

层序地层学在岩相古地理研究中的应用

李文汉

(成都地质矿产研究所)

自《岩相古地理》(1987年第5期)开始介绍“全球沉积地质计划”(GSGP)的层序地层学以来,引起了地矿部门广大科技人员的极大兴趣,并将其基础理论和基本工作方法引入有关的研究工作,如“黔西南及邻区两类赋金层序与沉积环境”(王砚耕,1990)、“中国南方三叠纪层序地层及海平面变化”(牟传龙、吴应林,1991),以及在“中国南方岩相古地理及沉积、层控矿产远景预测”项目中的研究等等。最近,又开始了对地表露头(特别是在缺乏地球物理资料和占孔资料的地区)进行层序地层学研究的基本工作方法的探讨(李文汉,1991),以及在1:50000区调工作中的应用(刘怀仁等,1991)。显然,层序地层学这一基础学科在地学领域内找到了自己的地位,尤其是在沉积地质学研究中起着基石的作用。

层序地层学形成自己的独特学科体系,并成为地层学的分支学科,只不过是最近20年左右的事情。但是,它对传统的地层学,如生物地层学、岩石地层学等,却有着极大的震动和开拓,这主要表现在以下几方面。

1. 将沉积层序或地层序列的形成与全球海平面变化联系起来 全球海平面的变化在所有大洋及与大洋联通的沉积盆地中是可以对比的,因而与其有成因联系的沉积层序也是可以全球对比的。这意味着:(1)地层的对比标准已经不只是局部的或区域性的、受诸多环境因素影响的生物带或化石带,而主要是全球性的海平面变化旋回;(2)地质事件理论被引进地层学领域,因为层序界面被认为是海平面迅速下降事件的产物,而沉积层序是代表沉积在单一成幕事件时期(一个海平面变化旋回)的成因单位。

2. 将地层学研究 with 沉积相研究,特别是岩相古地理学的研究紧密结合起来 无论沉积层序界面的鉴别,还是沉积体系域的划分都必须对沉积剖面进行沉积相研究。从更大的规模来看,地质记录中全球海平面变化旋回的分析和鉴别,也必须依靠和进行沉积学研究。

3. 层序地层学研究的基础单位是层序,是一套以不整合面和相关整合面为界面的成因上有联系的地层 与传统地层学不一样,它不以层作为研究基础单位;而且它不仅仅研究地层的沿走向的变化,还要研究在倾向方向的变化。用岩相古地理学的术语来说,层序地层学不仅要研究沉积层序在平行岸线方向的相变,还要研究垂直海岸方向的相变。

4. 年代层序地层学的格架是多学科成果的结晶 它绝不否定传统地层学的成果,而且将生物地层学、岩石地层学等的成果作为建立自己年代格架的基础材料。另外,它广泛取

材和依靠其它的新兴学科,例如,沉积层序界面和体系域的性质、连续性(不是穿时的面或穿时的岩相)应在地震剖面资料上予以检验;界面应与磁极倒转事件相适应;界面和层序年龄应有同位素年龄数据等等。

尽管层序地层学取得了很大的成就,形成为地层学的新兴的分支学科,但它也不可避免的存在有许多有争议的、极待完善和解决的问题。在探讨层序地层学如何应用于岩相古地理研究之前,以下问题是必须交待的。

1. 造成全球性海平面变化的原因? 如何测定全球海平面变化?

肖普夫认为(仇祥华等译,1984),造成100—500m量级的全球性海平面变化的原因,可能有以下四种:

(1) 冰川原因 冰川形成时,海洋水转换成大陆冰,海平面降低;冰川融化时,大陆冰转换成海洋水,海平面升高。这一过程大约需10000—20000年,可引起100—200m的海平面变化。在地质历史上有四次大的冰川活动时期,即震旦纪、晚奥陶世至早志留世、晚石炭世至早二叠世、中新世至更新世。

(2) 海底扩张速率的变化 当地幔物质添加到海洋中脊时温度较高、浮力较大,然后随板块的漂移而冷却、密度增大,并收缩、下沉。如果海底扩张的速度快,离开洋脊有一定距离的洋底就不象正常情况那样有足够时间进行冷却,因此,洋底就比较高,由于海水的体积是固定的,这样就使海平面升高了,海水也就漫溢到克拉通之上;相反,在洋底扩张速率缓慢的时候,洋底就有比正常情况较多的时间进行冷却,于是就下沉得深些,海水就流离大陆退回洋盆。海底扩张速率的变化,可使海平面在一二百万年期间发生300—500m的变化,是海平面变化的主要的长期控制因素。

