

# 克拉通边缘前陆盆地动力层序地层学

赵玉光 许效松 刘宝珺

(地矿部成都地质矿产研究所)

**[内容提要]** 通过近几年对层序地层学的深入研究,尤其是对上扬子地台西缘中三叠世拉丁期末和晚三叠世卡尼期周缘前陆盆地层序地层学的研究,提出了动力层序地层学。将边缘前陆盆地由盆缘逆冲断块向克拉通稳定边缘分为A区带和B区带(Posamentier等,1993)。在同一视海平面升降旋回周期内,A区带和B区带的视海平面旋回截然不同。A区带构造沉降速率大于全球海平面升降速率,表现为视海平面的上升旋回,因此,沉积物容纳空间主要由盆缘冲断块的逆冲活动所制约。B区带与被动边缘背景类似。由此,提出了A区带动力层序由前陆挠曲变形体系域(FST)和前陆塑性变形体系域(VST)组成。由FST→VST反映了沉积物容纳空间不断增大的过程,指示了盆山转换系统的发生、发展的历史,反映了盆转山—山控盆的动力层序地层的构成特色。

**关键词** 克拉通边缘 边缘前陆盆地 动力层序地层学 前陆挠曲变形体系域(FST)  
前陆塑性变形体系域(VST)

## 1 问题的提出与层序地层学的发展

在进行前陆盆地层序地层研究时,发现前陆盆地层序体系域的发育往往是不完全的,尤其在克拉通稳定边缘一侧的沉积体系域配置单一,一个层序往往由层序界面→海进体系域→高水位体系域组成,更多的是由层序界面和高水位体系域组成。这给全盆,尤其是前陆盆地范围内的层序等时对比带来严重困难甚至偏差。另外,在前陆盆地的活动一侧其层序构型及其发育特征与全球海平面升降的关系并不十分明显,很难或根本找不出可供分析的显著的海平面升降的地层记录,体系域配置并不是严格受控于全球海平面变化。相反,活动边缘逆冲块群的周期性逆冲可导致前陆的沉降,并且是沉积物容纳空间变化的主要贡献者。众所周知,层序是容纳空间的函数,而在前陆盆地背景的容纳空间严格受边缘周期性构造逆冲带活动的制约。因此,构造效应大大地超过了全球海平面升降对层序形成的效应,从而表现为构造效应显著的地层记录。在这种背景之下,必须重新考虑前陆盆地活动边缘一侧的层序形成的主要驱动力及其层序内部构型的标定。

Vail(1977)<sup>[2]</sup>和他的同事们出版的关于地震地层学方面的成果,以地震资料为基础提出了一套分析大陆边缘地层层序格架的几何形态、内部组成单元以及它们之间的相互成因联系,从此拉开了地层学的一场革命的帷幕。被动大陆边缘地层层序模式是在Jervey

① 本文为“八五”国家基础性研究重大关键项目中三级课题“上扬子地台西缘二叠—三叠纪层序地层及海平面变化研究”的部分研究成果。

② 本文1996年4月30日收稿。

(1988)<sup>[3]</sup>所创立的大陆边缘地层学的一系列计算机模拟基础上建立起来的。该模式问题之一是他们对大陆边缘自然地理学特征使用人为量纲。Miall(1991)<sup>[4]</sup>认为这一模式包含了许多致命的缺陷,因为他们吸取了Jervy模拟法的局限性以及其它令人怀疑的假说和简单化的结果。构造作用所讨论的板内应力情况以及对板块各部分的影响等往往表现为是非等时的(Cloetingh, 1988)<sup>[5]</sup>,它除了影响相邻板块的主要扩张和碰撞事件外,相邻板块可具有不同的板块活动史,没有哪一种大地构造控制作用具有全球性,许多三级旋回起因于板块构造的作用,那就不可能建立全球旋回图。尽管该旋回曲线在某些局部地区被证实是成功的,但该图还不可作为一个全球对比的标准,在实际应用中要特别慎重。

建立全球海平面变化曲线虽然是层序地层学的主要目标,层序地层学也为研究海平面变化提供了一个实用的途径,但是层序的形成除了受到全球性因素的影响外,同时还不可避免地受到区域性因素的制约,这就给建立一个以海平面变化为基准的可以进行全球对比的年代地层学格架带来了目前还难以克服的障碍。

另外,地层层序的形成还强烈地受到先成构造古地理环境的控制。层序地层学大多建立在被动大陆边缘地层层序格架的基础上,这对建立一个可以进行全球对比的等时地层格架是远远不够的,它还需深入研究其它古构造地理背景控制之下形成的旋回地层层序格架。通过上述分析,对研究特定背景的前陆盆地中的层序地层显得尤为重要,这就是我们研究和探讨前陆盆地动力层序地层学的出发点。

