

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

震旦纪藻碳酸盐岩石的沉积作用

業治鐸 何起祥 孙国璋

一、緒 言

藻碳酸盐岩石广泛分布在许多地层中,早已引人注目。但长期以来,对其研究都偏重于生物学方面^[2,3,8,10]。许多古生物学家认为,藻类沉积具有不少生物学标志可供划分种属,并可用于地层对比,对研究前寒武纪地层颇有价值。但从岩石学的角度研究其沉积作用并用之于环境分析,尚为时不久^[4]。

近年来的工作成果表明,藻碳酸盐岩石是一种取决于一定环境因素的特定沉积,具有良好的指相意义,其平面和剖面上的消长关系可以说明气候、地形、海平面升降等地质背景,从而为古地理环境和地质发展历史的分析提供线索^[13,14]。

我国震旦纪地层中藻碳酸盐岩石分布极广,不阐明其形成作用和条件而欲解决震旦纪地层的沉积作用及其历史演化的细节是不可能的。本文试图根据燕山东段,吉林通化和辽东旅大等地区的一部分资料,对藻碳酸盐岩石的沉积机理和沉积环境作一初步探讨¹⁾。

二、藻碳酸盐岩石的主要特点

藻碳酸盐岩石是以生物—生物化学作用为主而形成的原地堆积,它包括藻礁碳酸盐岩石和含藻碳酸盐岩石两类。前者由藻集合体组成格架,其间为细粒物质充填和胶结,形成似层状礁体。后者以泥状或结晶碳酸盐基质为主,含藻体或藻迹,一般均呈广泛分布的层状构造。二者的差别主要取决于形成环境。除此之外,还有一类藻屑碳酸盐岩石,按其最终沉积形成作用,乃属以机械作用为主的生物内碎屑沉积^[1],但在共生关系上与藻碳酸盐岩石极为密切,是藻类造礁过程中一定部位的必然产物。因此可将藻碳酸盐岩石及其共生的藻屑碳酸盐岩石统称为藻礁杂岩体^[9,12],代表一定沉积环境内,一定沉积作用系统(包括生物—生物化学作用,机械作用,化学作用)所形成的一种地质体。

(一) 藻碳酸盐岩的组构

1. 藻礁碳酸盐岩石的组构

藻礁碳酸盐岩石组构的基本类型是由三个组分——藻集合体,充填物和胶结物按照一定比例和排列方式构成的(图版 I 之 3)。一般情况下,三者共存,但亦有例外。

(1) **藻集合体**: 形态多样,呈柱状、分枝状或波纹状等。构成藻礁岩的格架,一般垂直层面生长或与层面成高角度斜交。它主要是由蓝绿藻经过生物—生物化学作用而形成的^[11]。

1) 文中化学分析资料全部是长春地质学院化验室分析的;有三张照片是梁百和同志提供的,在此一并致谢。

藻集合体由基本层组成。基本层或者厚度均匀、逐层迭覆(如波纹状藻、锥状藻及部分聚环柱状藻)(图版 II 之 7、图版 I 之 4),或者顶部较厚,向外缘变薄,逐层包覆(如部分聚环柱状藻)(图版 I 之 2),形成侧壁。在形态上,一般向上弯曲,有时平展。不同类型其宽度与幅度的比值(可简称波幅比)不同,生长密度亦不同(由 1/1cm—30/1cm)。根据镜下观察,基本层具有极规则的內部构造,一般由两种不同结构和成因的碳酸盐微层过渡交替而成^[4,5],最基本的类型有下列四种:

I. 下部微层为粉砂-泥状的细粒碳酸盐集合体,粒度极细,在正交镜下呈聚合偏光现象。上部微层为结晶碳酸盐,在正交镜下呈扇形消光,说明层内晶体定向排列(图版 II 之 1)。

II. 下部微层为无色透明的方解石或白云石,有时在底部见有粉砂-泥状细粒碳酸盐集合体。上部微层为棕褐色显晶方解石或白云石,含分散有机质。在正交偏光镜下呈扇形消光,上下微层为过渡关系(图版 II 之 2)。

III. 下部微层由透明的显晶方解石或白云石组成,镶嵌结构,粒度约为 0.05—0.1 毫米,与下伏基本层之间界线清楚。上部微层由泥状碳酸盐集合体组成,粒度在 0.01—0.02 毫米左右。在某些小型聚环柱状藻中,可以看到这种泥状碳酸盐集合体同时亦构成藻间充填物(图版 II 之 3)。

IV. 基本层亦由无色和棕色结晶碳酸盐组成,但关系上与 II 型相反,棕色微层在下,无色微层在上。

总之,基本层内部均可分为两个微层,一个代表细粒碳酸盐沉积作用占优势的时期;另一个代表结晶碳酸盐沉积作用占优势的时期。二者的更迭反映了沉积作用因素的周期性改变。这种改变可能与季节有关^[4]。

重结晶作用可以破坏微层的结构,但往往不改变分散有机质的分布,因而在镜下仍可根据颜色的改变来研究微层的特征。

(2) 充填物:有内碎屑和陆源碎屑两种^[1](图版 I 之 3,5)。内碎屑中主要为粉砂-泥状碳酸盐,在小型聚环状藻碳酸盐岩中,这是唯一的充填物。其次为藻屑,长条状,往往保留残余的微层构造,偶而亦可见粉砂-泥状碳酸盐的团块。后二者粒度较大,主要见于大型聚环柱状藻碳酸盐岩中。有时在藻体之间有鲕粒充填(图版 II 之 6)和核球形藻充填(图版 II 之 5)。鲕粒是机械搅动作用的可靠标志,因此充填物的形成及分布与机械作用是有关的。

陆源充填物以棱角状石英粉砂为主,偶见长石和云母小片,其特征是粒度小,圆度差,主要见于集合体之间,有时亦见于微层内部^[1]。

充填物主要发育于聚环柱状藻碳酸盐岩中,在绝大多数情况下以内碎屑为主,当陆源碎屑含量过多时,往往会导致藻类的衰退,逐渐过渡为含藻沉积,乃至绝灭,说明海水混浊度对藻类的生长颇有影响。

波纹状、锥状碳酸盐岩一般均无充填物。

(3) 胶结物:主要成分为方解石或白云石,呈微晶或细晶结构镶嵌于充填物之间,系化学作用和生物化学作用之产物。

由上可知,藻礁碳酸盐岩的组构是由三种沉积作用形成的。每种作用均以一定的组

分为代表。分析这些组分的变化关系,就可以了解形成过程中水动力条件及沉积作用系统的变化情况,进而推断其沉积形成环境。

2. 含藻碳酸盐岩石的组构

含藻碳酸盐岩石的组构比较简单,藻集合体零星地分散于基质中,其形态因类型不同而异,基质成分一般为泥状碳酸盐或细晶、微晶碳酸盐,陆源组分很少。在这类岩石中,藻类的生物—生物化学作用仅在一些点上进行,而广泛存在的是机械作用(往往较微弱)和化学作用。

