

。(4701, 味寒對) 煎在木梁干斗主藥公耗由雷斗, 究研甜。志

S. 1 西德瓦虫属核形石 (Ostracod) 与同一地层中其他核形石类群 (S. 2) 的对比关系

碳酸盐台地的地层层序格架及旋回地层级次

3. 派晶基項中尚有原地生長或原地埋藏的每百合。據研究，每百合生長在鹽下陷所

。土此高不本庭丑既幽帶昧對餘

类药、商照牌天中用者皆知已，近研所参梅国精包海黄主自中测基晶张峰石汪彭。

。對不消外下購的厚城如恩至改對卿又，怕关脉时密景用并

发育期习, 学次翻虫, 石炭统麻坡火岩层上, 岩成晶脉火岩分为下, 变脉向燃面陪甜。

下县, 李邦猷。张基伯斗主, 息酢庄下县, 昭德景, 西德伯卿庄下县隋昭景山。

史丹育案败伐理郡。封不水南的 m02—2N 在牙生侧随册。#1

同中井同长的基脚水深约在45—50m间。

浅海碳酸盐沉积作用是以相对较厚的加积和进积沉积产于盆地周边或以在盆地内的孤立台地形式产出,它主要发生于温暖热带地区的清澈海洋水体中。世界范围内相对海平面变化,即总的海平面升降变化、沉积作用和地壳运动在整个地质时期一直是反复地、周期性地出现的,它们在碳酸盐沉积作用上产生了特有的响应(C. G. St. C. 肯德尔, W. 施拉格, 1982)。在碳酸盐台地区,海平面相对上升能产生三种不同的响应:(1)台地被完全淹没,浸没在透光带以下并被硬底或凝缩的深水沉积物覆盖。在我国其典型的例子是发生于扬子地台寒武纪初的对震旦纪碳酸盐台地的淹没事件(叶红专等, 1989)以及其台地生长过程中的几次淹没;(2)台地的边礁和内部斑礁残存下来并与海平面一致,而其余部分被淹没;(3)台地的边和内部的生长速度与海平面一致,而台地平顶面保持在海面之上。

在出露以后对海平面快速相对上升的响应常常经历三个阶段：(1) 起动阶段，碳酸盐堆积速度落后于海平面上升速度，该阶段以台地缓坡为特征；(2) 追上阶段，堆积速度超过海平面上升速度，礁体和台地筑积到海平面。该阶段形成具镶嵌边缘的碳酸盐台地；(3) 维持阶段，堆积速度与海平面上升速度完全保持一致，礁体或台地顶部与海平面保持一致或非常接近海平面。这三个阶段的地层记录，是一个覆盖在硬底或滞后沉积物上的向上变浅序列。

相对海平面下降可同时伴有以下作用：(1)在台地上发育岩溶和土壤；(2)在附近的半封闭盆地中发生潮下蒸发岩沉积作用；(3)在较开阔的海盆地中出现碎屑沉积作用。所有这些沉积作用都是由地壳上升或海平面下降速度高于地壳沉降速度引起的。

当然，海平面相对变化有很多原因。海平面变化出现在沉积环境沉降或上升的地区，而沉积环境的沉降或上升与断裂作用、热体系、盐刺穿或地壳均衡作用有关。在下伏沉积物以不同速度压实的地方也会出现局部性的差异。海平面升降变化有两个公认的原因：一是由冰川引起的；另一个是构造作用使大洋盆地的形状发生变化，因而其体积也发生了变化。其他一些比较少见的原因有：大陨石的冲击，海底火山溢出、封闭大洋盆地的干化或突然泛滥等。

P. R. 维尔等人 (1977) 为显生宙建立的海平面变化图表是几个级次旋回的叠加。但对不同级次海平面变化旋回对碳酸盐沉积作用的相对重要性人们还认识不够。一级和二级旋回的时间和幅度可通过克拉通上地层层序的上超、时代可推定的不整合面以及一个层序与另一个层序的相对侧向位置来确定。一级旋回的时间可以持续一亿年以上, 这比一个碳

