贵州南部石炭纪叶状藻礁古生态学特征

巩恩普,董旭明,张永利,关长庆,孙宝亮
东北大学地质系,沈阳,110004

内容提要:贵州紫云石炭纪叶状藻礁极为发育。叶状藻礁在沉积环境频繁变化作用下,与碎屑滩相、灰泥相共同形成独特的沉积序列。产于碳酸盐岩台地边缘的叶状藻生态适应范围较窄,不能忍受混浊的海水,喜欢清洁动荡中等水动力条件。野外很少见到相邻叶状藻片紧密生长在一起,其间空隙常充填亮晶方解石,表明叶状藻片具有一定的强度和韧性。蠕虫很可能参与了基底的建造,并成为叶状藻礁的先驱。

关键词:石炭纪;叶状藻礁;古生态;基底;贵州

黔南地区大面积出露石炭纪碳酸盐岩露头,地层出露完整,化石丰富,是研究石炭纪地层古生物学的最佳地区(吴祥和,1987;冯增昭等,1999;张雄华,2002)。研究区石炭纪地层主要是由上石炭统威宁组和马平组组成,并以生物碎屑灰岩为主,其间发育大量生物滩、丘、礁(贵州省地质矿产局,1987)。在贵州紫云猴场以西约4km的工作区内发育较多的珊瑚礁和大量的叶状藻礁(图1)(巩恩普等,2003,2007;Gong et al.,2007a;关长庆等,2004;孙宝亮等,2007;张永利等,2007)。其中叶状藻礁数量多、规模大小不一、分布层位多、出露完好。

以往关于贵州紫云地区叶状藻礁的研究报道很少(Fan and Liggby,1994),石炭纪的叶状藻礁也很少受到关注。事实上叶状藻是石炭纪非常重要的生物,它常与其它藻类、腕足类、非䗴有孔虫、苔藓虫、海百合、䗴等底栖生物共同造礁造岩,并在世界各地建造多种类型生物礁(Baars and Torres,1991;Kirkland et al.,1993;Toomey,1991;Samankassou,1998,1999,2002)。叶状藻与其共生的底栖生物之间具有复杂的生态关系,通过研究叶状藻礁的生长环境、发育历史和古生态学特征将有助于对黔南石炭纪碳酸盐岩地层成礁成岩的过程进行全面了解,进而揭示叶状藻礁与珊瑚礁的成因联系。

1 叶状藻礁地质学

黔南地区马平组的沉积受到紫云—垭都盆地演化的强烈影响。紫云—垭都盆地自中泥盆世形成以来多次发生海平面变化,主要为开阔的浅水碳酸盐岩台地环境(秦建华等,1992)。与威宁期相比,该期总体上表现为海水变浅,海域面积缩小。在台地上,由于碳酸盐岩生产率高和生物造岩作用发育,形成了多次以海平面上升为标志,以颗粒质灰泥石灰岩—灰泥颗粒石灰岩—亮晶颗粒石灰岩为基本沉积层序的浅滩化旋回(冯增昭等,1999)。

1.1 叶状藻礁层位

本区叶状藻礁主要产于马平组*Triticites*带内,属上石炭统最上部地层(图2)。叶状藻礁产出的地层中含丰富的䗴、珊瑚、腕足类化石。䗴类:*Fusulinella* sp.,*Pseudostaffella* sp.,*Fusulina* sp.,*Triticites* sp.,*Pseudoschwagerina* sp.等;腕足类:*Choristes* sp.,*Martinia* sp.,*Neospirifer orientalis*.,*Orthotichia marmerea*等;珊瑚*Nephelophyllum* sp.,*Pseudotimania* sp.,*Streptophyllidium* sp.,*Diversiphyllum* sp.,等。其中,珊瑚和腕足化石异常丰富。受浅滩化旋回的影响,位于紫云猴场地区的叶状藻礁在马平组中多期次地成群成片地发育。在叶状藻礁附近同层位地层中由造礁珊瑚*Fomitchevella*建造的大型珊瑚礁是目前为止我国发现的最大规模的石炭纪后生动物

