

## 济阳坳陷东营组沉积体系新认识

向立宏<sup>1</sup>,赵铭海<sup>2</sup>,郝雪峰<sup>1</sup>,尚冰<sup>1</sup>,尹丽娟<sup>1</sup>,刘瑞娟<sup>1</sup>

(1.中国石化胜利油田分公司勘探开发研究院,山东东营257015; 2.中国石化胜利油田分公司,山东东营257001)

**摘要:**东营组作为济阳坳陷断陷末期沉积的重要层系,对其沉积体系认识不清导致对其储层分布、油藏类型、成藏规律不明确,从而制约了东营组的勘探。综合钻井、测井、地震等资料,依据沉积学基本原理和方法,通过断陷末期盆地地质构造特征及岩相古地理多因素分析表明,济阳坳陷东营组沉积时期在单斜式构造背景控制下形成了东部跨凹陷的大型辫状河三角洲沉积,东三段沉积时期是辫状河三角洲主要发育期,东二段湖盆收缩、沉积范围缩小,西部以滨浅湖沉积为主,伴有小型的近源扇三角洲及近岸水下扇沉积,东部演化为以河流相为主。东一段沉积时期湖盆萎缩,广泛发育河流相及滨浅湖沉积。平面上充填样式表现为由南部的东营凹陷辫状河三角洲平原亚相、前缘亚相向北部沾化—滩海地区的前三角洲亚相过渡,前三角洲发育一定规模的滑塌浊积扇。东营组沉积模式的建立不仅完善了济阳坳陷新生代沉积演化序列,对东营组储层预测起到了重要指导作用,而且也今后东营组成藏条件的研究奠定了基础。

**关键词:**断陷末期 东营组 单斜式构造 辫状河三角洲 油藏序列 济阳坳陷

**中图分类号:** TE111.3

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-9603(2016)03-0008-06

## New understanding on sedimentary system of Dongying Formation in Jiyang depression

Xiang Lihong<sup>1</sup>, Zhao Minghai<sup>2</sup>, Hao Xuefeng<sup>1</sup>, Shang Bing<sup>1</sup>, Yin Lijuan<sup>1</sup>, Liu Ruijuan<sup>1</sup>

(1. Research Institute of Exploration and Development, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying City, Shandong Province, 257015, China; 2. Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying City, Shandong Province, 257001, China)

**Abstract:** Poor understanding on sedimentary system of Dongying Formation in Jiyang depression, the stratigraphy deposited at the end of basin faulting and depressing, has caused uncertainty in its reservoir distribution, reservoir type and hydrocarbon accumulation rule, which restricts the exploration of Dongying Formation. Based on the principle and methods of sedimentology, combining with data of comprehensive mud logging, logging and seismic data, it is determined that a large braided river delta sedimentary system formed crossing the east depression under the monocline structural background during the sedimentary period of Dongying Formation in Jiyang depression through analyzing geologic structure features and palaeogeography. A braided delta developed mainly at the third period of Dongying Formation. The lacustrine basin began to regress and the sedimentary area became smaller and smaller at the second period of Dongying Formation, in which shallow beach lacustrine facies formed in the east combining with depositions of small proximal fans and subsea aprons, and fluvial facies deposited mainly in the east. The lake regressed continuously at the last period of Dongying Formation, and fluvial facies and shallow beach facies developed widely. In the plane, sedimentary patterns changed from braided-delta plain subfacies and delta front sub-facies in Dongying sag in the south to pro-delta sub-facies in Zhanhua-Tanhai area in the north. Slump turbidite fans developed at the front of delta. The sedimentary model establishment of Dongying Formation not only perfects the Jiyang depression's sedimentary evolutionary sequence of Cenozoic era and guides the direction of reservoir prediction in Dongying Formation, but also lay a foundation for the study on reservoir forming condition of Dongying Formation.

