

文章编号: 1000-0550(2004)01-0067-06

东营凹陷下第三系层序地层研究与隐蔽油气藏预测

张德武¹ 冯有良^{1,2} 邱以钢^{1,3} 闵伟¹ 郭玉新¹ 赵乐强¹ 向立宏¹

1(胜利油田地质科学研究院 山东东营 257015) 2(中国石油勘探开发研究院博士后流动站 北京 100083)

3(中国地质大学 北京 100083)

摘要 应用层序地层学理论,利用地震、测井、岩心和分析化验资料,建立了东营凹陷下第三系层序界面识别标志,把东营凹陷下第三系划分为1个超层序组,4个超层序,10个层序,进行体系域划分,建立了东营凹陷下第三系层序地层格架。构造坡折带是指由同沉积构造长期活动引起的沉积斜坡明显突变的地带,对盆地充填的可容纳空间和沉积作用可产生重要影响。通过层序地层格架与构造坡折带的研究,建立东营凹陷层序发育模式。受构造坡折带控制的层序低位域砂体和湖侵体系域砂体,成藏条件良好,最有利于形成隐蔽油气藏。

关键词 东营凹陷 层序地层 构造坡折带 低位域砂体 隐蔽油气藏 下第三系

第一作者简介 张德武 男 1972年7月出生 工程师 石油地质

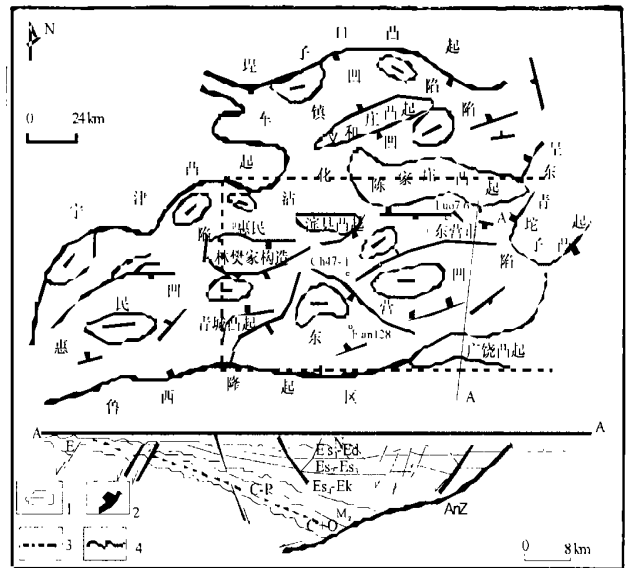
中图分类号 P539.2 **文献标识码** A

层序地层学理论和分析方法对含油气盆地油气勘探的指导作用表现日益明显,并越来越受到石油勘探界的重视^[1]。国内外均有应用层序地层学的方法进行油气勘探取得成功的实例^[2]。因此应用层序地层学的方法,在已有三十多年勘探历史的东营凹陷进行层序地层学的研究,探索一套适用陆相断陷盆地层序地层的分析方法,用于指导隐蔽油气藏勘探,对中国东部类似盆地隐蔽油气藏的勘探具有现实的指导意义。

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。该凹陷位于济阳拗陷东隅,呈北东东走向,面积5 700 km²。其西以青城凸起、林樊家构造为界与惠民凹陷毗邻。南与鲁西隆起、广饶凸起呈超覆关系。东与青东凹陷沟通,北以滨县凸起、陈家庄凸起为界与沾化凹陷为邻。其基本构造格局为北断南超、北陡南缓。凹陷被北西西向断裂分割为东西两个部分,西部为博兴凹陷、东部又被晚期北东东向盐膏拱张背斜分割为轴向近北东东向的三个洼陷(图1)。

1 层序界面识别标志及划分方案

在层序地层学中,层序定义为以不整合面或与不整合面相对应的整合面为界的一套相对整合的、成因上相互关联的地层序列^[3]。识别层序的关键是建立层序界面识别标志、识别不同级别的不整合面及与之对应的整合面。



