

# 进积型三角洲交汇区沉积模式 ——以东营凹陷沙三中亚段为例

陈杰<sup>1</sup> 刘传虎<sup>1</sup> 谭明友<sup>1</sup> 魏红梅<sup>1</sup> 李阳<sup>2</sup> 廖晨<sup>2</sup> 杨仁超<sup>2</sup>

(1.中国石化胜利油田物探研究院 山东东营 257000;2.山东科技大学地球科学与工程学院 山东青岛 266590)

**摘要** 作为碎屑岩储层发育的最主要沉积相类型之一,进积型三角洲在油气勘探领域具有举足轻重的地位;加强对进积型三角洲沉积模式的研究,对于油气储层预测具有重要现实意义。渤海湾盆地东营凹陷古近纪湖盆内发育的东营三角洲和永安三角洲在沙河街组三段中亚段沉积期发生了交汇,而有关两个三角洲的交汇方式、沉积特征及交汇区储层的预测尚未引起足够的重视。以岩芯观测、录井和地震资料为基础,分析了东营凹陷古近系沙三段中亚段三角洲交汇区沉积特征,探讨了沉积期次、交汇过程,建立了三角洲交汇区沉积模式。研究表明,东营凹陷沙河街组三段中亚段主要发育湖泊、进积型三角洲沉积;储集砂体主要形成于三角洲前缘水下分流河道,河口坝微相次之,浊积岩主要分布于深湖区。认为此前界定的东营三角洲的分布范围可能被夸大,而永安三角洲的沉积规模可能被低估。东营凹陷古近系沙三中亚段可划分为9个期次,其作用过程可分为局部交汇阶段和完全交汇阶段。三角洲水下交汇区是水流汇聚和沉积物卸载的有利场所,叠置砂体可成为有利的油气储层,因而具有重要的油气勘探价值。

**关键词** 三角洲交汇区 沉积体系 沉积模式 沙河街组 东营凹陷

**第一作者简介** 陈杰 男 1983年出生 博士后 高级工程师 油气地质勘探 E-mail: slyt@sinopec.com

**通讯作者** 杨仁超 男 副教授 E-mail: yang100808@126.com

**中图分类号** P618.13 **文献标识码** A

对于碎屑岩储层而言,进积型三角洲是储集砂体发育的最有利相带;对于多物源方向供给的陆相湖泊三角洲,进积型三角洲的交汇作用尤为显著。但目前对于进积型三角洲交汇区的沉积模式研究仍较薄弱,因此,加强该方面的研究对于三角洲沉积地质学研究和储集砂体预测具有重要的理论价值和现实意义。三角洲沉积体系是渤海湾盆地东营凹陷古近系沙河街组主要的储集相类型之一<sup>[1]</sup>,其中沙河街组三段中亚段发育了东营三角洲和永安三角洲两个大型三角洲。然而,有关其发育规模、展布范围、控制因素、旋回划分等方面的认识仍存在较大争议<sup>[2-7]</sup>,两个三角洲的交汇方式及交汇区储层的预测尚未引起足够的重视,从而影响了交汇区储层展布规律的认识及油气勘探。故本文以钻井资料分析统计为基础,结合地震资料、岩芯观测和分析测试,分析了东营凹陷古近系沙三段中亚段三角洲交汇区沉积特征,探讨了沉积期次、交汇过程,建立了三角洲交汇区沉积模式,以此为今后的勘探部署和地质研究提供参考。

## 1 区域地质概况

### 1.1 地层特征

渤海湾盆地东营凹陷古近系由老至新为孔店组、沙河街组和东营组,其中沙河街组为其主要产油层,地层连续,自下而上可分为沙四段、沙三段、沙二段、沙一段。其中沙三段是烃源岩和岩性圈闭最发育的层段,可进一步分为沙三下、沙三中和沙三上3个亚段。沙三下亚段主要为泥岩与灰褐色油页岩的不等厚互层,夹少量灰岩及油页岩;中亚段为泥岩、油页岩、泥质粉砂岩、粉砂岩、细砂岩组成的互层结构,沉积厚度为400~500 m;上亚段以泥岩为主,含泥质灰岩,沉积厚度为400~450 m<sup>[2]</sup>。本文重点研究沙河街组三段中亚段,简称沙三中亚段( $E_s^m$ )。

### 1.2 构造特征

古近纪渤海湾断陷盆地济阳坳陷东南部东营凹陷,是一个大型的宽缓箕状凹陷<sup>[1]</sup>,其东西长90 km,南北宽65 km,面积约5 700 km<sup>2</sup>。研究区北邻陈家庄

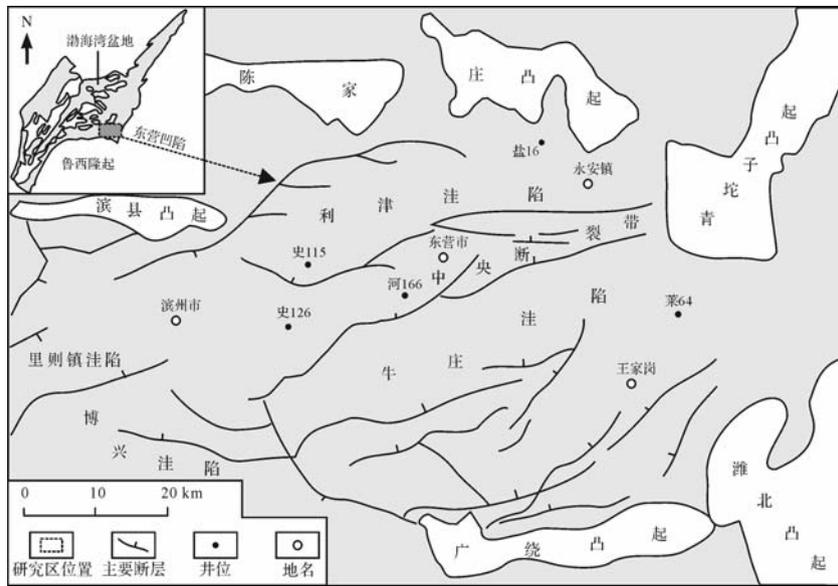


图1 渤海湾盆地东营凹陷构造地质简图

Fig.1 Structural sketch map of Dongying sag in the Bohai Bay Basin

凸起,南靠鲁西隆起,西邻滨县凸起和青城凸起,东接青坨子凸起,内部包括北部陡坡带、南部缓坡带、中央隆起带、利津洼陷、牛庄洼陷、民丰洼陷等次级构造单元(图1)。在古近纪区域拉张的地质背景下,研究区内发育一系列 NEE 向正断层,断面整体向北倾斜,造就了北陡南缓的盆地地形特点,而这种古地貌特征控制了东营凹陷的沉积格局<sup>[1-2]</sup>。

