

文章编号: 1000-0550(2007) 02-0177-06

贵州紫云石炭纪叶状藻礁: 藻类繁盛的标志

张永利¹ 巩恩普¹ 关长庆¹ Elias Sam ankassou² 孙宝亮¹

(1 东北大学资源与土木工程学院 沈阳 110004 2 Department of Geology, Fribourg University Fribourg Switzerland)

摘要 紫云晚石炭世叶状藻礁发育在碳酸盐台地边缘。叶状藻礁体具有多样性,有叶状藻点礁、多层迭置叶状藻礁和大型叶状藻礁体。叶状藻礁体的建造过程是由叶状藻群落的发展和沉积环境所决定的,叶状藻具有主动建造礁体的能力,构成骨架礁灰岩。礁体建造过程大体上分为三个阶段: 生物碎屑滩的形成; 叶状藻生长及礁体建造; 造礁结束。多层迭置叶状藻礁为以上三个阶段的多次重复;大型叶状藻礁是在礁体发育过程的第二阶段由连续生长的叶状藻五次集中发育建造而成。

关键词 叶状藻礁 造礁过程 晚石炭世 紫云

第一作者简介 张永利 男 1980 年出生 在读博士研究生 地层与古生物学 E-mail myan@126.com

中图分类号 P588.24 **文献标识码** A

1 引言

滇黔桂地区晚石炭世广大沉积区内几乎是碳酸盐岩一统天下^[1],是研究石炭纪古生物及地层的理想场所。贵州紫云上石炭统马平组地层主要由浅灰色亮晶生物碎屑灰岩、礁灰岩和泥晶生物碎屑灰岩组成,含有丰富的底栖生物: 筴、珊瑚、腕足等。该区属碳酸盐台地边缘环境,大量的生物碎屑滩、生物泥丘、叶状藻礁和珊瑚礁分布其中^[2,3]。该地区晚石炭世生物礁非常发育,礁体类型丰富,是石炭纪生物礁研究的理想区域。在紫云地区晚石炭世地层中叶状藻广泛发育,常常建成独具特色的叶状藻礁,在全球范围内叶状藻礁也是石炭纪重要标志之一^[4]。

叶状藻礁的建造通常被认为是简单的,主要是由基质支撑的像叶子一样的藻叶堆积而成的丘体。这种模式说明叶状藻在礁体建造过程中仅仅是一种被动的角色^[5-8]。在全面认识叶状藻的形态和生长形式后,我们应该重新考虑叶状藻礁的建造过程及叶状藻在礁体建造过程中起到的作用。

2 地质背景

紫云地区属“南盘江盆地”。该盆地作为扬子板块东南被动陆缘的一部分^[9],从泥盆纪开始出现裂谷成因的裂陷槽。石炭纪该盆地与特提斯海盆邻

接,基底活动性强。由于深部热膨胀引起的、以南北向为主的引张力的作用,造成了地壳微型扩张,形成一系列隆、凹相间的构造格局。在扩张过程中,处于固结较早、刚性较强的构造高位发育成碳酸盐台地,而拉张下陷部位则演化成台间深水盆地。随着裂陷加深,构成了浅水补偿型碳酸盐台地与半深水非补偿型台沟相间的古构造和岩相展布格局^[10]。该盆地范围内石炭纪发育了若干孤立碳酸盐台地,这些孤立台地被发育深水相的台沟所分割^[11]。其中,在一些台地的周边发育了众多的叶状藻礁。

本文研究的叶状藻礁发育于黔南紫云猴场镇以西约 4 km 的扁平村通往中心寨的路旁(图 1)。地层分区属独山—威宁分区^[12],沉积物以亮晶生物碎屑灰岩及泥晶生物碎屑灰岩为主。叶状藻的产出地层,主要为一套深灰—灰色的块状生物碎屑灰岩。生物碎屑为藻、筴、腕足及海百合茎。经室内研究,叶状藻产出地层中主要含有的生物种属为: 筴: *Triticites longissima*, *T. simplex*, *T. chanensis*, *T. irregularis*, *Schwagerina vulgaris* 等。为典型的上石炭统 *Triticites* 带的重要分子^[13]。腕足: *Choristites* sp., *Martinia* sp 等。珊瑚: *Famichiwella* sp., *Nephelophyllum* sp., *Pseudotimania* sp., *Streptophyllidium* sp., 也多为上石炭统重要分子。因此,我们认为本区叶状藻礁产于上石炭统上部马平组地层中,处于碳酸盐台地边缘环境^[2]。