(二) 藻碳酸盐岩石的物质成分

1. 藻碳酸盐岩石的矿物成分

藻碳酸盐岩石矿物成分主要为方解石和白云石,常见分散的粘土混入物偶含陆源粉砂(以石英为主,其次为长石及云母),陆源碎屑组分一般不超过10%。

在燕辽一带,藻碳酸盐岩的矿物成分因地区、时代和藻的类型而异。从地区上看,震旦纪中世的藻类沉积在燕辽沉降带主体部分以白云质为主,向边缘至辽东一带则以方解石质为主。从时代上看,中早世以白云质为多,接近顶部方解石数量增加。从藻的类型看,波纹藻和锥状藻几乎全由白云石组成,聚环柱状藻则以方解石质为主。

2. 藻碳酸盐岩石的化学成分(表1)

不同类型藻碳酸盐岩石的化学成分有显著差别。聚环柱状藻碳酸盐岩的成分以CaO

表1 藻碳酸盐岩石的化学成分

成分	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
SiO ₂	7.90	7.74	3.15	3.30	2.94	5.36	5.47	9.90	12.38	0.34	3.08	1.32	2.51	0.54
TiO ₂	0.09	0.08	0.03	0.04	0.03	0.08	0.05	0.10	0.06	0.03	0.05			
Al ₂ O ₃	1.24	0.83	0.70	0.77	0.69	1.50	1.09	1.39	0.74	0.17	0.85	0.16	0.20	0.22
Fe ₂ O ₃	0.16	0.24			0.09	0.27	0.18	0.50	1.16	0.17	0.29	0.14	0.22	0.25
FeO	0.05	0.40	0.54	0.03	0.15	0.34	0.42	0.39	1.87	0.10	0.06			
MnO	0.04		0.04	0.04	0.04	0.01	0.04	0.05	0.06	0.01	0.03	0		0.01
CaO	49.16	49.24	42.88	50.27	51.20	28.46	50.43	47.67	28.19	30.57	51.78	30.69	30.07	31.25
MgO	0.58	0.94	8.76	2.62	2.41	19.06	1.04	0.74	17.73	21.41	1.37	21.38	21.31	21.79
K ₂ O	0.45	0.30	0.35			1.00	0.36	0.70	0.35	0.13	0.31	0.22		0.21
Na ₂ O	0.20							0.13				0.17		0.50
烧失量	39.31	39.41	43.10	41.92	41.93	42.58	40.26	38.15	38.98	46.70	42.13			
CO ₂												45.83	45.56	46.00
SO ₄												0.04	0.20	0.04
P ₂ O ₅						0.10	0.01	0.01		0.01	0.01	0.08	0	0.01
总 计	99.18	99.18	99.55	98.99	99.48	98.76	99.35	99.73	101.52	99.64	99.96	100.03	100.08	100.82
游离 SiO ₂	5.42	6.08	1.75	1.76	1.56	2.36	3.30	7.12	10.90	0	1.36	1.0	2.11	0.10

1. 通化万隆组聚环柱状藻,集合体; 2. 同1, 充填物; 3. 通化八道江组聚环柱状藻,粉红色基本层; 4. 同3, 灰色基本层; 5. 同3, 充填物; 6. 通化大阳岔组密排式聚环柱状藻白云岩; 7. 通化万隆组杂乱藻; 8. 通化万隆组聚环柱状藻,集合体; 9. 燕山龙须门大红峪组密排式聚环柱状藻白云岩(与波纹状藻白云岩甚为接近); 10. 燕山龙须门雾迷山组波纹状藻白云岩; 11. 旅大甘井子组聚环柱状藻集合体; 12. 蓟县雾迷山组波纹状藻白云岩; 13. 蓟县雾迷山组小型聚环柱状藻白云岩; 14. 蓟县雾迷山组锥状藻白云岩。

为主,一般均在 47% 以上, MgO 含量小于 20%。除 CaO , MgO , CO_2 之外的其它成分一般为 4—10%, 最多不超过 15%, 最少不少于 3.5%, 它们主要反映陆源组分的含量。看来一定数量的陆源组分是聚环柱状藻普遍特征之一。

SiO_2 的含量在 3—13% 之间, 其中部分来自粘土矿物及其它铝硅酸盐, 绝大部分来自石英。 Al_2O_3 含量一般不大于 2%, 主要构成粘土矿物。如果按照粘土矿物(伊利石, 蒙脱石)的平均化学成分来扣除构成粘土矿物所需的 SiO_2 , 则剩余的游离 SiO_2 (石英) 含量绝大部分小于 10%, 一般均在 3.3% 左右。因此陆源碎屑的含量是有严格限制的。

SiO_2 含量与 CaO 、 MgO 含量成反比关系(图 1)。 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、及 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 的含量从总趋势来看亦随碳酸盐纯度的增加而减少, 但细节上有变化。而此三者呈极为明显的正比关系, 说明它们同是来自粘土矿物(图 1)。

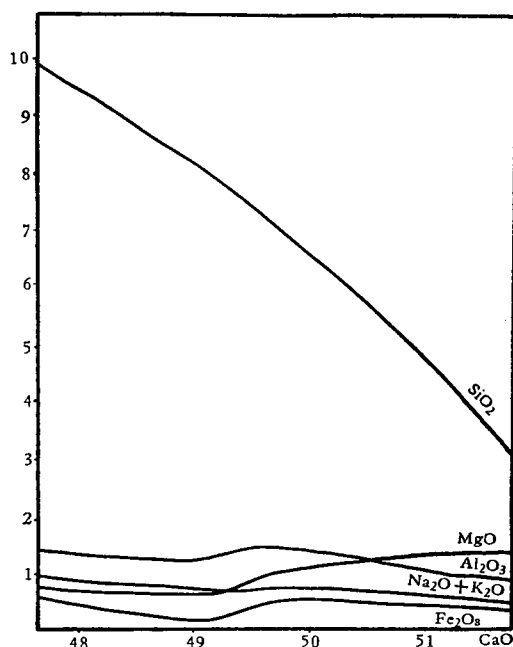


图 1 聚环柱状藻碳酸盐岩化学成分特征曲线

部分样品分析了 FeO 和 Fe_2O_3 。大体上, 随着 MgO 的增加, FeO 亦相应增加, 甚至超过 Fe_2O_3 。因为 $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ 是 E^h 值的一个重要指标, 因而 MgO 亦可作为分析环境物理化学条件的重要参数。

聚环柱状藻集合体和充填物成分有差别。集合体含 Fe_2O_3 、 K_2O 、 Na_2O 较高, SiO_2 亦较多。但经粘土矿物平均成分的计算后, 则是充填物剩余的游离 SiO_2 高于集合体的(表 1 样品 1, 2)或者数值相近(表 1 样品 3, 4, 5)。充填物中石英等碎屑矿物较高, 集合体中细分散粘土含量较高, 这与镜下鉴定资料一致。

根据通化地区的微量元素分析资料, 聚环柱状藻礁碳酸盐岩石中常有围岩中少见的 Pb 、 Cu 、 Co 、 Cr 、 Ni 、 V 等元素, Ti 亦高于围岩值, 与剖面上富含泥质的岩石相似。这种现象可能与粘土矿物对阳离子的吸附作用有关。因此一定含量的粘土组分也是藻类沉积

的特征之一。

样品 3, 4 为同一集合体不同迭层的分析结果, 其中粉红色微层为白云质交代作用的产物。显然, 交代过程中有了成分的改变。随着 MgO 的增加, SiO_2 降低, FeO 增高, 并有部分 K_2O 加入, 说明交代时所处的条件与沉积过程中所处的条件基本上是一致的。鉴于藻类沉积中白云质交代, 硅质交代颇为发育, 在处理化学分析资料时必须小心。