注:本文为国家自然科学基金资助项目"贵州紫云石炭纪珊瑚礁群落形成的初始条件与群落演化机制研究"(编号40572014)的成果。
收稿日期:2008-12-28;改回日期:2009-04-08;责任编辑:章雨旭。
作者简介:巩恩普,男,1958年生。东北大学资源与土木工程学院地质系教授,博士生导师。主要从事地层古生物学教学和研究。通讯地址:110004,沈阳市和平区文化路3号巷11号,东北大学资源与土木工程学院地质系;Email:gongep@mail.neu.edu.cn。

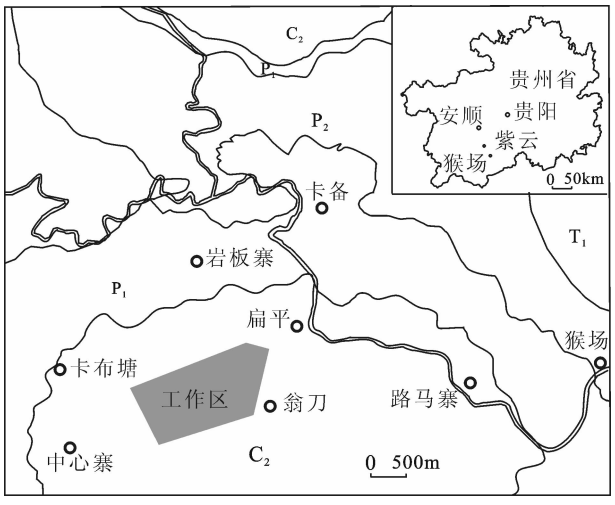


图 1 紫云猴场地区地质及交通位置图

Fig. 1 Geological and geographic position of the Houchang area, Ziyun county

骨架礁(巩恩普等, 2003),在世界范围内也是罕见的。

1.2 叶状藻礁形态及规模

在紫云猴场扁平村西发育数量较多的叶状藻礁。各种规模的叶状藻礁多层叠置,在一条剖面上可见 7 个叶状藻礁体,最厚的可达 8m。大多数礁体呈厚板状,向两侧逐渐尖灭。出露宽度可达 30～50m,甚至更宽。

1.3 叶状藻礁的礁岩结构

紫云猴场地区马平组为一套台地边缘滩相浅灰、灰白色块状灰岩沉积。主体岩性为厚层块状砂屑灰岩、礁灰岩、鲕屑灰岩、细晶灰岩,生物屑砂砾屑灰岩。生物屑主要有藻屑、腕足碎片、鲕屑、有孔虫屑及海百合茎碎片等。普遍具重结晶作用。叶状藻礁大多数产在各种生物碎屑灰岩之上,并常常与贝壳滩或生物碎屑滩交替出现。叶状藻礁岩相序自下而上简介如下:

17. 浅灰色块状鲕屑灰岩,鲕密集成岩。未见顶
16. 厚块状砂屑灰岩,见少量叶状藻。 1.5m
15. 厚层状至块状生物屑砂砾屑灰岩。 2.0m
14. 深灰色块状叶状藻礁灰岩,可见少量单体珊瑚。 10.0m
13. 深灰色厚层生物屑砂屑灰岩。 7.5m
12. 浅灰色块状叶状藻礁灰岩,含少量珊瑚,岩石颗粒较粗。 0.5m
11. 深灰色厚层生物屑砂屑灰岩。 3.0m
10. 深灰色叶状藻礁灰岩。 1.0m
9. 浅灰色细晶灰岩。 1.0m
8. 浅灰色厚层叶状藻屑灰岩,藻叶状体较细弱较薄,呈碎片状,并含大量腕足碎片和单体珊瑚及珊瑚碎块。岩石颗粒较粗。 1.5m
7. 浅灰色厚层砂屑灰岩。 1.5m
6. 深灰色块状叶状藻礁灰岩。藻片宽厚密集,延伸性好。 6.5m
5. 深灰色块状介壳灰岩。腕足壳大小不一,密集排列。 1.5m
4. 浅灰色叶状藻礁灰岩。 1.0m
3. 浅灰色厚层生物碎屑灰岩。 4.0m
2. 深灰色叶状藻礁灰岩。 1.0m
1. 浅灰色块状鲕屑灰岩。 1.0m

