

广东省泥盆纪藻叠层石及其形成环境

吴 萍

(广东省地质科学研究所)

一、引 言

自从 Ginsburg(1955)及 Logan 等(1961, 1964)研究了巴哈马、佛罗里达和西澳大利亚的现代藻叠层石以来,已经建立了用藻叠层石的形态和构造来解释现代或古代海洋沉积环境的基础。在我国,报道前寒武纪叠层石的文章较多,上古生代则不多见。作者自 1980 年以来对广东泥盆纪碳酸盐沉积中的藻叠层石做了一些研究,现根据所得资料进行报道。

二、地质概况

(一)分布

泥盆纪时广东省位于华夏古陆的边缘,海岸线随着加里东运动所造成的基底构造地貌而成波状曲折。目前发现的藻叠层石产于乐昌地区和阳春地区,分别位于海湾的北缘(图 1)。乐昌地区发育很好的柱状叠层石及穹状叠层石,层位主要是余田桥组的上部,阳春地区主要发育穹状叠层石和波状叠层石,层位由余田桥组的顶部至锡矿山组的底部。球状叠层石分布较广泛,除上述两地外,韶关、英德等地余田桥组至锡矿山组中均有产出。

(二)地层剖面

1、乐昌剖面

剖面位于乐昌县城北约 5km 处的西岗寨矿区。剖面包括中泥盆的棋梓桥组、上泥盆统的余田桥组和锡矿山组(图 2)。

2、阳春剖面

剖面位于阳春县春湾镇以东约 4km。剖面包括余田桥组和锡矿山组(图 3)。

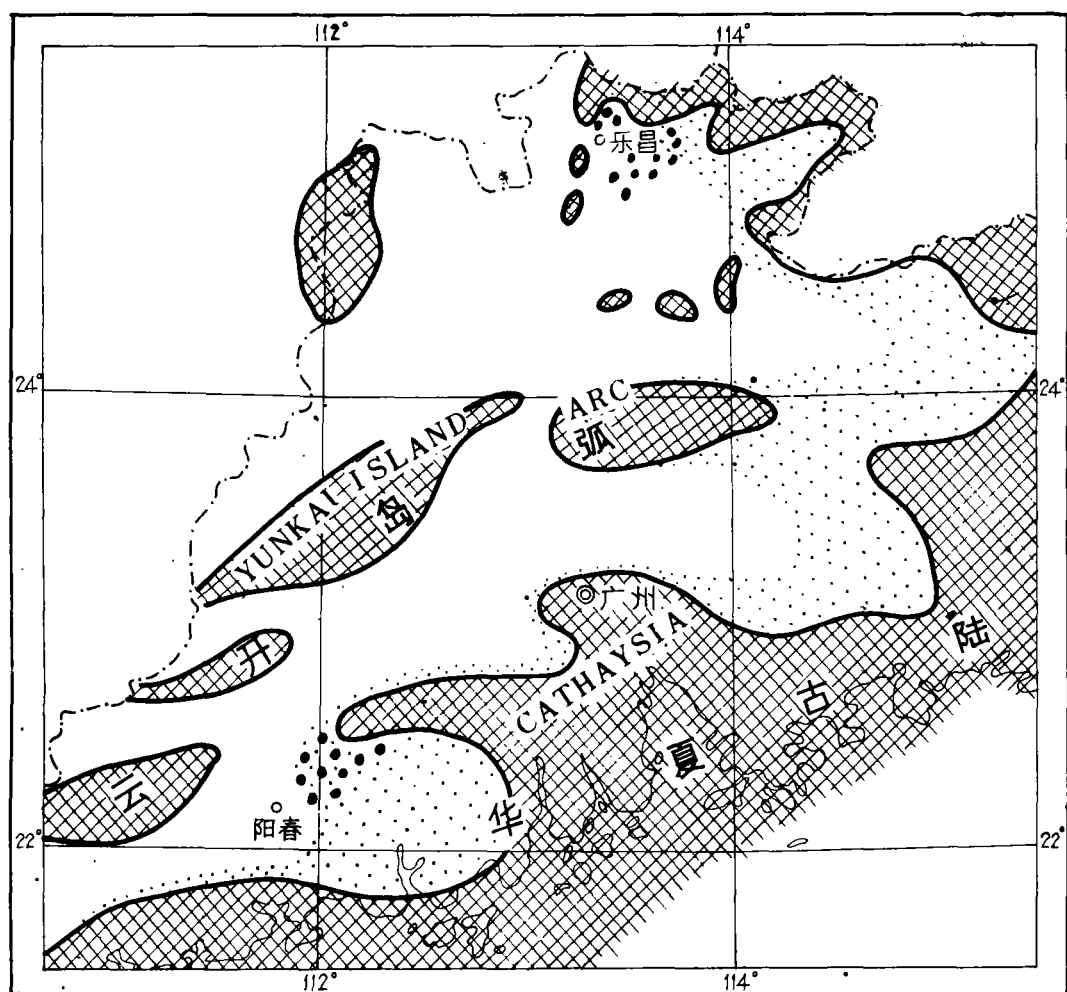


图 1 广东省晚泥盆世早—中期古地理略图

细点表示潮坪碎屑岩相与潮坪碳酸盐相的交互,粗点表示藻叠层石的分布。

Fig. 1. Schematic early and middle Late Devonian palaeogeographic map in Guangdong Province.