波纹状藻碳酸盐岩的化学成分的最大特点是 MgO 含量高, 一般均在 21% 以上; SiO_2 含量极低, 不超过 2%; Al_2O_3 含量一般不超过 0.5%; Fe_2O_3 , Na_2O , K_2O 含量也甚微。作粘土矿物折算后, 剩余的游离 SiO_2 不超过 1.6%。 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 、 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 的含量呈明显的正函数关系。而 SiO_2 的含量则与上述氧化物的含量变化相反。

波纹状藻含有机质较多, 迭层色深, 击之有沥青臭, 镜下可见基本层内有褐色细分散有机质。硅质交代现象普遍。

MgO 含量高, 陆源组分含量低, 含有机质较多, 是波纹藻碳酸盐岩的主要成分特征。

锥状藻碳酸盐岩在燕山分布甚广, 但化学分析资料尚少。其特征与波纹藻碳酸盐岩类似, 但少有机质。

从几种主要藻类碳酸盐岩的化学成分特征(图 2)可以看出, 除 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 和 Fe_2O_3

外, 化学成分的变化均极有规律, CaO 与 MgO 成明显的反函数关系, SiO_2 与 Al_2O_3 成正函数关系。

综上所述, 可以看到以下几个基本事实:

(1) 不同藻类型具有不同的组构特征, 一定的集合体形态必然与一定的充填物的数量和成分相配合。充填物、集合体和胶结物三者是三种沉积作用的产物, 因此藻碳酸盐岩石的一定形态类型服从于一定的沉积作用系统的特征; (2) 不同类型的藻碳酸盐岩有不同的化学成分和矿物成分, 特别是 MgO 、有机质含量和陆源碎屑的含量。碳酸盐岩石是一种盆地内形成的岩石, 其成分是环境的重要标志。从形态与成分之间具有密切联系这一点来看, 不同形态藻碳酸盐岩石, 其形成环境的物理化学特征是不同的; (3) 分别由化学成分和组构特征推演出来的结论具有极大的一致性。在组构方面, 充填物少, 基本层平缓, 代表机械作用微弱, 环境比较安定, 例如锥状藻和波纹藻碳酸盐岩。而具

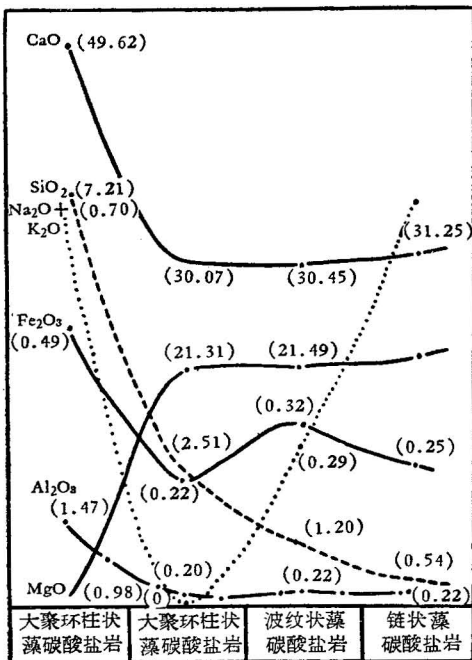


图 2 一些主要藻碳酸盐岩的化学特征曲线。
点后的数字均代表百分含量

有这些组构特征的类型在化学成分上, 也恰恰是富 MgO 和少陆源组分的, 也代表比较安静的环境。

这些基本事实使我们确信, 藻集体的形态主要取决于形成环境, 而不是取决于生物种属。现代沉积研究物的曾经发现同一藻体内有二十多种不同“种属”的藻相共生, 对我们

应当不无启发^[14]。

三、藻碳酸盐岩石的分类命名

过去,许多人把藻碳酸盐岩石称为迭层石(Stromatolite)。“迭层石”一词最早由卡尔柯斯基(1908年)列入地质文献,用以指一种成因不明的迭层构造。但是藻碳酸盐岩石并不均具迭层构造,而具迭层构造的岩石亦非均属藻类沉积^[14],因而笔者认为继续使用这一名词是不合适的。

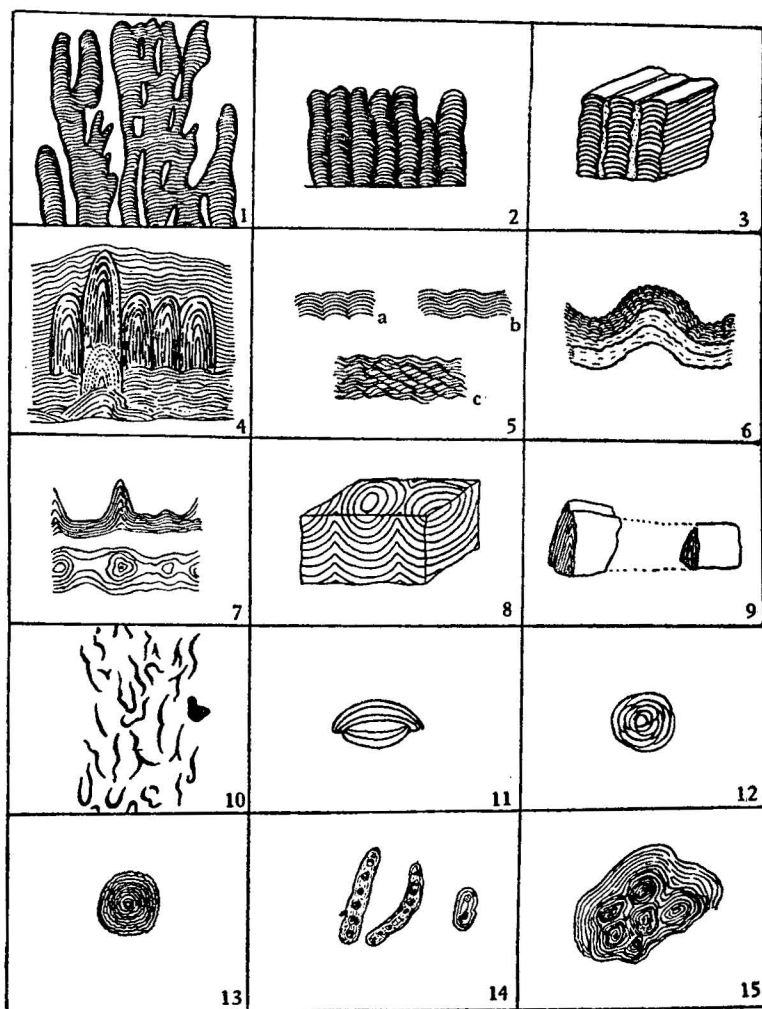


图3 藻碳酸盐岩类型素描图

1. 间隔式小型聚环柱状藻白云岩(唐山, Z_{2w} , $\times 1/2$); 2. 密排式聚环柱状藻白云岩(平泉 Z_{1g} $\times 1/10$); 3. 墙状藻白云岩(昌平 Z_{2w} $\times 1/30$); 4. 弹状藻白云岩(滦县杨柳庄 Z_{2w} $\times 1/80$); 5. 波状藻白云岩类 a. 半波式, b. 全波式(龙须门 Z_{2w} $\times 1/5$), c. 拟波状藻白云岩(唐山 Z_{2w} $\times 1/5$); 6. 复波状藻白云岩(延庆 Z_{2w} $\times 1/15$); 7. 圆锥状藻白云岩(唐山 Z_{2w} $\times 1/15$); 8. 稜锥状藻白云岩(唐山 Z_{2w} $\times 1/20$); 9. 脊状藻白云岩(唐山 Z_{2w} $\times 1/20$); 10. 含丝纹藻白云岩(唐山 Z_{2w} $\times 1/2$); 11. 简单核球形(两向迭覆)藻; 12. 简单核球形(团花状)藻; 13. 简单核球形(同心状)藻(唐山 Z_{2w} $\times 1/7$); 14. 串球状复核球形藻(唐山 Z_{2w} $\times 1$); 15. 多核核球形藻(唐山 Z_{2w} $\times 1/5$)。