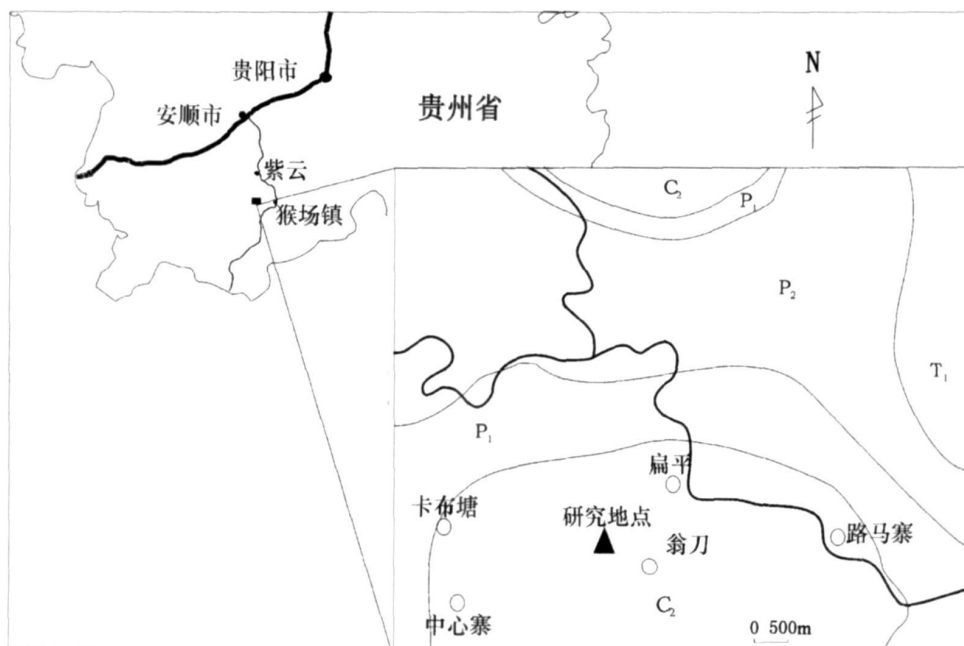


图 1 礁体位置及地质图

Fig 1 Location of phylloid algal reefs and geological map

3 礁体基本特征

3.1 礁体规模和形态

紫云地区发育数量较多的叶状藻礁, 礁体的规模和形态各不相同, 主要有以下三种形式:

(1) 叶状藻点礁 (图 2), 厚约 1.5 m, 出露宽度为 4~5 m。



图 2 叶状藻点礁

Fig 2 Phylloid algal patch reef

(2) 各种规模的叶状藻礁多层迭置, 一条剖面上可以见到 7 个叶状藻礁体 (图 3), 最厚的可达 8 m, 大多数礁体出露形态呈透镜状, 向两侧逐渐尖灭, 出露宽度可达 30 m 甚至更宽。

(3) 大型的叶状藻礁体 (图 4), 整个礁体出露宽度为 55 m, 厚度为 18 m。

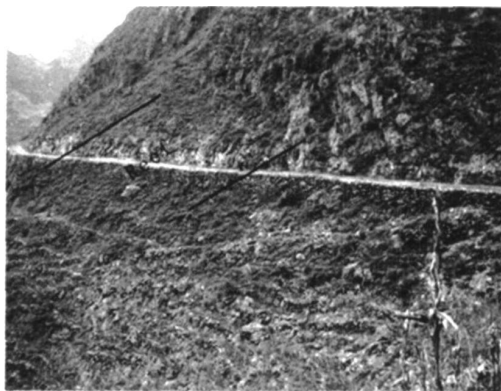


图 3 多层迭置叶状藻礁

Fig 3 Polystromatic superimposed phylloid algal reefs

3.2 礁体沉积学特征

贵州紫云地区构成晚石炭世叶状藻礁的灰岩有两类。一类是作为骨架岩的叶状藻灰岩; 另一类为生物碎屑灰岩。叶状藻灰岩: 叶状藻生长密集, 障积灰泥成为礁骨架, 礁岩内原生孔隙发育, 在成岩过程中由亮晶方解石充填, 可见多个世代, 孔隙边缘为放射状方解石, 呈栉壳状排列, 中心为干净明亮的粒状方解石 (图 5)。生物碎屑灰岩: 有水体动荡环境下形成的以腕足、筴为主的亮晶生物碎屑灰岩, 也有水体静



