

湘西花垣地区下寒武统清虚洞组生物丘钙藻形态群与环境群带的划分及意义

王剑

庄汝礼 劳可通 龙国华

(成都地质矿产研究所)

(湖南四〇五地质队)

引言

生物作为一种举足轻重的判别沉积环境的标志,已为广大沉积学者所公认。然而,这种标志是通过古生物与其有亲缘关系的现代生物的生活环境的对比及可靠的相标志互为验证而得到的。对于那些早已绝种而无法与现代生物生活环境参照对比的生物来说,研究形态群与环境的关系显得格外重要而有意义。

作者自1986—1988年在湘西花垣地区的地质调研中,发现该区19个钙藻属种据其形态特征可以划分为四个群七个亚群。这些形态群在剖面上有某种规律性的排列分布,详细的研究又证实了这种排列分布与一定的沉积环境关系密切,从而作者厘定了“与一定的环境相适应的一个或几个形态群(或亚群)构成环境群带”这样一个概念。工作区内生物丘体由四个环境群带所组成。这种由群带确定的生物丘环境分带特征,不同于生物礁的能量分布模式。有些学者(周振冬等,1983;舒见闻等,1984;孙玉娴等,1985;曾允孚等,1985)认为该区发育的藻类构成了碳酸盐台地边缘型生物礁(有的称“堤礁”)。尽管已有许多事实(刘宝珺、王剑,1989;刘宝珺等^①,1989;叶红专^②,1988;王剑^③,1988)证实了对该区早寒武世时期的“堤礁”、“礁前塌积岩”等提法不妥,但藻类的环境分带特征仍不失为另一个更有说服力的证据。

本文所涉及的十九个藻类属种部分系作者首次在该区描述,按其亲缘关系的分类命名及属种描述并非作者之目的所在,而形态学群(或亚群)及环境群带的划分及对研究生物丘特征之意义乃作者之尝试。

一、地质背景

地质记录表明,古扬子板块东南边缘带经历了拉张裂谷、被动大陆边缘及闭合造山三个

① 刘宝珺、王剑,1989,湘西花垣李梅地区下寒武统清虚洞组古卡斯特特征及成因研究,大地构造与成矿学,正在出版中。

② 叶红专,1988,博士论文,黔东湘西寒武纪碳酸盐台地边缘和斜坡沉积特征及大陆边缘构造性质讨论。

③ 王剑,1988,硕士论文,湘西花垣地区早寒武世清虚洞期沉积相特征及李梅铅锌矿成因探讨。

板块构造演化阶段(段太忠等,1988;杨森楠,1989)。裂谷作用阶段始于晚前震旦纪晚期以前,以发育北东、北东东向地堑地垒、裂谷盆地充填沉积明显及发育有显示裂谷作用的火山岩或火山碎屑岩为特征。震旦纪至早奥陶世,扬子板块东南缘以大规模稳定持续的沉降——沉积作用及火山作用的消失为特征,为典型的大西洋型被动大陆边缘。早寒武世龙王庙期(清虚洞组沉积期,湘西花垣地区正处于这一被动大陆边缘上(刘宝珺、王剑,1989),以广泛发育碳酸盐缓坡(ramp)沉积为特征,生物丘是这一缓坡沉积环境中十分重要的沉积,它位于缓坡中间带上,其环境与浅水陆棚相当。

二、组成生物丘的钙藻形态群的划分

湘西花垣地区下寒武统清虚洞组钙藻前人已作过描述(孙玉娴等,1985)。作者在前人基础上系统鉴定出工作区内组成生物丘的19个属种钙藻,这些藻类形态群的划分如下。

(一)形态群划分的依据

形态群(morphological group)是古生物学家在划分一些亲缘关系位置不定的古生物时所提出的一种新的分类方案,它是通过古生物形态相似性的对比方法划分出一系列相似或相近的生物为一组。这样一组形态相同或相近的生物就叫一个形态群(简称群,下文同)。本文采用的形态群划分依据(R. Riding and L. Voronova, 1985)如下:

- (1)外部形态 藻类化石整体的外表轮廓与形态,包括分枝的形式与分枝的粗细、大小。
- (2)内部组织 藻类化石的次级组织的形态及相互排列状况,包括壁的结构。
- (3)壁的表面 与胶结物或杂基相接触的壁的表面特征。
- (4)壁的厚度 外壁及内部次级隔壁的厚度。