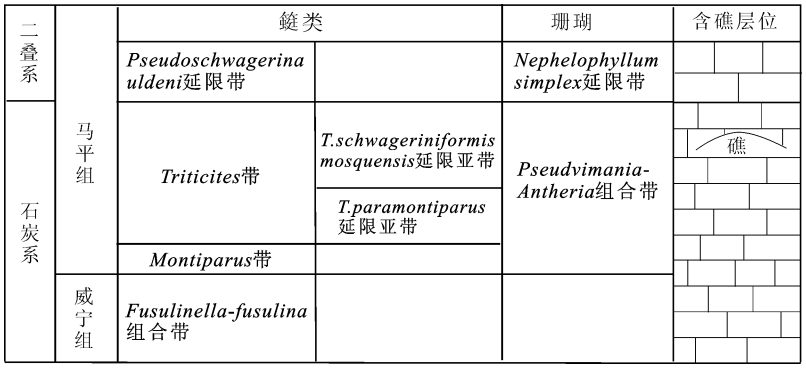


图 2 叶状藻礁产出层位及地层简图

Fig. 2 The stratigraphic position of algal reefs and stratigraphic scheme

2 叶状藻生物学观察

Konishi and Wray (1961) 最早对 *Eugonophyllum* 的叶状体结构和形态做了详细研究,并详细对比了形态相似呈叶片状的四个属,它包括 *Ivanovia*, *Eugonophyllum*, *Anchicodium* and *Archaeolithophyllum* 等几个形态相近的属。Pray and Wray(1963)首先使用叶状藻一词描述了产于美国犹他州,San Juan Canyon 地区宾夕法尼亚亚纪岩石露头上的一些叶片状的藻。*Eugonophyllum* 是最典型的代表。Cross and Klosterman(1981) 又重建了它的外部形态。Kirkland et al. (1993) 按照 *Eugonophyllum* 的形态特征与现代藻类 Halimeda 和 Udotea 的形态特征相似性的特点,认为 *Eugonophyllum* 应放在 Udoteaceae 科内。叶状藻是最常见于世界各地石炭纪碳酸岩建隆中的重要的生物组成部分。它们与其它造架生物建造了大量石炭纪生物礁,在相当部分生物礁中作为唯一的造架生物存在(Baars and Torres, 1991; Fan

and Rigby, 1994; Samankassou and West, 2002; Toomey, 1977, 1980, 1991)。

产于贵州紫云叶状藻礁中的叶状藻形态复杂,不见明确的藻体附着根(Gong et al., 2007b)。藻片大多以折断的藻片保存,藻片厚约 1mm,延长可达 10cm,叶状藻边部的叶缘向内卷曲(图 3a)。由于重结晶作用较强烈,叶状藻的内部构造保存不好。在相邻叶状藻片之间常存在较大空隙,并被沉积物及后期亮晶胶结物充填,有时形成多个世代(图 3b)。很少见到相邻叶状藻片紧密叠置在一起(图 3c),表明叶状藻片是具有一定强度和韧性的。由部分叶状藻片包裹的灰泥沉积物表面均匀分布有瘤状突起,排列规则,直径约 0.8～1.0mm,高约 0.4mm。疑为孢子体的叶片部分小孢子囊球脱落后遗留的痕迹,在后期被沉积物充填(图 3d)。

3　叶状藻礁生态学观察

叶状藻群落通常是以低多样性的化石组合为特征的,在叶状藻繁盛的区域很少有其它生物正常发育(Samankassou and West, 2002; Toomey, 1976, 1980, 1991; Gong et al., 2007b)。在黔南工作区内叶状藻礁附近的沉积物多数是由叶状藻碎片所提供,由此可见叶状藻具有极高的生产力。这种生态习性与现代生活在浅海中的巨藻非常相似。叶状藻群落常常聚集生长在各种碎屑滩上,这与叶状藻这种借助柄来固着的生物对坚固底质的需求是极不相符的。然而,在碎屑滩上偶见排列规则并保持生长状态的蠕虫管(图 4a)。据 Chisholm 和 Kelley (2001)研究,现代造礁过程通常是从蠕虫开始的,蠕虫是珊瑚礁真正的建筑师。蠕虫能够分泌蛋白质胶结松散颗粒,在碎屑滩上建造一个适合造礁珊瑚生

