

文章编号: 1000-0550(2004)03-0393-07

# 苏北盆地高邮凹陷第三系 —上白垩统层序地层格架特征

张喜林<sup>1</sup> 朱筱敏<sup>1</sup> 钟大康<sup>1</sup> 梁兵<sup>2</sup> 曹冰<sup>2</sup> 贺向阳<sup>2</sup>

1(石油大学(北京)资源与信息学院 北京 102249) 2(江苏油田地质研究院 江苏扬州 225009)

**摘要** 依据地震、钻测井、岩芯、古生物等资料中的层序地层特征,可将高邮凹陷厚达7 000 m的第三系—上白垩统泰州组划分为2个一级层序,4个二级层序,11个三级层序。进而依据最大湖泛面和断裂坡折带(首次湖泛面)对三级层序进行了体系域划分。在11个三级层序中识别出低位、湖侵和高位体系域的不同组合。由于汉留断层在高邮凹陷东西向上发育的程度不同,造成凹陷西部为双断断陷式盆地结构,东部为单断断箕式盆地结构,据此建立了高邮凹陷西部具断裂坡折带和东部无明显坡折带的层序地层样式。最后分析了层序发育的主控因素,认为构造和气候是高邮凹陷层序发育的主控因素。

**关键词** 高邮凹陷 第三系—上白垩统 层序地层 体系域 断裂坡折带

**第一作者简介** 张喜林 男 1972年出生 工程师 在读博士生 沉积地质学

**中图分类号** P539.2 **文献标识码** A

高邮凹陷位于苏北盆地东台坳陷南部,面积4 160 km<sup>2</sup>。南部以北倾的真武断层为界,北部为菱塘桥低凸起和柘垛低凸起,其构造格局呈断、凹、坡的特征,自南向北依次为南部断阶带、中央深洼带、北部斜坡带,凹陷内断裂系统以北东东向为基本展布方向。位于北部斜坡带和中央深洼带之间的汉留断层为南倾同生断层,在凹陷西部具有较强的断裂活动(图1)。高邮凹陷上白垩统—第三系自下而上发育了泰州组、阜宁组、戴南组、三垛组、盐城组,岩性以河湖相成因的砂泥岩为主,最大沉积厚度达7 000 m。

高邮凹陷长期以来,主要针对构造类圈闭进行了勘探,随着勘探的不断深入,隐蔽油气藏的勘探已经成为一个重要的勘探方向,因此,有必要对高邮凹陷进行层序地层学的分析,为今后隐蔽油气藏的勘探提供理论依据。

## 1 第三系—上白垩统层序格架的建立

综合分析地震资料、钻井录井资料及测井曲线的旋回性、岩芯资料及生物演化发展的阶段性,高邮凹陷第三系及白垩系泰州组可划分出2个一级层序、4个二级层序、11个三级层序(见表1)。下面分析层序及体系域边界的识别方法及标志。

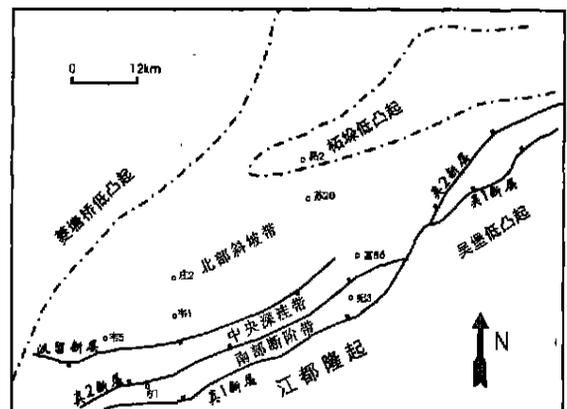


图1 高邮凹陷构造单元划分图

Fig. 1 Tectonic division of Gaoyou sag

### 1.1 层序边界的识别

#### (1) 地震层序边界的识别

地震层序边界划分主要依据地震反射波组的终止关系(削截、上超、下超、顶超)来确定。

如始新世晚期—渐新世的三垛运动造成高邮凹陷14 Ma地层的缺失,对高邮凹陷的层序发育影响最大,是一个一级层序边界,地震上对应于T<sub>2</sub><sup>0</sup>反射波组。不整合面在东部陈堡地区及北斜坡地区表现为

