

文章编号: 1000-0550(2009) 06-1050-07

# 贵州清镇陡山沱组帽白云岩地球化学特征以及其中藻类化石 *Beltanelliodes podolicus* 发现<sup>①</sup>

杨瑞东 魏怀瑞 陈吉艳

(贵州大学喀斯特环境与地质灾害防治教育部重点实验室 贵阳 550025)

**摘 要** 贵州清镇陡山沱组为浅海白云岩、泥质白云岩,在陡山沱组底部泥质白云岩中产大量的圆盘状炭质化石,个体直径为 2~15 mm。由于以前发现类似的化石主要保存在泥岩中,而碳酸盐岩中这类化石只有俄罗斯地台上发现过,从化石保存的结构分析,其应该归属藻类中的 *Chuarid*。通过对陡山沱组帽白云岩的碳同位素分析,其具有典型的帽碳酸盐岩碳同位素负异常的特征,这表明在冰后浅海沿岸泻湖环境,球形藻类已经繁盛。同时,研究发现浅海沿岸泻湖环境冰后碳酸盐沉积是一个钙质(白云质)逐渐增加的渐变过程,而非 Hoffmann 等认为的非常快速沉积。

**关键词** 藻类化石 帽碳酸盐岩 Marinoan 冰期 陡山沱组 贵州

**第一作者简介** 杨瑞东 男 1963 年出生 博士 教授 博士生导师 地层古生物和地球化学 E-mail: rdyang@gzu.edu.cn

**中图分类号** P588.24<sup>+</sup>5 Q924.82 **文献标识码** A

Marinoan 冰期后不仅形成了全球都有分布的帽碳酸盐岩<sup>[1~18]</sup>,而在中国南沱冰期后(相当于 Marinoan 冰期)的陡山沱期磷块岩中保存有大量的多细胞藻类的动物化石<sup>[19~27]</sup>,因此,陡山沱期沉积环境和生物演化是当前早期后生生物研究热点<sup>[4,5]</sup>。

我国陡山沱期沉积地层中保存有瓮安生物群、庙河生物群和蓝田植物群等为代表的重要生物群<sup>[22,27,28]</sup>,它们是震旦纪生物辐射重要证据<sup>[29]</sup>。特别是最近几年在贵州瓮安陡山沱磷块岩中发现大量的生物化石后,对陡山沱期生物群的研究更加重视。由于瓮安陡山沱磷块岩沉积环境水动力较强,磷酸盐化作用是化石保存重要条件。为此,我们一直试图寻找水动力不强的浅水环境,了解这样的环境中生物情况以及冰后碳酸盐岩帽的特征,终于在贵州清镇找到了这样的剖面,而且从中发现了 *Beltanelliodes podolicus* 化石,这对了解陡山沱期生物群生态、冰后环境以及藻类生物群复苏研究具有重要意义。

## 1 区域地质

贵州陡山沱期沉积环境分异性强,黔中为古陆,其他地区为浅海至深海环境,根据沉积特征可划分为 5 个相(图 1)。

**潮坪相:**分布在开阳—息烽一带,围绕黔中古陆

边缘分布。沉积白云岩、含磷白云岩、磷块岩、生物碎屑磷块岩、砂岩等,大量的叠层石、原植藻、粘球藻、螺旋藻等繁盛。

**泻湖相:**分布在大方、清镇等地,在清镇沉积泥质灰岩、白云岩,大方泻湖沉积硅质白云岩、白云岩。

**浅滩相:**主要分布在瓮安、福泉、织金等地,沉积生物碎屑磷块岩、白云岩,含有大量藻类化石和海绵动物、动物胚胎化石和刺细胞动物化石等<sup>[23~27]</sup>。

**陆棚相:**分布在都匀—瓮安—金沙一线以东的广大地区,沉积黑色页岩、粉砂质粘土岩、粉砂岩,夹结核状和胶状磷块岩和白云岩。而在台江—天柱一带,则为缺氧的滞积陆棚环境,沉积含锰页岩、硅质岩,并含有丰富的 Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 层和结核状磷块岩。

**盆地相:**分布在榕江、黎平一带,沉积硅质灰岩、含磷硅质岩。

贵州境内陡山沱期沉积与南沱冰碛岩呈平行不整合或整合接触,陡山沱组底部发育典型的帽白云岩,特别是在陆棚环境,这种沉积更典型,如贵州铜仁坝黄剖面,底部为大量微粒或条带状黄铁矿泥灰岩,之上沉积薄层白云岩和厚层白云岩组成的“帽白云岩”(图 2)。但在黔中古陆边缘的泻湖环境,帽碳酸盐岩沉积就与 Hoffmann 等<sup>[3]</sup>描述的典型帽碳酸盐岩有区别。贵州清镇剖面陡山沱组底部帽碳酸盐岩之