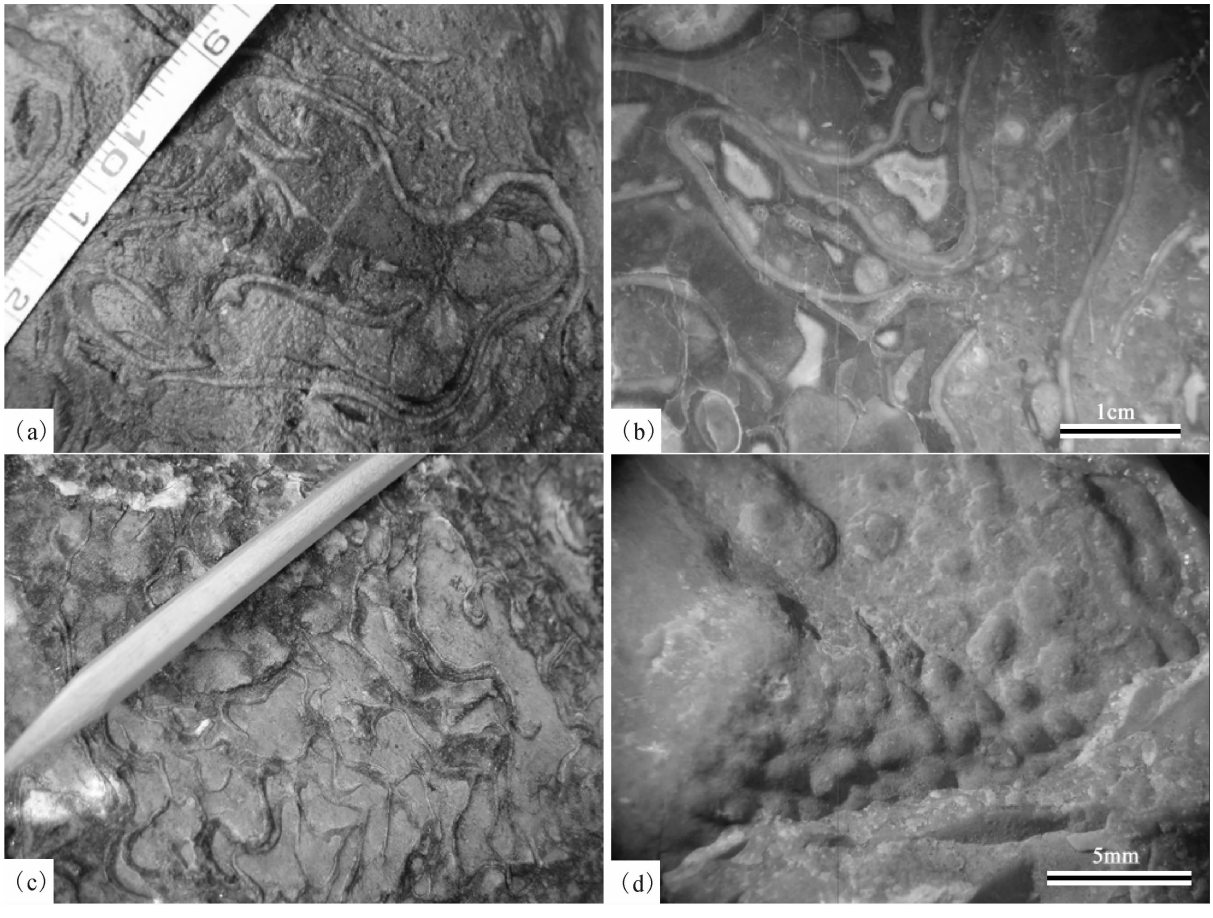


图 3 (a)卷曲的叶状藻叶;(b)叶状藻格架的空隙由沉积物和亮晶胶结物充填;
(c)灰岩风化面上的波状起伏的叶状藻片;(d)叶状藻孢子囊球脱落后遗留的痕迹?

Fig. 3 (a)The curled leaves of phylloid algae;(b) The framework pores of phylloid algae are filled with sediments and sparry calcite; (c) The undulating leaves of phylloid algae on the weathering surface of limestone; (d) The trace of the sporangia on the leaves of phylloid algae?

