

# 陆相层序地层学进展

程日辉 王东坡

(长春地质学院)

**[内容提要]** 陆相层序地层学是层序地层学发展的一个重要方向。由于陆相地层的特点,其与海相层序地层相比具有特殊性。本文从层序的控制因素、层序界面、基准面、体系域与沉积体系的发育、层序地层与模拟技术和全球对比意义等方面回顾了陆相层序地层学的进展并讨论了陆相层序地层学的特点。

**关键词:** 陆相层序地层学 控制因素 层序界面 体系域 全球对比

近年陆相层序地层学的研究发展已充分显示出层序地层学的核心思想的意义及其适应性。这一核心思想体现为建立等时地层格架,并将相和沉积体系的研究放在等时地层格架中进行(Van Wagoner 等)<sup>[1]</sup>,使层序地层学具有年代地层学和成因地层学的意义。层序地层学的基本单元是层序,按照 Mitchum<sup>[2]</sup>的定义:沉积层序是一种年代地层单位,由“一套相对整合的、成因上有联系的地层组成,其顶和底以不整合或与这些不整合可以对比的整合为界”。这显示出不整合是层序地层学研究的关键,正如 Weimer<sup>[3]</sup>曾提出的,离开了不整合的研究,层序地层分析与常规的地层和沉积环境研究没有根本区别。鉴于层序地层学具有详细的地层划分对比,尤其是全球对比功能(如 Vail<sup>[4]</sup>、Van Wagoner 和 Mitchum 等<sup>[1]</sup>所提出的被动大陆边缘层序地层模式中强调了海平面变化对层序形成、沉积体系配置等方面的控制作用以及 Vail 全球海平面变化曲线的全球对比意义)和成因地层的属性(Vail 等人的层序划分原则与 Galloway<sup>[5]</sup>的成因地层层序划分原则不同,主要区别在于对层序成因的认识,前者强调全球海平面变化,而后者突出了构造沉降和沉积物供应的作用),使其在陆相地层中得于广泛应用。

然而,陆相层序地层学研究表明,陆相盆地的情况远比海相盆地复杂,并不能用全球海平面变化因素加以了解,其显然属于间接因素。层序形成的主要控制因素是构造沉降、沉积物通量和气候。此外层序界面特征和沉积体系发育特点也具特殊性,沉积物搬运、沉积的介质(如风、冰川等)和火山的作用亦使陆相层序更具特色。层序地层学的一个目标是进行全球对比,但在缺乏陆相层序的详细研究和对层序形成控制主导因素了解的情况下,进行准确的、完整的全球对比是不可想象的。因此,如 Weimer(1992)所说,陆相层序地层学的发展是

现代地质科学的一场革命。

## 1 层序的控制因素

综合 Vail 等(1974—1991)的观点,全球海平面变化、构造运动、沉积物供应和气候作为影响层序产生、发展的四大控制因素并突出了全球海平面变化这一因素。然而陆相层序地层的控制因素却为构造沉降、沉积物通量和气候。气候条件主要影响沉积物类型,构造沉降和沉积物通量的综合作用控制层序内部构成及形态,全球海平面变化可能是层序形成的间接控制因素。这一构造的主导作用已得到广泛的讨论(包括海相地层),Sloss<sup>[6]</sup>提出构造-层序地层学的主要控制因素的观点,他认为大陆及大陆边缘经受上升和沉降单元构造演化的影响,这些单元控制着相对海平面的变化和沉积环境的分布。近年来,Vail 等<sup>[7]</sup>对构造作用、全球海平面变化及沉积作用的关系重新剖析,把构造作用按幕式事件分成一、二、三级,分别是盆地形成及演化(50Ma 以上)、盆内构造沉降速率和补给速度(3—50Ma)、事件沉积的形成(0.5—3Ma)的主控或主导因素;同时认为海平面变化也具有与构造事件相对应的级别,主体海侵海退旋回变化与二级构造事件对应,并决定沉积作用的方式和充填物的类型。结论是构造和全球海平面变化是层序的主导因素。在我国陆相盆地占有相当的数量,许多学者认为我国陆相盆地层序地层的主要控制因素是构造作用(李思田等<sup>[8]</sup>,魏魁生、徐怀大<sup>[9]</sup>,王东坡等<sup>[10]</sup>)。

