

文章编号: 1000-0550(2007)02-0161-08

# 饶阳凹陷古近系层序发育的控制因素分析<sup>①</sup>

纪友亮<sup>1,2</sup> 杜金虎<sup>3</sup> 赵贤正<sup>4</sup> 张以明<sup>4</sup> 张瑞峰<sup>4</sup>

(1. 中国石油大学 北京 102249 2. 同济大学 海洋与地球科学学院 上海 200092  
3. 中国石油股份有限公司 北京 100724 4. 中国石油股份有限公司华北油田公司 河北任邱 062552)

**摘要** 在分析饶阳凹陷古近系层序类型和发育模式的基础上,根据层序的结构特点,对每种层序发育的控制因素进行了分析。认为在沉积物供应速率变化不大的情况下,盆地基底的沉降速率和沉降高峰期的时间决定着裂谷期层序的结构、各体系域开始发育和结束的时期。沉积物供应速率和可容空间变化的速率的比值决定着准层序组的类型,局部高速率的沉积物供应回在湖侵期发育进积式准层序组。气候的变化也是层序发育的控制因素,在干早期,湖平面变化和层序的结构主要受气候控制。

**关键词** 层序地层学 饶阳凹陷 层序类型 控制因素

**第一作者简介** 纪友亮 男 1962 年出生 教授 博士研究生导师 石油地质学、沉积学和层序地层学

E-mail: jiyouliang@mail.tongji.edu.cn

中图分类号 P539.2 文献标识码 A

## 1 区域地质概况

饶阳凹陷是属于渤海湾盆地冀中拗陷中的一个次级的构造单元,它位于冀中拗陷中部,北接霸县凹陷,南临新河凸起,东面与献县凸起相临,西到高阳低凸起(图 1),面积约 6 300 km<sup>2</sup>,是冀中拗陷最大的凹陷,也是冀中拗陷油气最富集、勘探成效最高的凹陷<sup>[1]</sup>。

全凹陷钻遇古、新近纪地层从老到新依次为:古近系孔店组、沙河街组、东营组和新近系馆陶组、明化镇组<sup>[1]</sup>。其地层岩性及分布特征见表 1。

通过对饶阳凹陷古近系发育的同沉积断裂带、古地形及其对层序和砂体发育的控制作用的详细研究发现:同沉积断裂上、下盘的差异沉降造成的古构造沉积斜坡坡折,对同期层序、沉积体系及砂体的发育产生深刻的影响,有类似于被动大陆边缘 I 型层序陆架坡折的作用,在低水位期,坡折带以上为剥蚀区或暴露区,坡折带以下为沉积区。对一个三级层序而言,坡折带控制了层序的发育及其体系域的构成<sup>[1,2]</sup>。根据划分出的 10 个 3 级层序的结构特征进行了分析,归纳出饶阳凹陷古近系的层序发育二大类,6 小类。第一大类为湖泊层序,湖泊层序在该区发育五种类型,既 (1)初始裂谷期湖泊层序; (2)裂谷高峰早期湖泊层序; (3)裂谷高峰晚期湖泊层序; (4)

