

关于华南板块新元古代冰川作用及其古纬度的讨论

张启锐, 储雪蕾, 冯连君

中国科学院地质与地球物理研究所, 岩石圈演化国家重点实验室, 北京 100029

E-mail: qrzhang@mail.iggcas.ac.cn

2008-12-24 收稿, 2009-01-15 接受

国家自然科学基金重点项目(批准号: 40532012)和中国科学院知识创新工程项目(批准号: KZCX3-SW-141)资助

摘要 新元古代普遍认可的冰期有凯噶斯、司图特、马林诺、噶斯奇厄斯, 而在华南板块只有江口(司图特)冰期和南沱(马林诺)冰期具有明确的沉积记录. 凯噶斯冰期只有同位素和化学指标的显示, 表明可能存在寒冷气候和局部山岳冰川. 噶斯奇厄斯冰期在华南板块则对应于陡山沱组沉积期间年龄相当的一个碳同位素负漂移, 不过不说明华南板块是冰川气候. 江口冰期期间华南板块无古地磁数据, 因此其古地理位置不确定. 凯噶斯和南沱冰期期间华南板块均处在中纬度. 根据现有资料, 在上述新元古代冰期期间华南板块均可能处在相似的中纬度.

关键词

华南板块

新元古代冰川

古纬度

凯噶斯

司图特

马林诺

噶斯奇厄斯

自“雪球地球”假说问世^[1]和埃迪卡拉纪/系正式命名^[2]以来, 新元古代冰川作用研究就成为地球科学界关注的一个热门话题. 目前被广泛认可的新元古代冰期分别是凯噶斯(Kaigas)、司图特(Sturtian)、马林诺(Marinoan)和噶斯奇厄斯(Gaskiers)^[3~6]. 本文将简略地讨论这些冰川作用在华南板块的存在、影响与古纬度.

1 凯噶斯(Kaigas, ~750 Ma)

凯噶斯最早报道于纳米比亚^[7], 时限在 (771 ± 6) 和 (741 ± 6) Ma^[6]之间, 简记为~750 Ma. H. E. Frimmel(个人交流)认为: “凯噶斯组的沉积并不具备开阔海的特征. 它横向不连续, 并极可能是记录了山岳冰川进入一个小盆地的入口. 它不大可能是一个全球冰川事件.”

在华南板块大别-苏鲁造山带的变火成岩中, 产出了大致同时的 $((758 \pm 15) \text{ Ma})$ 、含有极低 $\delta^{18}\text{O}$ 的锆石^[8]. 含如此低 $\delta^{18}\text{O}$ 的锆石广泛分布在大别-苏鲁造山带^[8~11]. 这些热液蚀变岩浆岩记录, 可能是裂谷构造带在年均气温很低的条件下, 与大气降水发生作用的结果. 进一步的研究^[4]还发现了具有世界上最负 $\delta^{18}\text{O}$ 的石榴子石, 与之共生的锆石也是贫 ^{18}O 且U-Pb

年龄为 $(748 \pm 3) \text{ Ma}$. 它可能是一个相当于凯噶斯冰期的大陆边沿冰川, 是一个构造事件^[4,9]. 无独有偶, 对宜昌三峡地区莲沱组($\sim 750 \text{ Ma}$ ^[12]或 $(766 \pm 18) \text{ Ma}$ ^[13])细碎屑岩化学蚀变指数(CIA)的研究^[14,15]均认为当时华南板块可能处在寒冷的气候条件下, 大致相当于凯噶斯冰期. 但是, 近百年的研究并未在莲沱组及其相当地层中发现任何冰川作用的沉积记录. 因此, 我们认为当时的低气温可能不足以形成广泛分布的冰川作用, 而仅可能在高海拔地区, 如凯噶斯冰川那样, 出现局部的山岳冰川.

华南板块在~750 Ma时期的古地磁研究测得古纬度为 $(38 \pm 8)^\circ\text{N}$ ^[16]. 后续关于莲沱组的研究获得的古纬度为 $(33.6 \pm 1.7)^\circ\text{N}$ 和 $(37.7+7.6/-6.5)^\circ\text{N}$ ^[17], 大致为 $30^\circ\sim 40^\circ$. 这似乎说明凯噶斯冰川的影响波及了中纬度. 但是在Rodinia大约 750 Ma的再造图^[18]上, 凯噶斯冰川所在的卡拉哈里古陆块却处在赤道上. 这就出现了冷的冰川和热的赤道之间的矛盾: 可能凯噶斯冰川是十分局限的海拔很高的山岳冰川, 或者其古纬度需要再研究. 总之, 现有资料说明凯噶斯冰川的分布十分局限, 在华南板块上可能存在低气温或有高海拔的山岳冰川.