## 2 周缘前陆盆地的演化阶段与主要地质特征

### 2.1 前陆盆地及其演化阶段分析

前陆(foreland)最初是由Suess(1883)提出的一个术语,系指造山带相邻的稳定地区,且造山带的岩层向它逆冲或掩覆。一般来说,前陆是地壳的大陆部分,应该是克拉通或地台区的边缘。Dickison(1974)<sup>[6]</sup>根据成因和位置,将前陆盆地划分为周缘前陆盆地(peripheral foreland basin)和弧后前陆盆地(retroarc foreland basin),其中周缘前陆盆地是在大陆碰撞及其以后,由于板块自身重力作用造成陆内俯冲而形成的岩石圈挠曲。本文将以上扬子地台西缘中、晚三叠世周缘前陆盆地为例,对周缘前陆盆地形成阶段的层序的发育特色进行探讨。

周缘前陆盆地的发育可划分为三个阶段(Quinlan and Beaumont, 1984)<sup>[7]</sup>(图1):第一个阶段为盆地挠曲变形阶段,由于逆冲断块的负荷作用,以弹性变形为主。该阶段的重力负荷始终未超过岩石圈的弹性限度。此时沉积物可容空间相对较小,沉积物源仅分布于冲断块一侧,为单方向物源期。前陆膨胀带仍处于海平面之下,表现为水下沉积的特点(图1—1);第2个阶段为逆冲负载释放-塑性变形阶段。这是由于逆冲断块负载超过了岩石圈弹性限度,则发生粘结性反弹阶段,表现为塑性变形,盆地基底快速下降,造成了较大的沉积物容纳空间,接受了大量的沉积物。该阶段水下隆起已高出海平面,表现为陆上弱侵蚀现象。具有来源于冲断块一侧和水下隆起暴露侵蚀区的双物源特色,由盆地两侧同时注入盆地,造成了特殊的沉积物构型与层序发育特点(图1—2);第3个阶段为下一次逆冲负载-挠曲变形阶段(图1—3)。前陆盆地的发生、发育与演化就是通过这三个阶段的交替出现构筑了前陆盆地的构造格架分布及沉积物的充填特色。

上扬子地台西缘中三叠世拉丁期末开始至晚三叠世早期是边缘前陆盆地的发育时期,也具有上述前陆盆地的三个演化阶段。区内的构造沉降分析(表1)表明,边缘前陆盆地的净

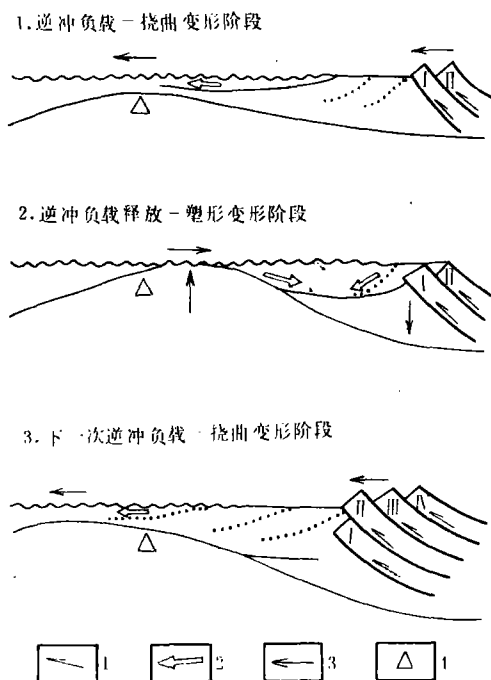


图1 克拉通边缘前陆盆地演化模式(Quinlan 和 Beaumont, 1984)

1. 冲断带逆冲方向; 2. 沉积物注入方向; 3. 逆冲带和前陆隆起迁移方向; 4. 前陆隆起的参照点

Fig. 1 Evolutionary patterns of a peripheral foreland basin (after Quinlan and Beaumont, 1984)

1=overthrusting direction of the thrust zones; 2=sediment supply direction;

3=migration direction of the thrust zones and foreland bulges; 4=reference point for the foreland bulges

构造沉降速率最大为40—110cm/10ka, 后造山前陆盆地净构造沉降速率次之为8—85cm/10ka, 被动大陆边缘盆地净构造沉降速率最小, 一般为4—7cm/10ka 之间。上述构造沉降速率与盆地的性质是一致的, 边缘前陆盆地的构造沉降速率大, 表明它提供的沉积物容纳空间比海平面变化提供的容纳空间要大些, 这就造就了前陆盆地层序地层发育的独特性。