瓦尔柯德和芬顿夫妇最先将二名法用于“迭层石”的分类和命名。苏联学者马斯洛夫、克雷洛夫等亦沿用这一方法,至今划分了许多形态种属。以后沃罗格金等虽然反对根据集合体形态来鉴定藻类沉积,但命名上依然使用了二名法。

不少学者曾对上述分类命名状况提出质疑^[4]。事实上,藻碳酸盐岩石中藻集合体的形态区别主要取决于沉积环境,因此按照生物二名法的原则来命名藻类沉积具有很大的人为性。在野外,常可见形态“属”在纵向或横向上连续过渡,使命名工作很难进行。例如瓦尔柯德本人就对同一样品数易名称,其它类似例子也不少见,引起了许多混乱。这些事

表 2 藻礁碳酸盐岩石分类表

大 类	形 态	集合体排列特征	基本层特征	进 一 步 划 分 的 标 志	成 因 特 征
藻 礁 碳 酸 盐 岩	聚环柱状迭层藻 碳酸盐岩	密 排 式	迭 覆 型	按大小、充填物数量和成分	内 碎 屑 及 陆 源 碎 屑 含 量 减 少 搅 动 强 度 减 弱 深 度 增 加
			包 覆 型	按大小、充填物数量和成分	
		间 隔 式	迭 覆 型	按大小、充填物数量和成分	
			包 覆 型	按大小、充填物数量和成分	
	墙状迭层藻碳酸 盐岩	密 排 式	迭 覆 型		
			包 覆 型		
		间 隔 式	迭 覆 型		
			包 覆 型		
	瓣状迭层藻碳酸 盐岩	间 隔 式	迭 覆 型	按大小、充填物数量和成分	
			包 覆 型		
		密 排 式	迭 覆 型	按大小、充填物数量和成分	
			包 覆 型		
	波 纹 状迭层 藻碳酸 盐岩	密排式(半波)	迭 覆 型	按大小、充填物数量和成分	
			包 覆 型		
		间隔式(全波)	迭 覆 型	按大小、充填物数量和成分	
			包 覆 型		
		密排式(半波)	迭 覆 型	按大小、充填物数量和成分	
			包 覆 型		
		间隔式(全波)	迭 覆 型	按大小、充填物数量和成分	
			包 覆 型		
	复波状的	密排式(半波)	迭 覆 型	按大小、充填物数量和成分	
			包 覆 型		
		间隔式(全波)	迭 覆 型	按大小、充填物数量和成分	
			包 覆 型		
		密排式(半波)	迭 覆 型	按大小、充填物数量和成分	
			包 覆 型		
		间隔式(全波)	迭 覆 型	按大小、充填物数量和成分	
			包 覆 型		
	锥 状 迭层藻 碳酸盐 岩	密 排 式	迭 覆 型		
			包 覆 型		
		间 隔 式	迭 覆 型		
			包 覆 型		
		密 排 式	迭 覆 型		
			包 覆 型		
		间 隔 式	迭 覆 型		
			包 覆 型		
	脊 状	密 排 式	迭 覆 型		
			包 覆 型		
		间 隔 式	迭 覆 型		
			包 覆 型		
	大缓弧状迭层藻 碳酸盐岩	密 排 式	迭 覆 型		

注: 1. 实际工作时,要先按成分划分为藻礁白云岩和藻礁灰岩。

2. 为简便计,主要名称中“迭层”二字在应用时可简略,如“波纹状藻白云岩”。

实都告诉我们要按照事物的本来面目来重新考虑这一问题,亦就是要从藻碳酸盐岩石的成因出发,去研究分类命名问题。

1964年, B. W. 洛岗, R. 里查克, R. N. 金斯堡等摒弃了二名法的系统, 提出一个根据几何半球体和球体的结合关系来命名“藻迭层石”的方案^[4]是值得引起重视的。

如前所述,藻集合体的形态主要与环境条件有关,因而其分类亦必须把它当作一个代表沉积环境的地质体来看待。但环境和条件特征反映在岩石的成分、结构、构造上,因而分类的具体原则还必须从岩石特征入手。笔者在分类时考虑了下列原则: (1) 首先可按成分分为藻灰岩和藻白云岩; (2) 根据藻集合体与基质的量比分为藻礁灰岩(白云岩)和含藻灰岩(白云岩); (3) 根据集合体形态, 迭层发育情况, 集合体的排列方式等作进一步划分; (4) 根据形态细节的差别和规模大小划分类型; (5) 更细致的划分可考虑充填物的数量和成分。按此原则初步提出一个分类表(表2, 3)。主要类型的形态见图3。

表3 含藻碳酸盐岩石分类表

大 类	形 态	集合体特征	基本层特征	进 一 步 划 分 标 志
含 藻 礁 灰 岩	含核球形藻碳酸盐岩	简单核球形	两向迭覆的	按大小
			团花状的	按大小
			同心状的	按大小
		复核球形	串珠状的	按大小
			多核状的	按大小
	含弧形藻碳酸盐岩			
	含丝纹藻碳酸盐岩	图版 II 之 4		
	含网带藻碳酸盐岩			
	含杂乱藻碳酸盐岩(?)	图版 I 之 1		

注: 实际工作时要先按成分划分为含藻白云岩和含藻灰岩。

四、藻碳酸盐岩石及其共生岩石的纵向韵律组合

(一) 研究意义及方法

探讨一种岩石的沉积作用,最重要的是把它当作一个地质体,与其上下围岩结合起来研究。很显然,沉积作用系统是一种动态平衡。这种动态平衡的破坏必将导致岩石类型的变化。反之,通过岩石类型的变化亦可了解沉积作用系统的总况。

藻碳酸盐岩石的成分和组构都是沉积作用系统的产物。形成藻碳酸盐岩石必须要求系统内部各种作用的强度不超过一定的范围。如果某种沉积作用超越其范围,则必将导致藻碳酸盐岩石的消失而代之以新的岩石类型。例如当机械作用强度超过限度时,藻碳

酸盐岩石即可为生物礁碳酸盐岩所代替。

沉积作用系统的变化是连续的,具有一定的韵律性。因此在没有沉积间断的情况下,岩石类型的更迭也是连续的,是有韵律性的。

为了研究纵向韵律组合,首先需要确定各种岩石类型的微相序(部位)。微相序的划分可以深度和搅动强度为主要标志。在确定微相序以前,首先进行横向追索,确定微相在平面上的递变情况;再做岩石纵向共生的频率统计,通过统计资料对比,根据某些微相部位已知的岩石类型来确定未知岩石的微相序。在微相序确定之后,才能编制韵律曲线,进行纵向韵律组合分析。