依据上述原则,将工作区内组成生物丘的藻类分为四个群七个亚群。

(二)形态群的划分

组成生物丘的钙藻可划分为以下几个形态群或亚群(表1)。

表1 本区清虚洞组藻群与亚群的划分

Table 1 Division of the algal groups and subgroups in the Qingxudong Formation in the study area

群	亚群	包含的属种
葡萄状(A)		颗粒肾形藻(<i>Renalcis granulosa</i> Vologdin, 1932) 凝胶肾形藻(<i>Renalcis gelatinosum</i> Korde, 1932) 似古节球肾形藻(<i>Renalcis chabakaviaformis</i> Voronova, 1973) 古节球藻未定种(<i>Chabakavia</i> sp.) 瘤节肾形藻(<i>Renalcis tuberculatus</i> sp. nov.)
树枝状(B)	细小、短小状(B ₁)	细小表附藻(<i>Epiphyton pusillum</i> Korde, 1961)
	簇球状(B ₂)	多云表附藻(<i>Epiphyton nubulum</i> Korde, 1961)
	树枝状(B ₃)	羽状表附藻(<i>Epiphyton plumosum</i> Korde, 1955) 串状表附藻(<i>Epiphyton racemosum</i> Korde, 1961)

群	亚群	包含的属种
管状(C)	扇状(C ₁)	西北利亚比贾藻 (<i>Bija sibirica</i> Vologdin, 1932) 西北利亚波托麦藻 (<i>Botomella sibirica</i>) 上射小波特麦藻 (<i>Botomella multica</i> Voronova, 1969)
	孤立分散状(C ₂)	光滑原喇叭孔藻 (<i>Proculopora glabra</i> Krasnopeeva, 1937) 稀有原喇叭孔藻 (<i>Proculopora rarissima</i> Vologdin, 1973)
	束状(C ₃)	博蒂尼维藻未定种 (<i>Batinaeva</i> sp.) 波托米藻未定种 (<i>Botominella</i> sp.)
	缠绕团块状螺旋状 (C ₄)	葛万藻未定种 (<i>Germella</i> sp.) 尼科尔森藻未定种 (<i>Nicholsonia</i> sp.)
毡毯纤毛状(D)		拉祖莫斯基藻未定种 (<i>Razumovskia</i> sp.)

1. 葡萄状群 (图 1)

主要由似古节球肾形藻 (图 1A)、颗粒肾形藻 (图 1B)、古节球藻未定种 (图 1C)、瘤节肾形藻 (图 1D)、凝胶肾形藻 (图 1E) 组成。它们的共同特征是藻体由单个的或连接在一起的葡萄状房室组成。单个房室一般是空心的，房室可以互相重迭 (凝胶状肾形藻)、或单个孤立分布 (颗粒肾形藻)、或连成链状 (似古节球肾形藻)、或排列成枝状 (古节球藻未定种) 等形态。



图 1 葡萄状群 (薄片放大 30 倍)

A-似古节球肾形藻; B-颗粒肾形藻; C-古节球藻未定种; D-瘤节肾形藻; E-凝胶肾形藻

Fig. 1 The botryoidal group

A = *Renalcis chalinbwiniformis* Voronova, 1973; B = *Renalcis granum* Vologdin, 1932; C = *Chalinbwinia* sp.; D = *Renalcis tuberculatus* sp. nov.; E = *Renalcis gelatinosum* Korde, 1961 (×30)

2. 树枝状群(图 2)

这一群的共同特点是藻体具树枝状分枝的外部形态,一般多次分枝,且枝体为实心。由三个亚群构成了这一群藻类:(1)纤细短小状亚群(图 2A):藻体分枝较开放、较纤细(细小表附藻);(2)簇球状亚群(图 2B):藻体呈簇球状,分枝极短且较紧密(多云表附藻);(3)树枝状亚群(图 2C、D):藻体相对较粗大,分枝长且较紧密(C为羽毛状表附藻,D为串状表附藻)。

