

文章编号: 1000-0550(2002)02-0210-07

# 东营凹陷下第三系高分辨率层序地层研究<sup>①</sup>

李 阳 蔡进功 刘建民

(胜利油田有限公司 山东东营 257000)

**摘 要** 本文基于构造层序分析和基准面分析原理,建立了高分辨率地层格架,强调了构造演化对层序样式的控制。断陷湖盆的层序由低位体系域、湖扩展体系域和高位体系域组成,依据其低位体系域特征以及沉积体系的空间配置关系,划分出三种层序样式,其中生长断层型的低位体系域最发育,构造坡折型低位、湖扩展和高位体系域发育齐全,这与海相被动大陆边缘层序样式有类似性;滨岸缓坡型以浅水环境沉积体系为主。构造坡折的存在,为低位扇的发育提供了广阔的空间,形成了低位三角洲、浊积扇及扇三角洲三种类型低位扇,它们是隐蔽油气藏勘探的主要对象。依据构造坡折带及低位扇发育规律,结合油气成藏条件分析,提出了新的勘探领域,经钻探取得了较好的经济效益,充分证明了层序地层学在陆相盆地中具有广阔的应用前景。

**关键词** 断陷湖盆 层序样式 低位扇 油气勘探

**第一作者简介** 李阳 男 1958年出生 教授 石油地质  
中图分类号 P539.2 文献标识码 A

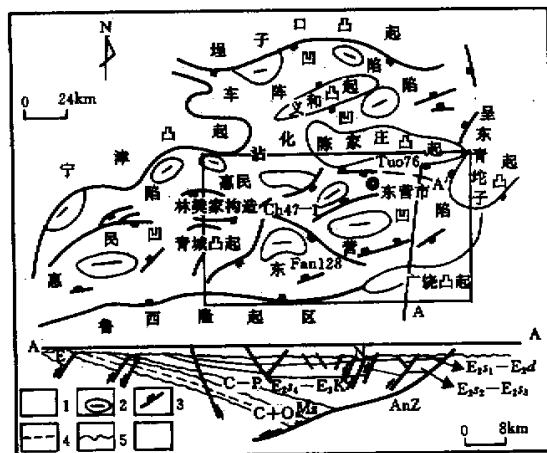
## 1 前言

层序地层学起源于海相盆地,强调海平面升降、构造作用和物源变化对层序的控制,建立了可容空间及沉积物叠置关系为特点的层序地层学理论体系。随着陆相盆地中油气资源的大量发现,层序地层学理论也向陆相盆地推广,重点强调物源变化对层序的影响。东营凹陷自九十年代以来陆续开展了层序地层学研究,分别对沉积体系、盆地充填以及构造坡折带等问题进行了论述<sup>[1,3,5,7]</sup>,但未对陆相断陷盆地中低位扇的类型和特征与油气勘探效果进行系统的分析。本文以陆相断陷盆地—东营凹陷的沉积演化为基础,探讨构造演变对层序的控制,重点分析层序构成的基本样式以及断陷盆地中低位扇的类型和特征,分析低位扇的勘探效果。

东营凹陷是渤海湾裂谷系内大型宽缓的中、新生代张扭型半地堑伸展盆地<sup>[1]</sup>。该凹陷位于济阳拗陷东隅,呈NEE走向,面积5 700 km<sup>2</sup>,其基本构造格局为北断南超、北陡南缓,在凹陷四周被凸起所围绕。凹陷被NW向断裂分割为东西两个部分,西部为博兴凹陷,东部又被晚期NE向盐膏拱张背斜分割为轴向近NEE的3个洼陷(图1)。

## 2 高分辨率层序地层格架

依据层序界面特征,东营凹陷下第三系可划分出一个构造层序,属主裂陷期充填沉积,其顶、底分别以



1. 研究区 2. 洼陷 3. 断层 4. 平行不整合 5. 角度不整合

图1 东营凹陷区域构造位置图

Fig. 1 Structural map in Dongying depression

SB1和SBR区域不整合面为界,由孔店组层序组(SQ1)、沙四段层序组(SQ2)、沙三段+沙二段下部层序组(SQ3)、沙二段上部+沙一段+东营组层序组(SQ4)4个层序组和14个层序组成

