

文章编号 :1000-0550(2001)04-0569-06

# 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

邱桂强<sup>1,2</sup> 王居峰<sup>2</sup> 张昕<sup>2</sup> 李从先<sup>1</sup>

( 同济大学海洋地质教育部重点实验室 上海 200092 ) ( 胜利石油管理局地质科学研究院 山东东营 257015 )

**摘要** 对于横向沉积为主的地层,三维地震资料在建立井间对比关系方面具有重要的作用。依据三维地震资料和钻井资料的综合解释,较好地确立了东营凹陷东部沙三中东营三角洲的高分辨率地层格架。东营三角洲沙三中层序是由沉积控制的等时地层单元,由下部较薄的加积单元和上部较厚的进积单元组成。通过对三角洲前缘中厚层泥岩的研究,高位体系域中可以识别出 6 个准层序,每个准层序表现为前积叠置的、代表着一个或多个三角洲朵状体组成的层组。东营三角洲层序极不对称的垂向地层关系主要与在多级层序格架中的位置和控制层序及其体系域形成的主要因素—亦即沉积物供应量的变化有关;“敞流”湖盆的背景及相对稳定的缓坡构造活动条件扩大了沉积作用对地层结构的影响。同样,高位体系域形成时期高频的沉积物供应变化是准层序形成的主要原因。东营三角洲沙三中等时地层格架的探讨对古代湖盆三角洲的研究,及伴生的浊积岩岩性油气藏的预测、描述和勘探都具有重要的意义。

**关键词** 东营三角洲 等时地层格架 油气勘探

**第一作者简介** 邱桂强 男 1966 年出生 在读博士 沉积学

**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”特点的裂陷盆地。东营三角洲位于凹陷东部,是东营凹陷沙三段沉积时期重要的沉积体系,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 5 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,每年新发现的岩性油气藏石油储量都在千万吨以上,成为东营凹陷油气勘探的重要领域。

对东营三角洲的研究开始于 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。因此,探讨三角洲高分辨率地层格架对于古代湖泊三角洲沉积的研究和指导岩性油气藏勘探实践有着非常重要的意义。本文主要通过三维地震和钻井资料的综合分析,对沙河街组沙三段中亚段(简称沙三中,下同)东营三角洲高分辨率地层格架和层序地层特点进行了初步探讨,以为古代湖泊三角洲研究和油气勘探提供

新的依据。

## 2 地质基础与研究方法

东营凹陷为第三纪发育起来的半地堑型裂谷盆地,大体经历了裂陷早期(始新世孔店期)、裂陷中期(始新世沙河街早、中期)、裂陷晚期(渐新世沙河街末期至东营期)以及后裂陷期(晚第三纪)四个地质发展阶段。以早第三纪各裂陷期未形成的不整合面为界,下第三系一级构造层序可分为三个二级构造层序(数

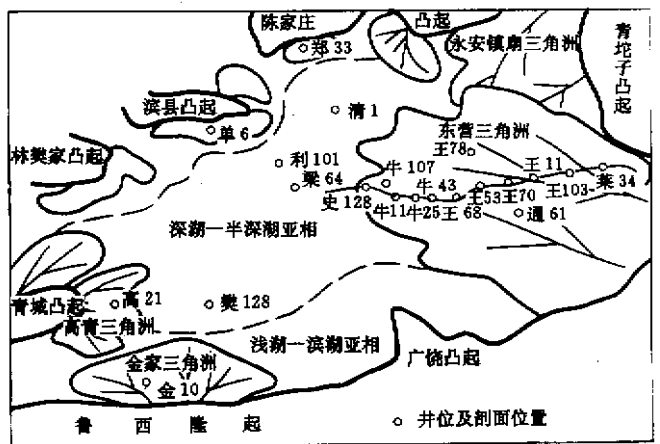


图 1 东营凹陷沙三中亚段沉积体系分布图

Fig. 1 Map of depositional system, Middle Shasan Member, Dongying sag

百万年级),即孔店组、沙河街四段至二段、沙河街一段至东营组,对应于三个亚裂谷旋回<sup>[1]</sup>。裂陷中期的沙河街组三段和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早期的湖盆东端部、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,并与陡坡扇三角洲(如永安镇三角洲)连成一片,向凹陷的沉积中心快速推进(图1);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。

