

文章编号: 1009-3850(2001)03-0060-05

## 前陆盆地层序地层学研究现状及进展

闫小雄, 周立发

(西北大学 地质系, 陕西 西安 710069)

**摘要:** 本文主要介绍了前陆盆地层序地层学的研究现状及急待解决的问题。前陆盆地层序地层学是将层序地层学的理论应用于构造活动区盆地分析的一个特例; 前陆盆地二级构造层序代表了盆地不同成盆期的产物; 前陆盆地的三级构造层序的成因并非受全球统一海平面变化控制, 而与盆缘造山带的区域构造活动、盆内沉积作用和相对海平面变化的联合作用有关, 是一个成盆期不同发育阶段的产物; 前陆盆地地层的层序反映了前陆盆地构造演化史为一个多旋回的沉积-构造演化史。

**关键词:** 前陆盆地; 层序地层学; 形成演化; 充填序列; 构造层序

中图分类号: TE121.3

文献标识码: A

## Current aspects of sequence stratigraphy of foreland basins

YAN Xiao-xiong, ZHOU Li-fa

(Department of Geology, Northwest China University, Xi'an 710069, Shaanxi, China)

**Abstract:** The current aspects and unsolved problems about sequence stratigraphy of foreland basins are treated in this paper. The sequence stratigraphy of foreland basins may provide superb examples of applying the sequence stratigraphic theories to the basin analysis of tectonically active areas. The second-order sequences in foreland basins represent the products formed during different phases of the formation of foreland basins whereas the third-order sequences in foreland basins represent the products

formed during different phases of the development of foreland basins, the latter of which are not constrained by global sea-level changes but related to the combination of regional tectonism in peribasinal orogenic zones, intrabasinal deposition and relative sea-level changes. The stratigraphic sequences in foreland basins have recorded a long and complex history of polycyclic sedimentary-tectonic evolution.

**Key words:** foreland basin; sequence stratigraphy; formation and evolution; filling sequence; tectonic sequence

## 1 引言

前陆盆地层序地层学是将层序地层学理论应用于构造活动区盆地分析的一个特例,即通过研究前陆盆地不同级别的地层层序、序回及其成因,揭示构造运动、沉积作用和海平面变化之间的内在联系,进一步研究前陆盆地的沉积-构造演化,为资源勘探提供理论依据(贾进华, 1995)<sup>[1]</sup>。前陆盆地层序地层学研究遵循一般沉积盆地层序地层分析概念体系,即按照层序地层学的理论和方法,将盆地充填分为不同级别——盆地充填序列、构造层序、层序、小层序组和小层序等。近年来,在国外,Posamentier 等(1993)<sup>[2]</sup>, Giles 等(1995)<sup>[4]</sup>相继对前陆盆地地层层序及其沉积建造、沉积旋回特征进行了广泛地研究,特别是针对某些典型前陆盆地的层序进行了详细的研究,并提出了相应的层序模式。在国内,李思田等(1992)<sup>[5]</sup>较为系统地建立了沉积盆地的地层层序;李勇、曾允孚等(1994)<sup>[6]</sup>以层序地层学与构造地层学相结合的分析方法,研究了龙门山前陆盆地的沉积充填序列、构造层序、层序及其内部组成;贾进华(1995)<sup>[1]</sup>在总结前人研究的基础上,系统总结了前陆盆地层序地层学,对研究现状和存在问题作了探讨;蒲心纯等(1996)<sup>[7]</sup>对楚雄前陆盆地的充填层序作用进行了详细研究;赵玉光等(1996)<sup>[8]</sup>提出了动力层序地层学,对克拉通边缘前陆盆地层序地层进行了详细地研究;刘貽军(1998)<sup>[9]</sup>对前陆盆地层序地层学研究中的几个问题——层序地层学术语及其级别划分、前陆盆地的可容空间、构造作用和全球海平面变化在前陆盆地沉积地层中的不同响应等问题进行了讨论,并提出了相应的研究方法。

## 2 前陆盆地的形成演化与充填序列

经典的前陆盆地概念最早由 Price(1973)提出,是指位于造山带与克拉通之间的一个狭长状沉积带,是大陆岩石圈受上叠逆冲推覆体加载引起挠曲变形而形成的边缘拗陷盆地。前陆盆地的形成主要与区域上的构造挤压应力和地貌载荷引起的挠曲作用有关。