1. 洼陷; 2. 断层; 3. 平行不整合; 4. 角度不整合

图1 东营凹陷区域构造位置图

Fig. 1 Regional tectonic location of Dongying depression

一般来说一级层序界面为较大规模的不整合面,面积超过盆地或占据盆地大部分区域;二级层序界面对应的不整合面分布在盆地边缘;三级层序界面对应的不整合面仅分布于局部地区。这些层序界面可以从地震剖面上识别。层序界面的地震反射特征为上超、下超、顶超和削截(图2)。

受东营运动的影响,东营凹陷下第三系沉积末期发生整体抬升,湖平面下降,沉积物露出水面,遭受长

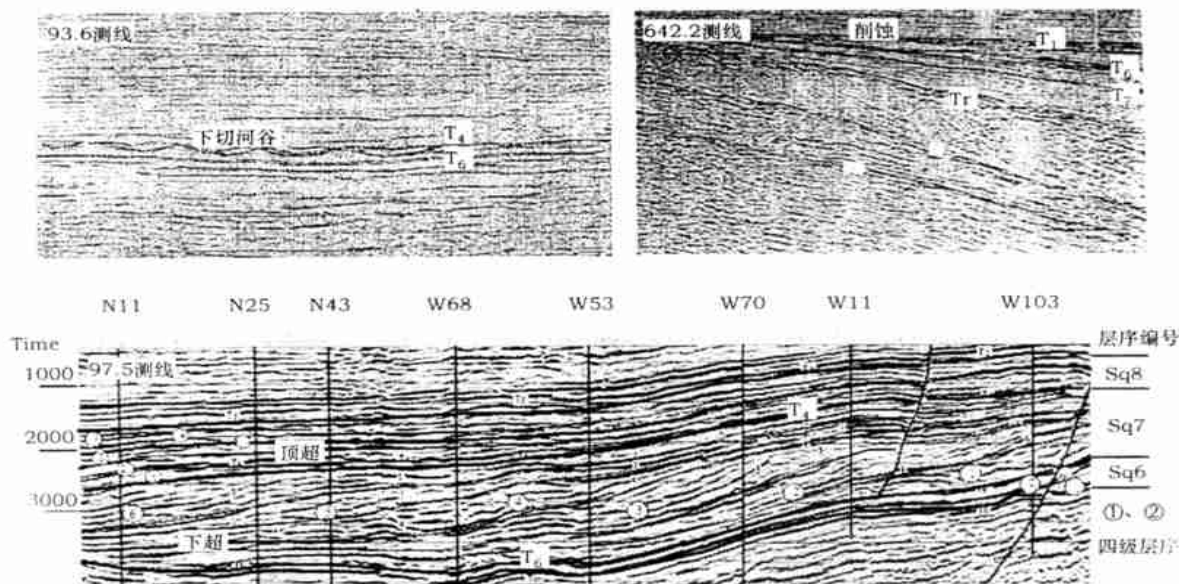


图2 层序界面的地震反射特征

Fig. 2 Seismic reflection characteristics of sequence boundaries

时期的风化、剥蚀,形成区域大范围的不整合,横向上延伸距离长,纵向上持续剥蚀时间久,642.2测线地震剖面上,T1反射同相轴下可见明显的削蚀现象,为一级层序界面。

二级层序界面 T_6' 在 596.4 地震剖面上可见削截现象。 T_6' 在湖盆的边缘地区,特别是在远离边界断层的斜坡地带可见到明显的上超、削蚀等反射终止现象。

在 93.6 测线地震剖面上,西部 T_4 反射同相轴之下可见小型下切水道特征。它产生的原因为:在层序低位域的早期,湖平面快速下降,河流下切,原始地层表面受到冲刷、侵蚀造成的,为三级层序界面。在东部 97.5 测线地震剖面上, T_4 轴下还可见到顶超现象。由于不同期次的三角洲沉积体系沉积的时间相差较大,具有较强的波阻抗差,表现在 97.5 测线地震剖面上为较强的前积反射,如图中的、等,我们可以据此划分四级层序。

