

文章编号: 0379 - 1726(2000)03 - 0293 - 04

南海南部 17962 柱状样生物硅沉积记录 及其古海洋意义

贾国东¹, 翦知湓², 彭平安¹, 汪品先², 傅家谟¹

(1. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东广州 510640; 2. 同济大学海洋地质开放实验室, 上海 200092)

摘要: 生物硅沉积记录可以反映海洋表层水体的古生产力。南海南部 17962 柱状样 3 万余年来的生物硅堆积速率曲线表明, 南沙海区古生产力的升高与一系列变冷事件, 如冰期中的 Heinrich 事件、冰消期新仙女木事件、中晚全新世变冷事件等有良好的对应关系。冬季风的强化及由此导致的海洋古生产力的升高可能是上述良好对应关系的内在原因。

关键词: 生物硅; 古海洋学事件; 南海

中图分类号: P593; P532 **文献标识码:** A

0 引 言

生物硅为硅藻、放射虫等硅质生物硬壳形成的非晶质或隐晶质二氧化硅。尽管海水自上而下对二氧化硅都是不饱和的, 但许多研究表明, 生物硅的溶解程度与海水深度无关, 其在沉积物中的堆积速率与样品的古水深也无相关性, 而且堆积速率的变化主要反映了硅质生物(主要是浮游硅质生物)的生产力的变化^[1]。现代海底生物硅的分布主要集中于环南极带、赤道太平洋、北太平洋和南北美洲的西海岸等营养物质丰富、海洋生产力较高的上升流区^[2]。因而, 在古海洋学研究中, 生物硅沉积记录常被用以指示古生产力的波动。由于这种波动与古海水营养状况的变化密切相关, 故而可以将生物硅沉积记录与可以导致这种变化的大尺度的古气候和古海洋过程(如季风、洋流等)联系起来^[3]。

17962 柱状样所记录的古生产力状况已经为有机碳和有孔虫等研究提供了重要参考, 并已做了较系统的工作^[4], 但由于采样间距较大(10 cm, 时间分辨率约为 0.4 ka)等原因, 只是对末次冰期与全新世的古生产力差别进行了重点阐述和讨论, 并未深入探讨其中所揭示的古海洋事件, 特别是末次冰期中的古海洋事件。而这正是近年来古气候、古海洋学

研究的热点问题。针对于此, 本研究拟对此柱状样进行加密取样, 并进行生物硅的测试, 以此来探讨有关的古海洋事件。

1 样品及测试

17962 柱状样为 1994 年中德合作“太阳号”95 航次南海考察时所采取, 位于南海南部(7°11'N, 112°5'E), 水深 1 968 m, 柱长近 8 m。柱状样沉积物岩性均一, 为青灰色泥质或粉砂质粘土, 无明显浊流沉积。所采样品间距为 2.5 cm, 共采集 314 个。

有关该柱状样的年代框架已有论文发表^[4], 它是在将本柱状样与紧邻的 V35-5 柱状样(7°12'N, 112°5'E)在碳酸盐含量、有孔虫属种相对丰度和氧碳稳定同位素进行详细对比的基础上, 依据 V35-5 柱状样的 AMS ¹⁴C 年龄和氧同位素 3.1 事件(井深 640 cm 处)建立起来的(见表 1)。可以看出, 冰期的沉积速率远远大于冰后期。对于 2.5 cm 的采样间距, 冰期的时间分辨率自然亦高于冰后期, 特别是末次盛冰期, 样品时间分辨率小于 100 a。

为了计算堆积速率, 对干样密度进行了测定。测定方法为以沉积物烘干后所得之干重除以湿样体积。测定干样密度的样品间距为 10 cm, 共 80 个。每 10 cm 内 2.5 cm 间距样品的干密度以内插法求