Fine dots represent the alternation of clastic tidal flat facies and carbonate tidal flat facies, and coarse dots indicate the distribution of algal stromatolites.

三、藻叠层石的特征

自从对叠层石进行研究以来,不同学者提出许多分类。但总的说来是从古生物学角度和沉积学角度两种分类。对现代和古代叠层石研究发现许多叠层石是蓝绿藻活动所形成的,它们是生物活动和沉积作用两种因素共同作用的结果,并严格受到沉积环境的控制,并非生物属种的个体或能反映生物的全部或部分形体的生物活动痕迹(生物遗迹)。因此,许多学者认为从沉积

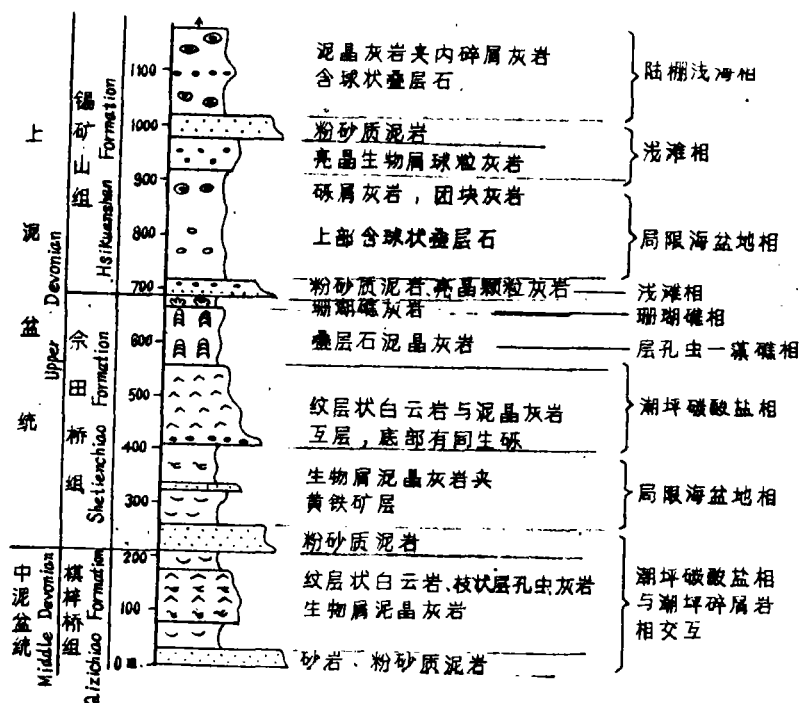


图2 广东省乐昌县西岗寨泥盆纪沉积相剖面图

Fig. 2. Columnar section of Devonian sedimentary facies in Xigangzhai, Lechang, Guangdong Province.

学角度进行分类是可取的,并提出了详细的形态分类(例如:Logan等,1964;业治铮等,1965;J. B. Aitken 1967;戴永定等,1973;龚琳等,1981;冉崇英等,1986)。鉴于叠层石在很大程度上是一种沉积物,所以其形态变化范围很大,因而对其分类似应宜粗不宜细。据此,作者将广东泥盆纪的藻叠层石分为四种形态类型:

- (1)波状叠层石,相当于 Logan 等人分类听 LLH 型。
- (2)穹状叠层石,相当于 Logan 的 SH-C 型。
- (3)柱状叠层石,相当于 Logan 的 SH-V 型。
- (4)球状叠层石,相当于 Logan 的 SS 型。

尽管如此,由于各类形态受到诸多因素影响而有很大的变化,所以有时很难在它们之间划出截然的界线。

(一)波状叠层石

可分为大型叠层石和微型叠层石。前者,波长一般 10—40cm,波高 5—20cm,纹层平直至微波状弯曲;后者,波长和波高都在 1cm 左右,多数小于 1cm,纹层一般较密,有时又称为纹层石,即纹层状白云岩或纹层状灰质白云岩、白云质灰岩。

大型波状叠层石主要由厚 1—2m 的泥晶灰岩组成;微型波状叠层石由厚数+厘米的灰质白云岩或白云质灰岩组成,两者常交互组成韵律。韵律底部往往具冲刷间断面,有砾屑和砂屑,常见虫迹及生物扰动构造。有时生物搅动很厉害,以致纹层受到破坏而不清楚;有时叠层石成