①国家自然科学基金项目(批准号:40462001)和贵州大学博士点基金联合资助。

收稿日期:2008-11-18 收修改稿日期:2008-12-15

下缺失冰川沉积的南沱组, 只有在陡山沱组底部泥质白云岩、泥岩和滨海沉积的澄江组海绿石砂岩之间有 0.3 m 厚的砾石层 (图 2)。陡山沱组底部的泥质白云岩、泥岩水平纹层发育, 往上泥质减少, 钙质、白云质增多, 最后成为薄层白云岩、厚层白云岩 (图 2B)。陡山沱组底部的泥质白云岩、泥岩代表的是浅海滨海泻湖相沉积<sup>[30]</sup>。

## 2 陡山沱组沉积地球化学特征

根据吴祥和等<sup>[30]</sup>研究, 贵州清镇在陡山沱期为泻湖沉积环境 (图 1), 陡山沱组为泥质白云岩、薄层白云岩和厚层白云岩组成 (图 2B), 泥质白云岩水平层理发育, 含星散状黄铁矿以及碳质盘状化石体 *Belanelliodes palolicus*。由于清镇陡山沱组是在浅海

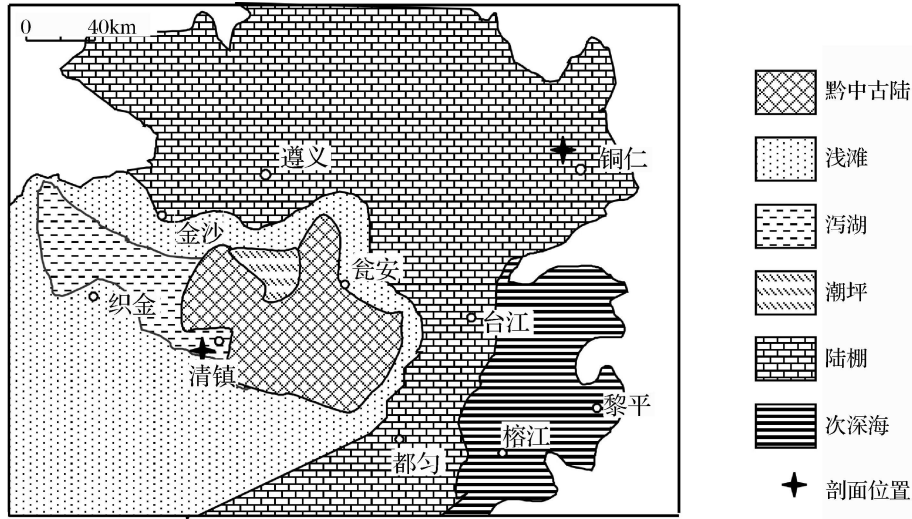


图 1 贵州新元古代陡山沱期岩相古地理图 (据文献<sup>[30]</sup>)

Fig 1 The map showing lithofacies and palaeogeography of Neoproterozoic Doushantuo Stage in Guizhou Province, China

