

文章编号: 1000-0550(2014)02-0344-10

东营凹陷沙三中亚段东营三角洲沉积期次成因 及对含油性的影响^①

陈秀艳¹ 姜在兴² 杜伟² 王剑³ 张月巧¹

(1. 中国石油勘探开发研究院 北京 100083; 2. 中国地质大学(北京)能源学院 北京 100083; 3. 中海油研究总院 北京 100027)

摘要 根据岩性组合变化、测井曲线叠加样式及地震反射特征,将东营三角洲沙三中亚段划分为八个期次,准层序组 PS8~PS1,各期次间沉积小型湖泛泥岩楔。结合岩心及测录井沉积相分析,认为研究区发育三角洲—重力流—湖泊沉积体系。东南部主要发育三角洲分流河道、河口坝、席状砂,西北部发育与三角洲前缘滑塌相伴生的坡移堆积体、滑塌浊积岩和远源浊积岩。准层序组 PS8~PS1 活动三角洲经历了由南至北的迁移演化过程。当波浪与河流能量能够抗衡并往复运动时,形成厚度较大的三角洲楔状体叠加区,沉积席状砂和河口坝砂体。受湖平面变化、构造沉降及沉积物供给速率的影响,湖退体系域早期 PS7~PS4 重力流砂体含油丰富,而浅水区准层序组界线附近的席状砂和河口坝由于临近具有侧向封堵及局部盖层作用的泥岩楔及沼泽沉积,其含油性也较好。

关键词 东营三角洲 沉积期次 泥岩楔 准层序组

第一作者简介 陈秀艳 女 1979 年出生 博士 工程师 层序地层学及沉积储层地质学 E-mail: xiuyanchen1004@163.com

中图分类号 P512.2 P618.13 文献标识码 A

20 世纪六七十年代至今,国外三角洲研究蓬勃发展,对世界著名的大型三角洲沉积过程、水动力条件、沉积机理及三角洲类型和控制因素都进行了详细分析^[1-2]。随着石油勘探的实践,人们发现三角洲沉积结构、砂体组合方式均有利于形成良好的生储盖组合及油气聚集成藏,并且世界上许多大油气田的形成都与三角洲沉积有关。研究表明国外大型三角洲多为海相三角洲,而国内大型三角洲主要是湖泊三角洲,其沉积主要受波浪和河流作用,几乎没有潮汐作用。国内著名的含油三角洲有大庆油田的大庆长垣三角洲、胜利油田的东营凹陷古近系东营三角洲及鄂尔多斯盆地延长组三角洲等,大量学者对其沉积成因及砂体分布进行了详细刻画以满足油气勘探的需求^[3-6]。对于这些大型三角洲的油气勘探开发工作已进入后期,残留的易于预测的油气多集中在薄砂层中,规模小但总资源量巨大。为了揭示湖泊中巨厚三角洲的成因,对厚层砂岩沉积区局部含油的砂体进行预测,本文以东营凹陷古近系沙三中亚段东营三角洲为研究目标,首次详细刻画各期三角洲砂体展布规律,深入分析其沉积演化期次、沉积动力条件及对含油性的影响,为进一步油气勘探及成藏理论研究提供依据。

1 区域地质概况

东营凹陷位于济阳拗陷的东南部,北接陈家庄凸起,东接垦东青坨子凸起,南靠鲁西隆起,西临青城凸起和滨县凸起,是一个北断南超的开阔型箕状湖盆。受北部陈南断裂影响,自北向南依次发育北部陡坡带、中央洼陷带、南部斜坡带。其中,中央洼陷带包括利津洼陷、民丰洼陷、牛庄洼陷和博兴洼陷^[7],此外还发育典型的塑性拱张构造—中央隆起带构造(图 1)。古近系东营三角洲沿东营凹陷长轴方向自东向西推进,主要发育在沙三段和沙二段,以沙三中亚段为鼎盛时期,分布在牛庄洼陷、中央隆起带和部分利津洼陷,厚度近千米。该时期陈官庄—王家岗断裂带和中央隆起断裂带活动强烈,落差可达 300 m 以上,造成基底起伏较大,沉积坡角达 5°~19°,因此,东营三角洲发育大量前缘滑塌沉积,构成东营凹陷主要的岩性透镜油气藏,而东部三角洲主体砂岩厚度大,物性好,往往局部含油。

2 东营三角洲沉积期次演化特征

前人对东营三角洲沙三中亚段层序及沉积期次进

^①国家科技重大专项“油气勘探新领域储层地质与油气评价”(编号:2009ZX05009-002)资助
收稿日期:2012-10-29; 收修改稿日期:2013-08-21

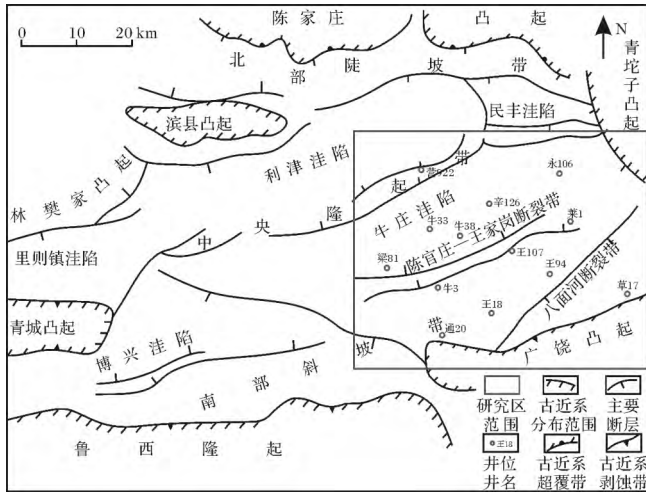


图 1 东营凹陷构造单元分布图

Fig.1 Tectonic unit distribution map of Dongying depression

行了大量研究^[8-10], 划分方案为七个或九个期次。沉积期次的划分要具备实用性, 能够横向追踪对比并将沉积结构更准确的刻画, 从而有利于勘探精细研究。

2.1 沉积期次划分

邱桂强^[8]和方勇^[9]将沙三中亚段划分为七个期次, 中 7 发育在海侵体系域, 沉积厚度薄, 中 6 至中 1 前积层厚度大。其中, 中 4 和中 3 是前积倾角由陡变缓的转折时期, 地震剖面反射结构由具斜交形特点向更具 S 形特点变化。本次研究认为该时期前三三角洲、三角洲前缘及三角洲平原“三层结构”明显, 旋回性易于识别, 可进一步依据钻井和地震资料将中 4 和中 3 细化为三个准层序组。若按照李宇志^[10]的观点划分为九个期次, 第八期次厚度薄, 且大部分为泥质沉