在测井曲线上,层序界面附近自然电位曲线基线明显偏移,自然伽马能谱测井 Th/U 剧增,有若干明显的峰值,视电阻率值突增或突减。在岩相上,层序界面附近,出现反映有沉积间断特征的岩性组合,如反映地表暴露的土壤或根土层。特别在盆地边缘,岩性组合表现为明显的差异性,垂向相分析中会发现上下相序不连续,不符合沃尔索相率,穿过此界面沉积相带向盆地移动显著,反映湖平面快速下降。在古生物组合特征上,层序界面上下古生物组合具有明显的变化,甚至在局部地区存在化石带的缺失。根据上述层序界面识别标志,把东营凹陷下第三系划分为以下三个层序级

别:

(1) 超层序组(SSQS,一级层序)

东营凹陷下第三系为一个超层序组(表1),对应构造运动的裂陷期。其顶、底界面分别为上第三系与下第三系之间的界面和下第三系与中生界之间的界面,地震剖面上分别对应着 T_1 、 T_r 。

(2) 超层序(SSQ,二级层序)

东营凹陷下第三系有四个超层序 SSQ1(孔店组);SSQ2(沙四段);SSQ3(沙三下-沙二下);SSQ4(沙二上-东营组)。SSQ3 对应裂陷期的裂陷幕,地震剖面上以斜交前积反射为主,是由于湖盆断陷下沉,河流携带大量泥沙流入湖盆,三角洲沉积活跃。SSQ4 对应裂陷期的收敛幕,地震剖面上以平行、亚平行为主,说明湖盆沉积环境比较稳定,构造活动相对较弱。

(3) 层序(SQ,三级层序)

各超层序内据层序界面的发育特征及湖平面的旋回可划分出不同的层序。SSQ1 超层序可划分出 3 个,SSQ2 超层序可划分出 2 个,SSQ3 超层序可划分出 3 个,SSQ4 超层序可划分出 2 个层序共 10 个三级层序。三级层序界面在地震剖面上反射特征较明显的有:SQ10 底 T_1' ,SQ8 底界 T_4 ,SQ7 底界 T_6 。

(4) 体系域

体系域是同期沉积体系的组合。层序可划分为不同的体系域:包括低位体系域(LST)、湖侵体系域(TST)和高位体系域(HST)。首次湖泛面与最大湖泛面是将各体系域分开的界面。

初始湖泛面的识别:湖平面下降到最低点,相对稳

表 1 东营凹陷下第三系层序地层划分表

Table 1 The classification of Lower Tertiary sequence stratigraphy in Dongying depression

界	地层系统			综合年龄 / Ma	层序级别			地震界面	地震反射终止类型	内部结构	构造运动			
	系	组	段		亚段	一级	二级				三级	收敛幕	裂陷幕	
新 生 界	下 第 三 系	馆陶组			24.6	SSQS	SSQ4	T ₁	上超/ 削蚀	平行、亚平行	裂 陷 期	拗陷期		
		东营组	沙一段		32.8			SQ10	T ₁ '	顶超/ 削蚀		前积反射、亚平行	收敛幕	
														沙河街组
		下亚段	T ₂ '											
		沙三段	上亚段	42.0	SSQ3			SQ8	T ₃	下超/ 顶超		亚平行反射、斜交前积反射、S型斜交前积反射	裂陷幕	
			中亚段					T ₄						
		沙四段	下亚段	50.5	SSQ2			SQ7	T ₆	下超/ 顶超		斜交前积反射	裂陷幕	
			上亚段					SQ6	T ₆ '					下超/ 削蚀
		孔店组	孔一段	下亚段	54.9			SSQ1	SQ5	T ₇		削蚀	斜交前积反射	
				上亚段					SQ4					
下亚段	SQ3													
孔店组	孔二段		65.0	SSQ1	SQ2	Tr	削蚀	斜交前积反射	初始裂陷幕					
					孔三段					SQ1				

定之后,缓慢上升,由于构造、气候、海侵等因素的影响,使湖平面开始快速上升时的位置。地震剖面上,对应了最低的湖岸上超点。首泛面之上,地震相为平行、亚平行反射,连续性中等偏好;首泛面之下,地震相多为杂乱或空白反射。