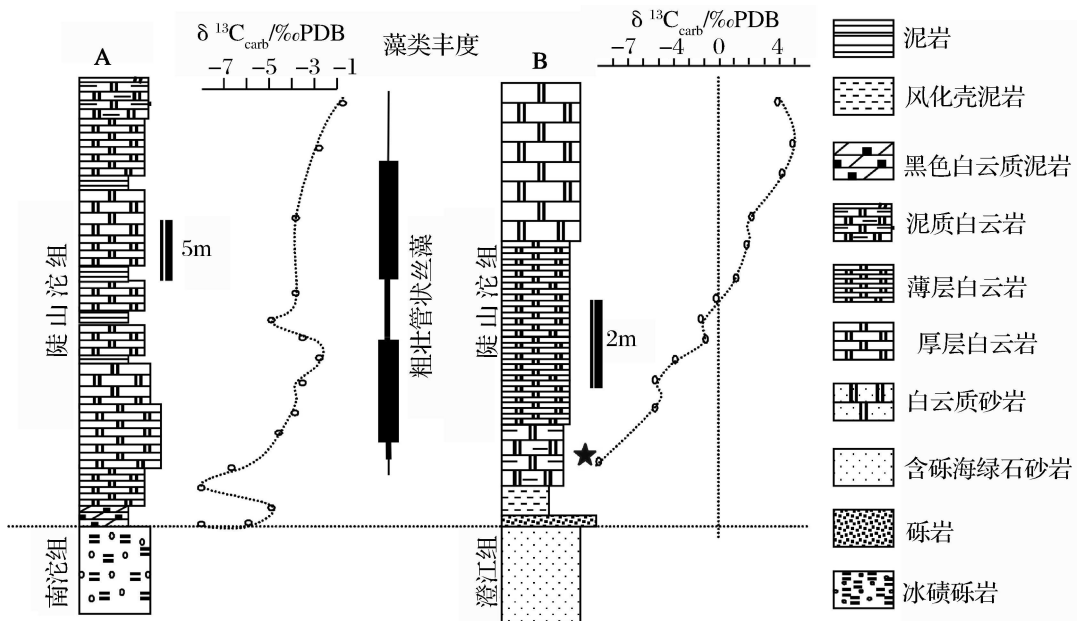


图 2 贵州新元古代陡山沱期帽碳酸盐岩 (A: 铜仁坝黄剖面; B: 清镇桃子冲剖面; ★化石产出层位)

Fig 2 The map showing carbonate cap of Neoproterozoic Doushantuo Stage in Guizhou Province, China (A. Bahuang section; B. Taozhong section, Qingzhen County; ★. Occurrence horizon of *Belanelliodes*)

滨岸泻湖环境沉积的,在这样的沉积环境下,帽碳酸盐岩的沉积地球化学特征是什么,它与 Hoffman 描述的典型帽碳酸盐岩有什么区别是本研究的重要内容。

清镇新元古代澄江组与陡山沱组之间为平行不整合接触关系。澄江组厚层紫红色、灰绿色海绿石含

砾砂岩、砂岩、粉砂岩,平行层理、水平层理发育(图 3a),厚度大于 50 m,在澄江组砂岩与陡山沱组泥质白云岩之间,存在 0.2 m 厚的砾岩,砾石较小,一般为 0.3~1 cm,砾石呈次棱角一次圆状(图 3b),其可能相当于南沱期沉积。砾石层上为 0.3 m 厚的泥岩层,