酸盐台地的平均生存时间长得多。通常由几十个或几百个布伯诺夫单位(1个布伯诺夫单位=1毫米/1000年)的海平面升降变化造成的二级旋回,特别是三级旋回对碳酸盐沉积作用有强烈的影响。现在许多地质学家认为还存在着比P. R. 维尔等人(1977)提出的第三级旋回更频繁的海平面升降。碳酸盐台地地层学的某些最显著的特征,如淹没事件或高频率的旋回沉积作用,可能与1—10万年的海平面升降有关。也正因为如此,地质学家们对碳酸盐台地的地层层序格架及其与旋回地层级次进行了更加深入而系统的研究,并取得了巨大的进展。

一、碳酸盐台地的层序地层格架

碳酸盐台地的层序地层格架同碎屑沉积的层序地层格架具有相似性,但因其物质来源是内源,并且沉积作用以加积作用为主故又具其独特之处(图1)。碳酸盐生产率、台地和

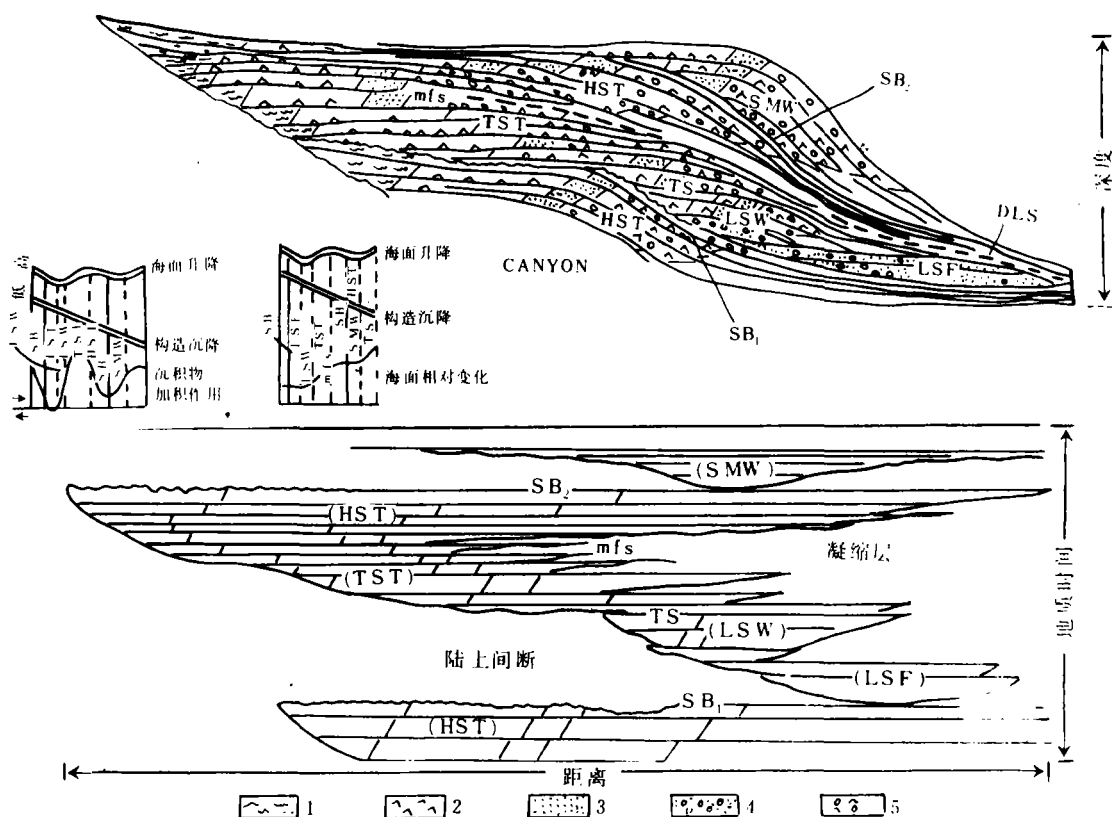


图1 在层序格架中的碳酸盐岩相分布概况

地层形态由相对海平面变化速率控制并且表示为海平面升降曲线的特殊时间间隔内。在I型层序界面的形成时间内相对较陡的台地边缘以及前斜坡均被暴露而接受剥蚀。碎屑片流和异地砂屑沉积在斜坡前端和海底蚀谷中(低水位扇—LSF)。低水位楔(LSW)沙洲和海侵体系域(TST)上超在斜坡和古台地之上。低水位楔(LSW)和陆棚边缘楔(SMW)主要发育在低角度缓斜坡或边缘沙洲上,在该处有利于浅水碳酸盐生产。主要海侵面(TS)把低水位楔及海侵体系域分开。在最大海泛期之后,高水位体系域(HST)发生加积并向盆地进积。最大海泛面(mfs)把高水位体系域和海侵体系域分开。(SB₁-层序界面, SB₁-类型I界面, SB₂-类型II界面; DLS-下超面。1-潮上坪相; 2-台地相; 3-台地边缘礁、滩相; 4-砾岩/砂岩相; 4-前斜坡; 5-斜坡/盆地前端)。(据J. F. SARG, 1988)

台地边缘的生长以及其形成的相分布主要由叠加在长周期海平面变化的短周期海面升降变化所控制(如相对海平面变化)。与海平面高水位阶段相关的碳酸盐台地则以加积到进积的几何特点为特征(图1),其下为海侵系列之顶上为层序界面。高水位台地可以分为不同的两种类型:追上型(catch up type)及维持型(keep up type)。维持型高水位碳酸盐台地由与相对海平面上升期保持同步的相对快速加积作用形成。维持型碳酸盐台地以其台地边缘富颗粒乏灰泥、不存在水下胶结作用为特征,其地层形态显丘状穹窿及向盆地倾斜。追上型高水位碳酸盐台地由相对较慢的加积作用形成,其边缘以富泥晶的准层序和广泛分布的水下胶结作用为特征。追上型碳酸盐台地其边缘显肠状或弯曲状堆积形态。