在前陆盆地形成早期,由于受到盆地边缘造山带的强烈挤压作用,形成一系列向克拉通方向推进的叠置逆冲席,引起地壳岩石圈增厚。在岩石圈的均衡作用下,邻近造山带的克拉通前陆区岩石圈向下发生挠曲,表现为下挠沉陷,形成前渊,而在远离造山带的地区,由于受到的挤压作用相对较弱,地貌载荷相对较少,因而沉陷速度相对较缓慢,沉陷也就相对较浅,这样就形成一个从造山带向克拉通前陆方向逐渐变浅的不对称盆地,即前陆盆地。在邻近造山带的盆地一侧,强烈的构造沉陷造成沉积物具厚度大、沉积速度快、成分复杂和变形作

用强烈的特点。它们是与构造沉积作用同期的产物,物源是来乍邻近的造山带,为向上由细变粗的层序<sup>[10]</sup>,同时,随着与造山带的距离增大。相同层位的沉积物粒度逐渐也从粗变细,古水流的方向也从垂直造山带到近平行造山带。总体来说这一时期的前陆盆地的充填物在横向上表现为从造山带到克拉通方向,沉积物粒度由粗逐渐变细;垂向上表现为向上逐渐变粗。另外,由于前陆盆地沉陷带的物源来自邻近造山带,所以我们可以通过沉陷带的地层层序确定盆缘挤压造山时间。

随着造山带活动的减弱,其挤压运动逐渐减弱,挤压应力也相应减小,在地壳岩石圈均衡作用下,盆地岩石圈会弹性回跳,导致前陆盆地整体向上隆起。隆起强度随着远离造山带逐渐降低的。此时期造山带隆起区遭受剥蚀,沉积物被搬运,再沉积在远离造山带的前陆盆地区,因而在邻近造山带的前陆盆地区形成明显的侵蚀不整合,在远离造山带的前陆盆地区为席状展布的粗粒和细粒沉积,盆地的不对称性逐渐减弱。这一时期的充填物主要是陆相沉积物中的磨拉石建造。

如果前陆盆地在发育晚期一直处于隆起状态,那么其中大部分沉积物就可能被剥蚀、被搬运到更远的地方,以致于前陆盆地发育不完整,缺失某些沉积地层。从前陆盆地发育的整个过程看,前陆盆地的构造演化史是与盆地边缘构造活动有关的一系列相对活动到相对静止,进而引起盆地沉降、沉积、迁移、抬升的多旋回的演化历史。

一般认为前陆盆地的充填序列包括盆地基底面以上的全部盖层,是一套巨厚的海相到陆相沉积物,为陆源碎屑岩,缺乏碳酸盐岩。可以将盆地沉积物分为下部岩系和上部岩系,前者与造山带主幕同龄,后者为冲断抬升期的产物,二者之间多以角度不整合面为界,它们是前陆盆地在多旋回构造演化中的物质表现,是成盆期沉积充填物的总和,属于一级构造运动( $> 50\text{Ma}$ )的产物。

### 3 前陆盆地的构造层序

由于前陆盆地靠近物源,受源区古地貌、气候、隆升程度、搬运通道与方式、基准面等控制,故在研究层序特征时尤其要注意这种特殊环境的制约特性。对不整合的分析应侧重于类型、成因及其展布范围,并进行剥蚀量恢复,再现回剥蚀史。同时前陆盆地的层序地层模式更多依赖于区域构造背景及盆地的构造活动、沉积作用和海(湖)平面的变化及其有不同级别的地层旋回中的响应关系。