### 1.3 物源方向与沉积演化

物源来自东南部的鲁西隆起方向以及东北部的青坨子凸起方向。构造地质特征、古地形及物源方向共同控制了古近纪沉积特征与地理格局。古近纪东营凹陷主要发育湖泊、三角洲沉积体系。前人对东营凹陷东营三角洲、永安三角洲作了大量沉积学与储层地质学研究<sup>[2-13]</sup>。东营三角洲沿东营凹陷长轴方向自东向西推进,沙三中亚段沉积时为其发育鼎盛时期,主要分布在牛庄洼陷、中央隆起带以及利津洼陷部分地区,分布范围及厚度均较大。永安三角洲主要来自青坨子凸起由东北向西南方向推进,并在古近纪中期与东营三角洲发生交汇,交汇区主要分布在中央隆起带以及部分利津洼陷和牛庄洼陷。

但两个三角洲的分布范围、交汇区的位置与交汇方式等仍存在较大争议:通过古地磁方法确定的古流向,认为东营三角洲的范围应扩大,其东北端甚至抵达青坨子凸起附近<sup>[3]</sup>;东营凹陷沙三中亚段的骨架砂体主要形成于东西轴向的东营三角洲<sup>[7]</sup>;扇体在中期基准面旋回由下降到上升的转换位置附近最发

育<sup>[14]</sup>;永安镇三角洲受东营三角洲的影响<sup>[11]</sup>。

## 2 沉积相分析

### 2.1 沉积相标志分析

研究区沙三中亚段沉积相标志主要有岩性标志、沉积构造与序列、测井曲线特征、地震反射特征及古生物化石等沉积相标志。

岩性特征方面,主要表现为深灰色泥岩、灰褐色页岩、浅灰色细砂岩、灰色粉砂岩、泥质粉砂岩等岩石类型的组合;沉积物粒度整体较细,中砂岩及更粗粒沉积在研究区较少发育;灰黑色炭质泥岩较发育(图2),偶见厚度 2~3 cm 薄煤线。细砂岩中常含有较多的泥质,泥质既可呈分散状充填与碎屑骨架颗粒之间,也常呈薄层状、脉状夹于砂岩内部;细砂岩中可见零星分布的泥砾,泥砾一般有较好的磨圆(图3);砂岩层内部常含炭化植物碎片、炭质泥岩砾屑;表明沉积流体对堤岸体系具有一定冲刷侵蚀作用,且泥砾经过了一定距离的搬运。泥岩质地不纯,常含一定量粉砂,多呈块状构造,反映其沉积速率较快。反映沉积水动力条件介于弱—较强之间,其特征符合三角洲平原、三角洲前缘及湖泊等沉积特征。

砂岩单层厚度变化较大,从 1 cm 至 8 m 不等,但以 10~50 cm 中薄层为主;单层厚度 > 2 m 的砂岩较少。沉积构造可见冲刷面、中小型槽状交错层理、平行层理、块状层理、压扁层理、沙纹层理、植物根迹、泥质滞留沉积、包卷变形构造、小型槽模构造等(图2~

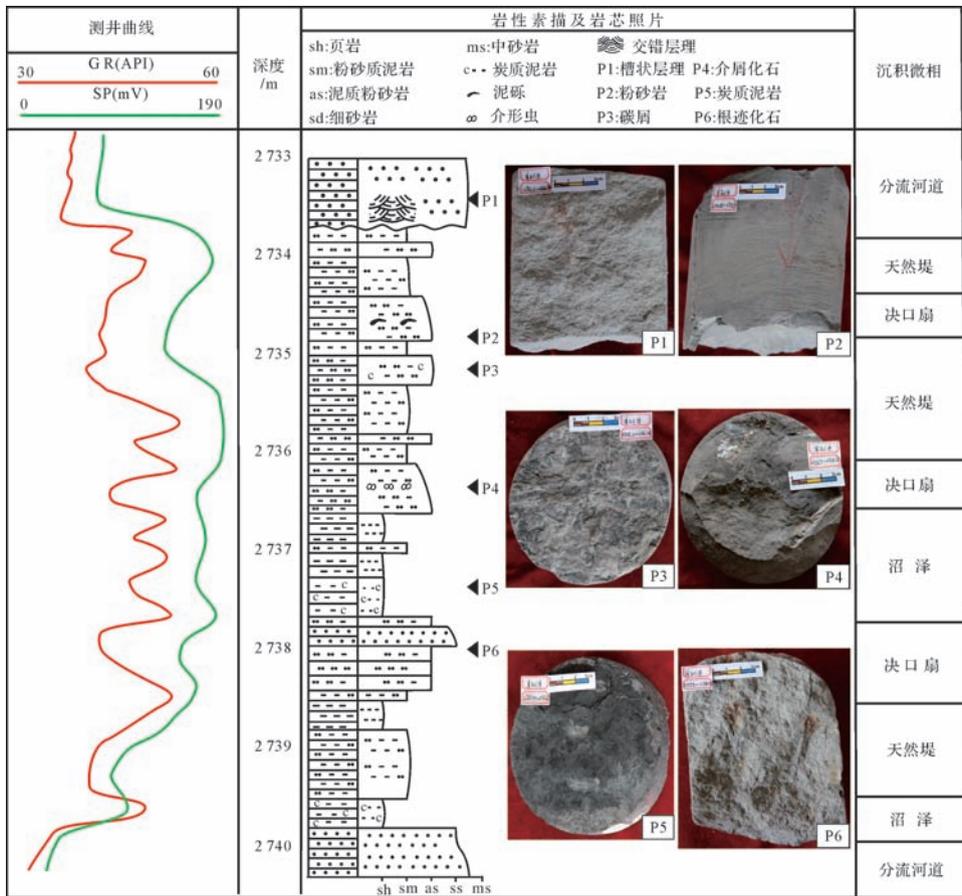


图2 X301井沙三中亚段三角洲平原沉积序列

Fig.2 Sedimentary successions of delta plain deposits in the Es<sub>3</sub><sup>m</sup>, Well X301

图5)。沉积构造与岩性序列常见向上变细、水动力条件减弱的正粒序特征,常见小型冲刷面—槽状交错层理—块状层理—平行层理—压扁层理—沙纹层理等组合序列。可见向上粒度变粗的逆粒序特征,岩性多从泥质粉砂岩向粉砂岩、细砂岩渐变。

自然伽马、自然单位等测井曲线特征常见齿化钟形、指状形态(图3,5),漏斗形、齿化漏斗形测井曲线及其组合也较为常见(图4)。地震反射特征多为中—弱振幅,同相轴连续性中等—较好,S形前积结构较明显(图6A)。古生物化石常见 *Huobeinia chinensis*, *H. Obscura*, *H. Costatispinata* 和 *Liratina tuozhuangensis* 组合<sup>[7]</sup>。