积, 砂体规模极小, 仅在井上标定, 在地震资料上很难识别, 划分误差大且不利于横向对比, 认为将第八、九期次合并更为合理。

综合前人研究方案, 作者充分利用岩性变化、测井曲线叠加样式及地震反射不整一面的特征, 对沙三中亚段准层序组进行划分。划分依据: (1) 单井划分, 准层序组多为向上变粗的岩性组合, 自然电位值向上逐渐减小, 测井曲线的形态为漏斗型或箱型, 越过准层序组界面自然电位值突然增大, 沉积相向上逐渐变浅(图 2A-a, b)。准层序组界面也可以为岩性突变面, 界面之下为灰黑色炭质泥岩, 界面之上变为深灰色砂质泥岩和泥岩(图 2A-b), 或者界面之下为红褐色泥岩, 界面之上突变为深灰色泥岩, 均代表沉积环境发生变化, 水体由浅变深(图 2A-c)。(2) 连井对比, 在三角洲主体厚层砂岩沉积序列中, 突然出现薄层暗色泥岩或页岩, 并且泥岩和页岩厚度向岸方向减薄, 表现为泥岩楔向岸延伸(图 2B), 它代表了两期三角洲沉积之间小规模湖泛作用和物源供给减弱所形成的泥质沉积。(3) 在地震剖面上两期三角洲之间表现为地震反射不整一面, 地震同向轴强振幅较连续, 将各期三角洲的 S 形前积或斜交前积结构间隔分开, 并在每一期前积结构的顶部可见向岸方向的退积弱反射(图 2C)。据此, 本文将沙三中亚段划分为一个 T-R 层序^[11], 即仅发育快速湖侵和湖退两个体系域, 进一步划分为八个准层序组, 对应东营三角洲八个期次。湖侵体系域包括准层序组 PS8, 湖退体系域对应准层序组 PS1~PS7(图 3)。各准层序组沉积特征见表 1。

表 1 东营三角洲沙三中亚段准层序组特征

Table 1 Parasequence set characteristics of Dongying delta in Mid-Es₃

体系域	准层序组	岩性	准层序组特征
湖退体系域 (RST)	PS1	东部主要沉积灰色厚层块状细砂岩、粉砂岩	各准层序组沉积厚度略有减小, 平均厚度为 40~75 m, 局部最大厚度可大于 150 m。各准层序组砂岩累厚平均为 10~25 m, 砂地比平均 15%~40%, 甚至更高。地层出现局部剥蚀, 从下至上, 剥蚀面积逐渐增大, 表明存在局部构造抬升运动。
	PS2	夹灰色泥岩; 西部主要沉积灰色泥岩, 局部	
	PS3	夹灰色细砂岩和粉砂岩。	
	PS4	深灰色泥岩、砂质泥岩、粉砂质泥岩, 局部夹	
	PS5	较厚深灰色或灰色粉砂岩、细砂岩、灰质砂	
	PS6	岩及泥质砂岩。	
	PS7		
湖侵体系域 (TST)	PS8	深灰色、灰色泥岩, 深灰色灰质泥岩及深灰色页岩沉积, 局部夹油页岩薄层。	底界面大部分地区为整合面, 仅在盆地边缘发育小规模不整合, 沉积厚度薄, 一般<150 m, 平均厚度 50~70 m, 分布广泛, 砂质含量少, 砂岩平均累厚 4~6 m。