图 4 大型叶状藻礁

Fig 4 A large-sized phylloid algal reef

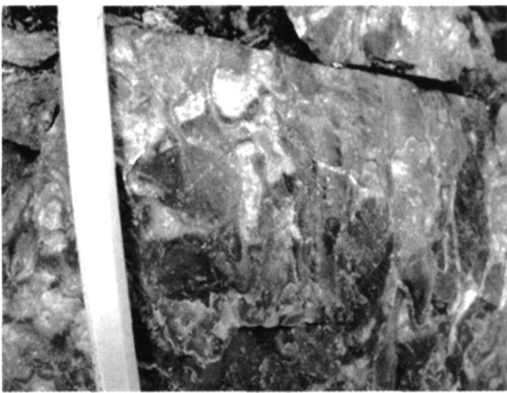


图 5 叶状藻灰岩

Fig 5 Phylloid algal limestone

止环境下形成的泥晶生物碎屑灰岩。

贵州紫云晚石炭世叶状藻礁发育于碳酸盐台地边缘环境。台地边缘是适合生物生长的良好环境,同时养料供给也比较理想,生物造岩作用强烈。主要岩性为生物碎屑灰岩,生物屑主要有腕足、腕足碎片、珊瑚碎块、藻屑、有孔虫屑及海百合茎等。叶状藻礁常常发育在各种生物碎屑滩之上,与生物碎屑滩交替出现。在叶状藻礁内原生孔隙十分发育,有大量的灰泥充填在叶状藻之间的孔隙或藻片杯状体内的空间。这说明在叶状藻礁生长过程中周围水体的动能不会太高。对黔南地区上石炭统 *Triticites* 带的层序地层学研究表明:在该带内存在频繁的海平面变化^[14]。叶状藻礁和各种生物碎屑滩的交替出现,反映了当时的沉积环境动荡、频繁变化。

3.3 叶状藻的生长特征

紫云晚石炭世的叶状藻形态丰富,具有杯状藻叶,叶状藻密集排列叠置生长。藻叶具有一定的韧性

和强度,可以起到障积作用。它们所表现出来的形态特征和生长方式,表明叶状藻具有较好的造礁能力。具有杯状藻叶的叶状藻可以建造格架,障积和接受沉积物。本区内发育的规模大小不同的叶状藻礁也是由这些直立生长、有着杯状藻叶叶状藻的生长所控制的,它们是这些礁的真正建造者。紫云晚石炭世叶状藻礁表现出来的建造模式和美国堪萨斯州的 Frisbie 叶状藻礁杯状建造模式基本相同^[4]。这种模式是在 Toomey 对叶状藻群落营养结构分析和 Torres 对叶状藻形态、结构描述基础上得出的^[15-17]。按照这种模式的解释,叶状藻有杯状的叶状体,直立生长,叶状藻之间紧密地生长在一起从而形成一个格架。这个格架保护了礁内的空间和杯状藻片的内部空间,它可以展现出不同的生长结构。从这种模式看叶状藻已经适合作为骨架建造的主动者,是叶状藻礁的真正建设者。

4 叶状藻礁体建造过程

4.1 多层迭置叶状藻礁体建造过程

每层叶状藻礁体都是由独立的叶状藻群落所建造,礁体的群落结构比较简单,生物多样性不是很高。每一层叶状藻礁体的发展过程就是一个独立礁体的建造过程,礁体规模一般不是很大,但也有出露宽度达 30 m,厚度达 10 m 的礁体。多层迭置叶状藻礁体发育过程如下:

(1) 生物碎屑滩的形成 在碳酸盐台地边缘,首先形成了生物碎屑滩,碎屑的成分主要是腕足碎片和蜓屑。碎屑滩形成后,逐渐形成一个适合叶状藻生长的基底,介于硬底和软底之间(图 6)。

