

# 陆相断陷盆地二级层序时限构造沉降与湖平面变化的响应关系

王家豪<sup>1,2)</sup>, 王 华<sup>1)</sup>, 廖远涛<sup>1)</sup>, 肖敦清<sup>3)</sup>, 尚亚乐<sup>1)</sup>

1)中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430074 ;

2)中国地质大学构造与油气资源教育部重点实验室, 湖北武汉 430074 ;

3)中国石油天然气总公司中石油大港油田分公司勘探开发研究院, 天津 300280

**摘 要:** 针对陆相断陷盆地构造沉降与湖平面变化的响应关系问题, 笔者通过二维回剥分析, 并引入沉降通量和沉降速率通量两个参数以评价盆地沉降的整体特征。黄骅坳陷中区东营组二级层序内三角洲体系发育, 可细分为 4 个三级层序, 构造沉降上呈减弱到增强的变化, 并具有断陷作用逐渐减弱、坳陷作用加强的特点。拟合构造沉降、沉积演化、层序结构的关系表明, 湖平面下降、三角洲的繁盛与快速构造沉降耦合一致, 湖平面下降是不均衡的强烈构造沉降导致湖水体积向控凹断层或坳陷中心重新分配、且四周水系的补充滞后于构造沉降产生的新增可容纳空间的结果。相反, 湖平面上升和深湖相发育与慢速构造沉降耦合一致。此外, 湖平面变化与构造沉降总量的大小无关。

**关键词:** 陆相断陷盆地; 构造沉降; 层序地层; 湖平面变化

中图分类号: P539.2; P542 文献标志码: A 文章编号: 1006-3021(2009)02-194-07

## Lake-level Variation Response to Tectonic Subsidence in a Second-Order Sequence of Continental Rift Basin

WANG Jia-hao<sup>1,2)</sup>, WANG Hua<sup>1)</sup>, LIAO Yuan-tao<sup>1)</sup>, XIAO Dun-qing<sup>3)</sup>, SHANG Ya-le<sup>1)</sup>

1) Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074;

2) Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources of China University of Geosciences, Ministry of Education, Wuhan, Hubei 430074;

3) Academy of Exploration and Development, Dagang Oilfield Branch Company, CNPC, Tianjin 300280

**Abstract:** To pursue the lake-level variation response to tectonic subsidence in the continental rift basin, this paper introduced two parameters (subsidence flux and subsidence velocity flux) to show the whole characteristics of basement subsidence by using two-dimensional stripping-back analysis. In the Dongying Formation of the middle Huanghua depression, the delta depositional system is well developed. The Dongying Formation, as a second-order sequence, can be subdivided into four third-order sequences. Tectonic subsidence gradually weakened and subsequently strengthened during the development of the Dongying Formation, characterized by intense rift faulting followed by later increasing down-warping. Combined with tectonic subsidence, depositional evolution and sequence framework of the Dongying Formation, this paper holds that the fall of the lake-level and the flourishing of the delta depositional system were coupled with rapid tectonic subsidence, and the lake-level fall resulted from violent unbalanced tectonic subsidence, causing redistribution of lake-water towards main faults or down-warping centers. The lake-water supplement was insufficient compared with the newly increased accommodation space due to tectonic subsidence. As a result, the rise of the lake-level and the development of the deep lake corresponded to slow tectonic subsidence, and the lake-level variation had nothing to do with the gross of tectonic subsidence.

收稿日期: 2008-06-15; 改回日期: 2008-11-02。

第一作者简介: 王家豪, 男, 1968 年生。副教授, 博士。主要从事沉积学、层序地层学、油气储层方面的研究。通讯地址: 430074, 湖北省武汉市洪山区鲁磨路 388 号。电话: 027-67883076。E-mail: cugwangjiahao@163.com。

**Key words:** continental rift basin; tectonic subsidence; sequence stratigraphy; lake-level variation

尽管层序地层学理论已在陆相断陷湖盆得到了广泛应用，并成功地指导了我国东部油田隐蔽油气藏的勘探，但陆相断陷盆地的层序成因机制问题还一直存在分歧，断陷湖盆活跃的构造活动对层序发育的影响是其中争论的焦点。由于陆相断陷盆地不存在诸如海盆中冰川消融引起的海平面变化，众多学者强调，断陷湖盆的构造沉降不同于被动大陆边缘连续减慢的热收缩沉降过程，多旋回、不连续的幕式构造活动才是断陷湖盆层序发育的主控因素(池英柳等, 1996; 解习农等, 1996; 刘震等, 1997; Strecker et al., 1999; 冯有良等, 2000; 王嗣敏等, 2000; 胡受权等, 2001; 操应长等, 2003, 2004; 郭建华等, 2005)。断陷湖盆的“幕式”或“间歇式”构造活动特征，即构造活动强度或基底构造沉降并不是单一匀速变化，而表现为早期加速运动、晚期减弱到停滞的过程，由此可划分为构造活动期和宁静期(池英柳等, 1996; 解习农等, 1996; 操应长等, 2003)。一些学者对断块掀斜和差异沉降与湖平面变化进行了探讨(刘震等, 1997; Strecker et al., 1999; 冯有良等, 2000; 操应长等, 2003)，普遍认为强烈的构造沉降是湖平面下降和层序界面产生的原因。冯有良等(2000)提出，湖平面变化是突发增强的正断活动导致有限湖水体积再分配和四周水系补充的结果，其作用过程为：在断裂活动期，湖水向主断层和构造坡折之间可容空间增大的区域流动，湖平面下降；在断裂活动宁静期，四周水系补充使湖水趋于恢复到断陷前的位置，湖平面上升。虽然构造成因的观点也能解释层序的结构，但大多研究还处于理论探讨阶段，对构造活动与湖平面变化的因果关系这一关键问题尚缺乏充足的证据。