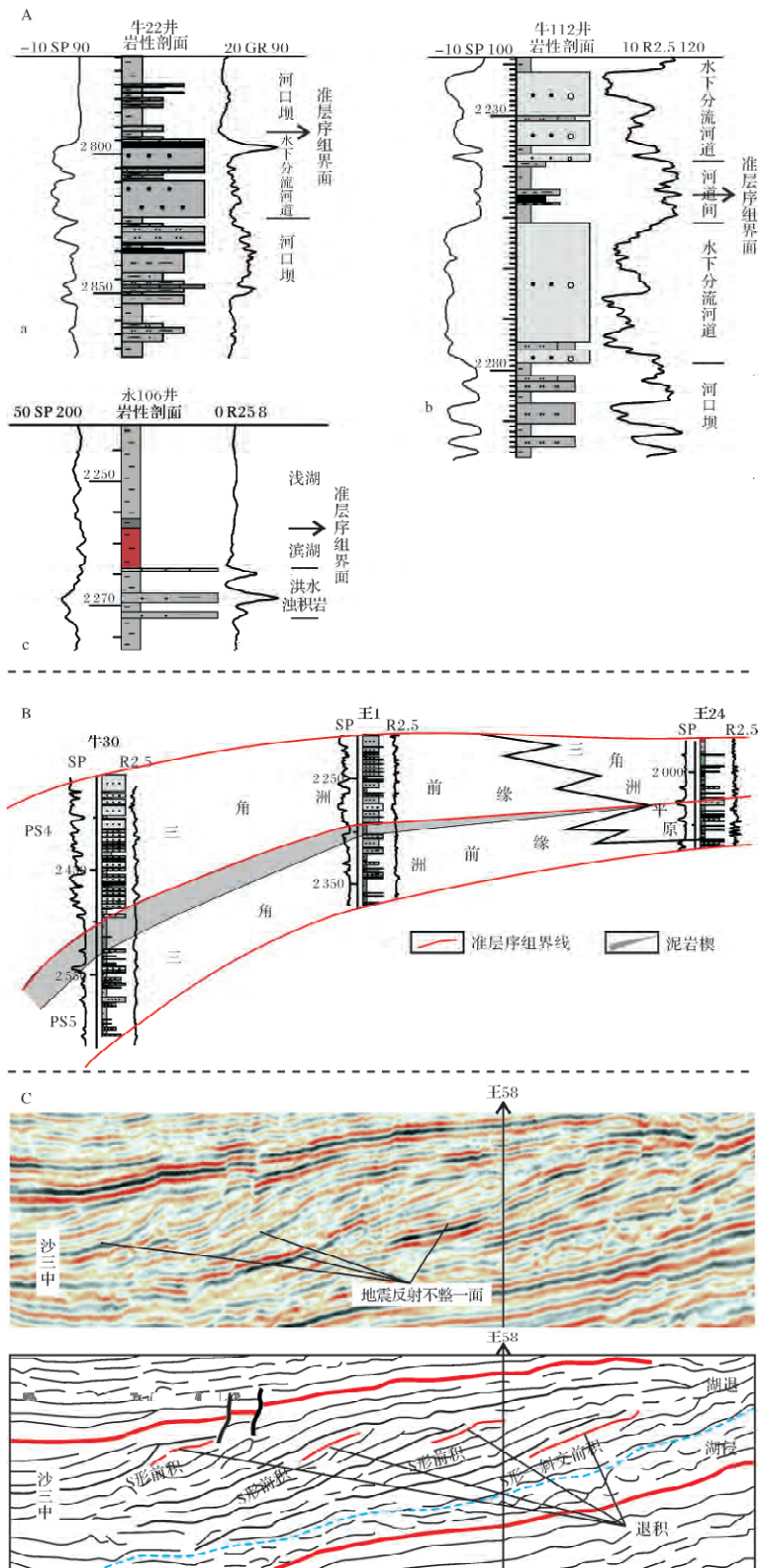


图 2 东营三角洲沉积期次划分依据

Fig.2 Identification marks of Dongying delta cycles division in logging and seismic profile

A. 单井准层序组界面识别标志; B. 连井对比两期三角洲朵体之间泥岩楔沉积;
 C. 沉积期次划分地震资料识别标志

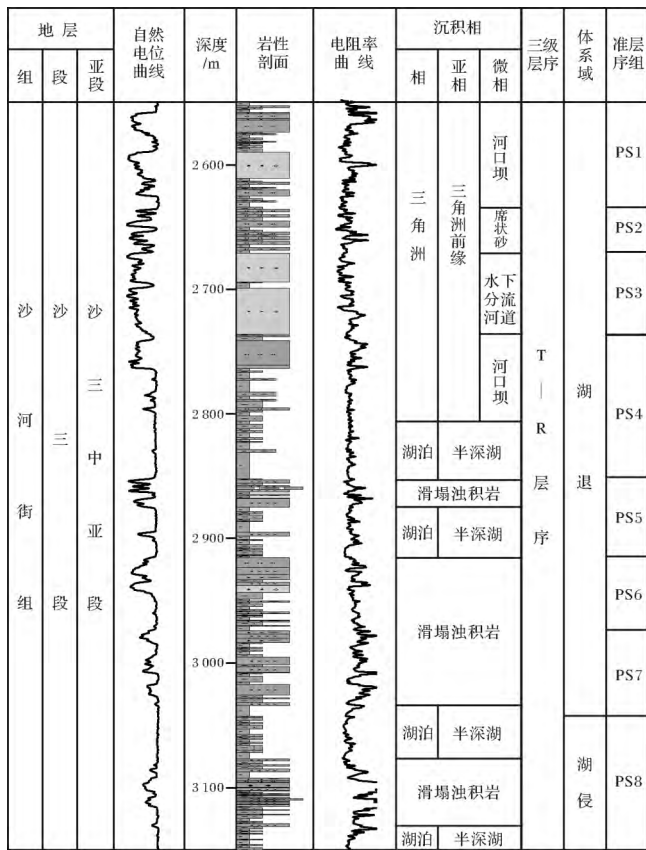


图 3 牛 116 井层序地层划分

Fig.3 Column of sequence stratigraphy division of Niu 116 Well

2.2 沉积砂体类型及分布特征

2.2.1 沉积砂体类型

沙三中亚段沉积时期是东营三角洲快速进积的鼎盛时期,砂体类型丰富,以三角洲前缘分流河道、河口坝、席状砂及其相伴生的坡移堆积体、滑塌浊积岩和远源浊积岩为主^[12](图 4 5)。

水下分流河道砂体垂向上一般表现为正粒序,自然电位曲线多表现为钟形,牛 102 井 2 900 m 附近是典型的水下分流河道微相(图 4A)。河口坝和席状砂微相垂向上构成典型的反粒序,其自然电位及伽玛曲线特征均呈漏斗状,往往上陡下缓;常发育波状层理和透镜状层理,生物扰动明显,虫孔发育(图 4A)。坡移堆积体测井曲线为中高幅指形、漏斗形;层理构造以垮塌混杂堆积、搅混构造为主(图 4B)。滑塌浊积岩测井曲线为中高幅齿化钟形、箱形、指形;层理类型复杂多样,以与塑性变形相关的变形层理(图 4C)、包卷层理、火焰构造为主,也见递变层理、泥岩撕裂屑及透镜砂体。远源浊积岩测井曲线表现为中低幅指形;岩心上见典型鲍马序列 CDE 段为主(图 4D),砂

岩层相对较薄。

2.2.2 砂体分布特征

湖侵体系域准层序组 PS8,东营三角洲由湖盆东部向西部延伸,但此时河流输送能力小于波浪作用能量,导致三角洲规模很小,局限分布在东部入口处。东营凹陷南部缓坡带滨浅湖地区受波浪改造形成孤立滩坝砂体,西北部深水区发育小规模滑塌浊积岩和远源浊积岩(图 5 6)。

