

文章编号: 1000-0550 (2005) 02-0303-07

东营三角洲—浊积扇高频层序叠加样式与岩性圈闭

王居峰^{1, 2}

1 (中国地质大学 北京 100083) 2 (胜利油田有限公司地质科学研究院 山东东营 257015)

摘要 东营三角洲砂体及与之伴生的各类浊积扇体是东营凹陷沙河街组三段重要的储油砂体。以高分辨率层序地层学理论为指导,分析基准面旋回变化对三角洲发育演化的控制作用,将三角洲发育过程中的高频层序叠加样式划分为 3 种类型。通过分析短期基准面的升降变化对与三角洲有关的岩性圈闭形成与分布的影响,指出短期基准面上升期形成的坡移浊积扇圈闭厚度大,分布广,储集物性好,是三角洲发育区岩性油藏勘探的主要目标。该类扇体的分布主要受基准面旋回变化、同生断裂及沉积古地貌等因素所控制,垂向上主要位于中期基准面由下降到上升的转换位置,平面上主要分布于同生断层下降盘及其之间的古地貌低洼处。

关键词 三角洲 浊积扇 高频层序 基准面旋回 岩性圈闭 东营凹陷

作者简介 王居峰 男 1968 年出生 工程师 博士研究生 层序地层与油气勘探

中图分类号 P539.2 **文献标识码** A

1 前言

东营凹陷位于渤海湾盆地、济阳拗陷的南部,是一个古新世发育起来的、具有典型“北断南超”特点的箕状凹陷。东营三角洲发育于凹陷东部—中央洼陷带,是沙三段下亚段—沙二段下亚段沉积时期最主要的沉积体系之一,与之有关的砂岩构成了油气赋存的重要场所,已经发现了东辛、牛庄、现河庄、郝家及史南等油田近 10 亿吨的石油地质储量。近年来的油气勘探表明与东营三角洲共生的浊积岩同样蕴藏着丰富的油气资源,尤其是近几年,随着岩性油藏勘探技术的发展和运用,每年新发现的岩性油气藏石油储量都在千万吨以上,已成为东营凹陷增储上产的重要勘探目标。

对东营三角洲的研究开始于 20 世纪 70 年代。90 年代中期以来,东营凹陷层序地层学研究促进了东营三角洲的研究和油气勘探,但三角洲的高分辨率等时格架及高频层序叠加样式研究却很少开展,限制了东营三角洲发育特点和具有重要油气勘探意义的浊积岩分布规律的深入认识。此前,笔者对东营三角洲的层序地层格架、三角洲发育规律等已做过初步分析^[1, 2],本次在三角洲高分辨率地层格架研究的基础上,探讨了三角洲高频层序的叠加样式及其与各类浊积扇(岩)的对应关系,以期通过层序地层学方法的

应用提高岩性油藏的地质预测精度,为古代湖泊三角洲的研究和油气勘探提供一种新的思路。

2 东营三角洲发育特点

以早第三纪各裂陷期末形成的不整合面为界,东营凹陷下第三系可分为三个二级构造层序,即孔店组、沙四段至沙二下亚段、沙二上亚段至东营组,对应于三个亚裂谷旋回^[3]。裂陷中期的沙三段和沙二段沉积时期东营凹陷东部和南部发育了多个三角洲,其中东部的东营三角洲规模最大,发育历史最长,对当时沉积面貌影响也最深。东营三角洲形成于沙三段早期的湖盆东端,结束于沙二末期的构造反转。沙三中期,东营三角洲的水系范围自东向西不断扩大,三角洲的发育达到鼎盛期,并推进到了凹陷的深洼区;至沙三晚期,河流—三角洲体系已经覆盖了凹陷的大部分面积。从构造位置上看,东营三角洲自东向西基本上顺延凹陷长轴推进,属于典型的轴向型河控三角洲。

东营三角洲在钻井、测井资料和地震反射特征上有清晰的三层结构,成为研究地层关系的基础。分析牛庄油田的三角洲前缘亚相发现,单井一般可钻遇 1~3 个反韵律组合,其间以厚度较大(一般大于 10 m)的湖相泥岩、砂质泥岩分隔,反映了与三角洲进积朵状体废弃后沉积的薄层泥质岩不同的特点,意味着

三角洲在较长时间段内的推进速率可能降低或停滞。这种较稳定分布的厚层泥质岩在三角洲前缘部分具有较大的稳定分布范围,向下具有沉积环境上的重要变化,即转变为代表着水深突然变浅的前缘河口坝组合或三角洲平原河流沉积;这些泥质岩与下部砂岩的声波速度差值一般可达 200 m/s,在三维地震上表现为一到两个连续性较好的强反射,横向上可以较好地标定和追踪。很明显,这种强反射具有划分三角洲等时地层单元的重要意义,可以作为三角洲高频地层单元的界面。