收稿日期: 1999 - 11 - 04; 修订日期: 1999 - 12 - 06

基金项目: 国家杰出青年基金资助项目(49453004); 中国科学院百人计划资助项目

作者简介: 贾国东(1969 -), 男, 博士后, 地球化学专业。

表 1 17962 柱状样测年数据

Table 1 Age data of the core 17962

| 深度 (cm) | AMS ^{14}C 年龄 (a B. P.) | 误差 (a) | 2.5 cm 时间分辨率 |
|---------|-------------------------------------|--------|-----------------|
| 7.5 | 1 496.5 | 150 | 499 |
| 64.5 | 6 171 | 120 | 204 |
| 82.5 | 8 077 | 140 | 272 |
| 102.5 | 9 660 | 130 | 198 |
| 127.5 | 10 823 | - | 116 |
| 142.5 | 12 823 | 120 | 333 |
| 187.5 | 15 162 | 190 | 130 |
| 215.0 | 15 943 | 190 | 71 |
| 309.5 | 19 584 | 260 | 96 |
| 640.0 | 29 500 | - | 75 |

得。总堆积速率($\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{ka}^{-1}$)的计算方法则为以柱状样的沉积速率($\text{cm} \cdot \text{ka}^{-1}$)乘以干样密度($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)。本文所讨论的生物硅的堆积速率则是以样品中的生物硅含量乘以总堆积速率。

生物硅的测试方法参考了文献 [5], 主要步骤为: 将 200 mg 干样用 1 mol/L 的 HCl 和 10% 的 H_2O_2 处理, 离心、烘干后再用 2 mol/L 的 Na_2CO_3 溶液于 85 $^\circ\text{C}$ 下浸取其生物硅 (5 h)。浸取液中 SiO_2 含量用硅钼蓝法在 UV-30C 分光光度计下进行比色测定。通过系列方法实验, 该测试方法的标准

差小于 3%。

2 测试结果与古海洋学事件

柱状样剖面上下生物硅含量介于 1.31 ~ 3.38 之间, 最大值出现于剖面顶部, 其余部位含量波动范围不大 (图 1b)。然而, 根据生物硅含量和总堆积速率 (图 1a) 计算出的生物硅堆积速率 (图 1c), 则显示出明显的变化规律。从中可以看出 3 万余年来一些典型的古气候和古海洋学事件。

2.1 海洋古生产力的变化

由图 1c 可以看出, 冰期生物硅堆积速率远大于冰后期, 平均约是冰后期的 3.2 倍。这与该柱状样有机碳堆积速率、底栖有孔虫 $U+B$ 指数和浮游有孔虫 $N. Duartei$ 含量等反映古生产力的指标的变化特征相同^[4]。这表明, 本钻孔生物硅堆积速率和古生产力的增大与变冷事件相对应。