表1 高邮凹陷第三系—上白垩统层序地层框架

Table 1 Sequence framework of Tertiary and upper Cretaceous in Gaoyou sag

界	系	统	组	段(亚段)	年龄 /Ma	地层厚度 /m	地震反射标志	层序				岩性剖面	主要地质事件														
								一级	二级	三级	四-五级																
中生界	白垩系	上统	泰州组	K <sub>2</sub> t <sub>2</sub>	75.0	100-250	T <sub>3</sub> <sup>4</sup>	S II 1	S III 1	HST	TST	LST	仪征事件														
				K <sub>2</sub> t <sub>1</sub>	83.0	100-300	T <sub>4</sub> <sup>0</sup>																				
				新生界	第三系	渐新统	三垛组							E <sub>2</sub> s <sub>2</sub>	38.0	50-800	T <sub>2</sub> <sup>2</sup>	S II 2	S III 9	FST	HST	TST	LST	真武事件			
														E <sub>2</sub> s <sub>1</sub>	45.0	100-800	T <sub>2</sub> <sup>3</sup>										
														E <sub>2</sub> d <sub>2</sub> <sup>2</sup>	50.5	100-900											
														E <sub>2</sub> d <sub>2</sub> <sup>1</sup>													
														始新统	戴南组	E <sub>2</sub> d <sub>2</sub> <sup>4</sup>	53.0								0-200	T <sub>2</sub> <sup>4</sup>	
																E <sub>2</sub> d <sub>2</sub> <sup>3</sup>											
																E <sub>2</sub> d <sub>2</sub> <sup>5</sup>											
																E <sub>2</sub> d <sub>1</sub> <sup>2</sup>											T <sub>2</sub> <sup>5</sup>
																E <sub>2</sub> d <sub>1</sub> <sup>1</sup>											
														古新统	阜宁组	E <sub>1</sub> f <sub>4</sub>	54.9								0-500	T <sub>3</sub> <sup>0</sup>	S II 1
				E <sub>1</sub> f <sub>3</sub>	56.0	150-350	T <sub>3</sub> <sup>1</sup>																				
				E <sub>1</sub> f <sub>2</sub>	58.0	150-350	T <sub>3</sub> <sup>3</sup>																				
				E <sub>1</sub> f <sub>1</sub>	60.2	350-1000																					
E <sub>1</sub> f <sub>1</sub>	65.0	350-1000	T <sub>3</sub> <sup>3</sup>																								

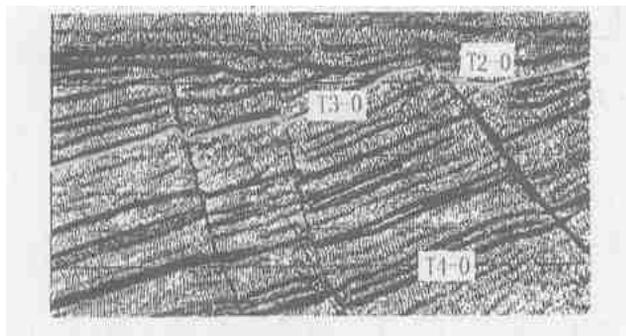


图2 层序 S 1、2 间界面特征(G78 地震测线)

Fig. 2 Interface between sequence S 1 and S 2(After line G78)

为明显的角度不整合(图2),大套地层被剥蚀,深注带基本为平行不整合。

(2) 明显的岩性、颜色的突变

如 S 4(阜四段)与 S 5(戴一段下部)之间具有明显的岩性变化。界面以下 S 4 为深灰黑色泥岩沉积,是深湖—半深湖相沉积,界面以上 S 5 为一套褐色、红褐色砂泥岩地层,是水下扇、扇三角洲、三角洲相沉积,此外,GR、RT、SP 等电性也发生了很大的变化,反映了岩相发生了巨变,为不整合接触(图3)。

