

# 碳酸盐台地边缘或斜坡的类型及沉积模式

张 锦 泉

(成都地质学院沉积矿产研究所)

横切碳酸盐台地可以出现不同的沉积环境和相,其中台地边缘、斜坡或盆地边缘的沉积环境复杂,相的类型多,变化大,而且它们是重要的油气储集岩层和层控矿床的重要控矿相位。另外,盆地边缘或斜坡的沉积相序类型及演化,是沉积盆地分析的重要方面。碳酸盐台地边缘、斜坡或盆地边缘早已引起沉积学者及构造学者的注视,并有不少的论述(Wilson, 1975; Mountjoy 和 James, 1982; Read, 1982, 1985; Cook, 1984; 曾允孚等, 1984)。现将碳酸盐台地边缘或斜坡的类型及沉积模式作一简要论述。

## 一、主要沉积作用

盆地边缘或斜坡,既有浅水碳酸盐沉积,又有较深水碳酸盐沉积。沉积作用主要包括有:(1)与波浪、潮汐、海洋作用有关的浅水生物建隆及滩、灰泥沉积;(2)原地无扰动远洋(pelagic)和半远洋(hemipelagic)沉积物;(3)碳酸盐台地周边沉积物(peri-platform);(4)块状搬运重力流沉积;(5)深水生物建隆。

浅水碳酸盐沉积主要在与生物化学作用有关的碳酸盐迅速堆积带,在台地的边缘常有生物礁、骨屑、鲕粒、核形石滩等高能带的沉积。

远洋沉积物曾被解释为深海沉积。实际上远洋沉积物不一定是深海沉积,它与特定的深度无关。Jenkyns(1978)严格描述了这个词的意义,它意指开阔海洋环境,可以从浅水陆表海和外陆棚,直到深水洋壳地区。远洋沉积作用是指水面浮游生物、生物化学悬浮产物缓慢的沉淀作用。远洋沉积物明显的缺乏陆源碎屑物。组成沉积物的动物和植物是判别它们是否是远洋沉积物的关键。浮游的有孔虫、颗石藻、翼足类、海相的放射虫、硅藻,以及其它的海相浮游和自游生物是判别远洋沉积物的直接标志。在时间上,生物的相对组分不一,因而造成底沉积物有所变化。如晚中生代到新生代是钙质浮游生物为主,特别是浮游有孔虫、颗石藻,所以海底堆积物的 67% 为超微体生物组成;古生代则不同,其浮游生物主要是菊石、鹦鹉螺、光壳竹节石、海

绵骨针、箭石等。还应指出,早古生代的陆表海以碳酸盐台地沉积为主,深水盆地是饥饿盆地,因此远洋相是不标准的。古代远洋沉积的典型岩石类型是灰黑色、黑色泥灰岩、粒泥灰岩,硅质岩及硅质泥岩。典型的洋壳的深水远洋沉积物中夹有蛇绿岩组合或枕状熔岩。识别远洋沉积的其它标志是:(1)沉积速率缓,水平纹层或页片状层理发育,层间有间断,但横向连续或侧向渐变;(2)与沉积间断组合在一起常有复合的硬底层存在;(3)常构成厘米级或米级的韵律层,无大型层理,可有波痕或小型层理存在;(4)具有较深水和浅水的遗迹化石组合,如 *Helminthoida*, *Paleodictyon*, *Zoophycos*, “*Skolithus*”, *Chondrites*, *Thalassionides* 等;(5)半远洋沉积物是远洋沉积物和陆源细粒碎屑的混合沉积,实质上,它是低密度浊流或底流、等深流的沉积为特征。远洋沉积和半远洋沉积主要分布于斜坡相和盆地相中。

台地周边沉积是由 Schlager 和 James(1978)提出的,是与碳酸盐斜坡和盆地边缘沉积相连接的特殊沉积物,由远洋沉积物和来自浅水台地边缘的颗粒、灰泥的混合沉积而成。例如,巴哈马滩背风边缘陡崖底部(水深约 150—350m)发育有很好的宽 1—3km 的台地周边砂相,它是由暴风浪从滩顶刮来的分选很差的浅水泥质生物砂屑与大的倒石堆碎块,以及远洋沉积物掺合而成。