马莉娟等(2000)、任建业(2004)对东营凹陷的盆地模拟表明，陆相断陷盆地二级层序(一期构造幕)的构造沉降呈早期突变增强、随后逐渐减弱的变化过程，与之对应的沉积演化普遍表现为一个大的水进—水退或退积—前积的充填序列，尤其以东营凹陷沙4段特征典型。归结起来，二级层序初期，盆地快速沉降，扇三角洲、三角洲体系广泛发育；二级层序中期，构造沉降减弱，盆地范围扩张，沉积物粒度变细，深湖相发育。由此看来，快速的构造沉降与深湖相发育并不同步；相反，深湖相发育却与较慢速的构造沉降时期对应，其中必然蕴涵着构造沉降与湖平面变化的成因联系。为此，笔者以黄骅拗陷中区为例，通过对古近系东营组沉积演化、层序

结构和构造沉降过程的拟合分析，旨在追踪断陷盆地构造活动与湖平面变化的响应关系。

黄骅拗陷属中、新生代渤海湾断陷盆地群的组成部分。受 NNE-NE 向断裂控制，黄骅拗陷中区由 NE 向展布的板桥、歧北和歧南 3 个北断南超的半地堑和北大港、南大港两个半地垒潜山(凸起)、以及歧口凹陷等 6 个次级构造单元组成，其西北和东南分别为沧县隆起和埕宁隆起(图 1)。构造演化上，黄骅拗陷中区历经了古近纪断陷期和新近纪拗陷期两个阶段，目的层段东营组发育于断陷晚期，由东三段(Ed3)、东二段(Ed2)、东一段(Ed1)组成。

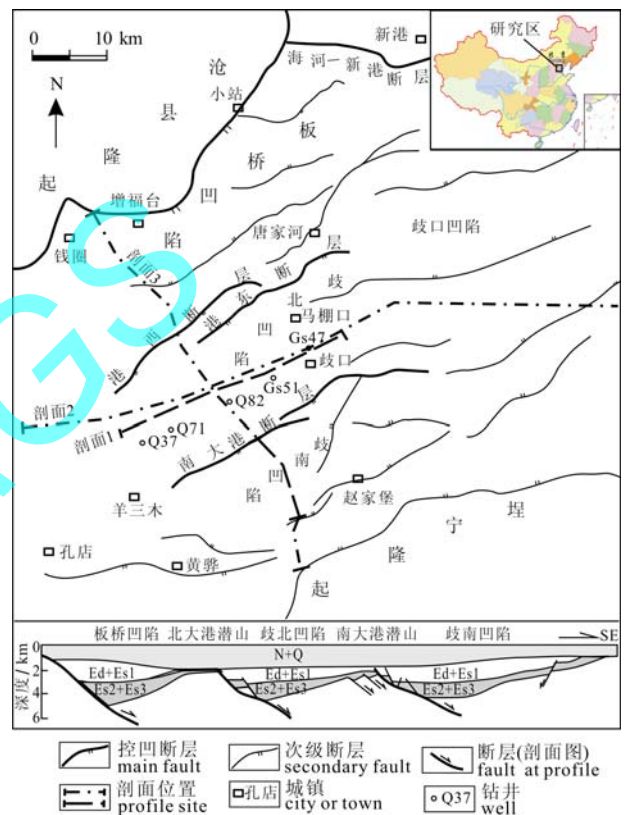


图 1 黄骅拗陷中区的位置及构造单元分布  
Fig. 1 The position and tectonic unit distribution in the middle of Huanghua depression

### 1 沉积、层序地层特点

黄骅拗陷中区东营组时期三角洲体系十分发育，在地震剖面上呈大型“S”型前积反射地震相(图 2)；钻井揭示主要由粉-细砂岩、少量含砾细-中砂岩夹薄层泥质岩组成，其前缘相自然伽玛曲线(GR)和自然电位曲线(SP)呈漏斗型；平原相曲线呈圣诞树型(图 3)。

研究区东营组为一幕完整的裂陷演化的充填记录——二级层序，经过地震层序分析，研究区东营组可识别为 4 个三级层序：东三段层序(SQEd<sub>3</sub>)、东