(3) 岩芯观察中发现的根土层,底砾岩,岩性和颜色的突变是强有力的分界证据。

如花1井2008 m处为 S 7(戴二段)/S 8(垛一段)分界,界面以下为暗灰色泥,界面以上为浅棕色砂质泥夹泥砾,向上过渡为浅棕灰色中—细砂岩(图4)。界面为一不整合面,系由真武事件造成的。

(4) 由于生物演化发展具有进步性、阶段性、不可逆性,因此,保存在不同地层中的化石也就不同。因此我们可以根据生物数量的变化和生物种属的变化来划分地层层序。

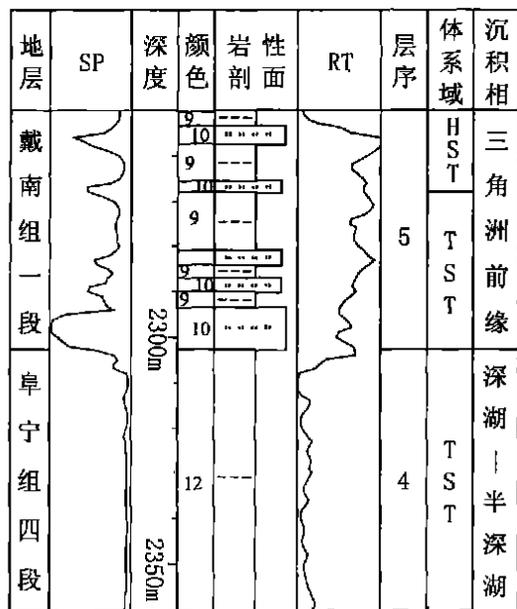


图 3 层序 S 4、5 间界面特征(永 20 井)

Fig. 3 Interface between sequence S 4 and S 5



图 4 层序 S 7、8 间不整合面(花 1 井)

Fig. 4 Unconformity between sequence S 7 and S 8

如层序 S 4(阜四段)/S 5(戴一段下部)界面上下古生物化石属种差异很大,下部阜四段末期化石属种变得单调,指示海相介形类膨胀新单角介大量发育,上部戴一段沉积海相化石基本消失,发育陆相淡水生物化石组合。

### 1.2 体系域的识别标志

体系域的划分关键是识别首次湖泛面(TST/LST)与最大湖泛面(HST/TST)。在高邮凹陷中汉留断层造成的断裂坡折带可以作为识别首次湖泛面的位置,湖平面首次越过汉留断层即为首次湖泛面,之前的沉积为低位体系域,之后则为湖侵体系域。最大湖泛面的识别靠地震上的最远上超点,以及岩性剖面上的凝缩层等来识别。从本区地震、钻测井资料体系域划分过程中,识别出了下列几种体系域识别标志:

(1) 地震上由湖泛造成的反射同相轴首次越过汉留断层的面可作为首次湖泛面,以作为低位和湖侵体系域的分界(图 5)。

(2) 地震上由反射同相轴由退积到进积的沉积转换面指示的最大湖泛面,是湖侵和高位体系域的分界(图 6)。

(3) 准层序叠置样式的转换可以作为准层序的边界。沉积岩的颜色反应古水深的变化,有时作为划分体系域的依据。另外沉积地层的砂泥比、砂岩厚度、沉积韵律及沉积相变化等均可作为体系域划分的依据。

### 1.3 层序及体系域展布

高邮凹陷边界大断层及凹陷内二级断层对沉积有明显的控制作用,同样控制着层序及体系域的发展。南部真武断层断距大,地形高差大,沿断层下降盘发育了一系列的扇体沉积;北部来自柘垛低凸起及其以远的河流在北斜坡形成了规模不等的三角洲。汉留断层造成的断裂坡折带对应于首次湖泛面的位置,控制了低位体系域的发展范围。下面以层序 S 5(戴南组一段中下部)为例进行分析。