(二) 藻碳酸盐岩石及其共生岩石韵律组合的几种主要类型

燕山辽吉地区藻碳酸盐岩石及其共生岩石的韵律组合可以分为整韵律和半韵律组合两类:

1. 整韵律组合: 藻碳酸盐岩与其上下围岩在微相序上连续过渡。其中又可分为两种,一种组合表示海水由浅变深,又由深变浅的递变顺序。如图4,含砾内碎屑白云岩→粗晶白云岩→含核球形白云岩→锥状藻白云岩→大缓弧状藻白云岩→锥状藻白云岩→含核球形藻白云岩→粗晶白云岩,反映波浪作用基准面或海平面的一次完整的振荡。

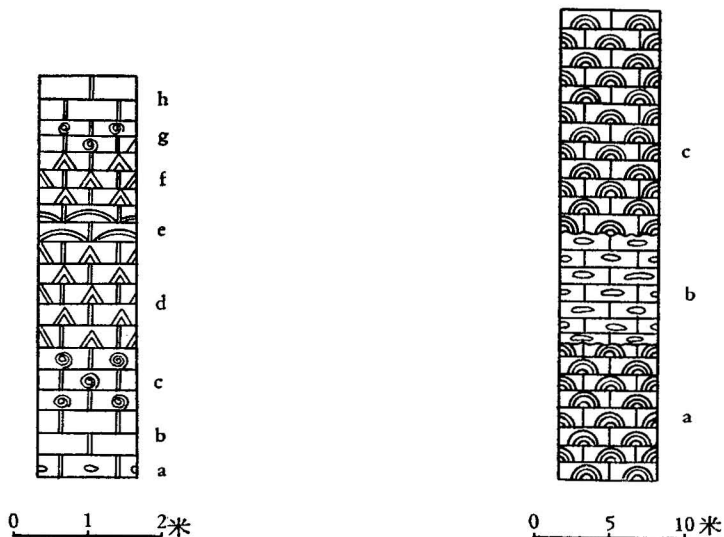


图4 唐山震旦系雾迷山组整韵律组合

a. 含内碎屑白云岩; b. h. 粗晶白云岩;
c. g. 含核球形藻白云岩; d. f. 锥状藻白云岩; e. 大缓弧状藻白云岩。

图5 浑江统八道江组中部之整韵律(通化)

a. 浅灰色厚层块状构造之层状藻礁; b. 浅灰色白云质砾灰岩; c. 浅灰色厚层块状构造之层状藻礁。

另一种组合,表示海水由深而浅,又由浅而深的递变顺序,如图5,通化八道江组中即有聚环柱状藻灰岩→白云质砾灰岩→聚环柱状藻灰岩的韵律组合。

2. 半韵律组合:

A. “海进型”半韵律组合¹⁾: 由下而上岩石类型的变化反映海水逐渐加深。至韵律顶部, 较深水岩石类型突然结束, 为相序上不连续的岩石所覆盖。如图 6, 紫红色含石英砂泥灰岩 → 蓝灰色泥灰岩 → 含泥硅质结核白云岩 → 细粒白云岩 → 波纹藻白云岩 → 含砾白云岩。

B. “海退型”半韵律组合: 情况与 A 相反。韵律以较深水岩石类型开始, 逐渐递变为较浅水的微相, 然后突然结束, 为相邻的较深水微相所覆盖。如图 7, 波纹状藻白云岩 → 小聚环柱状藻白云岩 → 粗晶白云岩 → 含内碎屑白云岩 → 波纹状藻白云岩。

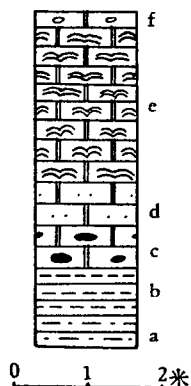


图 6 唐山震旦系雾迷山组“海进型”半韵律组合

a. 紫红色含石英砂岩; b. 蓝灰色泥灰岩; c. 含泥硅质结核白云岩; d. 细粒白云岩; e. 波纹状藻白云岩; f. 含砾白云岩。

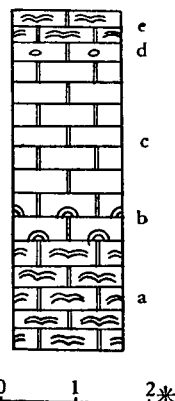


图 7 唐山震旦系雾迷山组“海退型”半韵律组合

a.e. 波纹状藻白云岩; b. 小聚环柱状藻白云岩; c. 粗晶白云岩; d. 含内碎屑白云岩。

以上韵律组合类型反映了藻礁碳酸盐岩石的形成过程。例如上述“海进型”半韵律组合, 开始为滨海动荡环境, 以机械作用为主; 然后逐渐过渡为浅海静水环境, 碎屑组分减

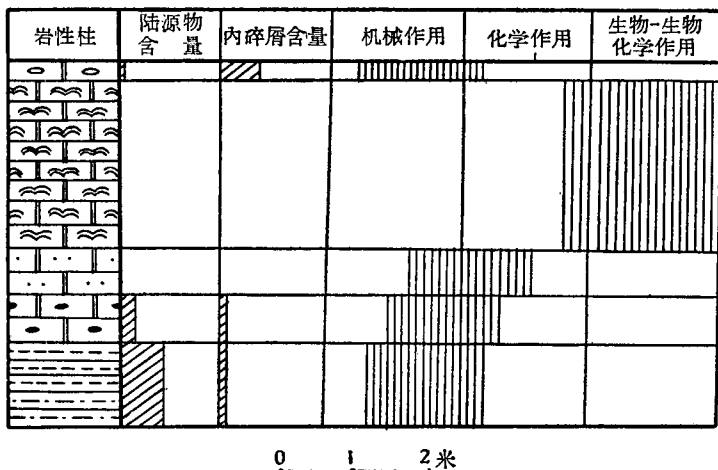


图 8 “海进型”组合沉积作用系统变化示意图。图例同 6

1) 这里所谓“海进”、“海退”仅指海水深度的变化, 不表示海水在平面上的进退, 仅系借用。实际上, 海水进退不能单从剖面上分析。

少,生物—生物化学作用渐占优势,形成波纹藻沉积;接着海水逐渐变浅,机械作用又占主导地位,形成砾碳酸盐岩沉积。其沉积作用系统的相应变化如图 8 所示。

韵律组合类型的研究不仅有助于了解碳酸盐岩石的形成过程,而且还有助于岩石地层学的研究及建造类型的划分。在通化地区,二道江、青沟子、板石沟、大阳岔等剖面极难对比,但是根据韵律组合类型的研究,找出了几个剖面的对比关系,并恢复了平面上相的变化特征(图 9)。