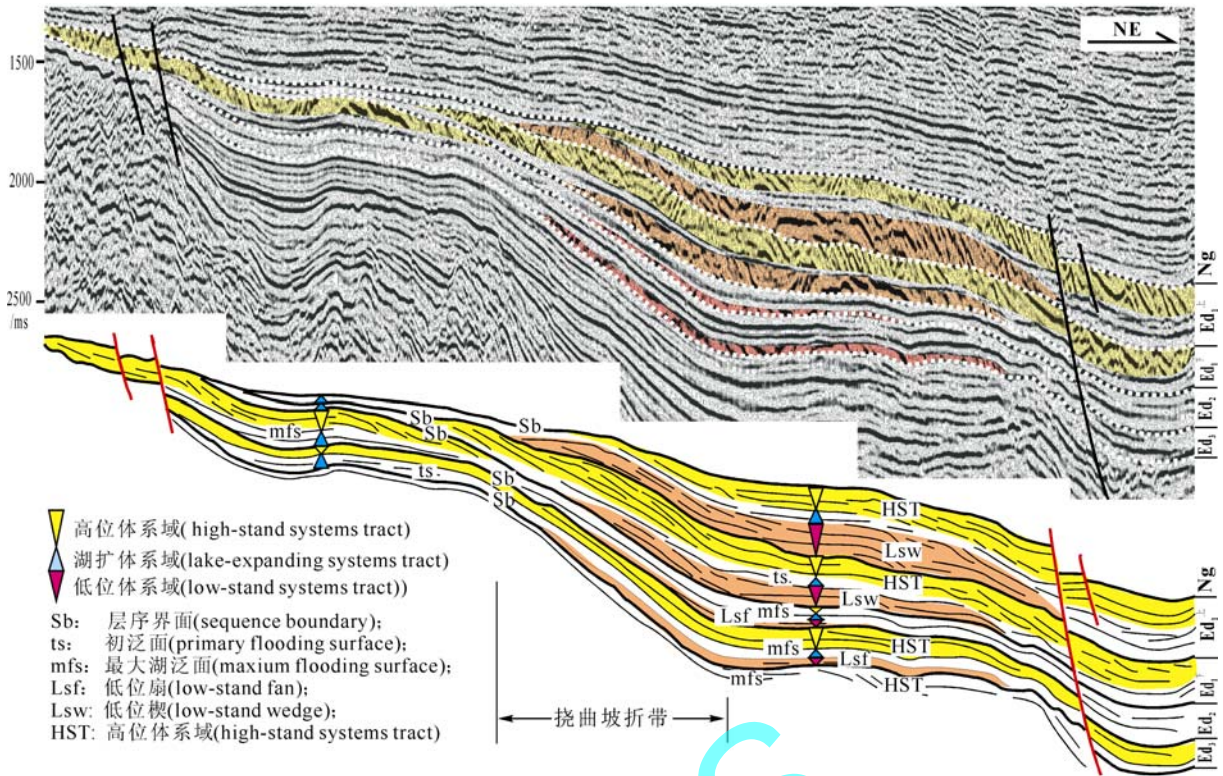


图2 剖面1东营组地震层序解释(剖面位置见图1)

Fig. 2 Sequence interpretation of Dongying Formation on seismic profile 1(for section line see Fig.1)

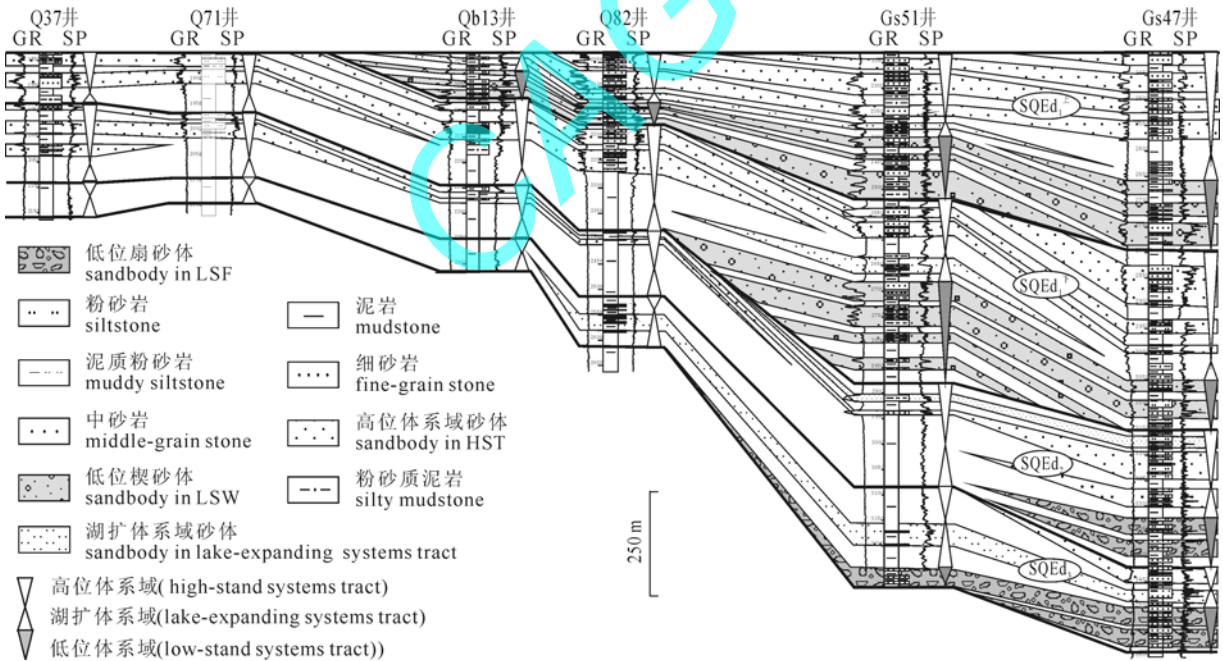


图3 Q37-Gs47井东营组层序对比剖面

Fig. 3 Sequences correlation profile of Dongying Formation in Wells Q37-Gs47

二段层序(SQEd<sub>2</sub>)、东一下亚段层序(SQEd<sub>1</sub><sup>下</sup>)和东一上亚段层序(SQEd<sub>1</sub><sup>上</sup>),即东一段细分为两个三级层序。在歧北凹陷西缘挠曲坡折背景下,层序界面均为强振幅连续同相轴,界面之下普遍见顶超和少量削截反射终止;之上见少量上超、下超和双超反射。

体系域结构上,除SQEd<sub>3</sub>和SQEd<sub>2</sub>低位体系域为少量下超或双超反射之外,东一段两个三级层序的低位体系域和4个三级层序的高位体系域都表现为“S”型前积反射;湖扩体系域则由一条强振幅连续同相轴或一组较连续的退积反射组成。不难看出,