收稿日期:2016-02-04。

作者简介:向立宏(1969—),女,四川成都人,高级工程师,从事油气勘探综合研究。联系电话:(0546)8716965, E-mail:xlhdzyx@163.com。  
基金项目:国家科技重大专项“渤海湾盆地精细勘探关键技术”子课题“济阳坳陷油气富集机制与增储领域”(2011ZX05006-003)。

**Key words:** the late of faulted depression; Dongying Formation; monoclinal structure; braided river delta; reservoir sequence; Jiyang depression

济阳拗陷经历了多期构造运动,其中新生代的构造发育可分为古近纪断陷期和新近纪拗陷期,断陷末期即断陷萎缩期中晚期沉积的重要地层即为东营组。济阳拗陷第1口出油井华八井就是在东营组获得高产油流。东营组目前已成为济阳拗陷重要增储领域,但相对于上、下其他层系,勘探程度明显较低。目前来看,制约济阳拗陷东营组勘探的主要问题是对于东营组沉积体系认识不清,圈闭分布样式及生、储、盖配置关系不明确。有关东营组沉积体系方面的研究主要集中在沾化凹陷及滩海地区<sup>[1-6]</sup>,整个济阳拗陷没有形成统一认识。而沉积体系研究是进行油气勘探的基础,不同沉积体系充填样式决定了相应的圈闭条件和成藏规律。因此,揭示断陷末期东营组沉积体系的分布特征及演化规律并建立其沉积模式,对于济阳拗陷东营组的油气勘探具有非常重要的理论和实践意义。

### 1 地质构造背景

不同地质时期的盆地结构控制其沉积物的充填结构,因此明确断陷末期的盆地结构是研究东营组沉积体系的前提条件。济阳拗陷古近纪断陷期分为断陷初始期( $E_k$ )、断陷发展期( $E_{s_4}$ )、断陷鼎盛期( $E_{s_3}^{上}-E_{s_2}^{下}$ )、断陷萎缩期( $E_{s_2}^{上}-E_d$ )。东营组沉积时期的地质构造背景与断陷鼎盛期明显不同。

在东营组沉积时期,受浅部板块活动形成的挤

压应力场及郯庐断裂带右旋走滑作用的联合控制,济阳拗陷南升北降。此时盆地的构造形态不同于断陷鼎盛期形成的北断南超不对称半地堑箕状凹陷,整体表现出南高北低、南薄北厚的单斜式盆地结构特征(图1),整个盆地的沉降中心向东北方向的沾化—滩海地区乃至渤中凹陷发生迁移。各凹陷独立的沉降中心趋于统一。地层厚度南薄北厚、西薄东厚,北部沾化—滩海地区东营组地层厚度一般为400~900 m;而南部的东营、惠民地区地层厚度一般为200~600 m。根据东营组沉积时期盆地的构造特点,结合地层发育特征,将济阳拗陷划分为超剥带、浅洼带、斜坡带、深洼带和坡中低隆起5类一级构造带。超剥带分布在盆地边缘凸起带及坡中低隆起边缘,东营组地层剥蚀严重。浅洼带分布在东营凹陷西部和惠民凹陷西部洼陷区,断层不发育,由于沉积物的快速充填地势平坦,相对断陷鼎盛期形成的洼陷范围缩小,已不具备洼陷的特征,例如东部的牛庄洼陷,洼陷特征已基本消失,其东营组不再是套的泥岩,而是以厚层的含砾砂岩、砾岩为主。斜坡带广泛分布在东营、车镇、惠民及沾化凹陷南部,地势相对平缓,地层倾角一般为 $3^{\circ}$ ~ $5^{\circ}$ ,断层发育,但断层活动性减弱,断层组合方式以平行型和“y”型为主,西部斜坡带主要为近北西走向的平行型断层组合,东部斜坡带通常发育“y”型断层组合和滚动背斜。深洼带分布在沾化凹陷北部及滩海地区,区域上受郯庐断裂走滑拉分位移量向沾

