

文章编号: 1009-3850(2003)02-0098-07

地层基准面研究概述

刘 豪, 王英民, 王 媛

(石油大学, 北京 102249)

摘要: 根据研究目的和内容的差异, 形成了基准面研究的两个派别——地貌基准面和地层基准面。基准面的一个升降周期形成了一个基准面旋回, 这种基准面旋回性导致了该旋回周期的特有岩石地层单元; 而在不同的地质历史中, 基准面旋回级别不一样, 形成了不同级别的基准面旋回, 控制了不同级别岩石地层单元的记录特征。同时在一个基准面升降旋回过程中, 决定了沉积可容空间的大小, 进而控制了沉积物的叠置模式。但基准面的形成和控制因素亟需进一步深入研究。

关 键 词: 基准面; 层序地层学; 陆相

中图分类号: P539.3

文献标识码: A

1 基准面研究的发展历程

早在 1917 年, Barrell 就指出, 地层层序是基准面穿越地表上升与下降运动过程的地质记录^[1]。但地质学家对基准面概念的理解不尽相同, 总体来说, 可分为地层基准面学派^[1~7]和地貌基准面学派^[8~13]。

地貌基准面学派认为, 基准面即地貌学上的平衡剖面。如 Bates 和 Jackson (1987) 把基准面描述为: “理论上的界线或最低的面, 地球表面的侵蚀不断向着它靠近但很少达到这个面, 尤其是这个面之下, 河流不能侵蚀其河床。对陆地表面来说, 通常的或最终的基准面是海平面, 但是暂时的基准面可局部存在”^[10]。在陆相地层中, 均衡河流剖面的概念往往作为该学派的基准面, 通常被用来作为近似于控制侵蚀和沉积物保存的均衡面。Mackin (1948) 对均衡河流剖面作了如下描述: 均衡河流是一种数年之内其坡度具有轻微调整变化的河流, 伴随着有效流量和主河道的发育等特征, 这种变化为来自流

域的载荷的搬运作用提供了必要的速率^[14]。它是一个平衡体系, 其识别特征 is 任何控制因素的任何变化都将引起这种均衡在趋向减缓变化效应方向上的位移。从 Mackin 均衡剖面概念中很容易看到, 人们在研究近滨地层时, 常以相对海平面来代替基准面。相对海平面 (Powell 的主要基准面) 的变化将导致坡度的变化, 这反过来又控制了河流体系分级的高度和位置及该河流体系的坡度, 因此这又控制了河流的加积作用和/或剥蚀作用。类似的概念被组合在一系列的概念模型之中, 并被 Jervey (1988)、Posamentier 等人 (1988)^[15~17] 所发展。这些概念涉及河流沉积对相对海平面和河流体系坡度的变化。这些作者运用了这样的一些概念, 如平衡点、海湾线和涉及到海岸平原地层中沉积空间的变化与相对海平面变化关系的河流平衡剖面。他们认为, 有意义的冲积可容空间的形成, 要求在地层基准面慢速上升的过程中有海湾线的向海移动。

由此可以看出, 赞同地貌基准面的地质学家仅仅是从地貌学角度来理解基准面, 而并没有把基准

面旋回与时间域、基准面对岩石记录的保存程度和内部结构的控制联系起来。

而地层基准面的认识是把地层基准面作为分隔沉积作用和侵蚀作用的理论均衡面,“在该面之上沉积物不能停留,该面之下可能发生沉积和埋藏作用”^[2]。自 Barrell (1917) 提出基准面概念之后的很长一段时间, Wheeler (1964) 才第一次明确地从地层保存作用出发来认识基准面,并赋予其时间意义^[4]。他提出:基准面既不是海平面,也不是海平面向陆方向的水平延伸,而是一个相对于地表波状升降的、连续的、略向盆地下倾的抽象面(非物理面),其位置、运动方向及升降幅度不断地随时间变化。在基准面变化的时间域内,可供沉积物堆积的可容纳空间也在不断变化,并由此导致沉积物的保存、剥蚀、过路不留和非补偿等 4 种地质作用的发生。Cross (1996, 1998) 发展了 Wheeler 关于基准面的含义,明确提出:可将基准面看作为一个势能面,它反映了地球表面与力求其平衡的地表过程间的不平衡程度^[6]。要达到平衡,地表则需要不断地通过沉积或侵蚀作用改变其形态,并向靠近基准面的方向运动。因此,这个面描述了迫使地表上下移动到某一个位置的能,在这个位置上,地形梯度、沉积物供应和可容纳空间是平衡的。控制基准面的地质过程变量,如沉积地形、海平面升降、盆地沉降、沉积物补给、沉积负荷补偿等速率的变化导致基准面的变化,因此,基准面处于不断的运动中。当基准面位于地表之上并相对于地表进一步上升时,可容纳空间增大,沉积物在该可容纳空间内堆积的潜在速度增加,但沉积物堆积的实际速度还受控于搬运沉积物质的地质过程(图 1)^[19, 20]。