2.2 末次冰期气候的不稳定性

近年来对北大西洋深海和格陵兰冰芯的研究揭示出末次冰期的气候存在较大的波动。如: 存在典型的“亚轨道事件”——Heinrich 冷事件。这一事件

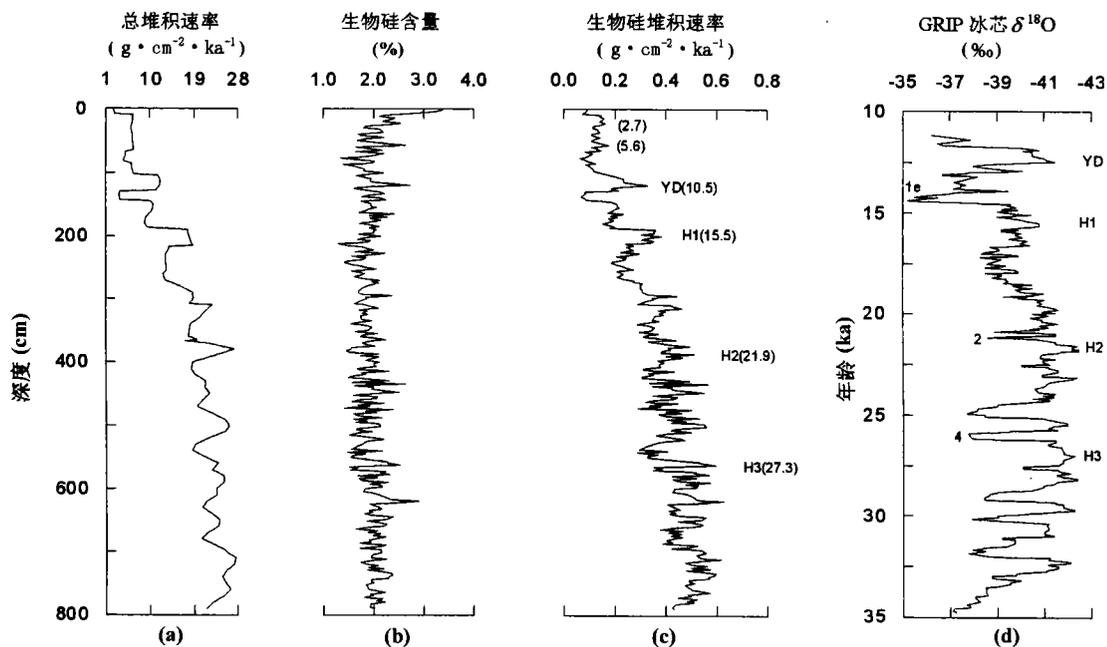


图 1 17962 柱状样总堆积速率(a)、生物硅含量(b)和堆积速率(c)曲线及与 GRIP 冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录(d)的对比(d 据文献[6])

Fig. 1 Total accumulation rate (a), content of biogenic opal (b), accumulation rate of biogenic opal (c) of the core 17962, and the comparison with $\delta^{18}\text{O}$ of the GRIP ice core (d)

在末次冰期中以 5 000 ~ 10 000 a 的周期出现了六次, 每一 Heinrich 事件终止于突然升温, 并开始新一轮变冷事件, 在长冷事件之间则为短暂的间冰段; 在 Heinrich 事件周期内部又有数次以二三千年来为周期的逐渐变冷的 D/O 周期等^[7]。将本钻孔生物硅堆积速率曲线与格陵兰 GRIP 冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录在相应的年龄段进行对比(图 1c、d), 可以看出, 二者相关性很好。如, 在冰芯记录的 1e 与 2 间冰段之间特征性的“W 形状”^[7], 在本钻孔生物硅堆积速率曲线上也很好地表现出来。而且, 在此曲线中可以找到明显的与冰芯中 H1、H2、H3 事件相对应的古生产力增大事件, Heinrich 事件结束后的突然升温则对应于古生产力的显著降低。此外, 生物硅堆积速率曲线的 Heinrich 事件之间存在的频繁波动也与冰芯记录十分相似, 表明 D/O 周期在本海区的存在。

对末次冰期生物硅堆积速率经数字滤波处理后进行了功率谱分析, 结果如图 2 所示。可以看出, 存在平均 6.71 ka 的准周期, 这与 Heinrich 事件的周期近似, 而 2.07 ka 周期以及更短的 1.25 ka 和 0.88 ka 等周期则反映了冰期内部存在有千年、百年事件, 如 D/O 周期等。

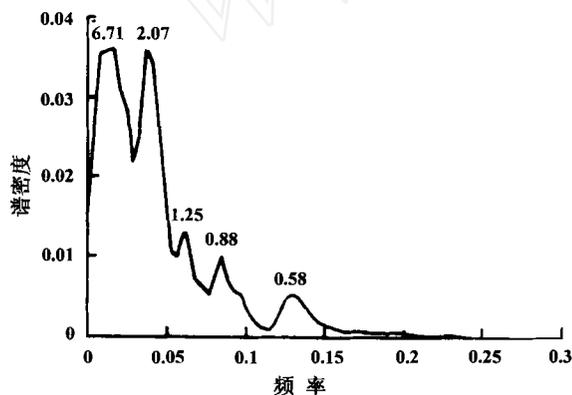


图 2 冰期生物硅堆积速率的频谱分析
Fig. 2 Spectral analysis of the accumulation rate of biogenic opal in the glaciation