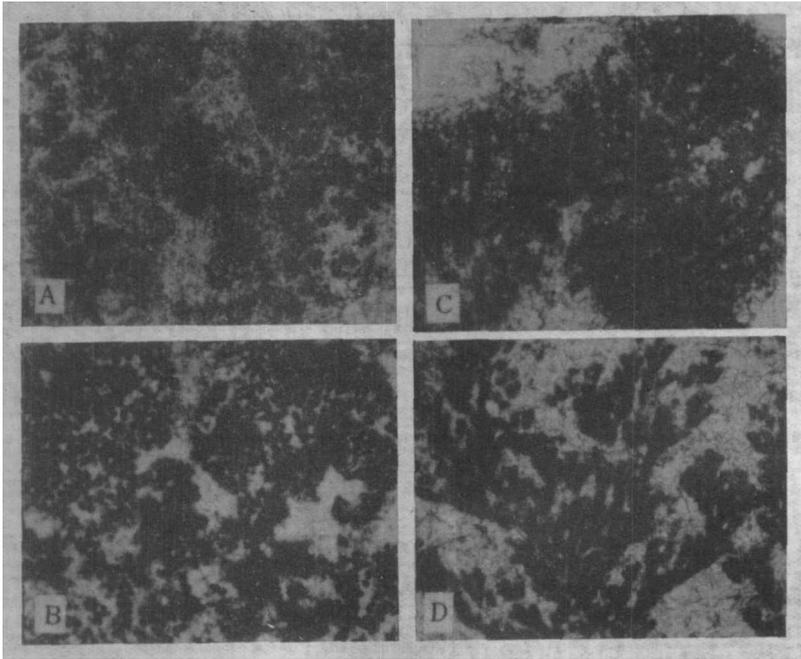


图 2 树枝状群(薄片放大 30 倍)

A-纤细短小状亚群(细小表附藻); B-簇球状亚群(多云表附藻);
C-树枝状亚群(羽毛状表附藻); D-树枝状亚群(串状表附藻)

Fig. 2 The dendritic group ($\times 30$)

A=fine and short dendritic subgroup (*Epiphyton pusillum* Korde, 1961); B=clustered and ball-shaped dendritic subgroup (*Epiphyton nubium* Korde, 1961); C & D=dendritic subgroup (C=*Epiphyton plumosum* Korde, 1955; D=*Epiphyton racemosum* Korde, 1961)

3. 管状群(图 3)

藻体由空心管体组成。(1)扇状亚群(图 3A—C):组成藻体的管状体排列成扇状;(2)孤立分散状亚群(图 3D、E):藻体为单个管体,薄片中见管状藻体单个孤立分散分布生长;(3)束状亚群(图 3F、G):管体呈束状、或柱段状“捆”在一起;(4)缠绕团块状、螺旋状亚群(图 3H、I):管体杂乱无章地绕成团块或呈螺旋状互相绕在一起,有时可见这些团块中包有生物碎屑或其它颗粒。

4. 毡毯纤毛状群(图 4)