## 2 层序界面

根据 Vail 等人的模式层序界面包括 1 型和 2 型界面,而近来有人提出 3 型界面,形成的主要机制是海平面下降的速率小于盆地的沉降速率,但堆积场所可能有三级构造为引导的边界条件,形成局部的改变(许效松)<sup>[11]</sup>。提出 3 型界面的还有 Goldhammer(1990),这个界面是碳酸盐岩层序的淹没不整合面(陈荣坤)<sup>[12]</sup>。在陆相地层中层序的不整合界面多为构造运动面、构造应力转换面、大面积侵蚀或冲刷不整合面(相当于 1 型界面)和大面积超覆界面。这些界面的主要特点是地层缺失或上覆、下伏体系域的转换。不整合在层序地层分析中具有重大意义,从某种意义上说其是负的地质记录,代表地质历史演化过程中的非连续性,隐蔽着一段或长或短的地质中断,代表沉积和构造作用变化的转换面(许效松,1994)。在陆相盆地中层序界面的构造作用意义更加突出。在国内的陆相盆地中存在许多的不同级别的构造不整合面,与大地构造中的构造层相对应的区域性角度不整合在层序地层分析中被作为超层序(supersequence)界面(李思田等)<sup>[13]</sup>,而次一级的微角度不整合、平行不整合或假整合被作为层序界面(王东坡等,1994)。值得注意的是近来的研究进展表明层序界面的形成并非单一成因,Woodcock 等人通过对威尔士盆地古生代层序地层的研究显示界面的构造或火山构造活动成因,而未显示出由海平面升降变化而引起的单一成因(陈荣坤,1993)。

## 3 基准面、体系域与沉积体系的发育

在与陆相地层形成有关的基准面可分为与海水基准面有关的和无关的两大类,前者多是在近海平原地区和近海湖盆地区,后者则多在陆内平原和山地地区。基准面的变化是层序形成发展的直接控制因素,无论层序的控制主导因素是全球海平面变化还是构造作用或其它。其表现在对体系域的形成与演变、沉积体系的发育与时空配置的影响和控制作用。Posa-

mentier 和 Vail<sup>[14]</sup>提出受控于海平面变化的非海相(河流)层序的层序地层模式,即与海平面相对变化有关的河流典型沉积的两种层序:1型层序是由含有具线状和波状分布样式的河流沉积的切割河谷充填构成,这是低水位和早期高水位体系域所特有的。高水位晚期的广阔泛滥平原之上广布的河流沉积直到切割谷被充填时才出现;2型层序以仅在高水位后期才分布的河流沉积为特征,该层序从无切割河谷。然而 Mail<sup>[15]</sup>对此进行了详细的评论,指出这一模式的缺陷,特别是关于平衡剖面变化的一些基本概念。为此 Wright 和 Marriott<sup>[16]</sup>提出一个与海平面变化、容纳空间、冲积建造和土壤或古土壤发育相联的简单层序模式,其强调由于冲积体系复杂性,简单的基准面控制模式不一定适应,许多“复合响应”和气候因素可能会导致沉积层序变化很大的河流体系。在相近背景下,Legarreta<sup>[17]</sup>从层序地层格架出发对 Argentinian 盆地的各种非海相层序提出了相近的模式,并使用向前步进、向后步进和加积体系域的术语。与之相比,内陆湖盆的基准面却是相对独立的,只是近海湖盆有时会受到周期性海侵事件的影响(由于海侵事件往往与全球海平面变化相联,因此可能具有全球对比的意义)。我国东北的松辽盆地白垩纪就发生了三次湖海沟通事件,并与湖侵事件同步(王东坡等,1994)。Xue 和 Galloway<sup>[18]</sup>在研究松辽盆地层序地层时,应用成因地层层序分析方法,以最大湖泛面为层序界面,并把层序细分为进积体系域、低水位进积复合体和退积体系域。在陆相湖盆层序的次一级划分方面,王东坡等(1994)在分析松辽裂谷盆地层序地层时,使用了湖侵、湖泛、和湖退体系域的术语并提出断陷盆地层序地层学模式和坳陷盆地层序地层模式(图1和图2)。这个水进-水退旋回控制了沉积体系的发育及其时空配置,即反映了