类型Ⅰ界面乃因海平面下降速率大于台地边缘沉降速率所形成,由此造成两种作用:(1)局部至区域性的斜坡前部暴露于水面而接受剥蚀作用;(2)陆架暴露于水面并且大气成因的透镜体层(meteoric lens)向海迁移。在大范围的类型Ⅰ界面上,海平面可以下降75—100m或更多,而且延续较长时间。当这种情况发生时,大气成因的透镜层将在陆架上存在较长时间而且其影响将扩展至地下。假如具足够的降雨量,并且具有不稳定矿物颗粒的渗透性较好的地段,在下伏高水位碳酸盐台地离地面较浅的部分将产生具有重大意义的溶解作用。潜水胶结物的沉淀作用形成较深并且向下渗透。在小范围的类型Ⅰ层序界面上,海平面下降幅度小于100m并且经历时间较短,大气成因的透镜层分布不广。它保留在陆架的较浅位置并且造成较轻微的溶解作用。不管是大范围的还是小范围的类型Ⅰ界面形成时期,一致包括高水位期后期,混合白云石化作用及高盐度白云石作用将是重要的沉积作用。在类型Ⅱ界面上,因其海平面下降速率小于台地边缘沉降速率,故台地内部的环潮坪及较浅地区才能暴露于水面。大气作用的影响只存在于台地内部。

在海平面低水位期,可以识别出三种类型的沉积:(1)来自于斜坡的剥蚀作用形成的异地沉积物(如碎屑片状流及异地砂屑碳酸盐砂);(2)海平面低水位期的类型Ⅰ界面形成时产生的斜坡上部的自生楔状沉积;(3)类型Ⅱ界面形成时产生的台地边缘楔状沉积。另外,假如气候适宜并且水文条件适当(如海水蒸发量大于注入量,盆地处于局限状态),不论是类型Ⅰ还是类型Ⅱ界面上均可形成低水位蒸发楔沉积。在低水位蒸发期,将在下伏的高水位碳酸盐台地上产生高盐度白云石化作用、蒸发交代作用和溶解作用。硅质碎屑沉积也将在上倾物源地形发育较好的地区产生。

根据斜坡的地层堆积形态和盆地位置(如盆地边缘周边、盆地内部的不稳定状态),碳酸盐台地边缘可以归为三类:区域台地边缘缓坡,它与盆地呈过渡状态而相连,斜坡坡度小于5°;区域进积型台地边缘及盆地边缘,前斜坡坡度为5—35°;离岩孤立台地(见图2)。一个碳酸盐台地由浅到深可以分为潮上坪及潮间坪、浅海陆架、台地边缘、盆地底几个相带。

