

文章编号: 0253-9985(2001)03-0203-04

# 断陷湖盆基底非线性沉降与Ⅱ型层序的形成\*

## ——以冀东油田南堡凹陷为例

王家豪<sup>1</sup>, 王 华<sup>1</sup>, 周海民<sup>2</sup>, 赵忠新<sup>1</sup>, 甘华军<sup>1</sup>, 韩晋阳<sup>1</sup>

(1. 中国地质大学资源学院石油系, 湖北武汉 430074; 2. 中国石油冀东油田, 河北唐山 063004)

摘要: 断陷湖盆基底幕式沉降过程中的加速和减速(非线性构造沉降)对层序形成有明显的控制作用, 可以增强或减弱层序边界的信息。导致体系域的提前或滞后。Ⅱ型层序界面是在基底非线性加速沉降, 并且构造沉降加速度大于或等于湖平面下降加速度的背景下形成的。基底的非线性沉降和湖平面升降的耦合关系对河流的作用方式以及河流沉积的展布特征有很强的控制作用。运用这一特点, 可应用砂体等厚图来验证层序划分的正确性。这一特点还可作为Ⅱ型层序的识别依据。

关键词: 断陷湖盆; 非线性沉降; Ⅱ型层序; 南堡凹陷

第一作者简介: 王家豪, 男, 32岁, 硕士, 油气地质及层序地层学

中图分类号: P539.2

文献标识码: A

以 Exxon 研究组为代表的层序地层工作组提出了Ⅱ型层序的概念体系<sup>[1]</sup>, 但对Ⅱ型层序的成因以及识别的论述较少, 有关陆相断陷湖盆Ⅱ型层序的文献就更少了<sup>[2]</sup>。Vail 认为在盆地边缘高速沉降的地区导致Ⅱ型不整合<sup>[1]</sup>, 但作者认为: 基底沉降速率向盆地中心逐渐增大, 稳定构造沉降速率的高低只能引起沉积物距离湖岸远近的分布差异, 盆地边缘高速沉降不能确切地解释河流是否产生下切作用——Ⅰ, Ⅱ型层序的区别所在。离散型大陆边缘盆地的构造沉降速率变化周期长, 在层序分析中往往忽略其影响; 在对陆相断陷盆地基底沉降的分析中也普遍采用阶段性匀速沉降的方式。本文结合对南堡凹陷层序地层的研究结果, 吸收了对陆相湖盆“幕式沉降”的研究成果<sup>[3~6]</sup>, 导入了非线性构造沉降的概念, 旨在探讨Ⅱ型层序的成因。

## 1 对层序界面的影响

陆相断陷湖盆的基底沉降呈幕式特征已被大多数地质学者所认可<sup>[3,4]</sup>。南堡凹陷的基底沉降也存在高速、低速的多期交替过程<sup>[3]</sup>, 在高低速的转换过程之中必定存在加速和减速——即非线性构造沉降的活动特征。假定沉积物供给速率稳定, 结合盆地基底沉降加速、减速与湖平面上升、下降

的耦合关系, 可分为4种情况讨论非线性构造沉降对层序的影响(图1)。

图1A所示为常见的稳定构造沉降下的图解分析, 湖平面变化与构造沉降共同作用合成了相对湖平面(新增可容纳空间与之同步)变化, 相对湖平面变化速率与沉积物供给速率的比值变化导致加积、前积、退积的不同叠置组合, 形成地层层序。在图1A中T0-T1段形成湖侵体系域(TST), T1-T2段形成高位体系域(HST), T2-T3段形成低位体系域(LST), 并在T2点形成Ⅰ型层序界面。

图1B为构造沉降加速发生在湖平面下降期, 沉降加速中和了湖平面的下降, 其中又可分为: (1) 当构造沉降的加速度小于湖平面下降的加速度时, 相对湖平面下降, 形成Ⅰ型层序, 但构造沉降加速缓和了相对湖平面下降和新增可容纳空间速率的减小, 前积沉积速率较小, 减弱了层序界面的信息; (2) 当构造沉降的加速度等于湖平面下降的加速度时, 相对湖平面稳定, 可容纳空间稳定发育, 形成加积沉积; (3) 当构造沉降的加速度大于湖平面下降的加速度时, 相对湖平面持续上升, 可容纳空间将继续增加, 形成退积沉积。在后两种情况下, 缺少Ⅰ型层序高速前积作用的低位体系域沉积, 而以加积或退积沉积为特征, 构造沉降加速与随后湖平面上升叠加, 相对湖平面迅速上升, 退积作用显著, 沉积体系向湖岸方向迅速迁移, 即向沉积物供给与可容纳空间发育的新的平衡方向调整, 形成Ⅱ型层序