(3) 大陆的剥蚀 据统计,海平面升高1m,就是海洋的整个面积 $362 \times 10^{12} \text{m}^2$ 都移动1m,或者说需有 $362 \times 10^{12} \text{m}^3$ 的岩石进入海洋。岩石的密度按 2.7g/cm^3 计,则 1m^3 的岩石为 $2.7 \times 10^6 \text{g}$,因此,需 $9.8 \times 10^{20} \text{g}$ 的岩石才能使海平面升高1m。在有人类历史以前,增加到海洋中的沉积物每年约为 $2 \times 10^{16} \text{g}$,以这一剥蚀速度置换1m深的海水将需要5万年左右,升高100m需5百万年,这在地质年代表上算是快的了。

(4) 大型盆地(如地中海)的干涸和充水 据估计地中海的完全干涸(可能发生于晚中新世),可使全球海平面升高10m。同时,当它再次充水时,世界海平面下降10m。

上述四种可能的原因,大都属推测或假说,而且,即使确实都对海平面变化有影响,恐怕也是综合性的,而不是单纯某一种原因的影响。当然不排除某一特定地史时期,以某一种因素为主。

现在,有人提出有四种描述全球海平面变化的方法(Kendall and Lerche, 1988): (1) 被海超覆的大陆的变化地区; (2) 海洋沉积物的沉积记录; (3) 相应于覆有海水重量的地壳; (4) 洋水的体积变化。这些方法都有自己的假设前提,因而也就存在有本身的弱点和若干争议。本文不宜评述这些方法,但有一点是必须明确的:目前还没有一种大家确信的测量全球海平面变化的方法。

2. 相对海平面变化和全球海平面变化的关系

研究一个地区的沉积地质记录时,我们了解到的是该地区的相对海平面变化,而不是全球海平面变化。影响一个局部区域海平面变化的因素很多,诸如构造活动、火山作用、沉积物供给量等等。在有的地区,由于诸多因素的影响,有可能出现相对海平面与全球海平

面呈异相位的变化,即全球海平面下降时,如果当地构造沉降率更大,则可能出现海平面相对上升。显然,如果不能区分二者,则沉积层序和层序界面就难以进行全球对比。

3. 构造沉降的复杂性和沉积物供给的多源性

层序地层学的基本模式假定海底沉降速率在剖面上的任一点都保持一致,但向盆地方向的点其沉降速率增加,即剖面上的各个点在有限时间间隔内其沉降速率相同。这种均匀的构造沉降的假设可能把自然界的现实太简单化了。同时,现有的大洋盆地都表明,它们不是象层序地层学基本模式所假定的那样:只有一个或相对应的两个沉积物供给区,而且均匀地向盆地供给沉积物。相反,任何大洋盆地沉积物的供给都是多源的,而且源区所供给的沉积物速率、性质,及搬运方法等都可非常不同。在某种情况下,沉积物的供给量也可造成相对海平面与全球海平面呈异相位变化,例如在海平面上升期间,如果沉积物供给量极大,且速率快,则形成的是进积准层序,反映出来的是海平面相对下降。

4. 模式的适用性

现在的层序地层学模式,碎屑岩地区是用边缘海的环境来建立的,而碳酸盐岩的层序地层学模式是用台地-盆地模式建立的。显然,这两种环境模式不能包括地史时期的所有古海洋。就我国的具体情况而言,碳酸盐岩-碎屑岩互层的地史时期很多,那它们的模式应是什么?