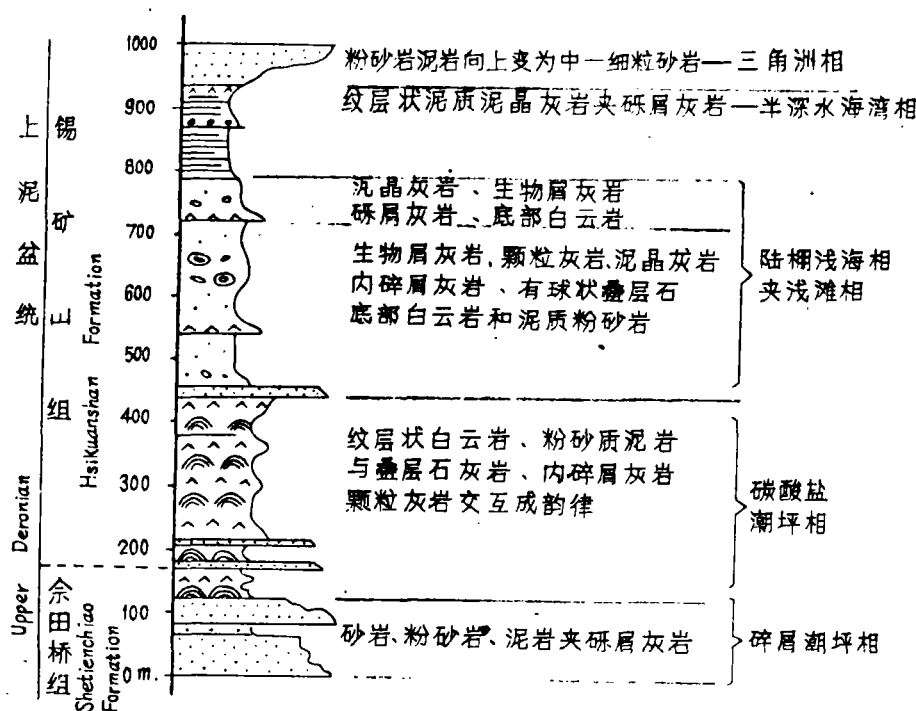


图 3 广东省阳春县春湾泥盆纪沉积相柱状剖面图

Fig. 3. Columnar section of Devonian sedimentary facies in Chunwan, Yangchun, Guangdong Province.

为大小不等的砾屑。微型波状叠层石灰质白云岩还经常和其他碳酸盐岩石组成韵律，例如各种亮晶或泥晶颗粒灰岩、生物屑灰岩及内碎屑灰岩等。

大型波状叠层石的纹层厚 1mm 左右，由深色纹层和浅色纹层交互组成，前者为泥晶方解石而后者为微晶方解石组成。微型波状叠层石由泥晶方解石的纹层与微晶白云石的纹层交互组成，后者有时含较多的亮晶方解石和陆源石英粉砂碎屑，可能是白云石交代浅色纹层而成。有时两种纹层全部为白云石交代，纹层由结晶细粒不同而显示，有机质的细团粒主要沿微晶白云石微层分布而使纹层有深色和浅色之分。纹层厚也在 1mm 左右。有些岩石的纹层由于重结晶或生物扰动而部分或全部消失。叠层石的纹层之间的界线一般不很清楚，是渐变的。

(二) 穹状叠层石

穹状叠层石的直径一般为 10—60cm，高 10—40cm，形状有较平缓的或较尖的，对称的或不对称的。有时可见到在大的穹状体之上又长出几个小穹状体(瘤状分叉)或小的柱状叠层石。穹状叠层石的纹层呈波状或较平直。常见藻纹层和层孔虫交互生长，后者在露头上形成较硬的皮壳状。

穹状叠层石有两种产状：一是在纹层状白云岩-叠层石灰岩韵律的上部与波状叠层石共生；另一种是在泥晶灰岩-叠层石灰岩韵律中与柱状叠层石共生。

穹状叠层石周围常被冲刷切割，为破碎的叠层石碎片及生物碎屑所充填(图 4)，在凡口矿

区见有为亮晶颗粒灰岩所充填的干裂缝(吴萍,1985)。与穹状叠层石共生的生物常见有球状层孔虫,它附着在叠层石上成瘤状或与藻纹层交互生长(图4),这情况主要见于和柱状叠层石共生的穹状叠层石中。



图4 穹状叠层石边缘被冲刷切割,顶部深色的纹层及团块为层孔虫。比例尺长10cm。乐昌野外照片。

Fig. 4. Quaquaversal stromatolites with the edges scoured and cut. The dark laminae and lumps at the top are *Stromatopora*. Scale bar is 10 cm. Field photograph in Lechang.

(三)柱状叠层石

乐昌附近是泥盆纪柱状叠层石发育最好地区之一。阳春县春湾附近的泥盆系中也见到一些柱状叠层石,但比较低矮,发育也不好。

1、柱状叠层石的形态

柱状叠层石的形态较复杂,可大致分为三种:

(1)锥形的,即由基面上很小的根部或生长点向上逐渐膨大而成锥状体。它们经常弯曲或向一边倾斜,具树枝状分叉。柱状纹层的边缘向下延伸较长,锥体的边缘被冲刷切割的现象不明显(图5)。

(2)柱形的,其上下部直径比较一致,柱体也经常弯曲,分叉多为指状(图6)。

(3)塔形的,其基部较大,向上逐渐缩小,有的顶较尖。这类叠层石往往是在穹状叠层石上发育起来的(图7)。较小弯曲,对称或向一侧倾斜。有时可成瘤状分叉,即在构造体的顶部或(和)边上生长许多小的穹状或柱状体。纹层边缘向下延伸较远,几乎可达生长基面。冲刷切割现象不显著。塔形叠层石常成丛状生长,有时柱状之间距离很近。