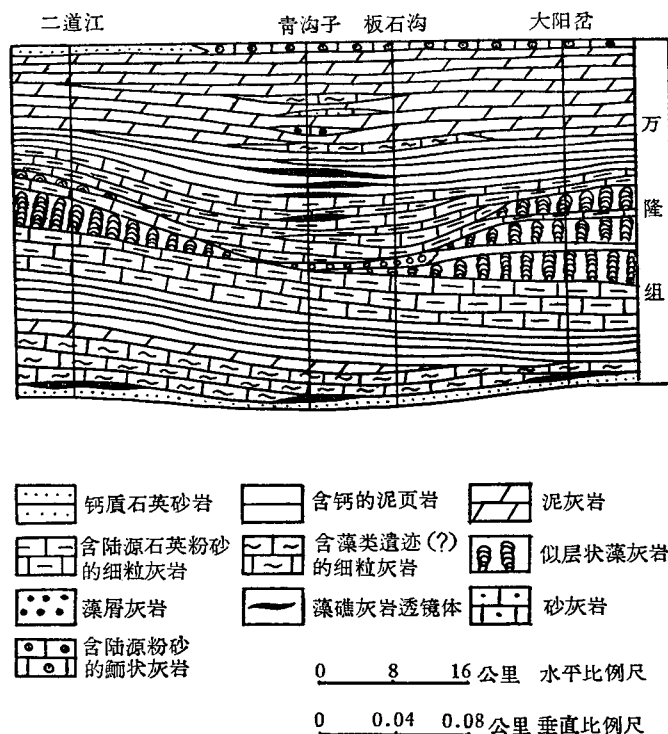


图 9 通化震旦系万隆组剖面图

五、藻碳酸盐岩石的沉积形成作用和形成条件

现实主义原则和历史对比法是分析藻碳酸盐岩石形成作用和条件的方法学基础。因此在讨论古代藻的形成作用和条件之前有必要先简述一下现代藻类沉积的主要特点。

现代造礁藻类有红藻、绿藻、蓝绿藻三种,均属低等植物。古代造礁藻主要是蓝绿藻。这是一种最原始的藻类。

现代造礁藻的生活特征可归纳如下^[11,13,16]:

(1) 由于植物的生命活动必须以光合作用为基础,因而其分布在深度和纬度上均有一定的范围限制。

现代藻生存的下限为水深 200 米。在这深度以下,阳光透射强度太弱,藻类实际上难以生存。但藻类繁盛生长的范围远小于此值,约在 30 米以内。由于红藻可以利用蓝光进行光合作用,所以其深度范围较大。

(2) 藻类生长需要温暖的气候条件,因而主要分布在热带和亚热带地区,但其条件不及珊瑚严格。如 *Lithothamnium* 即可在极圈内生长(挪威北海岸)。

(3) 藻类对含盐度的适应能力较强,正常海内固然极为发育,但淡水或超含盐度的闭塞海湾内亦可生长。例如澳大利亚夏克湾(Shark Bay)有一种“*Cryptozoon*”即可在含盐度高达 5.6—6.5% 的闭塞海湾内生长^[13]。

(4) 藻类生命活动需要氧和 CO_2 的循环,所以水体必须有一定搅动强度以保证水体的垂直循环,但搅动强度过大亦不利于生长。

(5) 藻类需要清澈的水体,以保证透射光有一定的强度。如果海水过于混浊,对藻类生长不利,因而水中陆源物质的含量不能过高。

(6) 藻类生长基底无特殊要求,可以是砂质海底,也可以是软泥海底。

(7) 藻类的生长速度很大。法国马尔达维岛(Maldives Island)有一种红藻,生长速度可达 26.5 毫米/年之巨^[16]。

总之,藻类生长范围极广,但仍然受到阳光、温度及海水深度、搅动强度等条件的控制,其中尤以深度和搅动强度最为重要。可以肯定,藻类大量繁殖并形成藻礁是有条件的。较为洁净,含盐度接近正常,具有一定的搅动强度的温暖浅水对其生长最为有利。

讨论古代藻碳酸盐岩石的形成条件和形成作用,一方面要考虑现代资料,另一方面要根据岩石固有的成分、组构和共生组合特征来分析。

根据现代和古代资料的分析,生物—生物化学作用在形成藻碳酸盐岩石中占主导地位。这种作用体现在两方面,一方面是藻类生长过程中吸收 CO_2 进行光合作用,提高介质的 pH 值,促使碳酸盐从重碳酸盐淤泥中发生沉淀(在这一过程中受到机械作用的搅动和筛选)。另一方面,藻类细胞和丝状粘膜物质胶结着碳酸盐颗粒和部分细分散的粘土物质,从而构成藻的集合体,两种作用交替进行,形成了基本层内部微层的更迭。

藻类是一种单细胞生物,本身并无一定的硬体,因而藻细胞对集合体形态的意义不宜过分夸大。在这一点上,绝不能把藻礁沉积和珊瑚礁同日而语,后者以生物建造作用(Bioconstruction)为主,其硬体构成了礁体的基本格架。在藻礁形成过程中,除了生物—生物化学作用外,机械作用亦极重要。例如聚环状藻之所以呈柱状,就与机械作用较强有关。聚环柱之间的沟槽乃是经常性水流循环的通道(图 4, 9, 10),藻类无法在其中生长繁殖,当水流作用减弱时,即可见到聚环柱状藻过渡为波纹状藻的现象^[13,14]。

一定搅动强度是藻类生存的重要条件之一,其标志为各种碎屑充填物。但搅动强度必须有所限制,过大时,即引起原生沉积的破碎而不利其生存(图 10)。

定向水流的有无,意义并不大。若有,亦不宜过大,特别是携带陆源物质过多时,将使海水透明度降

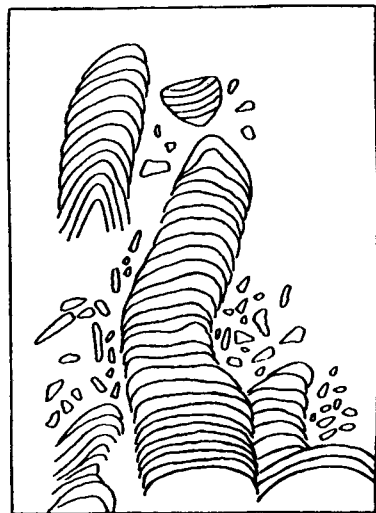


图 10 藻类生长过程中的同生破碎作用
通化万隆组, 1:2。

低而使藻类难于生存。这就是陆源碎屑沉积中缺乏藻类沉积的重要原因。

纯化学作用的意义较难估计。在藻礁沉积中,要将纯化学作用和生物化学作用区分开是极困难的。有部分胶结物的形成可能与之有关。

由上可知,藻礁沉积的组构和集合体形态主要取决于生物—生物化学作用和机械作用的矛盾统一。而何种作用为主又取决于环境特点。

沉积环境的分析应从分析环境的物理参数和物理化学参数入手。但目前对这些资料还研究得不够,根据初步归纳,作为形成条件分析的标志有:

(1) 成分: 白云质和有机质含量较高,反映深度较大,搅动强度较小;

(2) 组构: 内碎屑组分的多少和大小,反映搅动强度大小,陆源充填物的多少和大小反映携带水流的强弱;