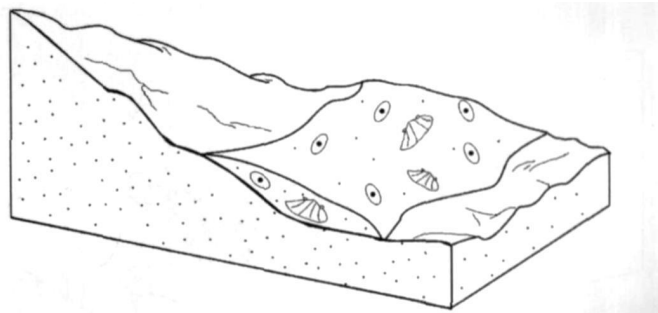


图 6 生物碎屑滩的形成

Fig 6 Bioclastic bank formed as a basement for the phylloid algal reefs growth

(2) 叶状藻生长及礁体建造 当水体动能中等比较适合叶状藻生长时,叶状藻依靠类根器官固着在

基底之上。刚开始时叶状藻是缓慢的在基底上生长,要有一个定殖过程,群落底部的叶状藻分布不是很密集,含量较低。叶状藻有很高的生产率,很快就占据了海底,它们密集分布、成群成片的发育。由于叶状藻本身的障积作用,使流过叶状藻群落的水体动能减小,水体相对静止使悬浮于水体中的灰泥等物质沉积下来,充填到叶状藻所搭建的格架空间内。叶状藻改变了周围的沉积环境,成为海底的主导者。有利的生存空间都被叶状藻占据,从而限制了腕足、海百合、珊瑚,双壳类等正常浅海生物在叶状藻丛中生活,因此它们很难在叶状藻群落内大量生存。此时叶状藻营造了一个巨大而种类单调的群落,并建造叶状藻礁(图 7)。

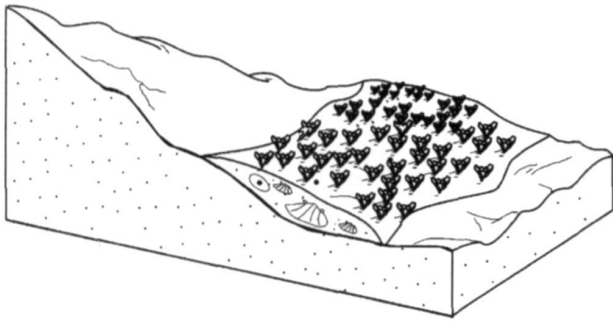


图 7 叶状藻生长及礁体建造

Fig 7 Phylloid algal growth and reef building

(3) 造礁结束 礁体持续向上生长,当环境发生变化,水体能量增强或礁体生长到浪基面以上时,叶状藻抵挡不住波浪作用被打碎,叶状藻不能再继续搭建格架,礁体生长便结束了。在礁体顶部可以看到叶状藻含量明显减少,比较破碎,其上形成生物碎屑滩,至此一个完整的礁体形成(图 8)。

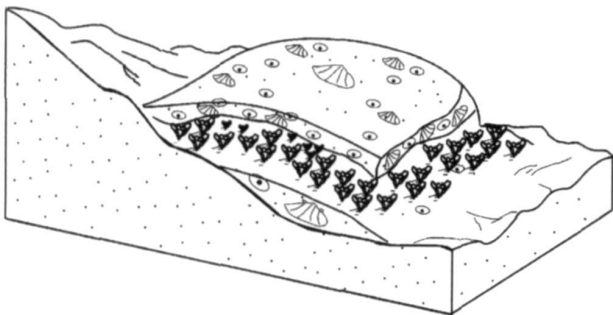


图 8 礁体的完成

Fig 8 Showing the ended stage of reefs growth

在研究区内由单一叶状藻群落所建造的礁体(包括点礁),其主要的建造过程为以上所述的三个

阶段。多层迭置叶状藻礁体的建造过程是重复以上的生长过程(图 9),直至多层叶状藻礁体的结束。环境维持稳定,适合叶状藻生长的时间长,叶状藻礁的规模大;环境动荡,叶状藻不能维持正常发育,叶状藻礁的规模小。

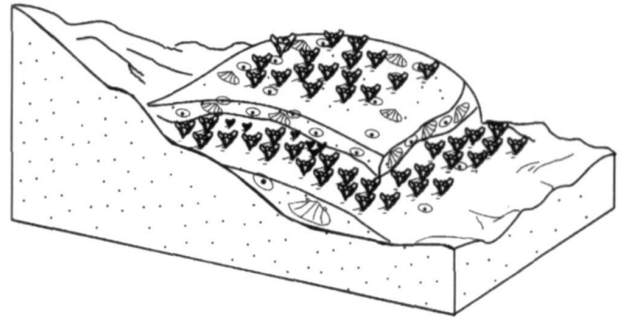


图 9 多层迭置礁体建造

Fig 9 Showing polystromatic superimposed reefs growth

4.2 大型叶状藻礁体建造过程

该礁体的规模大,发育于**鲕**滩之上。依据叶状藻含量和形态类型的变化将叶状藻生长及建造礁体过程划分为五个时期(图 10):