最大湖泛面的识别:最大湖泛面是在湖平面快速上升,岸线不断向陆迁移至最大限度时湖平面所处的位置。该时期由于湖盆可容空间增加速率远大于沉积物供给速率,盆地中心处于沉积饥饿状态,接受了细粒薄层的“密集段”沉积。密集段在地震剖面上表现为强振幅、高连续反射同相轴,与最远的湖岸上超点对应,东营凹陷 T2 反射层为 2~3 个相位的强振幅、连续性好、中频率的反射,全区分布稳定,易于追踪对比。

图 3 为 SQ8 的单井体系域划分。低位域为一套浊积砂体,其特点为:厚层碎屑岩夹泥岩、灰质砂岩,SP 曲线呈箱状,具有完整的沉积旋回和正韵律的特点。湖侵体系域为薄层灰色灰质粉砂岩与深灰色泥岩及灰质泥岩、灰质白云岩互层。前三角洲相的厚层块状泥岩的出现标志着高水位域的开始。再向上则为三角洲平原相的灰色粉细砂岩、中砂岩夹薄层深灰色泥岩。

2 层序格架特征

以上述层序界面识别标志和层序划分序列为基础,对东营凹陷主要探井进行层序划分与对比,对二维、三维地震剖面进行层序解释,两者结合就可以建立该区以三级层序为基础的层序地层格架。东营凹陷轴向沉积体系发育,形成了大型三角洲进积充填,东西向

