

华南陡山沱期古地理环境及 “雪球地球”研究新进展

孙志明¹, 杨振宇^{2,1}, 裴军令¹, Jean BESSE³,
Melina MACOUIN³, Stuart GILDER³, Magali ADER³

(1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081; 2. 南京大学地球科学系, 江苏 南京 210093;
3. Institut de Physique du Globe de Paris, France)

摘要: 华南地块陡山沱组的古地磁和C同位素研究揭示了其形成于赤道附近的古地理环境。对冰期后的盖帽白云岩的C同位素研究表明, $\delta^{13}\text{C}$ 从-5‰开始有缓慢升高的趋势, 与世界上Marinoan冰期其他剖面的C同位素变化相一致。陡山沱期大气中 CO_2 含量的升高可能与Rodinia超大陆的裂解及火山活动等密切相关。

关键词: 华南; 陡山沱期; 古地理环境; 雪球地球

中图分类号: P534.31; P531

文献标识码: A

文章编号: 1671-2552(2004)08-0728-04

陡山沱期是新元古代全球古环境剧烈变化、多细胞动物生命变革、Rodinia超级大陆裂离等重大地质事件发生的一个重要地质时期。20世纪90年代, 以Kirshvink^[1]为代表的美国科学家根据澳大利亚新元古代Elatina冰积岩的古地磁研究, 发现冰积岩形成于赤道—亚热带的纬度范围内, 提出了新元古代存在至少2次(Sturtian和 Marinoan期)全球性被冰雪覆盖寒冷的“雪球地球”假说。每次冰期的持续时间可以达到几十万年至几百万年^[2]。有关这些冰期形成前后全球巨大环境冷暖变化的原因仍是一个令科学家着迷的科学问题, 其中构造运动、火山活动和全球性的C、O、Fe同位素的变化尤其令人关注。在冰期发生前 $\delta^{13}\text{C}$ 具有明显的负向漂移, 达10‰~20‰, 对冰期后的盖帽白云岩的C同位素研究表明, $\delta^{13}\text{C}$ 有从-5‰缓慢升高的趋势, 大气中 CO_2 含量的升高可能导致全球性冰融和海平面的上升。

华南陡山沱组是全球性冰期冰川消融后广泛海侵的产物, 其显著特征与全球其他地区相似。在南沱组冰积岩上部, 即陡山沱组底部发育一套白云

质灰岩, 通常称为盖帽碳酸盐岩(Cap Carbonate), 其上发育有含较多硅磷质结构和团块的白云岩, 向上燧石层逐渐增多, 顶部以一层黑色页岩与上覆灯影组白云岩分开。最近Barfod等^[3]利用Hf—Lu和Pb—Pb法对陡山沱组中下部磷灰石进行较准确的测年, 分别获得了 $584\text{ Ma} \pm 26\text{ Ma}$ 和 $599\text{ Ma} \pm 4\text{ Ma}$ 的同位素年龄, 为全球性的冰期对比提供了重要依据。

“雪球地球”假说的一个重要方面是确定全球冰期发生的次数和同时性问题。中国华南地块新元古代至少发育2期冰期沉积物, 鉴于其形成的古地理环境研究比较薄弱, 有必要对这些时期的冰积岩进行直接的古地磁和地球化学研究。在中国科技部和法国研究部共同资助下(中法先进研究计划), 笔者选择湖南石门杨家坪剖面进行古地磁、稳定同位素和年代学研究, 以便限定冰积岩的形成时代、古纬度和古温度等。