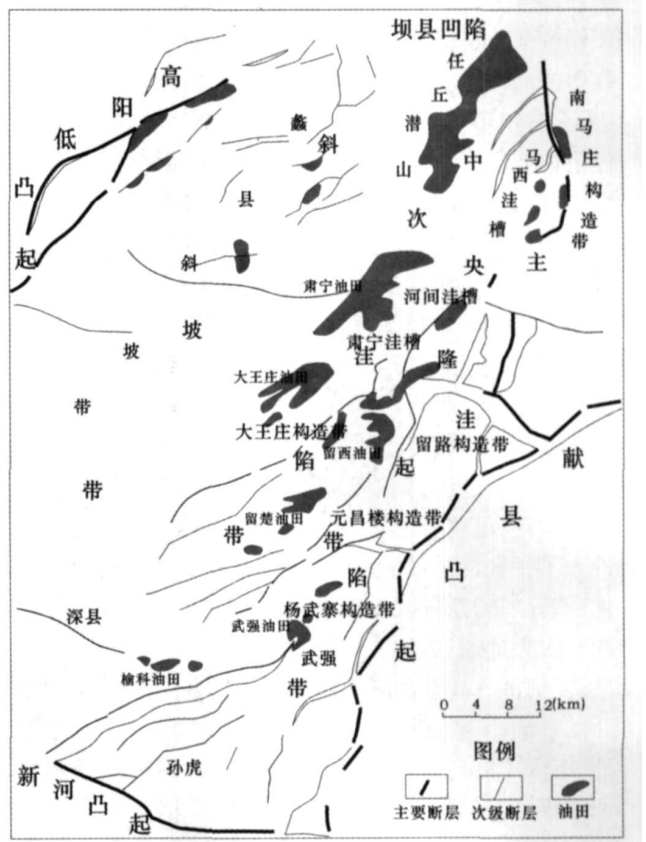


图 1 饶阳凹陷构造单元划分示意图  
Fig 1 Sketch map of tectonic units of Raoyang Depression

①国家十五科技攻关项目资助

收稿日期: 2006.02.07 收修稿日期: 2006.06.06

气候层序<sup>[2]</sup>; (5)湖侵期强物源型的湖泊层序。第二大类为河流层序。

## 2 饶阳凹陷层序发育控制因素分析

影响层序发育的因素可概括为可容空间的变化,可容空间的变化则取决于相对湖平面的变化情况。可容空间与沉积物供应速度比值的变化导致湖盆地层沉积格局的变化。

饶阳凹陷属于陆相断陷湖盆,其层序发育的控制因素可分为构造沉降、沉积物供给和气候因素。

### 2.1 构造沉降

构造沉降是导致湖盆内相对湖平面上升的因素,构造沉降的速率决定着湖平面的上升速率。饶阳凹陷古近系经历了四个构造活动幕,每个构造活动幕都经历了由弱到强再到弱的过程,属于陆相断陷—坳陷的过渡型湖盆,沉积受构造作用的制约和控制。凹陷处于断陷期时,湖盆为箕状,其沉积特征表现为陡侧沉积厚度大,水体深,为湖盆的沉积沉降中心;缓测沉积厚度薄,水体浅,地层整体为向缓坡逐层减薄的楔状体。而凹陷位于坳陷期时,沉积沉降中心位于湖盆中央,其沉积特征表现为由盆地边缘向湖盆中心,岩性由粗变细,颜色由红变黑,沉积厚度由薄变厚。整个古近系沉积时期,饶阳凹陷由于在断—坳两种构造作用下形成了沉积沉降中心不断迁移的现象。构造沉降引起的相对湖平面上升造成了可容空间的增大,需要沉积物将之填平以达到一个动态平衡,所以一个时期沉积物最厚的地区往往是沉降中心所处的位置,沉降中心的迁移可以通过参考各层序残余地层等厚图将整个过程恢复出来。

层序 I、II 时期饶阳凹陷发生了强烈的拉张断陷构造运动,沉降中心位于孙虎地区;层序 III 时期开始进入了扩张深陷的阶段,沉降中心向北迁移至武强—杨武寨一带;层序 IV 时期饶阳凹陷实现了古近纪湖水的首次大连通,并出现了多个沉降中心,分别位于元昌楼、河间—肃宁洼槽和马西洼槽;层序 V 时期凹陷开始逐渐抬升(图 2);层序 VI 时期区域抬升更加强烈,沉降中心向北移动到杨武寨地区、河间洼槽和马西洼槽,层序 VII 饶阳凹陷又复下沉,全区湖水再次连通,沉降中心则向北移动为肃宁洼槽、马西洼槽和留西洼槽三个地区;层序 VIII、IX 沉积时期凹陷再次抬升,沉降中心稳定在河间、肃宁洼槽;层序 X 时期区域构造运动渐趋平缓,地形平坦,进入准平原化,沉降中心又迁移回到河间—肃宁洼槽。沉降中心的迁移也可

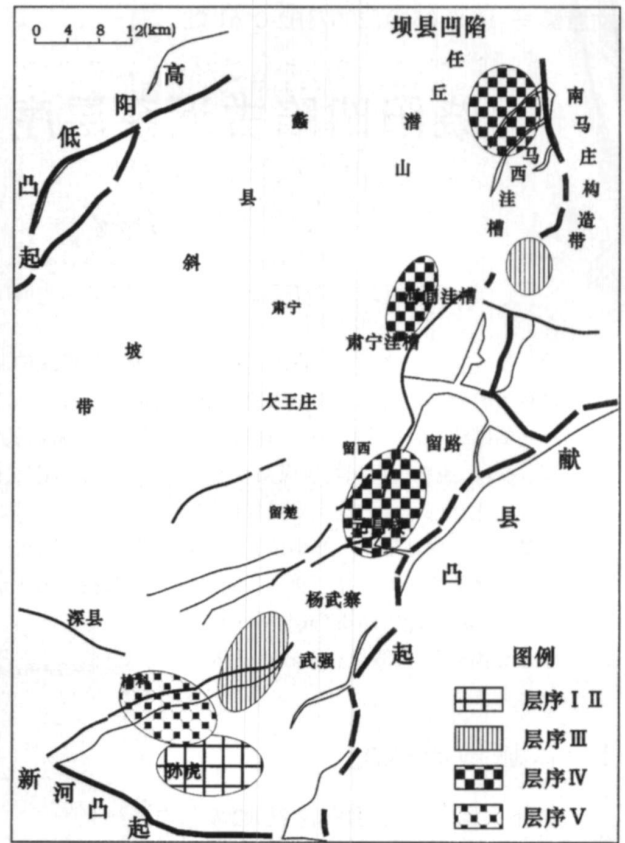


图 2 饶阳沉降中心迁移图

Fig 2 Sketch of subsidence center migration in Raoyang Depression

在剖面上反映出来(图 3)。

在饶阳地区,构造活动对层序发育的控制作用表现为同生断裂活动对层序的控制作用,同生断裂活动对层序发育的控制具有同时性,在沉积物充填湖盆占去可容空间的同时,盆地边界的断裂活动不断使盆地产生新的可容空间。