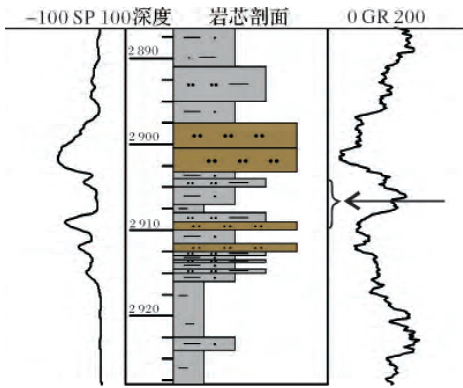
湖退体系域早期准层序组 PS7~PS4,物源供给增强,东营三角洲由工区东南部向西北方向快速进积,三角洲朵体发育,河道分流作用较强,发育河口坝和下水分流河道沉积,在波浪的强烈逼迫作用下,局部下水分流河道沿岸横向迁移分叉或造成局部河口坝砂体长轴方向与岸线近平行。在准层序组之间小型湖泛面附近发育席状砂,近平行于湖岸线成条带状展布。此时,三角洲前缘坡度较陡,沿主方向向湖盆深处发育各种类型重力流复合叠置砂体(图 5)。准层序组 PS4 是过渡时期,在东部地区先期沉积的三角洲朵体已经废弃,发生湖湾沼泽化,活动的三角洲朵体之后由南向北迁移,并在前缘局部地区发育河口坝和下水分流河道的席状砂化(图 6)。

湖退体系域晚期准层序组 PS3~PS1,物源供给继续增强,三角洲前缘坡角变缓,三角洲河道沉积快速向盆地西北方向大规模延伸,交织成网状,河口砂坝和席状砂较发育,湖盆深处发育少量滑塌浊积岩(图 5 6)。

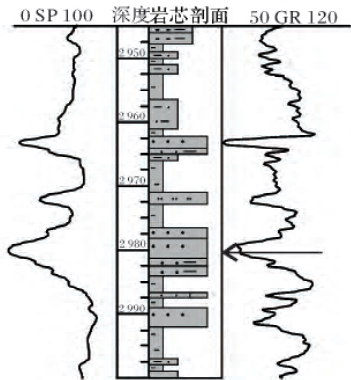
2.3 三角洲沉积过程及水动力条件

古近系沙三中亚段时期是东营凹陷水深最大时期,可达 160 m,湖盆中心位于东营凹陷北部及牛庄洼陷^[13]。此时,湖盆面积大,湖水深度大,因此形成的波浪营力较大。波浪与河流的相互作用贯穿东营三角洲的整个沉积过程。根据波浪和河流两大作用力的分布,可将三角洲沉积分为 5 个水动力区带(图 7)。

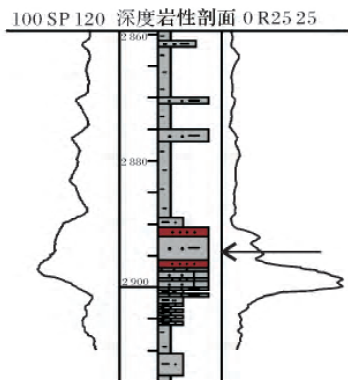
A 区带仅有河流作用力,以河流自旋回为主,发育三角洲平原水上分流河道及沼泽沉积。B 区带仍以河流作用力为主,波浪作用较小,河流为维持流速,不断分叉为细小河流,形成多条下水分流河道与岸线近垂直或大角度斜交向湖方向呈网状延伸^[14],局部波浪侵蚀也可改变下水分流河道的方向,使其与岸线夹角减小。C 区带河流末端能量稍大于波浪,形成河口坝,而 D 区带波浪能量逐渐大于河流能量,波浪及风暴浪侵蚀改造河口坝及部分下水分流河道形成大



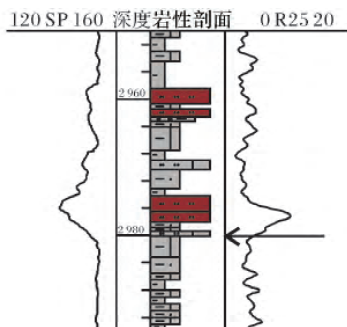
A 河口坝和席状砂微相, 牛102井, (左)2905.9 m, 波状层理; (右)2907.9 m, 透镜状层理, 虫孔发育



