locities. Earth Planet Sci lett, 1993, 120: 43~ 57
6 Stessky R M, Brace W F. Electrical conductivity of serpentinized rocks to 6 kilobar. J Geophys Res, 1973, 78(32): 7 614~ 7 621
7 Xu J A, Zhang Y M, Hou W, et al. measurements of ultrasonic wave velocities at high temperature and high pressure for window glass, pyrophllite, and kimberlite up to 1400 ℃and 5. 5GPa. Hi Temp-Hi Press, 1994, 26: 375~ 384
8 Roberts J J, Tyburczy J A. Frequency dependent electrical properties of minerals and partial-melts. Surv Geophys, 1994, 15: 239~ 262
9 Xu Y S, Poe B T, Shankland T J, et al. Electrical conductivity of olivine, wadslevite, and ringwoodite under upper-mantle conditions. Science, 1998, 280: 1415~ 1418
10 Roberts J J, Tyburczy J A. Frequency dependent electrical properties of polycrystalline olivine compacts. J Geophys Res, 1991, 98 (B10): 16205~ 16222
11 Macdonald J R, Johnson W B. Fundamentals of impedance spectroscopy. In: Macdonald J R (ed), Impedance Spectroscopy. New York: Wiley & Sons, 1987. 1~ 26
12 Christensen N I. Compressional wave velocities in possible mantle rocks to pressures of 30 kilobars. J Geophys Res, 1974, 79(2): 4407~ 4412
13 Zhou Wenge, Zhao Zhidan, Xie Hongsen, et al. Compressional wave velocities in some volcanic rocks at pressure up to 4. 5GPa. Journal of China University of Geosciences. 1998, 9(2): 159~ 164
14 高 平, 杨僻元, 李艳军. 秦岭-大别山壳幔岩石高温高压下的电性特征. 地质科学, 1998, 33(2): 195~ 203
15 郑海飞, 谢鸿森, 徐有生, 等. 0. 2~ 4. 18GPa 和 20~ 350 ℃下 H_2O 的电导率研究. 科学通报, 1997, 42(9): 897~ 902
16 Schilling F R, Partzsch G M, Brasse H, et al. Partial melting below the magmatic arc in the central Andes deduced from geoelectromagnetic field experiments and laboratory data. Phys Earth Planet Inter, 1997, 103: 17~ 31
17 Jones A G. Electrical conductivity of the continental lower crust. In: Fountain D M, Arculus R J, Kay R W, eds. Continental Lower Crust. Amsterdam: Elsevier, 1992. 81~ 143
18 顾芷娟, 郭才华, 李 彪, 等. 壳内低速高导层成因初步探讨. 中国科学(D辑), 1995, 25(1): 108~ 112

(1998-09-14 收稿, 1998-12-18 收修改稿)

贵州台江中寒武世具节珊瑚藻类化石的发现

杨瑞东 ④ 赵元龙 ④
(南京大学地球科学系, 南京 210093; ④贵州工业大学资源系, 贵阳 550002)

摘要 在贵州台江中寒武世凯里组中发现了目前最古老的具节珊瑚藻类化石 *Paraamphiroa siniansis* gen. et sp. nov.. 该化石产于泥岩和页岩中, 保存完好, 具有钙化藻体, 与其他以炭质薄膜形式保存的宏观藻类共生, 并与西伯利亚早寒武世碳酸盐岩钙质藻类和震旦系陡山沱组磷化红藻有明显区别, 鉴于以往报道的最古老具节珊瑚藻化石是白垩纪, 这一发现对钙质藻类的系统发生和演化的研究会有一定意义.