(3) 集合体大小和排列方式: 集合体粗大,间隔式排列,反映深度小、水流活跃的开阔环境;而集合体小,密集排列则反映深度偏大,水流活动微弱。

(4) 共生岩石的特征: 与粗粒内碎屑岩紧密共生者,一般深度较浅,搅动强度较大。

(5) 基本层: 基本层密度大,幅度小,形态规则反映生长速度较慢,偏平静;反之亦然。

聚环柱状藻碳酸盐岩石的成分以 CaCO_3 为主,常有碎屑充填物,在剖面上与藻屑灰

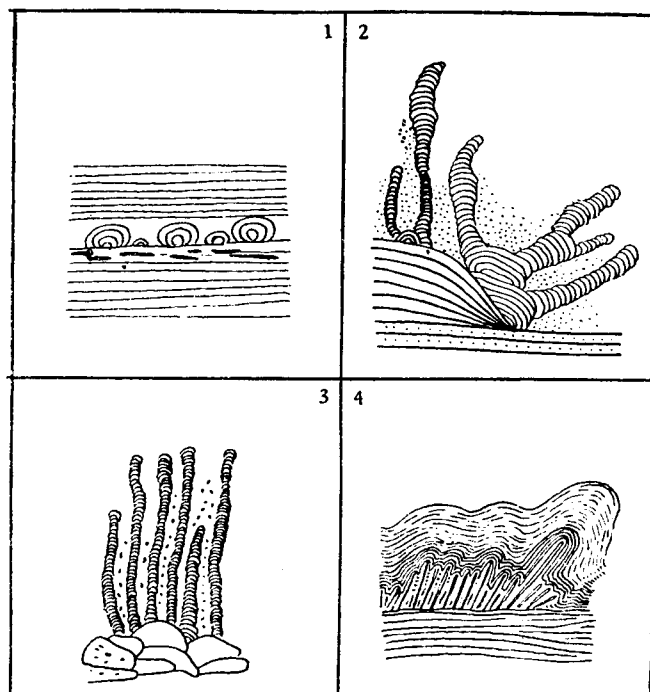


图 11 藻类的生长基底

- ① 藻类在软泥海底上生长通化八道江镇北,下清潭江统 1:20
- ② 藻类在石英砂海底上生长通化万家屯南,万隆组底部 1:3
- ③ 藻类在灰岩砾石上生长通化万家屯南万隆组底部 1:10
- ④ 藻类在藻屑上生长燕山龙须门雾迷山组中部 1:3。

岩共生,主要形成于开阔海区,水流搅动强度较大。

波纹状藻碳酸盐岩石成分以白云质为主,含有机质较高,基本层密度大,无碎屑充填物,剖面上与细粒碳酸盐岩石共生,说明形成深度较大,较为闭塞平静,pH 值偏高,含盐度亦较大。

核球形藻形成于搅动环境。生长过程中,藻体在海底不断滚动,因而迭层可从多方面逐层包复,以团花状核球形藻最为明显。代表较浅的水下环境。

从岩石共生组合来看,区内所有藻碳酸盐岩石均属浅水沉积。形态不同主要反映深度、搅动强度、盆地开阔程度的变化(表2)。

与现代沉积资料相似,古代藻对生长基底一般亦无特殊要求,既可在砂质海底生长,亦可在泥质海底生长,或者附着在一些砾石、藻屑上生长(图11)。

六、结 束 语

第一,藻碳酸盐岩石的类型不同,其成分、组构、共生岩石都不一样,显然说明类型受着环境的严格控制,而非生物种属演化的结果,因而是相和古地理分析的良好标志。它不仅能说明当时的沉积深度和海底地形,而且可以说明介质的物理化学性质和水动力条件。不研究藻类沉积及其共生组合的特征,要阐明含藻地层的沉积环境是不可能的。

第二,藻碳酸盐岩石类型及其共生岩石的纵向韵律特征可以作为一定范围内进行地层对比的良好标志。关于大区域对比问题,因为藻类沉积不同于一般生物化石,尚需进一步研究,但在一定范围内进行这种对比,不仅可以,而且相当有效。不过应多注意韵律组合的研究。

第三,藻碳酸盐岩石及其共生组合的研究是恢复地质发展史,从而研究海面升降乃至地壳运动的一种有效标志。不能认为藻碳酸盐岩石韵律组合是地壳运动的直接反映,但它确可说明波浪作用基准面及海平面的升降。通过面积上的工作,找出海平面升降原因,就可以找出它与地壳运动之间的关系。

除此之外,藻碳酸盐岩石的研究还有助于对当时古气候,古大气成分的了解。白云岩和藻类沉积在震旦纪特别发育,很可能与当时大气层的状况有关。

藻碳酸盐岩石不仅发育于震旦纪地层中,而且在其它地层内亦可见及。二次世界大战后,石油调查工作证实了礁块作为一种油滞的重要意义。藻礁沉积是否也与其它礁块具有同等意义,是值得研究的。

参 考 文 献

- [1] 业治铮、孟祥化、何起祥 1964 石灰岩的结构成因分类。地质论评,第22卷5期。
- [2] 沃罗格金 1960 震旦纪藻类研究的某些结果和研究方法。古生物学报,第8卷1期。
- [3] 梁玉左 1962 震旦纪古藻化石的研究及新资料。中国地质,第8—9期。
- [4] Carozzi A. V. 1960 Microscopic Sedimentary Petrography.
- [5] Clark D. L. 1956 The Curley Limestone. Utah Sed. Petro. Jour. Vol. 26.
- [6] Cloud P. E. 1950 Facies relationships of Organic reef, Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol. Vol. 36 p. 2125—2149.
- [7] Cumings E. R. 1932 Reef or Bioherm. Bull. Geol. Soc. Am. Vol. 43 p. 331—352.
- [8] Fenton C. L. and Fenton M. A. 1939 Precambrian and Paleozoic algae, Bull. Geol. Soc. Am. Vol. 50 p. 89—126.

- [9] Henson F. R. S. 1950 Cretaceous and Tertiary Reef Formation and Associated sediments in Middle East. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol. Vol. 34 p. 215—238.
- [10] Johnson J. H. 1937 Algal and Algal Limestone of South Park. Bull. Geol. Soc. Am. Vol. 48 p. 1229.
- [11] Johnson J. H. 1951 An Introduction to the study of organic Limestone. Quarterly of the Colorado school of mines. Vol. 46 No. 2.
- [12] Link T. A. 1950 Theory of Transgressive and Regressive Reef (Bioherm) Development and Origin of Oil. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol. Vol. 34 p. 263—294.
- [13] Logan B. W. 1961 Cryptozoon and associated stromatolites from the recent Shark Bay, West Australia. Jour. Geol. Vol. 39 p. 517—534.
- [14] Logan B. W., Rezak R. and Ginsburg R. N. 1964 Classification and Environmental Significance of Algal Stromatolites. Jour. Geol. Vol. 72 No. 1 p. 68—83.
- [15] Pettijohn F. J. 1957 Sedimentary Rock.
- [16] Termier H., Termier G. (Translated by D. W. Humphries, E. E. Humphries) 1963, Erosion and Sedimentation.
- [17] Наливкин Д. В. 1956 Учение о Фациях.

SEDIMENTATION OF SINIAN ALGAL CARBONATE ROCKS

YEH CHIH-CHENG HO CHI-CHIANG SUN KAO-CHANG

(Abstract)

By means of petrographical methods, this paper deals with the sedimentary processes and depositional conditions of Sinian algal carbonate rocks which are widely distributed in Northern and Northeastern China. Their sedimentary environments are also analyzed.