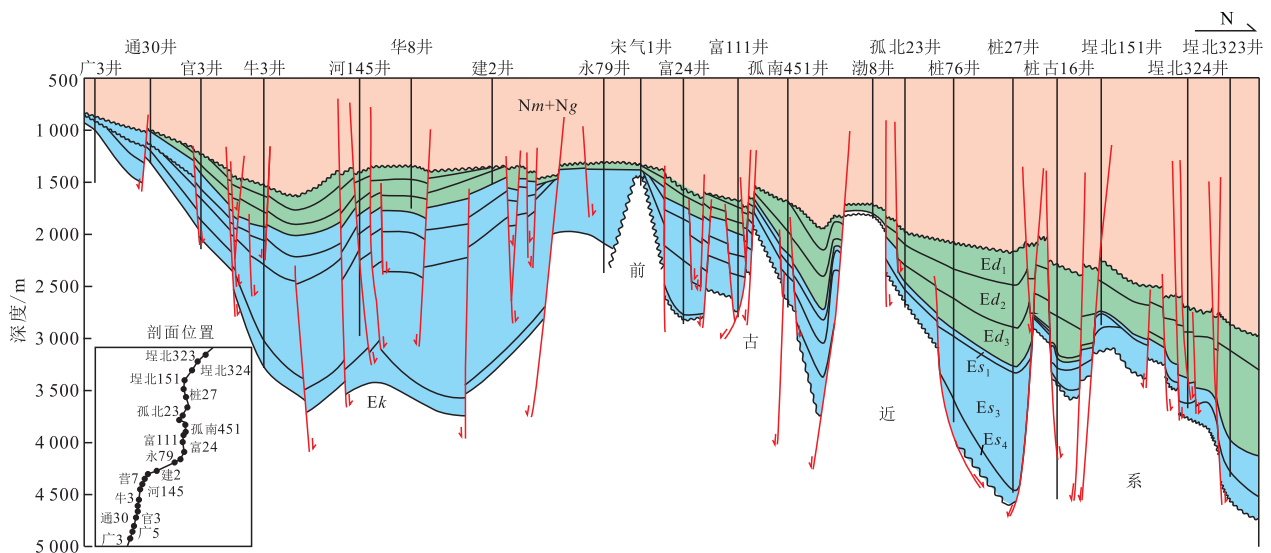


图1 济阳拗陷东部南北向构造剖面

Fig.1 North-south structural section of the eastern Jiyang depression

化—渤中凹陷方向增大的影响,地层厚度增大,倾角变陡,地层倾角为7°~10°。洼陷中心沉积了大套的深灰色—灰色泥岩。坡中低隆起为盆地内部隆起带,包括陈家庄凸起、义和庄凸起、孤岛低凸起、埕东凸起。东营组沉积时期由于北部水域扩大,基准面上升,凸起区表现为水中低隆起或局部出露地表,东营组沉积后抬升遭受剥蚀。

陈家庄凸起为济阳拗陷次级正向构造单元,以往认为该凸起将东营凹陷与沾化凹陷分隔开来,致使两者形成各自独立的沉积格局。其北坡平缓,属于沾化凹陷的南部缓坡带,凹陷内古近系逐层超覆其上;其南坡陡倾,以深切基底的陈南大断裂与东营凹陷相邻,形成东营凹陷北断南超的构造格局<sup>[7-8]</sup>。但东营组沉积时期盆地凸—凹分割性减弱,如孤岛地垒露出水面面积在沙三段沉积早期为114 km<sup>2</sup>,在东营组沉积末期仅为6 km<sup>2</sup>。沾化凹陷东部的长堤地垒和孤东地垒与桩东凹陷水域已完全连通,沾化凹陷南部通过陈家庄凸起和埕东—青坨子凸起的沟谷部与东营凹陷沟通,陈家庄凸起南部为地势较高且相对平坦的宽缓斜坡带,凸起北部则为陡倾的斜坡带,此时济阳拗陷盆地结构整体表现为由南向北至渤中凹陷倾斜的单斜式构造。陈家庄凸起相对于南部鲁西隆起幅度明显较小,表现为水中低隆起或者局部出露水面,分隔盆地的作用减弱。通过录井、地震、测井、剥蚀厚度恢复、砂岩含量分布等方面的研究也证实了这一点。研究发现陈家庄凸起的沟谷地区仍残留东营组,例如位于东坡沟谷处的陈39井,通过地层对比认为该井在1353~1399 m处仍残留厚度为40 m的东营组,在1353 m以上为大套厚层灰白色底砾岩,单层厚度可达15 m,具有明显的馆陶组岩性组合特征,之下突