关键词 **贵州 中寒武世 珊瑚藻类**

贵州台江位于扬子区与江南区的过渡带上. 近年来, 赵元龙等人[1,2]在台江中寒武世凯里组中发现了凯里动物群, 随后陆续发现了大量的保存完好的宏观藻类化石, 这些藻类化石以构成目前世界上早古生代保存最好的宏观藻类植物群之一. 在凯里组第20和23层的泥岩和页岩中首次发现了具有钙质骨架的珊瑚藻类化石: *Paraamphiroa siniansis* gen. et sp. nov., 化石

保存完好, 结构较清晰(图 1), 与三叶虫、腕足动物、水母状化石、棘皮动物、蠕虫动物化石和大量炭质薄膜宏观藻类等共生.

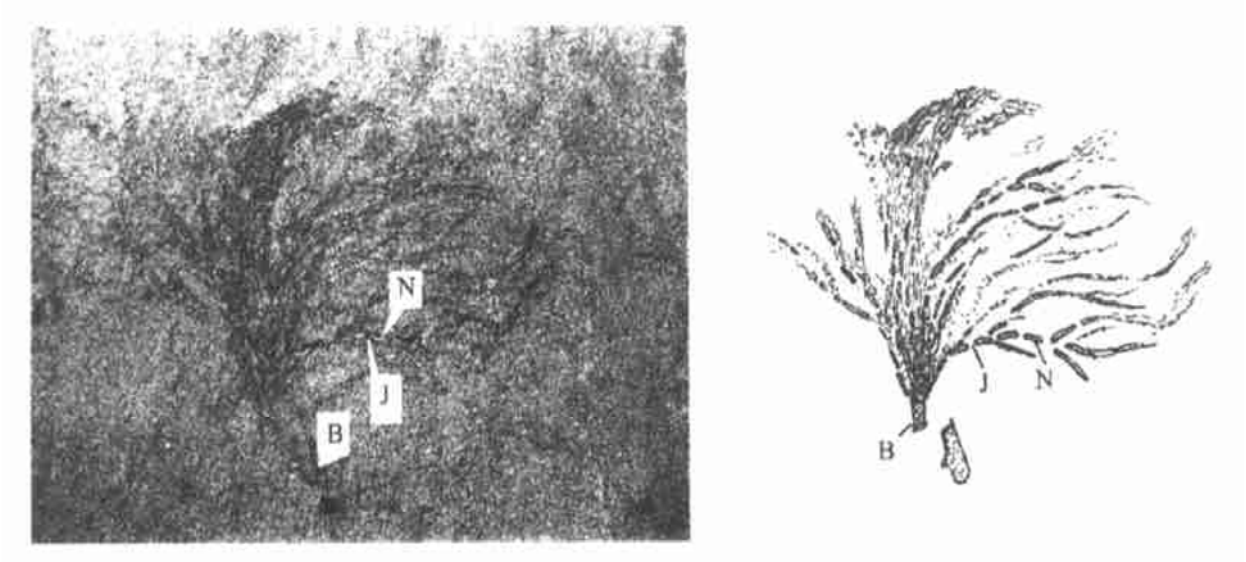

图 1 具节珊瑚藻 *Paraamphiroa siniansis* 特征

B——主枝, J——节, N——节间, 标本编号 GTB-23-3-435, 放大 4 倍

元古宇-寒武纪宏观藻类研究已有 100 多年历史, 早在 1889 年 Walcott 就在北美的前寒武纪-寒武纪地层中发现了大量的圆盘状、带状炭质薄膜宏观藻类[3~7]. 我国元古宇-寒武纪宏观藻类研究自 60 年代开始到现在, 已发现含有大量宏观藻类化石的庙河生物群、团山子藻群、蓝田植物群、龙凤山生物群、瓮安生物群、淮南生物群和凯里生物群等[8~17]. 然而, 国内、外发现的这些宏观藻类化石除我国贵州瓮安陡山沱期磷块岩中的红藻化石和西伯利亚早寒武世地层中钙化藻类外几乎均为炭质薄膜藻体[3, 11~13]. 贵州瓮安陡山沱期磷块岩中的红藻化石均被磷质矿化, 其生态藻体是否钙质已无法知道; 西伯利亚早寒武世地层中的钙化藻类是保存在碳酸盐岩中, 其生态藻体同样难以确定. 此外我国湖南早寒武世清虚洞组和山东张夏组中也含有钙质藻类, 但由于它们均保存在碳酸盐岩中亦难以知道生态藻体是否是钙质体. 具有钙质骨骼的最新发现的宏观具节珊瑚藻 *Paraamphiroa siniansis* gen. et sp. nov. 是产于泥岩和页岩中的, 结合其形态特征可以确定该藻类是目前最古老的钙质生态藻体, 与现代钙质红藻相似, 它也是最早的具节珊瑚藻类化石.