孔店组层序组(SQ1)介于SBR与SB7区域不整合界面间,其时间跨度约为10.5~14.6 Ma,厚度最大达2 000 m,可识别出3个断陷盐湖型层序(孔三段层

① 2001年沉积学大会获奖论文

收稿日期 2001-11-22

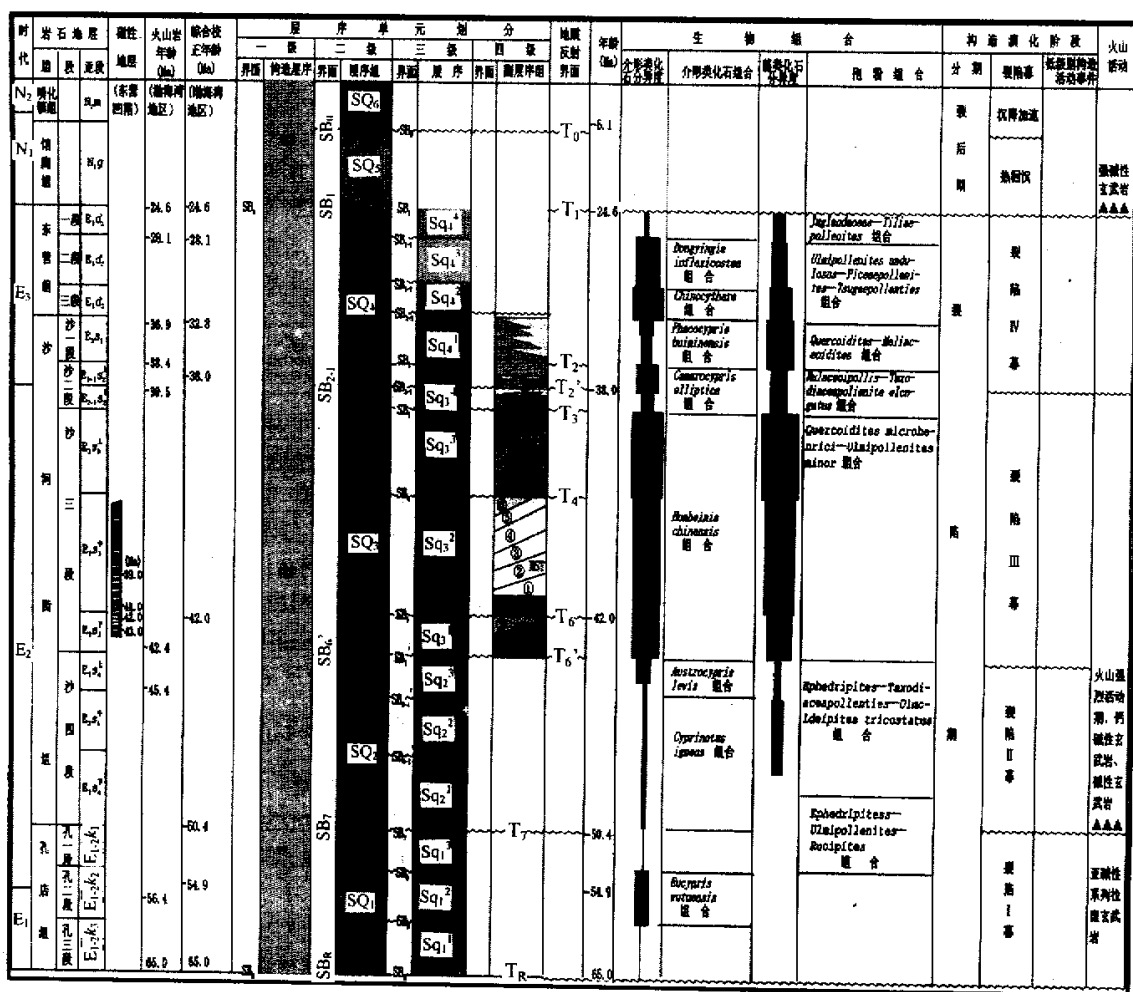


图 2 东营凹陷下第三系层序地层序列

Fig. 2 Paleogene sequence stratigraphic framework in Dongying depression

序 (Sq11) 孔二段层序 (Sq21) 和孔一段层序 (Sq11)) (图 2)。各层序的特征为:①各层序单元具明显的不对称性,通常地堑或半地堑西北主断裂陡坡的沉积厚度大于东南缓坡;②同一层序的顶底界面在盆缘表现为明显的角度不整合,而向盆内则过渡为整合面;③各层序以发育盐湖韵律层和膏盐层的交互沉积为其主要特征,剖面上具明显的二分性。