长的基底，并为珊瑚提供食物和庇护场所。显然，在紫云碳酸盐岩台地的碎屑滩上有可能是蠕虫或其它具有同样功能的生物为叶状藻建造了一个适宜的定殖环境。在叶状藻礁中还常见较多的鲢类与数量和种类都十分丰富的腕足类保存在一起(图 4c)。叶状藻丛为鲢和腕足提供了丰富的养料和适宜的生活空间，随着藻片的飘动，为滤食生物带来更多的悬浮食物。在群落的底层生活较多的 *Tubiphytes*，表明水体比较浅，适合底栖生物的生长，有利于建造礁体。在 *Tubiphytes* 的壳体上常能见到较密集的生物钻孔，这些细小的钻孔可能是微生物所为(图 4b)。珊瑚与叶状藻之间的关系比较微妙，叶状藻很少与珊瑚生活在一起，推测是叶状藻生活时能分泌一种有毒的粘液(Hay, 1997; Paul, 1997)，可对珊瑚产生致命的影响。出现在晚古生代沉积中的一些藻丘能够支持这种假设(Flügel 1979; Toomey, 1976, 1991; Forsythe et al., 2002; Samankassou and West, 2002)，然而在紫云扁平村叶状藻礁中有时可见少量的珊瑚与其保存在一起，这是一个新奇的现象(图 4d)。

在贵州紫云发育的多期次叶状藻礁及叶状藻碎片堆积层中，叶状藻的发育程度与同期沉积物颗粒大小存在一定的关系。当岩石颗粒变粗，逐渐形成碎屑滩或介壳滩时，过急的水流易折断藻片，不利于叶状藻稳定生长，叶状藻停止发育。当水动力条件较弱时，沉积颗粒变细，叶状藻的生长也受到限制，藻片数量减少，形态也较细弱。显然，叶状藻不能忍受浑浊的海水，喜欢生活于清洁动荡的中等强度的水动力环境中。

在贵州紫云扁平村附近叶状藻礁周围的同层位上还发育多种类型珊瑚礁。这些礁体在空间分布上有一定的规律性。在台地边缘前斜坡的迎风面上发育 *Fomitchevella* 大型珊瑚礁体，向台地方向到达台地边缘顶端发育了群体四射珊瑚 *Ivanovia* cf. *manchurica* 并形成覆盖式礁体(关长庆等, 2006)，再向台地内部出现了各种规模的叶状藻礁(图 5)。