水平生长的实心藻丝体向上垂直分枝出一系列毛状枝体,犹如毡毯之横切面(拉祖莫斯

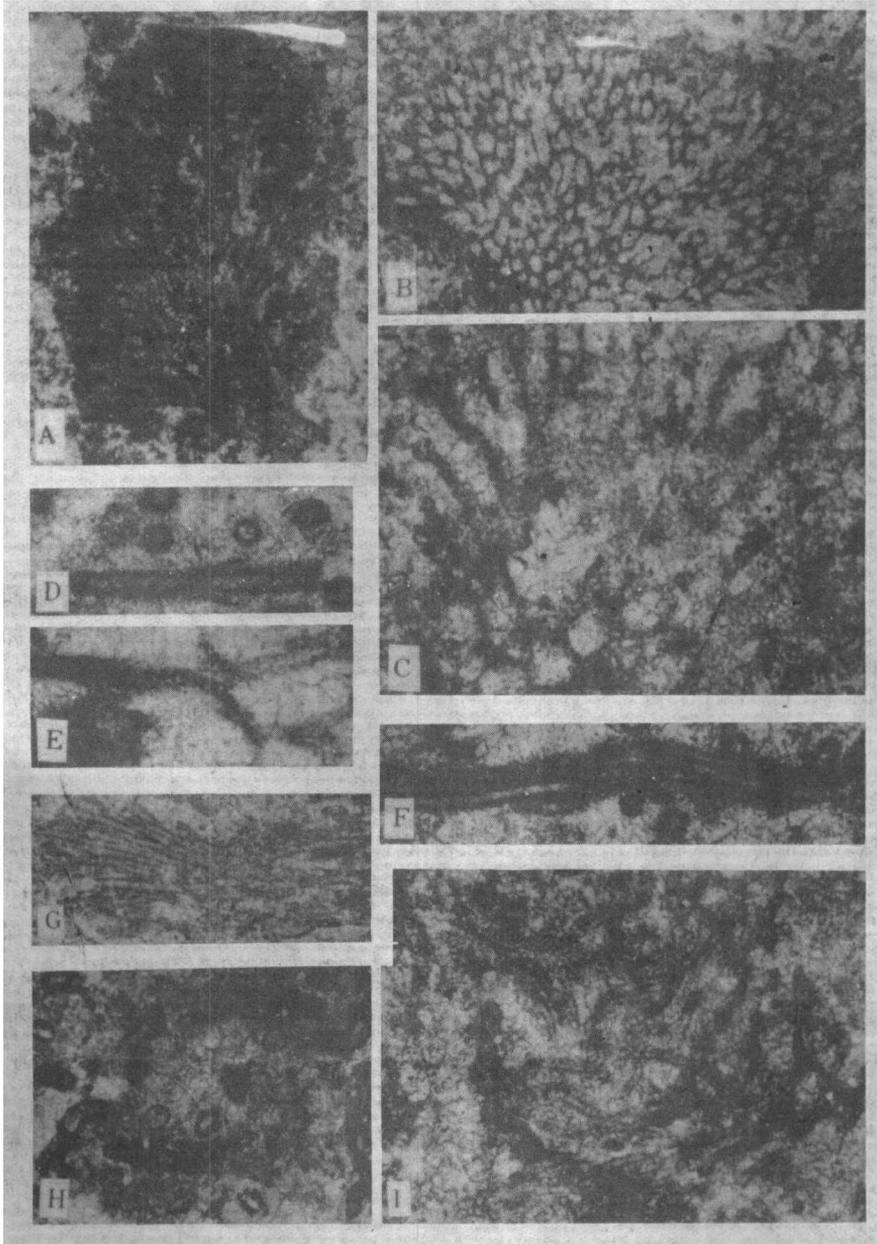


图3 管状群(薄片放大30倍)

A—C-扇状亚群(A-上射小波托麦藻; B-西北利亚比贾藻; C-西北利亚波托麦藻); D—E-孤立分散状亚群(D-稀有原喇叭孔藻; E-光滑原喇叭孔藻); F—G-束状亚群(F-博蒂尼维藻未定种; G-波托米藻未定种); H—I-缠绕团块状、螺旋状亚群(H-尼科尔森藻未定种; I-葛万藻未定种)

Fig. 3 The tubular group(×30)

A—C = fan tubular subgroup (A = *Botomaella anolatica* Voronova, 1969; B = *Bija sibirica* Vologdin, 1932; C = *Botomella sibirica*); D & E = isolated and scattered tubular subgroup (D = *Proanulopora rarissima* Vologdin, 1973; E = *Proanulopora glabra* Krasnopeeva, 1973); F & G = clustered tubular subgroup (F = *Batinema* sp.; G = *Botominella* sp.); H & I = coiled-massive and spiral subgroup (H = *Nicholsonia* sp.; I = *Göranella* sp.)

基藻未定种)。



图4 毡毯纤毛状群(拉祖莫斯基藻, 未定种)(薄片放大30倍)
Fig. 4 The blanket hair-like group (*Razumovskia* sp.) (×30)

划分上述形态群, 最终还是试图研究不同形态群所反映的环境, 从而达到以形态群的变化来反映环境变化的目的。因此, 建立本区生物丘不同的形态群与一定的环境相适应的环境群带是极为重要的。

