

陆相地层的层序地层学:层序的特征与模式

刘立 王东坡

(长春地质学院)

[内容提要] 陆相地层的层序地层学研究近年来取得了较大的进展,尤其在层序的组成、层序界线和最大洪泛面的识别以及层序模式的建立等方面研究得比较深入。层序地层的组成包括层序组合和层序的内部单元。层序界线和最大洪泛面的识别是陆相地层层序地层学研究的关键。目前已初步建立了箕状断陷盆地、坳陷盆地以及冲积地层背景的层序模式。

关键词: 陆相地层层序地层学 层序地层的组成 层序界线 最大洪泛面 层序模式

陆相地层层序地层学的研究近年来引起了许多研究者的重视,例如,1991年于加拿大Banff召开的高分辨率层序地层学“地球科学讨论会(NUNA Conference)”上,成立了有美国、法国、挪威、加拿大、西班牙、苏格兰、荷兰和阿根廷等国家地质学家参加的陆相层序地层学工作组(Working Group on Continental Sequence Stratigraphy)。另外,关于陆相地层层序地层学的研究文章也逐年增加,尤其是在陆相地层的层序地层组成、层序界线和最大洪泛面的识别以及层序模式的建立等方面提出了许多有益的见解和杰出的研究范例。本文对上述方面进行了初步的归纳,希望对我国陆相地层层序地层学的研究有所帮助。

1 层序地层的组成

虽然大多数研究者都同意将层序地层学理论引入到陆相地层的研究中来,但是人们并不希望完全照搬被动大陆边缘的层序地层学术语,在充分考虑了陆相地层的复杂性与特殊性的基础上,提出了许多有特色的术语体系。

1.1 层序组合

在海相地层中,Vail等(1988)将层序的组合确定为超层序,Brett^[1]则称为大层序和全层序。在陆相地层的研究中,近年来亦提出了构造层序^[2]和超层序^[3]的概念来描述层序地层的组合及其特征。

构造层序是指根据沉积盆地中一级古构造运动面所划分的地层序列,每个构造层序都是一个盆地原型。该概念类似于大地构造学中的构造层,并可广泛用于海相和陆相地层的研

究中。按照这一概念,李思田等(1992)将鄂尔多斯盆地的充填序列划分成六个构造层序,由老到新依次为:(I)晚元古坳拉槽充填;(II)震旦—奥陶纪地台型碳酸盐岩及碎屑岩充填;(III)石炭纪—中三叠世地台型碎屑岩序列;(IV)晚三叠世前陆式挠曲盆地巨厚碎屑岩序列;(V)早中侏罗世相对稳定背景下的内陆拗陷序列;(VI)边缘再活动背景下的内陆粗碎屑及古沙漠沉积序列。

王东坡和刘立(1994)^[3]的超层序概念是针对裂谷盆地的演化提出来的。同裂谷沉降阶段所形成的层序组合称为同裂谷沉降超层序,裂谷后沉降阶段形成的层序组合称为裂谷后沉降超层序。前者以不对称式和地堑式以及复合式层序地层格架为特征,后者以碟状层序地层格架为标志,两个阶段相继发生的裂谷盆地则形成牛头状或似牛头状的层序地层格架(刘立和王东坡)。

1.2 层序的内部单元

关于层序的内部单元,所涉及的问题是层序如何再细分以及每个组成单元的识别标志是否明确。

李思田等(1992)将层序再细分为小层序组-沉积体系域、小层序-体系域单元、沉积体系单元、成因相、成因相的内部单元、岩性-能量单元或岩性相。王东坡和刘立等(1995)则划分为准层序组、准层序和韵律层,每个准层序组构成一个体系域。将每个层序的体系域单元自下而上称为湖进、湖泛和湖退体系域。李勇和曾允孚(1994)^[4]则将层序的亚单元划分成进积基本层序组、退积基本层序组和加积基本层序组。魏魁生和徐怀大(1994)则称为低水位、水进和高水位体系域。

虽然大多数研究者都同意层序的三分方案,即划分成低水位、水进和高水位体系域,以及其他一些类似的术语,但人们也都强调,将一个层序三分的作法仅适合一定的条件(李思田等,1992),并非所有的岩层地层单位中都有这三种类型(李勇和曾允孚,1994)。