由于三角洲演化过程迅速,沉积作用和地层分布复杂,仅依据钻井资料和常规的工作方法难以准确地划分三角洲的发育期次和确立高频地层单元的对比关系。东营三角洲进积速率高达200 m/万年(在其发育的4 Ma时间内进积距离达80 km以上),远高于3 m/万年的垂向加积速率(不考虑压实);另一方面,东营三角洲既有沿凹陷轴向的远源物源又有凹陷南坡近源沉积物的加入,随时间推移物源区域不断向西部拓展,加之三角洲平原发育,河道摆动、废弃频繁,进积朵状体之间的关系非常复杂。在垂向加积为主的地层中常用的研究方法难以适应这种复杂的地层关系—很明显,钻遇的某段特定岩性、电性组合在很短距离内(1~3 km内)即可产生重要的变化,特别是三角洲前缘的反旋回砂岩组合横向上快速相变为湖相泥岩或河流相砂泥岩组合,厚度也有数倍或数十倍的变化。

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(图2)。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。

因此,在侧向加积为主的地区,高频等时地层单元的划分可以通过钻、测井资料和三维地震资料的联合研究来实现。钻测井资料分析获得的地层变化特点和重要界面的信息通过地震合成记录标定使三维地震资料被赋予了层序地层的意义;三维地震资料使井间关系更为具体和明确,并且由于高分辨率和直观性,能够较好地刻画出三角洲内部地层结构及其横向变化。

### 3 东营三角洲沙三中地层格架

#### 3.1 层序界面的识别与层序划分

依据地震反射结构、钻井和测井资料所代表的反韵律地层变化、厚层泥质岩的存在及三维地震上反射的强弱和连续性、地震反射波组特征等,沙三中东营三角洲存在着两个三级的等时界面(沙三中顶底面)和六个高频的等时界面,其主要特点如下(图3):