层序地层学象其它地层学学科一样,是岩相古地理研究中的基础。在以往的岩相古地理编图中,存在有两个争议很大的问题:一是怎样编制反映活动论的岩相古地理图,即所谓的第四代岩相古地理图;一是在平面图(二维)上怎样反映出在某一时间间隔内该地区的沉积发展史(四维)。前者涉及的是如何恢复或复原古海洋、古大陆的位置和变化历程,后者则除涉及成图单元的划分、对比等问题外,还有若干作图方法上的问题。最核心的问题是:怎样选择等时地质体(或相)和将其投影在等时面上。根据前述层序地层学的进展,笔者认为以沉积层序作为岩相古地理图的成图单元,以最大海进面作为编制平面图的等时面是可行的。

沉积层序的界面及层序内体系域间界面是可以定时的,因而沉积层序也可以定时,加之它们可进行全球对比,所以以层序作岩相古地理研究的基础地层单元和成图单元,较之现在所用的单元要合理得多。由于条件限制,古生代及其以前的沉积层序尚无全球性的定年资料,这是目前要解决的问题。但中生代以来的层序年龄和海平面变化旋回已有统计数据(Haq et al, 1988),现简化为表1。

表1中的“标准年代地层学单位”用“国际地层时代对比表”(王鸿祯等译,1990)的中译名,但阶的年龄二者不一定很吻合一致,这可能与使用的资料不同有关,不过差距不大。Haq等的原图中(Haq等,1988,图14、15、16、17)包括有“磁年代地层学”、“生物年代地层学”、“海平面变化曲线”及“下超面年代”和“体系域”,由于篇幅所限,本文从略。应予以说明的是:各阶及层序界面的年代与上述各资料的数据是一致或接近的。

如果仔细研究表1,会发现一个十分有趣的现象,就是地层阶的界线并不与层序界面一致,而是略高或略低于层序界面。这是由于常以海进面作为阶的界线之故。同一层序内有两个重要的海进面,即低位体系域和海进体系域之间的海进面,或称海洋淹没面、第一次海洋淹没面等;和海进体系域与高位体系域之间的海进面,亦称最大饥饿面、最大海洋淹没面、下超面等。前一个海进面高于层序底界面;后一个海进面低于层序顶界面。它们有

侏罗系	上统	波特兰阶	下	Z U N I	LZ	1.4	134 (I) -
		136				1.3	135 (I) -
侏罗系	中统	白莫支阶	下	Z U N I	B-1	1.2	136 (I) -
		145				1.1	138 (I) -
侏罗系	下统	牛津阶	晚	Z U N I	LZ	4.7	139 -
		152				4.6	142 -
侏罗系	中统	卡洛阶	晚	Z U N I	A-4	4.5	144 -
		157				4.4	146.5 -
侏罗系	下统	巴通阶	晚	Z U N I	A-3	4.3	148.5 -
		165				4.2	149.5 -
侏罗系	中统	巴柔组	晚	Z U N I	LZ	4.1	150.5 -
		171				3.2	155.5 -
侏罗系	下统	阿林阶	晚	Z U N I	A-2	3.1	158.5 (I) -
		179				2.4	159.5 -
侏罗系	中统	土阿辛阶	晚	Z U N I	LZ	2.3	161.5 -
		186				2.2	166 -
侏罗系	下统	普林斯巴阶	晚	Z U N I	LZ	2.1	169 (I) -
		194				1.1	177 (I) -
侏罗系	中统	辛涅尔阶	晚	Z U N I	LZ	4.6	179.5 -
		201				4.5	181 -
侏罗系	下统	赫梯阶	晚	Z U N I	LZ	4.4	182.5 -
		210				4.3	186.5 -
侏罗系	中统	瑞芬阶	晚	Z U N I	LZ	4.2	188 -
		215				4.1	188.5 (I) -
侏罗系	下统	诺利阶	晚	Z U N I	LZ	3.4	191 -
		223				3.3	195 -
侏罗系	中统	卡尼阶	晚	Z U N I	LZ	3.2	198 -
		231				3.1	202 -
侏罗系	下统	拉丁阶	晚	Z U N I	LZ	2.1	202 -
		236				1.1	211 -
侏罗系	中统	安尼阶	晚	Z U N I	LZ	4.1	215 -
		240				4.1	224 (I) -
侏罗系	下统	赛特阶	晚	Z U N I	LZ	3.2	228 -
		250				3.1	232 (I) -
侏罗系	中统	喀喇阶	晚	Z U N I	LZ	2.2	237 (I) -
		255				2.1	239 (I) -
侏罗系	下统	喀山阶	晚	Z U N I	LZ	1.5	240.5 -
						1.4	242 -
侏罗系	中统		晚	Z U N I	LZ	1.3	245 -
						1.2	252 -
侏罗系	下统		晚	Z U N I	LZ	1.1	255 (I) -