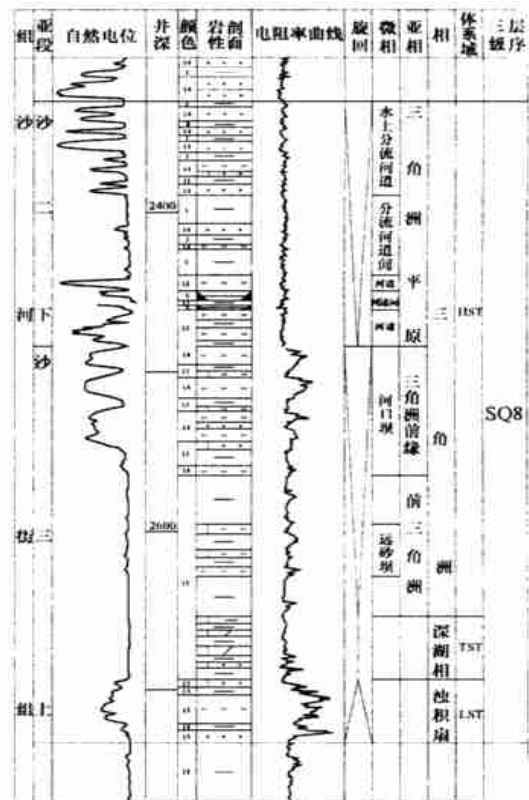


图 3 东营凹陷 SQ8 单井体系域分析

Fig. 3 System tract division of SQ8 in Dongying depression

104.6 测线的层序格架剖面能较好反映东营凹陷下第三系层序格架和地层的发育特征(图 4)。

从该层序剖面上我们可以看出, SQ6、SQ7、SQ8 由

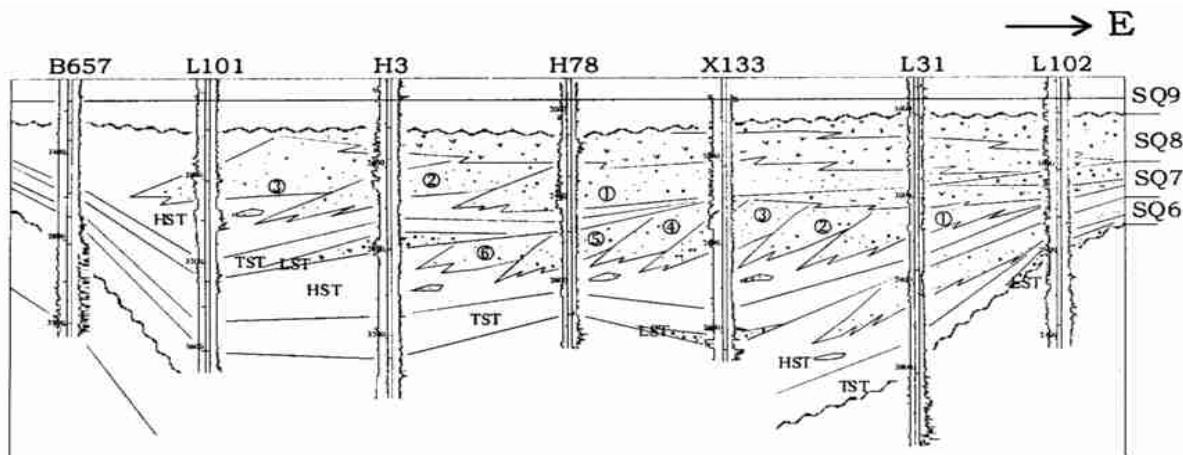


图4 东营凹陷东西向 104.6 测线层序格架剖面

Fig. 4 Sequence stratigraphy profile of E- W trending line 104. 6 in Dongying depression

于受构造运动的影响,沉积中心向西部转移,每一个三级层序均表现为河流-三角洲的从东向西的进积作用,具有很强的相似性。每一个三角洲的进积旋回就代表了一个层序。因此沙三段可划分为三个层序。每一个层序的体系域构成并不十分完整。只有在个别地区如 SQ6 层序 L102 井, SQ7 层序 X133 井, SQ8 层序 H3 井,层序体系域构成才较为完整。因为在这些井附近发育有低位体系域的沉积物,而其它地区缺失低位域。从 SQ6 至 SQ8,三角洲逐渐向湖盆内部推进, SQ8 沉积末期,湖盆已经基本被填平,为河流相沉积物。沙一段以浅湖相的灰色、深灰色泥岩夹生物灰岩、油页岩为特征,分布范围广泛,全盆地容易追踪对比,说明此时湖盆较为宽阔。就二级层序而言,由 SSQ 至 SSQ,湖盆范围经历了由大变再扩大的过程。

3 构造坡折带

构造坡折带是指由同沉积构造长期活动引起的沉积斜坡明显突变的地带^[4,5,6]。由于同沉积构造的长期活动,构造坡折带对盆地充填的可容纳空间和沉积作用可产生重要影响,制约着盆地沉积相域的空间展布。对一个三级层序而言,构造坡折带控制了层序的发育及其体系域的构成。

东营凹陷构造坡折带按其发育部位可划分为缓坡和陡坡两种类型。

缓坡构造坡折带由一系列断阶状排列的生长断层组成,其中心部位断距大、断面陡,两侧断距小、断面缓。沉积基准面升降变化对该构造坡折带的沉积环境和沉积作用影响较大,当沉积基准面快速下降,在构造坡折带以上形成陆上暴露,发育下切水道。构造坡折带之下为浅湖环境,沉积水下冲积扇砂体。随着沉积基准面缓慢上升,在构造坡折带以上形成下切水道充

填,之下进一步发育水下冲积扇砂体和浊积扇砂体,它们构成了层序低位体系域。当沉积基准面快速上升,发育一套深湖白云岩、油页岩、泥岩为主的沉积,构成湖侵体系域。当湖平面达到最高并开始缓慢下降,则发育了一套以辫状三角洲及河控型三角洲复合体为主的高位体系域。

梁家楼构造坡折带属缓坡构造坡折带,通过对东营凹陷纯化三维进行精细解释,利用三维可视化软件可直观反映其空间形态(图 5)。在纯北断层与梁 28 南断层之间发育有下切水道,梁家楼低位浊积扇体^[7]在梁 28 南断层下降盘撒开,其下的断层还对扇体的沉积厚度有控制作用。