2 层序界线的识别

由于“沉积层序是以不整合或相应整合为界的地层单元”(Mitchum, 1977)^[5],因此,不整合的识别与确定对于层序地层学的研究是至关重要的,否则就与一般定义的地层学没有什么区别(Weimer, 1992)。在层序地层学的研究中,一般采用 Mitchum(1977)、Vail 等(1984)、Shanmugam(1988)和国际地层分类分会(1987)^[6]所定义的不整合作为层序界线。该定义强调不整合是一个既具有时间间断,又具有侵蚀证据的一个表面。Shanmugam(1988)将这种不整合称为侵蚀不整合。

层序界线可以从盆地边部的强烈不整合向盆地中央过渡为假整合,乃至整合(Woodcock, 1990)。前陆盆地演化的计算机模拟表明,沉积速率较低地区的侵蚀不整合,在盆地快速沉降容许连续沉积的地区则表现为整合(Jervey, 1992)^[7]。姚益民(1988)^[8]的研究表明,济阳拗陷中沙三、沙二和沙一段在湖盆较深部位为整合接触;在盆地边缘,沙三与沙一段之间为假整合接触。

一般而言,海相地层中的不整合比较容易识别,Shanmugam(1988)曾详细描述了海相地层中侵蚀不整合的识别标志。陆相地层中的不整合多以微角度或假整合的样式出现,因此往往需要地震、钻探和地面露头综合才能达到较好的效果(李思田等,1992)。魏魁生和徐怀大(1994)^[9]主要根据地震反射结构在二连盆地中识别出八个不整合。鄂尔多斯和四川等盆

地不整合确定主要是依据如下的标准:(1)环境突变和沉积不连续;(2)界面下古地质图的编制;(3)沉积体系配置和同生构造格局的改变;(4)风化间断标志;(5)古气候条件突变(李思田等,1992)。松辽盆地中生代地层中的八个不整合的确定主要是依据:(1)地震反射结构;(2)陆上暴露;(3)古生物演化垂向中断;(4)镜质体反射率突变等标志识别出来的(刘立和王东坡,1992)。

上述不整合的识别往往是以盆地为单位进行的,但是具体到冲积地层的露头中则比较困难。虽然河道下切是侵蚀不整合的识别标志之一(Shanmugam,1988),但是河道下切必竟是河流体系本身的特征之一。所以只有下切至下伏海相地层或湖相地层时这一标志才可靠。另外,辫状河沉积叠加在海相或湖相页岩之上,或在海相页岩之中发育陆上根土层和煤也是不整合的标志。最近的研究表明(Shanley 和 McCabe,1994)^[10],多层多边(multistory 和 multilateral)砂体之下即是与他旋回有成因联系的层序界线,即不整合。这一认识是在犹他南部白垩纪地层(Shanley 和 McCabe,1989,1991a,1993)、犹他 Book Cliffs 的晚白垩纪地层(Van Wagoner 等,1990)和肯塔基东部的石炭纪地层(Davies 等,1992;^[11];Aitken,1994)的研究基础上总结出来的

此外,在河道间地区,古土壤的详细鉴定也有希望成为层序界线的识别标志(Shanley, 和 McCabe,1994)。

3 最大洪泛面的识别

最大洪泛面反映了快速上升的基准面和退积滨面准层序与近岸地层中加积准层序的分离(Posamentier 和 Vail 等,1988)^[12]。在海相地层中,最大洪泛面标志着海侵向内陆方向侵入的最远点,并且一般由深水相所代表。密集段和地层下超是最大洪泛面的识别标志。

在湖相地层中,最大洪泛面亦由密集段所代表。密集段是极其重要的生油岩,主要由泥岩、页岩、油页岩、泥灰岩和白云岩组成(魏魁生和徐怀大,1994)。密集段的电测曲线和地震反射特征如表 1 所示。松辽盆地中的密集段主要由油页岩、白云岩结核和白云岩条带组成(王东坡和刘立,1994)^[13]。

表 1 阿北凹陷密集段特征(据魏魁生和徐怀大,1994)

Table 1 Characteristics of condensed sections in the Abel depression

(After Wei Kuisheng and Xu Huaida,1994)