块状搬运重力流沉积或称块状流沉积,是指包含不同水量的沉积物,在重力驱动力作用下呈块状向下搬运。块状流沉积可分为:岩崩、滑移和滑塌,沉积物重力流。岩崩(rockfalls)仅出现在极不稳定的陡崖坡底、峡谷壁或同生断层控制的台地边缘,常呈平行陡崖的狭相带。这里的岩崩是指倒石堆积,单个碎块滚动和自由降落后的堆积,由分选差、大小不一的岩块组成,填隙物以杂基和砂屑为主。

滑移是指沉积物流沿剪切面作整体的相对位移,而滑移体内部没有位移;剪切面是一平行下伏层的平坦的或缓波状起伏的面。而滑塌的剪切面是弯曲的,滑塌体除向下移动外,还向后滚动,滑塌体内部产生相对位移和各种变形构造及截切构造。

沉积物重力流按沉积物—水界面上颗粒支撑机理不同(Middleton 和 Hampton, 1973, 1976)可分为碎屑流、颗粒流、液化流和浊流。而在台地边缘或斜坡环境中碎屑和浊流的沉积是最重要的。

台地边缘或斜坡地形上最大的一个特点是明显的分异。由于有坡度,造成沉积物的不稳定性。再搬运沉积的沉积物重力流,在斜坡、坡底、陆隆的层序中占有很大的比例,可达 40—50%。盆地边缘或斜坡上的重力流沉积与陆隆或盆地中重力流沉积,在频率、规模、结构和几何形态上有明显的不同。在盆地边缘、斜坡或坡底上的重力流沉积,频率高、规模大,有直径大达 10m 以上的大岩块,形成碎屑席、斜坡碎屑裙、坡脚碎屑裙;而盆地内的重力流沉积,常以细粒的浊流沉积为主,出现于向上变薄变细的组构层序中。现代斜坡沉积厚度比邻近的陆棚、陆隆、盆地堆积厚度要小如 Nevada 寒武纪陆棚沉积厚 540m,斜坡沉积厚 130m,海底扇厚 1000—2000m。

在自然界中典型的颗粒流沉积是少见的,Stauffer(1967)原确定古代岩石中有大规模的颗粒流,并提出典型砂岩中颗粒流的沉积构造,以后被 Link(1975)肯定为浊流沉积。Middleton 和 Hampton(1976)和 Lowe(1976)推断砂质稳定的颗粒流,只能出现于接近休止角(18—20°)的斜坡上,颗粒流沉积厚度小于 5cm(因为颗粒流底部的颗粒不能产生足够的分散压力来抵消重力作用)。砾石质的厚(>5cm)、多峰的,分选差的砂—粉砂、泥基质,以及颗粒支撑的逆粒序的砾石层沉积,在相对低斜坡上(9—14°)非常普遍,Lowe(1976)称为变密度颗粒流(density-mod-

ified grain flow),如巴哈马滩陡崖底部(Mullins 和 Kan Buren, 1979)、阿巴拉契亚中部上寒武统到下奥陶统(G. G. Lash, 1984)及滇西施甸泥盆系中都有变密度颗粒流沉积。

与现代深水非造礁建隆对比,古代的深水生物建隆的例子是很少的,在斜坡上可以出现透镜状的生物泥丘。

## 二、台地边缘的地形模式

为了解释台地边缘到斜坡过渡地区相的垂向演变,Playford(1980), James 和 Mountjoy(1983)等根据海平面相对变化、盆地下沉、沉积速率及构造活动等方面,确定了下列的台地边缘地层模式(图 1):