三角洲的保存形态与短期基准面旋回的变化密切相关,基准面下降期的地层在地震剖面上通常显示明显的楔状体几何形态,内部连续、低角度的前积反射发育,沉积相由薄层加积的三角洲平原相、前积的厚层前缘相和薄层前三角洲相组成,三角洲前缘砂岩发育;基准面上升期的地层主要由湖泛期的较深水湖相泥岩组成,在地震剖面上湖泛泥岩的地震反射为近水平的弱反射、连续性较差,通常向进积的三角洲前积楔状体超覆,二者形成一定角度,因而可以较容易地将其与进积的三角洲相分开。根据上述特征,以顶超现象或无沉积作用面及相关整合面为界,可以将沙三段三角洲划分为 11 个中期基准面旋回(发育期次),其中沙三下 2 个,沙三中 6 个,沙三上 3 个,自下而上称之为沙三下 2—下 1、沙三中 6—中 1 和沙三上 3—上 1。

3 三角洲高频层序叠加样式与岩性圈闭

根据钻井、测井、地震资料综合对比分析发现,东营三角洲的发育与经典层序地层学高位体系域中

“向上变浅”的准层序概念不同,作为三角洲高分辨率层序的基本构成单元—短期基准面旋回,多由基准面下降期的进积三角洲和基准面上升期的湖泛泥岩两部分组成^[4, 5, 6]。短期基准面旋回的叠加样式可以划分为 3 种类型。

3.1 上升不对称型三角洲—浊积扇高频层序叠加样式

上升不对称型叠加样式主要发育于长期基准面上升半旋回,由于向陆方向可容纳空间增大,构成三角洲高频层序的短期基准面旋回以基准面上升半旋回为主,三角洲平原亚相保存较好。短期基准面下降期的三角洲前缘呈微弱进积—退积样式,多个三角洲前缘垂向上呈退积叠加样式,多个短期基准面旋回的叠加形成了以基准面上升半旋回为主的中期基准面非对称旋回。该类型叠加样式主要发育于沙三下亚段(图 1)。

沙三下沉积时期,在每个短期旋回内,继短暂的基准面下降期的进积作用之后,发育了规模较大的基准面上升的湖泛期沉积。该时期,由于向盆地边缘方向可容纳空间增大,三角洲进积时期发生加积或过路沉积的位置被退积的三角洲前缘或三角洲平原分支河道所代替。向湖盆方向,湖水动力及洪水作用等可对基准面下降期的三角洲前缘及三角洲平原沉积物进行侵蚀冲刷,致使部分沉积物沿湖盆边缘斜坡发生坡移,当与地形坡折背景相配置时,可以在较深水湖区发生再沉积作用形成坡移浊积扇^[7]。垂向上,坡移浊积扇位于短期基准面下降到上升的转换面之上,在成因上类似三级层序低位体系域的“低位扇”^[8, 9]。在平面上,这种成因的浊积扇分布比较集中,但分布范围局限,主要发育于牛庄洼陷的东北部。