层序	密集段深度(m)	岩性	电测曲线	地震反射
CS8(次级)	230—240	灰色泥岩	低幅值	强相位
CS7(次级)	446—454	灰色泥岩	低幅值	下超面
CS6	680—700	深灰色泥岩	低幅值	下超面
CS5	945—965	灰色泥岩	低幅值	下超面
CS4	1280—1313	深灰色泥岩、油页岩、泥质白云岩		强相位
				下超面
CS3	1638—1653	深灰色泥岩、灰色泥质白云岩	低幅值	强相位
				下超面
CS2	1742—1747	深灰色泥岩、灰色白云岩	低幅值	强相位
CS1	2069—2088	深灰色泥岩、油页岩	低幅值	下超面
备注	大致范围(据阿参 1 井)	据阿参 1 阿 61 欣 14 井等		据三维剖面

含煤地层中最大洪泛面的识别最近引起了许多研究者的注意。一般认为,泥炭堆积在邻

近活跃的碎屑沉积环境中的低洼沼泽地区,例如洪泛平原、河口湾地区和天然堤等。但是 McCabe(1984)^[14]指出,由于泥炭堆积速度的缓慢和碎屑物质的周期性加入,上述这些地区的泥炭仅能形成碳质页岩或高灰分的煤。最近的研究表明,尽管含煤沉积不仅限于海侵时期(McCabe, 1993),但最厚和分布最广的煤层通常产出在或接近于最大海侵(或水进)期(Gastaldo 等, 1993)^[15]。通过对于肯塔基东部晚石炭世含煤三角洲地层的研究, Aitken(1994)提出,如果能够证明在厚度最大和分布最广的煤层沉积时容纳空间增加,在该煤层沉积结束时,容纳空间减少的话,那么该煤层就可以代表最大洪泛带;如果在最厚煤层之上有海水侵入,那么该煤层就不能代表最大洪泛带,而是代表最大洪泛的开始。

在邻近海相环境的冲积地层中,最大洪泛期是以潮汐作用侵入到先前河流作用为主的地区为标志(Shanley 和 McCabe, 1994)。当海侵的幅度不足以淹没河间地区时,覆盖在河谷中河流沉积之上的河口湾沉积物,在横向上相当于河间地区的土壤层。当河间地区也被淹没时,远端沉积背景中的土壤将被浅海沉积物所覆盖(Shanley 和 McCabe, 1994.)。在邻近湖相环境的冲积地层中,最大洪泛期是以湖相地层和湖相三角洲为标志的,在陆源沉积物缺乏的地区则以湖相碳酸盐岩为代表(Atkinson, 1983)。

4 层序模式

近年来的研究说明,被动大陆边缘的三种层序模式(Vail 等, 1989)在陆相地层中并不适用或不完全适用,这是因为陆相地层的形成不但受板内应力、沉降机制和古气候的直接控制,而且也不可避免地受一些突发事件,如海水入侵和火山喷发活动的影响,这些因素势必要导致陆相地层的层序模式复杂化。因此,总结归纳各种盆地类型、各种气候带以及冲积地层的层序模式已成为当前陆相地层层序地层学研究急需解决的问题之一。目前已提出的层序地层模式主要涉及箕状断陷盆地、坳陷盆地和冲积层背景(表 2)。

4.1 箕状断陷地层层序模式

箕状断陷盆地一般范围较小,环境分带远远没有海洋明显,因而没有一个确切的“陆架边缘坡折带”。这样一来,如何确定区分体系域的参照物就成为研究的关键。魏魁生和徐怀大(1993)^[16]把箕状断陷缓坡带的风暴浪基面作为参照物,并且将陡坡带的边界断层与水面的交点视为“陆架边角”。王东坡和刘立(1994)则将优势沉积体系转换面视为区分体系域的标志,并且提出陡坡背景和缓坡背景层序模式。该模式与 Scholz 等(1990)的陡坡背景和缓坡背景模式略有不同(表 2)。

箕状断陷地层的层序模式除了从陡坡和缓坡背景考虑外,似乎还应建立与古气候变迁有关的层序模式。Permuter 和 Mattherws(1990)曾利用米兰柯维奇旋回研究和预测不同气候条件的箕状断陷盆地中的沉积相类型及其分布特征。这一思路对于陆相地层层序地层学的研究具有一定的借鉴意义

4.2 坳陷地层的层序模式

一般而言,发育完善的大型坳陷湖盆地地形分异明显,存在着沉积滨线坡折带,其层序模式与被动大陆边缘的层序模式(Vail, 1989)类似。由于构造沉降速率和古气候随时间变化不明显而形成的发育不完善的湖盆,一般地形分异不明显,其层序模式与发育完善者有较大的差别(王东坡和刘立, 1994)(表 2)