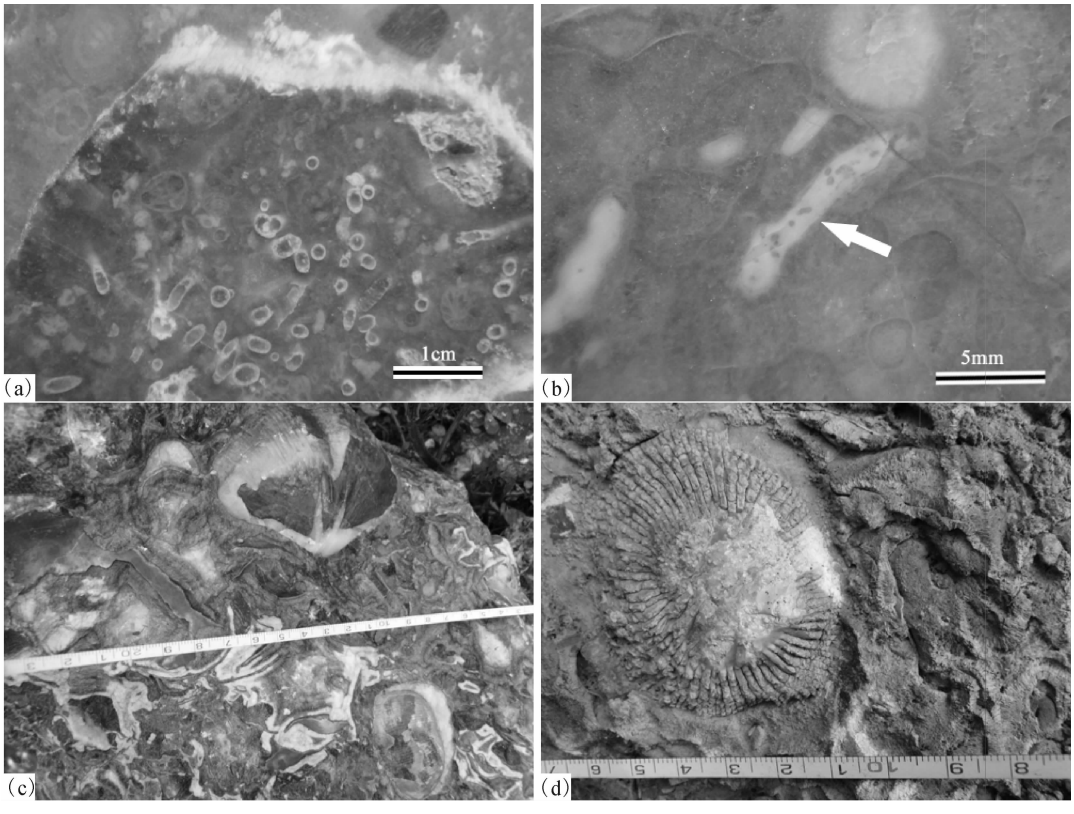


图 4 (a)叶状藻礁基底中的密集的蠕虫管；(b) *Tubiphytes* 的壳体上密集的生物钻孔；(c)叶状藻礁中丰富的腕足动物化石；(d)叶状藻礁中的单体珊瑚

Fig. 4 (a) The dense worm tubes in the substrate of phylloid algal reefs; (b) The dense borings on the wall of *Tubiphytes*; (c) The abundant brachiopods in the phylloid algal reef; (d) The solitary coral in the phlloid algal reef

这些不同类型的生物礁共同组成台地边缘的礁滩组合。从这些生物礁的空间分布判断,叶状藻礁的发育环境及生态要求与珊瑚礁具有一定的相似之处。

4　叶状藻礁沉积学特征

发育于贵州紫云的叶状藻礁是经历了长期的演化,在生物和环境两方面因素的作用下逐渐生长起来的。在生物学方面,数量巨大生产力惊人的叶状藻借助其它生物的辅助能够迅速定殖在游移不定的底质上,形成一个群落,并能为鲢、腕足等底栖生物提供养料丰富、复杂的生态环境。叶状藻群落一旦建立起来便能迅速有效地聚集大批附着生物,共同参与建造礁体。石炭纪时,该区处于浅海碳酸盐岩台地环境。在台地边缘是水动力条件和碳酸盐岩沉积非常理想的部位,极适合叶状藻礁的生长。叶状藻生态要求范围相对较窄,环境的波动常导致叶状藻礁生长的中断。当水动力条件加强而波浪作用显著时,叶状藻礁被高能量的碎屑滩取代。当环境恢复后,叶状藻礁又迅速重新开始生长。当水动力转为低能而灰泥沉积作用加强时,叶状藻礁不发育。本区石炭纪时处于环境动荡的水域,环境变化频繁,叶状藻礁、碎屑滩和灰泥堆积频繁交替。因而,在紫云地区大量叶状藻礁呈多层叠覆式产出,最终形成了本区独特的沉积序列,这或许也是对黔南地区在 *Triticites* 带形成时期内海平面频繁变化的反应(李儒峰等, 1996; 刘本培等, 1994)。

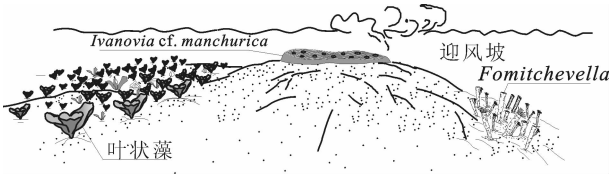


图 5 黔南晚石炭世台地边缘造礁生物分布示意图

Fig. 5 The sketch distribution map of the Late Carboniferous reef-building organisms on the carbonate platform margin in Southern Guizhou