沙四段层序组 (SQ2) 介于 SB7 与 SB6' (T6') 界面间,厚约 300~2 000 m,时间跨度为 8 Ma,可划分出 3 个大型陆相断陷湖盆型层序(沙四下层序 (Sq12)、沙四中层序 (Sq22)、沙四上层序 (Sq32) (图 2))。垂向上由粗到细,湖水由浅到深的沉积旋回,各层序的沉积特征为:①以半深湖相泥岩、粉砂质泥岩沉积为主体,间夹浊积砂体,大型前积复合体少见。②在盆内由细粒

沉积物组成,在盆缘则表现为进积向退积叠置关系的转化。③盆缘断裂对层序的厚度控制明显,表现为盆缘主断层侧发育陡坡冲积扇-扇三角沉积。

沙三+沙二下层序组的顶底界面为 SB6' (T6') 和 SB2' (T2') 区域不整合面,厚约 1000—2700 m,由沙三下层序 (Sq13)、沙三中层序 (Sq23)、沙三上层序 (Sq33) 和沙二下层序 (Sq43) 4 个层序组成。各层序的充填特征均具明显的三分性,下部在缓坡为下切河道和风化层,在盆内为半深湖相泥岩,在陡坡则扇体发育;中部主要为深湖或半深湖油页岩、白云质泥岩和钙质泥岩沉积;上部在陡坡为冲积扇-扇三角洲,在缓坡为辫状冲积平原和辫状河三角洲及在盆内则在半深湖-滨浅湖相砂质泥岩以及大型三角洲砂岩。

沙二上+沙一+东营组层序组包括沙二上+沙一

段层序(Sq14)、东三段层序(Sq24)、东二段层序(Sq34)和东一段层序(Sq44)4个层序,以滨浅湖相沉积为主。各层序的中部厚,两侧薄,并向两侧呈上超的“碟状”形态,表明盆缘断裂对层序的控制不明显,盆地处于整体沉降的阶段。

### 3 层序构成样式

断陷湖盆的层序由低位体系域、湖扩展体系域和高位体系域组成<sup>[24]</sup>,它们与构造关系密切。依据其低位体系域及其内部沉积体系构成上的差异、湖水深度变化和不同体系域中沉积体系的空间配置样式,层序构成样式划分为生长断层型、构造坡折型和缓坡型(表1)。

#### 3.1 生长断层型

该类层序样式以孔店组层序组为代表(图3),低位体系域为其沉积主体,湖扩展体系域和高位体系域难以区分,垂向结构上可划分出下部以低水位的粗碎屑夹膏盐层和上部以湖扩展和高位体系域的含膏泥岩和季节韵律泥岩为特征。各体系域特征为:①低位体系域(LST)主要发育于生长正断层内侧,如陈南断裂的内侧和石村断裂东西两端是有利发育区;②湖扩展体系域(EST)为滨浅湖、滩坝(南部缓坡侧)→浅湖韵律沉积(盆中)→退积近岸扇三角洲(北陡坡生长断层侧);③高位体系域为缓坡暴露、剥蚀,盆中盐湖和韵律沉积互层,北陡坡生长断层侧冲积扇—扇三角洲。