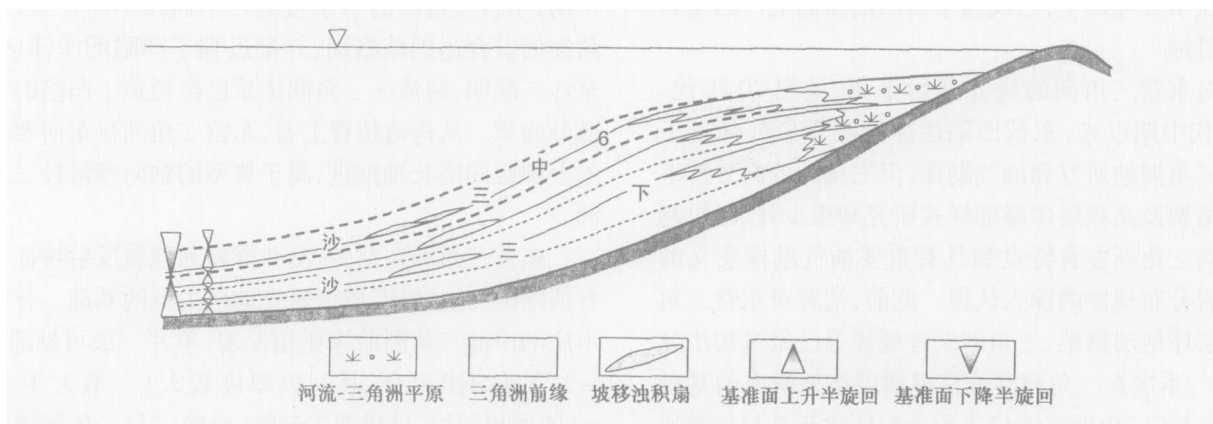


图 1 东营凹陷沙三下亚段上升不对称型三角洲高频层序叠加样式

Fig 1 High frequency stacking mode of rising asymmertric delta-turbidite fans in the lower part of Shahejie 3 Formation of Dongying Sag

从高分辨率层序地层学的浊积扇体成因机制来讲, 坡移浊积扇与经典层序地层学高水位体系域滑塌浊积扇和低水位体系域湖底扇的概念存在较大的差异: 滑塌浊积扇是以短期基准面下降期三角洲前缘的重力滑脱机制为主, 其沉积物与三角洲前缘沉积物具有较好的对应关系, 只是由于泥质的混入, 储层物性明显差于三角洲前缘砂体; 湖底扇是由长期基准面上升早期河流所携带的沉积物卸载而成, 沉积物粒度一般较粗, 鲍玛序列清楚, 储集物性较好; 而坡移浊积扇则是在湖平面扩张的整体背景下, 早期沉积的三角洲前缘及三角洲平原的部分沉积物在湖水动力及洪水作用下沿三角洲前缘沉积斜坡脚部—湖区的重新分配, 岩石颜色上具有陆相与湖相共存的特征, 岩性组合表现为浅湖—半深湖泥岩夹砂岩, 其中的砂岩多具正粒序特征, 由于湖浪或洪水的冲刷改造, 砂岩储集物性一般较好。

3.2 交替型三角洲—浊积扇高频层序叠加样式

交替型三角洲高频层序叠加样式发育于长期基准面下降半旋回的早—中期, 短期基准面呈震荡式变化, 基准面下降期的进积型三角洲形成之后, 发生规模不等的湖泛作用, 使得三角洲平原亚相得以不同程度的保存, 三角洲前缘亚相之间由厚度不等的泥岩分

割, 多个短期旋回叠加形成靠近物源方向以基准面下降半旋回为主、前三角洲—湖区以基准面上升半旋回为主的中期基准面旋回样式 (图 2)。该类型叠加样式主要发育于沙三中亚段, 发育有滑塌浊积扇和坡移浊积扇两种岩性圈闭 (图 3)。

(1) 滑塌浊积扇圈闭

短期基准面下降期, 在三角洲进积过程中, 前缘沉积物发生滑塌, 经常在三角洲进积体的坡角处或更远的深水湖区形成滑塌浊积扇沉积。其特点是几何形态上呈小型透镜体状, 分布面积有限, 厚度也较薄, 一般数米厚。岩性细, 以粉砂—细砂岩为主, 发育段呈砂泥岩薄互层, 粒度概率曲线多呈平缓的弧形。砂岩中见有大量的准同生变形构造, 并有递变层理、冲刷面、液化构造等, 多含暗色泥砾和泥岩撕裂屑, 反映了沉积物滑动再沉积的特点。

滑塌浊积扇的成因主要与三角洲的主推进方向及前缘斜坡的地形特征有关, 往往位于三角洲前缘的主推进方向前方的古地形低洼处。其总的特点是分布面积小、泥质夹层多、无补给水道, 储集物性一般较差。由于滑塌浊积岩的规模较小, 一般小于 1 km², 且常与湖泛期的泥岩相伴生, 灰质含量一般较高, 在地震剖面上往往难以识别。