在震旦系中虽然发现有红藻化石, 但生态藻体未能确定是钙质体. 而贵州台江凯里组为一套页岩、泥岩和粉砂质泥岩组成的陆源碎屑岩. 其中的具节珊瑚藻藻体自身就具有钙化特征, 而不是后来成岩作用引起藻体钙化, 因此, 从目前发现的红藻化石中, 贵州台江凯里组发现的具节珊瑚藻是可确定的最古老的钙质红藻.

1 化石描述

拟叉节藻属(新属) *Paraamphiroa* gen. nov. Yang et Zhao

模式种 *Paraamphiroa siniansis* gen. sp. nov. Yang et Zhao.

描述 钙质藻体, 二歧状分枝, 有时具有三叉状, 藻枝由节和节间组成, 钙化的节间呈圆柱状, 有时两端膨大, 节部为非钙化部分, 侧枝由节部分枝, 具有主枝, 分枝在主枝上成簇状分叉. 未见生殖窝.

中华拟叉节藻(新属、新种) *Paraamphiroa siniansis* gen. et sp. nov. Yang et Zhao(图 1)

材料 两块标本(编号 GTB-20-152, GTB-23-3-435).

描述 同属征. 藻体具有主枝, 主枝上部为二级簇状分枝, 三级分枝为二叉状, 藻枝均由节和节间组成, 在非钙化的节部分枝, 钙质藻体. 藻体长 1~ 1.5 cm, 枝体上部展开宽 1.2 cm, 主枝长 4 mm, 粗 0.5 mm.

讨论 藻体与其他炭质薄膜状藻体不同, 其主枝和分枝突出层面, 具有明显的钙化特征. 作者认为这种钙化特征并非是后生成岩作用形成, 而是生态藻体本身所具有, 以下几点可进一步论证: ( ) 与其共生的其他藻类都为炭质薄膜藻体, 唯 *Paraamphiroa siniansis* 呈凸出的较坚硬钙质藻体; ( ) 化石保存在泥岩、页岩层内, 不易被后生成岩作用钙化; ( ) 藻体分枝上有一层钙膜, 剥去钙膜后可以看到节状钙质体, 这种特征通常只有钙质生态藻体才可能具有.

新发现藻体形态、分枝形式与现代的 *Amphiroa* Lamx., *Galaxaura* Lamx. 相似, 由于其具有钙化特征, 因此与 *Amphiroa* Lamx. 就更为相似. 但其藻体具有主枝、二级分枝在主枝上部成簇状分枝和三级分枝为二叉状分枝特征则又与 *Amphiroa* Lamx. 相区别. 据此定为具节珊瑚藻类化石, 而在此之前报道的具节珊瑚藻化石最早产于白垩系[18], 因此该化石是目前世界上发现的最古老的具节珊瑚藻类化石.

时代与产地 贵州台江中寒武世凯里组.