#### 3.2 构造坡折型

该类层序样式以沙四层序组,沙三和沙二下层序组为特征,是东营凹陷最主要的目的层序段,低位、湖

扩展和高位体系域发育齐全,这与海相被动大陆边缘层序样式有类似性。各体系域特征为:①低水位期的骨架沉积体系沿盆地的短轴方向分布,形成冲积扇、扇三角洲、近岸水下扇和较远岸的低位浊积扇等各类扇体,这也是低位扇发育的有利时期;②湖扩展期湖水面急速上升,盆内的骨架体系退积、消亡,深湖—半深湖相沉积层向盆缘上超,形成东营凹陷中广泛分布的巨厚的烃源岩层或盖层;③高水位期是三角洲发育期,沿盆地的长轴方向形成了高位三角洲,在短轴方向则发育高位的扇三角洲(北侧)和辫状河三角洲(南侧)。

#### 3.3 滨岸缓坡型

该层序样式以沙二上和东营组的四个层序为代表,由于构造作用减缓,盆地始终趋于超补偿状态,导致湖盆始终趋于浅水环境,地层结构为“碟状”上超形态。各体系域特征为:①低水位时期主要发育冲积平原沉积;②湖扩展期,湖平面上升迅速覆盖整个凹陷,形成向湖岸上超的滨浅湖相灰岩层和生物灰岩层;③高水位期周缘的辫状河三角洲、扇三角洲、小型湖三角洲向盆内进积,直至填充凹陷。

## 4 低位扇类型及特征

依据低位扇发育位置和沉积特征的差异划分出低位三角洲、浊积扇(远岸浊积扇、近岸浊积扇、滑塌浊积岩)及扇三角洲三种类型(图4)。

#### 4.1 低位三角洲

该类是低位扇中一种常见的沉积类型,发育于盆地短轴方向的缓坡区,其构造坡折带一般较窄,坡折带所造成的坡降较小,沉积区水体较浅,河流无明显的下

表1 东营凹陷三种层序样式的沉积体系及其配置样式

Table 1 Sedimentary system and collocating model of three kinds sequences in Dongying depression

区带		缓坡侧(南侧)	湖盆	陡坡侧(北坡)	沉积主体及层位
类型					
生长断层型	HST	剥蚀	盐湖	冲积扇—扇三角洲	低位和湖扩展体系域 (孔店组)
	EST	滨浅湖、滩坝	浅湖	滨浅湖退积扇三角洲	
	LST	暴露、剥蚀	盐湖	低位冲积扇	
构造坡折型	HST	辫状河三角洲	半深湖—轴向三角洲	深水扇三角洲	低位,湖扩展和高位体系域(沙四中—沙二下亚段)
	EST	滨浅湖	深湖—半深湖	深湖—半深湖	
缓坡型	HST	辫状三角洲	滨湖—浅湖	扇三角洲	湖扩展和高位体系域(沙二上—东营组)
	LST	下切河道,暴露、剥蚀	半深湖、低位扇	盆底扇(低位扇)	
	EST	滨湖	浅湖	滨湖	
	LST	暴露、剥蚀	冲积平原	暴露、冲积扇	