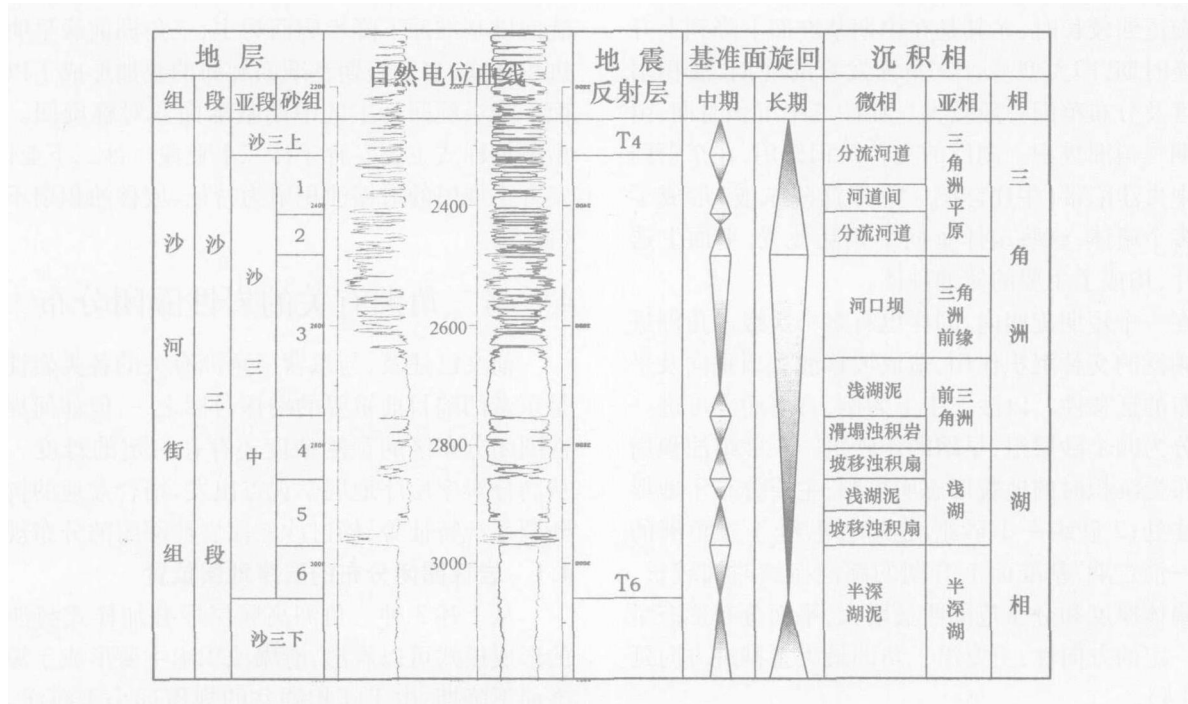


图 2 东营凹陷王 70 井沙三中亚段三角洲—浊积扇层序地层综合柱状图

Fig 2 Sequence stratigraphic composite columnar section of delta-turbidite fans in the middle part of Shahejie 3 Formation of Well Wang 70 in Dongying Sag

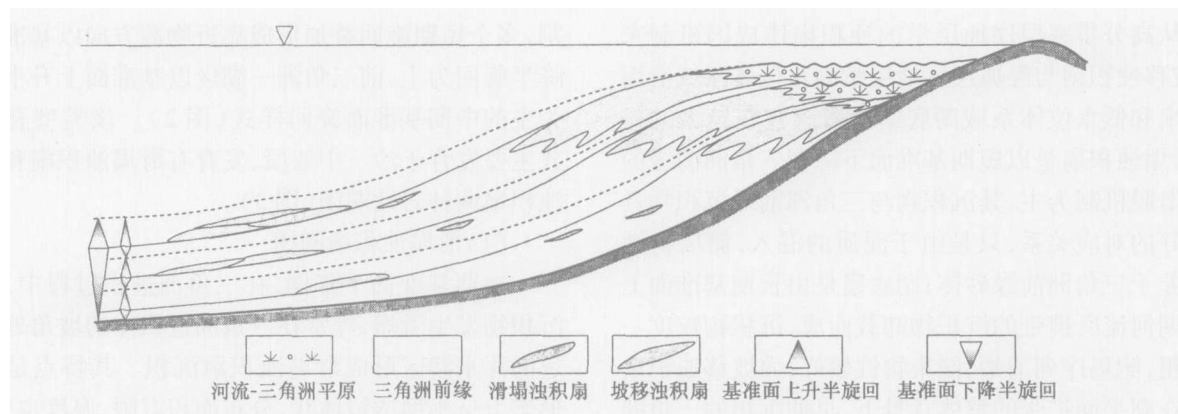


图 3 东营凹陷沙三中亚段交替型三角洲-浊积扇高频层序叠加样式

Fig 3 High frequency stacking mode of cycling delta-turbidite fans in the middle part of Shahejie 3 Formation of Dongying Sag

(2) 坡移浊积扇圈闭

沙三中亚段坡移浊积扇的形成模式与沙三下亚段相似。由于沙三中沉积时期东营三角洲的发育达到鼎盛期,短期基准面的频繁变化造成坡移浊积扇分布范围广、叠加厚度大等特点,单个扇体的规模与基准面旋回的持续时间密切相关。