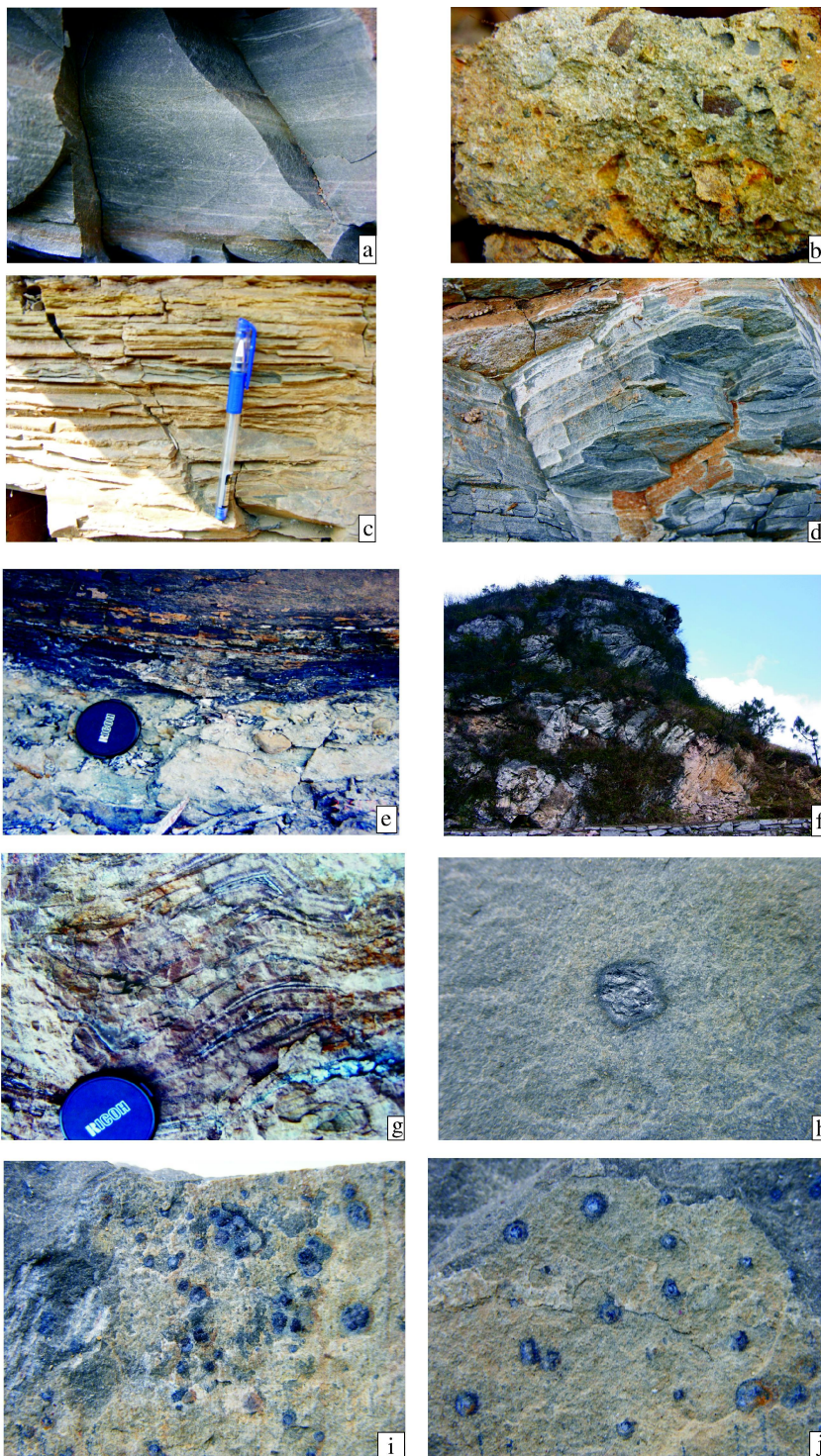


图 3 清镇、铜仁陡山沱组底部帽白云岩沉积及其中藻类化石

Fig. 3 Cap carbonate and algae fossils of Doushantuo Fm. in Qingzhen and

往上岩性逐渐发生变化, 开始出现兰灰色泥质白云岩, 风化强烈, 风化后岩石形成泥岩状, 厚 1.2 m。在该层内发现大量在炭质球状化石 (图 3h~j)。往上为薄层状泥质白云岩 (图 3c)、白云岩 (图 3d), 厚 4 m, 其上为厚层块状白云岩, 厚度大于 30 m (图 3f)。

从贵州清镇陡山沱组帽碳酸盐岩岩性从下往上, 由泥岩—泥质白云岩—薄层白云岩—厚层白云岩的过渡关系, 说明帽碳酸盐岩沉积不是很快地沉积, 而是经过一段时间后由碎屑岩沉积逐渐转变为碳酸盐岩沉积。从岩石表现出向上 Ca Mg 含量逐渐增加和层增厚的特点, 说明冰期后环境的转变不是突然的。由于该地区在当时是处于滨岸泻湖环境, 如果按“雪球地球”模型解释, 则滨海和浅海地区碳酸盐沉积更快, 应该出现更典型的“帽碳酸盐岩”, 也就是说冰碛岩之上直接出现白云岩, 但清镇剖面表现出的沉积特征是“帽碳酸盐岩”下部相是由泥岩逐渐过渡到薄层泥质白云岩、薄层白云岩、厚层块状白云岩。说明“帽碳酸盐岩”沉积是钙 (白云) 质逐渐增加的过程, 而非 Hoffman 等认为的快速沉积的过程。

表 1 贵州清镇陡山沱组帽白云岩碳、氧同位素

Table 1 The composition of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  in carbonate cap of Neoproterozoic Doushanuo Formation in Qingzhen County, Guizhou Province, China

样品编号	岩性	$\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}/\text{‰ PDB}$	$\delta^{18}\text{O}/\text{‰ PDB}$
AB-5	泥质白云岩	-7.61	-7.05
QZ-1	薄层白云岩	-3.72	-4.72
AB-6	薄层白云岩	-3.67	-2.19
AB-7	薄层白云岩	-2.91	-1.10
QZ-3	薄层白云岩	-1.06	-1.69
AB-8	薄层白云岩	-1.23	0.49
QZ-5	薄层白云岩	-0.21	-3.01
QZ-6	中层白云岩	1.15	-0.78
QZ-7	中层白云岩	1.84	0.014
QZ-8	厚层白云岩	2.57	0.45
QZ-10	厚层块状白云岩	3.93	-1.23
QZ-11	厚层块状白云岩	4.44	-2.31
QZ-12	厚层块状白云岩	3.94	-4.26