### 2.2 沉积微相类型与特征

通过岩芯观察、地震资料、测井资料等综合分析,认为研究区沙三中亚段发育三角洲平原、三角洲前缘、滨浅湖、半深湖及浊积扇沉积,以三角洲前缘、滨浅湖和半深湖沉积为主,发育分流河道、水下分流河道、河口坝、席状砂、支流间湾、天然堤、决口扇、沼泽、

深湖泥岩、浊积岩等沉积微相类型。分流河道岩性以中、细粒砂岩为主,底部发育小型冲刷面、小型槽状层理、底部可见泥质滞留沉积,测井曲线以齿化的钟形为主,反映分流河道的多期冲刷与砂体叠置(图2)。水下分流河道是分流河道在水下的自然延伸,其沉积特征、测井曲线特征与分流河道相似,由于流速降低、水动力减弱,砂岩粒度逐渐变细、泥质含量增加(图3)。河口坝沉积以泥质粉砂岩、粉砂岩、细砂岩为主,岩性序列上与泥岩、页岩、粉砂质泥岩互层,整体具有向上变粗的逆粒序特征,测井曲线特征上常表现为漏斗形、齿化的漏斗形,中、厚层砂岩内可见交错层理、沙纹层理、压扁层理等沉积构造(图4)。

席状砂沉积的岩性以薄层状粉砂岩、细砂岩为主,单层厚度较小,常夹于泥、页岩之中,测井曲线常呈指状;常由河口坝、水下分流河道砂体经波浪改造而成,常与河口坝、水下分流河道共存(图4)。天然堤岩性以泥质粉砂岩、粉砂质泥岩为主,可见沙纹层理、水平层理等沉积构造,测井曲线多表现为平直或

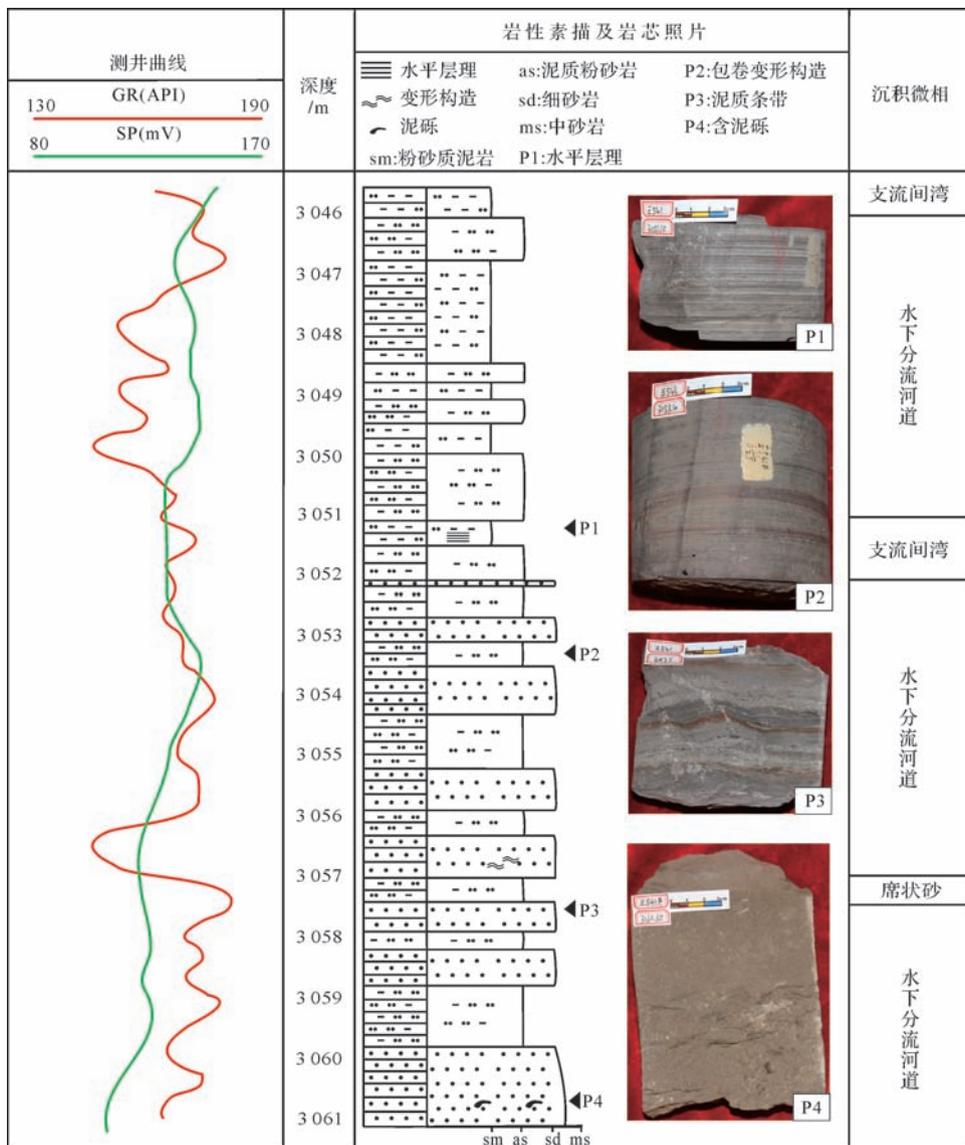


图 3 W541 井沙三中亚段三角洲前缘沉积序列

Fig.3 Sedimentary successions of delta front deposits in the  $Es_3^m$ , Well W541

微齿状特征。决口扇岩性以泥质粉砂岩、粉砂质泥岩和细砂岩为主,常发育于河漫滩、沼泽或天然堤沉积之上,可具逆粒序特征。沼泽微相以炭质泥岩、煤线为特征,多为块状构造(图 4)。从垂向序列来看,三角洲前缘具有明显的向上粒度变粗、砂体变厚的沉积序列特征,表明三角洲前缘在不同期次的进积作用强弱不同或朵叶体在空间上发生的迁移。

浊积砂岩的沉积特征表现为以泥页岩深水沉积背景下的薄层粉、细砂岩,底部常见沟模、槽模等底模构造,正粒序特征明显;测井曲线上常表现为指状、钟形特点(图 5)。深湖相泥岩一般质地较纯、颜色较深,发育水平层理,反映滞留还原沉积环境。