表1 上扬子地台西缘二叠纪至三叠纪净构造沉降速率比较

Table 1 Comparison of net tectonic subsidence rates for the western margin of the Upper Yangtze platform during the Permian to Triassic (in 10 ka)

| 年代            | 内容 | 沉积盆地类型  | 海盆区 (cm/10ka) | 克拉通边缘区 (cm/10ka) | 克拉通区 (cm/10ka) |
|---------------|----|---------|---------------|------------------|----------------|
| $T_3^{2+3}$   |    | 后造山前陆盆地 | 82.25         | 缺失<br>32.50      | 8.66           |
| $T_2^3-T_3^1$ |    | 边缘前陆盆地  | 109.20        | 58.70            | 40.23          |
| $P-T_2^{1+2}$ |    | 被动大陆边缘  | 5.23          | 6.86             | 4.26           |

## 2.2 边缘前陆盆地的主要地质特征

通过对世界上主要前陆盆地的研究 (Bertrand, 1897; Hang, 1900; Day, 1951; Price, 1973; Dickison, 1974; Bally 和 Nelson, 1980; H. G. Reading, 1986; T. E. Jordan, 1991) 以及对上扬子地台西缘中三叠世拉丁期末至晚三叠世的前陆盆地研究, 边缘前陆盆地一般具有以下主要的地质特征。

1. 前陆盆地一般分布于造山带和前陆隆起之间, 并且与它们的走向平行。具有不对称盆地形态, 往往呈犁形。靠近造山带一侧沉积物较厚, 靠克拉通一侧沉积物较薄。地层厚度

较山脉区薄,较克拉通区厚。

2. 前陆盆地是一类重要的挠曲盆地,充填物包括海相沉积和陆相沉积。研究区内的中三叠世拉丁期末天井山组为海相碳酸盐岩沉积,往往分布于前陆隆起一侧,呈楔形体状态。晚三叠世卡尼期马鞍塘组沉积物为含生物碎片的灰岩与泥灰岩互层,代表了容纳空间较大的背景,为盆地塑性变形阶段的产物。晚三叠世诺利期小塘子组为海陆过渡相沉积物。

3. 前陆盆地沉积物多具有双方向物源特点,在前陆盆地形成的第1个阶段表现为单向的来自冲断块的沉积物,此时水下隆起未露出水面,在水下有时亦可提供一些沉积物。第2、3阶段表现出明显的双向物源。物源供给型式主要受与冲断造山有关的地形起伏的影响。物源区的地层构成和演变决定了前陆盆地沉积碎屑物类型。因此,根据盆地的充填物特点可以推断推覆体活动的次序和期限。

4. 前陆盆地的构造沉降速率极高,比被动大陆边缘和克拉通盆地的沉降速率大,并且有自盆地中心向盆缘递增的趋势(表1)。

### 3 边缘前陆盆地层序地层控制因素分析

被动大陆边缘层序地层主要控制参数有海平面升降、沉降速率、沉积物供给和气候等。早期层序地层学强调了海平面升降变化对层序形成的控制作用,目前已发展为将层序地层分析、沉降史分析和构造-地层分布结合为整体的综合地层分析方法(Vail等,1991)<sup>[8]</sup>,从而为层序地层学在更广泛的领域中得到应用和发展奠定了基础。

前已述及,前陆盆地为典型的挠曲盆地,它不同于被动大陆边缘盆地。因此,本文提出建立前陆盆地的层序地层的新思路——动力层序地层学。下面首先探讨一下动力层序地层形成的控制因素。

#### 3.1 海平面变化和构造沉降对层序形成贡献

前陆盆地的沉降速率取决于盆地岩石圈的刚度、构造负载和沉积负载的大小(Beaumont,1984)<sup>[7]</sup>。对某一特定的前陆盆地而言,盆地构造沉降是构造负载的函数,并且是呈正相关关系。正是由于这种原因,导致了前陆盆地沉降速率一般比被动大陆边缘沉降速率要大(表1)。层序地层学的基本假设是视海平面变化速率旋回(由全球海平面变化和构造沉降的矢量来决定)导致了容纳沉积物新增空间的变化。可容空间的变化不依赖于沉积物的注入,而潜在沉积物充填厚度是可容空间的函数,可容空间又是视海平面变化的响应。因此,作为前陆盆地沉积物容纳空间主要是由构造沉降决定的,所以研究前陆盆地沉积动力学显得格外重要。

#### 3.2 构造-海平面升降区带的标定

相对海平面升降速率取决于全球海平面升降速率与盆地沉降速率之间的比率。根据这一特点,Posamentier等(1993)<sup>[1]</sup>将前陆盆地边缘分为两个带(图2),其中A带的沉降速率一般大于全球海平面下降速率,因此在A区带中,相对海平面处于上升状态;B区带以沉降速率有时小于全球海平面下降速率为特征,因此在B区带中相对海平面有升降变化。