1 古地磁研究结果

笔者在杨家坪剖面沿礞水河用手提汽油钻机

收稿日期: 2004-07-05

基金项目: 2001年中法先进研究计划(PRA-T01-01)和国家杰出青年基金(49925410)资助。

作者简介: 孙志明(1966-), 男, 研究员, 从事古地磁学与大地构造学研究。E-mail: sunzhiming@btamail.net.cn

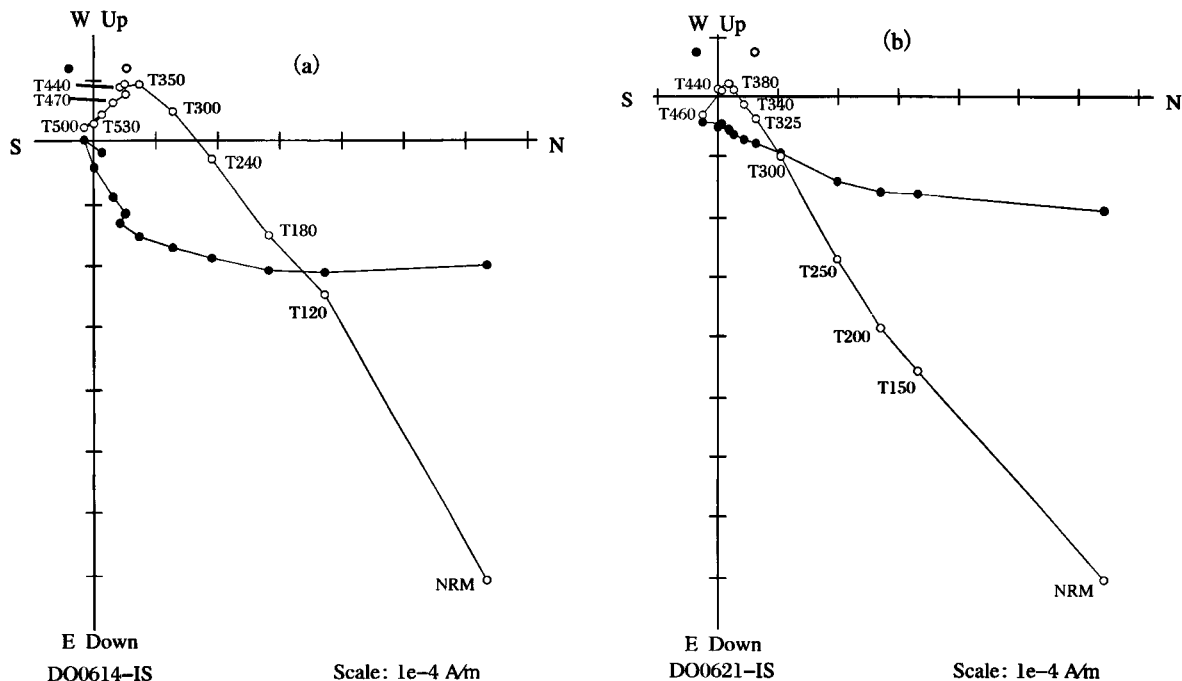


图1 陡山沱组代表性样品分别在北京和巴黎古地磁实验室的热退磁结果对比(地理坐标系)

((a)中国地质科学院地质力学研究所;(b)法国巴黎地球物理研究所)

Fig.1 Comparison of the results of thermal demagnetization of the representative sample from the Doushantuo Formation carried out in the paleomagnetic laboratories of Beijing (a) and Paris (b) respectively

采集了南沱组冰碛岩和陡山沱组碳酸盐岩共9个大采点、185个岩心定向标本,其中有2个采点位于背斜的另一翼。古地磁样品分别在中国地质科学院地质力学研究所、法国巴黎地球物理研究所和美国加州大学Santa Cruz分校的古地磁实验室分别用美制2 G超导磁力仪进行测量,并分别用各自实验室的热退磁炉进行退磁实验,实验室间比测具有明显的一致性(图1)。