### 3 沉积期次划分与沉积微相对比

在三角洲期次划分方面,早期的研究将沙三中亚段划分为七个期次<sup>[4,15]</sup>;利用古水深或古地貌变化界定沉积相平面分界,将沙三段中亚段东营三角洲划分出 9 期沉积,发育特征明显的三角洲进积单元<sup>[16]</sup>;有学者将沙三中亚段东营三角洲划分为八个准层序组,各期三角洲分流河道砂体、河口坝、席状砂向湖盆进积,其前缘伴生重力流沉积,而各期三角洲之间发育小型湖泛作用沉积泥岩楔<sup>[17]</sup>。

通过对 90 余口井的分析,结合地震资料和测井资料,结合层序地层发育模式,将研究区古近系沙三

中亚段自下而上划分为9个期次(Z9—Z1)。根据地震资料中的上超、下超、顶超和削截4种地层接触关系,发现受古气候、构造演化、盆地地形、湖平面升降及物源供给联合控制,三角洲进积作用不断增强,期次之间界限明显,朵叶体堆积中心范围变化较大。地

震剖面上,同相轴较连续,可见大型“S”形前积结构;自沙三中9砂组(Z9)至沙三中1砂组(Z1),三角洲前积层范围不断扩大,各期次的三角洲逐渐进积(图6)。沿W231井向湖盆方向,可见沉积坡折带,该坡折带之下,地层厚度显著增大,表明三角洲前缘朵叶

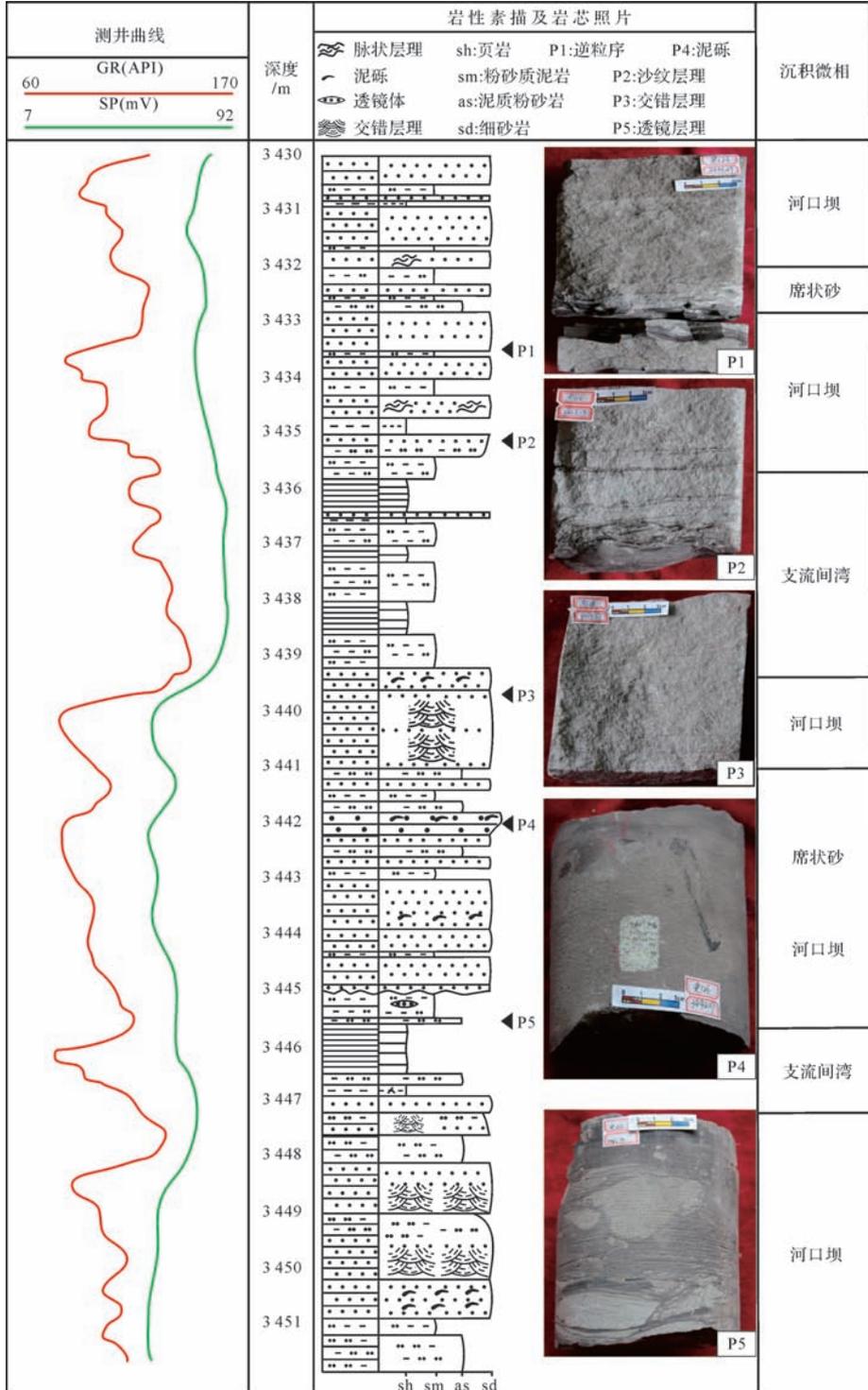


图4 S126井沙中亚段三角洲前缘沉积序列

Fig.4 Sedimentary successions of delta front deposits in the Es<sub>3</sub><sup>m</sup>, Well S126