三、藻类环境群带及生物丘特征

藻类的形态特征(包括分枝形式及分枝状况)受环境制约, 这一点可以从现代浅海中珊瑚藻的形态及分枝状况中得以充分的证实(John L. Wray, 1977)。大量剖面的野外及薄片研究认为, 产于本区生物丘中的表附藻, 其形态特征与水深及水动力强弱有一个较为固定的对应关系(图5)。随着水深加大, 流水作用减弱, 由密集分枝的粗大枝状表附藻逐渐过渡为开放分枝的纤细表附藻, 也就是说树枝状群中的纤细短小状亚群与相对较深水的低水动力条件环境相适应; 而树枝状亚群分布于相对较浅水的环境中; 簇球状亚群则介于二者之间。在剖面中, 常常有不同的一个或几个形态群(或亚群)组合在一起, 较为固定地与一定的层位相当, 反映了它们共生于一个环境带中。由此, 我们利用统计方法, 建立本区生物丘藻类不同的形态群(或亚群)所组成的四个环境带(简称“群带”、或“带”, 下同; 表2)。

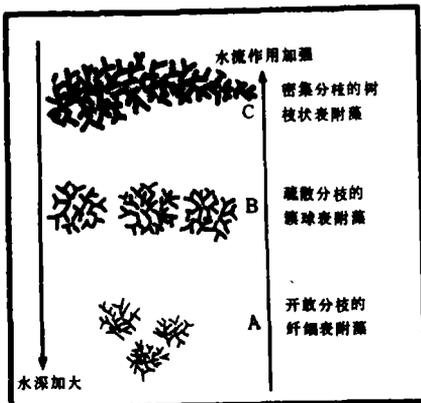


图5 本区生物丘中表附藻随水深变化而改变形态特征的关系图(据刘宝珺、王剑, 1989)。

Fig. 5 Simplified illustration showing relationship between depth of water and morphological characteristics of *Epiphyton* in the bioherms in the study area (after Liu Baojun and Wang Jian, 1989)

表2 本区藻类群带的划分

Table 2 Division of the zones of environment-morphological groups

群带	群类(亚群类)	包含的属种	环境
第四群带	孤立分散直管状、毡毯纤毛状	稀有原喇叭孔藻、光滑原喇叭孔藻、拉祖莫斯科藻未定种、博蒂尼维藻未定种	潮下相对高能带(浪基面之上)
第三群带	树枝状(亚群)、簇球状、葡萄状、扇状	羽状表附藻、凝胶肾形藻、串状表附藻、颗粒肾形藻、多云表附藻、似古节球肾形藻、细小表附藻、古节球藻未定种、上射小波托麦藻、西北利亚比贾藻、西北利亚波托麦藻	潮下相对次低能带。(浪基面上下)
第二群带	扇状、束状、簇球状	西北利亚比贾藻、波托米藻未定种、上射小波托麦藻、多云表附藻、西北利亚波托麦藻、细小表附藻	潮下相对低能带(浪基面上下)
第一群带	缠绕团块状、螺旋状、纤细短小状	葛万藻未定种、细小表附藻、尼科尔森藻未定种(见原喇叭孔藻藻屑)	潮下相对深水低能带(浪基面之下)

应当指出的是，每一群(或亚群)藻类所处的环境带(群带)并不是固定不变的，个别属种可能出现在表2中并未列出的某一其它环境带中。表2所列的四个带中各自包含的形态群是根据大量薄片的统计得出的，它反映了这些藻类在其对应的环境带中所出现的概率最大、机会最多。

(1) 第一群带 它包含有缠绕团块状及螺旋状亚群、纤细短小状亚群(表2)。此带往往发育于生物丘之底部及周边(参见图8)。研究表明，生物丘的发育是从陆棚上开始的，在大量藻类繁盛之前，常常发育1—几米含极少量细小表附藻或葛万藻的泥晶灰岩，或含三叶虫碎片的粒泥灰岩(图6)。岩相标志表明了这一时期为相对低能的陆棚环境。在此基础上第一群带藻类才开始生长发育，它主要以纤细短小状亚群表附藻孤立分散于灰泥灰岩中为特征；其次，偶见缠绕团块状亚群(葛万藻)及螺旋状亚群(尼科尔森藻未定种)与三叶虫碎片共生。组成这一群带的岩石其含藻量常常不超过10—15%，一般仅5%左右，显灰泥结构，含少量浮游型三叶虫碎片。这一带中藻群形态主要表现为纤细短小，分枝开放，藻丛与叶状体之间均为灰泥充填；其次是均匀一致的细小管体缠绕浮游型三叶虫碎片成团块