引用格式: 张启锐, 储雪蕾, 冯连君. 关于华南板块新元古代冰川作用及其古纬度的讨论. 科学通报, 2009, 54(7): 978~980

Zhang Q R, Chu X L, Feng L J. Discussion on the Neoproterozoic glaciations in the South China Block and their related paleolatitudes. Chinese Sci Bull, 2009, 54, doi: 10.1007/s11434-009-0139-x

2 江口冰期(司图特) (Sturtian, 约 720~670 Ma)

江口冰期^[19,20]是作为替代长安冰期^[21]和古城冰期^[22]的术语而提出的。它对比于司图特冰期。关于长安组或江口群^[19,20]的冰川成因长期受到质疑^[23],然而在冰川落石、砾石堆,以及冰川擦痕再一次发现之后,其冰川成因得到了充分肯定。

过去江口冰期的起始年龄估计为 750 Ma 左右,因为一般认为莲沱组是该冰期的一部分^[23]。然而板溪群上部锆石 U-Pb 年龄(725 ± 10) Ma 的获得^[24],进一步限定了它的起始年龄。其终止年龄对应于大塘坡组的底界年龄~670 Ma^[25,26]。这些均证明它应对比于司图特冰期。

过去因错误地把江口群对比于莲沱组^[27,28]而认为华南板块在江口冰期是位于中纬度^[17],但是新资料^[24]证实,江口群至今没有古地磁研究成果。不过,考虑到江口冰期前后的古纬度基本上都是中纬度的,因此不排除它当时也可能处在中纬度^[18]。

3 南沱冰期(马林诺)(约 650~635 Ma)

华南板块上的南沱冰期长期以来被认为对比于马林诺冰期的结论^[29,30],虽然短暂地受到过质疑,但是很快就重新得到了确认。它是在华南板块上分布最广的一期新元古代冰川沉积^[21,28]。

早在 1997 年就测定的南沱冰期华南板块的古纬度为 $(37 \pm 9)^\circ\text{N}$ ^[31],并得到高度评价^[17],然而由于南沱冰期被误认为相当于司徒特冰期^[17]而引起混乱。但是自从几年前 Macouin 等人^[32]文章发表之后,恢复了南沱冰期与马林诺冰期的正确对比,但是却认为当时的华南板块位于赤道附近^[28,33],现在许多新资料已经证明这一看法是建立在不合理的推断之上的。

华南板块南沱冰期中纬度数据的测定^[31]是基于云南南沱组上部的紫红色泥质粉细砂岩样品,应对应于南沱冰期的末期。该数据在高解阻温度条件

下测得,并通过了准同时的沉积褶皱检验^[31],因此是可信的。最近这一结论得到了黔东南南沱组古地磁研究的结果(张世红, 2008, 个人交流)所证实。

4 噶斯奇厄斯(~ 582 Ma)

在华南板块上虽没有噶斯奇厄斯冰川作用的沉积记录,不过陡山沱组的碳同位素资料似乎揭示了其影响的存在。Zhu 等人^[34]认为在震旦系(Ediacaran)中部一个显著的 $\delta^{13}\text{C}$ 负漂移(名为 WANCE)有可能对应着~580 Ma 的噶斯奇厄斯冰川作用^[35,36]。若此对比正确,那么噶斯奇厄斯冰川的影响就波及华南板块。需要指出的是,如果是全球性的古海水 $\delta^{13}\text{C}$ 负漂移,只能说明当时全球碳循环受到了扰动,它可能是古气候变化引起的,也可能是其他因素引起的。比如,某地区若发生了冰川事件,它就可以影响全球碳循环。但这并不意味华南板块也处于冰川活动范围,它可以是非冰川气候。

华南板块在噶斯奇厄斯冰川作用期间的古纬度可能在赤道附近^[32],不过根据 Rodinia 超大陆的复原图^[18],华南板块在~580 Ma 期间有可能更靠近中纬度,而不是在赤道附近。确切的结论尚有待进一步的研究。但是考虑到南沱冰期中纬度数据的获得来自云南南沱组顶部的样品,那么噶斯奇厄斯冰期期间,不排除华南板块仍处在中纬度的可能。