南沱组冰碛岩和部分陡山沱组样品的热退磁结果表明,剩磁磁化方向与华南白垩纪的方向相近,说明这些样品均遭受了晚中生代的重磁化。而部分陡山沱组碳酸盐岩则显示较好的退磁特征。这些样品在高温400~550℃时可以分离出一个磁分量,部分样品在高温下则由于可能发生矿物变化,而未能分离出高温磁分量,但这些样品仍可以通过磁化分量大圆弧求出采点的特征剩磁。7个采点的特征剩磁平均方向为 $D_s=91.0^\circ$, $I_s=6.6^\circ$, $\alpha_{95}=9.1^\circ$ 。特征剩磁方向在99%置信度下通过了褶皱检验,表明特征剩磁很可能记录了岩石形成时的地磁场方向。这一结果同时说明岩石形成于北纬 $3.0^\circ \pm 4.5^\circ$ 的低纬度范围中。与Zhang等^[9]从贵州瓮安县陡山沱组中2个采点

获得的古纬度结果相吻合。

2 稳定同位素结果

从陡山沱组中采集了56个样品,在巴黎地球物理研究所稳定同位素实验室进行了C和O同位素研究。值得注意的是,古地磁研究发现的重磁化样品,C和O同位素也表现出明显的异常,如在陡山沱组上部显示出一个明显的强负向漂移,达-15‰,可能是后期成岩作用的产物^[9]。整体上C同位素的变化与世界其他地区Marinoan冰期后碳酸盐岩中的变化相一致(图2),从-5‰开始有缓慢升高的趋势。

3 结果讨论

陡山沱组古地磁研究表明,华南该地区的陡山沱组形成于赤道区的低纬度地带。其下伏南沱组冰碛岩形成的古地理位置也应在低纬度区,而冰碛岩下伏的大塘坡组中凝灰岩的最新U-Pb年代学研究结果^[9],可以说明南沱组冰碛岩的形成应在600~660 Ma之间,与澳大利亚的Elatina或Marinoan冰期、北美的Ice Brook冰期在年代学上相近。澳大利亚和北美同时期的古地磁研究均表明,它们也位于赤道附近