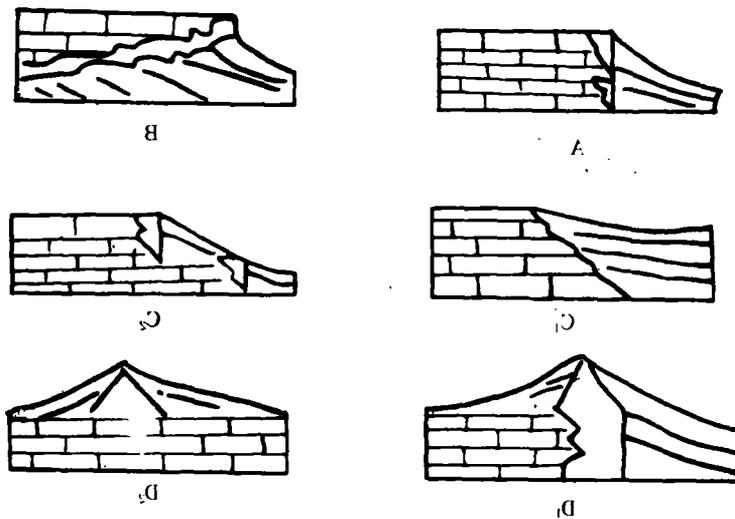


图 1 碳酸盐外陆棚边缘地形演化(据 Playford, 1980)

Fig. 1. Morphologic evolution of carbonate outer-shelf margins(modified from Playford, 1980).

1. 直立或静止式(图 1A):碳酸盐的增长或沉积作用与海平面基本保持一致,即台地边缘的古地理位置基本保持不变。

2. 推进或退覆式(offlap)(图 1B):碳酸盐台地边缘在较深水相上向海推进。这种模式可出现在海平面相对上升,但沉积作用速率比海平面上升更快,和海平面相对下降的两种情况下。垂直向上表现为向上变浅序列。

3. 后退或超覆式(ónlap)图 1C):在相对海平面上升或基底下降,碳酸盐台地边缘逐渐(图 C<sub>1</sub>)或阶梯状(图 C<sub>2</sub>)后退,超覆在浅水碳酸盐相上,形成向上变深的层序。

4. 淹没或尖塔式(图 1D):碳酸盐台地完全被淹没,在台地边缘(图 1D<sub>1</sub>)或台地内部(图 1D<sub>2</sub>)有孤立的塔礁。

5. 组合式:不同类型的台地边缘的地形模式组合出现。图 2 表示美国犹他西部到内华达中部,晚寒武世到泥盆世的边缘演化。寒武、奥陶纪海平面相对稳定,形成推进式边缘;志留纪

由于海平面上升或海进,形成阶梯状后退式边缘;加里东运动后,海平面变化相对稳定;早泥盆世又为推进式边缘;中、晚泥盆世海侵扩大,海平面相对上升,形成超覆式的边缘。

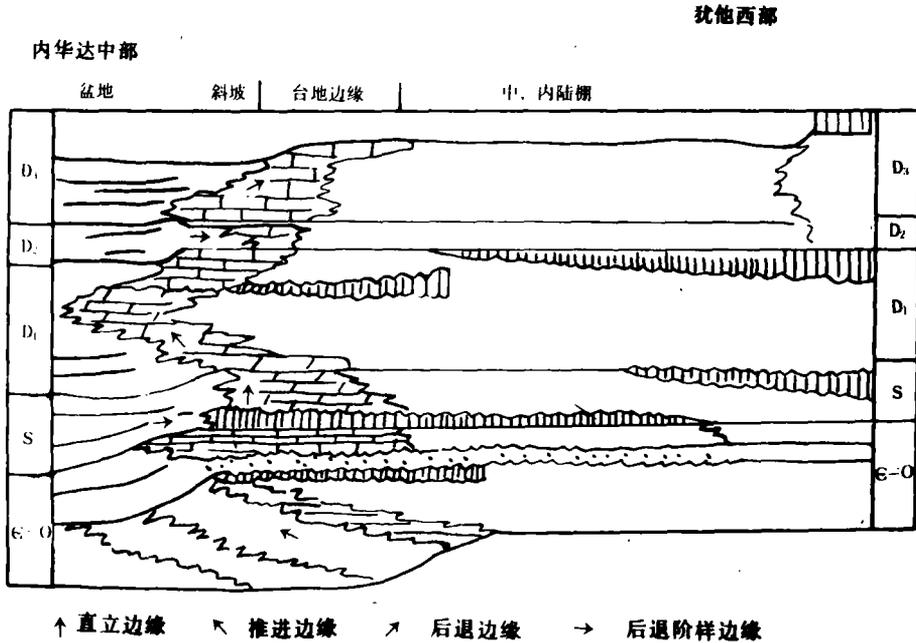


图2 美国犹他西部至内华达中部早寒武世—泥盆纪安特勒造山运动前沉积剖面  
Fig. 2. Upper Cambrian-Devonian depositional profile through western Utah to central Nevada, USA before Antler Orogeny.