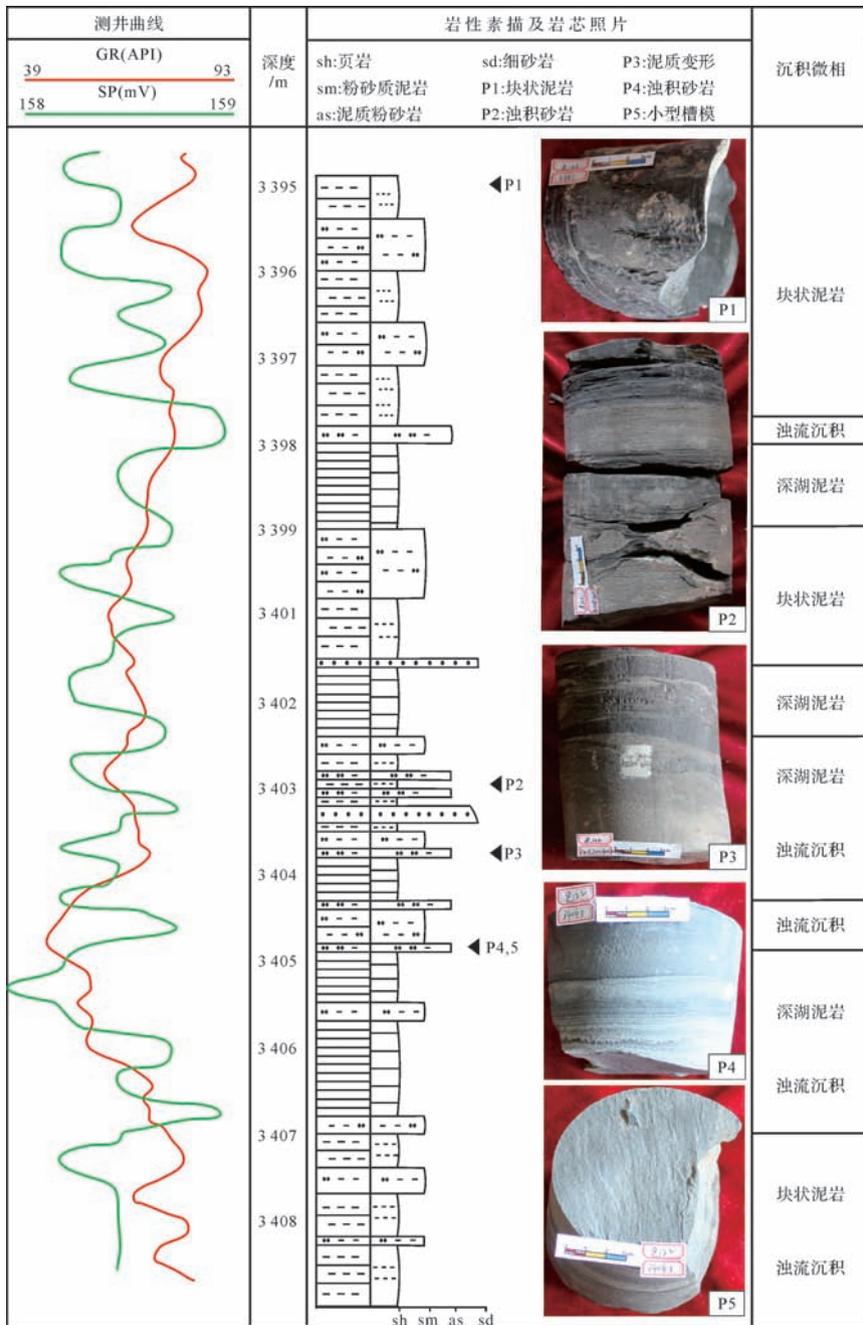


图5 S122井沙三中亚段浊积岩沉积序列

Fig.5 Sedimentary successions of turbidites in the  $E_3^m$ , Well S122

体的堆积主要发生于坡折带之下。这与坡折带之下的水深较大、可容纳空间较大以及充足的物源供给有关。在坡折带之下,不仅地层厚度最大,而且三角洲前缘砂体最为发育,砂体层数多,单层厚度和累积厚度均较大,例如,图6所示N48井,地层厚度和砂岩厚度明显大于相邻的W231井和N117井。

三角洲前缘沉积微相主要以水下分流河道、河口坝为主,在测井曲线上,水下分流河道常表现为齿化

的钟形,河口坝多表现为漏斗形,如N117井;至三角洲前缘末端,砂层厚度变薄,测井曲线常表现为指状、尖峰状,席状砂、浊积岩等薄层砂体较发育,如N117井(图6)。

#### 4 相带分布与盆地充填演化

依据30口井的岩芯观察、钻井资料统计,在小层划分与对比基础上,以单井沉积相分析、沉积相对比

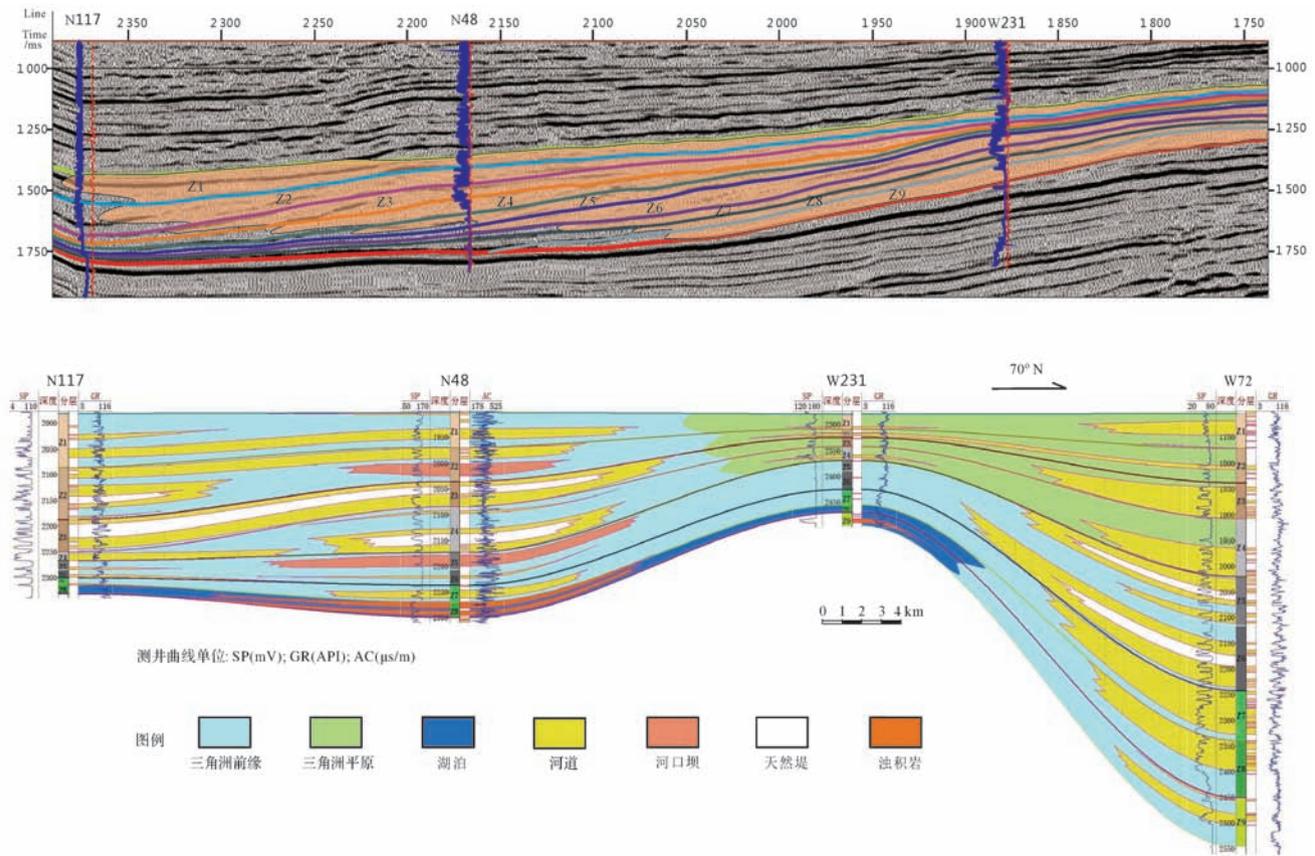


图6 东营凹陷沙三中亚段进积三角洲沉积剖面图

Fig.6 Prograded delta profile of  $Es_3^m$  oil member in the Dongying sag

剖面分析、砂岩厚度分布及砂地比平面图等基础图件的编制为基础,结合地震反射特征、物源方向等,绘制了研究区各小层的沉积相平面分布图(图7)。研究发现,研究区沉积相带分布主要受两大物源体系控制,三角洲平原主要沿东部近物源方向呈带状或扇形展布;三角洲前缘呈朵状、鸟足状向西推进;半深湖—深湖主要沿东营凹陷西部分布。