层序的低位体系域均分布在坡折带至平坦湖底部位(图 2)。

在 Q37-Gs47 井层序对比剖面上, SQEd<sub>3</sub> 和 SQEd<sub>2</sub> 层序低位体系域揭示为低位扇沉积, 测井曲线呈低-中幅细锯齿状; SQEd<sub>3</sub> 层序高位体系域在 Q37-Gs51 井发育不完整, 与靠近南大港潜山凸起有关。其他层序的低位和高位体系域均表现为三角洲体系多级次向凹陷中心推进, 与剖面 1 所示特点一致。湖扩体系域则由浅-深湖相泥岩夹少量滨湖粉砂岩组成(图 3)。

综合全区沉积特点, 从 Ed<sub>3</sub> 至 Ed<sub>1</sub><sup>±</sup>, 三角洲的发育程度由减弱到增强变化, 表现为一个大的退积至前积的演化旋回。其中, 东二段厚层稳定的深湖相泥岩发育, 是研究区东营组有利的烃源岩和区域性的盖层。东一段时期, 三角洲体系大规模发育, 向凹陷中心远距离推进沉积, 砂体厚度大, 分布广, 构成东营组有利的储层。

## 2 构造沉降特征

拉张作用是裂谷或断陷盆地形成的主要原因。在拉张作用过程中, 岩石圈减薄、软流圈上隆和随后的热衰减导致基底的进一步沉降(池英柳等, 1996; 解习农等, 1996)。此外, 沉积物的充填和水体也会引起岩石圈的均衡调整沉降。回剥技术是目前盆地沉降史分析中广为采用的方法(Allen et al., 1900; Watts et al., 1976; 王子煜等, 2000; 马莉娟等, 2000; 任建业, 2004), 它把盆地总沉降量区分为由构造驱动和盆地水体、沉积负载所引起的沉降, 通过剥蚀量恢复和对沉积物压实、负载均衡和古水深等进行校正, 最终获取净构造沉降量和构造沉降速率, 以反映构造沉降的贡献(构造沉降量与总沉降量的比值)以及构造沉降随时间变化的规律。

前人研究中普遍应用钻井资料进行一维回剥分析(郭兴伟等, 2006)。鉴于盆地边缘与中心等不同部位的构造沉降变化并不同步, 单个钻井观察点的回剥结果并不能反映盆地构造沉降的整体特点。为此, 笔者选择穿过不同盆缘背景和主要构造单元的过井地震剖面, 利用大量的观察点进行回剥分析, 编制盆地演化及沉降速率剖面, 获取二维剖面沉降面积——沉降通量、沉降速率面积——沉降速率通量作为盆地沉降和沉降速率的衡量参数, 以体现盆地沉降的整体面貌。

东营组各层序顶面均为顶超反射, 反映沉积物过路不留和无沉积作用, 即遭受抬升剥蚀微弱, 可基本不考虑剥蚀量。如图 2 所示凹陷边缘 SQEd<sub>1</sub><sup>±</sup>

层序急剧减薄, 其顶部平缓前积和顶超反射说明, 地层减薄是盆地范围萎缩的结果。研究区地层年龄采用同位素地质年龄(Ed<sub>3</sub>: 29.3 ~ 27.3 Ma; Ed<sub>2</sub>: 27.3 ~ 25.3 Ma; Ed<sub>1</sub><sup>下</sup>: 25.3 ~ 24.4 Ma; Ed<sub>1</sub><sup>±</sup>: 24.4 ~ 23.3 Ma)。以 4 个三级层序为等时地层单元, 通过对两条代表剖面 2、3 的回剥分析(图 4、5), 以两条剖面的平均结果为依据, 研究区东营组时期构造沉降特点归纳如下:

(1) 沉降范围上呈增大—萎缩的趋势。Ed<sub>2</sub> 是沉降范围最大的时期, Ed<sub>1</sub><sup>下</sup>至 Ed<sub>1</sub><sup>±</sup>时期沉降范围则显著萎缩(图 4)。沉降范围的萎缩还表现为整个凹陷的沉降趋于停滞和沉降中心迁移, 如板桥凹陷 Ed<sub>3</sub> 时期强烈沉降, Ed<sub>1</sub><sup>下</sup>时期仅局部沉降; Ed<sub>1</sub><sup>±</sup>时期, 板桥凹陷沉降基本停止, 歧北凹陷沉降也大为减弱, 沉降中心迁移至歧南凹陷(图 5)。

(2) 基底总沉降量和构造沉降量方面。Ed<sub>3</sub> 时期总沉降量和构造沉降量明显高于其他 3 个层序时期。Ed<sub>1</sub><sup>±</sup>、Ed<sub>1</sub><sup>下</sup>、Ed<sub>2</sub> 平均总沉降量几乎相等, 构造沉降量略呈减小的趋势(表 1)。

(3) 总沉降速率和构造沉降速率呈大-小-大-小的变化趋势(表 1)。Ed<sub>2</sub> 总沉降速率和构造沉降速率最小; Ed<sub>1</sub><sup>下</sup>、Ed<sub>1</sub><sup>±</sup>较大; 从 Ed<sub>2</sub> 至 Ed<sub>1</sub><sup>下</sup>沉降速率迅速增加。Ed<sub>3</sub>、Ed<sub>2</sub>、Ed<sub>1</sub><sup>下</sup>、Ed<sub>1</sub><sup>±</sup>平均构造沉降速率的比值为 1.54 1 2.09 1.43。此外, 从单个观察点的沉降速率上看, 凹陷中心部位的变化趋势与总趋势相同, 如观察点 1、2、4; 而凹陷边缘的变化趋势则与总趋势不同, 如观察点 3。这种不同步性也是单个观察点不能反映盆地构造沉降整体特征的原因。