2 基准面旋回及其岩石地层单元记录

Barrell (1917) 认为,地层序列记录了基准面向上或向下穿越地球表面的周期性活动。在他的论述中强调了在基准面波动期间,沉积物堆积产生了在时间上地层记录的自然划分,而这种划分正好代表了在多个时间刻度内的基准面下降、基准面上升。Graham (1924) 等也有类似的论述。虽然在每个基准面旋回中,基准面不一定总是要穿过地表^[6],但其理论的提出,对后来的沉积学研究起到深远的影响。Wheeler (1964) 研究认为:岩石界面上的内在平衡剖面边界总是位于基准面处并总是和该界面与复杂的基准面之间的交叉点一致。由于沉积-侵蚀模式的不断转换,交叉点也随之迁移,因此在任意给定的相关点处,导致了基准面穿过岩石界面的向上或向下的转换。当沉积表面扩张时基准面转换向上,而当侵蚀表面扩张时基准面转换则向下。因此他提出了基准面穿越旋回(base level transit cycle)概念。其主要原理是:若在一个给定位置的侵蚀环境内,供应-能量的比率增加到足以导致发生沉积,使得基准面向上穿过开始沉积时刻所对应位置的岩石界面,由此导致了一个新周期的开始或沉积。这一旋回期持续到供应-能量比率下降到足以终止沉积作用并导致侵蚀作用发生,而在该时刻基准面穿过界面向下转换,并由此开始了第二个或间断的旋回期。

Cross 在吸收了前人的观点后,提出基准面旋回(base level cycle)^[9]。他认为,基准面在变化中总是具有向其幅度最大或最小值呈单向移动的趋势,构成一个完整的上升与下降的旋回。基准面的上升与下降过程称为一个基准面旋回。一个基准面旋回是

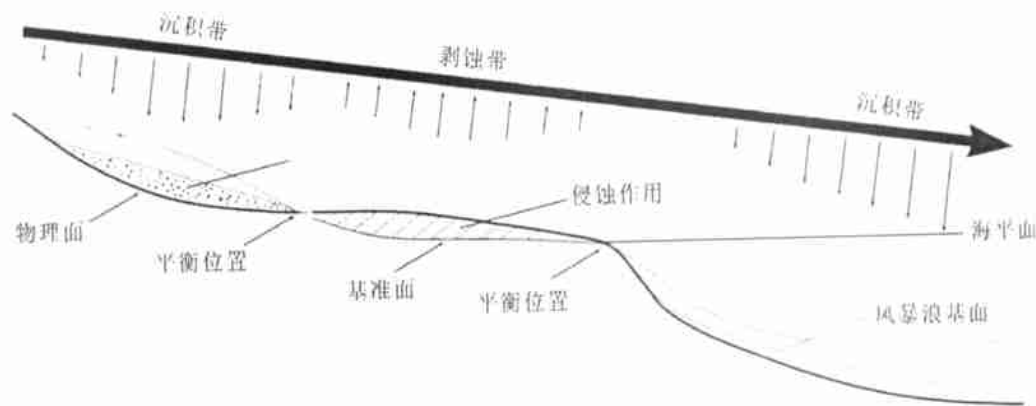


图 1 基准面旋回与可容空间的关系(据 T. A. Cross 1994, 有修改)