浅海碳酸盐沉积的地层学几何特征是海平面变化、构造沉降、沉积物生产和堆积速率、气候、先成沉积地形以及压缩效应等的综合作用结果。在这些变化中,控制碳酸盐台地沉积作用的主要因素是海平面变化和构造沉降。被动大陆边缘和克拉通盆地的长周期沉降速率一般为1—25cm/Ka,由于它较慢以至碳酸盐的生产速率常超过这种沉降速率。海平面变化以高频率(10^4 — 10^5 年)及快速(10m/ka)来回变化,以至它能超过碳酸盐生产速率。其结果是构成旋回堆积作用,这种旋回的垂直重叠方式就由一个非沉积作用的小间断所覆盖。海平面变化具有不同的频率,根据每一种持续期可以分为不同的变化级次。不管是冰川成

因的(水体积变化)还是构造成因的(海洋盆地形态及体积的变化)海平面变化均可以反映不同的驱动机制。这些不同级次的海平面变化叠加在一起形成一种复杂的海平面振荡变化系列。而这种复杂的海平面变化系列将形成不同级别的地层层序。近年来许多地质学家,如 Sarg (1988), Anderson (1984), Goodwin (1986), Goldhammer (1987), Cotter (1988) 等重新系统地认识了 Sander (1936, 1951) 所提出的由其学生 Walter Schwarzacher (1975) 进一步综合而形成的 Sander 准则:“空间上存在(指地层厚度)的旋回性表明了时间上的旋回性,但地层记录的旋回性的缺乏并不表明时间上也不存在旋回性”的重要意义。不同级次的海平面振荡变化,即低频率(二级、三级旋回)与高频率海平面变化旋回(四级、五级乃至更低级)的相互叠置及其共同作用的结果,在碳酸盐台地中也就形成不同级别的地层层序(图 1 所示的层序为三级旋回海面变化作用的结果)。

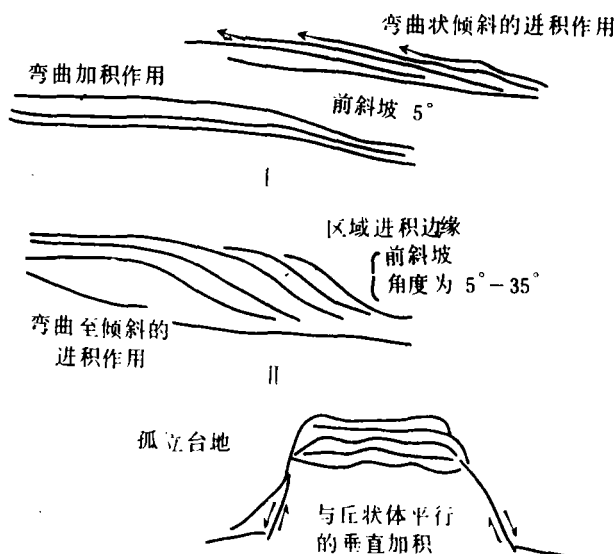


图 2 不同类型的碳酸盐沉积剖面形态概貌

I-区域台地及缓坡(前斜坡坡度小于 5°),它表现为弯曲和倾斜的进积作用; II-区域进积型边缘(前斜坡角度为 $5^{\circ}-35^{\circ}$); III-孤立台地,它表现了具较陡边缘的垂直加积作用(据 J. F. SARG, 1988)

二、碳酸盐台地旋回地层级次及其与相应的层序地层格架之关系

不但碳酸盐台地内部存在有叠加于低频率海平面变化(二级及三级旋回)的高频率海平面变化以及由此而形成的复杂而系统、具不同级别的地层垂直叠加形态,而且就是碳酸盐台地产生本身与碎屑岩体系所构成的碎屑岩-碳酸盐岩巨旋回的形成也主要受海水进退规程、气候、碎屑物供应量等因素的影响,其中海水进退起控制作用(王尚彦, 1990)。并且这种巨旋回的主要控制因素——海水进退主要与地表气候冷暖、地球体积的收缩、地球自转速度的变化有关;而这些变化与太阳系绕银河系中心运动时引力函数的变化有关(王尚彦, 1990)。

当然,对碎屑岩-碳酸盐巨旋回的成因机制运用地外成因来加以解释还有待探索和证实,但这给人们提出了另一种研究与思考的途径。并且这种巨旋回地层序列在地质历史时期中屡见不鲜,它大致可以包括以下两类:

第一类是发育在海洋淹没事件形成的以凝缩系列为特征并由其形成的碎屑岩体系与高水位期的碳酸盐台地共同构成碎屑岩-碳酸盐岩巨旋回。该类旋回系列由凝缩系列—浅海陆架碎屑沉积体系—碳酸盐台地沉积体系的垂直叠加形态为特征,如中国扬子地台寒武系的碳酸盐台地(蒲心纯、叶红专, 1990)即属该类旋回系列的碳酸盐台地;该类型旋回系列

还包括直接发育在凝缩系列之上的碳酸盐台地,如中国南方三叠纪碳酸盐台地就发育在二叠纪大隆层以及三叠系底部页岩构成的凝缩系列之上。

第二类是发育在其沉积基底经过长期剥蚀作用而在海侵初期形成的碎屑沉积体系之上的碳酸盐台地,并由此构成碎屑岩-碳酸盐岩巨旋回。这类巨旋回系列可以由其下部碎屑岩沉积体系的不同特征而进一步分类。如华北地台寒武至奥陶纪地层就是由潟湖-潮坪碎屑沉积体系(辛集组至徐庄组下部)及其上的碳酸盐台地组成的一个巨旋回系列,扬子区二叠纪长兴组碳酸盐台地与其下伏龙潭组河流-三角洲-潮坪碎屑沉积为主的沉积体系所构成的巨旋回系列也属此类。这种巨旋回系列可能属 Miall (1984) 所划分的三级旋回或更高级旋回(下文将述)的产物。

(一) 沉积旋回与旋回地层的基本概念

沉积旋回很早就被地质学家认识而广泛应用。它是指有关的沉积作用及条件按相同的次序不断重复而组成的一个层序。其成因主要为海水进退,故又分为海侵旋回与海退旋回,主要受地壳的周期性振荡运动引起的。

早在 1895 年 G. K. Gilbert 就提出一定的韵律层理型式记录了敏感的相对地球轨道韵律的反应。由于地质学家大都是研究产物而反推过程以及地层记录的复杂性,至到本世纪 70 年代末许多地质学家都认为该概念牵强附会,并认为轨道循环对气候和沉积物的影响是模糊不清的。自 Vail (1977) 建立层序地层体系以及后来他和其他地质学家,如 Haq (1988) 等,所推出的有关一系列成果,使地质学家们重新认识了 Gilbert (1985) 所提出的问题的意义,并且对 Sander 准则的重新肯定,自 80 年代至今即产生了可实用的旋回地层学。这种旋回的主要起因是海平面变化,造成海平面变化的因素有很多(Fairbridge, 1961; Donovan 和 Jones, 1979; Pitman, 1978; Goldonarmmer, 1990; Anderson 和 Goodwin, 1990 等),主要的可以分为两类:冰期成因的海平面变化及构造成因的海平面变化。而且海平面变化具有不同的周期和级次,由此而形成的旋回地层记录也相应具不同的级别。

(二) 地层旋回级次的划分

Vail 等 (1977) 在研究显生宙全球海平面变化时把地层旋回分为四个级次(表 1),各个级次的成因机制各有异同。其划分为许多地质学家所使用。但该方案未包括形成时间小于 10 万年,其地层记录称为米级异旋回(allocycles)的更低级的旋回地层。

表 1 地层旋回及其成因机制(据 Miall, 1984)

类型 (Vail 等, 1977)	相应的其他术语	时间 (Ma)	成因机制
一级旋回		200—400	主要为泛大陆的形成和分裂所造成的海平面振荡变化
二级旋回	超旋回 (Vail 等, 1977), 层序 (Sloss, 1963), 构造层 (Ramsbottom, 1979)	10—100	由大洋中脊扩张体系所产生的海平面变化
三级旋回	Mesotherm (Ramsbottom, 1979)	1—10	可能由洋脊变化或大陆冰川的生长与消亡产生的海面变化
四级旋回	旋回层 (cyclothem) (Vanless 和 Weller, 1932)	0.2—0.5	可能由大陆冰盖的生长、消亡,或者三角洲的废弃与生长所产生的海面变化

由于碳酸盐台地记录有丰富的海平面变化的产物,从而以后又在 Vail (1977) 等人的地层旋回级次划分的基础上产生了更详细的划分方案。下文将介绍两个可实用的方案。