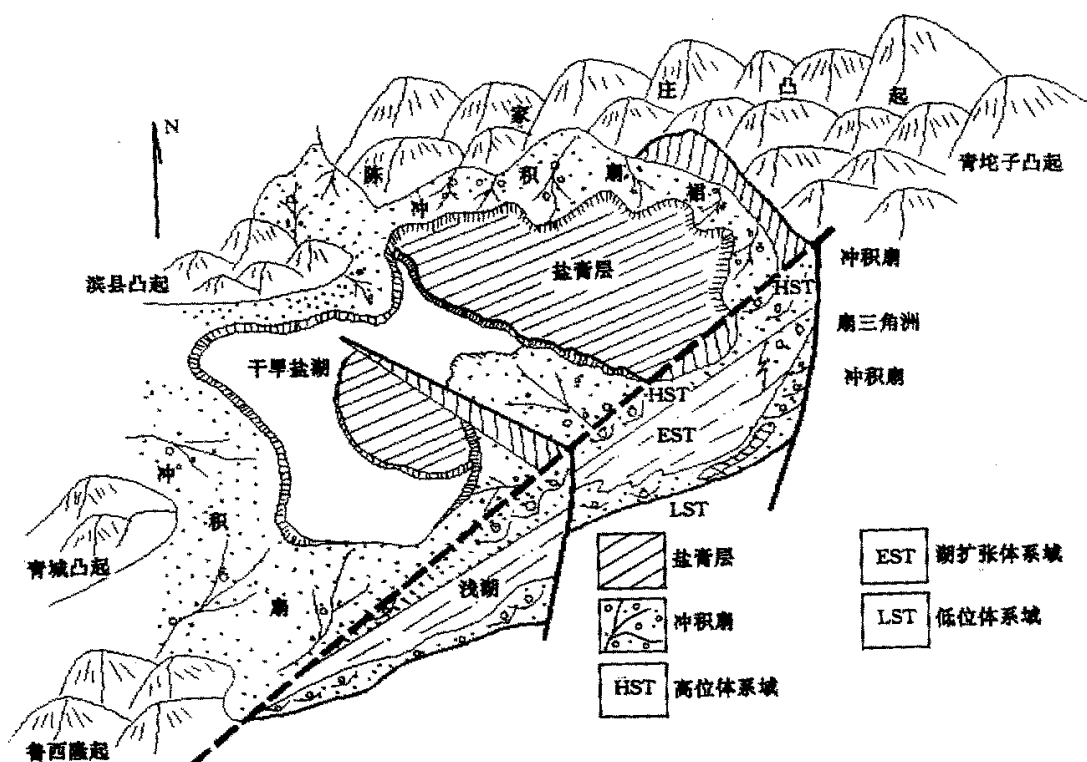


图 3 陆相大型断陷湖盆生长断层型层序模式图

Fig. 3 Sequence stratigraphic model developed in growth fault system in large faulted lake basin

切或仅下切到滨线附近。沉积上具有三角洲的典型特征,岩性以粉、细砂岩为主,偶含砾,但与高位三角洲相比,规模较小。

### 4.2 浊积扇

该类低位扇依据离岸远近的差异分为远岸浊积扇、近岸浊积扇和滑塌浊积岩。

①远岸浊积扇发育于盆地短轴方向的缓坡区,受构造坡折带明显控制,坡折带宽,坡降较大,沉积物能够较长距离搬运而达到深湖—半深湖区,坡折带上有明显的下切补给水道,靠近湖岸的浅水区可发育扇三角洲,这种扇三角洲可为浊积扇提供部分物源,在沉积特征上,从补给水道—主水道—辫状水道—外扇,岩性明显由粗变细,补给水道、主水道以巨砾、粗砾为主,辫状水道以中细砾、中粗砂为主,外扇则以粉细砂为主。

②近岸浊积扇发育于陡坡带,靠近陡坡边界断层的深水区坡降很小,甚至反倾,沉积物搬运不远,使得沉积区离物源区很近,暴雨期,洪水携带沉积物直接或经过短距离的搬运而进入深湖—半深湖区进行卸载,向岸方向的浅水区多为较小洪水期所形成的扇三角洲。若存在断阶,则断阶上常发育下切水道,断阶以下发育浊积扇,古凸起和先期扇三角洲是其物源,当沉积

区存在与边界主断层相交的断层时,则该断层往往控制浊积扇的展布。在沉积特征上岩石颗粒粗、以砾岩、含砾砂岩为主,规模相对远岸浊积扇来说,总体要小得多。

③滑塌浊积岩发育于盆地中央洼陷带,受轴向水流的控制,常以透镜状分布在生油岩中,易于形成典型的透镜状或上倾尖灭状岩性油藏。

### 4.3 低位扇三角洲

陡坡、坡降较大的缓坡均可发育该沉积类型的低位扇。在陡坡处主要发育于边界断裂附近。对于有断阶的陡坡,当湖平面位于断阶上时,扇三角洲在断阶上发育,当湖平面处于断阶以下时,若水体较浅,则仍可发育扇三角洲,若水体深时,多发育近岸浊积扇,而断阶之上,河流下切,沉积物呈过路作用。类似于具陆架坡折的情况。另外,不同的断层组合形式可对扇三角洲的展布产生很大的影响。