变为东营组典型的薄—中厚层灰白色夹绿色含砾砂岩,单层厚度一般为5~10 m,并且1353 m处的自然电位、电阻率和声波时差曲线都呈明显的台阶变化(图2)。通过声波时差恢复剥蚀厚度法<sup>[9-11]</sup>对河65井—坨137井—陈气11井—陈163井和罗50井东营组进行了地层厚度恢复(图3),结果表明,陈气11井和陈163井东营组地层剥蚀厚度可达740~800 m,加上现今残留厚度,恢复后东营组厚度约为780~850 m,而河65井恢复后的厚度为680 m,由此可见陈家庄凸起沟谷地区也沉积了相当厚度的东营组,东营凹陷斜坡带到陈家庄凸起沟谷地区再向沾化凹陷斜坡带东营组地层厚度逐渐增大,构造形态表现为整体向北倾斜的单斜式构造。东营组沉积后发生的东营运动使盆地差异性抬升,凸起区受到的构造应力作用更加强烈,相对盆地内部的地层抬升更加明显,造成陈家庄凸起地层剥蚀严重,残留地层厚度较薄。

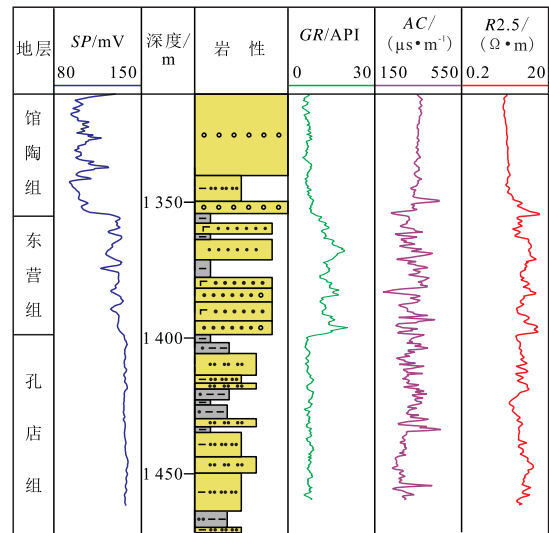


图2 陈39井综合录井结果

Fig.2 Comprehensive mud logging results of Well Chen39

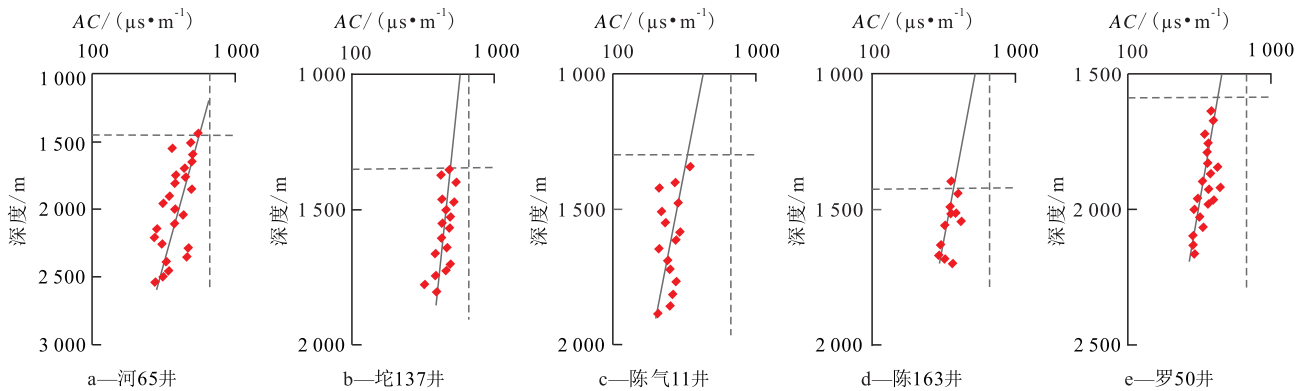


图3 陈家庄凸起东营组地层剥蚀厚度恢复

Fig.3 Stratigraphic denudation recovery of the Dongying Formation in Chenjiazhuang uplift



## 2 层序沉积相构成与特征

依据高分辨率层序地层学研究方法<sup>[12-18]</sup>,将东营组划分为3个三级层序,自下而上依次为 $Ed_3$ 、 $Ed_2$ 和 $Ed_1$ 。根据钻井、测井、岩心、地震、录井综合分析及岩相古地理研究方法,综合分析认为济阳拗陷东营组发育辫状河三角洲、河流、扇三角洲、近岸水下扇、滨浅湖、深湖一半深湖等沉积,以辫状河三角洲沉积为主。辫状河三角洲属于近物源沉积,沉积物的成分成熟度和结构成熟度介于扇三角洲和曲流河三角洲之间,搬运流体性质随季节变化较为明显,以牵引流为主,但洪水期以沉积物重力流为主。