(4) 构造沉降方式上, 表现为断陷作用逐渐减弱, 拗陷作用逐渐加强。断陷作用体现在断层对次级沉降中心的控制上。Ed<sub>3</sub> 时期断陷作用显著, 盆缘及盆内二级断层(包括海河断层、港东断层、南大港断层等)活动强烈, 沿断层下降盘沉降幅度大、沉降速率高; 远离控凹断层, 沉降速率则迅速减小。Ed<sub>2</sub> 时期, 虽然大沉降幅度和高沉降速率也紧邻断层下降盘, 但不同次凹和同一次凹内的沉降量、沉降速率的差异减小, 沉降的整体性增强。Ed<sub>1</sub><sup>下</sup>时期, 断层控凹作用进一步减弱, 个别沉降中心已远离断层。Ed<sub>1</sub><sup>±</sup>时期, 多数沉降中心远离断层, 表现为拗陷特征, 该时期歧南凹陷沉降中心也是岩浆侵入活跃的部位, 在地震和钻井上均有揭示; 不过, 该时期的拗陷作用局限在早期断陷范围内, 与馆陶组区域性拗陷的特点不同。结合断陷盆地的发育演化特点, Ed<sub>3</sub>、Ed<sub>2</sub> 和 Ed<sub>1</sub><sup>下</sup>-Ed<sub>1</sub><sup>±</sup>分别对应于块断差异沉降、热隆升沉降和热冷却沉降阶段。



表 1 剖面 2、3 沉降史回剥分析结果  
Table 1 Back-stripping analyses of subsidence history on profiles 2 and 3

地层	剖面 2				剖面 3				平均				
	构造沉降 通量	总沉降 通量	构造沉降 速率通量	总沉降速 率通量	构造沉降 通量	总沉降 通量	构造沉降 速率通量	总沉降速 率通量	构造沉 降通量	总沉降 通量	构造沉降 速率通量	总沉降速 率通量	构造沉降 贡献(%)
Ed <sub>1</sub> <sup>±</sup>	13.0	27.0	11.8	24.5	4.0	7.0	3.6	6.4	8.5	17.0	7.7	15.5	50.0
Ed <sub>1</sub> <sup>下</sup>	14.2	24.2	15.8	26.9	6.1	10.0	6.8	11.1	10.2	17.1	11.3	19.0	59.6
Ed <sub>2</sub>	15.8	25.4	7.9	12.7	5.6	8.4	2.8	4.2	10.7	16.9	5.4	8.5	63.3
Ed <sub>3</sub>	22.6	33.2	11.3	16.6	10.6	15.8	5.3	7.9	16.6	24.5	8.3	12.3	67.7

注：沉降面积单位为 $\times 10^6 \text{ m}^2$ ；沉降速率通量单位为 $\times 10^6 \text{ m}^2/\text{Ma}$ 。

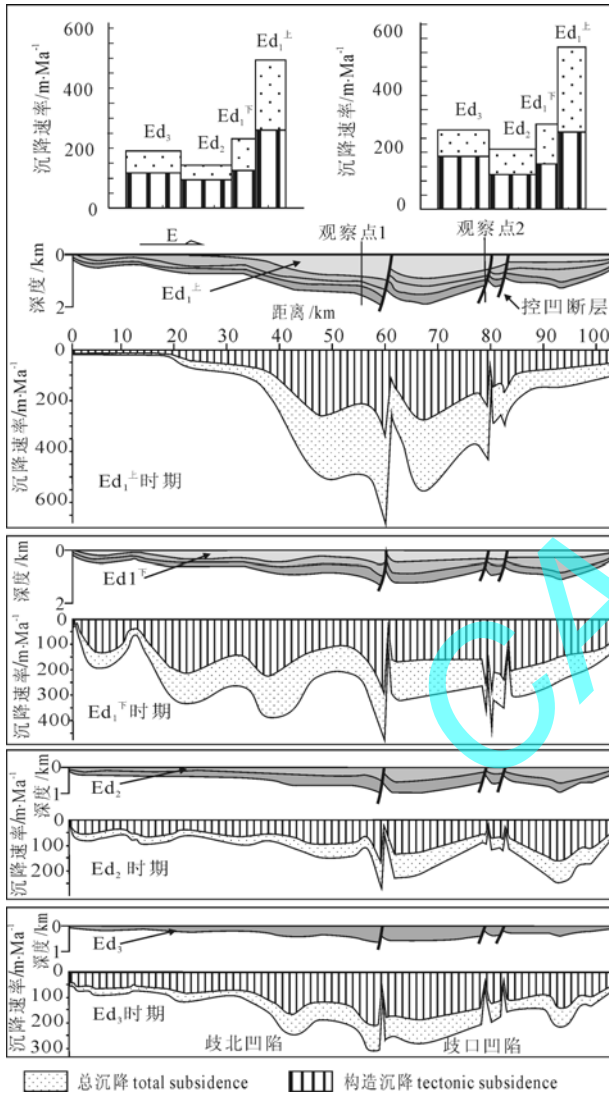


图 4 2 号剖面盆地演化及沉降速率剖面  
Fig. 4 Profiles showing basin evolution and subsidence rate on profile 2