### 三、台地边缘或斜坡的类型和沉积模式

碳酸盐台地边缘或斜坡的沉积类型和模式已有不少的学者提出不同的分类(表1)。

现代的碳酸盐沉积环境有:开阔碳酸盐陆棚或碳酸盐缓坡,如西佛罗里达和墨西哥的坎佩坎陆棚;镶边碳酸盐陆棚(或台地),如巴哈马滩,大堡礁及南佛罗里达和伯利兹礁前斜坡(图3)。北巴哈马滩碳酸斜坡从顶到底可划分三种地形单元:(1)边缘陡崖:陆棚边缘向外延伸,在水深从30—50m到100—200m间突然变陡,坡度>45°,形成边缘陡崖,其沉积物来源于邻近的滩和远洋沉积及倒石堆沉积;(2)上斜坡:向海倾斜,坡度3—15°,具有深20—150m的无数沟槽或水道;(3)下斜坡:坡度1—5°,主要沉积物为重力流与碳酸盐软泥沉积。控制斜坡地形及沉积相变化的主要因素:①基底断裂,②滨外滩沉积物搬运方向和数量,③海洋循环,④重力和远洋沉积作用,⑤生物建隆和海底胶结作用,⑥海平面的变化。

现将碳酸盐台地边缘或斜坡的主要类型叙述如下:

#### 无镶边的碳酸盐均匀缓坡

碳酸盐缓坡就是开阔的碳酸盐陆棚,坡度通常小于1°。浪基面在滨线附近,所以滨线附近

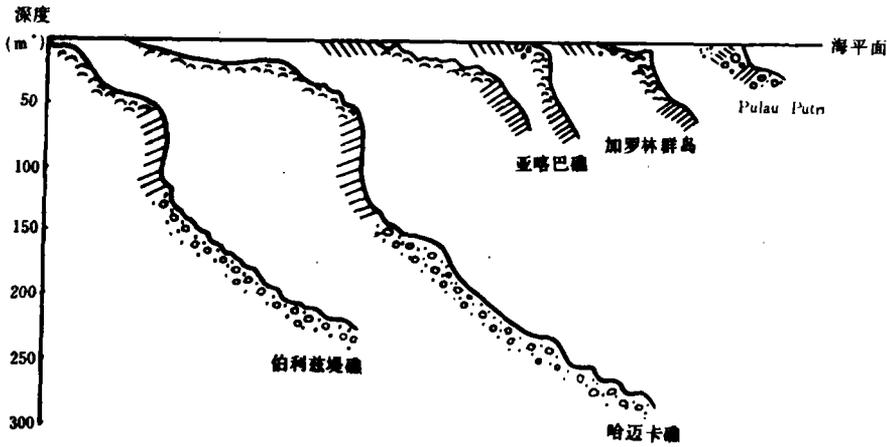


图3 现代礁前斜坡各种相分布剖面(据 Longman,1981)

Fig. 3. Profiles of modern fore-reef slopes showing the distribution of various facies(modified from Longman,1981).

形成鲕粒灰岩或生物屑灰岩的高能带。该带向内出现以泥晶灰岩,粒泥灰岩为主的泻湖、潮坪相低能带;向外逐渐过渡为滨外及较深水的低能带,及明显的坡折斜坡,沉积物主要为薄层的泥晶灰岩、泥灰岩,含有丰富的窄盐度底栖生物,很少有重力流沉积,碎屑的成分主要为缓坡沉积物(图4)。

表1 台地边缘模式对比及术语

Table 1. Comparison of platform margin models and terminology.