注: 数据由宜昌地质矿产所 MAT-252 质谱仪测试, 样品编号不一致是由于两次分别采样造成。

清镇地区“帽白云岩”底部薄层泥质白云岩的  $\delta^{13}\text{C}$  为  $-7.61\text{‰}$ , 往上薄层白云岩的  $\delta^{13}\text{C}$  向正方向漂移, 为  $-3.72\text{‰} \sim -0.21\text{‰}$  之间, 而上部的中厚层白云岩的  $\delta^{13}\text{C}$  为  $1.15\text{‰} \sim 4.44\text{‰}$  之间 (表 1, 图 2B)。

铜仁地区的“帽碳酸盐岩”底部为含大量黄铁矿

的薄层黑色泥灰岩、泥质白云岩, 水平层理发育, 含黄铁矿纹层 (图 3e); 下部为一套纹理非常发育, 具有栉壳状构造、玛瑙纹状构造、纹层变形强烈的薄层状白云岩层 (图 3g), 它被认为是冰期后碳酸盐快速沉积的产物<sup>[3, 6, 9]</sup>。上部为中至厚层状, 具有非常发育的纹理构造和含有丰富的管状藻类化石 *Siphonophycus* 的白云岩<sup>[11~13]</sup>, 这种冰碛岩之上帽碳酸盐岩中藻类生物发育的特征在纳米比亚、北美等地也被发现<sup>[3, 10]</sup>。

贵州铜仁陡山沱组下部帽白云岩对应于 Marinoan 冰期后的帽碳酸盐岩。帽碳酸盐岩的下部薄层白云岩的  $\delta^{13}\text{C}$  为  $-7.06\text{‰} \sim -3.27\text{‰}$ , 而上部的厚层纹层白云岩的  $\delta^{13}\text{C}$  为  $-3.58\text{‰} \sim -0.13\text{‰}$ , 帽碳酸盐岩下部  $\delta^{13}\text{C}$  值低, 往上  $\delta^{13}\text{C}$  值逐渐向正迁移 (图 2A), 这与全球 Marinoan 冰期后的帽碳酸盐岩  $\delta^{13}\text{C}$  值变化是一致的。

铜仁南沱冰碛岩与帽碳酸盐岩之间不是突变沉积, 而是过渡沉积, 两者之间存在 30 cm 厚的黑色含大量黄铁矿的白云质泥岩。这与 Hoffman 等<sup>[3]</sup>认为两者之间是突变沉积观点不一致。对于两者之间存在有至少 30 cm 厚的白云质泥岩、泥质白云岩、白云质砂岩, 它需要几千至上万年的时间才能形成, 这说明冰后帽碳酸盐岩沉积是没有 Hoffman 等认为的那么快, 而是地球气候逐渐变暖后形成的。

### 3 化石 *Beltanelliodes Podolicus* 特征及其发现的意义

最近, 作者在清镇陡山沱组底部泥质白云岩中发现了大小在 2~10 mm 的圆形、椭圆形炭质体, 炭质体变质程度高, 已经成为沥青质。炭质体可以分出中央盘和外环两部分, 中央部分炭质较重。炭质体未见及同心纹或放射纹结构, 通过与庙河生物群和东欧地台文德期地层中的 *Chuaria* 类化石比较, 认为它属于 *Chuaria* 类化石。化石归属和描述如下:

丘拉尔藻科 *Chuaria* Wenz, 1938 emend Duan Chenghua, 1982

类贝尔坦藻属 *Beltanellia* Soko by, 1965

波多利亚类贝尔坦藻 *Beltanelliodes podolicus* A. Istchenko, 1988

(图 3h, i, j)

特征: 圆球形膜壳, 直径 2~10 mm, 化石圆形、椭圆形炭质体, 炭质体变质程度高, 已经成为沥青质, 炭质体可以分出中央盘和外环两部分, 中央部分炭质较



重。炭质体未见及同心纹或放射纹结构。化石在层面上成群出现,多为半浮雕式低突起,中间部分突起较高。部分炭质体由8~15个1mm大小的小球体组成。

比较:化石与陈孟莪等<sup>[20]</sup>描述的庙河陡山沱组波多利亞类贝尔坦藻 *Beltanelliodes podolicus* 形态和大小很相似,只是后者为岩石上印痕或炭膜圆形,而前者为炭质体或沥青质体。