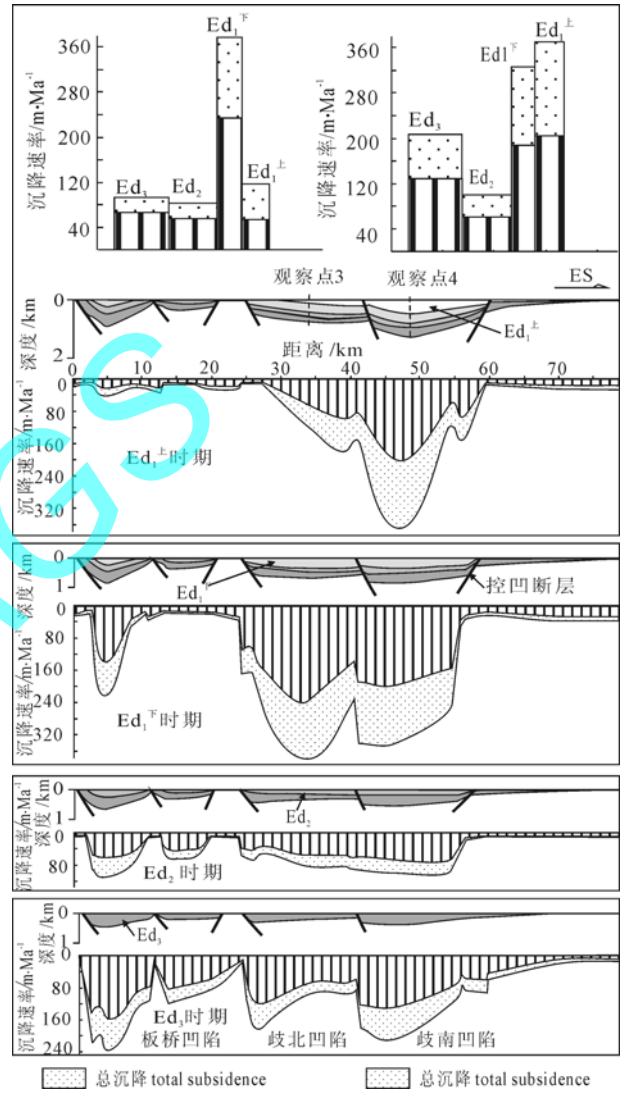


图 5 3 号剖面盆地演化及沉降速率剖面  
Fig. 5 Profiles showing basin evolution and subsidence rate on profile 3

(5) 构造沉降的贡献呈逐渐减小的趋势；相反，负载沉降的贡献逐渐增加。

### 3 湖平面变化与构造沉降的耦合分析

层序地层学理论把沉积物供给作为层序发育的一个独立控制因素，一些学者也讨论了断陷湖盆中

沉积物供给的影响。但具体到输送至盆地的沉积物量，它本身又与海(湖)平面变化密切相关。层序地层学研究表明，海(湖)平面是河流平衡剖面的最终沉积基准面，海(湖)平面波动以逆流传播的方式，引起河流沉积基准面的变化和河流平衡剖面平衡点的转移，对河流的形态(曲度、宽度)和搬运能力产生直

接影响(威尔格斯, 1992; Schumm, 1993; 王家豪等, 2004)。湖平面上升, 则河流平衡剖面上升, 物源水系的输送作用减弱, 且物源区可容纳空间增加, 沉积物的供给受到抑制; 相反, 湖平面下降, 则河流平衡剖面下降, 物源水系的侵蚀和搬运作用增强, 沉积物供给增加。

研究区东营组时期, 三角洲的发育反映了远程河流供给, 在物源区构造活动、气候稳定的条件下, 三角洲的兴衰历史反映了湖平面的升降变化过程。东二段以细粒沉积为主, 反映了该时期湖平面总体较高, 与该时期湖盆范围扩张、水域宽广和高位三角洲远离凹陷中心分布的特点一致; 相反, 东一段三角洲体系大规模发育则是湖平面下降的结果。由此看来, 研究区东营组时期湖平面发生了由 Ed<sub>3</sub>-Ed<sub>2</sub> 上升至 Ed<sub>2</sub>-Ed<sub>1</sub> 下降的过程。

一般地, 如果构造沉降速率增加, 且湖水能得到及时补充, 则湖盆水体加深(操应长等, 2003; 刘震等, 1997), 可容纳空间增加, 粗碎屑将被限定在盆地边缘, 盆地总体以细粒沉积为主。但研究区的实际情况与此正好相反: 东三段时期, 基底快速沉降, 三角洲体系较发育; 东二段时期构造沉降速率最小, 厚层泥岩发育; 东一段时期, 构造沉降速率急剧增加, 三角洲体系大规模发育。总之, 构造沉降速率的增加与三角洲体系繁盛的趋势一致。由此推断, 高构造沉降速率导致了湖平面下降, 该时期四周水系的补充和沉积物充填滞后于基底快速沉降产生的新增可容纳空间; 低构造沉降速率与湖平面上升耦合一致, 反映该时期四周水系的补充和沉积物充填不小于基底沉降产生的新增可容纳空间。

进一步地, 沉降史分析表明, 东三段和东一段时期, 基底沉降极不均衡。图 4 所示, 东三段时期, 紧邻控凹断层构造沉降速率和总沉降速率分别达 200 m/Ma、300 m/Ma, 而构造活动相对稳定的缓坡带仅为 40 m/Ma、50 m/Ma, 表现为块断差异沉降特点; 东一段时期, 盆地边缘沉降迅速减弱至趋于停滞, 但坳陷中心强烈沉降, Ed<sub>1</sub><sup>±</sup> 时期构造沉降速率和总沉降速率分别高达 330 m/Ma、680 m/Ma。正是由于不均衡的强烈构造沉降, 湖水向控凹断层或坳陷中心流动, 最终导致了湖平面下降。在构造活动相对稳定的缓坡带, 湖平面的升降变化最为显著, 该部位三角洲的兴衰历史是湖平面变化的最好写照(图 2, 图 3)。最终, 研究区东营组基底沉降、湖平面变化及层序发育演化如图 6 所示。