层序的演化特征与基底沉降速率和沉积速率的比例有关。由于其比值的不同,发育了同生层序不同的体系域类型和准层序迭加方式。同生断层的活动方式决定着盆地基底的沉降方式和速度。

图 4 表示了饶阳凹陷古近系第 V 层序(沙三上亚段)沉积时期形成的裂谷晚期层序结构,该结构的成因可用图 12 左下角的湖盆的基底构造沉降引起的可容空间变化曲线图来解释,该图表示盆地基底的沉降是均匀的,而后又停止活动,潮湿气候条件下<sup>[11]</sup>,淡水持续不断地注入能把湖水充满到盆地基准面,由于盆地基准面是不断相对上升的,则湖平面也是不断上升的,当构造沉降停止时,湖平面终止上升,而保持

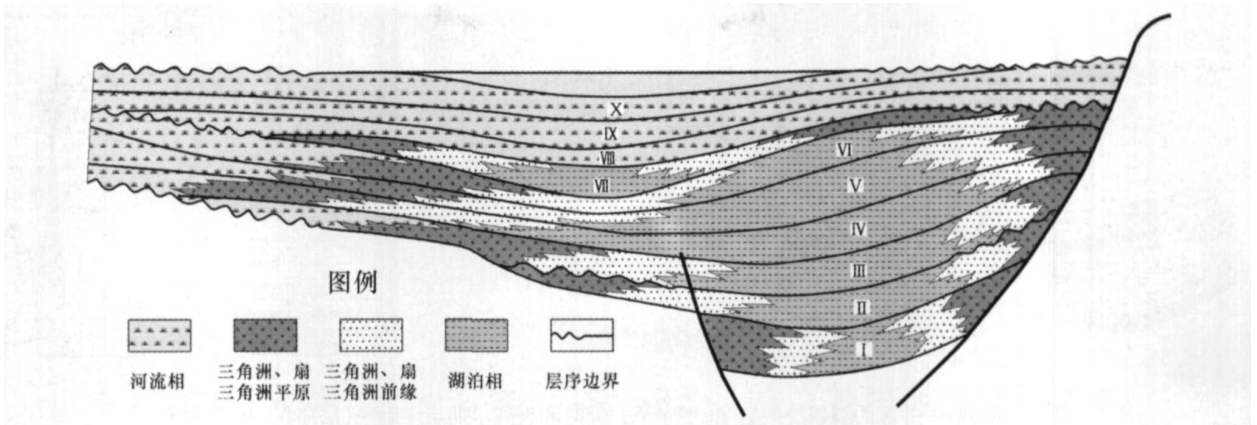


图 3 饶阳凹陷沉积沉降中心迁移剖面示意图

Fig 3 The sedimentary center migration profile in Raoyang depression

1 河流相; 2 (扇)三角洲平原、水下扇; 3. (扇)三角洲前缘; 4. 湖相; 5. 层序边界

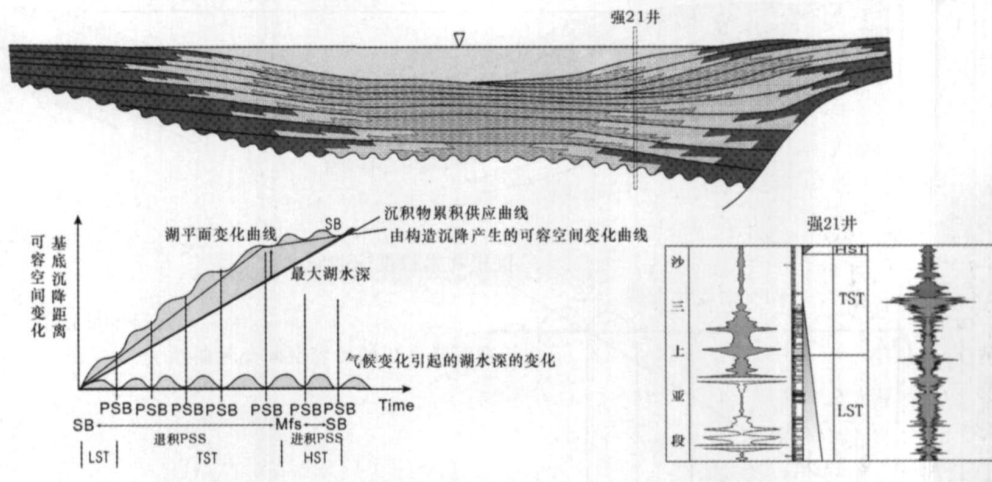


图 4 饶阳凹陷强 21 井区裂谷晚期层序结构(层序 V)和成因图解

Fig 4 The structure of later rift lacustrine sequence(SQV) in the area of Well Qiang 21 and the diagram of its origin

恒定, 盆地基底沉降曲线(构造引起的可容空间变化曲线)叠加上气候变化引起的湖水深变化曲线, 既为该时期的可容空间变化曲线。图 4 也标有沉积物累积供应曲线, 沉积物供应曲线形态的不同, 表示沉积物供应速度是不同的<sup>[3]</sup>。