B 坡移堆积体, 辛170井, 2980.5 m, 混杂堆积



B 滑塌浊积岩, 营101井, 2894.5 m, 变形层理



D 远源浊积岩, 营922井, (左)2980.1 m, 鲍马序列CDE段; (右)2981.68 m, 薄层透镜砂

图4 沉积砂体类型及沉积构造

Fig.4 Sandbody types and sedimentary structure

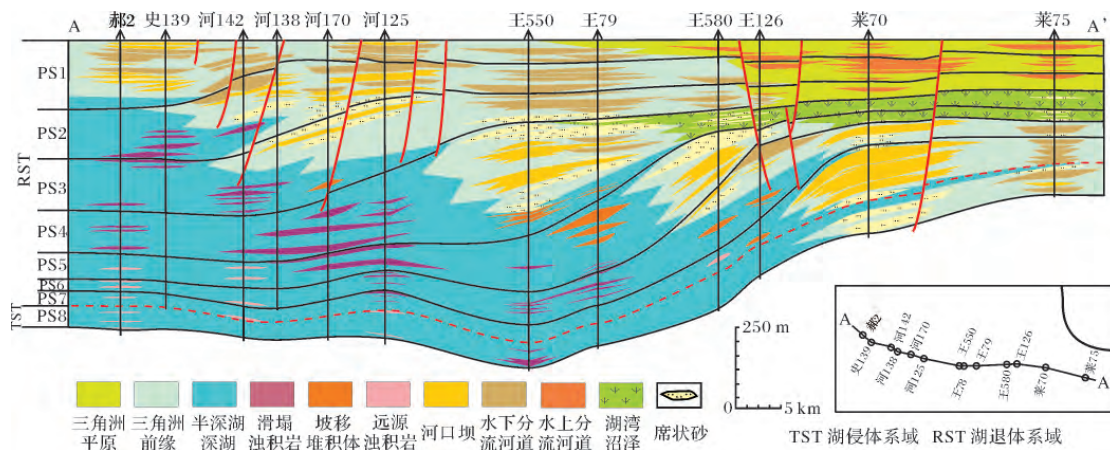


图 5 东西向连井砂体对比剖面

Fig.5 E-W cross section of sandbodies correlation

面积席状砂^[15]。C、D 区带是波浪与河流能量相抗衡的过程,正是二者的往复作用才形成厚度较大的三角洲楔状体叠加区。当河流与波浪能量相抵消时,沉积正常湖相泥岩薄夹层,随着三角洲沉积期次间小型湖泛发生,波浪与河流抵消点向岸迁移,从而形成向岸的泥岩楔。E 区带深水沉积区,无波浪及河流作用,只有受外部其它触发作用力才能形成深水重力流沉积砂体。

东营三角洲沉积过程具有期次旋回性,这也是其能沉积近千米厚,形成有利储层的主要原因。每一期三角洲沉积都是湖泊中波浪与河流作用的博弈的过程,三角洲的沉积期是主要的造砂过程,而沉积期次之间的小型湖泛作用是对先期沉积物进行调整再分配并为下一期三角洲沉积产生新增可容纳空间的过程,同时也是造泥的过程。正是多期三角洲不断的进退、迁移和改道,才能形成巨厚的三角洲复合体。

3 三角洲沉积期次与含油性关系

东营三角洲湖侵体系域准层序组 PS8 和湖退体系域晚期准层序组 PS3~PS1,含油性较差,而湖退体系域早期准层序组 PS7~PS4,是主要的含油层位。湖平面变化、构造沉降(主要为断层活动)及沉积物供给速率控制了不同沉积期次,不同砂体类型的含油性差异。研究表明,沙三中亚段沉积时期,湖平面变化经历了快速上升、开始缓慢下降和迅速下降的过程;构造沉降速率经历了缓慢、迅速加快和减慢的过程;沉积物供给速率经历了缓慢、加快和迅速增加的过程。

湖侵体系域准层序组 PS8 时期,湖平面快速上

升,构造沉降速率缓慢,可容纳空间迅速增加,沉积物供给速率相对缓慢,形成退积准层序组(图 8)。该时期以半深湖—深湖相为主,局部夹孤立分散的滑塌浊积岩,并发育少量滩坝及三角洲砂体。砂体相对不发育,是含油性较差的主要原因。

湖退体系域早期 PS7~PS4 时期,湖平面开始缓慢下降,构造沉降速率迅速加快,可容纳空间缓慢增加,沉积物供给速率加快,形成进积准层序组(图 8)。在这一过程中伴随明显的小型湖泛作用,向岸沉积泥岩楔,用以抗衡河流的供给作用,但仍以河流作用为主,形成进积准层序组。湖平面开始下降,断层活动强烈,犹如打开了沉积物向深水区供应的开关,开始形成大量的重力流沉积。因此,该时期地形较陡,三角洲前缘高角度进积,同时在其前方发育大量坡移堆积体、滑塌浊积岩和远源浊积岩。这些重力流砂体处于异常超压系统,自身具有良好的生储盖条件并形成有效的砂岩透镜圈闭,油气在砂岩透镜体中充注强度可达 29.02%~90.11%,平均 59%^[16~18]。部分油气在断层与油源的沟通作用下会继续充注准层序组界线附近由次级湖泛作用沉积的泥岩楔侧向封堵的席状砂及少量河口坝,形成砂岩上倾尖灭油气藏或与断层组合为断层—岩性油气藏(图 9)。同时湖平面频繁波动,波浪与河流的往复运动,导致在准层序组 PS4 时期,大量分流河道迁移改道,形成三角洲朵体的废弃而发育湖湾沼泽化,湖湾泥岩、油页岩和薄层砂进一步向岸延伸,扩大了区域盖层的范围,更有利于完善 PS7~PS4 砂岩中的岩性圈闭,进而聚集油气。