## 5 低位扇勘探效果分析

### 5.1 低位扇成藏条件分析

东营凹陷低位扇广泛发育,其低位砂体均分布在油页岩、深湖相泥岩组成的湖泊扩张体系域与高位域

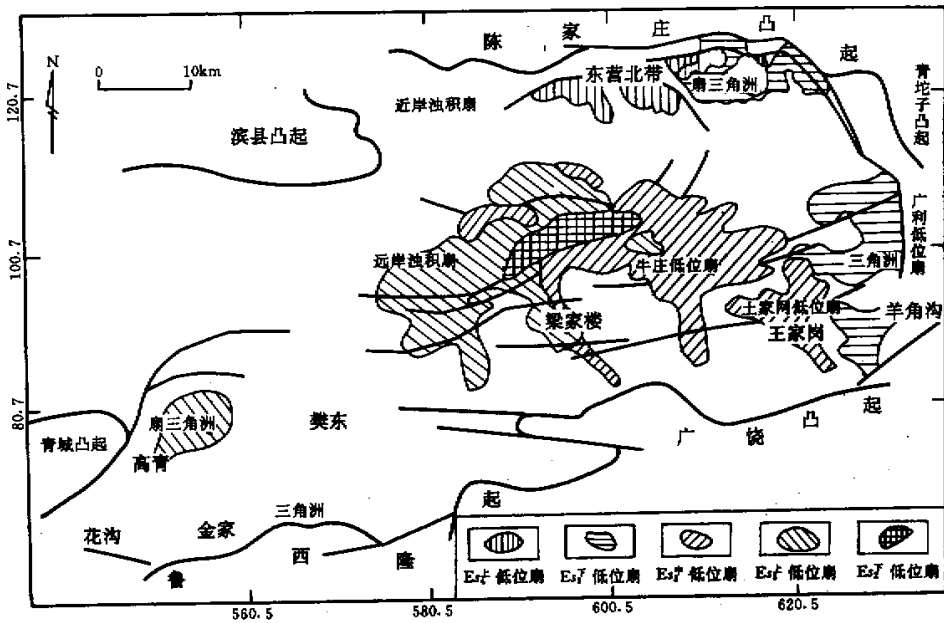


图4 东营凹陷主要低位扇体分布图

Fig. 4 Diagram showing lowstand fans distribution in Dongying depression

前三角洲灰色块状泥岩之下,具有良好的成藏条件。首先,油页岩、深湖相泥岩和前三角洲灰色块状泥岩是良好的高效烃源岩,油源条件良好;其次,下切水道充填、浊积扇、低位三角洲和扇三角洲前缘砂体,均是良好的油气储集层;第三,构造坡折带不仅有利于低位扇形成,而且能形成构造—岩性圈闭,同时构造坡折带也是油气运移的良好通道。这为油气藏的形成创造了良好的条件。

### 5.2 低位扇油气勘探对策

在断陷盆地中由于构造坡折型层序样式的存在,为低位扇的发育提供了广阔的空间,各类低位扇体是隐蔽油气藏勘探的主要对象,因此对其类型及特征的研究具有重要的意义。

东营凹陷低位扇从东向西依次发育沙四下段和沙三下、沙三中和沙三上以及沙二下低位扇,这与东营三角洲自西向东推进以及构造坡折的存在密切相关。近岸浊积扇和低位扇三角洲在  $E_{s3}^{\text{下}}$ 、 $E_{s3}^{\text{中}}$ 、 $E_{s3}^{\text{上}}$  上时期发育,主要分布于东营凹陷的北带及高青地区。低位三角洲和远岸浊积扇主要发育于东营凹陷的南坡,如羊角沟 ( $S_3^{\text{下}}$ )、博兴洼陷花沟 ( $S_3^{\text{下}}$ )、金家 ( $S_3^{\text{中}}$ )、樊东地区 ( $S_3^{\text{上}}$ ) 以及王家岗 ( $S_3^{\text{中}}$ )、梁家楼 ( $S_3^{\text{上}}$ ) 等地区。