5　结论

(1)叶状藻是石炭纪重要的造礁造岩生物。贵州紫云发育了罕见的叶状藻礁,是全球晚石炭世重要的标志之一,与发育于欧洲早石炭世 Waulsortian 相泥丘共同构成了石炭纪生物造礁造岩的重要特色。

(2)叶状藻生态要求范围相对较窄,喜欢清洁动荡的中等水动力条件的浅海海域,特别适合生长在坚固的基底上,环境的波动常导致叶状藻礁生长的中断。固结碎屑滩成为礁基底并使叶状藻定殖在碎屑滩上面,蠕虫起到了重要作用。

(3)叶状藻藻片显示出具有一定的强度和韧性,大多数以折断的藻片保存。在礁体内有丰富的鲢和腕足共栖于叶状藻丛中,偶尔可见珊瑚与叶状藻保存在一起。叶状藻与鲢、腕足具有共生关系,并能容忍少量珊瑚生长在叶状藻丛内部。

(4)叶状藻礁常生长在碳酸盐岩台地边缘浅滩上。随着沉积作用加强,常常构成向上变浅序列的组成部分,在海平面频繁升降过程中周期性建造叶状藻礁。

参　考　文　献　/　References

冯增昭,杨玉卿,鲍志东. 1999.中国南方石炭纪岩相古地理.古地理学报, 1(1): 75～86.

巩恩普,关长庆,孙宝亮,姚玉增. 2003.黔南地区石炭纪大型珊瑚礁研究.中国科学(D辑), 33(7): 644～649.

关长庆,巩恩普,姚玉增,孙宝亮. 2004.黔南扁平村晚石炭世生物礁生物群落分析.古地理学报, 6(3): 339～346.

关长庆,巩恩普,张永利,孙宝亮. 2006.黔南晚石炭世造礁珊瑚 *Ivanovia*cf. *manchurica* 古生态特征及成礁机制探讨.地质论评, 52(2): 178～183.

贵州省地质矿产局. 1987.贵州省区域地质志.北京:地质出版社, 215～248.

李儒峰,刘本培,赵澄林. 1996.黔南 *Triticites* 带旋回层序碳同位素特征及冰川型海平面变化.地质学报, 70(4): 342～350.

刘本培,李儒峰,尤德宏. 1994.黔南独山石炭系层序地层及麦粒鲢带冰川型全球海平面变化.地球科学, 19(5): 553～564.

秦建华,吴应林,颜仰基,朱忠发. 1996.南盘江盆地海西－印支期沉积构造演化.地质学报, 70(2): 99～107.

孙宝亮,巩恩普,关长庆,姚玉增,张永利. 2007.贵州紫云扁平村石炭纪珊瑚礁剖面微相分析与沉积相.沉积学报, 25(3): 351～357.

吴祥和. 1987.贵州石炭纪生物地层.地质学报, 61(4): 285～295.

张雄华. 2002.黔南紫云、晴隆晚石炭世及早二叠世四射珊瑚.古生物学报, 41(2): 283～294.

张永利,巩恩普,关长庆, Samankassou E,孙宝亮. 2007.贵州紫云石炭纪叶状藻礁:藻类繁盛的标志.沉积学报, 25(2): 177～182.

Baars D L, Torres A M. 1991. Late Paleozoic phylloid algae ——a pragmatic review. Palaios, 6: 513～515.

Chisholm J R M, Kelley R. 2001. Worms start the reef-building process. Nature, 409: 152.

Fan J S, Righy J K. 1994. Upper Carboniferous phylloid algal mounds in southern Guizhou, China. Brigham Young University Geology, 6: 27～33.

Flügel E. 1979. Paleoecology and microfacies of Permian, Triassic and Jurassic algal communities of platform and reef carbonates from the Alps. Bulletin des Centres de Recherches Exploration—Production Elf—Aquitaine, 3(2): 569～587.

Forsythe G T W, Wood R, Dickson J A D. 2002. Mass spawning in

ancient reef communities: evidence from Late Paleozoic phylloid algae. Palaios, 17: 615～621.

Gong Enpu, Elias Samankassou, Guan Changqing, Zhang Yongli, Sun Baoliang. 2007a. Paleoecology of Pennsylvanian phylloid algal buildups in south Guizhou, China. Facies, 53: 615～623.