关于珊瑚藻类的演化问题, Lemoine (1911) 提出珊瑚藻科(*Corallinaceae*) 的两个形态分支: 即石枝藻亚科(*Lithothamnieae*) 和石叶藻亚科(*Lithophylleae*), 珊瑚藻是由管孔藻科(*Solenoporaceae*) 演化而来的[18]. 此后 Johnson(1960), Maslov(1962) 和 Wray(1977) 提出了珊瑚藻的进化模式, 修正了 Lemoine 的原始进化模式, 虽然每个模式细节不同, 但每个模式均表示石枝藻亚科在中生代早期由 *Solenopora* 属演化而来, 并且石枝藻亚科和具节珊瑚藻类在古生代中期由 *Parachaetetes* 演化而来, 中间经过了晚古生代的"珊瑚藻祖先"[18~20]. 贵州台江中寒武世珊瑚藻化石 *Paraamphiroa sinianis* 的发现, 是上述钙质红藻类演化、特别是珊瑚藻类的演化模式所难以解释的. 根据目前资料的研究表明珊瑚藻类并非从 *Solenoporaceae* 类演化而来, 而是在前寒武纪就可能已出现, 它可能是从前寒武纪 *Thallophyca* 藻类演化而来. 张昀等人[11, 12] 在贵州震旦系陡山沱组中发现了与现代 *Corallina* 相似的、具有红藻细胞结构和生殖器官的 *Thallophyca*, 并认为它可能是珊瑚藻类的祖先. 因而钙质红藻类群的系统发生可能是如下趋势: 震旦纪的 *Thallophyca* 为钙质红藻的祖先, 虽然它的生态藻体尚未钙化, 但可能就是皮壳状钙质珊瑚藻的代表. 至寒武纪, 具节珊瑚藻和皮壳状珊瑚藻就开始分异, *Thallophyca* 演化为 *Paraamphiroa sinianis*; 这一分异在白垩纪显得更加明显. 另据报道, 在震旦系发现红藻化石, 如 *Manicosiphoniaceae*[14] 和 *Solenopora*[13], 但无法确定其生态藻体已钙化, 其中有钙化特征的 *Manicosiphoniaceae* 后来被认为是矿物结晶体, 而不是钙质藻体.

根据资料研究, Johnson(1960), Maslov(1962) 和 Wray(1977) 认为 *Parachaetetes* 是珊瑚藻类祖先的观点值得考虑, 至少其已难以胜任具节珊瑚藻类的祖先.

古代珊瑚藻主要分布在热带、温带海区, 在 10 m 以下和潮间带高能环境最丰富[21], 现代具节珊瑚藻类的生活环境也是在 20~ 90 m 水深范围[22]. 凯里动物群中有大量的红藻、褐藻、绿藻等藻类化石和底栖固着生活的棘皮动物、海绵动物, 还有大量的三叶虫和水母状化石, 从具节珊瑚藻类和丰富的其他藻类和动物化石共生这一生物组合特征分析, 这一生物群生活水深在

20~ 90 m 范围. 然而,凯里动物群保存层位的沉积特征、遗迹化石组合则显示出水深约在 200 m 的陆棚环境[23, 24],因此,凯里动物群中很大一部分分子属于异地埋藏. 由现代珊瑚藻类的生活环境推测贵州台江中寒武世处在赤道附近,这与古地磁恢复的古板块位置相吻合[25, 26].

早古生代早期后生植物群此前仅在北美和西北利亚发现[3~ 7]. 这次在贵州台江凯里组中发现了珊瑚藻类等早期后生植物群,不仅填补了我国在寒武纪无早期后生植物群的空白,同时可结合我国元古宇已发现的藻类植物群[8~ 17],为研究早期后生植物的演化提供了很好的材料.

致谢 对杨湘宁教授、施贵军老师在本文撰写过程中的指导和帮助表示感谢. 本工作为国家科委"攀登"专项(95-专-01)、国家自然科学基金(批准号: 49772085)和贵州省科委基金资助项目.