Fig. 1 Relationship between base level cycles and accommodation spaces (modified from Cross, 1994)

等时的, 在一个基准面旋回变化过程中(也可理解为时间域)保存下来的岩石记录即为一个成因地层单元, 即成因层序, 因其以时间界面为界, 故而为一个时间地层单元。

3 基准面旋回的级次及其机制分析

在基准面旋回变化过程中, 由于可容空间与沉积物补给通量比值(A/S)的变化, 相同沉积体系域或相域中发生沉积物的体积分配作用, 导致沉积物的保存程度、地层堆积样式、相序、相类型及岩石结构发生变化, 这些变化是其在基准面旋回中所处的位置和可容纳空间的函数^[6]。

地史上的基准面是处在不断运动中的, 按地质年代尺度, 基准面升降旋回是作为对可容空间的制约变量和沉积通量影响因素(地形梯度、气候、迁移物质的岩性和组构、水动力机制)的响应而在整个盆地范围内同时发生的^[6, 19]。

基准面旋回的变化对地层旋回及其叠置形式的机制主要体现为体积配分和相分异原理^[6, 19]。沉积物体积配分(volumetric partitioning)是指沉积层序内沉积物被划分为不同相域的过程, 它是由基准面变化造成不同形态叠加型式的可容空间的时空变化的产物。在一个基准面旋回中(长期), 最大可容空间的位置不断发生地理迁移, 使得沉积物堆积样式、厚度和分布范围产生有序变化。图2说明了伴随着有效可容空间的地理迁移(图2A), 海岸平原-三角洲沉积体系的体积配分和沉积物堆积样式的变化(图2B)。在基准面旋回下降期间, 最大可容空间位置向盆地迁移, 而靠近河流和岸上平原地区的可容空间减小, 因而堆积在海盆内部的沉积物体积逐渐增大, 向盆地方向阶进(SS); 随着地层基准面的开始上升, 最大可容空间的位置也开始向陆地方向摆动, 产生垂向加积(VS)地层; 在基准面旋回上升阶段, 最大可容空间的位置向陆地迁移, 堆积在陆地相域的沉积物体积逐渐增大, 向陆阶进(LS); 随后的垂向加积(VS)地层则出现在基准面上升末期和下降的早期。因此, 由不同形态的可容空间在地理和时间上的叠加, 就可造成纵横向叠置有序的地层序列。而这一点正是层序地层学所强调的地层的自然关系。在地层基准面的旋回性变化过程中, 伴随着可容空间形态的变化和沉积物的体积配分, 保存在相同沉积环境中的相序、相组合和相类型也有显

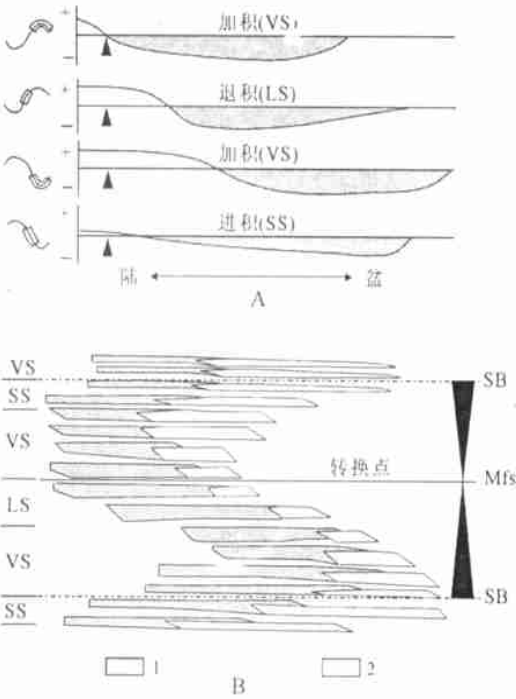


图2 有效可容空间的地理迁移与沉积物堆积样式的变化(据 T. A. Cross, 1994)

1. 海岸平原; 2. 三角洲

Fig. 2 Palaeogeographic shift of valid accommodation spaces and variations in the stacking patterns of sediments (after Cross, 1994)