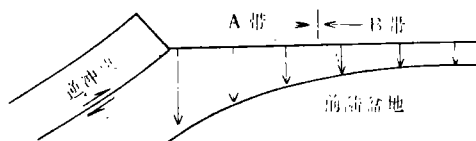


图2 前陆盆地构造沉降剖面模式,箭头表示构造沉降量的相对大小(据Posamentier等,1993)

Fig. 2 Schematic longitudinal section across a foreland basin illustrating a tectonic subsidence profile (after Posamentier et al., 1993)

如研究区内的拉丁期天井山组的形成就是处于B区带中,其顶部为暴露古喀斯特面,代表了相对海平面的下降过程。在前陆盆地中,由于盆地沉降速率主要受控于挠曲负载,盆地沉降速率自盆内向活动边缘递增(图2),这就造成了前陆盆地特殊的层序地层构成样式。

### 3.3 沉积物供给和古地貌作用

沉积物供给是决定地层构型的一个重要参数(Schalager, 1991)<sup>[9]</sup>。如果在前陆盆地活动边缘沉积物供给较为充足,造成岸线向B区进积上超,将在克拉通区形成碳酸盐缓坡(如拉丁期天井山组等)。A区和B区的分界位置随着全球海平面和构造沉降总量变化而发生重大变化,层序地层构成也要发生变化。

制约层序地层构成的另一个重要参数是盆地边缘古地貌,尤其在前陆盆地背景,古地貌空间展布受前陆盆地演化阶段的制约。

通过上述分析总结了被动边缘盆地和前陆盆地层序形成的四大参数(表2)。

表2 前陆盆地和被动大陆边缘背景层序制约参数比较  
Table 2 Comparison of the controlling factors for the sequences in foreland basins and on passive continental margins

| 盆地性质<br>控制参数 | 被动大陆边缘盆地                           | 边缘前陆盆地                                          |
|--------------|------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 海平面变化        | 全球海平面升降控制地层和岩相分布                   | 视海平面在A区表现为一直上升状态。B区视海平面既可上升又表现为下降过程,与被动边缘相似     |
| 动力构造沉降       | 沉降速率较小,沉降成因是岩石圈冷却和沉积物负载。自盆缘向盆腹沉降增大 | A区构造沉降速率较大,始终表现为沉降状态,B区以升降占优势。A区沉降速率大于全球海平面上升速率 |
| 沉积物供给        | 决定了沉积物充填程度和古水深变化                   | 沉积物源具双向性,A区大多来自逆冲断块区,且供应量很大;B区来自克拉通稳定边缘,沉积物供给量少 |
| 古气候          | 控制沉积物类型                            | 控制古环境演化序列                                       |

### 3.4 层序地层学研究基础——岩石地层划分及其相变分析

义敦—稻城地区与康滇古陆西缘三叠系地层发育情况是不同的。康滇地区由于早二叠世末的东吴运动隆起成为古陆剥蚀区。盐源一带,虽处康滇古陆的西部边缘,但沉积特征极相似于四川盆地特征(《四川地质志》,1991,第206页)。因此,三叠纪岩石地层划分方案与康滇古陆东部的台地区是相同的(表3),而九龙至义敦弧之间地区的沉积建造发育特色与四川盆地不同,从东向西沉积物厚度渐次增大,火山岩从无到有,至义敦弧东缘地区火山岩大量出现,由碎屑岩复理石沉积序列转化为野复理石——泥砾混杂岩、碳酸盐泥砾混杂岩、火山砾混杂岩(《四川地质志》,1991,第206页)。因此,该区形成了另外一套的岩石地层序列的划分方案(表3)。通过上述这两个地层分区的地层发育及其构成特色可以看出,沉积物源具有双物源方向属性,即在义敦岛弧东缘地区沉积物源方向自西向东来自于义敦岛弧区,而在康滇古陆西缘地区物源方向由东向西来自于康滇古陆剥蚀物源区。揭示了前陆盆地晚期的发育物源供给特色,是层序地层学研究的地质基础。