盆地构造层序是由盆地内二级构造运动( $3 \sim 50\text{Ma}$ )面所划分的地层序列,它与一个大的构造旋回相当,代表了盆地不同成盆期的产物。前陆盆地构造层序的划分主要依赖于邻区造山带的二级幕式构造运动。二级幕式运动一方面可以形成分隔不同构造层序的构造不整合面,另一方面由于造山带物源区强烈隆升和盆地快速沉陷导致盆地沉积物组成与沉积背景发生突然改变,从而形成不同的构造层序。识别和确认前陆盆地二级构造层序及相应的构造不整合面,并对其成因作出解释,是前陆盆地层序地层学研究的重要内容,有助于了解盆地的形成和充填演化史。二级构造层序界面主要为构造不整合面,主要特点是构造剥蚀明显,多形成明显、轻微的角度不整合,界面上发育风化壳或古土壤层和底砾岩等,界面在区域范围内普遍存在,可以做区域性等时地层格架的对比。

前陆盆地的三级构造层序是二级层序内部以三级构造运动(0.5~3Ma)产生的不整合面为界面的地层序列,其中多为平行不整合。它是构造运动或其与海(湖)平面相对变化相叠加的产物,是一个成盆期不同发育阶段的产物,代表的是低级别的前陆盆地演化的不同阶段(或造山幕),反映的是一个多旋回、多幕式、沉积-构造相互影响与控制的演化史。

传统的层序地层学理论立足于被动大陆边缘构造背景,描述了一幅全球统一的海平面变化图案,并将三级层序旋回的成因归于全球统一的海平面变化。对全球各地的被动大陆边缘和克拉通地区来说,可能存在全球统一的三级海平面变化,但这种情况对构造活动的前陆盆地区显然是不合适的。前陆盆地三级层序界面是三级构造运动产生的构造不整合面,多为平行不整合面,或是有构造运动叠加的相对海平面变化面;同时,界面上存在微弱的构造剥蚀,可能有底砾岩和微弱风化标志,是沉积不连续面和环境突变。所以,前陆盆地三级层序是构造运动或构造运动和海平面变化的叠加效应;同时,前陆盆地的三级海平面变化是地方性和区域的,与全球统一海平面变化并非同步。

前陆盆地三级层序的内部组成及其名词术语当前仍存在争议,不同学者有不同的使用方案。归纳起来有三类:一类是继续沿用层序地层学的概念体系,在层序内部划分出小层序组、小层序、体系域、沉积体系等,如 Brett 等(1990)<sup>[11]</sup>。或者是层序内部直接划分出低水位体系域(陆架边缘体系域)、海侵体系域和高水位体系域,如 Posamentier 等<sup>[2]</sup>,刘宝琛、许效松等(1993)<sup>[12]</sup>。二类是采用非正式的岩石地层术语,成因单位、低水位沉积、海侵沉积和海退沉积,分别相当于层序地层学中的下层序、低水位体系域、海侵体系域和高水位体系域,如 Weimer(1992)<sup>[3]</sup>。或者是,层序内部划分出基本层序组、基本层序、岩层组和岩层等,如李勇、曾允孚(1994)<sup>[6]</sup>。第三类是用成因地层学的方法,将层序作为一个构造沉积幕,在内部划分出上超型、最大海(湖)侵型和高水位充填型三种沉积幕,如夏文臣等(1994)<sup>[13]</sup>。

总之,前陆盆地三级层序在不同盆地中发育特征不同,这主要归于前陆盆地的区域构造古地理背景、构造运动的强度、盆地基底沉降的幅度、相对海平面变化速度、物源供应的方式和通道的多少等因素。

#### 4 前陆盆地层序地层学研究存在问题及发展趋势

目前,前陆盆地层序地层学研究已经取得了较大的进展,并且在许多盆地中进行了成功的应用。但是,前陆盆地层序地层学是建立在层序地层学理论基础之上的,层序地层学理论是立足于被动大陆边缘构造背景,而前陆盆地则是位于构造活动区域,这就是许多特殊的地方,因而在当前研究中,仍存在许多急待解决的问题,主要是:仍需要继续研究三级层序的界面成因、划分标志和划分方法,主要研究全球海平面变化在三级层序形成中的作用;三级层序内部组成,目前仍存在较大的争议,它阻碍着前陆盆地层序地层学的进一步发展,同时,三级层序内部所用术语也存在较大分歧,不同术语有不同的内涵,必然会造成不必要的混乱,因而急待统一;前陆盆地层序地层学整个概念体系的术语有继承有发展也是一个刻不容缓的问题;前陆盆地的可容空间决定沉积物的沉积充填,那么前陆盆地的可容空间的确定因素是什么,是构造作用还是全球海平面的变化,同时它对前陆盆地沉积物的作用如何;构造作用和全球海平面变化在前陆盆地沉积层序中的不同响应仍需进一步研究,逐步弄清各自对