第一个是中国学者孟祥化等 (1989) 在研究华北地台碳酸盐台地的形成演化中提出的

一个将建造、旋回和层序相结合的分类方案 (表 2)。该方案将全球沉积旋回划分为五个级次和层序类型, 并且认为不同板块构造背景下的旋回层序格架是有区别的, 不能混同.....。

表 2 建造格架的沉积旋回级次分析 (孟祥化, 葛铭, 1989)

级次和类型				产生原因
I	建造系列	超巨层序	第 I 级旋回 ($>10^8$ 年)	地壳运动的主要升降旋回, 与大陆开裂形成有关
II	建造	巨层序	第 II 级旋回 (10^7-10^8 年)	次一级地壳升降旋回, 10—100 百万年, 由于全球大洋中脊扩张作用产生
III	建造的内旋回格	大层序	第 III 级旋回 (10^6-10^7 年)	可能由于洋脊变迁或大陆冰盖的增长与衰减有关
		准层序	第 IV 级旋回 (10^5-10^6 年)	为迅速的升降运动, 产生于大陆冰盖的增长与衰减, 或被三角洲侵蚀
		基本层序	第 V 级旋回 ($<10^5$ 年)	地球轨道变化、古水流、古河道、三角洲水道的变迁、碳酸盐生产率变化周期

第二个分类方案是 T. Brett (1990) 在研究陆表海盆地地层层式中提出来的分类方案 (表 3), 它包括 7 个级次, 这是研究陆表海盆地, 特别是碳酸盐陆表海盆地的层序地层及旋回地层的一个实用方案。

(三) 碳酸盐台地的旋回地层及其相应的层序地层格架

表 3 层序、旋回与相应的岩石地层术语之关系 (据 Carlton E. Brett 等, 1990)

层序地层	旋回级次	相应的岩石地层
大层序 (sloss)	二级旋回 (50—60 百万年)	
全层序	二级旋回 (10—30 百万年)	超群
层序	三级旋回 (2—3 百万年)	群
亚层序	四级旋回 (1.0—1.5 百万年)	组、段
准层序组	五级旋回 (450, 000 年)	段、亚段
准层序	六级旋回 (100, 000 年)	亚段
韵律层	七级旋回 (20, 000 年)	层

根据 Carlton E. Brett 等的划分方案及其研究实例, 考虑到高、低频率海平面变化旋回以及由它们的相互作用所形成的地层系统内部的叠置组构, 在研究碳酸盐台地的旋回地层级次及层序地层格架时应以最基本的岩石成因单元入手, 从高频率振荡旋回 (持续时间小于 10 万年) 所形成的米级旋回地层以及由于低频率海平面变化所控制的这种米级旋回地层的垂直叠加形态来综合归纳出层序、大层序等的高级别层序地层格架。这对建立高分辨率的地层系统及研究碳酸盐台地的形成与演化具有重要意义。

在碳酸盐台地地层体系中, 层序是大范围的, 形成时间相当于三级旋回 (2—3Ma, Brett 等, 1990)。一个层序由以下单元组成: 层序界面、海侵面、最大饥饿面, 下降面。大多数情况下前两个不连续面是并列产出的。大多数层序可由最大饥饿面分成下部和上部: 下部为浅水而形成于海岸线后退期间的向上变深的海侵体系域组成; 上部为较深水的加积到稍进积作用形成的高水位体系域。紧靠最大饥饿面是由贝壳层、自生矿物及陆源泥质物构成的凝缩层为特征。其上部的高水位体系域地层又可由最大海泛面分为早期高水位体系域和晚期高水位体系域, 前者代表海面继续上升, 后者代表海面具下降趋势而以总体变浅序列为特征。

在层序内部, 又可分为准层序、准层序组及亚层序。这些最小的、在大范围内可以追溯、划分的是薄的 (0.2—3m) 向上变浅 (通常是向上变粗或向上变厚) 的旋回地层序列。它们由被解释为海泛面的突变面分开, 这种面以薄的贝壳层、磷质结核、铁鲕等为特征。这