当三角洲进积作用较强,短期基准面上升的湖泛期较短时,即可容纳空间较低、 P/A (进积与加积比值)较大时,坡移浊积扇的规模较小。而在基准面上升的湖泛期较长时,尤其是在中期基准面下降到上升的转换时期,即大型复合三角洲发育的晚期,浊积扇的厚度及分布范围一般较大。在沙三中沉积时期,由于多期三角洲进积-湖泛的交替沉积作用,在东营凹陷的中央洼陷带(牛庄洼陷-利津洼陷东坡)形成了多期多个扇体,这些扇体垂向上相互叠置,平面上迭合连片,构成了主要的储油砂体。

在一个短期旋回内,同样也有多个次级三角洲进积-湖泛的交替沉积作用,造成坡移浊积扇垂向及平面分布的迁移性。以沙三中 1 为例,自下而上可进一步划分为四个砂层组,早期的 4 砂组-3 砂组浊积扇的分布受沉积时的地貌形态所控制,主要分布于地形的低洼处;2 砂组-1 砂组沉积时期,处于三角洲的萎缩-消亡期,基准面上升期的湖泛持续时间较长,浊积扇体厚度和分布范围明显增大,平面分布形态呈现出一定的方向性,主要沿三角洲最大主推进方向延伸(图 4)。

坡移浊积扇的特点是厚度较大,一般为 10~40 m,粒度较粗,以含砾砂岩为主,常含有由三角洲平原区携带而来的红色泥砾。单个扇体的分布面积差别

较大,一般为 1~3 km²,有的可以达到 5 km²以上。在地震剖面上常呈中~中强振幅的透镜状,比较容易识别和描述。

3.3 下降不对称型三角洲-浊积扇高频层序叠加样式

下降不对称型叠加样式主要发育于长期基准面下降半旋回的晚期,由于向陆方向可容纳空间的持续缩小,湖盆逐渐萎缩,河流-三角洲平原亚相下切作用明显,向湖盆方向三角洲进积作用强。短期基准面旋回以基准面下降半旋回为主,三角洲前缘呈明显的进积样式,多个短期基准面旋回的叠加形成了以基准面下降半旋回为主的中期基准面非对称旋回。该类型叠加样式主要发育于沙三上亚段-沙二下亚段,以发育小规模滑塌浊积扇为特征,坡移浊积扇不发育(图 5)。

4 与三角洲有关的岩性圈闭分布

前文已述及,与东营三角洲有关的各类岩性圈闭是东营凹陷目前重要的勘探目标之一,但如何提高岩性圈闭分布区的预测精度还存在一定的难度。本文从高分辨率层序地层学观点出发,结合盆地的构造及断裂系统特征等,探讨沙三段岩性圈闭的分布规律。

4.1 岩性圈闭分布的层序地层位置

从上述 3 种三角洲高频层序叠加样式与浊积扇的形成模式可以看出,滑塌浊积扇主要形成于短期基准面下降期,由于陆相湖盆的规模远小于海洋,所形成的滑塌浊积扇厚度和分布面积都较小,物性一般较差,难以形成较好的储集圈闭。