(1) 沙中亚段顶底界面,对应于T4和T6'地震标准反射层,二者之间为层次清晰的前积反射结构,最大钻井视厚度接近1 000 m。T4反射层在东营三角

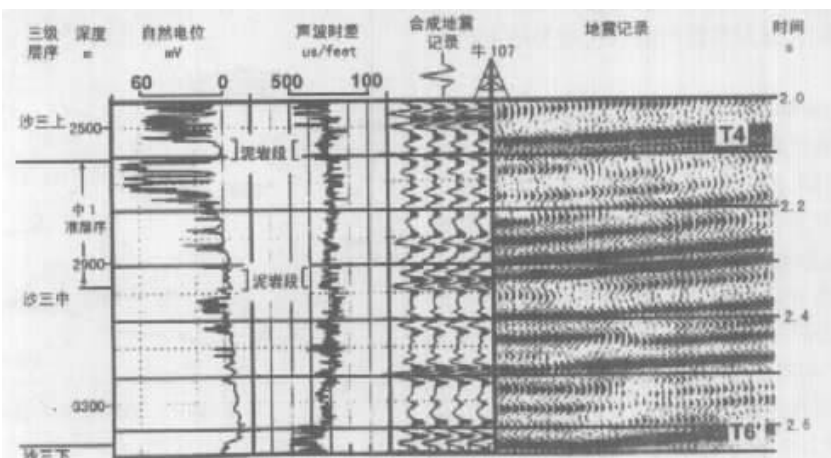


图2 牛107井合成地震记录及过井地震剖面

Fig.2 Synthetic seismogram and seismic section of Niu107

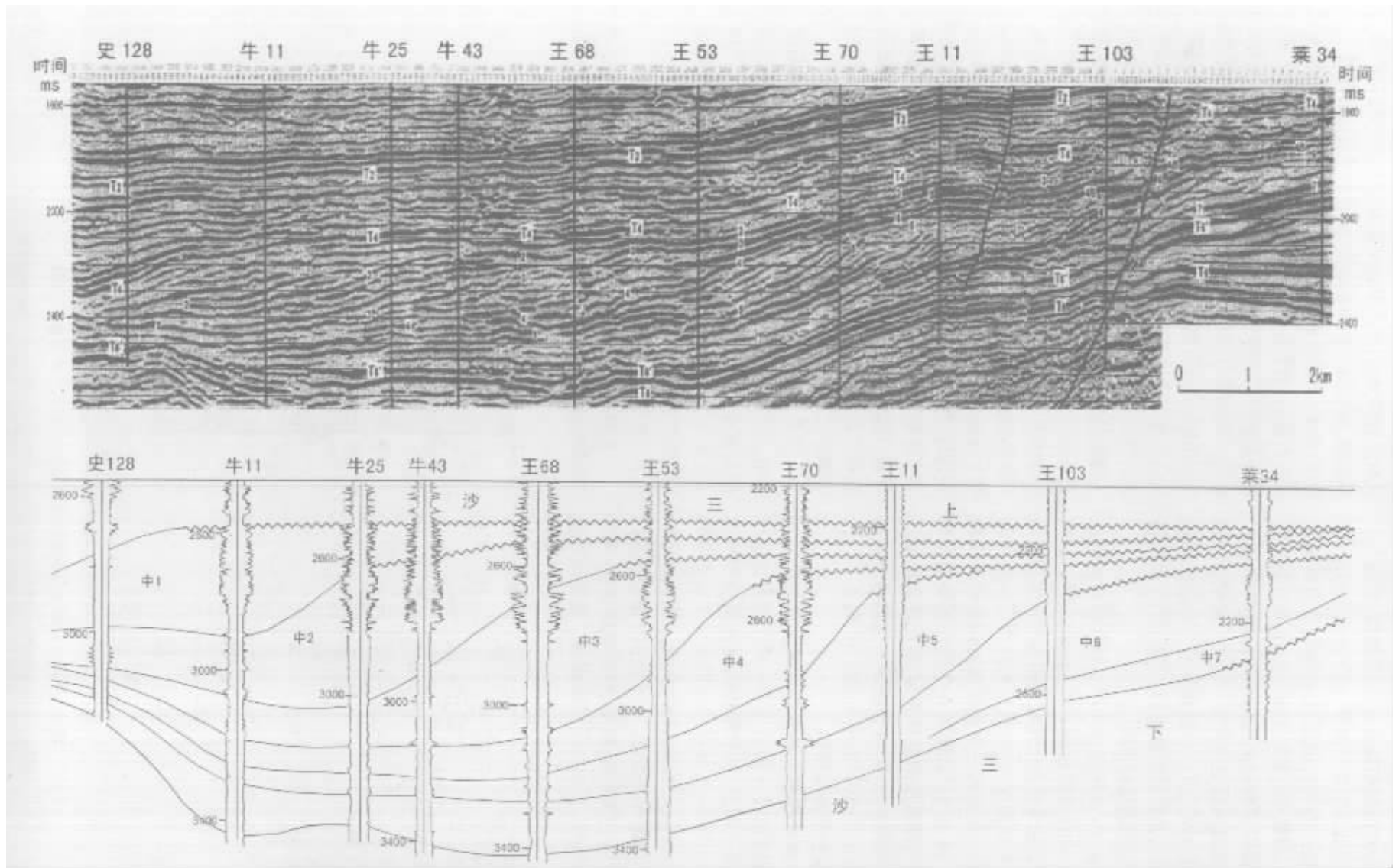


图3 东营沙三中三角洲东西向连井地震剖面(上)及层序解释(下)