Gong Enpu, Zhang Yongli, Guan Changqing, Samankassou E, Sun Baoliang. 2007b. Paleoecology of Late Carboniferous phylloid algae in Southern Guizhou, SW China. Acta Geologica Sinica (English edition), 81(4): 566～572.

Hay M E. 1997. Calcified seaweeds on coral reefs: complex defenses, trophic relationships, and value as habitats. In: Proceedings of the 8th International Coral Reef Symposium, Panamy City, Panama, June 1996, vol. Ⅰ, 713～718.

Kirkland B L, Moore Jr C H, Dickson J A D. 1993. Well preserved, aragonitic phylloid algae (*Eugonophyllum*, Udoteaceae) from the Pennsylvanian Holder Formation, Sacramento Mountains, New Mexico. Palaios, 8: 111～120.

Konishi K, Wray J L. 1961. *Eugonophyllum*, a new Pennsylvanian and Permian algal genus. Journal of Paleontology, 35: 659～667.

Paul V J. 1997. Secondary metabolites and calcium carbonate as defenses of calcareous algae on coral reefs. In: Proceedings of the 8th International Coral Reef Symposium, Panama City, Panama June 1996, vol. Ⅰ, 707～712.

Pray L F, Wray J L. 1963. Porous algal facies (Pennsylvanian), Honaker Trail, San Juan Canyon, Utah. In: Bass R O and Sharps S L. eds. A Symposium——Shelf Carbonates of the Paradox Basin, Four Corners Geological Society, Fourth Field Conference, 204～234.

Samankassou E. 1998. Skeletal framework mounds of Dasycladalean alga *Anthracoporella*, Upper Paleozoic, Carnic Alps, Austria. Palaios, 13: 297～300.

Samankassou E. 1999. Drowing of algal mounds: records from the Upper Carboniferous Lower *Pseudoschwagerina* Limestone, Carnic Alps, Austria. Sedimentary Geology, 127: 209～220.

Samankassou E, West R R. 2002. Construction versus accumulation in phylloid algal mounds: an example of a small constructed mound in the Pennsylvanian of Kansas, USA. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 185: 379～389.

Toomey D F. 1976. Paleosynecology of a Permian plant dominated marine community. Neues Jahrb Geol Pal ontol Abhandlung, 152: 1～18.

Toomey D F. 1977. Evolution of Yucca mound complex, late Pennsylvanian phylloid-algal buildup, Sacramento Mountains, New Mexico. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 61: 2115～2133.

Toomey D F. 1991. Late Pennsylvanian Phylloid-Algal Bioherms, Orogrande Basin, South—Central New Mexico and West Texas. New Mexico Geological Society Guidebook, 42: 213～220.

Toomey D F. 1980. History of a Late Carboniferous phylloid algal bank complex in northeastern New Mexico. Lethaia, 13: 249～267.

Toomey D F. 1991. Late Pennsylvanian phylloid-algal bioherms, Orogrande basin, South—central New Mexico and West Texas. In: Barker J M. ed. Geology of the Sierra Blanca, Sacramento and Capitan Ranges, 42nd Annual Field Conference. Albuquerque: New Mexico Geological Society, 213～220.

Paleoecological Characteristics of the Carboniferous Phylloid Algal Buildups in Southern Guizhou

GONG Enpu, DONG Xuming, ZHANG Yongli, GUAN Changqing, SUN Baoliang

Geology Department of Northeastern University, Shenyang, 110004

Abstract: The Carboniferous phylloid algal buildups are widespread and well exposed in southern Guizhou. A unique depositional sequence consists of phylloid algal buildups, bioclastic banks and mud facies affected by frequent changes of depositional environments. The phylloid algae that grow on the margin of carbonate platform prefer to live in clean water with medium turbulence. Therefore the phylloid algae must be a narrow spectrum of ecological environment. Adjacent two leaves of phylloid algae rarely are tightly together in the growth-form and the spaces between two leaves are often filled with sparry calcite. It indicates that phylloid algae thallus should be a certain tenacity and intensity. The worm may be taked part in the construction of buildup substrate, and they are the pioneer of phylloid algal buildup.

Key words: Carboniferous; phylloid algal buildup; palaeoecology; substrate; Guizhou