* 层序界面年代后注 (I) 者, 为类型 I 界面, 未注者为类型 II 界面

史时期的概貌。

总的说来, 笔者认为沉积层序应是岩相古地理学研究的基本地层单元, 或基本成图单元。一幅完整的岩相古地理图应包括: (1) 以最大海进面为等时面的, 二维的岩相古地理

与层序界面不同的成因和地质特征 (李文汉, 1991)。为什么不用海进面作为层序的顶、层界面呢? 一方面是因为海进面的年代地层学意义迄今难以估价; 另一方面是因为: (1) 海进面不能反映出与上、下地层的联系, 特别是排除了部分海岸上超旋回; (2) 海进面的定时, 特别是与凝缩层相关的最大饥饿面的定时, 经常使用的层型剖面的古生物界线与浮游生物带的界线, 由于受古纬度的影响, 可造成古生物年代数据 (生物带) 在时间上的移动, 因此, 在一指定地区, 古生物资料经常不代表生物年代带; (3) 海进面或阶的界线最多只是一时间界线, 而由海平面下降所形成的层序界面是分开新、老岩石的时间面。由此可见, 层序地层学为划分岩石记录为年代地层学单位提供了新的统一的概念, 同时提供了一个地球化学的、地质年代学的、古生物学的以及相分析的全球格架。岩相古地理研究中以沉积层序作为基本地层单元, 就避免了以其它地层学单位为基本单元的不足, 而综合地吸收了它们的优点。

用等时面编制岩相古地理图已有许多尝试和讨论 (李文汉, 1983^①; 吴应林等, 1989)。沉积层序中的最大海进面或最大饥饿面, 虽然严格说来也是“穿时”的, 为什么可作为“等时面”呢? 这是因为: (1) 它形成于海平面迅速上升期间, “穿”的时间不长, 就同一沉积层序形成的时间间隔而言, 完全可把它看成是“等时”或近于等时的; (2) 此一时期的海域范围最大, 相带展布最为齐全, 据此所编制的岩相古地理图相对说来最全面的代表了该地

① 李文汉, 1983, 等时面在沉积相古地理研究中的应用, 岩相古地理研究与编图通讯, 3—4 期

图; (2) 以层序为单元的, 垂直海岸线方向的断面图。

主要参考文献

- 王砚耕, 1990, 黔西南及邻区两类赋金层序与沉积环境, 岩相古地理, 第六辑。
- 王鸿祯等译, 1990, 国际地层时代对比表, 地质出版社。
- 仇祥华等译, T. J. M. 肖普夫著, 1984, 古海洋学, 海洋出版社。
- 牟传龙、吴应林, 1990, 中国南方三叠纪层序地层及海平面变化, 岩相古地理, 第二辑。
- 刘怀仁等, 1991, 川西南上震旦统灯影组沉积期的暴露标志及其意义, 岩相古地理, 第五辑。
- 吴应林等, 1989, 上扬子台地早、中三叠世岩相古地理及沉积矿产的环境预测, 成都地矿所、重庆出版社。
- 李文汉, 1991, 露头层序地层学, 岩相古地理, 第五辑。
- Haq, B. U. et al, 1988, Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy and eustatic cycles. In: SEPM. spec. pub. No42.
- Kendall, C. and Lerche, I. 1988, The rise and fall of eustasy. In: SEPM. spec. pub. No42.

(上接 68 页)

和稀少的微分枝状裂隙。

某些收缩裂隙类型局限于一定的相内, 使这些收缩裂隙的成因解释更固定。上部相中的裂隙强烈受到沉积物负荷的影响, 并可能通过压实引起水从孔洞中排出, 产生收缩裂隙。在下伏浅水相中, 多边形裂隙经干裂而形成。在该相的其它地方, 相同层理面上的不完全的、部分连结的裂隙和长纺锤状裂隙也被认为系干裂所形成。

收缩裂隙是一种未加以充分利用的环境信息源, 但对其成因的纷争有时使其潜力受限。对宿主沉积物和裂隙充填物特性的较深入透彻的分析, 可加深沉积成岩作用对裂隙形态影响的理解。较之层理面裂隙更常暴露的横剖面裂隙, 可提供有关裂隙成因的另一些关键性的信息。较好地理解裂隙的成因将增强我们解释常见于前寒武纪和湖泊环境的不含化石的泥质层序的能力。