讨论: *Beltanelliodes* 以前被认为是水母状化石的印痕,但由于没有发现化石具有稳定的同心和辐射构造,因此,应该归属于藻类。Gnilovskaya等<sup>[31]</sup>认为新元古代末期沿岸泻湖浅水环境条件下大量发育 *Beltanelliodes*。清镇滨岸泻湖沉积的陡山沱组中发现大量的 *Beltanelliodes* 证明了这一观点。炭质体中发现1mm大小的小球体,说明炭质体由很多较小的藻团组成,从这点分析,它似乎不属于 *Beltanelliodes*,而是属于 Chuarid 化石。Sun等<sup>[32]</sup>也发现 Chuarid 化石由藻团组成。

清镇陡山沱组底部泥质白云岩中球形藻类化石 *Beltanelliodes* 的发现,说明在新元古代末期浅水沿岸泻湖环境有大量的 *Beltanelliodes* 发育,也说明在冰期后浅海环境中宏观藻类很快繁盛起来,比起水体较深的陆棚浅海环境和深海环境的藻类复苏更快<sup>[12-13]</sup>。由于清镇陡山沱组底部泥质白云岩中大量球形藻类化石 *Beltanelliodes* 的出现层位位于陡山沱组最底部,其围岩的碳同位素为  $-7.61\%$  PDB,属于典型的帽碳酸盐沉积环境,它比其它大陆 Marinoan 冰期后的帽碳酸盐中管状藻类化石 *Siphonophycus* 的繁盛期还早,说明藻类在 Marinoan 冰期后浅海滨岸环境藻类复苏得更快。

## 4 结论

清镇陡山沱组底部泥质白云岩中球形藻类化石 *Beltanelliodes* 的发现,说明在新元古代末期浅水沿岸泻湖环境有大量的 *Beltanelliodes* 发育,冰期后浅海环境中宏观藻类复苏很快。

清镇陡山沱组帽碳酸盐岩(白云岩)沉积序列表明,在浅海泻湖环境,冰后碳酸盐沉积是碎屑岩逐渐向碳酸盐岩过渡,在剖面上从下往上钙(白云)质逐渐增加,从底部到上部岩性由泥岩—泥质白云岩—薄层白云岩—厚层白云岩过渡。从贵州清镇剖面和铜仁坝黄剖面研究表明,Marinoan 冰期后到帽白云岩出现,中间有一个0.3m的过渡性沉积层,这说明冰期

后有一个几千至上万年的气候转折期,而不是冰期—结束马上就开始碳酸盐沉积。

## 参考文献 (References)

- 1 Brasier M D, Shields G. Neoproterozoic chemostratigraphy and correlation of the Port Askaig glaciation Dalriadan Supergroup of Scotland [J]. Journal of the Geological Society, London, 2000, 157: 909-914
- 2 Corsetti F A, Awramik S M, Pierce D, Kaufman A J. Using chemostratigraphy to correlate and calibrate unconformities in Neoproterozoic strata from the Southern Great Basin of the United States [J]. International Geology Review, 2000, 42: 516-533
- 3 Hoffman P F, Kaufman A J, Halverson G P, et al. Neoproterozoic snowball earth [J]. Science, 1998, 281: 1342-1346
- 4 Condon D, Zhu M, Boring S, et al. U-Pb ages from the Neoproterozoic Doushantuo Formation, China [J]. Science, 2005, 308: 95-98
- 5 Corsetti F A, Olcott A N, Bakermans C. The biotic response to Neoproterozoic snowball earth [J]. Paleogeography, Paleoclimate, Paleoecology, 2006, 232: 114-130
- 6 Kennedy M J, Christie-Blick N, Sohl L E. Are Proterozoic cap carbonates and isotopic excursions a record of gas hydrate destabilization following Earth's coldest intervals [J]? Geology, 2001, 29: 443-446
- 7 Knoll A H. Learning to tell Neoproterozoic time [J]. Precambrian Research, 2000, 100: 3-20
- 8 Prave A R. Two diagenetic cap carbonates, two  $\delta^{13}C$  excursions, two rifts: the Neoproterozoic Kingston Peak Formation, Death Valley, California [J]. Geology, 1999, 27(4): 339-342
- 9 Waller M R, Veivers J J, Calver C R, et al. Dating the 840~544 Ma Neoproterozoic interval by isotopes of strontium, carbon and sulfur in seawater and some interpretative models [J]. Precambrian Research, 2000, 100: 371-433
- 10 Samuelsson J, Butterfield N J. Neoproterozoic fossils from the Franklin Mountains, northwestern Canada: stratigraphic and paleobiological implications [J]. Precambrian Research, 2001, 107: 235-251
- 11 Yang Ruidong, Wang Shijie, Dong Linlin, et al. Sediment and geochemical character of the Sinian Cap carbonate from the Upper Yangtze region [J]. Chinese Journal of Geochemistry, 2003, 22(4): 320-329
- 12 杨瑞东, 王世杰, 董丽敏, 等. 上扬子区震旦纪南沱冰期后碳酸盐岩帽沉积地球化学特征 [J]. 高校地质学报, 2003a, 9(1): 72-80 [Yang Ruidong, Wang Shijie, Dong Linlin, et al. Sedimental geochemical characteristics of the Sinian Cap Carbonate from the Upper Yangtze Region [J]. Geological Journal of China Universities, 2003a, 9(1): 72-80]
- 13 杨瑞东, 王世杰, 欧阳自远, 等. 贵州新元古代冰期后环境演变与藻类的复苏 [J]. 地质地球化学, 2003b, 31(1): 62-69 [Yang Ruidong, Wang Shijie, Ouyang Ziyuan, et al. Environmental reconstruction and algal recovery after Neoproterozoic glaciation (Varanger), Guizhou [J]. Geology Geochemistry, 2003b, 31(1): 62-69]
- 14 姜立君, 张位华, 高慧, 等. 贵州新元古代陡山沱期碳酸盐帽沉积地球化学特征 [J]. 地球学报, 2004, 25(2): 170-176 [Jiang Li-