前陆盆地沉积层序的作用和对物源、沉积作用、搬运方式和通道等因素的控制作用<sup>[1,9,14-17]</sup>。以上所有问题有待于地质学家的进一步研究解决。

前陆盆地层序地层学的发展,必然会促进前陆盆地研究的发展,也会推进油气勘探理论和实践的发展。相信,随着层序地层学理论的进一步完善,前陆盆地研究的进一步深入,实践经验的逐步积累,前陆盆地层序地层学会逐步发展,最终形成一套自身的理论体系,提出可供借鉴的前陆盆地的层序地层学模式。

## 5 结论

(1) 前陆盆地层序地层学研究还不完善,其层序模式更多地依赖于区域构造背景及前陆盆地构造运动、沉积作用和海平面变化在不同级别地层中的相应关系,虽然研究取得了一定的进展,但迄今尚无一个可以借鉴的成功模式。

(2) 前陆盆地二级构造层序是构造运动的产物,代表了前陆盆地的不同成盆期。三级层序是构造运动或构造运动与相对海平面变化叠加的产物,代表前陆盆地演化同一成盆期的不同阶段。

(3) 前陆盆地地层层序反映了前陆盆地构造演化史是一个多旋回的沉积-构造演化史。

## 参考文献:

- [1] 贾进华. 前陆盆地层序地层学简介[J]. 地质科技情报, 1995, 14(1): 23—27.
- [2] POSAMENTIER H W and ALLEN G P. Siliciclastic sequence stratigraphic patterns in foreland ramp-type basins [J]. *Geology*, 1993, 21(5): 455—458.
- [3] WEIMER R G. Developments in sequence stratigraphy: foreland and cratonic basins [J]. *AAPG Bulletin*, 1992, 76(7): 965—982.
- [4] 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[J]. 沉积学报, 1992, 10(4): 11—22.
- [5] 李勇, 曾允孚. 龙门山前陆盆地充填序列[J]. 成都理工学院学报, 1994, 21(3): 46—55.
- [6] 蒲心纯, 尹福光, 朱同兴. 楚雄前陆盆地的充填层序与造山作用[J]. 岩相古地理, 1996, 16(3): 45—57.
- [7] 赵玉光, 许效松, 刘宝琚. 克拉通边缘前陆盆地动力层序地层学[J]. 岩相古地理, 1997, 17(1): 1—10.
- [8] 刘贻军. 前陆盆地层序地层学研究中的几个问题[J]. 地球学报, 1998, 19(1): 90—96.
- [9] HELLER P L, ANGEVINE C L and WINSLOW N S. Two-phase stratigraphic model of foreland-basin sequences [J]. *Geology*, 1988, 16(6): 501—504.
- [10] BRETT C E, GOODMAN W M and LODUCA S T. Sequences, cycles, and basin dynamics in the Silurian of the Appalachian Foreland Basin [J]. *Sedimentary Geology*, 1990, 69(3—4): 191—244.
- [11] 刘宝琚, 许效松, 等. 中国南方大陆沉积地壳演化与成矿[M]. 北京: 科学出版社, 1993. 61—65.
- [12] 夏文臣, 周杰, 袁伟, 等. 华南晚三叠世前陆盆地的成因地层格架及演化历史[J]. 地球科学, 1994, 19(1): 19—29.
- [13] 白玉宝. 前陆盆地的概念和一般特征[J]. 西北油气勘探, 1998, 10(2): 1—8.
- [14] 王华, 吴巧生, 李绍虎, 等. 前陆盆地类型及其沉积动力学研究综述[J]. 地质科技情报, 1998, 17(3): 12—18.
- [15] 谭富文, 罗建宁. 前陆盆地研究进展综述[J]. 四川地质学报, 1999, 22(4): 6—10.
- [16] 顾家裕. 陆相盆地层序学格架概念及模式[J]. 石油勘探与开发, 1995, 22(4): 6—10.