T2—沙河街组一段下部反射 ;T4、T6—一沙三中层序顶、底界反射 ;T6—一沙三下层序底界反射 2、3、4、5、6、7—中2至中7准层序顶界反射

Fig.3 EW cross-well seismic section(Upper)and sequence interpretation(Lower) of Middle-Shasan Dongying delta

洲西段为稳定分布的湖相灰质、白云质地层,界面上下存在明显的上超及顶削反射关系,易于对比和追踪;在东部为河流相地层内部的弱反射,借助钻井资料可以识别;在凹陷南部缓坡还见到下切谷反射,钻井证实为沙三上层序底部梁家楼远岸浊积扇的补给水道。T6'反射层代表着湖盆内稳定发育的一套油页岩地层的顶部,在凹陷东部为沙三下三角洲顶积层与沙三中湖相泥岩间的强反射,见弱的顶削反射。T4和T6'反射层是确定沙三中层序的重要界面。

(2) T4和T6'之间存在六个连续性较好的强反射界面,其上下存在着明显的下超、上超和顶削,在钻井资料上代表着稳定分布的厚层泥质岩与下伏砂岩间的反射。在三角洲前缘,这些强反射界面可以很好地横向追踪,向前三角洲和三角洲平原方向反射界面的连续性变差。T4和T6'之间的6个强反射界面是划分沙三中层序内部地层的重要界面,据此沙三中层序可识别出7个高频地层单元(准层序),这里自下而上简称为中7、中6、中5、中4、中3、中2、中1。

### 3.2 三角洲层序的地层结构

中6-中1准层序最大的钻井视厚度在210~430 m之间,在 seismic 剖面上一般具S形—斜交复合型前积反射结构<sup>[2]</sup>,由下而上,反射结构由更具斜交形特点向更具S形特点变化,反映了三角洲形成于高能沉积机制和稳定的沉降、充足的沉积物供应,以及向湖盆中心部位沉降作用影响的加强。中6至中1准层序垂向上表现为自下向上砂含量、粒度、砂岩单层厚度、测井曲线的反旋回特征,反映向上水深变浅。地层结构具有明

显的两分性,即上部的前积地层组合和底部的较纯泥岩、灰质泥岩的加积组合,前者的厚度远远超过了后者(图4)。在三角洲平原部分,准层序一般表现为砂岩含量、砂岩粒度和单层砂岩厚度变化的旋回性,底部多见灰色和灰绿色泥岩,上部河流相砂岩更为发育,在前三角洲部分,测井曲线(自然伽玛、声波、视电阻率等)和浊积砂岩含量上也存在弱的旋回变化,但这种变化远不如三角洲前缘清楚,其底部一般可见到加积叠置的泥岩、灰质泥岩;在三角洲前缘部分,准层序表现为强烈的进积特征,以其中的薄泥岩隔层和岩电组合关系可以分为多个前积叠置的层组,每个层组代表了一个或几个三角洲的前积朵状体,在三维地震上为具顶削和底超结构的弱反射,小范围内可以识别和追踪。中7准层序仅在凹陷东部识别出来,厚度约100 m左右,以灰色、深灰色湖相泥岩、灰质泥岩和油页岩为主,具有加积特点,在湖盆边缘夹有水下扇成因的正韵律砂岩;其顶部界面为稳定湖相砂岩和灰质泥岩与前三角洲泥岩之间的反射,代表了沉积环境的较大变化,向凹陷中部与上伏的中6准层序难以区分。

东营三角洲沙三中层序表现为各个准层序的有序叠置,具有“高位体系域”更加发育的特点。中7准层序的泥岩、油页岩组合具有明显的加积特点;中6至中1六个准层序呈前积样式叠置,组成了沙三中层序的“高位体系域”。