湖退体系域晚期 PS3~PS1 时期,湖平面迅速下降(次级湖泛作用明显减小),构造沉降速率减慢,可

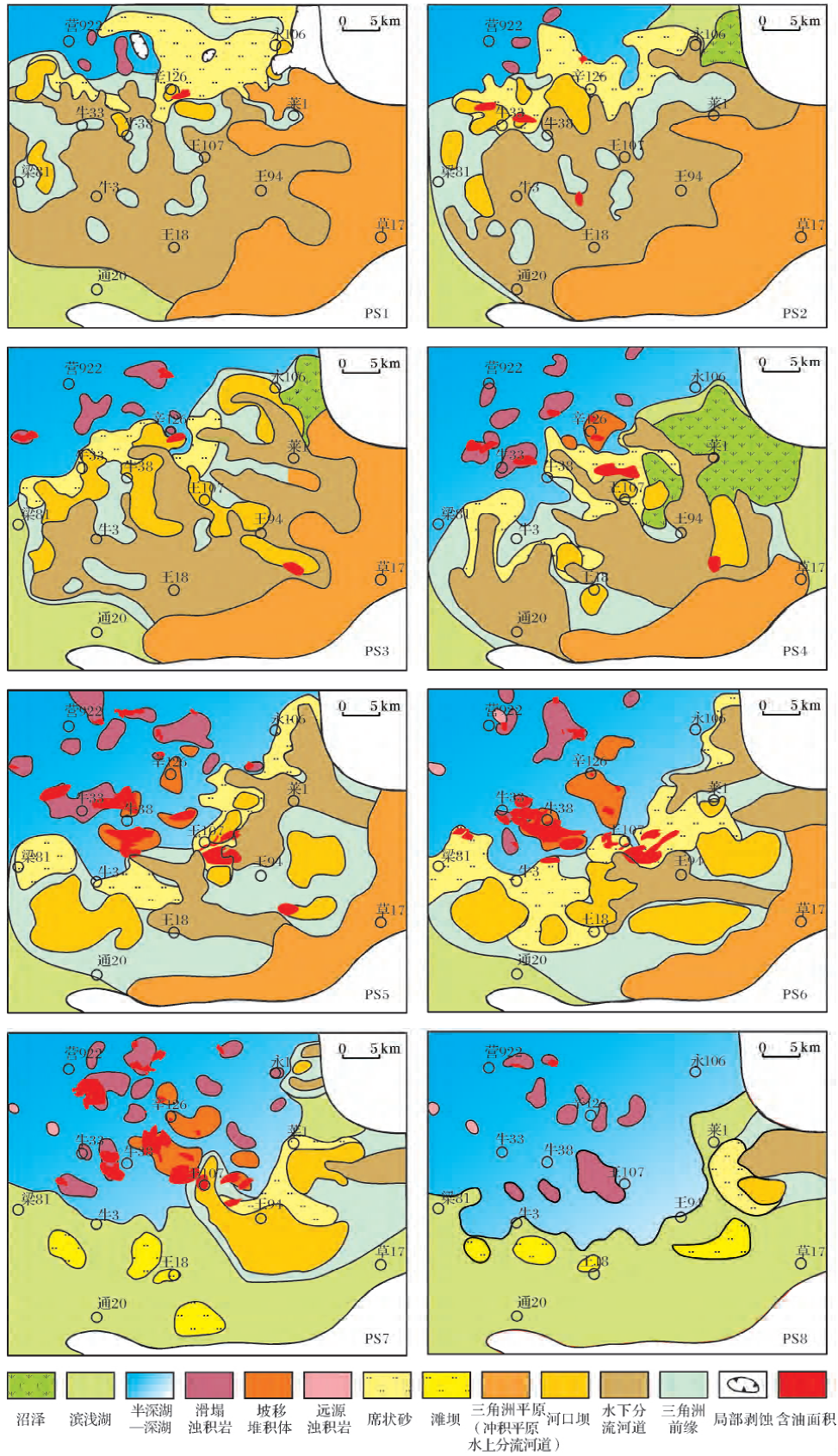


图 6 东营三角洲沙三中亚段砂体展布图

Fig.6 Sandbody distribution map of Dongying delta in Mid-Es₃

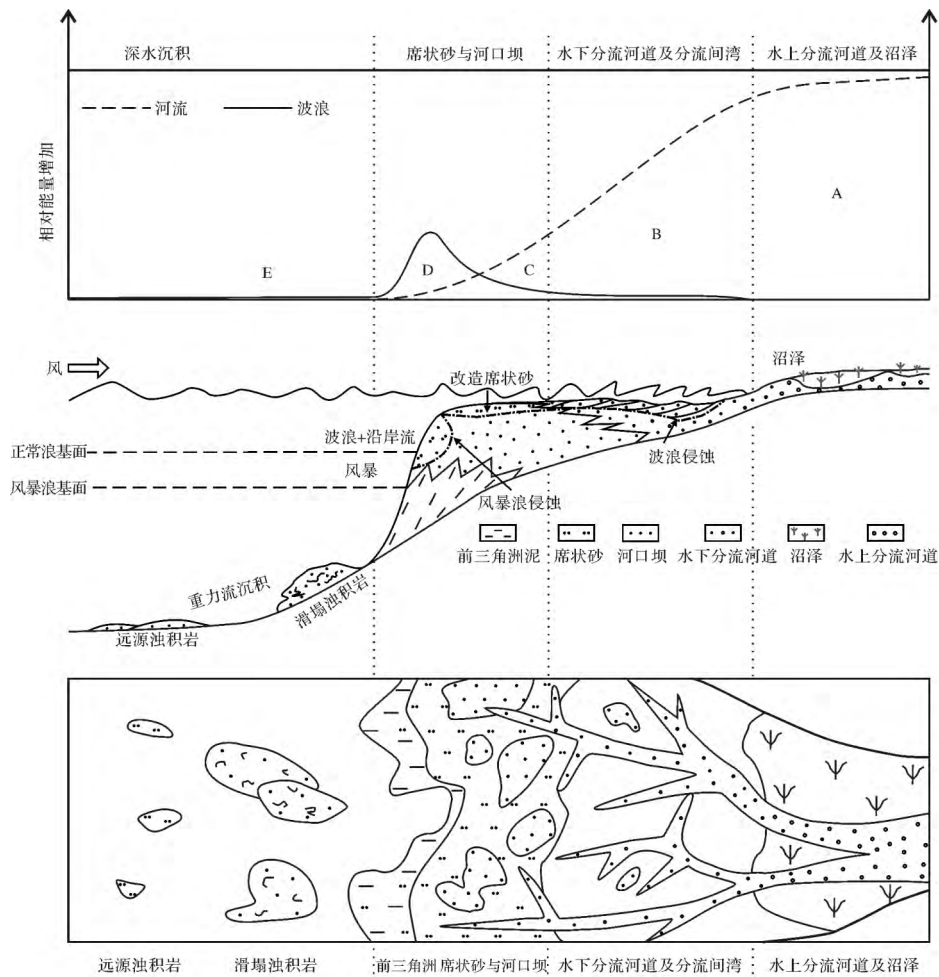


图 7 三角洲沉积水动力分带及沉积特征

Fig.7 Hydrodynamic zone and depositional characteristics of delta

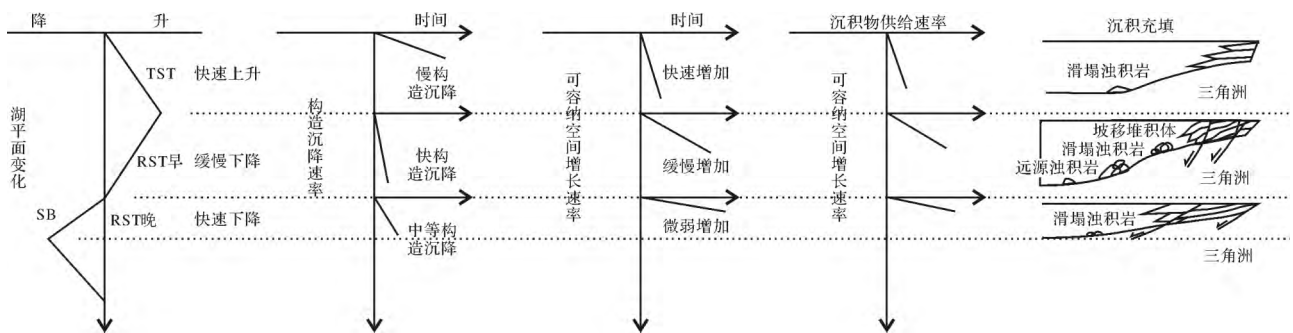


图 8 湖平面变化、构造沉降速率、可容纳空间增长速率、沉积物供给速率与沉积充填样式的关系

Fig.8 The relationship among lake level change , tectonic subsidence rate , accommodation accretion rate , sediment supply rate and filling types

容纳空间增加速率进一步减小,而沉积物供给速率迅速增加(图 8)。在前期填平补齐沉积过程后,地形变缓。沉积物开始在向岸一侧堆积,在深水的沉积物数量减少。因此,该时期发育大型低角度进积准层序

组,大型建设期三角洲极其发育,而其前端发育极少量滑塌浊积岩。厚层储集砂体虽然发育,但断层活动减弱,与油源沟通差,因此导致含油性也较差,仅在断层附近圈闭条件较好的席状砂、河口坝和河道砂体局