由于陆相断陷盆地不同区域层序样式的不同分布,造成了低位扇类型的差异。因此,在油气勘探中应制定不同的对策,选择不同的勘探技术。首先,根据沉

积体系与同生断层的展布特点开展高分辨率层序地层学研究,开展小层段对比,编制小层段地层等厚图,确定勘探目标区;其次,应用常规三维地震资料、测井约束反演、速度滤波等方法对低位扇砂体进行预测与描述,预测低位扇砂体的空间展布;第三,开展成藏条件研究,其中埋深大于 2 900 m、位于断层附近或被断层切割的砂体含油性最好,是优选勘探的砂体。多年来的勘探实践中建立起来的低位扇油气勘探对策是可行的,已取得了巨大的经济效益。

### 5.3 低位扇油藏实例

根据低位扇发育于层序底部、构造坡折带下方的特点,结合成藏条件的分析,开创了寻找东营凹陷下第三系低位扇砂体油藏的新领域,坨71低位扇油藏的发现是其典型实例。

坨71低位扇发育于东营凹陷北陡坡西段胜北断层的下降盘,属  $Sq_{23}$  层序的低位扇。在地震剖面上该扇体发育在  $T_6'$  反射轴之下,为高速层。沉积类型上属浊积扇,包围于生油岩中,油源条件优越,成藏条件良好,岩性的上倾尖灭以及扇体与断层相结合形成构造岩性圈闭(图5)。

## 6 结论

(1) 断陷湖盆不同构造演化期形成了不同类型的层序组,具有不同的层序样式。

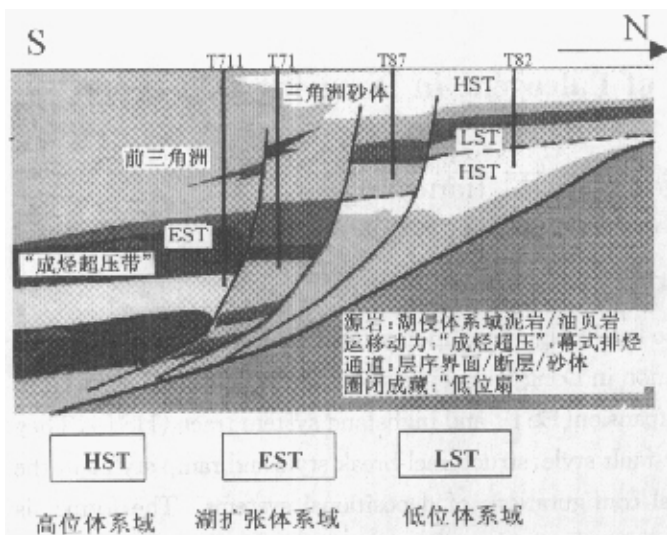


图 5 坨 71 低位扇油藏模式

Fig. 5 Reservoir model of lowstand fans Tuo71 block

(2) 断陷湖盆的层序由低位体系域、湖扩展体系域和高位体系域组成,它们与构造关系密切。生长断层层序样式低位体系域为其沉积主体,湖扩展体系域和高位体系域难以区分,构造坡折型层序样式低位、湖扩展和高位体系域发育齐全,这与海相被动大陆边缘层序样式有类似性;滨岸缓坡型层序样式由于构造作用减缓,盆地始终趋于超补偿状态,导致湖盆始终趋于浅水环境,地层结构为“碟状”上超形态。

(3) 在断陷盆地中由于构造坡折型层序样式的存在,为低位扇的发育提供了广阔的空间,形成了低位三角洲、浊积扇(远岸浊积扇、近岸浊积扇)及扇三角洲三种类型低位扇,分析了沉积特征及发育规律,指出各类低位扇体是隐蔽油气藏勘探的主要对象。

(4) 依据构造坡折带及低位扇发育规律,结合油气成藏条件分析,提出了新的勘探领域,经钻探取得了较好的经济效益,充分证明了层序地层学在陆相盆地中具有广阔的应用前景。

参 考 文 献 (References)

1 冯有良. 东营凹陷下第三系层序地层格架及盆地充填模式[J]. 地球

科学, 1999, 24(6): 635~642 [Feng Youliang. Stratigraphic framework and model of filled basin of Paleogene of Dongying depression[J]. Earth Science, 1999, 24(6): 635~642]