- jin, Zhang Weihua, Gao Hui *et al.* Sedimentary geochemical characteristics of the Cap Carbonate of the Doushantuo Formation in Guizhou Province [J]. *Acta Geoscientica Sinica* 2004, 25(2): 170-176]
- 15 杨瑞东, 张传林, 罗新荣, 等. 新疆库鲁克塔格地区早寒武世硅质岩地球化学特征及其意义 [J]. *地质学报*, 2006, 80(4): 589-605 [Yang Ruidong, Zhang Chuanlin, Luo Xinrong *et al.* Geochemical characteristics of Early Cambrian cherts in Quruqtagh, Xinjiang West China [J]. *Acta Geologica Sinica* 2006, 80(4): 589-605]
  - 16 杨瑞东, 张传林, 罗新荣, 等. 新疆库鲁克塔格地区新元古代末期汉格尔斯克冰期成因新证据 [J]. *地质论评*, 2007, 53(2): 232-240 [Yang Ruidong, Zhang Chuanlin, Luo Xinrong *et al.* New evidences on Neoproterozoic Hangekhangh glaciation in Quruqtagh Xinjiang West China [J]. *Geological Review*, 2007, 53(2): 232-240]
  - 17 Yang Ruidong, Zhang Chuanlin, Wang Baixuan *et al.* Chemostratigraphy and lithological characters of Neoproterozoic cap carbonates from the Quruqtagh Mountain, Xinjiang West China [J]. *Chinese Journal of Geochemistry*, 2007, (2): 121-131
  - 18 Porter SM, Knoll AH, Alifan P. Chemostratigraphy of Neoproterozoic cap carbonates from the Volta Basin, West Africa [J]. *Precambrian Research*, 2004, 130: 99-112
  - 19 陈孟莪, 萧宗正. 峡东震旦系陡山沱组宏体生物群 [J]. *古生物学报*, 1992, 31(5): 513-529 [Chen Meng'e, Xiao Zongzheng Macroalgal fossils of Sinian Doushantuo Formation in Hubei Province China [J]. *Acta Palaeontologica Sinica* 1992, 31(5): 513-529]
  - 20 陈孟莪, 萧宗正, 袁训来. *Beltanelloides podolicus* 在中国上震旦统首次发现 [J]. *地质科学*, 1993, 28(4): 312-315 [Chen Meng'e, Xiao Zongzheng, Yuan Xunkai Discovery of *Beltanelloides podolicus* fossil of Sinian in China [J]. *Chinese Journal of Geology*, 1993, 28(4): 312-315]
  - 21 Zhang Yun, Yuan Xunkai. New data on multicellular thallophytes and fragments of cellular tissues from Late Proterozoic phosphate rocks South China [J]. *Lethaia* 1992, 25: 1-18
  - 22 丁莲芳, 李勇, 胡夏嵩, 等. 震旦纪庙河生物群 [M]. 北京: 地质出版社, 1996, 1-146 [Ding Lianfang, Li Yong, Hu Xiaosong *et al.* Sinian Miaohu Biota [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996, 1-146]
  - 23 Li Chiwei, Chen Junyuan, Hua Tazhen. Precambrian sponges with cellular structures [J]. *Science*, 1998, 279: 879-882
  - 24 Xiao Shuhai, Zhang Yun, Knoll AH. Three-dimensional preservation of algae and animal embryos in a Neoproterozoic phosphorite [J]. *Nature*, 1998, 391: 558
  - 25 尹崇玉, 岳昭, 高志林. 磷酸盐化原肠胚化石在瓮安陡山沱组磷块岩中的发现 [J]. *科学通报*, 2001a, 46(12): 1036-1039 [Yin Chongyu, Yao Zhao, Gao Zhilin. The discovery of phosphatized embryo fossils in Sinian Doushantuoan phosphorites in Weng'an, Guizhou Province [J]. *Chinese Sciences Bulletin* 2001a, 46(12): 1036-1039]
  - 26 尹崇玉, 高林志, 邢裕盛. 贵州瓮安震旦纪陡山沱期磷酸盐球状化石的新观察 [J]. *地质学报*, 2001b, 75(2): 145-150 [Yin Chongyu, Gao Zhilin, Xing Yusheng. New observations on phosphatized spheroidal fossils in Sinian Doushantuoan phosphorites in Weng'an, Guizhou Province [J]. *Acta Geologica Sinica* 2001b, 75(2): 145-150]
  - 27 袁训来, 肖书海, 尹磊明, 等. 陡山沱期生物群——早期动物辐射前夕的生命 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2002: 1-171 [Yuan Xunlai, Xiao Shuhai, Yin Leiming, Knoll AH, Zhou Chuanning, Mu Xian. Doushantuo Fossils—life on the Eve of animal radiation [M]. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 2002: 1-171]
  - 28 阎永奎, 蒋传仁, 张世恩, 等. 浙、赣、皖南地区震旦系研究 [J]. *南京地矿所所刊*, 1992, (12): 1-144 [Yan Yongkui, Jiang Chuanning, Zhang Shiren *et al.* Research of the Sinian System in the region of western Zhejiang, northeastern Jiangxi and southern Anhui Provinces [J]. *Bulletin of the Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences*, 1992, (12): 1-144]
  - 29 陈孟莪. 震旦系生命大爆发 [J]. *前寒武纪研究进展*, 1999, 22(3): 36-47 [Chen Meng'e. Sinian life explosion [J]. *Progress in Precambrian Research* 1999, 22(3): 36-47]
  - 30 吴祥和, 韩至钧, 蔡继锋, 等. 贵州磷块岩 [M]. 北京: 地质出版社, 1999: 1-124 [Wu Xianghe, Han Zhijun, Cai Jifeng, Xiao Yonglian. Phosphorites in Guizhou [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999: 1-124]
  - 31 Gnibvskaya M B, Istchenko A A, Kolesnikov Ch M, *et al.* Vendotaenids of the European Platform [M]. Leningrad: Nauka, 1988: 1-143
  - 32 Sun W. Palaeontology and biostratigraphy of Late Proterozoic macroscopic colonial algae *Chuarina Wakott* and *Tawuia Hofmann* [J]. *Palaontographica Abstract* 1987, 203(4-6): 109-134