Algal carbonate generally consists of three basic components, namely algal aggregates, fillings and cements. They are in definite proportion and arrangement. Each component is resulted from a dominant sedimentary process. All algal aggregates are composed of a number of elementary layers which are always formed by two microlayers, representing the products of bio-chemical process of algal activity during the periodic change of two different seasons. Fillings among the aggregates consist of intra-detritus and terrigenous detritus, showing that the mechanical process has clearly occurred during the deposition of algal aggregates. Cements, mainly composed of microcrystalline or crystalline carbonates, were formed by pure chemical or/and bio-chemical process. All of these three processes construct a certain system of sedimentary processes representing a system of dynamic equilibrium under a certain condition and result in the formation of different kinds of algal carbonate rocks.

The facts that the mineralogical and chemical compositions vary from different form of algal aggregates and different proportion of basic components in the different kinds of algal carbonates, and do not connect with certain stratigraphical succession, give us the impression that the differences in the form of algal aggregates are probably due to the variation of sedimentary condition rather than the change of "genera" or "species". Therefore, the binominal system applied to the classification and nomenclature of algal carbonates seems not suitable. According to the petrographical characteristics of algal carbonates, a new devices has been suggested.

Many distinguishable rhythmic characters showing on the vertical section of algal car-

bonates and their associated rocks were due to the variation of the system of sedimentary processes. Accordingly, the geological background of climate, topography and change of sea level etc. has been discussed.

A comparison of the algal carbonates and recent algal sediments shows that they have a similar diagnostic of shallow water deposits. The morphological differences of algae may be expected as valuable criteria for environmental studies, because they were mainly effected by the variation of depth of water, intensity of agitation and degree of basin opening. Concentric cylindric algal (*Collenia*) carbonate rock is chiefly CaCO_3 in composition, frequently mixed with detritic fillings, associated with algal fragmental limestone in the vertical section, and mainly deposited in the environment of open sea where the agitation of sea water is rather strong. Rippled algal carbonate rock contains higher MgO and much organics, with little or no detritic fillings, always associated with fine grained carbonates, and is usually deposited in a calm and isolated basin with deeper water. Concretionary algae were deposited in the agitated environment of more shallow water.

图 版 I 说 明

1. 含杂乱藻灰岩,藻体杂乱,风化面上突出。吉林,通化,震旦系万隆组。1:1。
2. 聚环柱状藻灰岩,基本层理为包裹型,向上逐渐庞大,辽宁金县南山震旦系十三里台组。(梁百和摄)
3. 藻礁灰岩的组构, a. 藻体; b. 充填物; c. 胶结物。
4. 锥状藻白云岩,基本层理为迭覆型。顶角约为 30° 左右。辽宁金县大李家屯采石场,震旦系十三里台组。(梁百和摄)
5. 聚环柱状藻灰岩,基本层理为迭覆型,具有极为明显的充填物。辽宁金县大李家屯采石场,震旦系十三里台组。(梁百和摄)

图 版 II 说 明

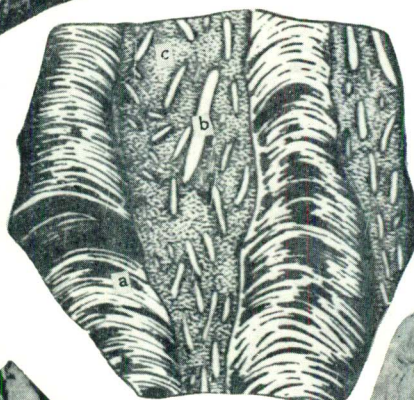
1. 基本层内部结构之一。下部微层为粉沙泥状白云石集合体,上部微层为结晶碳酸盐。蓟县雾迷山组。 $d = 4.2$ 毫米,单偏光。
2. 基本层内部结构之二。下部微层为无色透明白云石,底部有时具粉沙泥状碳酸盐集合体(A),上部微层为棕褐色显晶方解石(图上用小点表示)。昌平雾迷山组。 $d = 4.2$ 毫米,单偏光。
3. 基本层内部结构之三。下部微层为透明显晶白云石,上部微层为泥状碳酸盐集合体,后者同时亦呈充填物出现。昌平雾迷山组。 $d = 4.2$ 毫米,单偏光。
4. 含丝纹状藻灰岩。呈柔软的丝纹状,成分以方解石为主,上部层理绕藻体发生弯曲。吉林通化震旦系万隆组。
5. 有核球形藻充填的聚环柱状迭层藻。唐山 Z_{2w} 。1:5。
6. 藻体之间的鲕状充填物。1. 含泥质的细粒白云岩; 2. 鲕状白云岩; 3. 弧状藻白云岩。滦县赵百户营高于庄组顶部。1:20。
7. 波纹状藻白云岩。A 为同生破碎作用形成的藻屑。基本层理呈迭覆型,全波状延续。燕山龙须门震旦系雾迷山组。 $\times 2$ 。



1



2



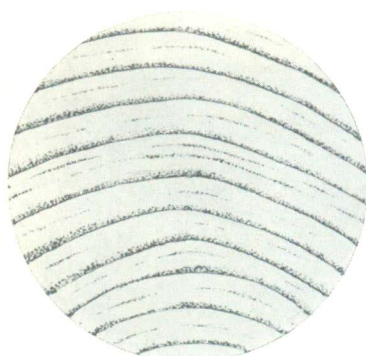
3



4



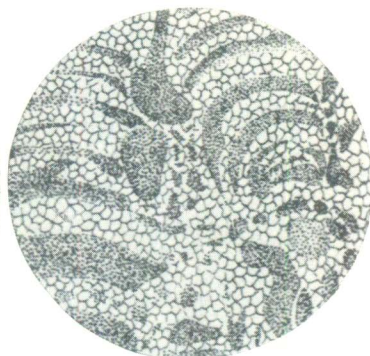
5



1



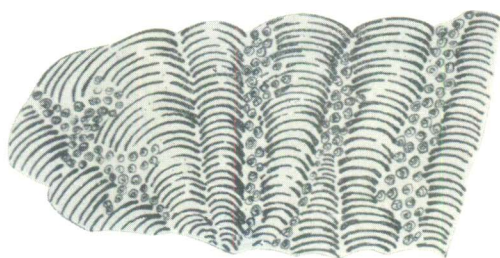
2



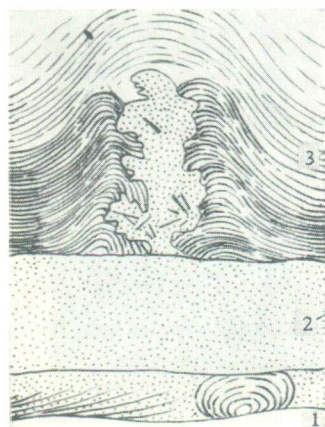
3



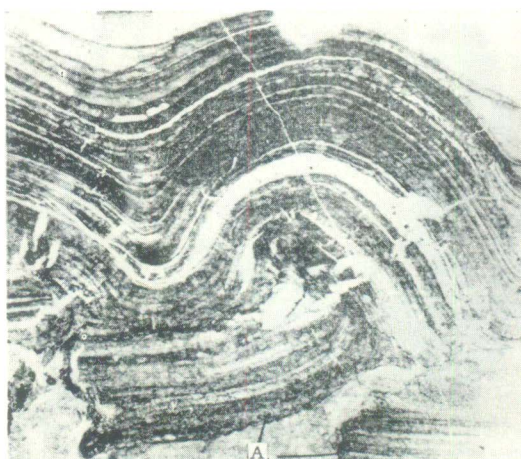
4



5



6



7