## 4 克拉通边缘前陆盆地动力层序地层学分析

### 4.1 动力层序地层学概念与术语

通过上述前陆盆地分析,不难看出对前陆盆地的沉积物供给、充填、盆地几何形态、演化历史做出重大贡献的是地壳动力——盆缘逆冲断块的动力活动。

表3 研究区内三叠纪岩石地层划分方案(据《四川地质志》,1991 修改)  
Table 3 Lithostratigraphic division of the Triassic strata in the study area

| 纪           | 世              | A 区地层组分布<br>(活动边缘区) | B 区地层组分布<br>(稳定边缘区) |
|-------------|----------------|---------------------|---------------------|
| J           |                | 侏 罗 系               |                     |
| 三<br>叠<br>纪 | T <sub>3</sub> | 缺失                  |                     |
|             |                | 英珠娘阿组               | 须家河组                |
|             |                | 喇嘛垭组                |                     |
|             |                | 拉纳山组                | 缺失                  |
|             |                | 图姆沟组                | 小塘子组                |
|             | T <sub>2</sub> | 曲嘎寺组                | 马鞍塘组                |
|             |                | 马索山组                | 天井山组                |
|             |                | 三珠山组                | 雷口坡组                |
|             |                | 茨岗组                 | 嘉陵江组                |
|             | T <sub>1</sub> | 领麦沟组                | 飞仙关组                |
| 地层分区        |                | 义敦-稻城分区             | 康滇古陆西缘或扬子西缘分区       |

动力层序地层学的基本观点是:地层单元的几何形态和岩性分布虽受控于四大地质参数(表2),但动力构造沉降是控制盆地几何形态的主要参数。

动力层序地层学是根据地震、钻井和露头资料以及有关的沉积-构造背景和岩相及构造样式对地层分布型式作出综合解释,研究盆山转换系统的发生与发展的历史,建立盆转山、山控盆的地质思维,达到活动区带(A 区带)的沉积盆地动力分析的研究目的。

前陆盆地的层序性质及其空间展布不同于被动大陆边缘背景,需要建立一套层序地层学新的术语系统才能有这样背景(活动边缘)之下的油气及固体矿产评价研究上有所突破。通过前陆盆地的形成机制分析、前陆盆地的区带(A 区带和B 区带)分布研究以及构造沉积学分析,提出了动力层序地层学的术语系统。

#### 4.1.1 动力地层层序

活动边缘的动力释放是周期性进行的,尤其在前陆盆地的逆冲断块边缘最为显著。由前陆挠曲变形至塑性变形的时间为前陆盆地沉降的一个周期。康滇古陆西缘的中三叠世拉丁期末的天井山组和晚三叠世卡尼期马鞍塘组分别是在这样一个周期内形成的一个动力层序(dynamic sequence)。二者的周期分别为 $2.5 \pm \text{Ma}$ 和 $8.0 \pm \text{Ma}$ 。那么,由前陆挠曲变形到塑性变形的时间域内形成的地层记录序列便构成了一个动力地层层序——本文命名为动力层序。一个动力层序具有明显的两分性:由挠曲变形体系域和塑性变形体系域构成。

#### 4.1.2 动力层序界面(DSB)和前陆挠曲至塑性变形转换面(FVB)

动力层序界面(DSB)往往与传统的地质学上的角度不整合面相当。前陆挠曲至塑性变形转换面(FVB)往往是构造活动记录面和海平面变化的效应,它与传统地质学上的平行不整合或假整合相当。这两个界面在野外极易识别。它们是研究年代地层和岩石地层之间相关关系的一个关键性纽带。

#### 4.1.3 前陆挠曲变形体系域(FST)

前陆挠曲变形体系域(flexural deformation system tract)的沉积厚度往往较薄,代表了

前陆开始挠曲变形过程的地质记录,呈楔形分布。此时期逆冲断块刚开始逆冲,提供了较少的沉积物供给量,并且以浊积岩或浊积扇形式产出,沉积物成分取决于冲断块的物质构成,往往是较为理想的矿产储集空间的候选目标。此时的稳定克拉通一侧几乎不接受沉积,为层序界面的形成时间。

#### 4.1.4 前陆塑性变形体系域(VST)

前陆塑性变形体系域(viscoelastic deformation system tract)的沉积厚度巨大,这是由于逆冲断块逆冲加剧,其重力负载超过了岩石圈的弹性限度,导致了前陆的剧烈沉降,提供了庞大的可供沉积物堆积的空间场所,形成了巨厚的沉积体。往往以巨厚的浊积岩产出,沉积物成分取决于冲断块的物质构成。此地也是油气储集空间及其多金属层控矿床的有利空间。

#### 4.2 边缘前陆盆地动力层序地层划分

边缘前陆盆地包括活动边缘区(A区带)和克拉通稳定边缘区(B区带),两者具有截然不同的动力构造活动背景。因此,这两个区带发育了不同性质的层序类型及其体系域构型。

##### 4.2.1 活动边缘区(A区带)动力层序地层分析

通过对上扬子地台西缘中三叠世晚期与晚三叠世早期前陆盆地动力沉降分析、沉积学及沉积构成分析,将边缘前陆盆地地层发育情况划分为两个动力地层层序,分别用DSQ<sub>1</sub>和DSQ<sub>2</sub>表示。