上述三种形状之间没有明显的界线。叠层石可以向上分叉,也可以由几个小的构造体向上生长合并成一个大的叠层石。叠层石的横切面一般是圆形或椭圆形的,具有同心生长纹层。当叠层石分叉或合并时,横切面上可见到分离的或复合的同心圆。在拉长的椭圆形叠层石的断面上,同心圆生长线经常是一边生长比较缓慢而密集,相反的一边由于生长比较迅速而撒开。据研究认为生长比较迅速的一边面向海的方向。据乐昌西岗寨一个露头的统计,拉长的叠层石断面有明显的定向性,生长较迅速的一边主导方向为SW230°。

2、柱状叠层石的基本沉积韵律

在乐昌附近,柱状叠层石泥晶灰岩有规律地和含生物屑的泥晶灰岩组成基本韵律。其代表性的基本韵律如下:

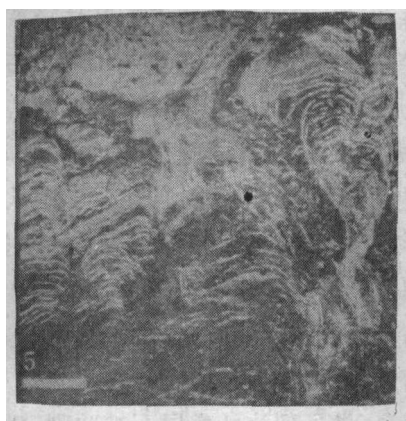


图5 柱状叠层石,右边是锥形的,左边是柱形的,具指状分叉。比例尺10cm。乐昌野外照片。

Fig. 5. Cylindrical stromatolites.

The cone-shaped ones are on the right and the cylindrical ones with finger fork on the left.

Scale bar is 10 cm. Field photograph in Lechang.

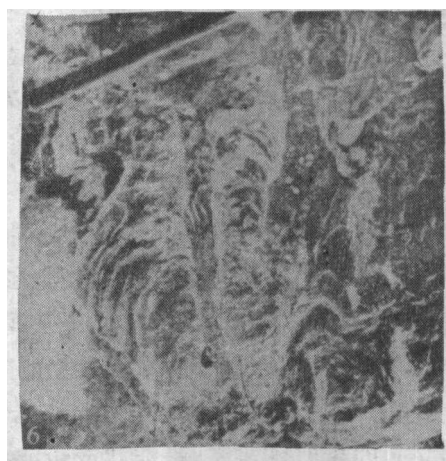


图6 锥形的柱状叠层石,可见分叉现象,暗色纹层为层孔虫。锤子长为40cm。乐昌野外照片。

Fig. 6. Cone-shaped columnar stromatolites with forks. The dark laminae are *stromatopora*.

The hammer is 40 cm in length. Field photograph in Lechang.



图7 塔形柱状叠层石,右边可见层孔虫(较深色者)和藻纹层交互。盖子直径为6cm。乐昌野外照片

Fig. 7. Tower-shaped columnar stromatolites. The laminae of *Stromatopora* (darker) are alternated with algal laminae on the right. The lid is 6 cm in the diameter. Field photograph in Lechang.

上部 柱状叠层石泥晶灰岩厚1m左右,叠层石分布较密集,见有穹状叠层石及核形石。柱丛间充填物主要为生物屑泥晶灰岩,有时可见有单体或群体珊瑚及球状层孔虫等生物化石。层孔虫常与叠层石交互生长。顶部有时有厚10cm左右的球状层孔虫灰岩层。

下部 生物屑泥晶灰岩,厚数厘米至20cm,与上部成过渡状,是叠层石生长的灰泥质基面。具稀疏的水平或微波状层理,含少量生物碎屑,有时也含少量的凝块石、核形石或砾屑。由于下伏韵律层中的叠层石生长不一,所以本层底部往往形成波状起伏的间断面,但未见明显的冲刷现象。

阳春县春湾附近,较矮柱状叠层石主要产于白云岩与灰岩韵律层的上部。常见穹状或矮柱状叠层石突起成丘状,上覆的灰泥层随原始地形成波状弯曲。后期的白云岩化往往只交代灰泥盖层及叠层石之间的充填物,因而使叠层石的界线更为明显。常见到柱状叠层石被冲刷破坏现象,叠层石碎块杂乱地堆积在生物屑灰泥基质中,后者又被白云岩所交代。

3. 柱状叠层石的显微结构及共生的生物

叠层石的显微结构由暗色纹层和浅色纹层交互组成,纹层厚0.5—2mm。浅色纹层较厚,纹层之间的界线不清楚,呈波状或微波状弯曲,由微亮晶或亮晶方解石组成,含较多的可达5%石英粉砂碎屑;暗色层由泥晶方解石组成,含少量约2%石英粉砂碎屑,有机质较多,有时可见保存不好的藻丝体,常见有杆状的和弯曲状藻丝体,后者可能是葛万藻。柱状叠层石中藻纹层常与层孔虫主要为 *Stromatoporidae* 交互生长,有时层孔虫可占柱体的1/3,常呈等距长生,似有一定周期性。