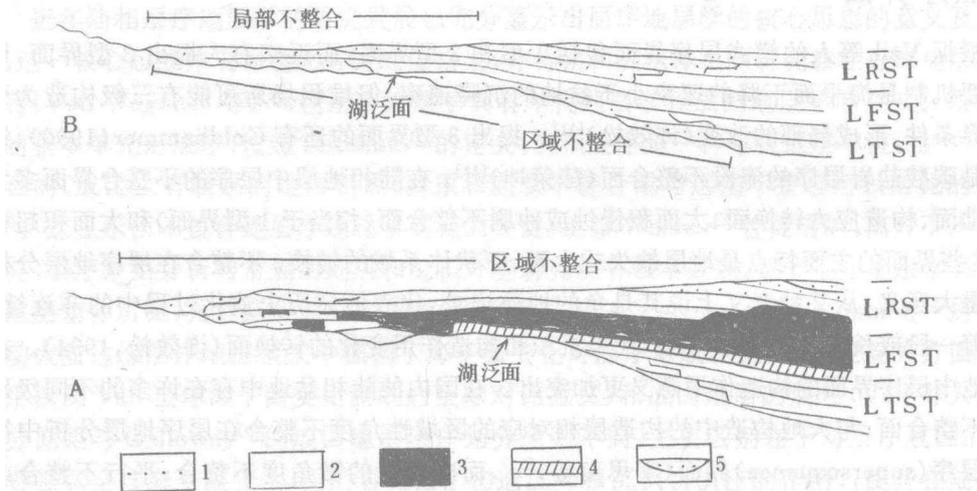


图1 断陷盆地层序地层模式:A.陡坡背景,B.缓坡背景

1—5. 冲积沉积体系,1. 火山岩/火山碎屑岩;2. 冲积扇沉积;3. 扇三角洲沉积;4. 三角洲沉积;5. 河流沉积;  
6. 滨浅湖沉积体系 LTST. 湖进体系域;LFST. 湖泛体系域;LRST. 湖退体系域

Fig. 1 Sequence stratigraphic model of a faulted basin

A, The background of steep slope; B, The background of gentle slope

1—5=alluvial depositional system, 1=volcanic rock—volcaniclastic rock; 2=alluvial fan deposit; 3=fan delta deposit; 4=delta deposit; 5=stream deposit; 6=shore-shallow lacustrine depositional system  
LTST=lacustrine transgressive systems tract, LFST=lacustrine flooding systems tract;  
LRST=lacustrine regressive systems tract

一个陆相层序发育全过程。水进-水退旋回是受构造条件控制的。解习农和李思田等<sup>[19]</sup>提出四个次级单元并不与体系域涵义完全一致,称为小层序组,即进积、加积、湖泛和退积小层序组。在远离海岸的内陆湖盆的基准面可能是区域性的,很少受到海平面变化的直接影响。这些盆地的基准面主要受气候的制约,如大气降水、冰川等。水体的变化和分布控制了沉积体系的发育与配置,构造条件和地理背景亦是层序的主导因素。在山间和山前冲积体系的层序分析中,基准面了解尚有困难。对于特殊环境下层序地层分析近年来也有所进展,如沼泽、沙漠等(Shanley等)<sup>[20]</sup>。