\* 国家教育部优秀青年教师基金资助项目的成果之一

收稿日期: 2001-02-21

界面和Ⅱ型层序地层。

图1C为构造沉降减速发生在湖平面下降期,沉降减速叠加在湖平面下降的基础上,使相对湖平面迅速下降和新增可容纳空间速率迅速减小,下伏层序高位体系域提前结束,加剧了低位体系域的前积作用,增强了Ⅰ型层序边界的信息。

图1D为构造沉降加速发生在湖平面上升期,

沉降加速使相对湖平面上升速率和新增可容纳空间速率增加,可容纳空间迅速增加,退积加速,并延长退积沉积的时间,使高位体系域滞后发育。

图1E为构造沉降减速发生在湖平面上升期,使相对湖平面上升速率和新增可容纳空间速率减小,可容纳空间稳定增加,加积或前积作用持续时间长,高位体系域沉积提前来临,也提前结束。

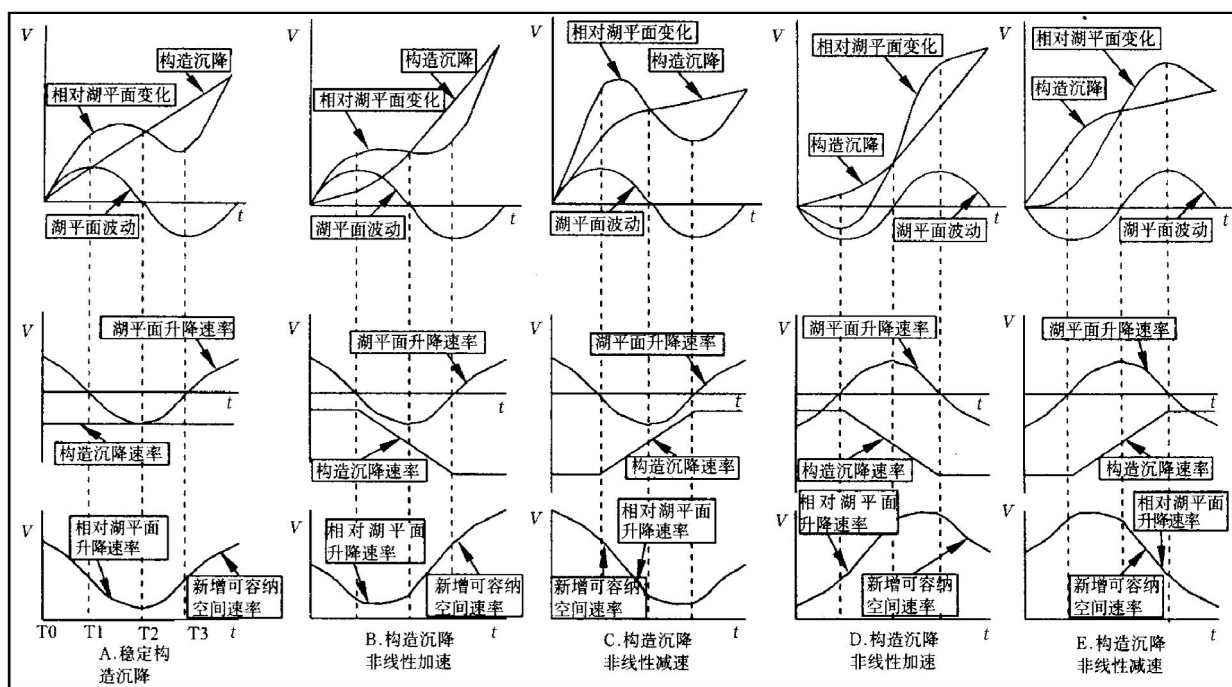


图1 盆地基底非线性构造沉降对层序形成与发育的影响(纵坐标  $V$ : 深度或厚度;  $t$ : 时间)

Fig. 1 The influence of basin basement nonlinear structural subsidence on sequence formation and development

经以上分析可见:非线性构造沉降可以增强或减弱层序边界的信息,导致体系域的提前或滞后;Ⅱ型层序的成因在于基底加速沉降,只有在构造沉降非线性加速,并且构造沉降加速度大于或等于湖平面下降的加速度时,才能形成Ⅱ型层序。