4.3 冲积地层背景层序模式

表 2 陆相地层层序模式

Table 2 The sequence models of continental strata

背景	低水位体系域	水进体系域	高水位体系域	备 注
A. 断陷盆地 1. 魏魁生和徐怀大 (1993)	冲积扇体系及洪水事件沉积 斜坡扇体系 缓坡楔状体	砂滩砂坝体系 碳酸盐浅滩体系 扇三角洲浊积扇体系 湖底扇体系 其他沉积 (包括水进三角洲, 网状河道, 滨岸沼泽, 风成沙丘和海泛成因的蒸发盐岩夹层)	三角洲 (缓坡) 扇三角洲 (陡坡)	华北典型箕状断陷盆地
2. 王东坡和刘立 (1994) 1) 陡坡背景 2) 缓坡背景	冲积扇沉积	扇三角洲沉积 半深/深湖沉积 水下扇或水下沉积物 重力流沉积 滨浅湖沉积 辫状河三角洲沉积	扇三角—冲积扇沉积 辫状河或砂质低弯度河沉积	松辽盆地, 晚侏罗—早白垩世
3. Scholz 等 (1990)	低水位三角洲沉积 (缓坡) 蒸发盐岩 扇三角洲沉积 (陡坡)		高水位三角洲沉积 浊积岩 (缓坡) 半深湖沉积 水下坡麓堆积 (陡)	
B. 拗陷盆地 王东和刘立 (1994) 1) 发育完善的湖盆背景 2) 发育不完善的湖盆背景	冲积沉积体系 滨岸/浅湖沉积体系 冲积沉积体系	半深/深湖沉积体系 滨浅湖沉积 洪泛平原湖沉积	滨岸/浅湖沉积体系 冲积沉积体系	松辽盆地, 白垩纪
C. 冲积地层 1. Legarreta 和 Uliana (1991)	向上变粗的底载荷 砂质和砾石质沉积	向上变细的底载荷和 悬移载荷混合沉积	悬移载荷沉积, 向上土壤层增加	阿根廷内陆盆地, 三叠纪和白垩纪
2. Shanley 和 McCabe (1991a, b, 1993)		合并的河道沉积和受潮流影响的河流沉积	细粒洪泛盆地地层, 孤立的河流砂岩和薄层不连续的煤与碳质页岩	犹他南部 Kaiparowits 高原
3. Wright 和 Marriott (1993)	粗粒河道沉积, 阶地表面发育成熟的、排水良好的土壤	早期: 形成多层河道砂体和洪泛平原沉积物, 有利水成土壤形成 晚期: 形成孤立河道砂体, 形成有发育较差、但排水良好的土壤	河道砂体的密度增加, 土壤的保存潜势降低	理论模式

海岸平原和湖盆边部冲积地层背景的层序模式是一个极具挑战性的课题。海陆过渡地区是这一研究的理想场所。

在犹他南部 Kaiparowits 高原的冲积地层中, 根据几何学和沉积学特征识别出的海侵和高水位体系域, 均可追溯到与其共生的海相地层单元中 (Shanley 和 McCabe, 1991, a, b, 1993)。Legarreta 和 Uliana (1991)^[17] 在三叠纪和白垩纪冲积地层中识别出了低水位、水进和高水位体系域。最近, Wright 和 Marriott (1993) 提出了位于海相边缘的冲积地层的理论模式 (表 2)。然而, 该模式并没有在任何海陆交互地区得到证实 (Shanley 和 McCabe, 1994)。

5 结束语

中国东部中生代盆地绝大部分为陆相盆地或陆相近海盆地,并且含有丰富的化石燃料(石油、天然气和煤)资源,因此陆相地层层序地层学的研究就显得格外重要。但是,由于陆相地层的形成受到诸如沉降机制、板内应力、古气候、沉积物供应、海水侵入和火山活动等因素的影响,从而造成了陆相层序中层序界线和最大洪泛面的识别困难,以及出现各种各样的层序模式。也许这正是为我们丰富陆相层序地层学理论提供的一个良机和努力方向。