	Wilson(1975)	Mellreath and James (1978)	Read (1982,1985)	James and Mountjoy (1983)
无镶边陆棚(缓坡)	——	——	均匀缓坡	缓坡
	——	——	远端变陡的缓坡	——
镶边陆棚	类型 I 向斜坡下的碳酸盐泥堆积	——	——	——
	类型 II 圆丘礁缓坡	沉积型边缘(以礁为主)	加积型边缘	沉积型边缘
	类型 III 格架礁镶边	沉积型边缘(以砂滩为主)	(礁或砂滩)	(礁或砂滩)
	——	沟槽型边缘(bypass margin)(以礁为主)	沟槽型边缘	沟槽型边缘
	——	——	(陡崖型)	(礁或砂滩浅水盆地)
	——	沟槽型边缘(水道斜坡)	沟槽型边缘(水道斜坡)	沟槽型边缘(礁或砂滩深水盆地)
	——	——	侵蚀边缘	——

现代的(如波斯湾和沙克湾)和古代的美的弗吉尼亚奥陶系(Read,1980),纽约的泥盆系

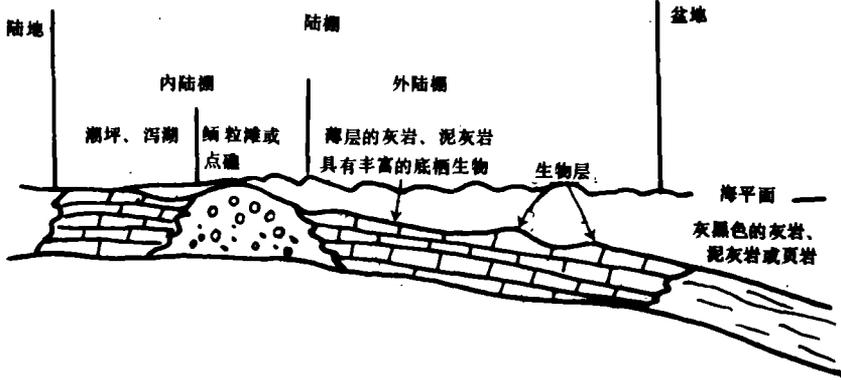


图4 均匀缓坡模式剖面(据 Cook, 1984)

Fig. 4. Profile of a homoclinal ramp model (after Cook, 1984).

(Laporte, 1969)碳酸盐均匀缓坡沉积,都主要出现在区域性平缓的古斜坡上。贵州中部早三叠世印度期大冶组亦是典型的均匀缓坡沉积,它主要由灰色薄板状至叶片状泥晶灰岩组成,有丰富的瓣鳃,菊石及遗迹化石如: *Thalassionides*, *Chondrites*, *Gordia*, *Phycosiphon*, *Cosmorhaphé*。向北,同时异相的夜郎组以鲕滩及混合潮坪(碳酸盐岩与碎屑岩为主)沉积。

### 无镶边远端变陡的缓坡

这种缓坡具有均匀缓坡和镶边陆棚的某些特征,如靠近滨线附近有浅水的高能滩;外陆棚向外出现斜坡,但与镶边陆棚不同,它是一个宽的坡折带。由于水较深没有形成台地边缘。虽然有滑塌及沉积物重力流沉积,但角砾中缺乏浅水台地的砂屑或礁碎屑,而主要是同期的缓坡沉积物(图5)。如果早期的镶边陆棚被淹没到浪基面以下,并被碳酸盐沉积覆盖,则易变陡而成缓坡。如现代的墨西哥的尤卡坦陆棚,美国西部上寒武—下奥陶统就是这样(Cook Mullias, 1983)