## 2 河流沉积的产出方式

### 2.1 Ⅰ型层序

河流是湖泊充填的主要营建力量,河流沉积作用特征及延续时间是湖平面变化的一个函数<sup>[1]</sup>,湖平面变化通过引起基准面的变化形成对河流作用的控制。在一个Ⅰ型层序内,河道沉积表现为“以线形下切河谷充填方式产出”和“具有侧向连续性相对较高的席状几何形态的砂体发育”<sup>[1]</sup>两种典型形式。南堡凹陷以湖泊背景的三角洲体系沉积为特征,低位体系域沉积时期,湖平面下降导致基准面下降,河流回春,形成快速前积,常见1~3个准层序,沉积物粒度粗,以垂直叠置方式产出,测井曲

线(自然电位曲线和视电阻率曲线)呈高幅齿化箱型,并且由于河道底部冲刷强烈,测井曲线显示为底部突变(图2,5-ⅡHPS1~3);在高水位体系域晚期,湖平面缓慢下降,可容纳空间缓慢发育,两者作用的结果使河流携带能力低,并在广阔的三角洲平原上广泛分流,沉积物粒度细,测井曲线呈低幅微齿化圣诞树状(图2,5-Ⅱ层序)。

以河流的沉积特征,结合地震剖面强连续同相轴、准层序的叠置方式等作为层序划分的依据<sup>[7~9]</sup>,作者对南堡凹陷进行了层序划分,编制了钻孔密集的高(尚堡)-柳(赞)地区三级层序内每个准层序的砂体等厚图,通过在准层序时限内的砂体迁移反映层序的发育过程。以沙河街组4-Ⅰ层序为例(图3),在低位体系域准层序PS1,PS2至PS3沉积时期,剥蚀线位置(与湖岸线位置相当)低并下降,砂体向盆地中心延伸远,反映了相对湖平面下降、河道下切、三角洲朵体向盆地中心快速迁移。湖侵体系域(PS4,PS5准层序)沉积时期,剥蚀线位置迅速向盆缘

迁移, 砂体厚度逐渐增加, 反映了相对湖平面上升和可容纳空间迅速增加。高水位体系域(PS6, PS7)沉积时期, 砂体厚度小, 剥蚀线位置向盆地中心迁移, 反映为湖平面缓慢下降和轻微前积作用。图2说明了在一个I型三级层序内准层序、体系域以及沉积特征随湖平面变化, 检验了层序地层理论在陆相断陷湖盆的适用性和层序划分的正确性。

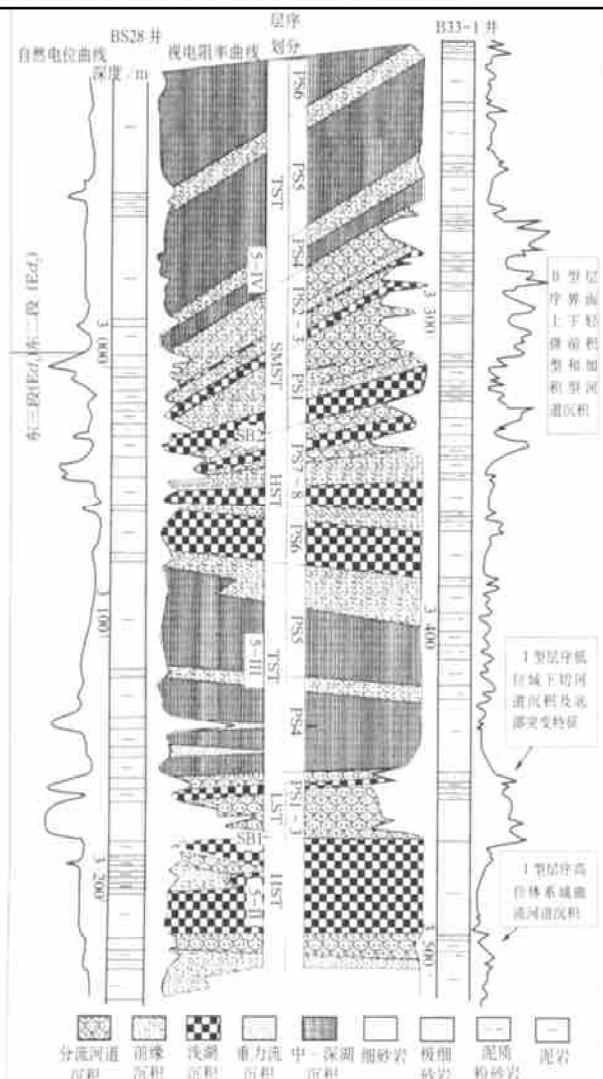


图2 层序的不同部位河流沉积的三种样式及

I、II型层序界面特征

Fig. 2 Three styles of fluvial deposits in different positions of sequences and the features of type I and type II sequence boundaries