5 结论

以上讨论说明新元古代冰期虽然有多次,但是具有全球广泛分布性质的冰期可能只有两次,即司徒特冰期和马林诺冰期。在华南板块与之对应的是江口冰期和南沱冰期。凯噶斯冰川作用和噶斯奇厄斯冰川作用则分布有限,在华南板块上未见有它们的沉积记录。在凯噶斯冰期,华南板块可能存在低温环境,在高海拔可能发生山岳冰川;而噶斯奇厄斯冰期则可能未影响到华南板块的古气候环境。在新元古代各个冰期,华南板块的古纬度可能均为中纬度。

致谢 感谢张世红、黄宝春研究员对文稿提出的修改意见, 特别感谢审稿人及郑永飞教授提出的修改意见以及对文稿的进一步修改润饰和补充。

参考文献

- Hoffman P F, Kaufman A J, Halverson G P, et al. A Neoproterozoic snowball Earth. Science, 1998, 281: 1342—1346[doi]
- Knoll A H, Walter M R, Narbonne G M, et al. A new period for the geologic time scale. Science, 2004, 305: 621—622[doi]

- 3 Stern R J, Avigad D, Miller N R, et al. Evidence for the snowball Earth hypothesis in the Arabian-Nubian Shield and East African Orogen. *J Afr Earth Sci*, 2006, 44: 1—20[doi]
- 4 Zheng Y F, Wu Y B, Gong B, et al. Tectonic driving of Neoproterozoic glaciations: Evidence from extreme oxygen isotope signature of meteoric water in granite. *Earth Planet Sci Lett*, 2007, 256: 196—210[doi]
- 5 Maruyama S, Santosh M. Models on Snowball Earth and Cambrian explosion: A synopsis. *Gondw Res*, 2008, 14: 22—32[doi]
- 6 Frimmel H E. Trace element distribution in Neoproterozoic carbonates as palaeoenvironmental indicator. *Chem Geol*, [doi]
- 7 Frimmel H E, Klötzli U, Siegfried P. New Pb-Pb single zircon age constraints on the timing of Neoproterozoic glaciation and continental break-up in Namibia. *J Geol*, 1996, 104: 459—469
- 8 Zheng Y F, Wu Y B, Chen F K, et al. Zircon U-Pb and oxygen isotope evidence for a large-scale ^{18}O depletion event in igneous rocks during the Neoproterozoic. *Geochim Cosmochim Acta*, 2004, 68: 4145—4165[doi]
- 9 Zheng Y F, Gong B, Zhao Z F, et al. Zircon U-Pb age and O isotope evidence for Neoproterozoic low- ^{18}O magmatism during supercontinental rifting in South China: Implications for the snowball Earth event. *Am J Sci*, 2008, 308: 484—516[doi]
- 10 Tang J, Zheng Y F, Wu Y B, et al. Zircon U-Pb age and geochemical constraints on the tectonic affinity of the Jiaodong terrane in the Sulu orogen, China. *Precambrian Res*, 2008, 161: 389—418[doi]
- 11 Tang J, Zheng Y F, Gong B, et al. Extreme oxygen isotope signature of meteoric water in magmatic zircon from metagranite in the Sulu orogen, China: Implications for Neoproterozoic rift magmatism. *Geochim Cosmochim Acta*, 2008, 72: 3139—3169[doi]
- 12 马国干, 李华芹, 张自超. 华南地区震旦系时限范围的研究. 中国地质科学院宜昌地质矿产研究所所刊, 1984, 第8号: 1—29
- 13 郑永飞. 新元古代岩浆活动与全球变化. 科学通报, 2003, 48(16): 1705—1720
- 14 冯连君, 储雪蕾, 张同钢, 等. 莲沱砂岩——南华大冰期前气候转冷的沉积记录. 岩石学报, 2006, 22: 2387—2393
- 15 王自强, 尹崇玉, 高林志, 等. 宜昌三斗坪地区南华系化学蚀变指数特征及南华系划分、对比的讨论. 地质论评, 2006, 52(2): 577—585
- 16 Li Z X, Zhang L, Powell C Mc A. Positions of the east Asian cratonic blocks in the Neoproterozoic supercontinent Rodinia. *Aust J Earth Sci*, 1996, 43: 593—604[doi]
- 17 Evans D A D, Li Z X, Kirschvink J L, et al. A high-quality mid-Neoproterozoic paleomagnetic pole from South China, with implications for ice ages and the breakup configuration of Rodinia. *Precambrian Res*, 2000, 100: 313—334[doi]
