the eastern Dongying subbasin, Shandong [J]. Geology in China, 2008, 35(5):975-983(in Chinese with English abstract).
- [11] 赵勇. 东营凹陷北带构造—层序—成藏动力学研究 [D]. 广州:中国科学院广州地球化学研究所, 2005.  
Zhao Yong. Research on tectonic-strata-sequence-dynamic-force in north steep slope rift belt in Dongying sag[D]. Guangzhou:Guangzhou Geochemistry Institute of Chinese Academy of Sciences, 2005 (in Chinese with English abstract).
- [12] 赵延江. 东营凹陷盆地结构与充填特征研究[D]. 广州:中国科学院广州地球化学研究所, 2007.  
Zhao Yanjiang. Research on Basin Structure and Filling in Dongying Sag [D]. Guangzhou:Guangzhou Geochemistry Institute of Chinese Academy of Sciences, 2007(in Chinese with English abstract).
- [13] 张鑫, 张金亮. 胜坨地区沙三下亚段砂砾岩体沉积特征及沉积模式[J]. 石油学报, 2008, 29(4):533-538.  
Zhang Xin, Zhang Jinliang. Depositional feature and mode of sand2 conglomerate bodies in the lower third member of Shahejie

- Formation in Shengtuo area [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2008, 29(4): 533–538(in Chinese with English abstract).
- [14] 任安身. 从构造变动看渤海湾盆地第三系有关组段的接触关系 [J]. 复式油气田, 1999, 12(1):50–53  
Ren Anshen. Appraise the relation of tertiary in Bohaiwan basin from tectonism[J]. *Complex Oil-Gas field*, 1999, 12(1):50–53.
- [15] 徐嘉炜, 朱光, 吕培基, 等. 郑庐断裂带平移年代学研究的进展 [J]. 安徽地质, 1995, 5(1):1–12.  
Xu Jiawei, Zhu Guang, Lü Peiji, et al. Research advance of translation chronology in Tanlu rift zone [J]. *Anhui Geology*, 1995, 5(1):1–12(in Chinese with English abstract).
- [16] 徐嘉炜. 郑庐断裂带研究的十年回顾 [J]. 地质论评, 1992, 5(3): 316–324.  
Xu Jiawei. Ten year retrospective of Tanlu rift zone research [J]. *Geological Review*, 1992, 5(3):316–324(in Chinese with English abstract).
- [17] 袁静. 济阳拗陷南部古近系洪水—漫湖沉积 [J]. 中国地质, 2005, 32 (4):655–662.  
Yuan Jing. Paleogene flooded lake sediments in the southern part of the Jiyang depression [J]. *Geology in China*, 2005, 32 (4):655–662 (in Chinese with English abstract).
- [18] 姜惠超, 肖永军, 周丽. 济阳拗陷新生代古地温分析 [J]. 中国地质, 2008, 35 (2):273–278.  
Jiang Huichao, Xiao Yongjun, Zhou Li. Analysis of Cenozoic subsurface temperatures of the Jiyang depression [J]. *Geology in China*, 2008, 35 (2):273–278(in Chinese with English abstract).
- [19] 王永诗, 鲜本忠. 车镇凹陷北部陡坡带断裂结构及其对沉积和成藏的控制 [J]. 油气地质与采收率, 2006, 13(6):5–8.  
Wang Yongshi, Xuan Benzong. Fault structures of northern steep slope belts and their influence of sedimentation and reservoir formation in Chenzhen sag [J]. *PGRE*, 2006, 13(6):5–8(in Chinese with English abstract).
- [20] 谢锐杰, 漆家福, 杨桥. 东营凹陷北带构造特征及其对沉积作用的控制 [J]. 江汉石油学院学报, 2004, 26(1):17–19.  
Xie Ruijie, Qi Jiafu, Yang Qiao. Structural characteristics and its control to deposition in the north of Dongying Depression [J]. *Journal of Jiangnan Petroleum Institute*, 2004, 26 (1):17–19 (in Chinese with English abstract).
- [21] 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]. 古地理学报, 2008, 10(3):276–285.  
Lu Zhiyong. Influence of the Paleogene structural styles on deposition and reservoir in Chezhen Sag, Bohai wan Basin [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2008, 10(3):276–285(in Chinese with English abstract).
- [22] 徐振中, 陈世悦, 王永诗. 渤海湾地区中生代构造活动与沉积作用 [J]. 中国地质, 2006, 33(1):201–211.  
Xu Zhenzhong, Chen Shiyue, Wang Yongshi. Mesozoic tectonic activities and sedimentation in the Bohai Gulf area [J]. *Geology in China*, 2006, 33(1):201–211(in Chinese with English abstract).

## Depositional response and filling process of the steep slope rift belt in the terrestrial fault basin: a case study of Paleogene in Dongying terrestrial fault basin

TAN Xian-feng<sup>1</sup>, TIAN Jing-chun<sup>2</sup>, BAI Jian-ping<sup>1</sup>,  
WANG Yan-bi<sup>1</sup>, QIU Gui-qiang<sup>3</sup>, ZHANG Shou-peng<sup>3</sup>

(1. *Chongqing University of Science and Technology, Chongqing 401331, China;*

2. *State Key Laboratory for Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan,*

3. *Geological Institute of Shengli Oilfield, Dongying 257015, Shandong, China)*

**Abstract:** Syndepositional rift obviously controls the deposition–filling process of the steep slope rift belt in the terrestrial fault basin. Two key rifts, i.e., Chenlan and Shengbei, are developed along the steep slope rift belt in Dongying terrestrial fault basin. The Chenlan rift controls the basin evolution, whereas the Shengbei rift controls the deposition. Clastic components in the steep slope rift belt chiefly came from Chenjiazhuang bulge, Binxian bulge and Qingtuozi bulge. Controlled by the tectonic setting and provenance, alluvial fan, fan–delta, nearshore subaqueous fan, delta and fluxoturbidite–fan were filled in the steep slope rift belt. There exists a typical temporal and spatial evolution in order of alluvial fan→nearshore subaqueous fan→fan–delta→fluxoturbidite–fan→lake. Having good physical properties and strong tectonic activities and being close to oil sources, the steep slope rift belt constitutes a favorable oil and gas accumulation place.

**Key words:** steep slope rift belt; depositional response; depositional filling; tectonic–deposition evolution; terrestrial fault basin; Dongying sag

**About the first author:** TAN xian-feng, male, born in 1982, lecturer, engages in the study of sedimentology; E-mail: xianfengetan8299@163.com.