上升不对称型和交替型三角洲高频层序中发育

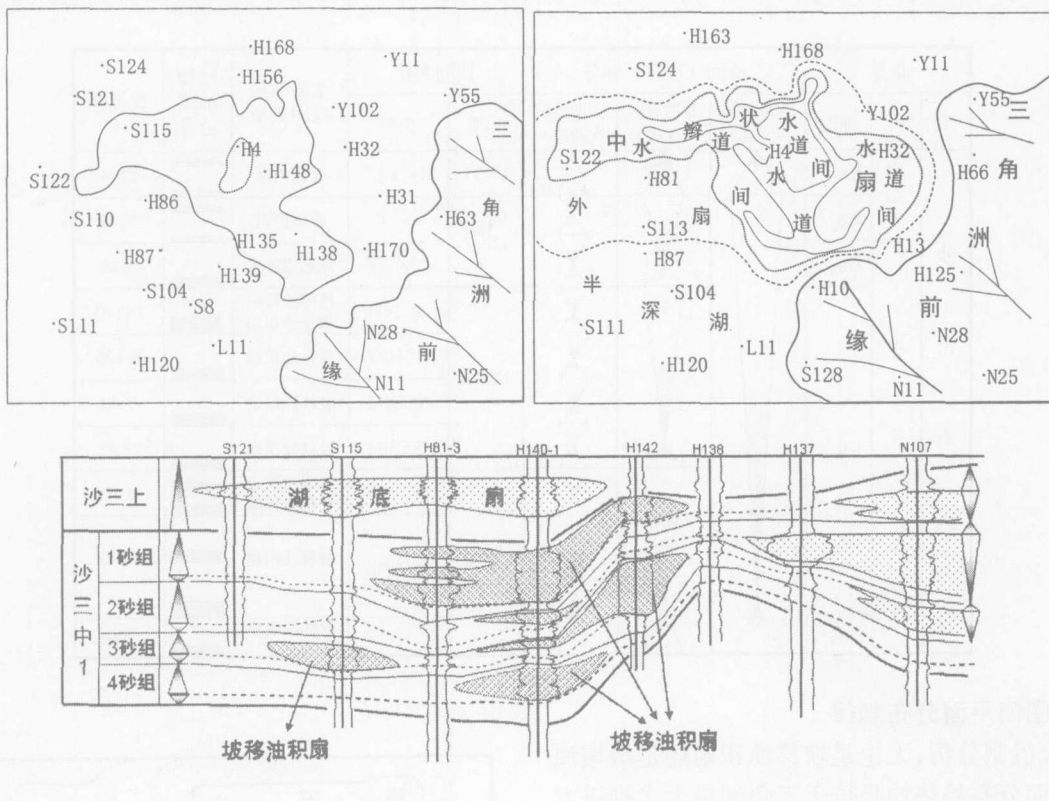


图 4 东营凹陷中央洼陷带沙三中 1 坡移浊积扇平面及剖面图

Fig 4 Distribution of slope-moving turbidite fans in the middle part of Shahejie 3 Formation in the central part of Dongying Sag

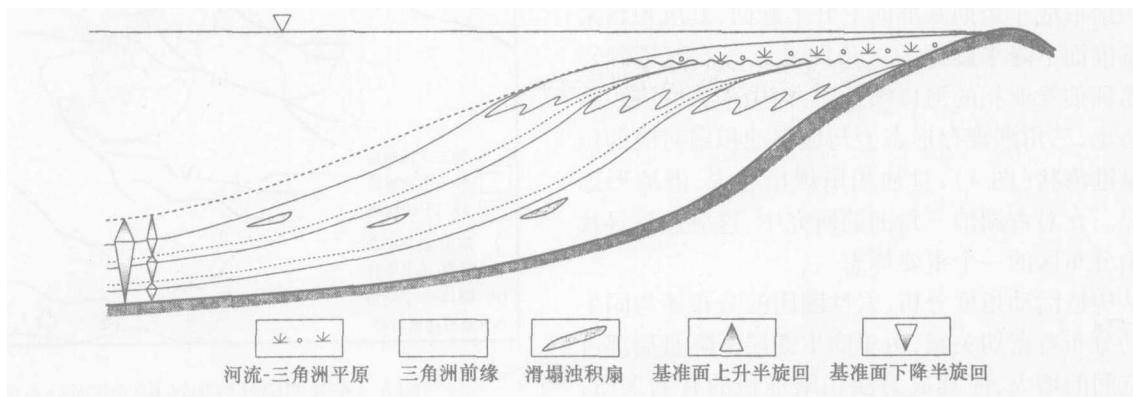


图 5 东营凹陷沙三上亚段下降不对称型三角洲 - 浊积扇高频层序叠加样式

Fig 5 High frequency stacking mode of falling asymmetric delta-turbidite fans in the upper part of Shahejie 3 Formation of Dongying Sag

的坡移浊积扇, 由于是受波浪、洪水等侵蚀冲刷形成的, 砂岩物性较好, 厚度和分布面积也较大, 是洼陷区岩性油藏勘探的主要对象。东营凹陷的勘探实践也已经表明, 这类浊积扇体主要形成于基准面上升期,

尤其是沙三中 6 - 沙三中 1 中基准面下降到上升的转换位置扇体最为发育, 这些扇体与湖泛期生油泥岩相伴生, 同时又处于东营凹陷高压封存箱内, 具有良好的聚油条件 (表 1)。

表 1 东营凹陷沙三段岩性圈闭类型及其层序地层位置简表

Table 1 Lithological traps and its sequence stratigraphic location in Shahejie 3 Formation of Dongying Sag