### 2.1 $Ed_3$ 层序

$Ed_3$ 层序为东营组发育的初始阶段,以发育基准面下降半旋回为主。地层保留相对完整,陈家庄凸起的边缘局部遭受剥蚀,地层缺失。地层的发育相当于东营组的V—VI砂组。此时由于南部断层活动减弱,北部断层活动强烈,整体上盆地东北部的厚度大,一般为100~500 m,西南薄,一般为100~300 m,沉降中心位于滩海至渤中凹陷,最厚可达700 m。

$Ed_3$ 沉积时期鲁西隆起东部及垦东凸起为主要物源区,砂岩含量持续较高,约为60%~80%。其他凸起提供少量物源,砂体只沿凸起边缘分布。陈家庄凸起附近砂岩含量仅为30%~40%,说明陈家庄凸起可能不是物源区,来自鲁西隆起东部的物源沿3条高砂泥比河道跨越陈家庄凸起向北推进到邵家、罗家一带形成跨凹陷的大型辫状河三角洲沉积,同时垦东凸起提供的物源推进到富林、孤北、五号桩一带形成一套辫状河三角洲沉积,并与东营凹陷发育的辫状河三角洲沉积汇合(图4)。

车镇凹陷与沾化凹陷的北部形成连片的深

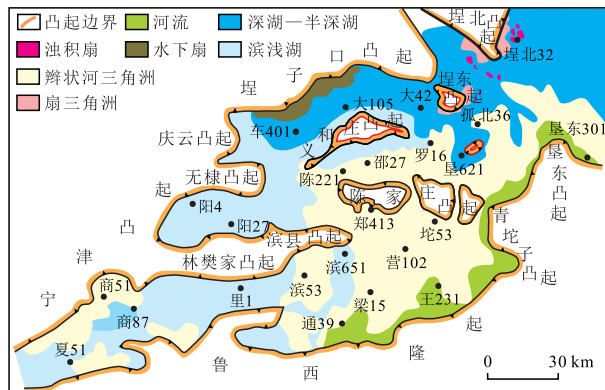


图4 济阳拗陷 $Ed_3$ 沉积相分布

Fig.4 Sedimentary facies of  $Ed_3$  in Jiyang depression

湖一半深湖沉积,物源供给贫乏,仅在北部陡坡带发育近岸水下扇,埕北凸起与埕东凸起附近发育小型扇三角洲。东北部的滩海地区以深湖一半深湖沉积为主,岩性以深灰色泥岩、油泥岩为主,仅在孤北洼陷、埕北凸起的东部局部发育三角洲前缘滑塌浊积砂体。西部惠民凹陷由于中央隆起带、林樊家构造的逐渐形成,使得南北洼陷分开,沉降中心和沉积中心均转移至西南部的临南洼陷,宁津凸起提供物源在临南地区形成独立的小型辫状河三角洲沉积,而阳信洼陷仅为一套闭塞的浅湖沉积,岩性以灰色、绿灰色泥岩为主。

### 2.2 $Ed_2$ 层序

$Ed_2$ 层序发育不对称的上升半旋回和下降半旋回,相当于东营组的III—IV砂组。该层序整体上处于湖盆演化的收缩期,在丰富的物源供给和有限的可容空间增量共同控制下,整个湖盆水体变浅。纵向上东营凹陷由早期的辫状河三角洲沉积演变为辫状河沉积,惠民凹陷发育的辫状河三角洲由东三段的进积式沉积序列演化为东二段的退积式沉积序列。车镇凹陷主要为滨浅湖相泥岩沉积,仅在车西洼陷北坡发育近岸水下扇。沾化凹陷在东二段沉积早期发育短暂上升半旋回,地层为深灰色、灰色泥岩,中后期下降半旋回非常发育,湖盆进积充填作用非常明显,广泛发育辫状河三角洲前缘砂体,一直向北延伸到埕北地区(图5)。