层序 S 5 低位体系域沉积时期,主要表现为充填沉积,汉留断层起着坡折带的作用,控制了低位体系域的发展范围。沉积范围主要局限于真武和汉留两条大断裂之间的深洼地区(图 7),沉积中心位于邵伯、樊川、刘五舍等次凹,最大厚度达 150 m。南部主要形成真武—曹庄近岸水下扇,扇体规模较小。北部物源分三支进入凹陷,在中西部联盟庄、永安和东部富民—花庄形成三个小型三角洲。深凹主要为滨浅湖沉积。

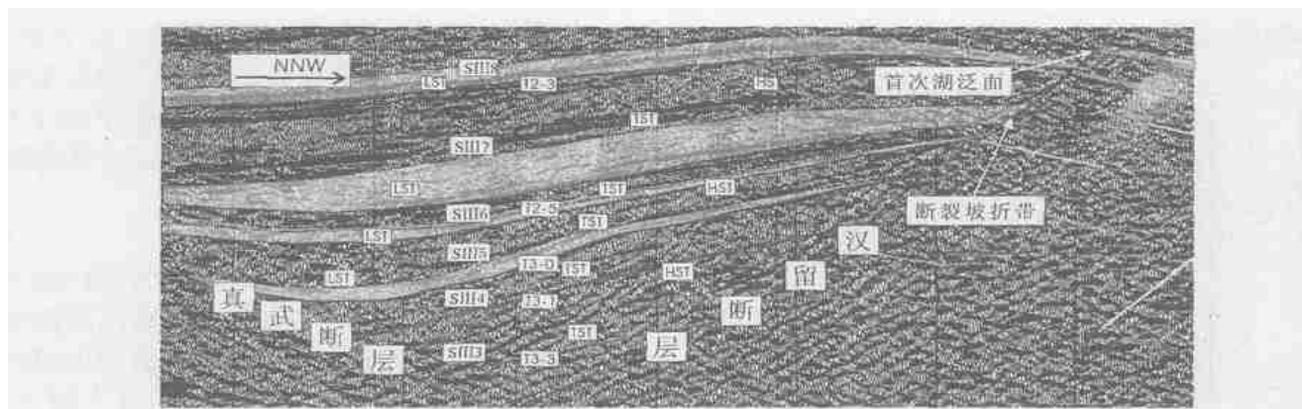


图5 断裂坡折带(首次湖泛面)示意图(过黄20-马2测线)

Fig. 5 Fault break (First flooding surface) (After line of Huang20 - Ma2)

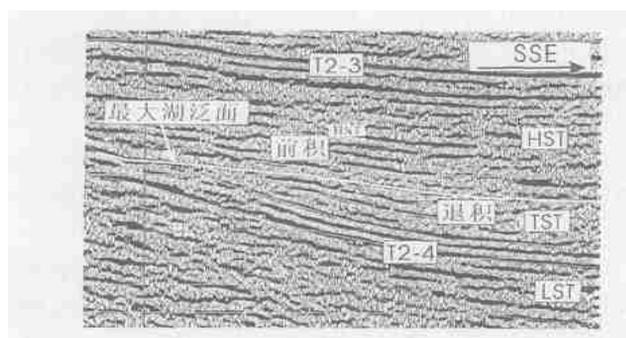


图6 最大湖泛面示意图(G17测线)

Fig. 6 Maximum flooding surface (After line G17)

层序S<sub>5</sub>湖侵体系域沉积时期,湖盆扩大,沉积边界向北越过汉留断层到达北斜坡发2—沙12—东49一线(图7),沉积中心位于邵伯次凹,最大厚度200 m。随着早期的充填和水体的加深,南部富民南、真武—曹庄、黄珏、邵伯近岸水下扇体均向南退缩,并且连成一片。北部三角洲由于物源充足,在原来的基础上进一步向永安、联盟庄方向扩展形成一个统一的大型三角洲。