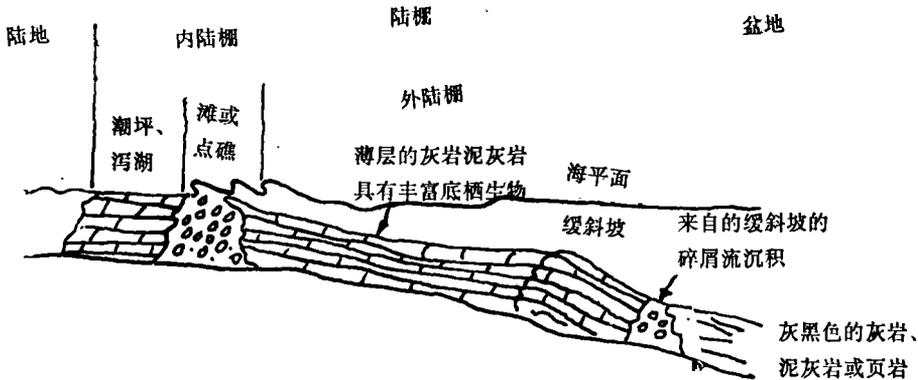


图5 远端变陡缓坡模式

Fig. 5. Profile of a distally steepened ramp model.

### 镶边台地边缘或斜坡沉积

镶边台地边缘或镶边陆棚的外缘出现相对陡的坡度(从几度到 60°或更大)和形成浅水高能带。镶边可由生物礁、骨屑滩、鲕粒滩或障壁岛组成。如现代的澳大利亚的大堡礁、南佛罗里达和伯利兹礁前斜坡。

按镶边边缘和斜坡特征不同可分为:(1)沉积或加积型边缘;(2)具有水道的沟槽型镶边边缘,或跌积型边缘;(3)侵蚀型镶边边缘。

### 沉积或加积型镶边边缘

沉积或加积型的镶边边缘既有向上加积又有向外加积作用。虽有一定的坡度,但通常无陡的边缘陡崖。台地边缘相、礁前斜坡或斜坡相,盆地相之间具有退覆的关系(图 6),垂向上为从盆地相到斜坡、边缘礁或滩到潮坪、泻湖相的向上变浅层序。潮坪、泻湖、点礁和滩可以呈旋回性出现,有时潮坪延伸到边缘。边缘的生物礁随着水的深度加大,有生态分带现象,即位于高能带者具有粗枝状或结壳状骨架,向下变为穹状、面状、细枝状。台地周边或斜坡的碳酸盐砂屑、角砾和半远洋沉积物具有典型的倾斜层理。碎屑流沉积主要为席状体。浊积岩主要由骨屑、砂屑、粉屑灰岩组成。如贵州青岩、安顺一带中三叠世为加积型台地边缘,由浅灰色中厚层状生物屑白云岩、鲕粒灰岩、核形石灰岩及藻屑灰岩、红藻灰岩组成。滩、潮坪、点礁成旋回重复出现,厚达数百米,宽 1—2km。台缘斜坡主要由砾屑灰岩、砂屑灰岩及藻层的泥质灰岩组成。砾屑灰岩可由颗粒支撑、逆粒序、叠瓦状排列的变密度颗粒流沉积到杂基支撑、无组构的碎屑流沉积,大约出现 4—7 层,每层厚从 2—3m 到 10 多米,长度从 250m 到数公里,横向成不连续的透镜体。边缘相与斜坡相成指状交叉(图 7)。

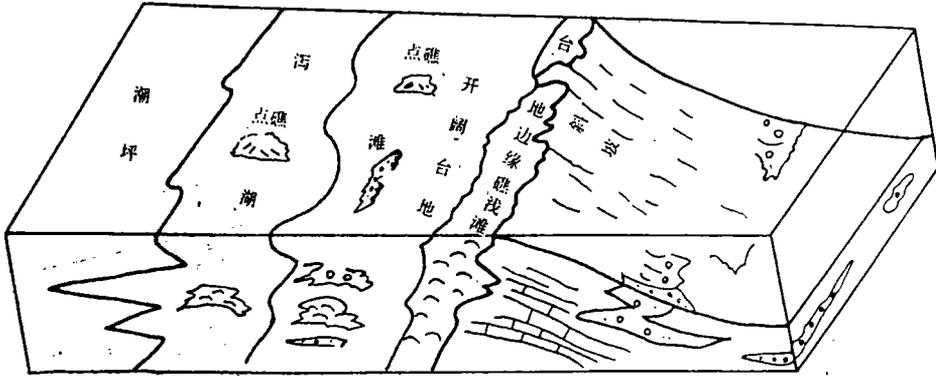


图 6 加积型镶边碳酸盐台地边缘剖面

Fig. 6. Profile of accretionary rimmed carbonate platform margins.