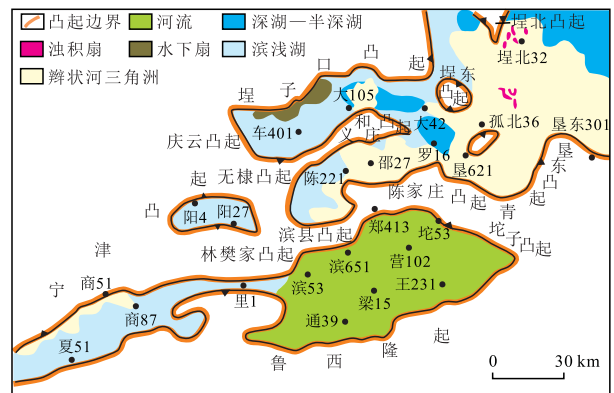


图5 济阳拗陷 $Ed_2$ 沉积相分布

Fig.5 Sedimentary facies of  $Ed_2$  in Jiyang depression

### 2.3 $Ed_1$ 层序

$Ed_1$ 层序大致相当于东营组的I—II砂组。由于长期基准面持续下降,湖盆进一步萎缩、湖水变浅,济阳拗陷东一段广泛发育河流相及滨浅湖沉积(图6),沉积物粒度较粗,河道化明显,为低角度的河流—泛滥平原沉积,红色泥岩增多。由于前期快速填平补齐的沉积作用,整个盆地东一段的地层厚



图6 济阳凹陷Ed<sub>1</sub>沉积相分布

Fig.6 Sedimentary facies of Ed<sub>1</sub> in Jiyang depression

度差异不大,一般为100~200 m,东营组沉积后受东营运动的影响,地层整体抬升遭受剥蚀,东一段的地层剥蚀程度尤其强烈,地震上可见明显的顶部削蚀特征。惠民凹陷仅在临南断层附近残留东一段,阳信地区已基本剥蚀殆尽,东营凹陷剥蚀严重,沾化凹陷地层剥蚀程度小于东营凹陷。

### 3 东营组沉积模式

东营组沉积时期构造格局不同于断陷鼎盛期,

此时鲁西隆起受渤海湾构造运动影响快速抬升,造成盆地南升北降,作为曾经分隔了南北凹陷的陈家庄凸起的隆起幅度相对鲁西隆起大大降低,盆地的分隔性减弱,盆地的构造格局由各凹陷独立的北断南超半箕状样式转化为整个济阳拗陷由南向北倾斜的单斜式构造格局。从平面上看,济阳拗陷在东营组沉积时期具有东西分异、南北一体的沉积特征。西部物源贫乏,以滨浅湖沉积为主,只是在车镇凹陷北带沿埕南断裂带发育近岸水下扇,惠民凹陷沿宁津凸起带发育小型近源辫状河三角洲。东部物源充足,盆地开阔,充足的沉积物供给及构造活动的减弱为大型辫状河三角洲沉积的发育提供了有利条件,盆地的沉积充填样式表现为东南部鲁西隆起和垦东凸起提供的物源由东营凹陷向北部沾化—滩海地区进积,由凸起带—斜坡带—深洼带形成辫状河三角洲—湖相有序过渡的沉积充填序列(图7),辫状河三角洲沉积形成于东三段沉积时期、发展于东二段沉积时期,东一段沉积时期整个济阳拗陷已过渡为辫状河沉积。平面上表现为随着时间的推移,充填样式表现为由南部的东营凹陷辫状河三角洲平原亚相、前缘亚相向北部沾化—滩海地区的前三角洲亚相过渡,前三角洲发育一定规