层序S<sub>5</sub>高位体系域沉积时期,沉积范围和湖侵期基本一致(图7),沉积中心有所扩大,位于邵伯、樊川次凹,最大厚度近200 m。南部从西往东发育黄珏、邵伯、真武—曹庄、富民南、周庄近岸水下扇体。西部扇体相连形成了南部沿岸的扇体群,东部周庄和富民南为独立的近岸水下扇体。汉留断层附近马家嘴、联盟庄、永安、富民地区发育一系列的浊积扇体。北斜坡大型三角洲发育,永安和富民代表了两个主流方向。

## 2 层序发育样式

高邮凹陷北部的汉留断层在盆地的不同部位发育差异较大,西部断层活动强烈,断面较陡,向东活动逐渐减弱,在花庄地区消失。汉留断层在东西向上活动的差异性造成了高邮凹陷东西向上构造模式的差异性,西部为双断断陷式盆地结构,东部为单断断箕式盆地结构。据此建立了高邮凹陷西部具断裂坡折带和东部无明显坡折带的层序地层样式(图8)。

### 2.1 西部层序地层样式

由于汉留断层的发育,高邮凹陷西部主要为双断断陷式盆地。汉留断层作为地形坡折点,对应于首次湖泛面的位置,控制了低位体系域的发育。南部真武断层下降盘发育扇体沉积,北斜坡发育规模不等的三角洲,中央深洼带为湖相夹浊积扇。

### 2.2 东部层序地层样式

高邮凹陷东部主要为单断式箕状盆地结构。由于没有一个可以作为初次湖泛面的地形坡折带,为了全凹陷层序划分的一致,因此层序和体系域的划分参照凹陷西部的划分方案。

## 3 层序主控因素分析

通过对高邮凹陷构造活动旋回性和气候旋回的分析来探讨控制各级层序形成的因素,认为构造活动和气候是高邮凹陷层序地层发育样式的主要控制因素。

### 3.1 区域构造运动对层序地层发育的影响

大地构造运动常常是幕式的、节律性的,这种幕式的构造运动控制了区域古地理背景,决定了物源区和沉积区在空间的展布。同时也产生了层序发育的

空间,并控制着层序的发育范围、规模和样式。高邮凹陷的区域构造运动具有明显的旋回性,不同级别的幕式构造运动造成了不同级别的不整合面,也就形成了不同级别的层序边界,构造活动持续时间和强度控