陡坡构造坡折带分布在盆地边界断层的下降盘,同生断层落差大,断层面陡。构造坡折带之上和之下

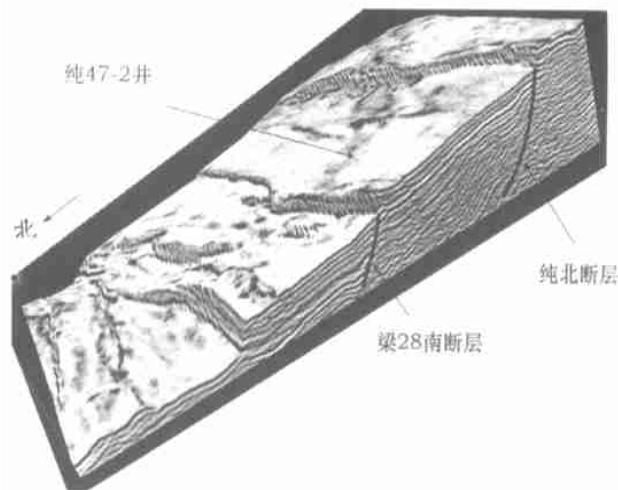


图5 梁家楼地区 SQ8 底界三维可视化

Fig. 5 Three-dimensional image of SQ8 boundary in Liangjialou district

沉积环境变化快,其低位体系域砂体发育粗粒的冲积扇-扇三角洲沉积体系及浊积扇体系。湖侵体系域主要由深湖泥岩、油页岩及浅湖沉积体系组成。高位体系域主要由河控三角洲沉积体系组成。

4 层序模式与隐蔽油气藏预测

东营凹陷为陆相断陷湖盆,构造运动产生断裂坡折带,造成基准面下降。产生陆上暴露剥蚀、下切水

道、水下冲积扇,如梁家楼低位扇体。构造宁静期,湖平面升高,湖侵体系域主要为油页岩、灰质泥岩等,但也发育有浊积扇体,同时在远离构造坡折带的盆地边缘,小型三角洲或三角洲受到湖侵破坏,产生由沿岸砂坝和沙滩组成的滨浅湖体系。当湖平面达到最高并趋于稳定,大量碎屑物入湖形成以三角洲进积体为主的高位体系域^[8](图 6)。

东营凹陷隐蔽油气藏往往与岩性有关,难以直接

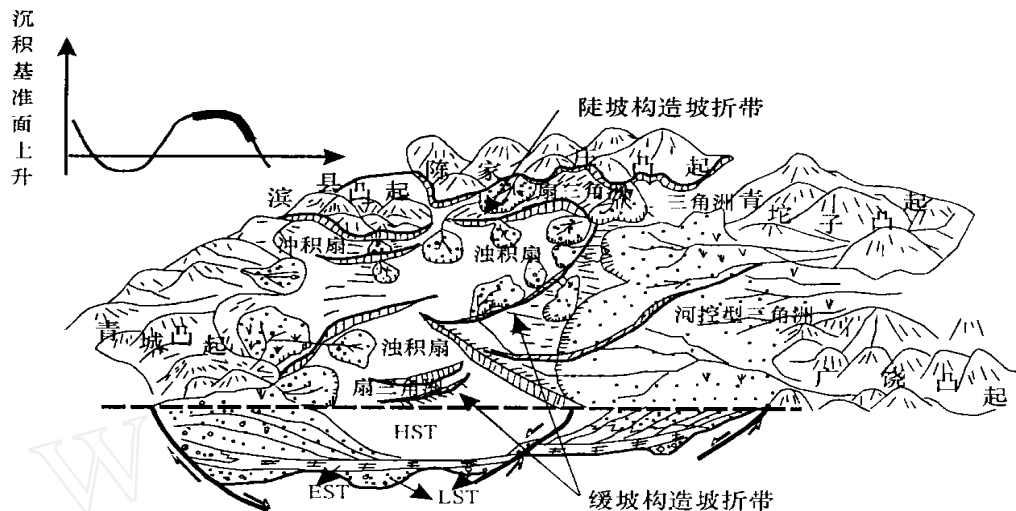


图 6 东营凹陷下第三系层序模式(据冯有良,2000)