## 2.2 II型层序

B33-1井和BS28井大致分布于三角洲进积的方向上。图2所示的层序特征如下。

(1) 在东营组二段下部和东营组三段上部沉积了厚层的中深湖泥岩夹薄层细、粉砂岩, 表现为两个退积型准层序组(5-III-PS3~PS4和5-IV-PS4~PS5), 从而可划分为5-III、5-IV两个层序。

(2) 5-III层序内准层序PS1~2沉积物粒度粗, 测井曲线呈高幅齿化箱型, 前积明显, 反映为下切河道沉积特征; PS5~PS8表现为加积-慢速前积作用, PS1~PS8组成一个完整层序。

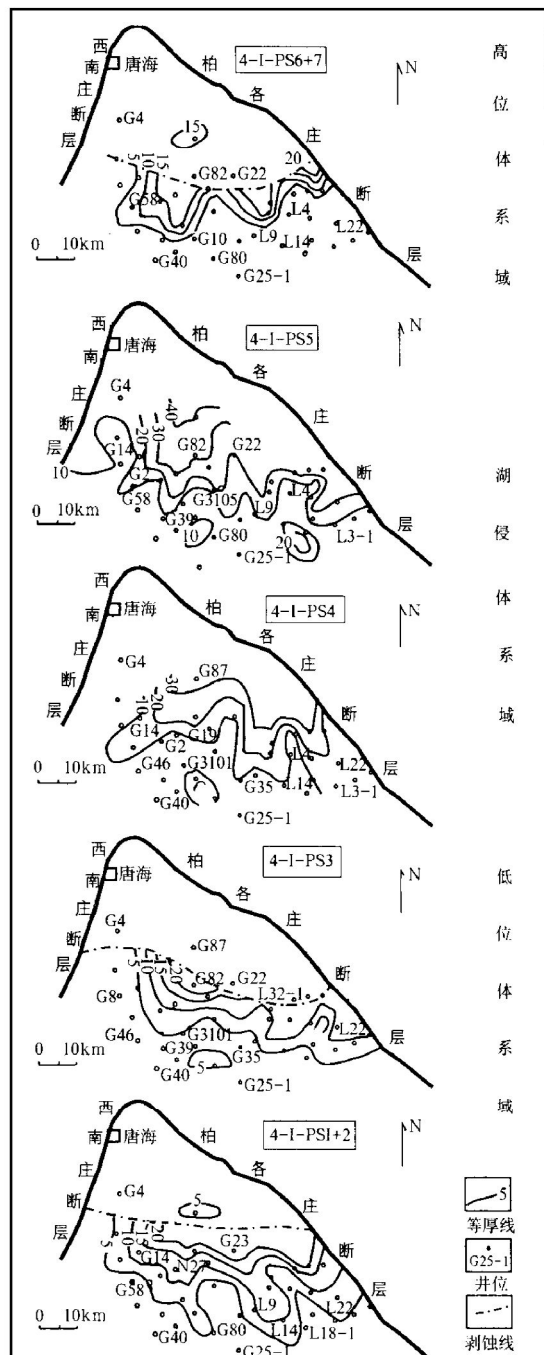


图3 高柳地区沙河街组一段4-I层序各准层序砂体等厚图

Fig. 1 Isopach map of subsequence sandbodies of 4-I sequence of Sha1 member in Gaoliu Region

(3) 5-IV层序的PS1~3准层序沉积物粒度粗, 在B33-1井段测井曲线呈高幅齿化箱型, 为辫状分流河道沉积; 在BS28井段测井曲线呈漏斗型, 为三角洲前缘沉积。总体上, 河道沉积比5-III层序顶部更发育, 表现为沉积物的粒度粗、厚度大。

但河道沉积向盆地中心延伸不远,垂向上由3个浅湖-前缘-河道沉积序列组成加积型准层序,与5-III PS1~PS2不同,河流没有发生下切作用。这说明:一方面,湖平面下降导致基准面下降,诱发了河流作用增强;另一方面,由于基底加速沉降,可容纳空间稳定发育,新增可容纳空间速率不小于沉积物供给速率,河流不能形成下切。另外,5-III层序PS7~8准层序的河道沉积比5-II层序顶部河道沉积更发育,也是基底加速沉降所致。