主要参考文献

- 1 Brett, C. E., Goodman, W. M. and Lopusca, S. T. Sequences, cycles, and basin dynamics in the Silurian of the Appalachian foreland basin. *Sedimentary Geology*, 1990, 69: 191—244
- 2 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, Vol. 10, No. 4: 1—12
- 3 刘立、王东坡. 松辽盆地中生代侵蚀不整合的类型、特征与成因. 见长春地质学院建院 40 周年(科学研究论文集)(基础地质). 长春: 吉林科学技术出版社, 1992: 285—264
- 4 李勇、曹允孚. 陆相岩石地层结构及其构成单元. *中国区域地质*, 1994, No. 3: 225—226
- 5 Mitchum, Jr., 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—Applications to Hydrocarbon Exploration* (Ed. by C. E. Payton), AAPG Memoir 26, 1977, 53—62
- 6 国际地层分类分会. 以不整合为界的地层单位. 李泽淳译自 *Geological Society of America Bulletin*, Vol. 98, 232—237, 刊于 *地层学杂志*, 1987, Vol. 15, No. 1: 69—75
- 7 Jervey, M. T. Siliciclastic sequence development in foreland basins, with examples from the western Canada foreland basin. In: *Foreland Basins and Fold Belts* (Ed. by R. W. Macqueen and D. A. Leckie), AAPG Memoir 55, 1992, 47—80
- 8 姚益民. 济阳坳陷的沙二段及其相关的不整合面. *石油勘探与开发*, 1988, No. 3: 1—10
- 9 魏魁生、徐怀大. 二连盆地白垩系非海相沉积层序地层特征. *地球科学——中国地质大学学报*, 1994, Vol. 19, No. 2: 181—194
- 10 Shanley, K. W. and McCabe, P. J. Perspectives on the sequence stratigraphy of continental strata. *AAPG Bulletin*, 1994, 78(4): 544—568
- 11 Davies, H., Burn, Budding, M., Budding, M. C. and Williams, H. High-resolution sequence stratigraphic analysis of fluvio-deltaic cyclothems, the Pennsylvanian Breathitt Group, East Kentucky. 1992 AAPG Annual Meeting Program with Abstracts, 1992, 27—28
- 12 Posamentier, H. W. and Vail, P. R. Eustatic controls on clastic deposition I—sequence and systems tract models. In: *Sea-Level Changes: an Integrated Approach* (Ed. by C. K. Wilgus, B. S. Hastings, C. G. St. C. Kendall, H. W. Posamentier, C. A. Ross, and J. C. Van Wagoner), SEPM Special Publication 42, 1988, 125—154
- 13 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, Vol. 14, No. 3: 1—9
- 14 McCabe, P. J. Depositional models of coal and coal-bearing strata. In: *Sedimentology of coal and coal-bearing sequence* (Ed. by P. A. Rahmani and R. M. Flores), International Association of Sedimentologists, Special Publication, 1984, 7: 13—42
- 15 Gastaldo, R. A., Demko, T. M. and Liu, Y. Application of sequence and genetic stratigraphic concepts to Carboniferous coal-bearing strata, an example from the Black Warrior Basin, USA. *Geologische Rundschau*, 1993, 82: 212—226
- 16 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, Vol. 18, No. 2: 139—149
- 17 Legarreta, L. and Uliana M. A. Jurassic-Cretaceous marine oscillations and geometry of back-arc basin fill, Central Argentine Andes, In: *Sedimentation tectonics and eustasy* (Ed. by D. I. M. Macdonald), International Association of

Sedimentologists, Special Publication, 1991, 12, 429—450

SEQUENCE STRATIGRAPHY OF CONTINENTAL STRATA: CHARACTERISTICS AND MODELS

Liu Li Wang Dongpo

Changchun University of Earth Sciences

ABSTRACT

The last few years has seen a considerable advance in sequence stratigraphy of continental strata, especially in the studies of sequence stratigraphic units, recognition of sequence boundaries and maximum flooding surfaces, and sequence models.

The sequence stratigraphic units include the associations and internal units of the sequences. The recognition of sequence boundaries and maximum flooding surfaces is the key problem in the study of sequence stratigraphy of continental strata. The sequence models for a half graben-like fault basin, downwarped basin and alluvial strata have also been constructed in this paper.

Key words: sequence stratigraphy of continental strata, sequence stratigraphic unit, sequence boundary, maximum flooding surface, sequence model