2 李思田, 程守田, 杨士恭等. 鄂尔多斯盆地东北部层序地层及沉积体系分析[M]. 北京: 地质出版社, 1990. 13~21 [Li Sitian, Chen Shoutian, Yang Shigong, et al. Analysis on sequence stratigraphy and sedimentary system of east-northern Ordos basin[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1990. 13~21]

3 蔡进功, 姜秀芳, 范存堂. 东营盆地始新统沉积体系及盆地演化[J]. 沉积学报, 1995, 13(增刊): 27~37 [Cai Jingong, Jiang Xiufang, Fan Chuntang. Eocene sedimentary system and basin evolution in Dongying basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1995, 13: 27~37]

4 李思田. 含能源盆地沉积体系[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996. 1~11 [Li Sitian. Sedimentary system of bearing-energy basin[M]. Wuhan: Publishing House China Geology University, 1996. 1~11]

5 林畅松, 潘元林, 肖建新等. 构造坡折带——断陷湖盆层序和油气预测的重要概念[J]. 地球科学, 2000, 25(3): 260~267 [Lin Changsong, Pan Yuanlin, Xiao Jianxin, et al. The structural structural break zone—the importance conception of sequence and hydrocarbon predicting in faulted lake-basin[J]. Earth Science, 2000, 25(3): 260~267]

6 姚益民. 中国油气区下第三系[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994. 1~70 [Yao Yimin. Paleogene in China hydrocarbon section[M]. Beijing: Petroleum Industrial Publishing House, 1994, 1~70]

7 解习农, 陆泳潮. 断陷盆地构造作用与层序样式[J]. 地质论评, 1996, 42(3): 33~43 [Xie Xinong, Lu Yongchao. Tectonic and sequence model in faulted basin[J]. Geological Review, 1996, 42(3): 33~43]

8 Losh S, Eglinton L, Schoell M, Wood J. Vertical and lateral fluid flow related to a large growth fault, South Eugene island block 330 field, offshore Louisiana[J]. AAPG Bulletin, 1999, 83(2): 244~276

9 Shanley K W, McCabe P J. Perspective on the sequence stratigraphy of continental Strat[J]. AAPG Bulletin, 1994, 78(4): 544~568

10 Strecker U, Stridtmann J R, Smithson. A conceptual tectonostratigraphic model for seismic facies migration in a fluvio-lacustrine extensional basin[J]. AAPG Bulletin, 1999, 83(1): 43~61

11 Van Wagoner J C, Mitchum R M, Campion K M, et al. Siliciclastic Sequence Stratigraphy in Well, Cores and Outcrops: Concept for High-Resolution Correlation of Time and Facies[J]. AAPG Methods in Exploration series, 1990, (7): 1~55

12 Wang C, Xie X. Hydrofracturing and episodic fluid flow in shale rich basin: a numerical study[J]. AAPG Bulletin, 1997, 82(10): 1857~1869

## High-resolution Sequence Stratigraphy of Paleogene in Dongying Depression

LI Yang CAI Jing-gong LIU Jian-ming

( Shengli Oilfield Limited Corporation ,Dongying Shandong 257000 )

### Abstract

Based on the analyses of structural sequences and base level , high-resolution stratigraphic framework is established and suggested a tectonic control on sequences formation in Dongying depression. The sequences developed in faulted lake-basin are composed of lowstand ( LST ) , lake expansion ( EST ) and highstand system tracts ( HST ). They can be further grouped into three sequence styles , growth -fault style , structural-break style and ramp style , in the light of the features of lowstand system tracts and spatial configurations of depositional systems. The former is dominated by lowstand system tracts , the second is composed of complete three component system tracts ( LST , EST and HST ) , which is similar to the pattern developed in marine passive continental margin , the last one is dominated by shallow-lake depositional packages. The structural break provides substantial accommodation space for the development of lowstand fan , which include lowstand deltas , turbiditic fans and fan-deltas. They are the major exploration targets for subtle hydrocarbon reservoir , which are of good commercial significances proven by drilling. This study shows a prosperous application of sequence stratigraphy into the exploration in continental basins.

**Key words** faulted lake basin , sequence style , lowstand fans , hydrocarbon exploration