当沉积物供应速度恒定, 且小于盆地基底构造沉降速度(图 4)则湖水水深变化曲线如图 4 左下角图的阴影部分。该图表示湖盆在基底沉降期间扩张, 在构造沉降停止后收缩。扩张期形成湖侵体系域, 收缩期形成高位体系域。沉积物到盆地基准面后, 停止沉积, 形成层序界面。

从图 4 左下角图所示的可容空间变化曲线上可以看出, 饶阳凹陷古近系第 V 层序(沙三上亚段)沉

积时期, 盆地基底停止活动的时间较晚, 导致最大可容空间和最大水深出现的晚, 形成的层序结构为裂谷高峰晚期湖泊层序。图 5 的上部层序也是这种结构。

图 6 显示了饶阳凹陷古近系第 III 层序(沙三下亚段)沉积时期形成的裂谷早期层序结构和成因图解, 从图 6 左下角可容空间变化曲线上可以看出, 盆地基底停止活动的时间较早, 导致最大可容空间和最大水深出现的早, 形成的层序结构为裂谷高峰早期湖泊层序。

但在另一些地区, 如文 37 井区, 同时期形成的裂谷高峰早期湖泊层序的结构略有不同, 高位域为加积式准层序组, 且厚度较大。图 7 显示了文 37 井区该层序的结构和成因图解, 左下角的成因图解显示, 盆

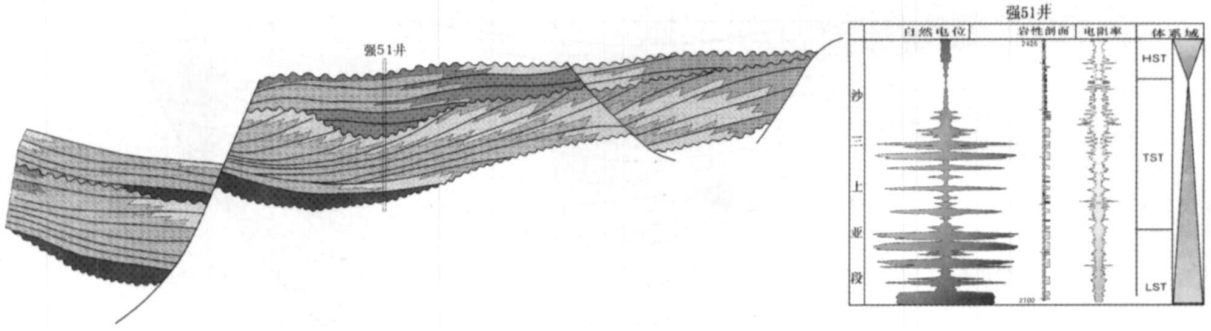


图 5 饶阳凹陷强 51 井区的裂谷晚期层序(层序 V, 上部)和裂谷早期层序层序(层序 IV, 下部)结构图

Fig 5 The structure of later rift lacustrine sequence(SQV ) and early rift lacustrine sequence(SQIV ) in the area ofWELL Q iang 51 and the diagrammatic sketch of its origin

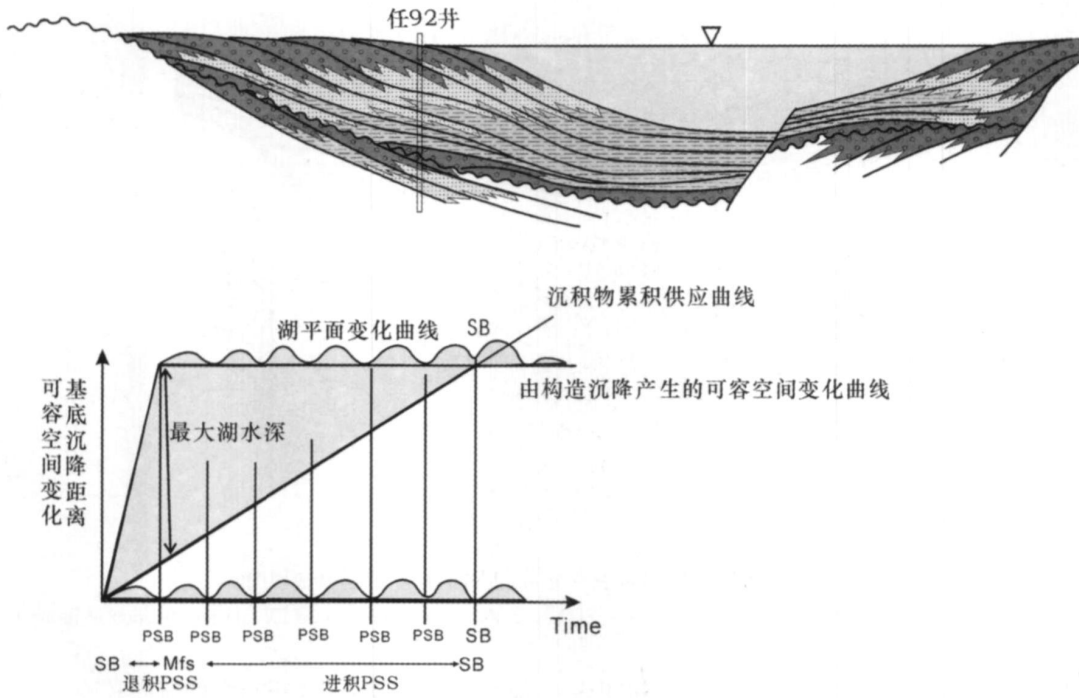


图 6 饶阳凹陷任 92 井区裂谷早期层序结构(层序 III)和成因图解

Fig 6 The structure of early rift lacustrine sequence(SQIII) in the area ofWell Ren 92 and the diagrammatic sketch of its origin