1= coastal plain; 2= delta

著区别, 这一过程称为相分异(facies differentiation)。在等时地层单元内, 由不同相域沉积物体积的差异配分所造成的结果是储层的三维分布及其连续性发生变化和转移。

可容空间增加的长期趋势以及搬运就导致了作为地层和地理位置双重功能的可比较的相域内旋回对称性的变化。在向海进积(阶进)的层序内, 在所有的相域内, 旋回逐渐变得更加不对称了(基准面上升或下降)。在海岸平原相域内, 基准面上升与岩石所保存的下降时间的比率是逐渐增加的, 并且基准面下降的时间越来越多地由不整合界面所记录。在浅海相域内, 基准面下降与岩石所保存的上升时间的比率也是逐渐增加的。基准面上升时间逐渐由一个饥饿性无沉积的海相界面所代表。

在向陆退积(阶进)的成因层序内(长期基准面上升), 在海岸平原相域内旋回逐渐变得越加对称。向海一方, 所有的相域在垂向序列中都是混合的, 一个逐渐变厚的海岸平原的基准面上升层及陆架相域

聚集在浅海相域的基准面下降的沉积物之上。在海岸平原相域内,基准面下降与岩石所保存的上升时间之间的比率逐渐增加,而基准面下降几乎未被不整合界面所保存。在一个连续的地理位置,更多的基准面上升时间渐渐是由浅海相域内无沉积作用的海相界面所保存^[6]。

4 基准面旋回中可容空间概念的讨论

随着相对海(湖)平面的变化可容空间会增加或减少一直为人们所普遍接受。这是假设海平面限定了潜在沉积物堆积的空间。然而,海平面并不一定与地下可容空间的顶界一致,尤其是在以海侵作用为主时^[21]。通常,沉积物几乎不会沉积在浪基面之上,因此,海平面与浪基面之间的空间不应包括在可容空间之内。平静期与风暴期浪基面的深度是控制可容空间垂向尺度的物理因素。潮流和底流也可能对可容空间产生影响。但是据 Jervey (1988)对可容空间的原始定义^[15],还有一个额外的而且可能是更为重要的因素,即沉积物的获得或者所获得的沉积物的量。

陆相地层可容空间被解释为在老的河流平衡剖面和新、更高的剖面之间可供沉积物充填的空间^[16]。在层序地层学中,平衡剖面(地貌基准面)的概念一直被赋予了其重要性^[16, 22]。

为确定陆相地层可容空间的垂向范围,必须要求:(1)证实在所研究的河流体系内能够实现一种递变状态;(2)找到老平衡剖面或最新剖面;(3)并能预测新的或未来的平衡剖面。然而满足这些要求本身就很难^[21]。

从现存地貌及地层记录中确定平衡剖面显然还存在许多的困难。任何新、老剖面之间的垂向间距似乎是不确定的和不可测定的。因此,陆相可容空间,无论是现代的或是古代的,只要其与“递变河流”的概念相关,就不能作定量化分析,而只能作出某些推测^[21]。

最初由 Wheeler 系统阐述^[3, 4, 18]随后又经 Cross 发展^[6]的“地层基准面”的概念,是基准面研究的另一学派。地层基准面是“描述地层体系可能会向沉积作用、沉积物的地层保存及沉积过路和侵蚀作用运动的方向的平衡面”^[23]。可容空间通过运用地层基准面的概念,常常涉及层序地层学的研究,而未涉及递变剖面。在这一应用中,陆相可容空间是指在

不同时代的一系列沉积表面之间形成的空间,并且最为常见的是受变化的沉降作用、构造抬升作用或海平面变化所控制。尽管这种空间也遇到了不确定的横向展布问题,其纵向展布必定是可以确定和可测定的^[21],即通过被保存的沉积物的厚度而确定。其水上可容空间仅能从地层记录中被识别出(即只有在沉积事件后经历一段相当长的时间间隔),因此既不代表某种潜在物,亦不可能在现代沉积环境中将其预测出。然而如果总是根据沉积结果来考虑水上可容空间,则地层基准面可能会提供关于水上可容空间的有用信息。显然水上可容空间的后一种用法同 Cross(1988)对于可容空间的定义实质上是一致的。