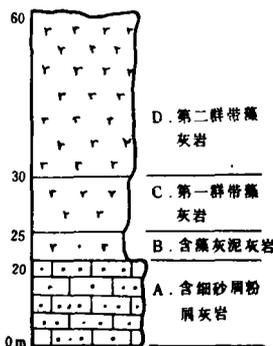


图6 生物丘及基底剖面结构

Fig. 6 Section of the bioherm and its basement

状产于灰泥灰岩中。

第一群带代表了相对较深水的低能环境，不受或很少受波浪作用的影响，处于浪基面以下或其附近的浅水陆棚环境中（表 2）。

(2) 第二、三群带 它们构成了生物丘的主体部分，包含的藻群（或亚群）较多（表 2），藻类生长茂盛。岩石中含藻量一般可达 30—70%，但仍为灰泥结构。第二群带主要出现在生物丘发育较好的剖面中（参见图 8），平面上分布于丘体向海一侧较深水的环境中。而第三群带则是本区生物丘剖面中最常见、最主要的群带，岩石含藻量一般可达 50% 以上，其个体大小和繁盛程度，都胜过其它任何一带，说明这一群带是藻类生长发育的最佳环境，其能量（水动力）与光照条件均最适合藻类的生长。考虑到此两带中大多数藻类为红藻（Л. Г. ВОРОНОВА, 1976; К. Б. КОРДЭ, 1973），其最佳发育水深可能 < 40m 或 40m 左右（John L. Wray, 1977）。从藻体的藻丛与叶状体之间一般为灰泥（间或可见微亮晶）以及藻群藻体大小一般不超过 2mm，且具有脆弱树枝状或扇状孤立个体来看，它们所处的生长环境没有受到强的水流作用与波浪作用影响。因此，这两带仍生长发育在较低能活跃的清水环境，可能处于浪基面附近，但相对第一带来说，其水深明显变浅。

(3) 第四群带 这一带特征明显：其一是组成这一带的藻群具水平分布（生长）特征，水平生长的实心藻丝体向上垂直分出短小的枝体；其二是藻体不完整或常与藻屑共生，但仍具原地生长结构，藻体之间未连成格架，藻丛与叶状体之间常见微亮晶，反映了这一带水深进一步变浅，能量增加。此带向上则逐渐过渡为藻屑、钙屑滩乃至鲕粒滩，反映生物丘的发育朝浅滩化方向发展，直至本区最后一次鲕粒滩化作用，结束了生物丘所有藻群带的发育史（参见图 7）

上述各群带的分布特征，从“生物环境分带”这一新角度展示了本区生物丘的一个崭新特点，也就是说，生物丘的这种能量分布特征及环境演化历史截然不同于生物礁。当然，丘与礁的其它不同之点亦同样重要，限于本文之主题及文章篇幅所限，本文将仅从群带划分的角度出发，对生物丘的特征作一个简略的概述。

(二) 生物丘的特征

1. 综合工作区内大量剖面薄片鉴定的统计分析结果，可以作出一个生物丘群带演化的综合剖面示意图（图 7）。由图中可以看出，生物丘发育于灰泥基底或钙屑粒泥灰岩基底上，这与发育于稳固基底（礁基）上的礁发育是截然不同的。从能量环境来看，第一群带生物丘的发育是从较深水的低能环境开始的，这一点也有别于生物礁。

图 7 中所反映的剖面群带分布特点，揭示了丘体的演化从一个低能环境开始，逐渐走向浅滩化，且当具浅滩能量环境时，丘的发育即走向衰亡，也就是说浅滩环境已不再具备本区生物丘继续生长发育的条件。这反映了本区生物丘所处

发育期	藻群带	典型形态
消亡期	鲕粒灰岩	
衰退期	第四群带	
全盛期	第二—三群带	
早期	第一群带	
	含藻微晶灰岩	
基底发育期	含砂屑粉屑灰岩	

图 7 生物丘藻类剖面发育序列
Fig. 7 The development of environment-morphological groups in the sectional sequence