### 3.3 沙三中东营三角洲的发育特点

东营三角洲形成于沙三下沉积时期,在经历了中7时期的较长时间停滞,自中6期开始快速前积,各

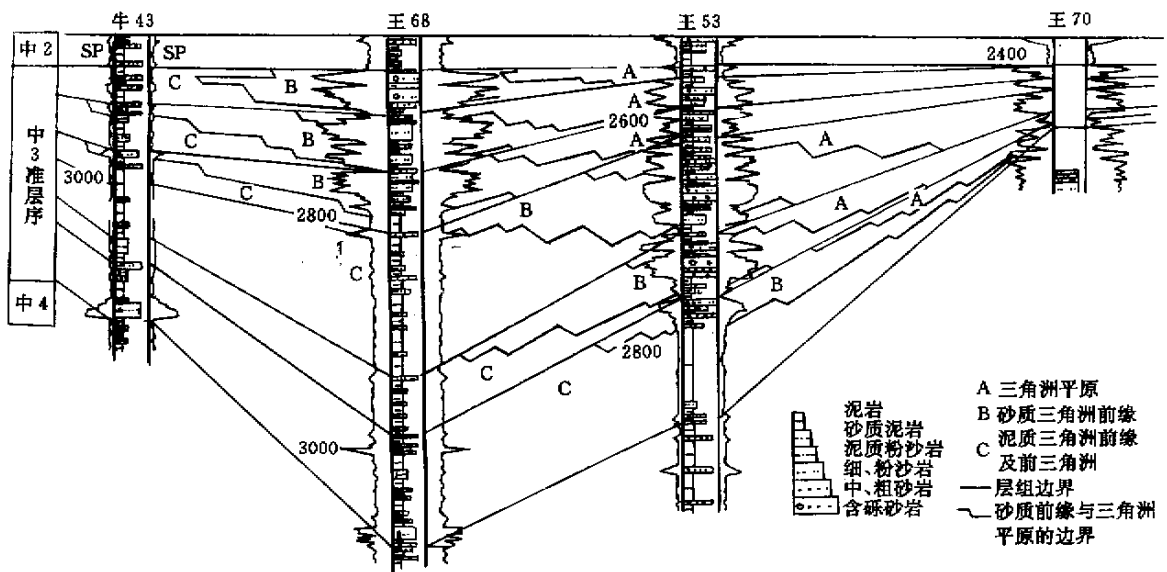


图 4 东营三角洲沙三中层序的准层序结构(以中3准层序为例)

Fig. 4 Parasequence structure of Middle-Shasan Sequence, Dongying delta

准层序厚度最大的砂质前缘部分呈扇形依次向西北方向的凹陷中心推进(图 5)。中 6 和中 6 准层序形成于凹陷东部较浅的缓坡环境,沉积物粒度较细,具有较高的矿物和成分成熟度,依据平面追踪分析,此时远源沉积物占据主要地位,而来自凹陷南坡的近源沉积物供应量较少,且多以水下扇体的形式出现;从地震剖面上看,三角洲前积层厚度小、倾角大(约  $10^\circ$ )、顶削现象明显,残余的顶积层砂岩含量低,反映了缓坡较低可容空间和充足物源条件下三角洲快速进积的特点。中 4 期之后,随着三角洲接近凹陷中心,三角洲前积层厚度加大、倾角逐渐减小(小于  $5^\circ$ ),顶积层厚度也开始增加;在地震剖面上反射结构向 S 形转化,地层中粗粒沉积物所占比例加大,来自凹陷南部缓坡的近源沉积物数量逐渐增加,顶积层中砂岩含量增加。这种情况与凹陷中心水深、压实沉降加大以及构造活动的特点有关,反映了可容空间的形态、变化与缓坡地区有一定的差别。中 4 准层序向东剥蚀尖灭,同时凹陷内部同生断层统计结果显示其活动加剧,表明与盆地伸展和基底掀斜有关的构造活动对三角洲的发展起了一定的作用,但构造机制的主要作用在于造成了缓坡近源沉积物供应的不断增加,促进了东营三角洲在水深较大和沉降较高条件下的持续发展。相对地说,远源沉积物供应不断降低,影响范围仅限于三角洲的东部和北部。