Fig. 6 Sequence stratigraphy model of Lower Tertiary in Dongying depression

从地震资料中识别,但仍存在一定的规律性。利用层序地层学理论,划分地层层序,进行沉积体系分析,研究不同体系域的交替变化,确定岩性油藏的有利发育部位,可以有效的指导隐蔽油气藏勘探。

发育在层序低位域和湖侵体系域的各类砂体,对形成隐蔽油气藏最为有利。这类砂体均分布在油页岩、深湖相泥岩组成的湖侵体系域上下,构造坡折带及其以下地区。这就使得低位域砂体和湖侵体系域砂体具有良好的成藏条件。首先,油页岩、深湖相泥岩是优质烃源岩,油源条件良好。其次,下切水道充填、水下冲积扇、浊积扇、低位三角洲和扇三角洲前缘砂体,据岩芯观察和测试均是良好的油气储层。第三,与低位砂体和湖侵体系域的砂体配套的构造坡折带不但能形成构造-岩性圈闭,而且构造坡折带本身能在构造活动期作为油气运移的输导体系,在构造活动的宁静期作为封堵断层。据研究这些构造坡折带和低位砂体大部分均处于超压体系,该体系生长断层具有的“幕式排烃”^[9]和“单向阀聚油”^[10,11]特征非常有利于该类砂体形成隐蔽油气藏。

上述低位域砂体和湖侵体系域砂体成藏的有利条

件,以及砂体分布在湖侵体系域上下、构造坡折带及其下方的特点,为东营凹陷乃至济阳拗陷寻找低位域砂体油藏提供了全新的思路和方法。通过在地震剖面上划分层序,研究层序体系域的地震反射,就可以识别和预测隐蔽油气藏。

在盆地陡坡带,由扇三角洲和浊积扇砂体构成的低位楔和低位扇砂体一般发育在构造坡折带下部、代表湖侵体系域连续反射强同相轴之下,为楔状反射或丘状反射^[12]。如发育在沙三下层序低位域的东营凹陷坨 719、永安镇扇三角洲含油砂体、广利水下扇含油砂体。在盆地缓坡带,下切水道充填砂体发育在构造坡折带之上由连续反射同相轴所代表的湖侵体系域之下,具有顶平底凸形态的地震反射特征。水下扇砂体和小型三角洲砂体构成的低位域砂体一般发育在构造坡折带下部,代表湖侵体系域连续强反射同相轴之下,为断续状弱反射。如发育在东营凹陷南坡的沙三上层序梁家楼下切水道-水下扇含油砂体。

湖侵体系域砂体,不论是在陡坡还是缓坡均发育在构造坡折带的低部位、湖侵体系域泥岩之上。如发育在东营凹陷沙三中层序湖侵体系域的牛庄-现河含

油浊积砂体等。

5 结论

通过上述研究本文得出以下结论：

(1) 东营凹陷下第三系为一个一级层序,即超层序组(SSQS),对应盆地构造运动的裂陷期;内部可以划分为四个二级层序即层序组(SSQ)。它们是孔店组、沙四段、沙三下-沙二下、沙二上-东营组超层序,分别对应了盆地的裂陷幕,它们是构造层序;整个下第三系超层序组可进一步划分为十个三级层序。

(2) 东营凹陷下第三系层序地层格架和层序模式表明:受构造坡折带控制的低位域和湖侵体系域的砂体是隐蔽油气藏发育最为有利的部位。

参考文献(References)