- 18 Li Z X, Bogdanova S V, Collins A S, et al. Configuration, and break-up history of Rodinia: A synthesis. *Precambrian Res*, 2008, 160: 179—210[doi]
- 19 Zhang Q R, Chu X L, Bahlburg H, et al. Stratigraphic architecture of the Neoproterozoic glacial rocks in the “Xiang-Qian-Gui” region of the central Yangtze Block, South China. *Prog Nat Sci*, 2003, 13: 783—787[doi]
- 20 张启锐, 储雪蕾. 扬子地区江口冰期地层的划分对比与南华系层型剖面. 地层学杂志, 2006, 30: 306—314
- 21 刘鸿允, 等. 中国震旦系. 北京: 科学出版社, 1991. 1—388
- 22 陆松年, 马国干, 高振家, 等. 中国晚前寒武纪冰成岩系初探. 见: 地质矿产部《前寒武纪地质》编辑委员会, 编. 前寒武纪地质, 第1号, 中国晚前寒武纪冰成岩论文集. 北京: 地质出版社, 1985. 1—86
- 23 薛耀松, 曹瑞骥, 唐天福, 等. 扬子区震旦纪地层序列和南、北方震旦系对比. 地层学杂志, 2001, 25: 207—234
- 24 Zhang Q R, Li X H, Feng L J, et al. A new age constraint on the onset of the Neoproterozoic Glaciations in the Yangtze Platform, South China. *J Geol*, 2008, 116: 423—429[doi]
- 25 Zhou C M, Tucker R, Xiao S H, et al. New constraints on the ages of Neoproterozoic glaciations in South China. *Geology*, 2004, 32: 437—440[doi]
- 26 尹崇玉, 王砚耕, 唐烽, 等. 贵州松桃南华系大塘坡组凝灰岩锆石 SHRIM II U-Pb 年龄. 地质学报, 2006, 80: 273—278
- 27 彭学军, 刘耀荣, 吴能杰, 等. 扬子陆块东南缘南华纪地层对比. 地层学杂志, 2004, 28: 354—359
- 28 Dobrzinski N, Bahlburg H. Sedimentology and environmental significance of the Cryogenian successions of the Yangtze Platform, South China block. *Palaeogeogr Palaeoclimat Palaeoecol*, 2007, 254: 100—122[doi]
- 29 Condon D, Zhu M Y, Bowring S, et al. U-Pb Ages from the Neoproterozoic Doushantuo Formation, China. *Science*, 2005, 308: 95—98[doi]
- 30 Zhang S H, Jiang G Q, Han Y G. The age of the Nantuo Formation and Nantuo glaciation in South China. *Terra Nova*, 2008, 20: 289—294[doi]
- 31 Zhang Q R, Piper J D A. Palaeomagnetic study of Neoproterozoic glacial rocks of the Yangzi Block: Palaeolatitude and configuration of South China in the late Proterozoic Supercontinent. *Precambrian Res*, 1997, 85: 173—199[doi]
- 32 Macouin M, Besse J, Ader M, et al. Combined paleomagnetic and isotopic data from Doushantuo carbonates, South China: Implications for the “snowball Earth” hypothesis. *Earth Planet Sci Lett*, 2004, 224: 387—398[doi]
- 33 Trindade R I F, Macouin M. Palaeolatitude of glacial deposits and palaeogeography of Neoproterozoic ice ages. *C R Geosci*, 2007, 339: 200—211[doi]
- 34 Zhu M Y, Strauss H, Shields G A. From snowball earth to the Cambrian bioradiation: Calibration of Ediacaran-Cambrian Earth history in South China. *Palaeogeogr Palaeoclimat Palaeoecol*, 2007, 254: 1—6[doi]
- 35 Bowring S, Myrow P, Landing E, et al. Geochronological constraints on terminal Neoproterozoic events and the rise of metazoans. *Geophys Res Abs*, 2003, 5: 13219
- 36 Calver C R, Black L P, Everard J L, et al. U-Pb zircon age constraints on late Neoproterozoic glaciation in Tasmania. *Geology*, 2004, 32: 893—896[doi]