自Z9期次至Z1期次,东南部的东营三角洲呈近东西向展布;东北部的永安三角洲沿西南方向不断向前推进;至Z6期次,两个三角洲的侧缘交汇作用增强;至Z4期次,两个三角洲侧缘全面交汇;Z3期次之后,三角洲快速向西部湖泊推进,尤其是东营三角洲的进积作用显著增强。三角洲前缘在牛庄洼陷发生交汇,三角洲朵体不断向西推进,湖盆范围也不断向西萎缩;交汇区大部分被三角洲前缘朵体占据,三角洲平原相带随之向西迁移(图7)。自Z9期次至Z1期次,均有浊积岩沉积,主要分布于三角洲前缘朵体的前方;其中,Z4、Z2期次浊积岩最为发育,可能与三角洲的快速进积作用有关。

## 5 沉积模式

研究区古近系沙三中亚段物源供给区主要为东南部鲁西隆起(包括潍北凸起)、以及东北部青坨子凸起。受系列北东向正断层及东营凹陷中央断裂带的控制,古地貌表现为东南高、东北高、中西部低洼的整体特点。沉积相带分布上,靠近潍北凸起、青坨子凸起的构造—古地貌较高部位至盆地缓坡带,主要发育三角洲平原亚相;沿物源方向往凹陷中心,分别以滨浅湖、三角洲前缘、浊积扇和深湖沉积为主。受盆地构造活动间歇、湿润古气候及充足的物源供给控制,湖平面在沙三中亚段沉积时整体处于高位期;由于三角洲前缘浅水地区可容纳空间较小,三角洲前缘向前快速推进。

在进积方向上,受同沉积断层的控制,三角洲前缘常出现构造坡折带,坡折带之下沉积物坡度较大,松散、快速的沉积物堆积在斜坡地带存在失稳滑塌的趋势。受断裂活动、地震和火山的触发,较深水区的三角洲前缘斜坡带松散沉积物易于产生滑动、滑塌、



图 7 东营凹陷沙三中亚段 Z9-Z1 期次沉积相图

Fig.7 Sedimentary facies maps from Z9 to Z1 stages of  $Es_3^m$  in the Dongying sag

变形,进而产生碎屑流、浊流等重力流沉积<sup>[18]</sup>。重力流在盆地坡度变缓的坡脚或凹陷中心地带流速减缓,

碎屑流快速堆积;与湖盆水体的混合、稀释作用使得浊流在更大范围内弥散,最终逐渐自悬浮状态发生沉

积,常形成深湖背景下的浊积席状砂。

而在三角洲侧缘,随着沉积物的不断堆积,湖水深度变浅,岩性组合常从深湖泥岩、粉砂质泥岩,向泥质粉砂岩与泥岩的互层过渡,沉积微相由深湖向滨浅湖湖湾、前三角洲或分流间湾转变;随着三角洲朵叶体的侧向堆积和迁移,水体逐渐变浅,水动力条件增强,依次出现席状砂、河口坝和水下分流河道砂体。受不同的三角洲推进速度与朵叶体迁移的影响,不同期次的三角洲前缘分布范围不同,造成三角洲前缘砂体的交互、叠置。因此,在进积型三角洲的交汇区,可以形成储集砂体的堆叠,成为有利的油气勘探目标区(图8)。

## 6 讨论

### 6.1 三角洲交汇区分布范围与影响因素

三角洲前缘水下交汇区的分布范围受构造、盆地地形、水深、物源供给以及三角洲朵叶体的迁移等多重因素影响。构造相对稳定期,盆地基底缓慢沉降,盆地构造与沉积格局一般不会有大的改变,因而有利于三角洲前缘的交汇。河口水道的扩张或萎缩、决口、岸线的堆积或侵蚀等机制是一个对沉积物和水流供应复杂变量的综合反应<sup>[19]</sup>,三角洲长期的进积作用速率表明沉积物供给的增加<sup>[20]</sup>。盆地沉积底形主要受构造活动和沉积充填两方面因素控制;凹陷中部地势低洼,来自不同物源的水系向此汇聚;沉积物可容空间大;因而有利于三角洲前缘发生交汇。水深相对较浅的背景,有利于三角洲前缘快速向前推进,前缘朵叶体易于发生交汇。碎屑物源的供应充足,三角洲前缘进积作用增强,相邻或相对方向上的三角洲前缘更易于发生交汇。此外,三角洲前缘水下交汇还受三角洲朵叶体迁移的影响,若两个来自不同方向的三角洲朵叶体向同一个区域汇聚,有利于三角洲前缘交汇。

沙河街组三段沉积期,随着来自不同物源方向的东营三角洲与永安三角洲进积作用的不断增强,在滨浅湖、前三角洲区域,粉砂质泥岩、泥质粉砂岩和泥岩等细粒沉积首先发生交汇。在构造和湖平面相对稳定的情况下,水体逐渐变浅,三角洲前缘逐渐逼近,水下分流河道、远砂坝砂体前端接触。随着三角洲前缘的进积与交汇,水体不断变浅,可容空间减小。不同期次、不同物源方向的三角洲前缘水流也可能相互影响。汇入盆地的水流减缓,会改变流向,进而改变湖盆水体的流向。

通过物源分析与沉积相分析,发现东营三角洲的沉积范围主要在凹陷的东南、南部,构造单元上主要分布于牛庄洼陷,其主体位于中央断裂带以南,并未达到前人认为的更大范围。东营三角洲的展布方向受来自东北部永安三角洲的影响。因此,三角洲的展布方向出了受构造、地形、物源方向、水深等因素控制之外,来自不同方向的汇入水流的流向会影响湖盆内的水流方向,进而影响三角洲前缘朵叶体的展布方向。