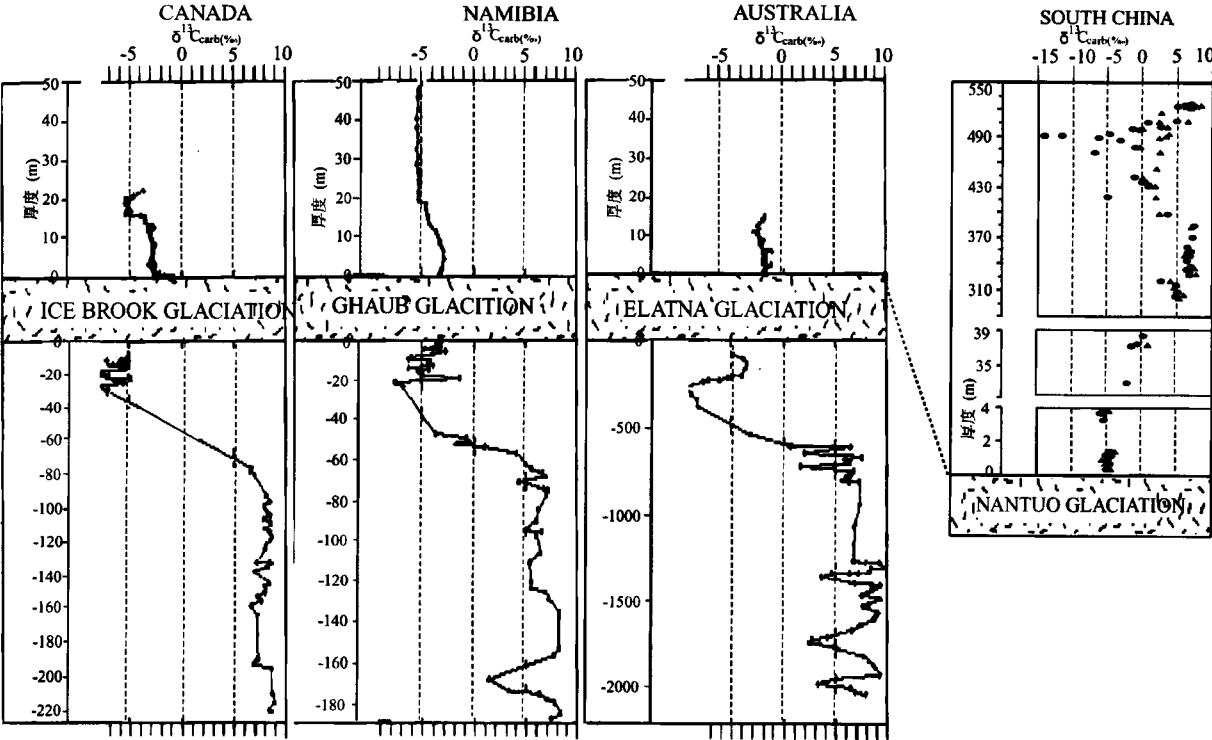


图2 陡山沱组C同位素变化与世界其他剖面对比^[2,5]

Fig.2 Carbon isotope change in the Doushantuo Formation and its correlation with other sections

亚热带地区^[7,8]。这些为600 Ma左右存在寒冷的“雪球地球”提供了重要依据。最新的古地磁研究还证实了中国华南地块和澳大利亚地块从新元古代到早古生代期间密切相连,澳大利亚地块上发育的Sturtian和 Marinoan两次冰期与华南古城(或长安)和南沱冰期基本上可以对比^[6,9,10](图3)。

陡山沱组C同位素变化也与澳大利亚Marinoan冰期后碳酸盐岩的变化一致,也说明南沱冰期后大气中C含量有缓慢升高的趋势。是什么因素造成C含量的升高等温室效应,众说不一。其中“雪球地球”时冰雪覆盖,造成生态系统的停滞和大气中CO₂含量的积累并升高,Rodinia裂解造成的火山活动和Rodinia超级大陆在赤道附近的快速风化作用可能是造成C含量升高的重要原因。

新元古代古地理-古气候研究是国际地学界重要的前沿领域,它涉及到全球这一时期多次重要的全球性冰期、古气候的剧变及火山活动,使得全球CO₂和有机质也发生剧变。最近在贵州瓮安县陡山沱组含磷地层中发现了保存完整的两侧对称的真体腔动物化石“小春虫”,是否反映了地球大冰期后,

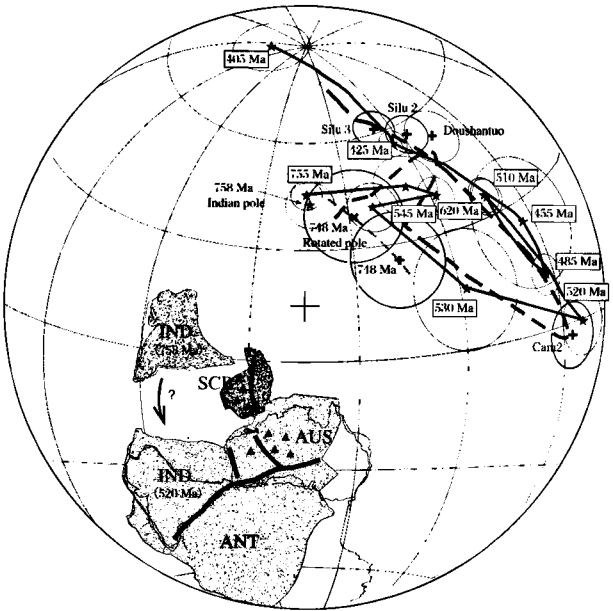


图3 华南地块-澳大利亚地块新元古代-早古生代古地理重建

Fig.3 Neoproterozoic-Early Paleozoic paleogeographic reconstruction of the South China block and Australian block