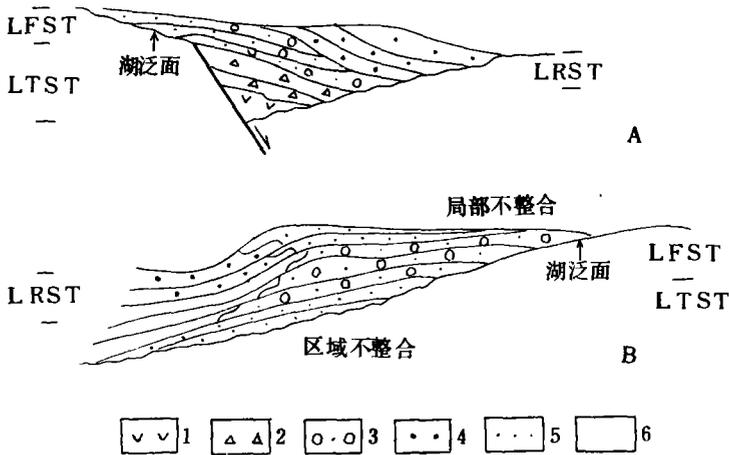


图2 拗陷盆地的层序地层模式,A.发育完善湖盆背景,B.发育不完善湖盆背景

1.冲积沉积体系;2.滨浅湖沉积体系;3.半深/深湖沉积体系;4.密集段;5.河流下切

Fig. 2 Sequence stratigraphic model of a downwarped basin

A, The background of a well-developed lacustrine basin, B, The background of an aborted-developed lacustrine basin

1=alluvial depositional system; 2=shore-shallow lacustrine depositional system; 3=semi-deep/deep lacustrine depositional system; 4=condensed section; 5=stream down-cutting

#### 4 层序地层与模拟技术

模拟技术的运用在层序地层学理论的建立与推广方面起到重要的作用,在弄清有关全球海平面升降与海岸上超形式之间的成因联系上,Jervey(1988)的数字模拟起了决定作用(徐怀大)<sup>[21]</sup>。模拟技术应用于层序地层学领域,其一是在研究层序界面上。Goldhammer(1990)利用计算机模拟对阿尔卑斯三叠纪拉迪亚期 Latemar 台地旋回地层作了研究,得到一过渡性的层序界面,为典型的整合层序界面——淹没不整合面;其二确定复合海平面变化,Goldhammer 在对上述区域研究中对低频的第三级(1—10Ma)沉积旋回和组成它的第四级(0.1—1Ma)和第五级(0.01—0.1Ma)旋回之间的关系进行了探讨,在此基础上发现一个由复合海平面升降所驱动的地层力等级,它导致形成有序的叠加形式。模拟结果表明在没有其它可以导致产生第五部分复合海平面振荡的机制存在的前提下,拉迪尼亚期 Latemar 台地巨旋回是高频第四级、第五级复合海平面振荡与米兰科维奇天文韵律作用的结果;其三是确定三维地层。在盆地分析中一个基本问题是在有限的资料中来确定三维地层,Christo-

pher 等<sup>[22]</sup>利用 Sedpak 软件包通过模拟预测层,分析地层层序。Sedpak 将现代层序地层学的原则与高品质的多道地震数据紧密结合在一起。

## 5 全球对比意义

层序地层学对地质学的最大贡献之一,就是对年代地层学的补充,不仅可以用于地层对比,而且可以用于确定某些地层界线(刘树臣等)<sup>[23]</sup>。Vail 等人的全球海平面变化曲线反映出全球对比的意义。然而,要做到真正完全的全球对比,陆相地层与海相地层之间和陆相地层之间的对比是重要的环节。王东坡等(1994)在研究松辽盆地白垩纪海侵和湖海沟通事件时,为陆上地层与海相地层的对比提供了线索。在我国的陆相盆地的形成与发育是与构造阶段相对应的,因此构造因素配合气候因素的分析对陆相对比是重要的。

陆相地层学的发展充分显示了层序地层学理论的广泛适用性和陆相层序地层的特殊性。由于陆相层序地层无论在层序的控制因素上,还是在体系域的发育和沉积体系的时空配置上,以及区域和全球对比上均有别于海相层序地层,因此其深入的研究与讨论将是层序地层学的一个重要方向。