(四)球状叠层石——核形石

从形态上大体可以分为规则型和不规则型两种。

1. 不规则型球状叠层石

球体大小很不均匀,直径可从数毫米到数厘米,往往在一个露头上见有大小不一的个体的杂乱堆积。形状从不规则的球形到各种奇形怪状均有,外观很不平整。核心多为较大的生物碎屑,包卷纹层呈波状或不规则状,常受生物屑的形状所控制。见有只包卷一层藻灰的生物屑与完整核形石个体产在一起(图8),也常见破损的和反复包卷的个体及多核心的复合体。有的核形石包卷纹层不大清楚或相当杂乱,并包含有陆屑及生物屑,和凝块石没有多大区别。不规则型核形石显微构造和其他叠层石相似,由暗色纹层和浅色纹层交互组成,但纹层的厚度和形状变化很大,有机质含量也较高。在暗色纹层中可以见到保存很好的葛万藻藻丝体。

不规则型球状叠层石不组成单独的层,它常和玻状及穹状叠层石共生,或者和各种颗粒,如砾屑、凝块石、鲕粒和团块共生。它产出在各种亮晶胶结或泥晶杂基的颗粒灰岩、生物屑灰岩及内碎屑灰岩之中。这些岩石常与纹层状白云岩交互成基本韵律。冲刷破碎现象比较常见。

2. 规则型球状叠层石

规则型核形石大小比较均匀,一般为2—4cm,椭球形或球形。核心较小,由生物屑或灰质团粒组成。同心包卷层规则而密集。在乐昌县梅花附近这种核形石发育很好,分布密集,椭球体的长轴成定向排列(图9),产于和含硅质结核的光壳节石泥晶灰岩交互的泥晶灰岩中。



图 8 不同形成阶段的不规则型球状叠层石,核心为介壳碎片,基质为亮晶颗粒灰岩。凡口矿薄片。比例尺为 3mm

Fig. 8. Irregular spherical stromatolites formed in different stages. The cores consist of shell fragments, and the groundmass consists of sparry grainstone. the thin section was collected from the Fankou deposit. Scale bar is 3 mm in length.



图9 规则型球状叠层石。

乐昌梅花藻片。原大

Fig. 9. Regular spherical stromatolites. The thin section was collected from Meihua, Lechang. Original size.

团砾状泥晶灰岩中亦有核形石大小不均匀,做为一种团砾与砾屑、团块及生物屑共生。基质为含泥质的泥晶灰岩,常受到白云石交代。沉积韵律由于基质的多少变化而显示,是一种渐变韵律。在这种韵律中还出现少数象腕足之类的底栖生物。

四. 藻叠层石的形成环境

(一) 环境标志

它们主要产于浅水环境,包括潮上、潮间到潮下上部的潮坪环境。但也有关于深水叠层石的报导(P. Hoffman, 1974 年)。广东泥盆纪的藻叠层石究竟形成于何种环境中,是否和前人的研究结论相符,笔者认为单从藻叠层石的形态来讨论它们的形成环境看来是不够的,因为不同形态的藻叠层石虽然也是一种指相标志,但不同时代或不同产地的构造体还具有各自不同的特征。例如本文所讨论的柱状叠层石常和层孔虫交互生长,这与现代沙克湾及震旦纪的柱状叠层石不同,表明其形成环境也可能有别。因此,除了藻叠层石本身的形态特征外,还应考虑与之

共生的其它沉积相标志,加以综合分析,才能对其形成环境做出比较合理的推论。现试分别讨论于下:

1. 共生的岩石类型及沉积构造

表1列举了与各种类型叠层石共生的岩石类型、沉积构造特征。由上波状叠层石至下规则型球状叠层石,表现出有规则的变化:

(1)从白云岩、亮晶方解石胶结的各种颗粒灰岩逐渐变为泥晶灰岩,表明颗粒逐渐减少,泥晶基质逐渐增加,即粒/泥比逐渐减小。

(2)白云化作用逐渐减弱。

(3)沉积韵律间的冲刷间断面由显著到不显著,以至完全没有间断面;沉积韵律由不完全韵律到完全韵律。

(4)砾屑、干裂、生物扰动等浅水冲刷构造和暴露标志逐渐减少以至消失,在规则型球状叠层石泥晶灰岩中,只有水平层理或波状水平层理。

表1 与藻叠层石共生的岩石类型及沉积构造

Table 1 Rock types and sedimentary structures associated with algal stromatolites

藻叠层石类型	岩石类型	沉积构造
波状叠层石	白云质灰岩,灰质白云岩,亮晶生物屑灰岩,亮晶内碎屑灰岩,球粒泥晶灰岩,砂屑泥晶灰岩。	冲刷间断面,砾屑构造,干裂、生物扰动构造,不完全沉积韵律。
穹状叠层石	砂屑泥晶灰岩,生物屑泥晶灰岩,亮晶内碎屑灰岩。	冲刷间断面,偶有砾屑构造和干裂,不完全沉积韵律。
柱状叠层石	生物屑泥晶灰岩,泥晶生物屑灰岩。	平整的或波状的断面,偶有砾屑构造,不完全沉积韵律。
不规则球状叠层石	亮晶或泥晶颗粒灰岩,生物屑灰岩,内碎屑灰岩,常与鲕粒、凝块石、砾屑共生。	干裂,粒内或粒内溶蚀构造,鸟眼构造。
规则球状叠层石	泥晶灰岩,含生物屑泥晶灰岩,含硅质结核泥晶灰岩。	水平层理、波状水平层理,完全沉积韵律。