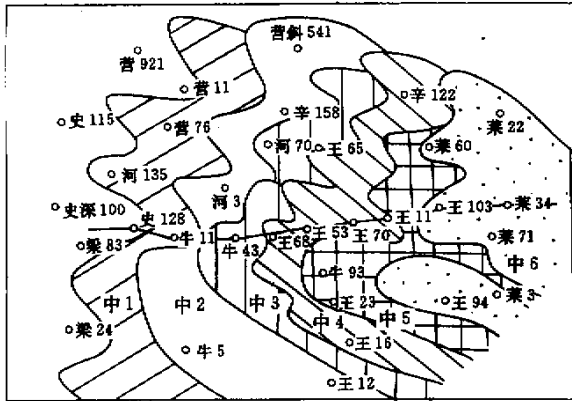


图 5 东营三角洲沙三中层序高位体系域砂质前缘地层的分布范围

Fig. 5 Sandy front distribution in lacustrine HST of Middle-Shasan sequence, Dongying delta

#### 4 三角洲层序的讨论

层序的形成是新增可容空间速率与沉积充填速率之间相互作用的结果,三角洲层序的形成首先是充足的沉积物供应,可以认为三角洲层序是一种沉积作用控制下的层序。纪友亮研究了东营盆地后认为,在沙

河街期大部分时间内,东营古湖盆具有“敞流”性质,其湖平面由于泄水口的存在而没有明显的变化,构造沉降和沉积物供应成为层序形成的对偶因素<sup>[3]</sup>。通过同生断裂的研究,沙三中时期湖盆持续伸展,构造活动相对稳定。显然,沉积物供应的变化成为层序形成的主控因素,层序发育的早期沉积物供应减少,地层砂岩含量保持了较低水平,总体上以泥质地层的加积为主,沉积物供应增加时,三角洲进积,高位体系域形成,其中沉积物供应高频的变化形成了不同的准层序。据火成岩年龄测定、古生物资料和古地磁分析数据综合校正结果,沙三中层序底界绝对年龄值为 42 Ma,沙三上—沙二层序顶界为 38 Ma,其间的时间间隔为 4 Ma<sup>[4]</sup>。考虑沉积物厚度和平均沉积速率,沙三中层序的时间跨度约为 1.5 Ma,从时间范围上相当于三级层序<sup>[2]</sup>。这样,不考虑其它因素,沙三中层序的准层序平均时间跨度约在 20 万年的尺度上,接近于 Milankovitch 频段的全球气候变化周期<sup>[5]</sup>。气候变化的周期性可使地表径流量和源区风化作用发生变化,从而改变陆相湖盆沉积物的产生和供应的条件。

东营三角洲沙三中层序“高位体系域”发育,重要的原因是其在多级层序格架中的位置,也就是三角洲层序产生于低级构造层序的“高位体系域”背景之上。在下第三系一级(构造)层序和沙四上—沙二二级(构造)层序中,沙三下层序代表了最大湖泛期的沉积,沙三中层序形成于“高位或湖退”时期,因而层序的“高位域”被放大而“低位—湖侵域”被压缩了。这种情况根本上归因于形成一级和二级构造层序的裂陷旋回特定的构造活动背景。由于基底块体掀斜活动,凹陷南部缓坡成为重要的近源物源区,东营三角洲因近源沉积物供应的增加而保持了快速进积的特点。因此,在构造活动相对稳定和物源充足的背景下,东营三角洲沙三中层序的地层结构更多地表现为不对称的特点,即“高位体系域”的发育程度远远超过“低位及湖侵体系域”。

#### 5 结论及油气勘探意义

随着研究的时间段或地层厚度跨度减小,地层格架的建立越来越受到沉积体系的影响。借助于三维地震资料,东营三角洲沙三中层序的地层格架可以很好地建立起来。三维地震资料在三角洲高级层序研究中的重要作用在于确立了井间的横向联系。依据三维地震资料和钻井资料的综合解释,较好地研究东营三角洲沙三中层序的内部结构。东营三角洲沙三中层序是由沉积控制的等时地层单元,由下部较薄的加积单元和上部较厚的进积单元组成。通过对三角洲前积层中