## 参 考 文 献

- 1 Van Wagoner, J. C. and Mitchum, R. M. et al. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, core and outcrop, concepts for high-resolution correlation of time and facies. AAPG, Methods in Exploration Series. 1990(7)
- 2 Mitchum, R. M., Vail, P. R. and Thompson III, S. Seismic stratigraphy and global changes of sea level. Part 2: the depositional sequence as a basic unit for stratigraphic analysis. In: Seismic Stratigraphy—Application to Hydrocarbon Exploration (Ed. by C. E. Payton), AAPG Memoir 26, 1977, 53—62
- 3 Weimer, R. J. Developments in sequence stratigraphy, foreland and cratonic basins—presidential address, AAPG Bull., 1992, 76(7): 965—982
- 4 Vail, P. R. Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy. Part 1: Seismic sequence stratigraphy interpretation procedure. In: Atlas of Seismic Stratigraphy (Ed. by A. W. Bally), AAPG. Studies in Geology, 1987, (27): 1—10
- 5 Galloway, W. E. AAPG. Bull. 1986, 70(7): 787—808
- 6 Sloss, L. L. 构造-层序地层学的主要控制因素:一种对立的观点. 地质科技动态, 1992(6), 8
- 7 Vail, P. R., Audemard, F. et al. The stratigraphic signature of tectonics, eustasy and sedimentology—an overview. Rice University, 1991
- 8 李思田、杨士恭、林畅松. 论沉积盆地的等时地层格架和基本建造单元. 沉积学报, 1992(10)4: 11—20
- 9 魏魁生、徐怀大. 华北典型箕状断陷盆地层序地层学模式及其与油气赋存关系. 地球科学——中国地质大学学报, 1993(18)2: 139—149
- 10 王东坡、刘立. 大陆裂谷盆地层序地层学的研究. 岩相古地理, 1994(14)3: 1—9
- 11 许效松. 层序地层学研究进展. 岩相古地理, 1994(14)1: 34—39
- 12 陈荣坤. 层序地层学研究的一些进展和发展方向. 国外地质科技, 1993, 2—3: 70—74
- 13 李思田、李楨、林畅松等. 含煤盆地层序地层分析的几个基本问题. 煤田地质与勘探, 1993(21)4: 1—8
- 14 Posamentier, H. W. and Vail, P. R. Eustatic controls on clastic deposition II—Sequence and systems tract models. In: Sea-Level Changes; an Integrated Approach (Ed. by C. K. Wilgus et al.), SEPM Special Publication 42, 1988, 109—124
- 15 Maill, A. D. Stratigraphic sequences and their chronostratigraphic correlation. J. Sediment. Petrol., 1991, 61: 497—505

- 16 Wright, V. P. and Marriott, S. B. The sequence stratigraphy of fluvial depositional system; the role of floodplain sediments storage. *Sedimentary Geology*, 1993, 86 : 203—210
- 17 Legarreta, L. , Uliana, M. A. , Larotonda, C. A. and Meconi, G. R. Approach to nonmarine sequence stratigraphy— theoretical models and examples from Argentine basins, *Proceedings of Institut Francais du Petrole*, April 12—17, 1992, Scarborough, England. Publ. IFP, Technip. 1993
- 18 Xue, L. and Gallaway, W. E. Genetic sequence stratigraphic framework, depositional style and hydrocarbon occurrence of the Upper Cretaceous QYN Formations in the Songliao lacustrine basin, northeastern China, *AAPG Bull.* , 1994, 77 (10) : 1792—1808
- 19 解习农, 李思田. 陆相盆地层序地层研究特点. *地质科技情报*, 1993(12)1 : 22—26
- 20 Shanley, K. W. and McCabe, P. J. Perspectives on the sequence stratigraphy of continental strata, *AAPG Bull.* , 1994, 78(4) : 544—568
- 21 徐怀大. 层序地层学. 见肖庆辉等著. 当代地质科学前沿——我国今后值得重视的前沿研究领域. 武汉: 中国地质大学出版社, 1993 : 429—433
- 22 Christopher, G. St. C. , Kregory, L. W. et al. Computer sedimentary simulation models for sequence stratigraphy. *Oil & Gas Journal*, 1993, 91(17) : 46—51

## DEVELOPMENTS IN SEQUENCE STRATIGRAPHY OF CONTINENTAL STRATA

Cheng Rihui · Wang Dongpo  
*Changchun University of Earth Sciences*

### ABSTRACT

Sequence stratigraphy of continental strata which are greatly different from those of marine strata is an important branch in the field of sequence stratigraphy. The developments are reviewed on the basis of controlling factors of sedimentary systems, sequence stratigraphy and simulation, and global correlation, and characteristics of sequence stratigraphy of continental strata are also illustrated in this paper.

**Key words:** sequence stratigraphy of continental strata, controlling factor, sequence boundary, systems tract, global correlation