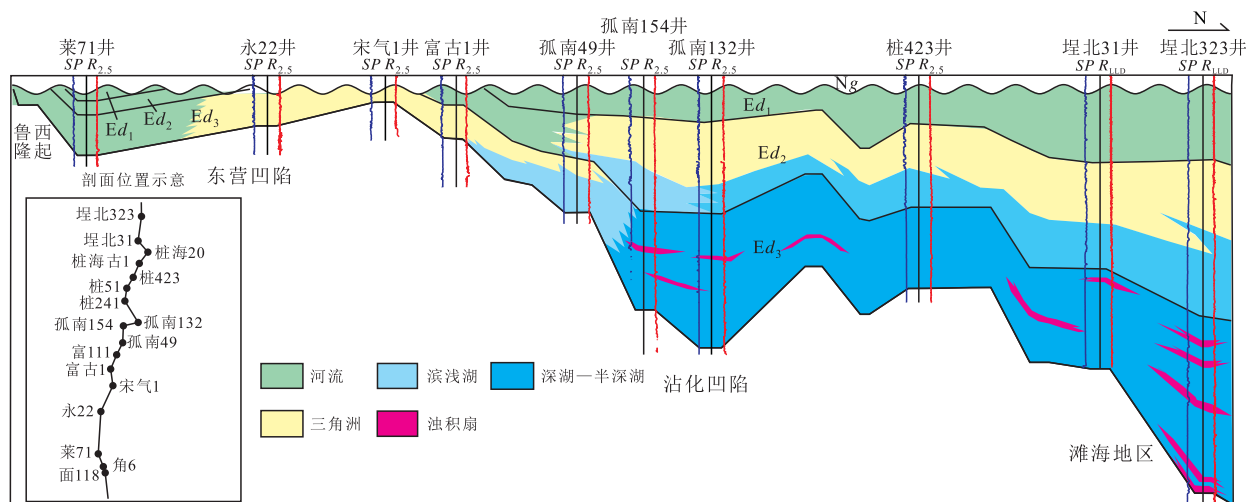


图7 济阳拗陷莱71井—孤南154井—埕北323井南北向沉积相剖面

Fig.7 Sedimentary facies section of north-south strike across Well Lai71-Gunan154-Chengbei323 in Jiyang depression

模的滑塌浊积扇。

### 4 结束语

济阳拗陷东营组沉积模式的建立突破了前人对济阳拗陷断陷末期沉积体系的认识。以往人们

认为东营组沉积时期济阳拗陷各凹陷自成体系,东营凹陷以辫状河沉积为主,河道频繁发育,缺少稳定的泥岩盖层,沾化凹陷局部发育扇三角洲沉积,砂体发育较为局限。油藏类型以构造油藏为主。东营组沉积体系的发育控制了不同类型油藏的发育。东营组油藏序列不同于断陷鼎盛期各凹陷自

成序列的油藏模式,整体上形成了由南部凸起区到东营凹陷到沾化—滩海地区的地层、构造、岩性油藏的跨凹陷油藏分布序列。东营组沉积后抬升剥蚀作用使盆地边缘及坡中隆起区形成了大面积分布的地层超剥带,这些超剥带是地层油藏发育的有利区,南部盆缘凸起区目前已在金家、尚店油田、陈家庄凸起西坡等发育相当规模的东营组地层油藏;斜坡带辫状河三角洲前缘主体发育高砂地比地区,以东营凹陷、沾化凹陷陈家庄凸起北坡为主,油藏主要发育在由断层与砂体、盖层配置形成的滚动背斜、微幅构造、断块圈闭中。高砂地比地区由于砂泥互层频繁,泥岩隔层的分布使东营组在纵向上形成多层叠置的构造圈闭,为油气聚集提供了有利场所。在沾化—滩海地区深凹带前三角洲浊积砂体中可形成自源型和它源型2种类型的岩性油藏。自源型油藏发育于3 400 m以下东营组烃源岩之中,油气可直接进入储层中聚集成藏,它源型油藏油气来自于下部沙河街组烃源岩,油气通过油源断层输入进入储层成藏。