可以不做任何修改而将地层基准面的概念引用至地下环境中。显然地下环境中的地层基准面并不一定与海平面一致,这是因为曾经堆积在盆地基底上的沉积物要受到海洋侵蚀作用(如波浪、潮汐、底流)的影响,不管是准永恒性的还是幕式的。在地下环境中控制地层基准面的主要因素包括沉积物的供给及堆积的沉积物的临界坡度。

因此在对可容空间修正后,认为可容空间应被视为一个客观的结果而不是某种潜在物。然而,用来描述对应于不同时间间隔和不同数量的沉积物的可容空间最大可能的大小(在某一确定位置和时间)时,“潜在可容空间”可能是一个有用的概念。如果在一段连续的时间间隔内有足够多的沉积物供给,或者持续的时间间隔足够长,则海平面之下的任何可容空间都可能被与海岸进积有关的沉积物所充填。因此,从后一种意义上讲,潜在地下可容空间就等同于在某一给定位置和时间的水柱的总高度。因此,对于一系列给定的观测时间和位置,可给出一个简单的数学关系:

$$A_p = A + W \quad (1)$$

$$A = A_p - W \quad (2)$$

A 为可容空间, A_p 为潜在可容空间, W 为未用空间或残留水体的水柱高度^[6, 21]。若考虑一段极短的时间间隔(即 $\Delta T \approx 0$),或如果在考虑的时间间隔内获得的沉积物数量为最小, A 将接近于 0; 故, $A_p \approx W$ 。因此,潜在可容空间显然并不与沉积作用密切相关,而可容空间则反之。相对海平面的升降速率实质上可以等同于潜在可容空间的生成速率,但并不等同于可容空间的生成速率。在水上环境中

则几乎无法定义潜在可容空间。

5 基准面的控制因素分析

前人的许多关于地层和地貌基准面变化、河流体系的坡度变化及河流对基准面变化的相应变化的结论^[23]较多,但似乎也过于简单。在对美国干旱的西南部几个地区的现代河流沉积物考察的基础上, Leopold 和 Bull(1979)指出:“……加积或剥蚀作用并不一定要有适当的坡度变化”^[24]。与此相似, Saucier(1991)认为密西西比河仅对在其 Natchez 面之下延伸的相对海平面的变化有反应,在此面之上,加积和剥蚀作用的形成则较少受相对海平面变化的控制而更多受气候、沉积物供给和向外运移的影响^[25]。Blum(1992)观察了得克萨斯州科罗拉达河上游,得出冲积、剥蚀和沉积的主要时期都与气候变化有关,而与相对海平面的变化关系甚微^[26]。这些结论与 Koss 等人(1990)报道的实验结果^[27]一致,他们认为基准面的变化对水系上游作用甚弱。

从以上方面来研究地层基准面就能够更好地理解河流环境均衡面的变化。在较低的海(湖)岸平原,对于河流体系,相对海(湖)平面的变化(海、湖)和构造沉降共同作用是控制地层基准面的最主要因素。进一步向内陆,在对地层基准面的控制下,相对海平面变化的影响则被削弱,而气候和源区抬升的影响因素则变为重要^[17]。沉积物供给、河流载荷量或盆地内构造活动的不同同样也可能是河流平衡剖面的重新调整和可容空间的建立和破坏的重要因素^[23]。在一条河道里形成河床和河岸的沉积物的固结度是决定基准面下降可波及河流上游远近的重要因素^[28,29]。Martinsen 等(1999)通过对怀俄明前陆盆地西南部的研究发现, Rock Springs 隆起拉拉米构造抬升(Laramide tectonic uplift)对地层基准面具有明显的影响,进而导致 A/S 比值的变化,控制了盆地-河流体系的地层叠置模式、层序边界的类型^[7]。如拉拉米构造抬升导致 A/S 比率减小,形成了 Canyon Creek 组底部削截 Rusty 组的区域不整合面。基准面变化对河流体系的影响包括变化速率、变化大小、变化方向、河流特征、动力学机制和物源区的侵蚀等。而基准面可通过河道类型、宽度、深度和粗糙度等来调整。在一条河道里形成河床和河岸的沉积物的固结度是决定基准面下降可波及河流上游远近的重要因素^[28]。Gupta(1999)通过对河流体