### 沟槽型或跌积型边缘

沟槽型边缘主要出现在迅速上隆地区,镶边可由边缘陡崖、水道斜坡、侵蚀的边缘等组合而成,其主要特征是有坡度大的陡边。台地边缘可有礁或碳酸盐的砂,块状流发育。台地周边有倒石堆,在以礁为主的镶边,它由大量的礁块组成。碎屑流沿斜坡上的水道向下搬运,形成斜坡碎屑裙和坡脚碎屑裙。如果砾屑层中有窗孔、叠层石和泻湖相碳酸盐岩块,这就是侵蚀后退的边缘。如贵州中三叠世台地边缘相带在贞丰环连寨一带为台地边缘陡崖,周边为倒石堆堆积,颗粒灰岩碎块大小混杂,无分选、无组构,碎块间的填隙物为砂屑、细砾屑及灰泥。台地周边的砾屑灰岩侧向与边阳组的浅水陆源碎屑浊积岩的粉砂质泥岩、粉砂岩成指状交叉。

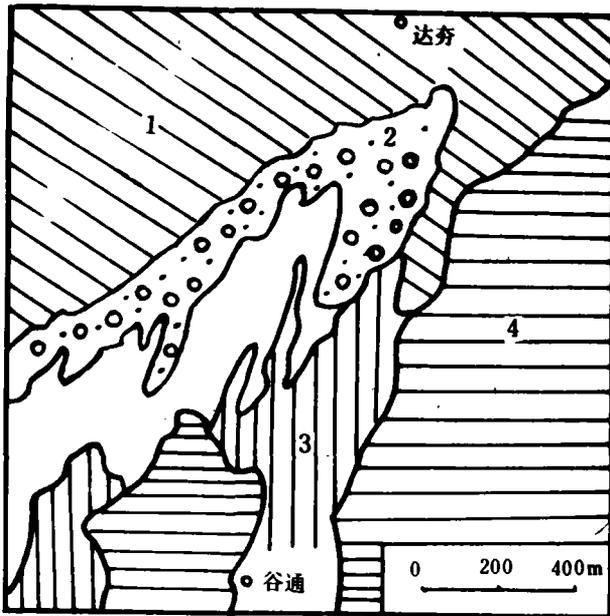


图7 贵阳青岩中三叠世安尼期岩相古地理(据王砚耕资料修改)

- 1、厚层状至块状白云岩
- 2、砾屑灰岩夹岩薄层泥晶灰岩
- 3、薄层泥晶灰岩夹砾屑灰岩
- 4、页岩夹泥晶灰岩

Fig. 7. Schematic map showing palaeogeography during Anisian of Middle Triassic in Qingyan, Guiyang (modified from Wang Yangeng).

1. thick-bedded to massive dolomite,

2. calcirudite interbedded with thin-bedded micrite,

3. thin-bedded micrite interbedded with calcirudite,

4. shale interbedded with micrite.

中、晚寒武世,在湘西黔东的大庸—保靖—铜仁—玉屏一带的西北边为碳酸盐台地,东南则为台地斜坡及较深水的盆地沉积。台地边缘主要为亮晶鲕粒灰岩、亮晶砂屑灰岩、叠层藻灰岩和生物屑灰岩构成的滩相和藻礁灰岩相。斜坡相主要由薄层状、纹层状灰岩及碎屑流成因形成的砾屑灰岩组成。在中、晚寒武世时,砾屑灰岩分布广大、层数多,占总厚度的 $1/3$ <sup>①</sup>。砾屑灰岩已出露的露头在平面上成NW—SE条带状分布,向SE方向变宽,形成坡脚碎屑裙堆积,砾屑的成分主要是台地边缘的鲕粒灰岩、砂屑灰岩、藻灰岩及斜坡上的薄层灰岩,还有来自泻湖、潮坪相的砾屑。另外,斜坡相中见有孤立的岩块,如上寒武统车夫组见有浅水的孤立的表附藻灰岩块,长达47m、宽29m、高10m。这些特征均表明该地区的台地边缘性质为陡崖侵蚀的边缘。