地基底持续沉降, 沉积物供应速度也快, 盆地基底停止活动的时间较晚, 加积式准层序组很发育。

在第 VII 层序发育期(沙一段沉积期), 形成了湖侵期强物源型层序, 从图 8 左下角可容空间变化曲线上可以看出, 盆地基底停止活动的时间较早, 导致最大可容空间和最大水深出现的早, 但在湖侵期, 不同地区物源供应强度不同, 形成的准层序组类型不同。盆地的大部分地区在湖侵期由于物源弱, 形成退积式

准层序组, 但在物源供应强烈的西部地区, 形成进积式准层序组, 在之后沉降速度减慢或逐渐停止。高位体系域发育三角洲沉积, 厚度大, 形成多个进积式准层序组, 在物源供应强烈的西部斜坡最大湖泛面位于层序的下部, 而在物源供应不太强烈的陡坡和西斜坡北部地区, 最大湖泛面位于层序的中上部, 二者在层位上不一致。

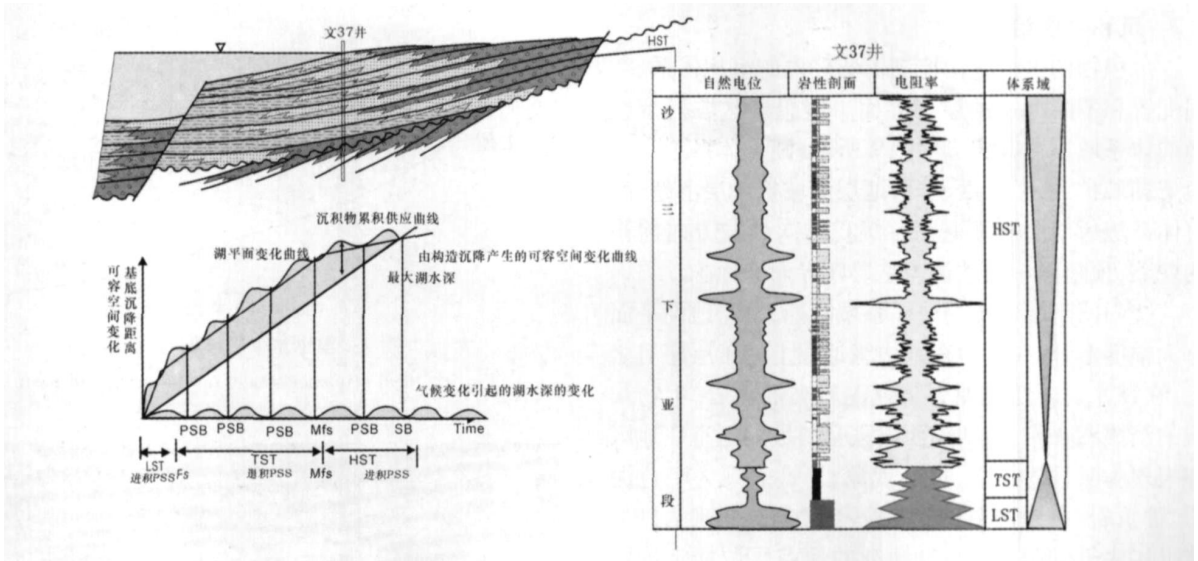


图 7 饶阳凹陷文 37 井的裂谷早期层序结构图 (层序 III) 和成因图解

Fig 7 The structure of early rift lacustrine sequence (SQIII) in the area of Well Ren 37 and the diagrammatic sketch of its origin