系的观察认为,物源区(古泄水体系、古地貌及其古构造的特征)对下游的基准面的影响控制了下游沉积(海岸平原)^[30]。Weissmann 和 Fogg(2000)在对 Fresno 东南部 Kings 河冲积扇研究后发现,冲积扇的地层沉积旋回多于海相的地层旋回^[13]。因此冲积扇识别的不整合面不能直接与海相地层的不整合面进行对比。控制冲积扇的可容空间大小控制河流均衡剖面,而控制沉积物载荷、河流泄水量以及基底剖面位置因素的主要是更新世冰期旋回。Weissmann 等的研究表明,冰期作用也可导致基准面发生变化。

因此,基准面的控制因素随着其所处的地理位置不同而不同,如在内陆和海(湖)环境。同时构造、气候以及地貌也可作为基准面永恒的控制因素。但是关于基准面的控制因素,人们研究得还不够深入,存在的许多问题亟需后来研究来解决。

6 基准面概念在风成体系中的应用

目前对于风成体系,国内外的研究还比较薄弱。在风成体系中,大量沉积物的保存与同地下潜水面相联系的广泛风蚀面有关。这些区域性广泛分布的风蚀面,被定义为“斯托克斯面”^[31],控制沉积物保存的平衡面与剥蚀作用、地下水面的标高相比,可以认为是风成沉积体系内的一种地层基准面。层序地层概念对风成地层应用的详细研究仅限于与湖泊和风成地层中。而风成和海相的交互地层在全新世^[32]和老地层^[23]中都已经证实,这可能是海相沉积体系与同时期的风成地层相关联。因为潜水面控制了风成背景体系的可容沉积空间并可能与这些层系的相对海平面有联系,所以对这些地层的研究可以提供层序地层概念可能运用的见解。有关对风成地层沉积层序的研究在国内外还为数不多。Havholm 等(1991)通过对科罗拉多高原的中侏罗统页状砂岩的研究认为,风成体系受沉积物供给、潜水面变化、沉降作用和气候变化影响^[33]。同时他们认为具有大量的平行斜交型交错层理的薄层砂岩的叠加在指示“湿”风成体系上,反映了沉积物供给较少,并与海平面上升到高位时期的水面波动有关。这些观察表明,与那些海相和某些河流沉积中可识别的相似的体系域,在某些风成地层系列中也可识别出来。Frederiksen 等(1998)通过对二叠系 Rodick Beds 古沙漠研究也得到了类似结论^[34],其研究验证

了在风成体系、河流和湖泊互层中可能存在受地球轨道变化控制的旋回性。740m 厚的沙漠沉积序列形成了一个层序,并可划分为 3 个成因单元。基准面下降(潜水面)形成的风蚀面是最基本的层序界面。

参考文献:

- [1] BARRELL J. Rhythms and the measurement of geologic time [J]. Geological Society of American Bulletin, 1917, 28: 745—904.
- [2] SLOSS L L. Sequences in the Cratonic Interior of North America [J]. Geological Society of American Bulletin, 1963, 74(2): 93—114.
- [3] WHEELER H E. Baselevel, lithostratigraphic surface and time stratigraphy [J]. Geological Society of American Bulletin, 1964, 75: 599—610.
- [4] WHEELER H E. Baselevel, transit cycle [A]. D. F. Merriam. Symposium on cyclic sedimentation [C]. Kansas: Kansas Geological Survey Bulletin, 1964, 169: 623—630.
- [5] VAIL P R, MITCHUM R M, THOMPSON S. Seismic stratigraphy and global changes of sea level [A]. Global cycles of relative changes of sea level (4) [C]. Tulsa: United States: American Association of Petroleum Geologists, 1977, 26: 99—116.
- [6] CROSS T A, LESSENCE M A et al. Sediment volume partitioning: rationale for stratigraphic model evaluation and high resolution stratigraphic correlation [A]. Sequence Stratigraphy Concepts and Applications [M]. United States: NPE Special Publication, 1998, 8: 171—195.
- [7] MARTINSEN O J, RYSETH A et al. Stratigraphic base level and fluvial architecture: ERICSON sandstone [J]. Sedimentology, 1999, 46(2): 235—259.
- [8] DAVIS, W M. Base-level, grade and peneplain [J]. Journal of Geology, 1902, 10: 77—111.
- [9] BATES R L and JACKSON J A. Glossary of Geology [Z]. Alexandria, Virginia: American Geological Institute, 1987, 788.
- [10] SXHUM M S A. River response to baselevel change: implications for sequence stratigraphy [J]. Journal of Geology, 1993, 101(2): 279—294.
- [11] POSAMENTIER H W, JAMES D P. An overview of sequence stratigraphic concepts: uses and abuse [A]. Sequence stratigraphy and facies associations [C]. Plano, TX, United States: Int. Assoc Sedimentol. Spec. Publ, 1993, 18: 3—18.
- [12] DALRYMPLE M, PROSSER J et al. A dynamic systems approach to the regional controls on deposition and architecture of alluvial sequences illustrated in the Staffjord Formation (United Kingdom, Northern North Sea) [A]. Relative Role of Eustasy, Climate, and Tectonism in Continental Rocks [M]. Denver, United States: SEPM Special Publication, 1994, 59: 65—81.
- [13] WEISSEANN G S et al. Correlation of sequence boundaries between continental and marine strata [J]. ANNU AAPG-SEPM CONV, 2000, 4: 16—19.
- [14] MARTINSEN J H. Concept of the graded river [J]. Geological Society of American Bulletin, 1948, 59: 463—512.
- [15] JERVEY M T. Quantitative geological modeling of siliciclastic rock sequences and their seismic expression [M]. Tulsa, OK, United States: SEPM Special Publication, 1988, 47—69.
- [16] POSAMENTIER H W and VAIL P R. Eustatic controls on clastic deposition II—sequence and systems tract models [M]. Houston, TX, United States: SEPM Special Publication, 1988, 42: 125—154.
- [17] POSAMENTIER H W, JERVEY M T et al. Eustatic controls on clastic deposition I—Conceptual frameworks. Sea-level changes: an interpreted approach [C]. Houston, TX, United States: Spec. Publ. Soc. Econ. Paleont. Miner. 1988, 42, 104—114.
- [18] WHEELER H E. Baselevel, lithosphere surface, and time-stratigraphy [J]. Geological Society of American Bulletin, 1964, 75: 599—610.
- [19] 邓宏文. 美国层序地层研究中的新学派—高分辨率层序地层学 [J]. 石油与天然气地质, 1995, 16(2): 90—97.
- [20] 邓宏文等. 沉积物体积分配原理——高分辨率层序地层的理论基础 [J]. 地学前缘, 2000, 7(4): 305—313.
- [21] MRTO T, STEEL R J. The accommodation concept in sequence stratigraphy: some dimensional problems and possible redefinition [J]. Sedimentary Geology, 2000, 130(1—2): 1—10.
- [22] THOME J A, SWIFT D J P. Sedimentation on continental margins II: application of the regime concept [M]. Plano, TX, United States: Int. Assoc. Sedimentol. Spec. Publ., 1991, 14, 33—58.
- [23] SHANLEY K W, MCCABE P J. Perspectives on the sequence stratigraphy of continental strata [J]. AAPG Bulletin, 1994, 78(4): 544—568.
- [24] LEOPOLD L B, BULL W B. Base level, aggradation and grade [J]. Proceedings of the American Philosophical Society, 1979, 123: 168—202.
- [25] SAUCIER R T, SNEAD J L. Quaternary geology of the Lower Mississippi Valley [A]. Quaternary nonglacial geology: Continental U. S. [C]. Boulder, CO, United States: Geol. Soc. Am., 1991, 210—225.
- [26] BLUM M D. Modern depositional environment and recent alluvial history of the lower Colorado River, Gulf coastal plain [M]. Austin, Texas: University of Texas, 1992, 304.
- [27] KOSS F E et al. Effects of base level change on coastal plain and shelf systems: an experimental approach (abs) [J]. AAPG Bulletin, 1990, 74(5): 697.
- [28] SCHUMM S A. River response to baselevel change: implications for sequence stratigraphy [J]. Journal of Geology, 1993, 101(2): 279—294.
- [29] HOLBROOK J, SCHUMM S A. Geomorphic and sedimentary response of river to tectonic deformation: a brief review and

critique of a tool for recognizing subtle epeirogenic deformation in modern and ancient settings [A]. Tectonics of Continental Interiors [C]. Cupe Girardeau, MO, United States; Geologic Society American Penrose Config 1999, 305(1—3): 287—306.