地层			旋回(层序)划分			旋回名称		主要储层成因类型	已知油藏位置	代表井
组	段	亚段	构造旋回(二级)	长期旋回(三级)	中期旋回(四级)	长期	中期			
沙河街组	沙二段	Es ₂ ^上	构造旋回(二级)	长期旋回(三级)	中期旋回(四级)	LSC1	沙二上	分流河道	——	营14
		LSC2					沙二下	分流河道	——	营33
						Es ₂ ^下	LSC3	沙三上	湖底扇砂体	——
	Es ₃ ^上	沙三中1				滑塌浊积扇 坡移浊积扇		——	河140	
		沙三中2				坡移浊积扇	——	史128		
		沙三中3				坡移浊积扇	——	牛43		
		沙三中4				坡移浊积扇	——	牛25		
		LSC4				沙三中5	滑塌浊积扇 坡移浊积扇	——	王70	
						沙三中6	坡移浊积扇	——	辛154	
	沙三段	Es ₃ ^中				LSC4	沙三中6	坡移浊积扇	——	辛154
Es ₃ ^下		沙三下	坡移浊积扇	——	王53					

4.2 岩性圈闭平面分布规律

从形成机制分析,无论是坡移浊积扇还是滑塌浊积扇,其平面分布趋势均是位于三角洲最大推进方向的前方古地形低洼处,但与三角洲现存形态的对应关系上存在较大的差异。滑塌浊积扇形成于三角洲进积过程中,与三角洲的现存形态对应关系明显。坡移浊积扇形成于短期基准面上升半旋回,其沉积物来源是基准面下降半旋回的三角洲平原分支河道砂岩-三角洲前缘亚相的河口坝砂岩,而由于这些沉积物被搬运走,三角洲现存形态上与坡移浊积扇对应的位置常呈港湾状(图4),且浊积扇规模越大,港湾形态越明显。在对古湖泊三角洲的研究中,这应该是寻找浊积扇分布区的一个重要标志。

从构造活动角度分析,岩性圈闭的分布还与同生断层的分布有密切关系,由于同生断层下降盘局部可容纳空间的增大,使其成为浊积扇堆积的有利场所,尤其是沙三中时期表现得更为明显。

东营凹陷中央洼陷带沙三中时期的构造活动以大量同生断层的形成为特征,沉积作用主要受北东、北东东和东西向断裂控制,其中控制浊积扇沉积的主要是北东东向断裂。该方向断裂可分为三组,即史南-民丰断裂、梁11-东辛断裂和陈官庄断裂,沿这些断裂的下降盘及之间的沉积古地貌低洼处形成了东部的牛庄、北部的东辛-现河庄和西部的梁家楼-史南等3个主要的浊积扇有利分布区(图6)。

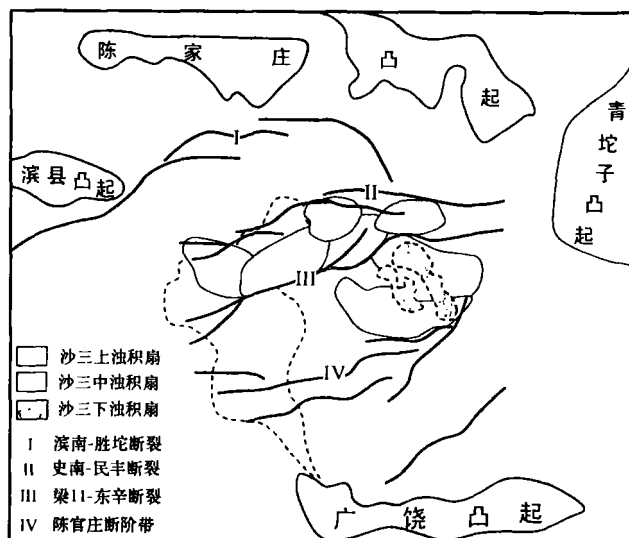


图 6 东营凹陷沙三段浊积扇平面分布图
Fig 6 Distribution of turbidite fans of Shahejie 3 Formation in Dongying Sag

5 结论

(1) 东营三角洲—浊积扇高频层序可识别出上升不对称型、交替型和下降不对称型3种叠加样式,它们贯穿了东营三角洲及与之有关的浊积扇从沙三下-沙二下的整个发育过程。

(2) 与东营三角洲直接相关的岩性圈闭有滑塌

浊积扇和坡移浊积扇两种类型,浊积扇的形成与三角洲高频层序叠加样式密切相关,滑塌浊积扇主要形成于下降不对称型和交替型高频层序叠加样式,而坡移浊积扇主要形成于交替型和上升不对称型叠加样式。

(3) 东营凹陷沙三段岩性圈闭的分布主要受基准面旋回变化、沉积古地貌和同生断层等所控制。垂向上,对岩性油藏勘探最为有利的坡移浊积扇圈闭主要位于短期基准面旋回的上升半旋回,尤其是构成中期基准面旋回由下降到上升转换位置的短期基准面旋回扇体最发育;平面上,坡移浊积扇圈闭沿凹陷中央洼陷带的北东东向同生断裂下降盘及之间的古地形低洼处形成集中发育区。