的环境的能量是低于生物礁的。

综上所述，生物丘的演化过程中，低能带（第一带）与高能带（第四带）都不适合于藻类的繁盛生长，其环境能量的上限为低于浅滩环境的能量，下限则为浪基面以下的相对较深水的低能陆棚，它们分别对应发育的群带，前者为第四带及其上的藻屑灰岩和亮晶鲕粒灰岩，后者则为第一带及其以下的含藻粒泥灰岩。中等水深与能量环境（第二、三带）是生物丘发育的最佳条件，浪基面上、下的浅水陆棚，其水深、光照及能量等条件最适合藻类的繁盛生长。

剖面上，本区生物丘从开始生长发育至衰亡为一个向上变浅的序列。

2. 利用工作区内的钻孔剖面资料，作出区内单个丘体群带分布剖面示意图 8。由生物丘横切剖面可以看出，生物丘体主要由第二、三带组成，它们构成了丘体的主体及核心部份。代表相对高能带的第四带覆盖于生物丘体的顶部，而代表相对较低能的第一带则位于丘体的底部和围绕丘体的周边。能量分布上显示出如下特征：(1) 生物丘体无能量环境的前后左右之分，周边均为低能带。也就是说，在平面上其环境变化呈同心圆状分布，这一点与生物礁有礁前、礁后之分是显然不同的；(2) 有上、下之分。从生物丘底部至上部，由第一带过渡为第四带，其能量逐渐增高，反映了生物丘演化过程中环境的变化与藻类生长繁盛的关系，即第一带的深水陆棚是生物丘发育的开始，是能量的下限标准，而第四带的浅滩化陆棚则是能量的上限标准；(3) 整体来看，生物丘主体部分为第二、三带，代表了生物丘的主要发育阶段中，其环境为相对较高能带（或称中等能量带）的浅水陆棚；(4) 形态上丘体是由四个连续的环境带组成的一个较为对称的透镜状碳酸盐岩隆。

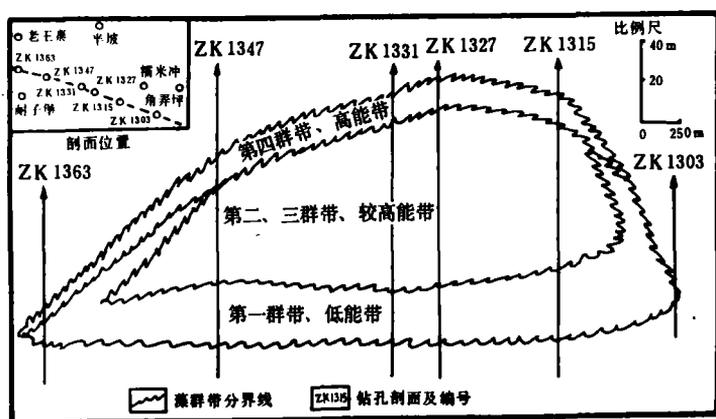


图 8 研究区内生物丘横剖面及环境群带分布

Fig. 8 The distribution of the zones of environment-morphological groups in the bioherm cross sections in the study area

综上所述，从群带划分的意义上来讲，本区生物丘明显不同于生物礁的特征，主要表现为前者的相对深水、低能环境与独特的能量环境分带性及演化历史。所有这些生物丘的特征是生物礁所不具有的，它是区别生物丘与生物礁的沉积学以外的另一个“生物环境”证据，这也是本文所要提出来讨论的主要目的所在。区别生物丘与生物礁还有许多其它沉积学证据，但从“生物环境分带”上来讨论，是作者初次所作之尝试，其意义有待于广大读

者来检验。

结 论

1. 湘西花垣地区早寒武世龙王庙期(清虚洞组)钙藻按其形态特征的相似性可以划分为葡萄状群、树枝状群(纤细短小状亚群、簇球状亚群、树枝状亚群)、管状群(扇状亚群、孤立分散状亚群、束状亚群、缠绕团块状及螺旋状亚群)、毡毯纤毛状群四个形态群。