2. 共生的生物组合及古生态

由波状叠层石向穹状、柱状叠层石以至规则型球状叠层石,其古生物种类、数量及古生态特征也表现出有规则的变化(表2):

(1)生物碎屑的种类和数量由少至多,到柱状叠层石最丰富、至规则型球状叠层石又变得较少而单调。

(2)从异地埋藏变为原地生长;由底栖生物群为主变为浮游生物群为主。

(3)大型底栖生物主要和柱状叠层石共生。

(4)在柱状叠层石及某些穹状叠层石中具有层孔虫和藻叠层石交互生长的现象。

(二)形成环境

表 1、表 2 所表示的各种标志互有连系地组合在三种沉积韵律中,各代表不同的沉积环境。

1. 白云岩-叠层石灰岩韵律

是一种具冲刷的不完全韵律。韵律下部为具有微型波状叠层石的白云岩,其形成过程可能是:当露出水面的沉积层遭受冲刷和浸蚀作用,微型波状叠层石就在暴露的潮上环境中形成,并同时被白云岩化。但是,完全干涸的环境是很难生长藻席的,因此,可能是周期性的大潮,风暴浪溅湿或海平面上造成了生长藻席的潮湿期,而在干旱期则进行白云岩化。灰质纹层和白云质纹层的交互可能是这种周期性变化的代表。韵律上部的大型波状叠层石及穹状叠层石是在白云岩的基底上生长的。各种亮晶颗粒灰岩、冲刷破碎现象、异地埋藏的生物碎屑、干裂缝,说明此时因海平面上升而变为潮间带环境。但穹状叠层石更靠近潮间带下部,所以其宿主岩石的粒/泥比较小,生物碎屑种类较多和丰富,甚至有时和层孔虫共生或交互生长。

表 2 与藻叠层石共生的生物种类及古生态

Table 2 Biologic assemblages and palaeoecology associated with algal stromatolites

藻叠层石类型	大型生物	生物碎屑及微体生物	古生态
波状叠层石	无	很少,主要有棘皮类、介形虫、藻屑。	异地埋藏群
穹状叠层石	偶见层孔虫	很少,主要有棘皮类、软舌螺、介形虫、轮藻、软体动物及腕足类。	异地埋藏群。
柱状叠层石	层孔虫,珊瑚	光亮节石、棘皮类、软体动物、腕足类、苔藓虫、钙质海绵骨针、介形虫、有孔虫、软舌螺、轮藻、绿藻等。	异地埋藏群或原地生长群、底栖动物。
不规则球状叠层石	无	与波状叠层石及穹状叠层石相同。	异地埋藏群。
规则球状叠层石	无	光亮节石、竹节石、棘皮类、小型腹足类、钙质海绵骨针、介形虫、牙形石及腕足类。	浮游生物群。

因此,白云岩-叠层石灰岩韵律代表潮上环境到潮间环境的交互。

2. 泥晶灰岩-叠层石泥晶灰岩韵律

属于无冲刷不完全韵律。韵律下部的生物屑泥晶灰岩只有波状水平层理,生物屑不多,有时可见珊瑚等底栖生物,是潮下环境产物。在此基础上,生长的韵律上部的柱状叠层石。也主

要和泥晶灰岩共生、其粒/泥比较小,含生物碎屑种类丰富,数量也多,有小型浮游生物,亦见有浅海底栖的珊瑚和层孔虫,表明是潮下环境的产物。考虑到现代西澳大利亚沙克湾的柱状叠层石生长在潮间带环境,而这里则常和生活于浅海的层孔虫交互生长。所以藻灰纹层和层孔虫纹层的交互可能表明潮间环境和潮下环境的更替。

3. 含硅质结核泥晶灰岩-核形石泥晶灰岩韵律

这是一种完全沉积韵律,两个相邻韵律之间是过渡的。从岩石类型、沉积构造及生物组合来看,产规律型核形石的韵律代表水较深环境。其中,含硅质结核的光壳节石泥晶灰岩代表较深水,核形石泥晶灰岩代表较浅水环境。

不规则型球状叠层石不形成单独的层,和它共生的许多沉积相标志都是浅水的和暴露的,因此,它主要产于潮间带或者可达潮下带上部环境。

由于核形石不是固着的,它的产出环境不一定是它的生成环境。像其它颗粒一样它可以被海浪或风暴从形成地点搬运到相邻或更远的地方去沉积,而且在搬运的过程中它们还可继续生长和扩大。与砾屑、团块以及生物屑共生的规则型或不规则型核形石可能属于这种成因。

(三)古地理位置

在乐昌地区及阳春春湾一带,藻叠层石都分布在晚泥盆世中期的滨海地区(图1)。乐昌地区当时是一个半封闭的局限海盆地或泻湖。其东北边靠近陆地,两边为瑶山岛群,向南为盆地中心,并从西南边与陆棚广海连通(吴萍,1985)。在乐昌的东北边主要发育波状叠层石和穹状叠层石(如仁化凡口),代表潮上和潮间环境。乐昌附近主要为柱状叠层石,向西南逐渐为规则型球状叠层石所代替。表明乐昌附近为潮间带下部至潮下环境,向西南至韶关附近,为水较深的盆地中心。乐昌附近的柱状叠层石横断面的优选生长方向为SW230°,是向海方向的很好佐证。在乐昌附近发育的走向大致为SE-NW向的层孔虫-藻礁带,使仁化凡口一带成为礁后泻湖,并为金属元素的聚集及成矿作用提供了重要条件。发育在瑶山岛群西边的规则型核形石代表一种与乐昌地区不同的陆棚浅海环境。