参考文献 (References)

- 1 王居峰,张昕,王化爱,等. 东营三角洲发育规律及其岩性油藏勘探技术. 见:胜利油区勘探开发论文集. 北京:地质出版社,2001. 39~46 [Wang Jufeng, Zhang Xin, Wang Hua'ai, *et al* Development rule of Dongying Delta and its lithologic deposit explorational technique. In: Exploration and Development Transactions of Shengli Oil Field (3). Beijing: Petroleum Industry Press, 2001. 36~40]
- 2 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. 沉积学报,2002,19(4):569~574 [Qiu Guiqiang, Wang Jufeng, Zhang Xin, *et al* Preliminary study on stratigraphic framework of Middle-Shaan Dongying Delta and its significance to hydrocarbon exploration. Acta sedimentologica Sinica, 2002, 19(4):569~574]
- 3 王宁,郑和荣. 东营凹陷岩性油气藏勘探中的层序地层学研究应用. 见:复杂油气藏勘探技术国际学术研讨会论文集,1998. 99~102 [Wang Ning, Zheng Herong. Application of sequence stratigraphy in the exploration of lithological traps of Dongying Sag. In: International science workshop transactions of complex hydrocarbon reservoir exploration technique, 1998. 99~102]
- 4 邓宏文. 美国层序地层研究中的新学派——高分辨率层序地层学. 石油与天然气地质,1995,16(2):89~97 [Deng Hongwen. A new school of thought in sequence stratigraphic studies in U. S.: High resolution sequence stratigraphy. Oil and Gas Geology, 1995, 16(2):89~97]
- 5 邓宏文,王洪亮. 层序地层地层基准面的识别、对比技术及应用. 石油与天然气地质,1996,17(3):177~184 [Deng Hongwen, Wang Hongliang. Recognition and contrast technique of sequence stratigraphical base level and its application. Oil and Gas Geology, 1996, 17(3):177~184]
- 6 李阳,蔡进功,刘建民. 东营凹陷下第三系高分辨率层序地层研究. 沉积学报,2002,19(2):210~216 [Li Yang, Cai Jingong, Liu Jianming. High-resolution sequence stratigraphy of Paleogene in Dongying depression. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 19(4):569~574]
- 7 王居峰,贾光华,刘军钊,等. 史南地区沙三段浊积砂体成因模式探讨. 油气地质与采收率,2003,10(4):8~10 [Wang Jufeng, Jia Guanghua, Liu Jun'ao, *et al* Discussion on the genesis mode for turbidites of Es₃ in Shinan area. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2003, 10(4):8~10]
- 8 邓宏文,王洪亮,祝永军,等. 高分辨率层序地层学原理及应用. 北京:地质出版社,2002 [Deng Hongwen, Wang Hongliang, Zhu Yongjun, Timothy A Cross. Principle and Application of High-resolution Sequence Stratigraphy. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002.]
- 9 任建业,张青林,陆永潮. 东营凹陷弧形断裂坡折带系统及其对低位域砂体的控制. 沉积学报,2004,22(4):628~635 [Ren Jianye, Zhang Qinglin, Lu Yongchao. Arc-shaped fault break slope system and its control on low stand systems sandbodies in Dongying Depression. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(4):628~635]

High Frequency Sequence Stacking Mode of Dongying Delta-turbidite Fans and Lithological Trap

WANG Ju-feng^{1,2}

1 (Geological University of China Beijing 100083)

2 (Geological Science Research Institute of Shengli oilfield Company Ltd Dongying Shandong 257015)

Abstract Dongying delta's sand body and its associated turbidite fans are the main reservoirs of Shahejie Three Formation in Dongying Sag. Based on the high resolution sequence stratigraphical theory, this paper analyzed the variety of base level cycles and its control on the development and evolution of Dongying delta. Its high frequency sequence stacking mode is divided into three types. This paper also studied the variety of short term base level cycles and its effect on the form and distribution of turbidite fans which are related to Dongying delta, and indicate that the slope-moving turbidity fan which consisted of the main reservoirs were formed during rising stage of the base level. The distribution of slope-moving turbidity fan is mainly controlled by the variety of base level cycles as well depositional faults and depositional palaeogeomorphology. Vertically, slope-moving turbidity fans are located on the location where the middle term base levels transformed from rising stage to falling stage. On the plane, the slope-moving fans are distributed in the downthrow of depositional faults and the palaeogeomorphological lowlands between these faults.

Key words delta, turbidite fan, high resolution sequence, base level cycle, lithological trap, Dongying Sag