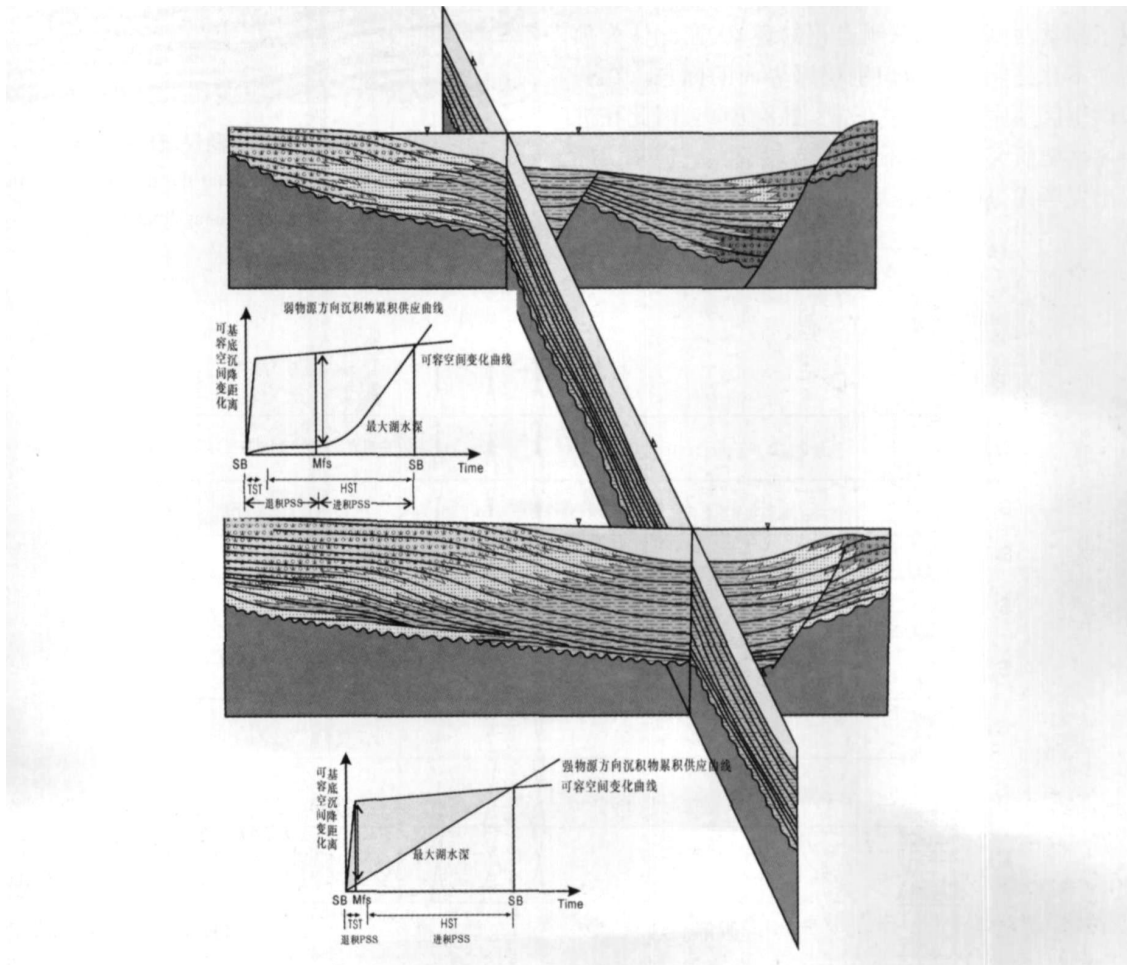


图 8 饶阳凹陷湖侵期强物源型湖泊层序结构 (层序 VII) 和成因图解

Fig 8 The structure of different sediment supply lacustrine sequence (SQVII) and the diagram of its origin

### 2.2 沉积物供给

沉积物的供给直接控制了凹陷内的沉积体系、空间配置和不同级别的层序界面。理想湖盆坡折带边缘的体系域发育方式应如图 9 所示,湖侵体系域时期由于湖域扩大,湖平面上升,地层沿坡折层层上超,高位体系域后期由于湖退则有沉积物向湖盆方向前积的现象,顶超面一般被认为是层序界面的标志。

饶阳凹陷层序 VI 湖侵体系域时期,全盆地湖平面有大幅度上升,在盆地东部边缘地层上超于层序 VI 之上,在湖盆内岩性表现为暗色泥岩夹油页岩、生物灰岩的滨浅湖亚相,但凹陷西侧蠡县斜坡的赵皇庄地区却表现为明显的前积、顶超现象,岩性表现为暗色泥岩、油页岩、白云岩夹灰白色砂岩,砂岩体表现为进积式准层序组(图 9)。经过精细的地震层位标定确定两者属于同一地层,其原因为该时期来自高阳低凸起的局部物源丰富所致,从而控制了地层发育构型,造成了湖盆西侧进积,东侧退积的现象,在此认为顶超面并不总是能够作为识别层序界面的标志。在弱物源供应区层序结构恢复正常(图 8、10)。因此在进行层序格架研究的时候不能为传统所束缚,应从实际情况出发考虑,从而保证划分对比的可靠性。

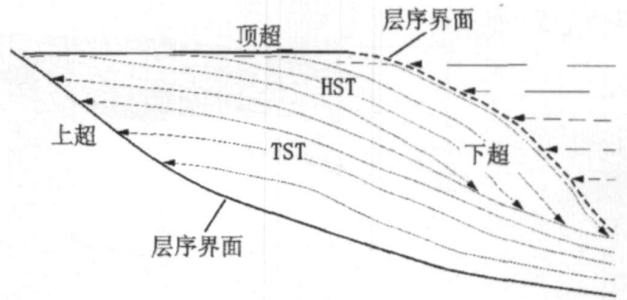


图 9 理想盆缘层序发育模式

Fig 9 Ideal sequence model on the margin of basin

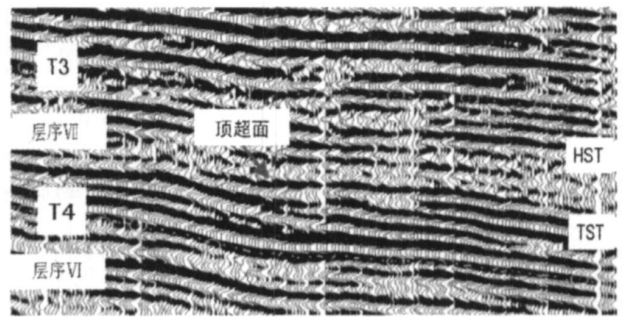


图 10 赵皇庄湖侵域顶超现象

Fig 10 The top lap reflection on the top of TST on the seismic profile in Zaohuangzhuang area