阳春县春湾附近在晚泥盆世时是一个半封闭的海湾,东北边靠近陆地。由春湾附近的浅海台地碳酸盐相向东变为滨海潮坪碎屑岩相,向西变为富含有机质的薄层碳酸盐岩,代表较深水盆地环境。再往西分隔阳春春湾与广西陆棚海的云开岛弧。藻叠层石只发育在海湾盆地边缘的碳酸盐台地之上,向西及向南由于进入较深的海湾盆地,藻叠层石消失。

(四)古气候和古海水盐度

西澳大利亚沙克湾的柱状叠层石的生长环境是咸化泻湖,含盐度在海湾顶部增高达65%;当地是干旱到半干旱气候,蒸发量几乎是降雨量的十倍(Logan,1961)。与之相比,广东在中晚泥盆世时,也可能存在相似的气候以及某些海域有较高的海水盐度,其证据如下:

1、广东的许多地方都发现有中晚泥盆世的陆相红层,它们与河流相或滨海相的砂岩交互产出。红层由紫红色砂岩及紫红色砂质泥岩组成,有时见有灰质或白云质的团块或结核。紫红色砂岩中的石英颗粒滚圆度较好,并常包有一层由针铁矿组成的薄膜,这是在干旱气候环境中常见的沙漠漆。砂岩中重矿物的颗粒大小和轻矿物基本一致,这也是风成砂的特征之一,这些

特征和业已证实是干旱气候的白垩纪红层非常相似(吴萍等,1979,杨振强,1983)。

2、广东的中晚泥盆世的潮坪白云岩不但分布普遍而且厚度也较大,暗示当时可能间断地出现过干旱或半干旱气候。

3、广东英德县马口附近棋梓桥组的泥晶灰岩中发现有分散的石膏晶体^①,其他地方也有类似的报道。现代沉积及实验表明,在常温下石膏开始沉淀时的海水盐度为15%。这一现象至少说明当时局部地区的海水盐度较高。

我国震旦纪的藻叠层石产于白云岩中,有些层纹型叠层石中还见有石膏晶体伴生(冉崇英,1986),四川中三叠世层纹石中也见有石膏假象(刘效曾,1983)。结合本地区的情况看来,藻叠层石的发育与干旱或半干气候以及较高的海水盐度有关系,是比较普遍的规律。

主要参考文献

1. 业治铮、何起祥、孙国璋,1965,震旦纪藻碳酸盐岩石的沉积作用 地质学报第45卷第4期416—430页。
2. 刘效曾,1981,川西北中三叠统隐藻类碳酸盐岩特征及其环境意义,沉积学报第1卷第2期79—87页。
3. 冉崇英,1986,东川昆阳群落雪组藻叠层石的环境意义及其与铜矿的关系,沉积学报第4卷第2期81—90页。
4. 杨振强,1983,湖北当阳白垩纪风成石英砂,地质科学,1983年第3期,303—305页。
5. 龚琳、王承尧,1983,论乐川式铜矿的成因,地质科学,1981年第3期203—211页。
6. 戴永定、杨红、张友南,1973,燕山震旦系碳酸盐岩分类,地质科学,1973年第4期,257—267页。
7. 吴崇筠译,1974,加拿大大奴湖地区下元古界台地相到盆地相相变中的浅水和深水叠层石。P. Hoffman, Bull. A. A. P. G. 第58卷第5期,第856—867页。
8. B. W. Logan, 1961, Cryptozoon and Associated Stromatolites from the recent Shark Bay, Western Australia. The Journal of Geology, Vol. , 69, No. 5, P. 517—532.
9. B. W. Logan, R. Rezak and R. N. Ginsburg, 1964. Classification and Environmental Significance of Algal Stromatolites, The Journal of Geology, Vol. , 72, No. 1, P. 68—82.
10. P. Hoffman 1976, Stromatolites Morphogenesis in Shark Bay, Western Australia. Developments in Sedimentology 20, P. 261—271.

① 蒋明霞等:粤北地区凡口、红岩马口层控床地质特征及成矿机理研究。 武汉地质学院矿床研究室。

Devonian Algal Stromatolites and Their Environments in Guangdong Province

Wu Ping

(Guangdong Institute of Geological Sciences)

Abstract

Devonian algal stromatolites occur in the areas of Lechang and Yangchun, Guangdong Province. The algal stromatolites may be classified into four types: rippled, quaquaversal, cylindrical and spherical (or oncolite), which may correspond to the LLH, SH-V and SS types, respectively, as proposed by Logan et al (1964). The rippled stromatolites may be subdivided into two types: mega-rippled and micro-rippled. The former, which show a wide range of shapes, 10 to 40 cm in wave length and 5 to 20 cm in wave height, consist chiefly of micritic limestone, whereas the latter, about 1 cm both in wave length and in wave height, consist of lime dolomite or dolomitic limestone.