此外, Ed<sub>1</sub><sup>±</sup>、Ed<sub>1</sub><sup>下</sup>、Ed<sub>2</sub> 时期, 构造沉降和总沉降量差别较小, 但三角洲的发育程度悬殊。因此, 构造沉降总量的大小不能解释湖平面变化的原因。

#### 4 结论

通过对研究区东营组 4 个三级层序的构造沉降、沉积、层序耦合分析表明, 快速构造沉降与湖平面下降、慢速构造沉降与湖平面上升耦合一致, 在二级层序时限内证实了前人提出的构造活动与湖平面变化关系的假设。此外, 笔者研究认为, 不均衡的强烈构造沉降、湖水体积重新分配、且湖水的补充滞后于构造沉降产生的新增可容纳空间, 是湖平面下降的原因。

虽然本文研究为一个特例, 但笔者在南堡凹陷和黄骅凹陷中区的其他层位研究均发现, 陆相断陷

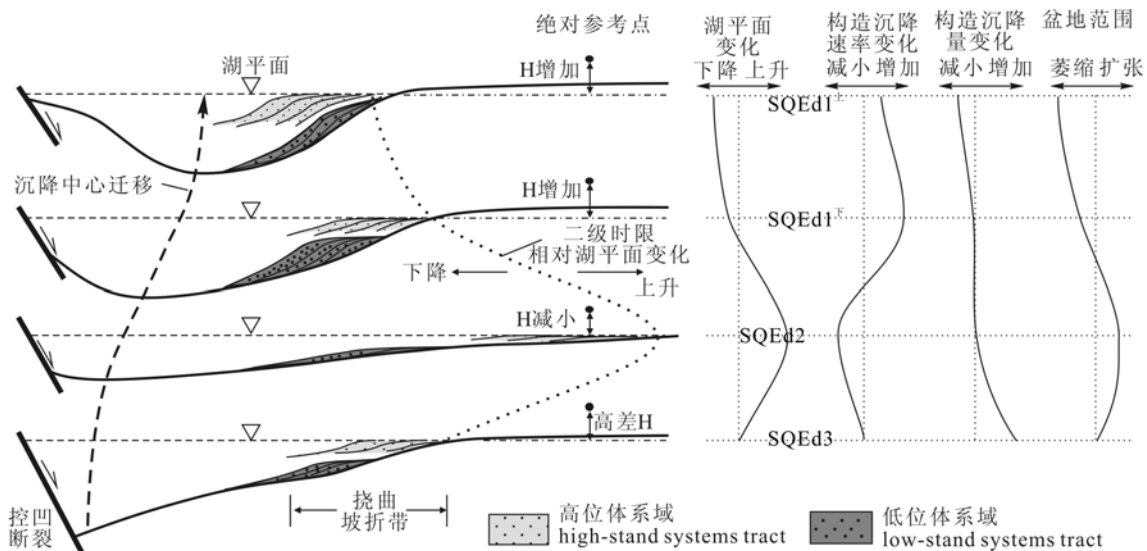


图 6 基底沉降、湖平面变化及层序发育演化示意图

Fig. 6 Sketch map showing basement subsidence, lake-level change and sequence development

湖盆二级层序普遍具有深湖相发育与中期构造活动减弱时期对应一致的特点。由此看来,强烈的构造沉降导致湖平面下降的认识在断陷盆地的整个演化阶段存在广泛适用性。

### 参考文献:

- 操应长,姜在兴,夏斌. 2003. 幕式差异沉降运动对断陷湖盆中湖平面和可容空间变化的影响[J]. 石油实验地质, 25(4): 323-327.
- 操应长,姜在兴. 2004. 断陷湖盆层序界面的成因类型及其与油气藏的关系[J]. 石油大学学报(自然科学版), 28(4): 1-6.
- 池英柳,张万选,张厚福,孙红军. 1996. 陆相断陷盆地层序成因初探[J]. 石油学报, 17(3): 19-26.
- 冯有良,李思田,解习农. 2000. 陆相断陷盆地层序形成动力学及层序地层模式[J]. 地学前缘, 7(3): 119-132.
- 郭建华,朱美衡,刘辰生,王明艳. 2005. 陆相断陷盆地湖平面变化曲线与层序地层学框架模式讨论[J]. 矿物岩石, 25(2): 87-92.
- 郭兴伟,施小斌,丘学林,吴智平,李伟,李凌. 2006. 济阳拗陷新生代构造沉降特征[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 30(3): 6-11.
- 胡受权,郭文平,杨凤根,颜其彬,刘树根,童崇光. 2001. 试论控制断陷湖盆陆相层序发育的影响因素[J]. 沉积学报, 19(2): 257-262.
- 解习农,程守田,陆永潮. 1996. 陆相盆地幕式构造旋回与层序构成[J]. 地球科学, 2(1): 27-331.
- 刘震,曾宪斌,张万选. 1997. 构造掀斜对单断湖盆湖平面变化的影响[J]. 沉积学报, 15(4): 64-65.
- 马莉娟,何新贞,工淑玲,任建业. 2000. 东营凹陷沉降史分析与构造充填演化[J]. 石油地球物理勘探, 35(6): 796-794.
- 任建业. 2004. 渤海湾盆地东营凹陷 S6' 界面的构造变革意义[J]. 地球科学, 29(1): 69-76.
- 王家豪,姚光庆,赵彦超. 2004. 浅水辫状河三角洲发育区短期基准面旋回划分及储层宏观特征分析[J]. 沉积学报, 22(1): 88-94.
- 王嗣敏,刘招君,董清水,朱建伟,郭巍. 2000. 陆相盆地层序地层形成机制分析——以松辽盆地为例[J]. 长春科技大学学报, 30(3): 139-144.
- 王子煜,漆家福,陆克政. 2000. 黄骅拗陷东部构造带新生代构造沉降史分析[J]. 石油与天然气地质, 21(2): 127-129.
- 威尔格斯 C K. 1992. 层序地层学原理[M]. 徐怀大,魏魁生,洪卫东译. 北京: 石油工业出版社, 155-184.