- 徐强,姜烨,董伟良,等.中国层序地层研究现状和发展方向.沉积学报,2003,21(1):155~167[Xu Qiang, Jiang Ye, Dong Liangwei, *et al.* Research status and development direction of sequence stratigraphy in China. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2003, 21(1):155~167]
- Brown L F, Jr Benson J M, *et al.* Sequence stratigraphy in offshore South African divergent basins - an atlas on exploration for Cretaceous lowstand traps. *AAPG Studies in Geology* 41. Tulsa, Oklahoma, U. S. A.: Published by AAPG, 1995. 1~182.
- 纪有亮,张世奇,等.陆相断陷湖盆层序地层学.北京:石油工业出版社,1996.1~75[Ji Youliang, Zhang Shiqi, *et al.* Sequence stratigraphy in continental faulted lake - basin. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996. 1~75]
- 冯有良,李思田.东营凹陷沙三段层序低位域砂体沉积特征.地质论评,2001,47(3):278~286[Feng Youliang, Li Sitian. Depositional characteristics of lowstand sand bodies of the third member of Shahejie formation in Dongying depression and the significance in petroleum geology. *Geological Review*, 2001, 47(3):278~286]
- 林畅松,潘元林,肖建新,等."构造坡折带"-断陷盆地层序分析和油气预测的重要概念.地球科学,2000,25(3):260~265[Lin Changsong, Pan Yuanlin, Xiao Jianxin, *et al.* The structural break zone - the important conception of sequence and hydrocarbon predicting in faulted lake - basin. *Earth Science*, 2000, 25(3):260~265]
- Howell J A, Flint S S. A model for high resolution sequence stratigraphy within extensional basins. In: Howell J A, Aitken J F, eds. *High Resolution Sequence Stratigraphy: Innovations and Applications*, Geological Society Special Publication, 1996, 104:129~137
- 王秉海,钱凯.胜利油田地质研究与勘探实践.山东东营:石油大学出版社,1993.194~211[Wang Binghai, Qian Kai. *Geologic research and exploration practice in Shengli petroleum province*. Dongying: Press of the University of Petroleum, China, 1993. 194~211]
- 冯有良,李思田,解习农.陆相断陷盆地层序形成动力学及层序地层模式.地学前缘,2000,7(3):119~132[Feng Youliang, Li Sitian, Xie Xinong. Dynamics of sequence generation and sequence stratigraphic model in continental rift-subsidence basin. *Earth Science Frontiers*, 2000, 7(3):119~132]
- Wang C, Xie X. Hydrofracturing and episodic fluid flow in shale rich basin: a numerical study. *AAPG Bulletin*, 1997, 82(10):1857~1869.
- Losh, S. Oil migration in a major growth fault: - Structural analysis of the pathfinder core, south Eugene island block330, offshore Louisiana. *AAPG Bulletin*, 1998, 82(9):1694~1710.
- Losh S, Eglinton L, Schoell M, *et al.* Vertical and lateral fluid flow related to a large growth fault, South Eugene island block 330 field, offshore Louisiana. *AAPG Bulletin*, 1999, 83(2):244~276
- 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,2002,20(3):210~215[Li Yang, Cai Jingong, Liu Jianmin. High - resolution sequence stratigraphy of Paleogene in Dongying depression. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2002, 20(3):210~215]

Lower Tertiary Sequence Stratigraphy Study and the Forecast of Subtle Reservoir in Dongying Depression

ZHANG De-wu¹ FENG You-liang^{1,2} QIU Yi-gang^{1,3} MIN Wei¹
GUO Yu-xin¹ ZHAO Le-qiang¹ XIANG Li-hong¹

1(Geological Scientific Research Institute of Shengli Oil Field Limited Corporation, Dongying Shangdong 257015)

2(Postdoctoral Program of Petroleum Exploration and Development Research Institute, CNPC, Beijing 100083)

3(China University of Geosciences, Beijing 100083)

Abstract On the basis of comprehensive study of seismic data, well logging and other data, applying the sequence stratigraphy theory, one supersequence set, four supersequences and ten sequences are distinguished in Dongying depression. We identify system tracts for each sequence and build up isochronous sequence framework in Dongying depression. The structural slope-break zone, resulting in the abrupt change of the depositional slope, is initiated by the long-term activity of syndepositional structure. Structural slope-break zone in the fault subsidence lacustrine basin constrained the change in the accommodation space of the basins, controlling the development of the depositional sequence and the distribution of the depositional system tracts and the sand bodies. By means of establishing lower Tertiary sequence stratigraphic framework and sequence system tract model of Dongying depression, this paper puts forward that lowstand sand bodies controlled by structural slope-break zones are favorable for forming subtle reservoirs.

Key words Dongying depression, sequence stratigraphy, tectonic slope - break zone, Lowstand sand bodies, subtle reservoir exploration, Lower Tertiary