The quaquaversal stromatolites, generally 10 to 60 cm in diameter and 10 to 40 cm in height, include flat- or sharp-crested and symmetric or asymmetric forms. In some cases, several small quaquaversal or cylindrical stromatolites may grow upon the larger ones (i. e. tubercular form). The laminae are wavy or flat. Sometimes, the algal laminae are seen to intergrow with *Stromatopora*. There are two kinds of the occurrences for the quaquaversal stromatolites: some are associated with the rippled stromatolites in the upper rhythmic layers of dolostone and stromatolitic limestone, others with cylindrical stromatolites in the rhythmic layers of micritic and stromatolitic limestones. The stromatolites are frequently scoured and cut on their edges, filled with the stromatolitic fragments and bioclasts. It has also been found that the mud cracks within the quaquaversal stromatolites tend to be filled with sparry grainstone in the Fankou Pb-Zn deposit.

The cylindrical stromatolites are generally 10 to 40 cm, occasionally up to 80 cm in diameter, and more than 70 cm in height. According to the forms, they may be subdivided into three types: cone, cylindrical and tower. In the Lechang area, the cylindrical stromatolitic limestones constitute sedimentary rhythms regularly with bioclast-containing micritic limestone, whereas near Chunwan in Yangchun, short-cylindrical stromatolites occur in the upper rhythmic layers composed of dolostone and limestone. The microstructure of the stromatolites exhibits the alternation of dark- and light-coloured laminae, 0.5 to 2 mm in thickness. The poorly-defined laminae tend to bend concentrically

in the forms of waves or microwaves. The light-coloured laminae consist of microspar or sparry calcite and contain more quartz silt, whereas the dark ones are made up of micritic calcite and contain more organic matter and less quartz silt. Sometimes the poorly-preserved algal filaments may be observed. The cylindrical stromatolites often intergrow with *Stromatopora*. The laminae of *Stromatopora* may make up one-fourth of the volume of the cylinders. The laminae of algae and *Stromatopora* are often equally spaced.

Morphologically, the spherical stromatolites (oncolite) may be subdivided into two types: regular and irregular. The irregular oncolites vary in size from several millimeters to several centimeters. Both the shapes and convolute laminae are irregular, and the cores are usually made up of the larger bioclasts. The individuals formed in different stages are often heaped together. The well-preserved filaments of *Girvanella* may also be recognized in the dark-coloured laminae of oncolites. By and large, the irregular oncolites don't form a single bed by themselves but are commonly associated with rippled and quaquaversal stromatolites or all kinds of grainstones.

The regular oncolites are commonly uniform in size, 2 to 4 cm in diameter, round or elliptic. The cores are relatively small, consisting of bioclasts of lime pellets. The concentric convolute laminae are distributed regularly and densely. The micritic limestones containing regular oncolites are frequently interbedded with styliolina- and siliceous concretion-containing micritic limestones.

Sedimentary facies indicators shown in Tables 1 and 2 are combined one another in three types of sedimentary rhythmites which represent different sedimentary environments, respectively:

The dolostone-stromatolitic limestone rhythmite is a kind of incomplete rhythmite with scour surface. Micro-rippled stromatolitic dolostones occupy the lower part of the rhythmite, indicating the supratidal environment, whereas mega-rippled stromatolites and part of quaquaversal stromatolites constitute the upper part of it, indicating the intertidal environment.

The micrite-stromatolitic micrite rhythmite is a kind of incomplete rhythmite without scour surface. The cylindrical stromatolites and part of quaquaversal stromatolites are developed in the upper part of the rhythmites. The intergrowth of stromatolites and *Stromatopora* and the existence of coral fossils suggest the subtidal environment. Since modern cylindrical stromatolites occur principally in the intertidal zone, the alternation of *Stromatopora* and algal laminae may represent the alternation of the subtidal and intertidal environments.

The siliceous concretion-containing micrite and oncolitic micrite rhythmite is a kind of complete rhythmite in which regular spherical stromatolites occur, indicating the deeper-water environment, i. e., the shallow shelf environment.

In general, the irregular spherical stromatolites do not form a single layer by themselves. The associated sedimentary facies indicators show a shallow-water origin, or even exposed to the surface. It is clear that the stromatolites were formed in the intertidal zone.

Algal stromatolites were widely spread in the shore zone in Lechang and Yangchun areas during the early and middle Late Devonian times. At that time, the Lechang area was then in a semi-closed sea basin or a lagoon. The rippled and quaquaversal stromatolites occurred mainly in the northeastern part of it, suggesting the supratidal and intertidal environments. The cylindrical stromatolites occurred

principally near Lechang and decreased gradually southwestwards and at last they were replaced by regular spherical stromatolites. It is suggested that the lower part of the intertidal zone near Lechang passed southwestwards into the centre of a deeper-water basin. On the other hand, the chunwan area in Yangchun was then in a semi-closed gulf which was near to the land in the northeast. The algal stromatolites were developed only on the carbonate platforms on the margins of the gulf basin and wedged out rapidly southeastwards into a deeper-water basin.

During the Middle and Late Devonian times, the arid and semi-arid climates might intermittently prevail over the present-day Guandong Province. The salinity of sea water might become higher locally, or increased in the gradient coastwards, similar to that of the modern Shark Bay in West Australia where the cylindrical stromatolites are developed.