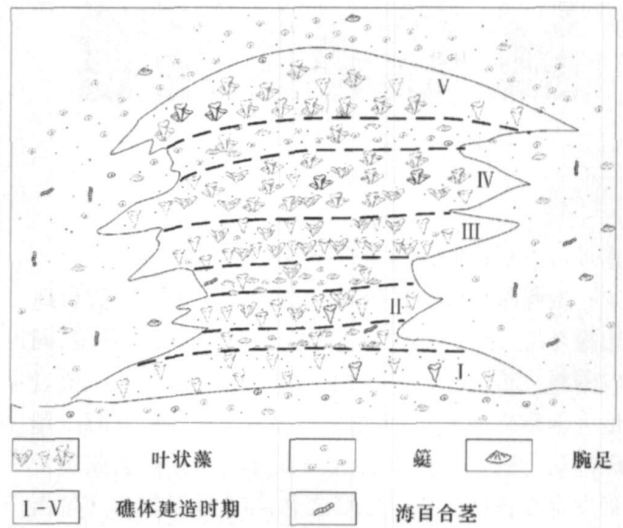


图 10 大型叶状藻礁体建造示意图

Fig 10 Sketch of a large-sized phylloid algal reef showing the upward building

(1) 礁体建造的第一时期

礁体生长的基底为**鲕**滩,岩性为浅灰色**鲕**灰岩。以单杯状藻叶为主的叶状藻开始在此基底之上密集发育成藻丛。叶状藻搭建格架,障积灰泥,建造礁体。叶状藻的含量占生物总量的 80% 以上,其它生物主要为腕足和**鲕**类。该时期晚期叶状藻含量下降,

藻片较为破碎, 说明水体动荡、动能较高。受环境变化的影响, 叶状藻群落搭建格架, 建造礁体的功能受到抑制, 礁体的发育进入了间歇期。在间歇期内叶状藻本身并没有灭绝, 仍有规模较小的藻丛分散分布在高能环境下形成的生物碎屑滩内, 含量很低不到 10%, 这时的叶状藻不能继续搭建格架, 建造礁体, 但为叶状藻的下一次繁盛奠定基础。

(2) 礁体建造的第二时期

由于叶状藻本身具有极高的生产率, 当环境适合时, 间歇期内分散分布的叶状藻便可迅速繁盛起来, 继续搭建格架, 建造礁体。该时期内叶状藻是在间歇期内分散分布的叶状藻的基础上发展起来的, 以单杯状为主包含一些包叶形式的叶状藻, 包叶式的生长方式便于叶状藻争取更大的生存空间, 取得更大的采光面积, 另外可以增加抵抗风浪的能力。该时期内的叶状藻丰度值高, 叶状藻占总生物量的 70%, 其它生物主要为腕足、*筳*及少量海百合。该时期晚期叶状藻含量并没有明显减少, 之后进入了礁体发育的间歇期。在礁体发育的间歇期内是以腕足碎屑为主的沉积物, 但仍可见叶状藻零散分布, 叶状藻并没有灭绝, 这说明是由于环境的迅速变化抑制了叶状藻的繁盛发育。零散分布的叶状藻虽不能搭建格架, 建造礁体, 但这些残存下来的叶状藻当环境适合时可迅速繁盛起来, 为下一时期叶状藻搭建格架, 建造礁体奠定基础。

(3) 礁体建造的第三时期

该时期内叶状藻的生长形式和建造礁体形式与第二时期基本相同, 但包叶式叶状藻含量增大。在该时期的末期由于沉积作用加强使叶状藻的生长受到抑制, 叶状藻不能大量繁盛, 礁体发育进入了间歇期。在间歇期内可见大量的灰泥, 生物含量少, 但仍有叶状藻存在。这一间歇期的时间短暂, 很快就进入了礁体建造的第四时期。