制了层序的发育程度。

一级构造幕对应于古构造运动、构造应力场转换形成的大规模的构造事件,造成的不整合界面为一级不整合面,成为一级层序边界,常代表盆地基底面或

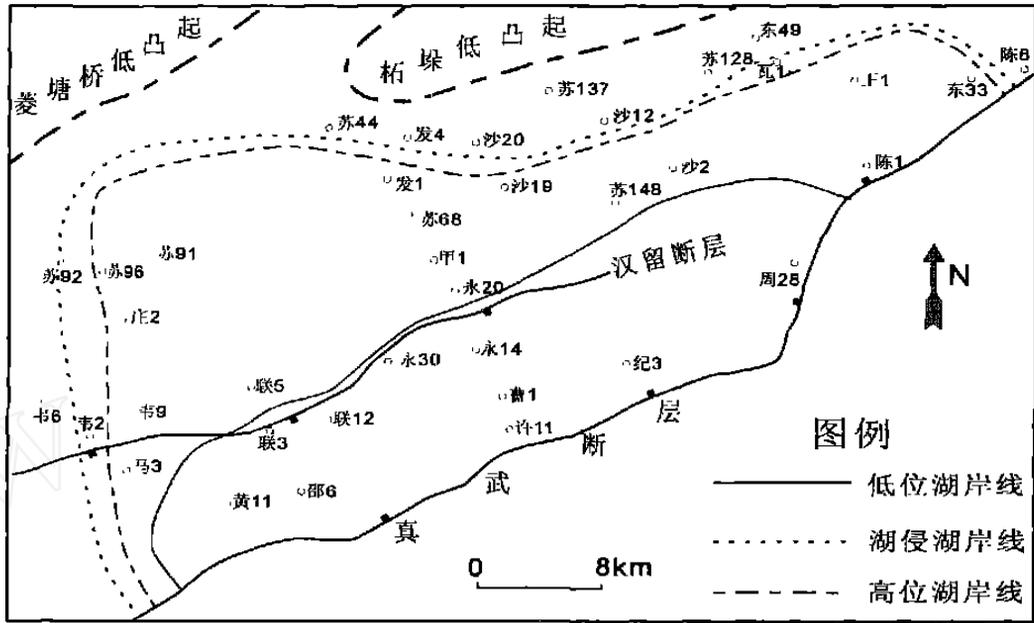


图 7 层序 S 5 湖岸线变迁图

Fig. 7 Variance of lakeshore lines of sequence S 5

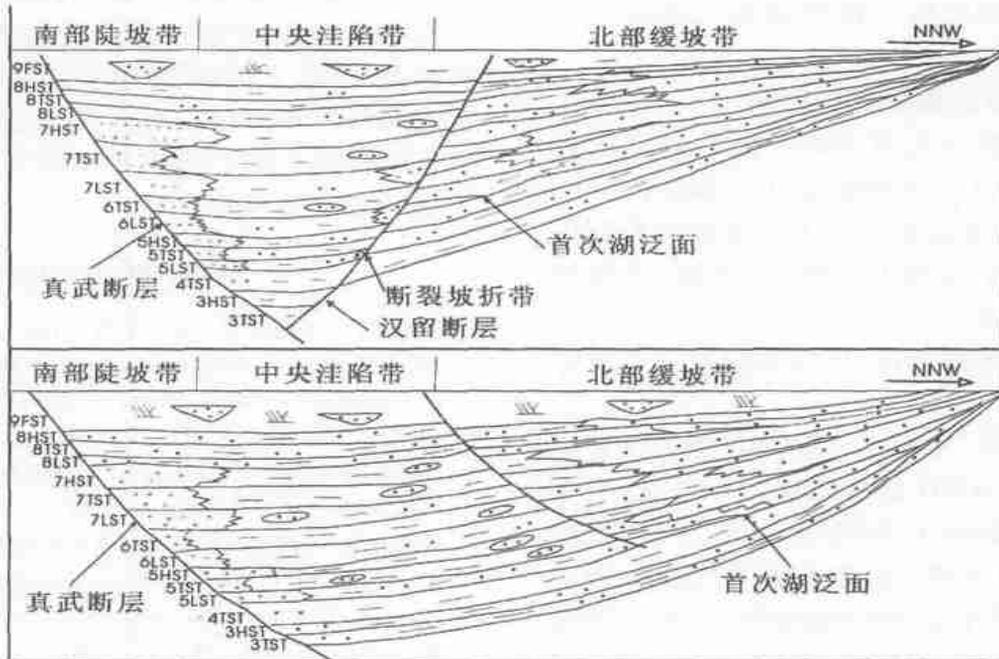


图 8 高邮凹陷层序地层样式(上:西部具断裂坡折带;下:东部无明显坡折带)

Fig. 8 Sequence pattern of Gaoyou sag (Top: west with a fault break;Bottom: east without a break)

盆地收缩时的古风化剥蚀面,是构造旋回划分的标志,为区域性不整合面,不整合面的分布范围占凹陷面积的70%以上,地震上表现为削截、上覆地层的上超等,在盆地内可做区域追踪对比。如三垛运动造成整个苏北盆地大规模抬升,在三垛组顶部形成一个遭广泛剥蚀的间断面,造成14Ma地层的缺失,无疑是一个一级不整合面,构成了一个一级层序边界,将上白垩统至第三系分为两个一级层序S<sub>1</sub>和S<sub>2</sub>。

二级幕式构造运动对应于中等规模的古构造运动事件,这类不整合面分布范围占凹陷面积的30%~70%。在阜四段沉积末期发生了一次规模较大的区域构造事件——吴堡事件,高邮凹陷东北部的阜宁组遭受剥蚀,柘垛地区阜宁组四段剥蚀殆尽,高邮凹陷内残留厚度为0~500m。这个不整合面应为一个二级不整合面,将上白垩统和下第三系(S<sub>1</sub>)分为两个二级层序S<sub>1</sub>和S<sub>2</sub>。