总之,东营组跨凹陷的大型辫状河三角洲的发现将对于东营组圈闭类型、成藏规律的认识及不同类型的油藏勘探方向起到重要的指导作用。

#### 参考文献:

- [1] 吴光华,王红亮,林会喜,等.渤海湾盆地埕岛地区东营组沉积特征及其油气地质意义[J].石油与天然气地质,2009,30(1):33-41.  
Wu Guanghua, Wang Hongliang, Lin Huixi, et al. Sedimentary features of the Dongying Formation in Chengdao area and their geological significance[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(1): 33-41.
- [2] 郭秀蓉,刘晓峰,姜涛.垦西油田东营组高分辨率层序地层与沉积微相研究——以K71断块区为例[J].大庆石油地质与开发,2007,26(6):1-5.  
Guo Xiurong, Liu Xiaofeng, Jiang Tao. Study on high resolution sequence stratigraphy and sedimentary microfacies of Dongying Formation, Kenxi Oil Field—Take fault block K71 as an example[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2007, 26(6): 1-5.
- [3] 时丕同,高喜龙,杨鹏飞,等.渤海湾埕北低凸起东斜坡东营组储层特征及其控制因素[J].沉积与特提斯地质,2009,29(3):47-55.  
Shi Pitong, Gao Xilong, Yang Pengfei, et al. Reservoir quality and controlling factors of the Dongying Formation sandstone reservoirs in the eastern slope zone of the Chengbei low uplift in the Bohai Bay[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2009, 29(3): 47-55.
- [4] 彭存仓,彭德堂,罗顺社,等.孤东地区下第三系东营组沉积相[J].江汉石油学院学报,2003,25(增刊):16-20.  
Peng Cuncang, Peng Detang, Luo Shunshu, et al. Sedimentary facies of Paleogene Dongying Formation in Gudong area[J]. Journal of Jiangnan Petroleum Institute, 2003, 25(Supplement): 16-20.
- [5] 孙怡,林会喜,王红亮,等.埕岛东部东营组高分辨率层序地层学分析[J].断块油气田,2004,11(2):23-25.  
Sun Yi, Lin Huixi, Wang Hongliang, et al. Application of high-resolution sequence stratigraphy to sedimentary system of Dongying formation in Chengdao eastern slope[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2004, 11(2): 23-25.
- [6] 张鹏飞,陈世悦,张明军,等.沾化凹陷东营组三段储集层特征[J].石油勘探与开发,2007,34(3):323-327.  
Zhang Pengfei, Chen Shiyue, Zhang Mingjun, et al. Reservoir characteristics of Member3 of Dongying Formation in Zhanhua Sag[J]. Petroleum Exploration and Development, 2007, 34(3): 323-327.
- [7] 许淑梅,张晓东,刘怀山,等.济阳拗陷陈家庄凸起东南坡古冲沟沉积充填特征[J].中国海洋大学学报:自然科学版,2005,35(2):344-348.  
Xu Shumei, Zhang Xiaodong, Liu Huaishan, et al. Characteristics of ancient gullies in the south slope of Chenjiazhuang structural high in Jiyang Depression[J]. Periodical of Ocean University of China, 2005, 35(2): 344-348.
- [8] 彭传圣.陈家庄凸起及北坡油气成藏差异性[J].油气地质与采收率,2011,18(2):16-20.  
Peng Chuansheng. Differentiation of mechanisms and models of hydrocarbon accumulation in Chenjiazhuang uplift and its north slope[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2011, 18(2): 16-20.
- [9] 尚可耘,贾健谊,周祖翼,等.利用声波测井数据估算西湖凹陷地层剥蚀量[J].海洋石油,2001,18(3):12-15.  
Shang Keyun, Jia Jianyi, Zhou Zuyi, et al. Quantitative estimation of erosion for Xihu Depression: Sonic velocity analysis[J]. Offshore Oil, 2001, 18(3): 12-15.
- [10] 范昌育,王震亮,李萍.对沉积盆地剥蚀地层超补偿沉积的新认识——以东濮凹陷为例[J].沉积学报,2010,28(4):730-733.  
Fan Changyu, Wang Zhenliang, Li Ping. The new cognition for compensation sediment of eroding strata in sedimentary basin: A case from the Dongpu Depression[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 28(4): 730-733.
- [11] 王飞飞,张参,邓辉,等.含油气盆地剥蚀厚度恢复研究进展[J].地下水,2013,35(2):153-157.  
Wang Feifei, Zhang Can, Deng Hui, et al. Research on eroded strata thickness restoration in petroleum basin[J]. Ground Water, 2013, 35(2): 153-157.
- [12] Toth J. Cross-formational gravity flow groundwater: a mechanism of the transport and accumulation of petroleum (the generalized hydraulic theory of petroleum migration), problems of petroleum migration[J]. AAPG Bulletin, 1980, 10: 121-167.
- [13] Pettijohn F J. Sedimentary rocks [M]. 3rd ed. New York: Harper & Row, 1975: 1-628.