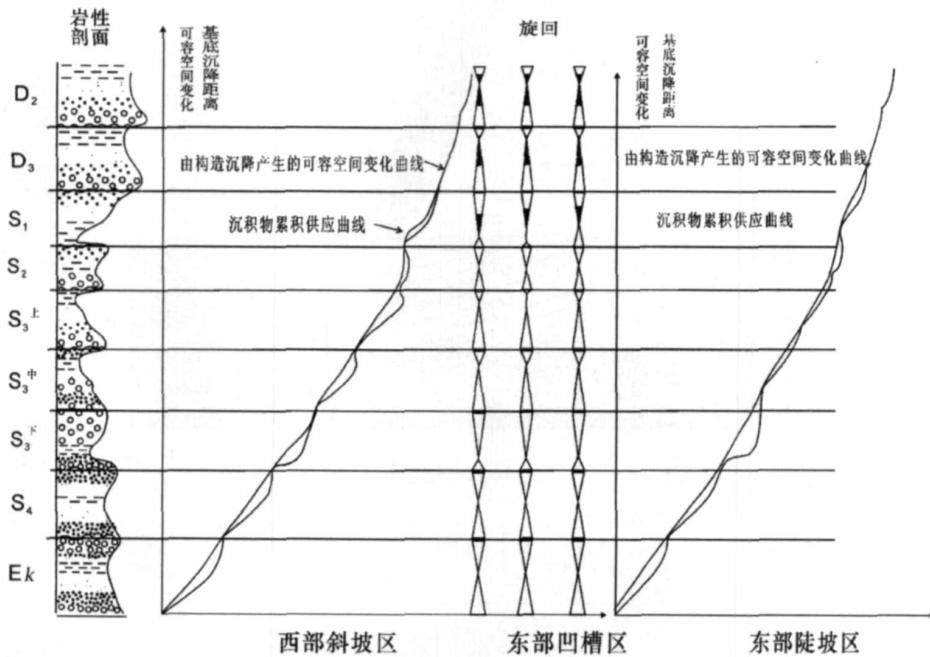


图 11 饶阳凹陷古近系沉积期不同部位可容空间变化曲线及层序结构图

Fig 11 The accommodation change curves and the correlated sequence structure in different time and different position of the Raoyang Depression

### 2.3 气候因素

气候条件主要影响沉积物的类型。在正常情况下, 凹陷内水体彼此连通, 属于敞流湖盆, 气候因素的影响不大。但在干旱的气候条件下, 同时湖盆的淡水补给少, 可使敞流湖盆变为闭流湖盆<sup>[2, 4~7]</sup>, 并造成沉积物的供应不足, 此时往往形成气候层序<sup>[9]</sup>。饶阳凹陷孔店组(层序 I)、沙四段(层序 II)时期气候干旱, 拉张断陷构造运动强烈, 塑造了大大小小的箕状断陷, 湖盆之间分割孤立, 强深 1 井干盐湖亚相积了以干盐湖、盐湖、膏盐湖亚相为标志的典型气候层序。

上面分别讨论了层序发育的控制因素, 实际上, 在层序发育过程中, 三种因素在同时起作用, 构造沉降、气候变化引湖平面升降形成的相对湖平面变化曲线决定可容空间的变化<sup>[8~12]</sup>, 在洼槽区、陡坡带和缓坡带, 相对湖平面变化曲线是有差异的(图 11), 因此, 即使在同一时期, 层序结构就有差异。

### 3 结论

通过对饶阳凹陷饶阳凹陷层序地层综合研究, 可得出如下两点主要结论:

(1) 在沉积物供应速率变化不大的情况下, 盆地基底的的沉降速率和沉降高峰期的时间决定着裂谷期层序的结构、各体系域开始发育和结束的时期。

(2) 沉积物供应速率和可容空间变化的速率的比值决定着准层序组的类型, 局部高速率的沉积物供应回在湖侵期发育进积式准层序组。

(3) 气候的变化也是层序发育的控制因素, 在旱期, 湖平面变化和层序的结构主要受气候控制。

#### 参考文献 (References)

- 1 张文朝, 崔周旗, 韩春元, 等. 冀中拗陷老第三纪湖盆演化与油气. 古地理学报, 2001, 3(1): 45-49 [Zhang Wenhao, Cui Zhou, Han Chunyuan, *et al*. Evolution of Palaeogene lacustrine basin and oil and gas potentials in the Central Hebei Depression. *Journal of Palaeogeography* 2001, 3(1): 45-49]
- 2 纪友亮, 张世奇. 陆相断陷湖盆层序地层学. 北京: 石油工业出版社, 1996 [Ji Youliang, Zhang Shiqi. *The Sequence Stratigraphy of Terrestrial Rift Lacustrine Basin*. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996]
- 3 邓宏文. 美国层序地层研究中的新学派——高分辨率层序地层