三级幕式构造运动对应于局部性的构造运动,由明显的沉积基准面下降造成,这类不整合在凹陷不同部位表现为不同性质,从斜坡到深洼可由无沉积作用到连续沉积,不整合在盆地的分布范围应小于30%,这个不整合面称之为三级不整合面,对应于三级层序的边界。戴南组沉积末期发生的真武事件使盆地局部抬升,凹陷边缘戴二段受到剥蚀,如花庄地区垛一段和戴二段之间出现的底砾岩是典型的三级层序边界。

### 3.2 气候变化对层序地层发育的影响

在陆相盆地中气候变化对于湖平面的升降起着决定性的作用,也影响了沉积物的类型。温暖潮湿的气候使湖平面上升,大量流水带来了丰富的沉积物供应。干旱的气候使湖平面趋于下降,使河流、三角洲的作用变得不那么明显。

分析高邮凹陷的气候变化,与层序的划分有较好的对应关系。

如在阜宁组沉积期,从层序S<sub>2</sub>到S<sub>4</sub>气候是逐渐变湿润的。阜宁早期(层序S<sub>2</sub>)气候是干燥的,湖平面较低,变化幅度小、频率快,沉积了低位、湖侵和高位三个体系域;中期(层序S<sub>3</sub>)气候转为半干旱—半湿润,湖平面升高,变化幅度大,沉积了湖侵和高位两个体系域;晚期(层序S<sub>4</sub>)气候变湿热,湖平面达到第三纪最大的范围,只沉积了一套湖侵体系域,为灰黑色富含有机质的泥岩,也是高邮凹陷最主要的烃源岩。

## 4 结论

(1) 综合分析地震资料、钻井录井资料及测井曲线的旋回性、岩心观察分析、生物演化发展的阶段性,将高邮凹陷第三系及上白垩统泰州组划分出2个一级层序、4个二级层序、11个三级层序。

(2) 在高邮凹陷第三系—上白垩统层序划分中,层序及体系域的边界有明显的识别标志。层序边界包括地震上的削截、上超、下超等,岩性、颜色的突变,古土壤或根土层,底砾岩,古生物化石突变面等。体系域划分的关键是识别首次和最大湖泛面。在高邮凹陷中,汉留断层作为坡折点,是首次湖泛面到达的位置;最大湖泛面可由地震上的沉积转换面,岩性上的凝缩层,以及准层序组叠置样式的转换面等来识别。

(3) 汉留断层在凹陷的不同部位发育差异较大,西部断层活动强烈,断面较陡,向东活动逐渐减弱以至消失。汉留断层在东西向上活动的差异性造成了高邮凹陷东西向上构造模式的差异性,西部为双断断陷式盆地结构,东部为单断断箕式盆地结构。根据有无汉留断层的发育建立了凹陷西部具断裂坡折带和凹陷东部无明显坡折带两种不同的层序地层模式。

(4) 构造活动和气候是高邮凹陷层序地层的发育样式主要控制因素。高邮凹陷构造活动具有明显的旋回性,不同级别的构造运动造成了不同级别的不整合面,形成了不同级别的层序边界,构造活动的持续时间和强弱控制了层序的发育程度。气候的旋回性变化影响了湖平面的升降和沉积物的类型,也影响了层序及体系域的发育。

### 参考文献(References)

- 1 朱筱敏. 层序地层学. 山东东营:石油大学出版社,2000. 1~207 [Zhu Xiaomin. Sequence Stratigraphy. Dongying Shandong: Press of University of Petroleum, 2000. 1~207]
- 2 赵澄林,朱筱敏. 沉积岩石学. 北京:石油工业出版社,2000. 33~89 [Zhao Chenglin, Zhu Xiaomin. Sedimentary lithology. Beijing: Petroleum Industry Press, 2000. 33~89]
- 3 顾家裕,陆相层序地层学格架概念及模式. 石油勘探与开发,1995, 22(4):6~10 [Gu Jiayu. Framework concepts and models of sequence stratigraphy in nonmarine petroliferous basin. Petroleum Exploration & Development, 1995, 22(4):6~10]
- 4 顾家裕,张兴阳. 油气沉积学发展回顾和应用现状. 沉积学报, 2003, 21(1):137~141 [Gu Jiayu, Zhang Xingyang. Development review and current application of petroleum sedimentology. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(1):137~141]