2. 按一个或几个形态群(或亚群)与一定的环境能量相一致的关系,划分出组成本区生物丘的四个环境带(群带)。

3. 这种环境带(群带)的划分,揭示了生物丘不同于生物礁的沉积学以外的一系列重要特征,并成为鉴别生物丘的证据之一。它们主要包括有:(1)丘体具无前后左右之分的环带状能量分布,周边均为低能带;(2)丘体的发育从陆棚低能带开始,衰亡的上限能量条件是低于浅滩水动力条件;(3)生物丘的主要发育阶段中,其环境为浅水陆棚环境。

本文是在刘宝瑀教授、许效松研究员的指导下完成的。参加部分野外工作的还有湖南四〇五地质队的陈吾丰同志。野外工作得到了四〇五地质队四分队许多同志的协作与支持。本文初稿在“全国古生物、沉积成矿作用学术讨论会”古生物分组讨论会上报告后,部分代表提出了许多宝贵的意见。成文过程中,承蒙叶红专等同志提出过良好的建议,在此作者一并致以感谢!

主要参考文献

- 周振冬、王润民等, 1983, 湖南花垣鱼塘铅锌矿床成因新认识, 成都地质学院学报, 第3期。
- 孙玉炯、林文球、周振冬, 1985, 湖南花垣早寒武世清虚洞期的藻化石、沉积环境及与成矿的关系, 成都地质学院学报, No. 1。
- 曾允孚、郑荣才, 1985, 川东-湘西早寒武世清虚洞期碳酸盐台地及前斜坡沉积微相及旋回特征(兼论构造、岩相控矿关系), 岩相古地理文集(1), 地质出版社。
- 刘宝瑀、王剑, 1989, 一个与生物丘有关的成岩成矿模式, 四川地质学报, 第9卷第1期。
- 段太忠等, 1988, 根据沉积历史分析华南古大陆边缘的构造演化, 石油与天然气地质, 第9卷第4期。
- 杨森楠, 1989, 华南裂陷系的建造特征和构造演化, 地球科学——中国地质大学学报, Vol. 14, No. 1。
- Ridding, R. and Voronova, L., 1985, Morphological Groups and Series in Cambrian Calcareous Algae. In: Palaeoalgology: Contemporary Research and Application, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1985.
- Wray, J. L., 1977, Calcareous algae. Amsterdam Oxford New York.
- Л. Г. ВОРОНОВА & Э. П. РАДИОНОВА, 1976, ВОДОРОСЛИ И МИКРОФИЛИТЫ ПАЛЭОЗОЯ, ИЗДАТЕЛЬСТВО (НАУКА), МОСКВА.
- К. Б. КОРТЭ, 1973, ВОДОРОСЛИ КЕМБРИЯ, ИЗДАТЕЛЬСТВО (НАУКА), МОСКВА.

DIVISION AND GEOLOGICAL IMPLICATIONS OF CALCAREOUS ALGAL MORPHOLOGICAL GROUPS AND ENVIRONMENTAL ZONES IN THE LOWER CAMBRIAN QINGXUDONG FORMATION, HUAYUAN DISTRICT, WESTERN HUNAN

Wang Jian

(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources)

Zhuang Ruli Lao Ketong Long Guohua

(No. 405 Geological Party, Hunan Bureau of Geology and Mineral Resources)

Abstract

The bioherms are widespread during deposition of the Lower Cambrian Qingxudong Formation in the Huayuan district, western Hunan. They comprise nineteen genera and species of calcareous algae and may be subdivided into four groups and seven subgroups according to their morphologies: (1) botryoidal group; (2) dendritic group including: (a) fine and short subgroup, (b) clustered and ball-shaped subgroup, and (c) dendritic subgroup; (3) tubular group including: (a) fan-shaped tubular subgroup, (b) isolated and scattered tubular subgroup, (c) clustered tubular subgroup, (d) coiled-massive and spiral subgroup, and (4) blanket hair-like group.

One or several algal morphological groups and/or subgroups can be assigned to either of four algal environmental zones of the bioherms, where the distribution of energy differs from that in the organic reefs. For example, the low-energy zone occurs at the bottom and periphery of the bioherms, whereas relatively high-energy in the central part of the bioherms, and very high-energy zone on the top of the bioherms. No differences in energy have been identified in the environments around the bioherms; all the algal environments are confined to the deeper-water low-energy environments in the study area.