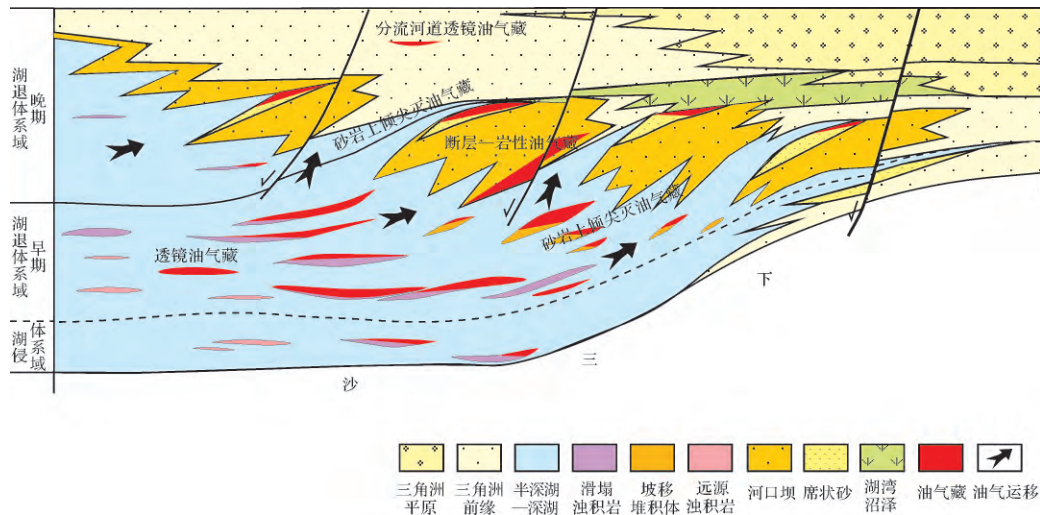


图9 东营三角洲沉积期次控油模式

Fig.9 Dongying delta depositional cycles controlling hydrocarbon model

部含油(图9)。

综上所述,对于沉积期间的小型湖泛作用要加以重视,它有助于形成良好的储盖组合,并完善圈闭条件。换言之,在砂岩沉积区不缺少有利储层的情况下,要更加关注泥岩沉积的分布,它对于油气藏分布具有重要意义。

4 结论

东营三角洲沙三中亚段能够沉积近千米厚,其根本原因在于三角洲具有期次旋回性。本文将沙三中亚段东营三角洲划分为一个T-R三级层序,包括八个准层序组。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。准层序组PS8~PS1,东营三角洲活动朵体经历了由南至北的迁移演化过程,这个过程是波浪与河流作用的相互博弈的过程。当波浪与河流能量相互往复抗衡时,三角洲前缘斜坡沉积厚度较大,伴生重力流砂体丰富,而席状砂和河口坝砂体物性好。湖平面变化、构造沉降及沉积物供给速率控制了不同沉积期次沉积充填样式,进而影响各沉积期次含油性。湖退体系域早期准层序组PS7~PS4是主要的含油层位,主要含油砂体为坡移堆积体和滑塌浊积岩,其次为席状砂和河口坝,并且席状砂和河口坝含油区主要分布在前缘斜坡准层序组界线附近泥岩楔发育的位置。可见,三角洲期次划分和各期次间泥岩对比及分布的详细刻画对三角洲厚层砂岩区寻找油气藏具有重要意义。

参考文献(References)