- 5 朱筱敏,康安,王贵文,陆相拗陷型和断陷型湖盆层序地层样式探讨. 沉积学报, 2003, 21(2): 283 ~ 287 [Zhu Xiaomin, Kang An, Wang Guiwen. Sequence stratigraphic models of depression and faulted-down lake basins. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2003, 21(2): 283 ~ 287]
- 6 许淑梅,翟世奎,李三忠,等. 歧口凹陷滩海区下第三系层序地层分析及沉积体系研究. 沉积学报, 2001, 19(3): 362 ~ 367 [Xu Shumei, Zhai Shikui, Li Sanzhong, *et al.* An analysis on sequence stratigraphy and sedimentary system of early Neocene in Qikou sag. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2001, 19(3): 362 ~ 367]
- 7 胡宗全,朱筱敏. 具有地形坡折带的拗陷湖盆层序地层模拟. 沉积学报, 2002, 20(2): 217 ~ 221 [Hu Zongquan, Zhu Xiaomin. Sequence stratigraphic simulation of depression lake basin with topographic ramp. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2002, 20(2): 217 ~ 221]
- 8 张善文,王英民,李群. 应用坡折带理论寻找隐蔽油气藏. 石油勘探与开发, 2003, 30(3): 5 ~ 7 [Zhang Shanwen, Wang Yingmin, Li Qun. Searching subtle traps using the theory of slope break. *Petroleum Exploration & Development*, 2003, 30(3): 5 ~ 7]
- 9 孙龙德. 东营凹陷北部斜坡带沙三—四段砂砾岩体与油气聚集. 沉积学报, 2003, 21(2): 278 ~ 282 [Sun Longde, Sandstone-conglomerate bodies in Sha3-4 Members and hydrocarbon accumulation in northern slope of Dongying Sag. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2003, 21(2): 278 ~ 282]
- 10 Van Wagoner J C, Motchum R M, *et al.* Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores, and outcrops: concepts for high resolution correlation of time and facies. *AAPG Methods in Exploration Series*, 1990, 55: 1 ~ 240
- 11 Posamentier H W, Vail P R. Eustatic controls on clastic deposition I: sequence and system tract. *SEPM special Publication*, 1988, 42: 126 ~ 148

## The Character of Sequence Framework of Tertiary and Upper Cretaceous in Gaoyou Sag, Subei Basin

ZHANG Xi-lin<sup>1</sup> ZHU Xiao-min<sup>1</sup> ZHONG Da-kang<sup>1</sup> LIANG Bing<sup>2</sup> CAO Bing<sup>2</sup> HE Xiang-yang<sup>2</sup>  
 1(University of Petroleum, Beijing 102249) 2(The Research Institute of Geology, Jiangsu Oilfield, Yangzhou Jiangsu 225009)

**Abstract** Based on the analysis of seismic data, borehole and well-logging, core and paleontology of Tertiary and upper Cretaceous with thickness of more than 7000m in Gaoyou Sag, Subei Basin, two first-level sequences, four second-level sequences and 11 third-sequences have been identified. System tracts were also identified within each sequence based on the maximum flooding surface and fault-break (first flooding surface). Each of the 11 sequences consists of either complete lowstand, transgressive and highstand system tracts or one or two of them. Due to the different activity of Hanliu fault in the east and west part of Gaoyou sag, the west part is characterized by bi-fault subsiding basin, and the east part single-fault basin. Based on structural analysis, sequence pattern in Gaoyou sag may be described as the west part with fault-break and east without break. The main controlling factors of sequence stratigraphy was analyzed and were believed to be tectonics and climate.

**Key words** Gaoyou sag, Tertiary and upper Cretaceous, sequence stratigraphy, system tract fault-break