(4)南堡凹陷东营组二段总体以厚层的中深湖泥岩夹薄层的浊积粉砂岩-细砂岩为特征,从东营组三段至东营组二段显示为沉积体系迅速向盆地边缘迁移,反映了盆地整体扩张、盆缘断陷活动加剧的过程。因此,II型层序的发育与盆地的演化趋势吻合。

池英柳、张万选等<sup>[10]</sup>认为:“我国东部中生代陆相断陷湖盆……因为断块沿断面向下滑动需要克服阻力,只有应力积累到足以克服阻力时,断块才能向下滑动一次,滑动造成应力释放,然后又开始应力积累,如此反复。”南堡凹陷II型层序的形成可能与断陷湖盆的活动断块突发性的迅速下滑有关。

### 3 意义

理论上,作为层序地层学应用在陆相湖盆的一个范例,本文通过河流作用的3种不同方式进行了层序划分;应用砂体等厚图的变迁验证了层序地层

学在陆相湖盆的适用性;非线性构造沉降的引入较合理地解释了II型层序的成因,丰富了层序地层学的内容。实践上,基底的加速沉降导致了全盆范围厚层湖相泥岩沉积,既是规模性的生油岩层,又作为区域性的盖层,成为油气藏形成的一个有利条件。

### 参 考 文 献

- 1 威尔格斯 C K. 层序地层学原理(海平面变化综合分析)[M]. 徐怀大,魏魁生,洪卫东,译. 北京:石油工业出版社,1992. 49~157
- 2 魏魁生,叶淑芬,郭占谦,等. 松辽盆地白垩系非海相地层沉积层序模式[J]. 沉积学报,1996,14(4): 50~58
- 3 焦养泉,周海民,刘少峰,等. 断陷盆地多层次幕式裂陷作用与沉积充填响应[J]. 地球科学,1996,21(6): 633~636
- 4 解习农,程守田,陆永朝. 陆相盆地幕式构造旋回与层序构成[J]. 地球科学,1996,21(1): 27~33
- 5 杨玉峰,王孔伟,王始波,等. 汤原断陷下第三系构造活动对层序的控制作用[J]. 石油与天然气地质,1999,20(1): 49~54
- 6 王嗣敏,刘招君,董清水,等. 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,2000,30(2): 137~142
- 7 徐怀大. 层序地层学理论用于我国断陷盆地分析中的问题[J]. 石油与天然气地质,1991,12(1): 52~57
- 8 魏魁生,徐怀大. 华北典型箕状断陷盆地地层学模式及其与油气赋存关系[J]. 地球科学,1993,18(2): 139~149
- 9 解习农,李思田. 陆相盆地层序地层研究特点[J]. 地质科技情报,1993,12(1): 22~26
- 10 池英柳,张万选,张厚福,等. 陆相断陷盆地层序成因初探[J]. 石油学报,1996,17(3): 19~25

## BASEMENT NONLINEAR SUBSIDENCE OF FAULTED LAKE BASIN AND TYPE- II SEQUENCE FORMATION:

### TAKE NANPU DEPRESSION IN JIDONG OILFIELDS AS AN EXAMPLE

Wang Jiahao<sup>1</sup> Wang Hua<sup>1</sup> Zhou Haimin<sup>2</sup> Zhao Zhongxin<sup>1</sup> Gan Huajun<sup>1</sup> Han Jinyang<sup>1</sup>

(1. Petroleum Department, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei;

2. Jidong Oilfield, PetroChina, Tangshan, Hebei)

**Abstract:** The acceleration and deceleration in the episodic subsiding process (nonlinear tectonic subsidence) of the basement of faulted lacustrine basin have distinct controlling effect on the formation of sequence, and could strengthen or weaken the information of sequence boundary, result in the advance or delay of system tract. Type II sequence interface was formed when the basement nonlinear subsidence speeded up and the tectonic subsidence acceleration was bigger than or equal to lake level falling acceleration. The coupling between basement nonlinear subsidence and lake level elevation and subsidence has strong control over fluviation manner and the deposit distribution. According to this and applying sandbody isopach map, the correctness of sequence division could be verified. The characteristics could also be used as the evidence in sequence recognition.

**Key words:** faulted lacustrine basin; nonlinear subsidence; type II sequence; Nanpu Depression