# Geochemical Characteristics of Doushantuo Cap Carbonate (Dolostone) and Discovery of *Beltanellides Podolicus* Fossil in Qingzhen County, Guizhou Province, China

YANG Rui-dong WEI Hua-ni CHEN Ji-yan

(Key Laboratory of Karst Environment and Geohazard Prevention, Ministry of Education, Guizhou University, Guiyang 550025)

**Abstract** The basal Doushantuo Formation in Qingzhen County, Guizhou Province, China consists of mudstones, mud-dolostones, dol-sandstones, thin dolostones and thick dolostones. The preserved-well and abundant carbon disc-form fossils (2~15 mm in diameter), the carbon disc-form fossil was first discovered in dolostone in China. According to shape and feature of fossil, it may belong to algae fossil *Chuaril*. The cap dolostone of Doushantuo Formation in Qingzhen County, Guizhou Province, China shows typical negative carbon isotopic composition of Marinoan Cap carbonate. Therefore, it reflects that abundant algae live in shallow lagoon after glaciation. Additionally, carbonate content rise gradually from glaciation-end to carbonate (or dolostone) deposit in shallow lagoon, the feature shows that form of cap dolostone is gradually after glaciation, more than Hoffman *et al.* (1998) suggested that the cap dolostone is formed suddenly after glaciation.

**Key words** algae fossil, cap carbonate, Marinoan glaciation, Doushantuo Formation, Guizhou Province