- 学. 石油与天然气地质, 1995, 16(2): 89-97 [Dong Hongwen. A new school of thought in sequence stratigraphic studies in U. S.: high resolution sequence stratigraphy. *Oil & Gas Geology* 1995, 16(2): 89-97]
- 4 Vail P R, Audemant F and Bowman S A, *et al*. The Stratigraphic Signatures of Tectonic Estuary: An Sedimentology and Overview. In Einsek G, *et al*. ed. *Cycles and Event in Stratigraphy*. Heidelberg: Springer Verlag, 1999. 617-659
- 5 顾家裕. 陆相湖盆层序地层学模式. 石油勘探与开发, 1995, 22(4): 12-17 [Gu Jiayu. The sequence stratigraphic model of terrestrial lacustrine basin. *Petroleum Exploration and Development* 1995, 22(4): 12-17]
- 6 纪友亮, 冯建辉. 东濮凹陷沙三段高频湖平面变化及低位砂体预测. 高校地质学报, 2003a, 9(1): 99-112 [Ji Youliang, Feng Jianhui. High frequency lake level change of 3<sup>rd</sup> member of Shahejie Formation and prediction of Low stand sandbody in Dongpu depression. *Geological Journal of China University* 2003a, 9(1): 99-112]
- 7 纪友亮, 冯建辉. 东濮凹陷古近系的低位三角洲沉积. 石油勘探与开发, 2003b, 30(1): 112-114 [Ji Youliang, Feng Jianhui. Low stand delta sedimentary of paleogene in Dongpu sag. *Petroleum Exploration and Development* 2003b, 30(1): 112-114]
- 8 纪友亮, 张世奇, 李红南. 东营凹陷下第三系陆相盆地层序地层学研究. 地质论评, 1994, 40(增刊): 97-105 [Ji Youliang, Zhang Shiqi, Li Hongnan. The study of sequence stratigraphy of terrestrial basin of lower Tertiary in Dongying Depression. *Geological Review* 1994, 40(Suppl): 97-105]
- 9 宋国奇. 济阳拗陷下第三系湖相沉积的层序地层学分析. 现代地质, 1993, 7(1): 16-21 [Song Guoqi. The analysis of sequence stratigraphy of lacustrine sedimentation of lower Tertiary in Jiyang Depression. *Geoscience* 1993, 7(1): 16-21]
- 10 熊继辉, 贾承造, 王毅, 等. 层序地层学及其在塔里木盆地石炭系研究中的应用. 北京: 石油工业出版社, 1996 [Xiong Jihui, Jia Chengzao, Wang Yi, *et al*. *The Sequence Stratigraphy and Its Application in the Study of Carboniferous in Tarim Basin*. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996]
- 11 婚菊珍, 蒋飞虎, 等. 河南东濮凹陷古近系沙河街组岩盐沉积特征及成因. 古地理学报, 2003, 5(2): 162-170 [Xu Juzhen, Jiang Feihu, *et al*. Sedimentary characteristics and origin of salt rock of Shahejie Formation of Paleogene in Dongpu sag, Henan province. *Journal of Palaeogeography* 2003, 5(2): 162-170]
- 12 张世奇, 纪友亮. 陆相断陷湖盆层序地层学模式探讨. 石油勘探与开发, 1996a, 23(5): 23-28 [Zhang Shiqi, Ji Youliang. The study of the model of sequence stratigraphy of terrestrial rift lacustrine basin. *Petroleum Exploration and Development* 1996, 23(5): 23-28]

## Sequence Stratigraphy Models and Controlling Factors of Eogene in Raoyang Depression

JI You-Liang<sup>1,2</sup> DU Jin-hu<sup>3</sup> ZHAO Xian-zheng<sup>4</sup>

ZHANG Yi-ming<sup>4</sup> ZHANG Rui-feng<sup>4</sup>

(1. Petroleum University of China, Beijing 102249; 2. Tongji University, School of Ocean and Earth Science, Shanghai 200092; 3. PetroChina, Beijing 100724; 4. Huabei Oilfield Company, PetroChina, Renqiu, Hebei 062552)

**Abstract** Based on the analysis of sequence type and developing models of the lower Tertiary of Raoyang depression, the controlling factors of every types of sequence are analyzed according to its configuration. It is considered that at the circumstance that the supply rate of sediments is stable, the configuration of rift sequence, the initial and closing time of the developing of its system tracts are determined by the subsidence rate and the time of highest rate of subsidence of the basin basement. The style of parasequence set are controlled by the ratio of sediment supply to the accommodation. local highest rate of sediment supply can produce progradational parasequence set. The change of climate is also a controlling factor of the development of sequence. In aridity period, lake level change and the configuration of sequence are controlled by climate.

**Key words** sequence stratigraphy; Raoyang depression; sequence type; controlling factors