- 1 Fisher W L. Facies characterization of Gulf Coast Basin delta systems, with some Holocene analogues [J]. Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions, 1969, 19: 239-261
- 2 Galloway W E, Hobday D K. Terrigenous Clastic Depositional Systems [M]. 2nd ed. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1996: 81-113
- 3 韩晓东,楼章华,姚炎明,等. 松辽盆地湖泊浅水三角洲沉积动力学研究[J]. 矿物学报, 2000, 20(3): 305-313 [Han Xiaodong, Lou Zhanghua, Yao Yanming, et al. Analysis of the sedimentary dynamic process of the shallow-water lake delta in the Songliao Basin, Northeast China [J]. Acta Mineralogica Sinica, 2000, 20(3): 305-313]
- 4 楼章华,袁笛,金爱民. 松辽盆地北部浅水三角洲前缘砂体类型、特征与沉积动力学过程分析[J]. 浙江大学学报:理学版, 2004, 31(2): 211-215 [Lou Zhanghua, Yuan Di, Jin Aimin. Types characteristics of sandbodies in shallow-water deltafront and sedimentary models in Northern Songliao Basin [J]. Journal of Zhejiang University: Science Edition, 2004, 31(2): 211-215]
- 5 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 Pilong, Jiang Zaixing, Ma Zaiping. The Reservoir and Petroleum Distribution in Dongying Depression [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2000: 47-80]
- 6 Zou C N, Zhang X Y, Luo P, et al. Shallow-lacustrine sand-rich deltaic depositional cycles and sequence stratigraphy of the Upper Triassic Yanchang Formation, Ordos Basin, China [J]. Basin Research, 2010, 22(1): 108-125
- 7 宋书君. 东营凹陷沙三段岩性油气藏成藏理论及实践[M]. 北京:石油工业出版社, 2008: 1-55 [Song Shujun. The Theory and Practice of Lithologic Hydrocarbon Reservoir of Es₃ in Dongying Depression [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008: 1-55]
- 8 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 oil stratigraphic architecture of Middle-Shasan Dongying Delta and its significance to hydrocarbon exploration[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(4): 569-574]
- 9 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 [Fang Yong, Deng Hongwen, Wang Hongliang, *et al.* The characteristics of high frequency sequence and the distribution of lithologic trap in Dongying Delta[J]. China Offshore Oil and Gas: Geology, 2003, 17(3): 160-163]
- 10 李宇志, 毕明威, 刘惠民, 等. 沙三中亚期东营三角洲前缘滑塌浊积岩定量预测[J]. 地学前缘, 2012, 19(1): 146-155 [Li Yuzhi, Bi Mingwei, Liu Huimin, *et al.* Quantitative prediction of slump turbidites of the Dongying Delta front in Mid Es₃ [J]. Earth Science Frontiers, 2012, 19(1): 146-155]
- 11 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.* Characters and controlling factors of T-R sequence in lacustrine deposits of rift basin: An example from the Dongying depression Eastern China[J]. Chinese Journal of Geology, 2004, 39(1): 111-122]
- 12 陈秀艳, 师晶, 徐杰. 渤海湾盆地东辛油田沙三中亚段重力流沉积砂体类型及含油性[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(5): 594-601 [Chen Xiuyan, Shi Jing, Xu Jie. Types and oil potential of gravity flow sandbodies in the middle Es₃ of Dongxin oilfield, the Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(5): 594-601]
- 13 李守军, 郑德顺, 姜在兴. 用介形类优势分异度恢复古湖盆的水深——以山东东营凹陷古近系沙河街组沙三段湖盆为例[J]. 古地理学报, 2005, 7(3): 399-404 [Li Shoujun, Zheng Deshun, Jiang Zaixing. Water depth of palaeo-lacustrine basin recovered by dominance diversity of Ostracoda: An example from sedimentary period of the Member 3 of Shahejie Formation of Paleogene in Dongying sag, Shandong province [J]. Journal of Palaeogeography, 2005, 7(3): 399-404]
- 14 Olariu C, Bhattacharya J P. Terminal distributary channels and delta front architecture of river-dominated delta systems [J]. Journal of Sedimentary Research, 2006, 76: 212-233
- 15 Michael D M, Mark A K, Duncan M F, *et al.* Delta lobe degradation and hurricane impacts governing large-scale coastal behavior, South-central Louisiana, USA [J]. Springer, 2009, 29: 441-453
- 16 尹太举, 张昌民, 李中超. 东营凹陷滑塌浊积岩沉积特征及油气藏勘探技术[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(1): 93-98 [Yin Taiju, Zhang Changmin, Li Zhongchao. Depositional characteristics of fluxo-turbidite and exploration technologies of subtle reservoirs in the Dongying sag [J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(1): 93-98]
- 17 郝雪峰, 陈红汉, 高秋丽, 等. 东营凹陷牛庄砂岩透镜体油气藏微观充注机理[J]. 地球科学, 2006, 31(2): 182-188 [Hao Xuefeng, Chen Honghan, Gao Qiuli, *et al.* Micro-charging processes of hydrocarbon in the Niuzhuang lentoid sandy reservoirs, Dongying depression [J]. Earth Science, 2006, 31(2): 182-188]
- 18 王建伟, 宋书君, 王新征, 等. 东营凹陷牛庄洼陷砂岩透镜体的成藏机理[J]. 石油学报, 2007, 28(5): 39-44 [Wang Jianwei, Song Shujun, Wang Xinzheng, *et al.* Petroleum accumulation mechanism of lens-type sandstone in Niuzhuang subsag of Dongying sag [J]. Acta Petroli Sinica, 2007, 28(5): 39-44]

Origin of Depositional Cycles and Their Influence on Oil-bearing Sandstone of Dongying Delta in Mid-Es₃, Dongying Depression

CHEN Xiu-yan¹ JIANG Zai-xing² DU Wei² WANG Jian³ ZHANG Yue-qiao¹

(1. Petrochina Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Beijing 100083;

2. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083;

3. Research Institute, China National Offshore Oil Corporation, Beijing 100027)

Abstract: Based on lithology combination, logging curves stacking pattern and seismic reflection characteristics, this article divides Dongying delta into eight cycles, parasequence set 8 to parasequence set 1 (PS8~PS1). Between two cycles mudstone wedge deposits for small scale lake-flooding. According to core observation and logging analysis of sedimentary facies, it indicates that delta-gravity flow-lacustrine depositional system develops in the study area. Delta distributary channel, mouth bar and sheet sands deposits in southeast, and slide congeries, slump turbidite, distal turbidite associated with delta front slump deposits in northwest. From PS8 to PS1, the active delta migrates from south to north. When wave force and river energy are well matched and alternating motion, the sheet sands and mouth bars deposit, forming large thickness of delta progradation wedge. Under the effect of lake level change, tectonic subsidence rate and sediment supply rate, in early regressive system tract PS7~PS4, the gravity flow sand bodies are rich in oil, and the sheet sands and mouth bars, depositing near the parasequence set boundary are also well oil-bearing, because of close to mudstone wedge and swamp deposition which are lateral sealing and local cap rock.

Key words: Dongying delta; depositional cycles; mudstone wedge; parasequence set