动力层序1(DSQ<sub>1</sub>):为中三叠世拉丁期末的扎杂山组顶部,年龄为2.5Ma,由FST和VST组成,代表了前陆盆地的一次活动周期。FST一般为砂质板岩或含砾砂板岩构成,分布范围相对较小,一般分布于A区带内,呈薄层楔形体分布,代表了前陆盆地开始活动的标志,与下伏层序往往呈平行不整合接触关系,沉积速率较VST要小,其制约因素主要是由重力负载导致的前陆沉降表现为视海平面的上升过程的产物,海平面升降效应大大小于前陆挠曲变形效应,沉积物容纳空间主要由前陆挠曲变形所决定。VST由砂板岩或泥质砂板岩组成,往往为块状构造,厚度较大,沉积速率较高,是由于前陆逆冲负荷超过了岩石圈弹性限度导致的前陆快速塑性变形的产物。出现了较大的容纳空间,代表了前陆逆冲断块活动的最高峰,反映了前陆盆地这一周期的活动终结。断块供给的沉积物量达到最高,导致了前陆拗陷由于沉积物的充填而消亡,进入了前陆活动的下一个周期。

动力层序2(DSQ<sub>2</sub>):为晚三叠世早期的卡尼期杂谷脑组,年龄为11.6Ma。由FST和VST构成(图3),代表了另一期前陆盆地的发育周期。FST由含砾砂质板岩或砂板岩组成,分布范围较DSQ<sub>1</sub>的FST要广,是由于前陆挠曲叠加于前陆塑性变形之上的结果,与下伏动力层序为假整合关系。VST与FST在野外剖面中往往表现为似整合的接触关系。由FST→VST代表了沉积物容纳空间不断增大的过程,并且沉积物的供给速率基本与容纳空间的增大速率呈正相关,最后由于逆冲断块供给大量的沉积物充填而导致前陆拗陷的消亡,也是其发育周期的终结。

##### 4.2.2 克拉通稳定区(B区带)层序地层分析

该区带的层序构成及其制约因素与被动边缘的情况类似。中三叠世晚期拉丁期末天井山组构成一个三级层序,年龄为2.5Ma。该层序顶底界全为暴露不整合,顶界面具有明显的陆上暴露古喀斯特面。该层序仅能划分出高水位体系域(HST),缺失LST和TST,这是由于该层序底界面的时间损失量包括了LST和TST的时间,没有留下LST和TST的地层记录。HST主要由砂屑灰岩组成,为前陆隆起克拉通的碳酸盐缓坡背景。

晚三叠世早期卡尼期马鞍塘组为一个三级层序,主要由砂屑灰岩或贝壳灰岩与泥灰岩

互层构成,该层序仅发育HST,年龄为11.6Ma。很显然,层序的发育受到全球海平面升降的影响,它是全球海平面升降和区域构造沉降的综合效应。

#### 4.2.3 活动边缘动力层序与克拉通稳定边缘的层序对比

通过A区带和B区带的层序对比,明显地反映出盆山转换系统的发生、发育演化及消亡的历史,动力层序DSQ<sub>1</sub>和DSQ<sub>2</sub>分别与层序SQ<sub>1</sub>和SQ<sub>2</sub>相对应。动力层序序列反映了盆转山—山控盆的地层记录。稳定边缘的层序是盆地分析的参考单元,代表了视海平面的发生发展史。因此,只有全面考虑一个盆地不同性质的边缘层序的发育情况,才能够更全面、准确地再造盆地的发展史,建立较为完善的盆地层序地层模式,对矿产资源做出合理评价。

### 5 克拉通边缘前陆盆地动力层序地层模式

通过上述分析表明,对克拉通边缘前陆盆地动力层序地层学的研究显得十分迫切和必要。只有综合考虑稳定边缘(Vail等已有详尽论述)与活动边缘的层序形成制约因素及其内部构成,才能对整个盆地范围的地层格架有一个三维空间的了解,才能够对全盆地的分析有更深入的了解,进而更准确地、全面地对盆地的流体矿产和固体矿产做出合理评价。

通过对上扬子地台西缘南段中三叠世晚期拉丁期末和晚三叠世早期卡尼期前陆盆地分析研究,总结了克拉通边缘前陆盆地动力层序地层模式(图3)。这个图解详细标明了动力活动控制区的A区带的动力层序的空间构型:FST→VST,代表了盆转山—山控盆的动力机制。同时,A区带又是矿产分布的有利区带,也是沉积物的主要分布区,视海平面变化严格受控于边缘冲断块活动。B区带类似于Vail的被动大陆边缘的层序模式,然而,由于受到前陆隆起的控制,它的体系域发育往往不完全,多以发育高水位体系域为特色,指示了层序界面的间断时间包括了LST和TST时间。