### References:

- ALLEN P A, ALLEN J R. 1990. Basin analysis principle sand applications [M]. London: Blackwell Scientific Press, 451.
- CAO Ying-chang, JIANG Zai-xin. 2004. Relationship between hydrocarbon reservoir and genetic types of sequence boundary in rift lacustrine basin [J]. Journal of the University of Petroleum, China, 28(4): 1-6 (in Chinese with English abstract).
- CAO Ying-chang, JIANG Zai-xing, XIA Bin. 2003. Effects of episodic differential subsidence on the changes of lake level and water depth in rift lake basins [J]. Petroleum Geology & Experiment, 25(4): 323-327 (in Chinese with English abstract).
- CHI Yin-liu, ZHANG Wan-xuan, ZHANG Hou-fu, SUN Hong-jun. 1996. Genesis of stratigraphic sequence in continent rift basins [J]. Acta Petrolei Sinica, 17(3): 19-26 (in Chinese with English

abstract).

- FENG You-liang, LI Si-tian, XIE Xi-nong. 2000. Dynamics of sequence generation and sequence stratigraphic model in continental rift subsidence basin [J]. Earth Science Frontiers, 7(3): 119-132 (in Chinese with English abstract).
- GUO Jian-hua, ZHU Mei-heng, LIU Chen-shen, WNG Ming-yan. 2005. The curve of lacustrine level change in continental rift-subsidence basin and the sequence stratigraphy framework model [J]. J. Mineral. Petrol., 25(2): 87-92 (in Chinese with English abstract).
- GUO Xing-wei, SHI Xiao-bin, QIU Xue-lin, WU Zhi-ping, LI Wei, LI Ling. 2006. Characteristics of Cenozoic tectonic subsidence in Jiyang depression [J]. Journal of China University of Petroleum, 30(3): 6-11 (in Chinese with English abstract).
- HU Shou-quan, GUO Wen-ping, YANG Feng-gen, YAN Qi-bin, LIU Shu-gen, TONG Chong-guang. 2001. Study on influential factors of terrigenous sequence formation and development in Fault-depressed lacustrine basin [J]. Acta Sedimentologic Sinica, 19(2): 257-262 (in Chinese with English abstract).
- LIU Zheng, ZEN Xian-bing, ZHANG Wan-xuan. 1997. Effect of tectonic tilt of faulted blocks on lake-level change of single-faulted continental Basins [J]. Acta Sedimentologic Sinica, 15(4): 64-65 (in Chinese with English abstract).
- MA Li-juan, HE Xin-zhen, WANG Shu-ling, REN Jian-ye. 2000. Subsidence history analysis and structural filling evaluation in Dongying depression [J]. Oil Geophysical Prospecting, 35(6): 786-794 (in Chinese with English abstract).
- REN Jian-ye. 2004. Tectonic significance of S6' boundary in Dongying depression, Bohai Gulf basin [J]. Earth Science, 29(1): 69-76 (in Chinese with English abstract).
- SCHUMM S A. 1993. River response to base-level change implications for sequence stratigraphy [J]. The Journal of Geology, 101: 279-294.
- STRECKER U, STRIDTMANN J R, SMITHSON. 1999. A conceptual tectonostratigraphic model for seismic facies migration in a fluvio-lacustrine extensional basin [J]. AAPG Bulletin, 83(1): 43-61.
- WANG Jia-hao, YAO Guang-qing, ZHAO Yan-chao. 2004. Study on identification of short-term base-level cycle and macroscopic distribution of reservoirs in shallow-Water braided delta [J]. Acta Sedimentologic Sinica, 22(1): 88-94 (in Chinese with English abstract).
- WANG Si-min, LIU Zhao-jun, DONG Qing-shui, ZHU Jian-wei, GUO Wei. 2000. The mechanism of formation analysis of continental sequence stratigraphy [J]. Journal of Changchun university of science and technology, 30(3): 139-144 (in Chinese with English abstract).
- WANG Zi-yu, QI Jia-fu, LU Ke-zhe. 2000. Analysis of Cenozoic tectonic subsidence history of the east tectonic belts in Huanghua depression [J]. Oil & Gas Geology, 21(2): 127-129 (in Chinese with English abstract).
- WATTS A B, RYAN W B F. 1976. Flexure of the lithosphere and continental margin basins [J]. Tectonophysics, 36: 25-44.
- WILGUS C K. 1992. Sea-level changes: an integrated approach [M]. Translated by XU Hai-da, WEI Kui-sheng and HONG Wei-dong. Petroleum Industrial Press, 49-157 (in Chinese).
- XIE Xi-nong, CHENG Shou-tian, LU Yong-chao. 1996. Episodic tectonic cycles and internal architectures of sequences in continental basin [J]. Earth Science, 2(1): 27-331 (in Chinese with English abstract).