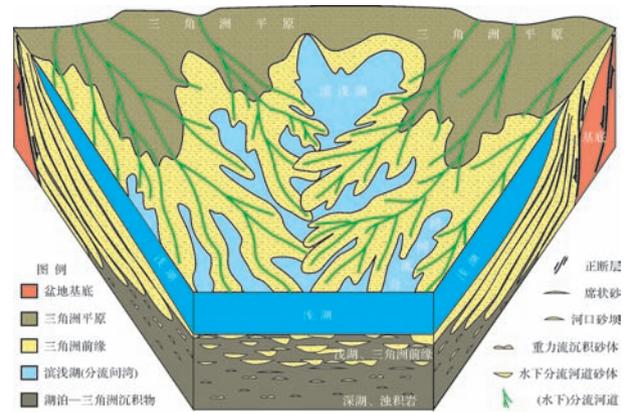


图8 进积型浅水三角洲交汇区沉积模式图

Fig.8 Sedimentary model for confluence area of prograded shallow-water deltas

### 6.2 交汇区储集砂体发育特征

由于水流速度降低,三角洲前缘交汇区发生沉积物的卸载,形成砂质沉积物的大面积分布。当两个来自不同方向的水流相遇之后,一方面,流速会降低;另一方面,两股水流汇合后可改变流向继续向盆地较深水区域流动,可形成新的水下分流河道沉积。其分布范围可依据古流向和砂岩分布规模预测。

因此,三角洲水下交汇区可以形成砂质沉积物的分布,其沉积特征与三角洲前缘一致。其沉积微相可以从前三角洲泥、席状砂、远砂坝向水下分流河道及水下天然堤的组合演变,特征沉积物粒度自下而上逐渐变粗。由于交汇区沉积受两个不同物源方向的三角洲共同作用,在碎屑物质组份上具有混源的特点;而且在三角洲交汇区,由于不同期次、来自不同三角洲的水系大小、朵叶体进积方向的不同,朵叶体及砂体的分布范围、规模会产生较大差异,来自不同方向的砂体可以发生交互沉积,在空间上产生交切、叠置。由于沉积作用发生频繁变化,砂体常具层数多、厚度小、分布广的特点。但叠置砂体的厚度可以较大,可以形成较有利的油气储层发育区。砂体常与下伏的

分流间湾、湖湾泥页岩等烃源岩直接接触,形成理想的生储组合,因而具有重要的油气勘探价值。

## 7 结论

东营凹陷古近系沙河街组三段中亚段主要发育湖泊、三角洲沉积,随着进积作用的不断增强,三角洲前缘、三角洲平原不断向湖盆方向推进;储集砂体主要形成于三角洲前缘水下分流河道,河口坝微相次之,浊积岩在深湖区分布,浊积砂岩单层厚度较小;研究区西部发育以深灰色泥岩或粉砂质泥岩为主的半深湖—深湖相沉积。

东营凹陷沙三中亚段三角洲沉积的物源主要来自东南部的潍北凸起方向、东北部的青坨子凸起方向,分别形成研究区东南部的东营三角洲以及东北部的永安三角洲。研究表明,前人界定的东营三角洲的分布范围可能被夸大,永安三角洲的沉积规模存在被低估的可能;三角洲沉积范围的界定将会对储层预测和油气勘探产生重要的影响。

根据三角洲建设作用的阶段性,结合地震剖面资料,可将东营凹陷古近系沙三中亚段划分为9个期次,东营三角洲与永安三角洲在不同期次的分布范围、建设作用强度表现不同。两个三角洲的侧缘自Z6期次交汇作用增强;至Z4期次,侧缘发生全面交汇;Z3至Z1期次,两个三角洲在全面交汇后,向西部的深湖区快速进积,受古地形、水深及碎屑物质供给等因素的影响,东营三角洲的进积作用更加显著。

三角洲水下交汇区是水流汇聚和沉积物卸载的有利场所,其沉积特征与三角洲前缘沉积特征一致,垂向上,自下而上沉积物粒度总体变粗、单层厚度增大,表现为三角洲的进积作用序列;不同期次、来自不同三角洲的水系大小、朵叶体进积方向的不同,砂体可以在空间上产生交切、叠置;砂体常具层数多、厚度小、分布广的特点;三角洲前缘交汇区发育累积厚度较大的叠置砂体,可成为有利的油气储层;砂体常与烃源岩直接接触,形成理想的生储组合,因而具有重要的油气勘探价值。

## 参考文献(References)

- 李丕龙,姜在兴,马在平. 东营凹陷储集体与油气分布[M]. 北京:石油工业出版社,2000:47-80. [Li Peilong, Jiang Zaixing, Ma Zaiping. Reservoir and Distribution of Oil and Gas in Dongying Sag[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2000: 47-80.]
- 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.]
- 范代读,邱桂强,李从先,等. 东营三角洲的古流向研究[J]. 石油学报,2000,21(1):29-33. [Fan Daidu, Qiu Guiqiang, Li Congxian, et al. Paleocurrent properties of Dongying delta in Bohai Bay Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2000, 21(1): 29-33.]
- 邱桂强,王居峰,张昕,等. 东营三角洲沙河街组三段中亚段地层格架初步研究及油气勘探意义[J]. 沉积学报,2001,19(4):569-574. [Qiu Guiqiang, Wang Jufeng, Zhang Xin, et al. Preliminary study on stratigraphic architecture of Middle-Shasan Dongying delta and its significance to hydrocarbon exploration[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(4): 569-574.]
- 邱桂强,王居峰,李从先. 东营凹陷沙三中东营三角洲地层格架与油气勘探[J]. 同济大学学报,2001,29(10):1195-1199. [Qiu Guiqiang, Wang Jufeng, Li Congxian. Preliminary study on stratigraphy architecture of Middle-Shasan Dongying delta and its significance to hydrocarbon exploration[J]. Journal of Tongji University, 2001, 29(10): 1195-1199.]
- 王居峰,贾光华,刘军镠,等. 史南地区沙三段浊积砂体成因模式探讨[J]. 油气地质与采收率,2003,10(4):8-10. [Wang Jufeng, Jia Guanghua, Liu Jun'e, et al. Discussion on the genetic model for turbidites of Es<sub>3</sub> in Shinan area[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2003, 10(4): 8-10.]
- 林会喜,鄢继华,袁文芳,等. 渤海湾盆地东营凹陷古近系沙河街组三段沉积相类型及平面分布特征[J]. 石油实验地质,2005,27(1):55-61. [Lin Huixi, Yan Jihua, Yuan Wenfang, et al. Sedimentary facies types of the Third Member of the Shahejie Formation in the Paleogene of the Dongying depression, the Bohaiwan Basin and their distribution characters on plane[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2005, 27(1): 55-61.]
- 庄丽. 东营凹陷永安镇三角洲层序地层与沉积体系[J]. 石油实验地质,2006,28(6):544-546. [Zhuang Li. Research on the sequence stratigraphy and depositional system in Yonganzhen delta, Dongying sag[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2006, 28(6): 544-546.]
- 刘军镠,王天正,许淑芳,等. 民丰洼陷沙三中亚段永安镇三角洲沉积特点[J]. 石油大学胜利学院学报,2008,22(2):9-11. [Liu Jun'e, Wang Tianzheng, Xu Shufang, et al. Delta deposition features of Yong'an Zhen in the Middle Es<sub>3</sub> of Palaeogene in Minfeng depression[J]. Journal of Shengli College China University of Petroleum, 2008, 22(2): 9-11.]
- 苏明,刘军镠,贾光华,等. 地震分频解释技术在三角洲体系中的应用——以东营凹陷沙三中亚段东营三角洲为例[J]. 地球物理学进展,2014,29(3):1248-1256. [Su Ming, Liu Jun'e, Jia Guanghua, et al. Application of seismic frequency-division technology in delta system: A case study of the Dongying delta of the middle subsection of the 3rd member of Shahejie Formation in Dongying depression[J]. Progress in Geophysics, 2014, 29(3): 1248-1256.]
- 刘杰,操应长,樊太亮,等. 东营凹陷永安镇三角洲层序地层及其控砂模式[J]. 油气地质与采收率,2013,20(6):23-28,34. [Liu Jie, Cao Yingchang, Fan Tailiang, et al. Sequence stratigraphy and modeling of sandbodies distribution in Yonganzhen delta, Dongying