另外,建立这个模式有利于完善绝对海平面的编制方法,Vail等人建立的全球海平面旋回图仅考虑被动大陆边缘的情况,没有或很少考虑活动边缘的背景。如果将这两个边缘海平面曲线相互修正补充,会得到更精确的海平面升降曲线。

### 6 存在问题与展望

通过笔者近几年对层序地层学的研究工作,感觉到有必要提出动力层序地层学这一问题,这样才能够不断完善层序地层学的理论体系和术语系统。很显然,动力层序地层学是层序地层学的一个分支。由于笔者水平之限,新提出的动力层序地层学理论只是拙见,希望起到一个抛砖引玉的作用,以期引起更多地质专家的重视和争鸣,达到层序地层学理论更臻完善之目的。

新提出的动力层序地层学虽然存在许多问题甚至是错误之处,有许多问题需急待解决。这主要表现在构造动力学的分析仍不够,要向定量化方向发展还需进一步标定活动边缘的活动周期序列,这才有助于研究动力层序。有关动力层序的级别划分也是一个亟待突破的问题。对于动力层序的体系域构成:前陆挠曲变形体系域(FST)和前陆塑性变形体系域(VST),这种分割法是否恰当,都是有待进一步探讨的课题。另外,以往的构造层序远不能与动力层序相提而论。如果动力层序地层学是合理的话,它是否可用于正断层控制和海平面控制之下的断陷盆地,等等。所有这些问题有待进一步探讨,愿与地质学家探讨。

最后,对于建立动力层序地层学意义是非常之重大的。众所周知,Vail等人(1997)和



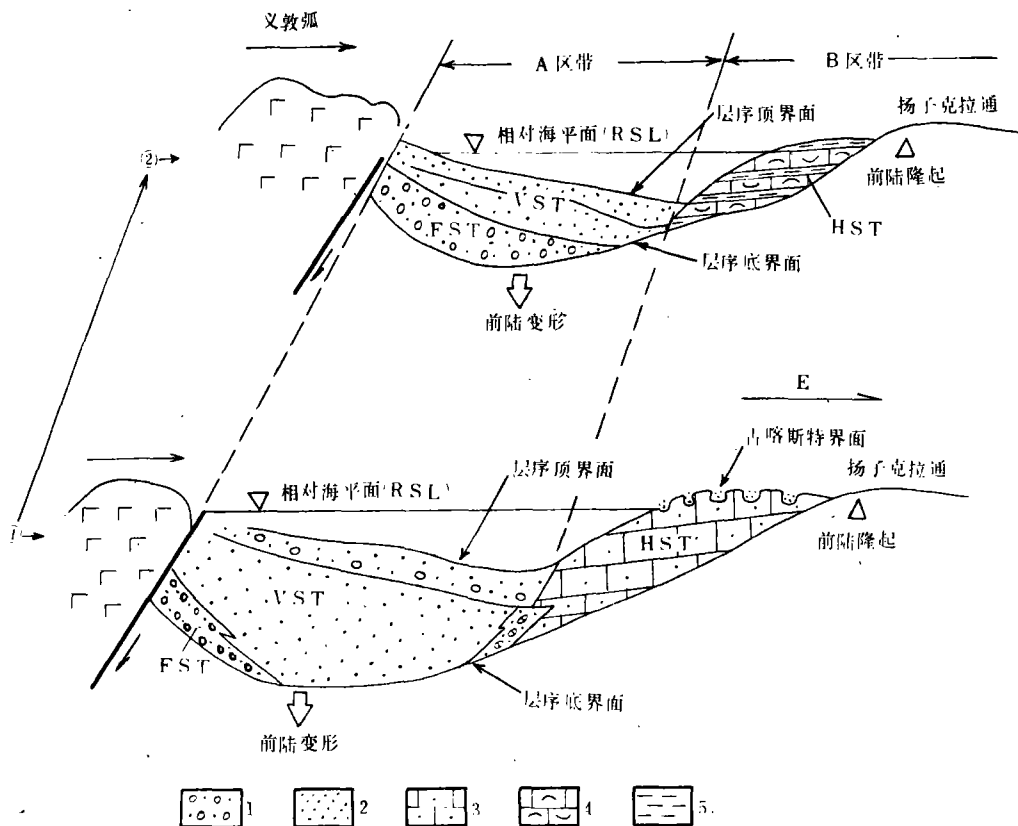


图3 上扬子地台西缘前陆盆地动力层序地层综合图解(据许效松修改,1996)

1. 砂砾岩, 2. 砂岩, 3. 砂屑灰岩, 4. 含贝壳灰岩, 5. 钙质泥岩; FST. 前陆挠曲变形体系域, VST. 前陆塑性变形体系域, HST. 高水位体系域; ①. 中三叠世拉丁期末天井山组沉积, ②. 晚三叠世卡尼期马鞍塘组沉积