虚线和实线分别为华南地块和澳大利亚地块新元古代-志留纪视极移曲线;

IND—印度;SCB—华南地块;AUS—澳大利亚地块;ANT—东南极地块;

Cam2—中寒武世;Silu2—中志留世;Silu3—晚志留世

生物界在几乎完全停止的生态系统条件下多细胞动物受急剧环境变化刺激扰动后快速进化的结果,导致新元古代全球早期(有机)生命的大爆发。另外,陡山沱期瓮安地区位于赤道地区,是否有利于生物的复苏和辐射,仍有待今后多学科研究的证明。

参考文献:

- [1]Kirschvink J. Late Proterozoic low-latitude global glaciation: the snowball earth[A]. In: Schopf J W, Klein C(eds).The Proterozoic Biosphere[C]. Cambridge University Press, 1992. 51~52.
- [2]Hoffman P, Schrag. The snowball earth hypothesis: testing the limits of global change[J]. Terra Nova, 2002, 14: 129~155.
- [3]Barfod G H. New Lu-Hf and Pb-Pb age constraints on the earliest animal fossils[J]. Earth Planet. Sci. Lett., 2002, 201: 203~212.
- [4]Zhang Q, Piper J D A. Paleomagnetic study of Neoproterozoic glacial rocks of the Yangzi block: Paleolatitude and configuration of South China in the late Proterozoic Supercontinent [J]. Pre-camb. Res., 1997, 85: 173~199.
- [5]Macouin M, Besse J, Ader M, et al. Combined paleomagnetic and isotopic data from the Doushantuo carbonate, South China: implication for the "Snowball Earth" hypothesis[J]. Earth Planetary Science Letters, 2004, in press.
- [6]Zhou C, Tucker R, Xiao S, et al. New constraints on the ages of Neoproterozoic glaciations in south China[J]. Geology, 2004,32(5):437~440.
- [7]Sohl L E, Christie-Blick, Kent D. Paleomagnetic polarity reversals in Marinoan (ca. 600Ma) glacial deposits of Australia: implications for the duration of low-latitude glaciation in Neoproterozoic time[J]. Geological Society of America Bulletin, 1999, 111: 1120~1139.
- [8]Evans D A D. Stratigraphic, geochronological, and paleomagnetic constraints upon the Neoproterozoic climatic paradox[J]. American Journal of Science, 2000, 300: 347~433.
- [9]Yang Z, Sun Z, Yang T, et al. A long connection (750~380Ma) between South China and Australia: paleomagnetic constraints[J]. Earth Planetary Science Letters, 2004, 220: 423~434.
- [10]Yin C, Liu D, Gao L, et al. Lower boundary age of the Nanhua System and the Gucheng glacial stage: Evidence from SHRIMP-II dating[J]. Chinese Science Bulletin, 2003, 48: 1657~1662.

Doushantuoan paleogeographic environment in South China and new progress in the study of the "snow-ball Earth"

SUN Zhiming¹, YANG Zhenyu^{2,1}, PEI Junling¹, Jean BESSE³,
Melina MACOUI³, Stuart GILDER³, Magali ADER³

(1. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China;

2. Department of Earth Science, Nanjing University, Nanjing 210093, Jiangsu, China;

3. Institut de Physique du Globe de Paris, France)

Abstract: Paleomagnetic and carbon isotope studies of the Doushantuo Formation in the South China block have revealed that the block formed in a paleogeographic environment near the equator. Carbon isotope study of postglacial snow-capped dolomite indicates that $\delta^{13}\text{C}$ has a trend of slow increase from -5‰ , which is in agreement with the carbon isotope change in other sections of the Marinoan glacial stage in the world. The increase in CO_2 content in the atmosphere in the Doushantuoan might be closely related to the breakup of the supercontinent Rodinia and volcanic activities.

Key words: South China; Doushantuoan Stage; paleogeographic environment; snow-ball Earth