(4) 礁体建造的第四时期

在礁体建造时期内, 生物多样性比较明显。叶状藻丰度中等, 占生物总量的 50%, 藻片较薄、小, 展现出杯状聚集式的生长。藻片破碎的较多, 说明在礁体发育过程中, 水体动能较高, 环境较动荡。叶状藻的形态由单杯式和包叶式为主改变为杯状聚集式为主是适应环境的需要, 藻片小可以减小对水体的阻力, 杯状体聚集在一起可以增强对水流的抵抗。在该时期末期由于水体动能加强, 叶状藻大多破碎, 含量下降, 使叶状藻生长受到抑制, 进入礁体发育的间歇期。间歇期内, 残存的叶状藻分散分布在浅水环境下形成

的蜓屑沉积物中。

(5) 礁体建造的第五时期

第四时期残存下来的叶状藻当环境适合时再次繁盛起来, 搭建格架, 建造礁体, 形成了礁体建造的第五时期。该时期内叶状藻群落中主要为杯状聚集式生长的叶状藻, 藻片大多破碎, 藻片薄, 含量达 70%, 其它生物主要是蜓, 含量 20%。礁体在该时期内沉积物主要为中等动荡水体条件下形成的生物碎屑, 礁体发育环境的水体动能要比第四时期高。叶状藻被有孔虫富集层覆盖后, 礁体建造停止。有孔虫富集层内*筳*含量高达 70% 左右, 其它生物腕足、有孔虫等多以碎片保存, 没有叶状藻。岩性为亮晶*筳*屑灰岩, 为高能动荡水体条件下形成。由于环境巨变, 最终导致了叶状藻灭亡, 礁体的生长结束。*筳*灰岩形成大礁体的礁盖层, 至此大型叶状藻礁体的建造结束。

5 结论

(1) 紫云晚石炭世叶状藻礁发育在碳酸盐台地边缘。礁体发育具有多样性, 有孤立分布的小礁体、多层迭置叶状藻礁和大型叶状藻礁体。叶状藻密集排列相互叠置的生长在一起, 搭建格架、障积灰泥、建造礁体, 形成骨架礁灰岩, 这些说明叶状藻具有主动建造礁体的能力。这是对叶状藻造礁传统模式的重要补充。

(2) 叶状藻礁体的建造过程是由叶状藻群落的发展和沉积环境所决定的, 礁体建造过程大体上分为三个阶段: 生物碎屑滩的形成; 叶状藻生长及礁体建造; 造礁结束。多层迭置叶状藻礁为以上三个阶段的多次重复; 大型叶状藻礁是在礁体发育过程的第二阶段由连续生长的叶状藻五次集中发育建造而成。

(3) 对紫云晚石炭世叶状藻礁的研究可以使我国石炭纪生物礁的研究更加系统化, 为研究整个石炭纪生物礁的演化及建立生长动力学模型提供典型实例。

参考文献 (References)

- 1 彭军, 陈洪德, 田景春, 等. 川滇黔桂地区石炭系层序地层研究. 沉积学报, 2000, 18(2): 190-197 [Pen Jun, Chen Hongde, Tian Jingchun, et al. Sequence stratigraphic study on the Carboniferous strata in Sichuan, Yunnan, Guizhou and Guangxi. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(2): 190-197]
- 2 Fan Jiasong, Rigby Jk. Upper Carboniferous phylloid algal mounds in Southern Guizhou, China. Brigham Young University Geology Studies