些米级旋回与振荡加积旋回相当。

亚层序处于准层序组和层序之间,它在很多方面同层序相似,只不过范围稍小,其边界的剥蚀程度较小或无剥蚀。每一个亚层序由最大海泛面分为下部浅水的低水位体系域及上部较深水的高水位体系域组成。为了避免混淆,分别用相对低水位(Relative lowstand (RLS))和相对高水位(Relative highstand (RHS))表示。

另外要注意的是碳酸盐台地中不同级次的旋回地层相互叠加,大级别包含小级别(Cycle within cycle),这就是在具体工作时要从米级旋回综合归纳到高级低频率旋回地层的原因。

关于旋回能否进行全球对比或全球一致性问题还存在许多争论。就是相当于 Vail 等人(1977)的三级旋回(表1)的全球同步也受到反对。Miall (1991)在其“地层层序及其年代地层对比”一文中(见《Journal of Sedimentary Petrology》, No. 4, 1991, p497—505)对此进行了深刻论述。他认为 Haq 等人(1988)的全球中、新生代旋回图存在有许多自相矛盾之处,不能作为全球对比标准。我们同意并认为 Miall (1988)的看法是正确的。不管怎样,运用实用的旋回地层学及层序地层学的理论和方法去研究碳酸盐台地地层的叠置形态与几何特征、碳酸盐台地的形成、发展与演化具有重要的意义,这在近年来国内外许多地质学家关于这方面的研究成果中得到了证实。

主要参考文献

- 王尚彦, 1990, 碎屑岩-碳酸盐岩巨旋回及其形成机理, 《岩相古地理》90年第3期。
- 蒲心纯、叶红专, 1990, 中国南方寒武纪岩相古地理格局, 《岩相古地理文集》(6), P1—17。
- 叶红专、蒲心纯, 1990, 黔东湘西寒武纪碳酸盐台地边缘的演化及构造性质讨论, 《岩相古地理文集》(6), P163—179。
- 孟祥化、葛铭, 1990, 稳定陆壳克拉通盆地的沉积建造(一), 《岩相古地理》90年第4期。
- 张选阳译编, 李文汉校, 1989, 层序地层及海平面变化, 《岩相古地理》89年第1期。
- 陆元法译编, 李文汉审译, 1989, 旋回地层学, 《岩相古地理》89年第1期。
- Aigner, T. et al., 1990. Stratigraphic modelling of epicontinental basin, two applications. *Sedimentary Geology*, Vol. 69, No. 3-4, pp. 167-190.
- Anderson, E. T. and Goodwin, P. W., 1990. The significance of metre-scale allocycles in the quest for a fundamental stratigraphic unit. *Journal of Geological Society*, Vol. 147, pp. 507-518.
- Barnary, R. J. and Read, J. F., 1990. Carbonate ramp to rimmed shelf evolution, Lower to Middle Cambrian continental margin, Virginian Appalachians. *Geological Society of American Bulletin*, Vol. 102, pp. 391-404.
- Brett, C. E., Goodman, W. M. and LoDuca, S. T., 1990. Sequences, cycles, and basin dynamics in the Silurian of the Appalachian Foreland Basin. *Geology Sedimentary*, Vol. 69, No. 3-4, pp. 191-244.
- Bush, R. G. and Rollins, H. B., 1984. Correlation of Carboniferous strata using a hierarchy of transgressive—regressive units. *Geology*, 12, pp. 471-474.
- Cloethine, S. and Kooi, H., 1989, Intraplate stresses, a new perspective on QDS and Valis third-order cycles. In: T. A. Cross (Editor), *Quantitative Dynamic Stratigraphy*, pp. 127-148.
- Goldhammer, P. K., Dunn, P. A. and Hardie, L. A., 1990. Depositional cycles, composite sea-level changes, cyclic stacking patterns, and the hierarchy of stratigraphic forcing, Examples from Alpine Triassic platform carbonates. *Geological Society of American Bulletin*, Vol. 102, pp. 535-562.
- Miall, D., 1991. Stratigraphic sequences and their chronostratigraphic correlation. *Journal of Sedimentary Petrology*, Vol. 61, No. 4, pp. 497-505.
- Van Steenwinkel, M., 1990. Sequence stratigraphy from “spot” outcrops—example a carbonate-dominated setting, Devonian—Carboniferous transition, Dinant synclinorium (Belgium). *Sedimentary Geology*, Vol. 69, No. 3-4, pp. 259-280.