[30] GUPTA S. Controls on sedimentation in distal margin palaeovalleys in the Early Tertiary Alpine foreland basin, south-eastern France [J]. Sedimentology, 1999, 46(2): 357—384.

[31] FRYBERGERS G et al. Stokes surface and the effects of near-surface groundwater-table on aeolian deposition [J]. Sedimentology, 1988 35(1): 21—41.

[32] FRYBERGERS G et al. Tidally flooded back-barrier dune field, Guerrero Negro area, Baja California, Mexico [J]. Sedimentology, 1990, 37: (1)23—43.

[33] HAVHOLM K C et al. Controls on eolian facies architecture, Middle Jurassic Page Sandstone, Colorado Plateau [J]. AAPG Bulletin, 1991, 75(3): 591.

[34] FREDERIKSEN K S, CLEMMENSEN L B et al. Sequential architecture and cyclicity in Permian desert deposits, Brodick Beds, Arran, Scotland [J]. Journal of the Geology Society, 1998, 155(4): 677—683.

Stratigraphic base level: An overview

LIU Hao, WANG Ying-min, WANG Yuan

(1. University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: The term base level was presented for the first time by Barrell in 1917, and afterwards evolved into two aspects: geomorphological base level and stratigraphic base level. A periodicity of base level fluctuations may lead to the generation of a base level cycle, which is composed of distinctive petrological units. In other words, various hierarchial architectures of base level cycles formed during geologic times are responsible for the records of lithostratigraphic units. The hierarchial architectures may also depend on the sizes of accommodation spaces and stacking patterns of sediments. Future study should be placed upon the controls on base level including palaeogeographic position, tectonics, climates and geomorphology.

Key words: base level; sequence stratigraphy; continental facies

低喜马拉雅 Chakrata 组中元古界典型沉积岩的地球化学特征

为评价喜马拉雅前寒武纪上部陆壳的化学变化,位于 Uttar Pradesh 低喜马拉雅西北部的 Chakrata 组是最老并保存最好的中元古代典型沉积岩(泥质岩/页岩和石英质岩),已被分析其主要元素和系列微量元素,包括稀有地球元素(REE)。当与后 Archean 页岩(如北美页岩成分)比较,Chakrata 泥质岩具有高 SiO₂、Al₂O₃、K₂O、Rb、Ba 含量和低 CaO、Fe₂O₃t、TiO₂、Sr、Sc、Ni、Cr 含量。泥质岩中,REE 丰度高(可达 296 10⁻⁶),并显示 LREE 浓、HREE 衰的模式(La_N/Yb_N=7.9~11.1)。强烈的负 Eu 异常在 Chakrata 泥质岩中明显(Eu/Eu* = 0.46~0.58)。Chakrata 组石英质岩有高的硅含量和低的微量元素丰度,与 Phanerozoic 砂岩相比。这些岩石改造价值的化学指数为 70~76,表明源区剧烈的风化条件。Chakrata 组大多数泥质岩在 A-CN-K 图表中落入 A-K 线附近,也说明了剧烈的化学风化条件。来源处主要元素和微量元素丰度和化学比率的鉴定(如高 SiO₂/Al₂O₃、K₂O/Na₂O、La/Sc、Th/Sc、La/Yb 和低 Eu/Eu*, Cr/Zr)说明了,这些泥质岩的源岩实际上明显是霏细岩。古流向分析揭示了,Chakrata 泥质岩可能已经从南面(如印度半岛)的花岗质岩而派生。地球化学的相似性很像来自于作为 Chakrata 沉积岩的主源岩的 Aravalli 和 Bundelkhand 地区。

摘译自《Journal of Asian Earth Sciences》, 2002, 21(3): 283—293