厚层泥岩的研究,高位体系域中可以识别出6个准层序,每个准层序表现为前积叠置的、代表着一个或多个三角洲朵状体组成的层组。东营三角洲层序极不对称的垂向地层关系主要与在多级层序格架中的位置和控制层序及其体系域形成的主要因素—亦即沉积物供应量的变化有关;“敞流”湖盆的背景及相对稳定的缓坡构造活动条件扩大了沉积作用对地层结构的影响。同样,高位体系域形成时期更频繁的沉积物供应的变化是准层序形成的主要原因。

东营三角洲在东营凹陷油气藏勘探中处于极为重要的地位,近年来勘探实践已经证明与三角洲有关的浊积砂体蕴藏着丰富的油气,每年发现的石油储量都在千万吨级。通过对东营三角洲沙三中层序的研究,可以很好地确定浊积岩分布、发育程度与三角洲的进积方向、进积速率间的密切联系,更好地指导三角洲有关的浊积岩发育层段、地区以及含油性的预测和油藏

描述工作。因此,三角洲高分辨率等时地层格架不仅对于古代三角洲的研究有着重要的意义,更主要的是为岩性油气藏的勘探提供了有效的地层约束和研究的工具。

#### 参 考 文 献

- 1 郑和荣,王宁.东营凹陷层序地层学研究在隐蔽油气藏勘探开发中的应用[A].见:顾家裕,邓宏文,朱筱敏主编,层序地层学及其在油气勘探中的应用[C].北京:石油工业出版社,1997.87~93
- 2 Payton C E 著,牛毓荃,徐怀大等译.地震地层学(在油气勘探中的应用)[M].北京:石油工业出版社,1980.70~83
- 3 纪友亮,张世奇,陆相断陷盆地层序地层学[M].北京:石油工业出版社,1996.6~11
- 4 胜利油田石油地质志编写组.中国石油地质志,卷6:胜利油田[M].北京:石油工业出版社,1993.32~47
- 5 Fischer A G, Bottjer D J. Orbital forcing and sedimentary sequence[J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1991, 61(7): 1063~1069

## Preliminary Study on Stratigraphic Architecture of Middle-Shasan Dongying Delta and Its Significance to Hydrocarbon Exploration

QIU Gui-qiang<sup>1,2</sup> WANG Ju-feng<sup>2</sup> ZHANG Xin<sup>2</sup> LI Cong-xian<sup>1</sup>

(Key Laboratory of Marine Geology, MOE, Tongji University, Shanghai 200092)

(Geological Scientific Research Institute, Shengli Petroleum Administration, Dongying, Shandong 257015)

### Abstract

Three-dimension seismic data play a significant role in the correlation of well-data, especially when being used for studying progradational successions. According to integrated research of seismic and well data, high-resolution stratigraphic architecture of Middle-Shasan Dongying Delta, Dongying sag, was well established. The sequence of Middle-Shasan Dongying Delta is sedimentation-controlled succession, consisting of thinner lower aggradational section and thicker upper progradational section. Six parasequences are distinguished from the progradational section by study on thick muddy layers of deltaic front, each of which behaves as progradational superposition of bedsets representing one or more deltaic linguiforms. Vertical asymmetrical structure of the sequence primarily rests on both the position at the multi-order sequence architecture, and the key factors formatting the sequence and its system tracts are changes in sediment supply. Influence of deposition to stratal frame is amplified due to ancient open-lake background and relative tectonic tranquilization of gentle slope of Dongying sag. The discussion on high-resolution stratigraphic architecture will help investigation to ancient lacustrine delta and boost up prediction, description, oil exploration and exploitation of accompanying lithological reservoirs.

**Key words** Dongying delta, chronostratigraphic architecture, oil exploration