#### 四、台地边缘类型的演化

由于台地边缘的类型是受基底断裂、海平面变化及沉积作用等因素所控制,所以在地质历史发展过程中,同一碳酸盐台地的边缘相带的不同地段,或同一地段的不同时期,其性质是可发生变化的。如碳酸盐缓坡,由于高速堆积或礁的生长,可变为加积型边缘,加积型的边缘,经过同生断裂,一端抬升,一端下降,或者盆地沉积补偿不足,地形坡度增大可变成陡崖、侵蚀型的边缘,如果海平面上升或镶边陆棚下沉被淹没,镶边陆棚则演化为碳酸盐缓坡或淹没陆棚。这种不同类型台地边缘的变化可构成明显不同的演化序列。

#### 主要参考文献

① 高振中等 1983年《湘西黔东寒武纪深水碳酸盐重力沉积》江汉石油学院内部资料

- [1] Cook H. E. and Mullins H. T. (1983) Basin margins in carbonate depositional environments, pp. 539—618.
- [2] Cook H. E. (1984) Ancient carbonate platform margins, slopes, and basins, in platform margin and deep-water carbonates, pp. 51—189.
- [3] Hine A. C. (1984) Modern shallow-water carbonate platform margins, in platform margin and deep-water carbonates, pp. 31—100.
- [4] Read J. F. (1985) Carbonate platform facies models, AAPG Vol. 69, No. 1, pp. 1—21

## Types and Facies Models of Platform Margins and Slopes

Zhang Jinquan

(Institute of Sedimentary Geology and Mineral Resources,  
Chengdu College of Geology)

### Abstract

Deep-water carbonate slope sediments are significantly different from shallow marine carbonate sediments. Platform margin or slope sequences are divided into five major sedimentary units; (1) Shallow-water complex of banks, reefs and ooid/pellet shoals which may occur on platform margins; (2) undisturbed in situ pelagic and hemipelagic sediments; (3) gravity-induced mass transport deposits; (4) periplatform sediments; (5) deep-water organic buildups. The proportions of these units vary in different settings, but because slopes are especially susceptible to mass failure, a high percentage of the section may contain allochthonous material. One of the most distinct differences between basin and slope sediments, however, is reflected in the instability of slope and base-of-slope environments. The disruption and reorientation of sediments into slides and chaotically deformed masses may be very common on slopes. In contrast, the frequency and scale of these features in carbonate basins are usually relatively minor.

Stratigraphic models are employed in an attempt to explain the vertical facies changes (i. e. the stratigraphic sequences) that occur at the platform margin-slope transition. They may be divided into models of; upbuilding, aggrading, retreating and drowned or a combination of these.

Ancient carbonate facies patterns in platform margin, slope and basin sequences can be quite varied. Various types of carbonate platform margins are characterized by distinctive profiles, facies and evolutionary sequences. Ramps may be homoclinal or distally steepened. Homoclinal ramps pass seaward into deeper waters without a major break in slope, and lack shallow-water breccias as well. Distally steepened ramps have broad slopes over a deeper ramp. Clasts of shallow-water facies are rare. Thus slope facies may contain abundant breccias of slope-derived clasts.

Rimmed platform margins have relatively flat tops and show marked break in slopes in the high-energy zone. Rimmed platform margins and slopes may be divided into: (1) depositional or accretionary; (2) by-pass, and (3) erosional margins. Depositional or accretionary margins show both upbuilding and outbuilding; they generally lack marginal escarpments; and platform margin and foreslope/slope facies may intertongue. By-pass margins occur in areas of rapid upbuilding where shallow-water sedimentation keeps pace with sea level rise. Bypassing may be associated with a marginal escarpment and/or a gullied by-pass slope, whereas erosional margins are characterized by high, steep escarpments. Debris flows and periplatform talus are obvious features.