Fig 3 Dynamic sequence stratigraphic model of the peripheral foreland basins on the western margin of the Upper Yangtze platform(modified from Xu Xiaosong,1996)

1=sandstone and conglomerate, 2=sandstone, 3=calcarenite, 4=shell-bearing limestone;

5=calcareous mudstone; FST=flexural deformation systems tract, VST=viscoelastic deformation systems tract; HST=highstand systems tract; ①=latest Ladinian(Middle Triassic)

Tianjingshan Formation; ②=Carnian(Late Triassic)Ma'antang Formation

Haq 等人(1987)建立的全球海平面旋回曲线主要依据被动大陆边缘的资料。试想如果在活动边缘的视海平面曲线建立之后,扣除掉区域构造沉降量,就可以得到全球海平面升降旋回曲线。这两个边缘海平面升降曲线相互比较验证校对,便可以得到更准确的全球海平面旋回曲线。这些问题有待地学界同仁共同努力,以期达到更理想成果。

## 参 考 文 献

- 1 Posamentier, H. W. et al. Siliciclastic sequence stratigraphic patterns in foreland ramp-type basins. *Geology*, 1993, 21, 455-458
- 2 Vail, P. R., Mitchum, R. W. Jr. and Thompson, S. Seismic stratigraphy and global changes of sea level. ■. Part 4: Global cycles of relative changes of sea level. In: C. E. Payton(Editor), *Seismic Stratigraphy—Applications to Hydrocarbon Exploration*, AAPG Memoir 26, 1977, 83-98
- 3 Jervey, M. T. Quantitative geological modeling of siliciclastic rock sequences and their seismic expressions. In: C. K. Wilgus et al. (Editors), *Sea-Level Changes, an Integrated Approach*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication 42, 1988, 47-69

- 4 Miall, A. D. Sequence stratigraphy and their chronostratigraphical correlation. *Journal of sedi. Petro.*, 1991, 61(4): 497—505
- 5 Cloetingh, S. Intraplate stresses, a tectonic cause for third-order cycles in apparent sea level? In: C. K. Wilgus et al. (Editors), *Sea-Level Changes, an Integrated Approach*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication 42, 1988, 19—29
- 6 Dickison, W. R. Plate tectonics and sedimentation. In: D. W. Dickinson (Editor), *Tectonics and sedimentation*. SEPM Spec. Publ., 22, 1974, 527
- 7 Quinlan, G. M. and Beaumont, C. Appalachian thrusting, lithospheric flexure, and the Paleozoic stratigraphy of the Eastern Interior of North America. *Can. J. Earth Sci.*, 1984, 21, 973—996
- 8 Vail, P. R. et al. The stratigraphic signature of tectonics, eustasy and sedimentology—an overview. In: Einsele et al. (Editors), *Cycles and Events in Stratigraphy*. Springer-Verlag, 1991
- 9 Schalager, W. Depositional hiatus and environmental change—important factors in sequence stratigraphy. *Sedi. Geo.*, 1991, 70, 109—130

## DYNAMIC SEQUENCE STRATIGRAPHY OF PERIPHERAL FORELAND BASINS

Zhao Yuguang   Xu Xiaosong   Liu Baojun  
*Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, CAGS*

### ABSTRACT

The general concepts of dynamic sequence stratigraphy are proposed based on the detailed studies of sequence stratigraphy of the latest Ladinian (late Middle Triassic) and Carnian (early Late Triassic) peripheral foreland basins on the western margin of the Upper Yangtze platform. These peripheral foreland basins may be classified into Zones A and B corresponding to those by Posamentier et al. (1993), where there exist distinctive apparent sea-level cycles during a same apparent eustatic period. In Zone A, the rate of subsidence always exceeds the rate of eustatic fall. Consequently, relative sea-level rises continuously during a eustatic cycle, albeit at varying rates. The accommodation spaces are chiefly constrained by the overthrusting of the peripheral thrust sheets. In Zone B, the rate of eustatic fall periodically exceeds the rate of subsidence, resulting in an interval of relative sea-level fall during a eustatic cycle. It follows that the dynamic sequences in Zone A are made up of the flexural deformation systems tract (FST) and viscoelastic deformation systems tract (VST). The transition from FST to VST reflects the constant increase in the accommodation spaces of the sediments, formation and development of the basin-range transformation systems, and architecture of the dynamic sequence stratigraphy of these transformation systems. The results of research in this paper will assist in the basin-wide basin analysis and allow the rational assessment of the fluid and solid mineral resources.

**Key words:** cratonic margin, peripheral foreland basin, dynamic sequence stratigraphy, flexural deformation systems tract (FST), viscoelastic deformation systems tract (VST)