- 1994, 40: 17-24
- 3 巩恩普, 关长庆, 孙宝亮, 等. 黔南地区石炭纪大型珊瑚礁研究. 中国科学(D辑), 2003, 33(7): 644-649 [Gong Enpu, Guan Changqing, Sun Baoliang *et al.* The study of large-sized Carboniferous reef in Qiannan region. Science in China(Series D), 2003, 33(7): 644-649]
 - 4 Samankassou E, West R R. Construction versus accumulation in phylloid algal mounds: an example of a small constructed mound in the Pennsylvanian of Kansas, USA. *Palaogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2002, 185: 379-389
 - 5 Fagerstrom J A. *The Evolution of Reef Communities*. Wiley, New York, 1987: 592
 - 6 West R R. Temporal Changes in Carboniferous Reef Mound Communities. *Paleos* 3, 1988: 152-169
 - 7 Riding R. Structure and composition of organic reefs and carbonate mud mounds: concepts and categories. *Earth-Science Reviews*, 2002, 58(1~2): 163-231
 - 8 Krainer K., Flügel E., Vachard D., and Joachimski M. A close look at late Carboniferous algal mounds. *Schulterkofel, Carnic Alps, Austria, Facies*, 2003, 49: 325-350
 - 9 秦建华, 吴应林, 颜仰基, 等. 南盘江盆地海西—印支期沉积构造演化. 地质学报, 1996, 70(2): 99~107 [Qin Jianhua, Wu Yinglin, Yan Yangji *et al.* Hercynian-Indosinian sedimentary-tectonic evolution of the Nanpanjiang basin. *Acta Geologica Sinica*, 1996, 70(2): 99~107]
 - 10 陈宏明, 吴祥和, 张瑛, 等. 中国南方石炭纪岩相古地理与成矿作用. 北京: 地质出版社, 1994: 13-33 [Chen Hongming, Wu Xianghe, Zhang Ying *et al.* Carboniferous Lithofacies Paleogeography and Mineralization in South China. Beijing: Geological Publishing House, 1994: 13-33]
 - 11 梅冥相, 孟庆芬, 易定红, 等. 黔桂地区石炭系层序地层格架及海平面变化. 地球学报, 2004, 25(1): 39-46 [Mei Mingxiang, Meng Qingfen, Yi Dinghong *et al.* Carboniferous sequence framework in Guizhou and Guangxi, Southern China. *Acta Geoscientica Sinica*, 2004, 25(1): 39-46]
 - 12 贵州省区域地质矿产局. 贵州省区域地质志. 北京: 地质出版社, 1987: 164-194 [Bureau of Geology and Mineral Resources of Guizhou Province. *Regional Geology of Guizhou Province*. Beijing: Geological Publishing House, 1987: 164-194]
 - 13 丁蕴杰, 夏国英, 许寿永, 等. 中国石炭—二叠系界线. 北京: 地质出版社, 1991: 1-170 [Ding Yunjie, Xia Guoying, Xu Shouyong *et al.* The Carboniferous-Permian Boundary in China. Beijing: Geological Publishing House, 1991: 1-170]
 - 14 刘本培, 李儒峰, 尤德宏. 黔南独山石炭系层序地层及麦粒蜓带冰川型全球海平面变化. 地球科学——中国地质大学学报, 1994, 19(5): 553-564 [Liu Benpei, Li Rufeng, You Dehong. Carboniferous sequence stratigraphy and glacio-eustasy of Triticites zone in Southern Guizhou, China. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 1994, 19(5): 553-564]
 - 15 Toomey D E. Paleosynecology of a Permian plant dominated marine community. *Neues Jahrb. Geol. Paläontol. Abh.*, 1976, 152: 1-18
 - 16 Torres A M. *Ivanovia tebagensis* was a cyathiform Permian Codiacean membranous algae with dimorphic cortices. *Journal of Paleontology*, 1995, 69: 381-387
 - 17 Torres A M. Reconstruction of a cyathiform Eugonophyllum, Upper Pennsylvanian, Pab Pinto County, Texas. *Journal of Paleontology*, 1997, 71: 493-499

Carboniferous Phylloid Algal Reefs in Ziyun County, Guizhou (South China): Evidence of Algal Blooms

ZHANG Yong-li¹ GONG En-pu¹ GUAN Chang-qing¹ Elias Samankassou² SUN Bao-liang¹

(1. Geology Department of Northeastern University, Shenyang 110004;

2. Department of Geosciences, University of Fribourg, 1700 Fribourg, Switzerland)

Abstract Late Carboniferous phylloid algal reefs developed on the carbonate platform margin in Ziyun County, Guizhou (South China). Phylloid algal reefs are morphologically diverse, including isolated small patches, complex superposed bodies, and large-sized reefs. The constructional role of algal was decisive in contributing to build frameworks. Three growth stages with distinct parts were recognized by our investigations: (1) the reef base consisting of a bioclastic shoal; (2) the reef core, when phylloid algae proliferated and contributed to reef growth; and (3) the reef cover indicating the termination of phylloid algal growth. In one of the studied cases, five phases of algal bloom were recognized during the growth of a large-sized phylloid algal reef, as indicated by clearly marked intervals separating these phases of algal proliferation.

Key words phylloid algal reef; reef building; late Carboniferous; Ziyun