- depression[J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2013, 20(6): 23-28, 34.]
- 12 刘军铎,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.]
- 13 赵伟,邱隆伟,姜在兴,等. 济阳拗陷民丰洼陷古近系沙河街组三段中亚段沉积相展布与演化[J]. *沉积学报*, 2011, 29(2): 255-267. [Zhao Wei, Qiu Longwei, Jiang Zaixing, et al. Distribution and evolution of sedimentary facies of the middle of the third member of Shahejie Formation, Paleogene System in Minfeng sub-sag, Jiyang depression[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2011, 29(2): 255-267.]
- 14 王居峰. 东营三角洲—浊积扇高频层序叠加样式与岩性圈闭[J]. *沉积学报*, 2005, 23(2): 303-309. [Wang Jufeng. High frequency sequence stacking mode of Dongying delta-turbidite fans and lithological trap[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2005, 23(2): 303-309.]
- 15 方勇,邓宏文,王红亮,等. 东营三角洲高频层序特征与岩性圈闭分布[J]. *中国海上油气(地质)*, 2003, 17(3): 160-163, 180. [Fang Yong, Deng Hongwen, Wang Hongliang, et al. High frequency sequence and lithologic trap distribution in Dongying delta[J]. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 2003, 17(3): 160-163, 180.]
- 16 康波,解习农,杜学斌,等. 基于滨线轨迹的古水深定量计算新方法——以古近系沙三段东营三角洲为例[J]. *沉积学报*, 2012, 30(3):443-450. [Kang Bo, Xie Xinong, Du Xuebin, et al. A new paleobathymetric approach based on shoreline trajectory: An example from Dongying delta in the third member of Paleogene Shahejie Formation[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2012, 30(3): 443-450.]
- 17 陈秀艳,姜在兴,杜伟,等. 东营凹陷沙三段中亚段东营三角洲沉积期次成因及对含油性的影响[J]. *沉积学报*, 2014, 32(2): 344-353. [Chen Xiuyan, Jiang Zaixing, Du Wei, et al. Origin of depositional cycles and their influence on oil-bearing sandstone of Dongying delta in Mid-Es<sub>3</sub>, Dongying depression[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2014, 32(2): 344-353.]
- 18 Yang Renchao, He Zhiliang, Qiu Guiqiang, et al. A Late Triassic gravity flow depositional system in the southern Ordos Basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2014, 41(6): 724-733.
- 19 Zhou Yuanyuan, Huang Heqing, Nanson G C, et al. Progradation of the Yellow (Huanghe) River delta in response to the implementation of a basin-scale water regulation program[J]. *Geomorphology*, 2015, 243: 65-74.
- 20 Gharibreza M, Habibi A, Imamjomeh S R, et al. Coastal processes and sedimentary facies in the Zohreh River Delta (Northern Persian Gulf)[J]. *Catena*, 2014, 122: 150-158.

## Depositional Model of Prograding Delta Confluences: A case from Es<sub>3</sub><sup>m</sup> Members in the Paleogene Dongying Sag

CHEN Jie<sup>1</sup> LIU ChuanHu<sup>1</sup> TAN MingYou<sup>1</sup> WEI HongMei<sup>1</sup>  
LI Yang<sup>2</sup> LIAO Chen<sup>2</sup> YANG RenChao<sup>2</sup>

(1. Institute of Geophysical Research, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Shandong Dongying, 257000, China;

2. College of Earth Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China)

**Abstract:** As one of the most important sedimentary facies for development of clastic rocks, prograding deltas are critical to petroleum exploration. Hence, it has important significances to reservoir prediction to strengthen researches on depositional model of prograding delta confluences area. Confluences of Dongying delta and Yong'an delta took place in the middle depositional stages of the third section in the Paleogene Shahejie Formation (Es<sub>3</sub><sup>m</sup>) in Dongying Lake, Bohai Bay Basin. However, it has not received adequate attentions to issues of confluences patterns, and reservoir prediction about the two delta systems. Based on core observations, loggings and seismic data, this presentation analyzed sedimentary characteristics of confluences deltas of Es<sub>3</sub><sup>m</sup> in Dongying sag, discussed sedimentary stages and confluences process, and constructed a depositional model for prograding confluences deltas, for sake of providing reference for further exploration deployment and geological research. Results show that lake and prograding delta deposits were well developed and reservoir sandbodies were mainly deposited in underwater distributary channels, mouth bar secondary and scattered turbidites in the Es<sub>3</sub><sup>m</sup> in Dongying Sag. It is considered that sedimentary scope of Dongying delta were possibly over estimated and extent of Yong'an Delta were probably underestimated. Depositions of the Es<sub>3</sub><sup>m</sup> in Dongying Sag can be divided into 9 stages and their processes are differentiated to part-confluence and full-confluence stages. Subaqueous deltas confluences are suitable place for water flow convergence and loading of sediments. Superimposed sandbodies are favorable reservoirs with crucial significances for petroleum explorations in delta confluences area.

**Key words:** delta confluences area; sedimentary system; depositional model; Paleogene Shahejie Formation; Dongying Sag