参 考 文 献

1 赵元龙, 黄友庄, 毛家仁, 等. 凯里化石库——一个新的中寒武世布尔吉斯页岩型化石库. 贵州地质, 1996, 17(2): 105~ 114
2 赵元龙, 袁金良, 黄友庄, 等. 贵州台江中寒武世凯里动物群. 古生物学报, 1994, 33(3): 263~ 271
3 Korde K B. Cambrian algae. USSR Acad Sci Trans Paleontol Inst, 1973. 139~ 349
4 Walcott C D. Cambrian geology and palaeontology, In, no. 5-Middle Cambrian algae. Smith Miscel collec, 1919, 67(5): 217~ 260
5 Babcock L E, Robison R A. Taxonomy and paleobiology of some Middle Cambrian Scenella (cnidaria) and Hyolithids (Mollusca) from Western North America. Univ Kansas Paleont Contrib, Paper, 1988, 121: 1~ 22
6 Johson J H. A review of the Cambrian algae. Q Colorads Sch Mines, 1966, 61: 1~ 162
7 Riding R, Voronova L. Morphological groups and series in Cambrian calcareous algae. In: Toomey D F, Nitecki M H, eds. Berlin/Heidelberg New York/Tokyo: Paleoalgology, Springer-Verlag, 1985. 56~ 78
8 丁莲芳, 李勇, 胡夏嵩, 等. 震旦纪庙河生物群. 北京: 地质出版社, 1996. 62~ 95
9 杜汝霖, 田立富. 燕山地区青白口纪宏观藻类. 石家庄: 河北科技出版社, 1986. 1~ 86
10 陈孟莪, 鲁刚毅, 萧宗正. 皖南上震旦统蓝田组的宏观藻类化石-蓝田植物群的初步研究. 见: 中国科学院地质研究所所刊6号. 北京: 地质出版社, 1994. 252~ 267
11 Zhang Yun. Multicellular thallophytes with differentiated tissues from late Proterozoic phosphate rocks. of South China Lethaia, 1989, 22: 113~ 132
12 Zhang Yun, Yuan Xunlai. New data on multicellular thallophytes and fragments of cellular tissues from Late Proterozoic phosphate rocks. South China Lethaia, 1991, 25: 1~ 18
13 赵东旭. 震旦纪陡山沱组磷质红藻的发现. 沉积学报, 1986, 4(1): 126~ 127
14 曹瑞骥. 西南地区晚震旦世灯影组藻类植物群. 见: 中国科学院南京古生物研究所所刊, 10号. 北京: 科学出版社, 1987, 1~ 40
15 阎玉忠, 刘志礼. 中国蓟县长城系团山子宏观藻群. 古生物学报, 1997, 36(1): 18~ 41
16 郑文武. 皖北震旦系中 Chuaria 等化石的发现及其地质意义. 见: 天津地质矿产所所刊, 3号. 北京: 地质出版社, 1980. 49~ 69
17 Wray J L. Late paleozoic calcareous red algae. In: Erik F, ed. Fossil Algae, Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag, 1977. 140~ 150
18 Johnson J H. Paleozioic solenoporaceae and related red algal. Colorado school of Mines Quart, 1960, 55(3): 1~ 77
19 Lemoine M. Structure anatomique des melobesiees. Ann Inst Oceanogr Monaco, 1911, 2(2): 1~ 213
20 Maslov V L. Fossil red algae of the U S S R, and their facies relationships. Acad Sci USSR. Geol Inst Trudy, 1960, 53: 1~ 222
21 刘志礼. 化石藻类学导论. 北京: 高等教育出版社, 1990. 1~ 44
22 福迪 B. 藻类学. 罗迪安译. 上海: 上海科学技术出版社, 1981. 175~ 206
23 张正华, 沈建伟, 赵元龙, 等. 贵州台江中寒武世凯里动物群保存环境初探. 古生物学报, 1996, 35(5): 607~ 622
24 杨式溥. 贵州台江早、中寒武世凯里组的遗迹化石. 古生物学报, 1994, 33(3): 350~ 358
25 Conway M S. Burgess shale faunas and Cambrian explosion. Science, 1989, 246: 339~ 346
26 Mckerrow W S, Scotese C R, Brasier M D. Early Cambrian continental reconstructions. Journal of the Geological Society, 1992, 149: 599~ 606

(1998-04-24 收稿, 1998-11-26 收修改稿)