2.3 末次冰消期的快速气候变化

图 1c 中约 15 000 a B. P. 后, 生物硅堆积速率开始明显降低, 进入了末次冰消期。在经过气候显著转暖之后, 于 10 800 ~ 9 600 a B. P. 间出现的生物硅堆积速率快速回升无疑是新仙女木事件的表现。这一事件为从末次冰期向冰后期过渡中最重要的—次气候回返事件, 以高分辨率地层学为基础的古海洋学研究证实了其在南海乃至太平洋区域的存在^[8]。

2.4 中晚全新世变冷事件

本钻孔全新世的时间分辨率尽管较低, 但仍可看出在约 6 000 ~ 1 500 a B. P. 间出现了一次比较明显的生物硅堆积速率增大, 即气候变冷事件, 在 2.7 ka B. P. 和 5.6 ka B. P. 达峰值, 中间曾一度回暖。这与刘振夏等^[9]对冲绳海槽 DGKS9603 孔的研究结果相近, 也与文献[10]报道的西太平洋 4 ~ 2 ka B. P. 变冷事件相仿。

3 讨论

近年来的研究表明, 中国黄土^[11]、冲绳海槽^[9]和南海北部^[8, 12]沉积记录中都存在可与北大西洋和格陵兰冰芯记录对比的 Heinrich 事件。黄土中揭示出冰期 Heinrich 事件的颗粒粒度曲线反映了冬季风的变化历史^[10]。对于南海南部陆坡, 翦知潜等^[13]曾指出末次冰期时, 由于冬季风活动加强可以导致海岸上升流季节性增强, 再加上此时的低海平面, 使得陆源输入加大, 海洋表层营养物增多, 从而产生高的表层古生产力。本柱状样冰期时陆源物质的堆积速率比全新世高 2 倍多^[4], 且总堆积速率曲线与生物硅堆积速率曲线以及有机碳堆积速率曲线^[4]具有明显的相似性, 这确实表明冰期中生产力的增大与冬季风加强、海平面降低和陆源物质输入的增大有关。另外, 汪品先等^[14]认为, 处于西太平洋“暖池区”的南沙海区冰期时由于冬季风强化可导致其表层海水温度比全新世低 3.3 ~ 7.3 °C。表层水体的降温及冬季风的加剧有利于破坏分层海水, 致使养分充足, 生产力提高。相对而言, 现代南沙海区由于水温常年变化不大, 表层水体温度较高, 水体垂向交换不畅, 营养物贫乏, 生产力较低^[15]。本文中, 由生物硅堆积速率反映出的海洋古生产力升高同—系列变冷事件的良好对应关系与上述观点一致。这表明, 生物硅及古生产力可作为南海南部海域冬季风的良好代用指标。

此外, 尽管 Heinrich 事件的发生原因及其对东亚季风区的影响机制仍存在争论, 但这些非轨道或亚轨道事件(包括新仙女木事件)在大西洋与东亚季风区(中国黄土、南海北部和南部)的广泛存在或遥相关, 说明大尺度的气候和古海洋过程控制了它们的发生和发展。

生物硅的测试工作得到了于赤玲工程师和樊

继香同志的大力协助,在此深表谢意。

参考文献:

- [1] Leinen M. Biogenic silica accumulation in the central equatorial Pacific and its implications for Cenozoic paleoceanography: Summary[J]. *Geol S Am B*, 1979, 90: 801 ~ 803.
- [2] DeMaster D J. The supply and accumulation of silica in the marine environment[J]. *Geochem Cosmochim Acta*, 1981, 45: 1 715 ~ 1 732.
- [3] Berger W H, Lange C B, Weinhermer A. Silica depletion of the thermocline in the eastern north Pacific during glacial conditions: Clus from ODP site 893, Santa Barbara Basin[J]. *California Geol*, 1997, 25(7): 619 ~ 622.
- [4] 房殿勇, 翦知潜, 汪品先. 南沙海区南部仅 30 ka 来的古生产力纪录[J]. *科学通报*, 1998, 43(18): 2 005 ~ 2 008.
- [5] Mortlock R A, Froelich P N. A simple method for the rapid determination of biogenic opal in the pelagic marine sediments[J]. *Deep Sea Re*, 1989, 36(9): 1 415 ~ 1 426.
- [6] Bond G C, Lotti R. Iceberg discharges into the North Atlantic on millennial time scales during the last glaciation[J]. *Science*, 267: 1 005 ~ 1 009.
- [7] Bond G C, Broecker W, Johnson S, *et al.* Correlations between climate records from North Atlantic sediments and Greenland ice [J]. *Nature*, 1993, 365: 143 ~ 147.
- [8] 汪品先. 十五万年来的南海[M]. 上海: 同济大学出版社, 1995. 184.
- [9] 刘振夏, Saits Y, 李铁刚, 等. 冲绳海槽晚第四纪前年尺度的古海洋学研究[J]. *科学通报*, 1999, 44(8): 883 ~ 887.
- [10] 翦知潜, 李保华, 汪品先. 西太平洋晚全新世变冷事件 [J]. *中国科学(D 辑)*, 1996, 26(5): 461 ~ 466.
- [11] Porter S C, An Zhisheng. Correlation between climate events in the North Atlantic and China during the last glaciation[J]. *Nature*, 1995, 375: 305 ~ 308.
- [12] Wang L, Sarnthein M, Erlenkeuser H, *et al.* East Asian monsoon climate during the late Pleistocene: High-resolution sediment records from the South China Sea[J]. *Mar Geol*, 1999, 156 (1 - 4): 245 ~ 284.
- [13] 翦知潜, 王律江, Kienast M. 南海晚第四纪表层古生产力与东亚季风变迁[J]. *第四纪研究*, 1999, (1): 32 ~ 40.
- [14] 汪品先, 翦知潜, 刘志伟. 南沙海区盛冰期的气候问题[J]. *第四纪研究*, 1996, (3): 193 ~ 201.
- [15] 中国科学院南沙综合科学考察队. 南沙群岛及其邻近海区综合调查研究报告[M]. 北京: 科学出版社, 1989. 820.

Biogenic silica records in core 17962 from southern South China Sea and their relation to paleoceanographical events

JIA Guo-dong¹, JIAN Zhi-min², PENG Ping-an¹, WANG Pin-xian², FU Jia-mo¹

(1. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China; 2. Marine Geology Department, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Biogenic silica is a good proxy for paleoproductivity of sea surface water. A high-resolution accumulation rate record of biogenic silica was obtained from core 17962 taken from the southern South China Sea (7°11'N, 112°5'E), whose total length and history are 790 cm and ca. 34 000 a, respectively. The record shows that the accumulation rate of biogenic silica in the glaciation were much higher than that in the Holocene. Moreover, the rate in glaciation correlates well with $\delta^{18}\text{O}$ record in the GRIP ice core and obviously corresponds to the cool events such as Heinrich events and Younger Dryas. Beside, the frequent fluctuations of the rate during Heinrich events reveal that the Dansgaard/Oeschger events may exist in the region. In the southern South China Sea, the strong East Asian winter monsoon could decrease sea surface temperature largely, develop upwelling currents and destroy stratified water body. Consequently, the paleoproductivity raised, which indicated in the record of the accumulation rate of biogenic silica. This result is similar to that in the Chinese loess, where the grain-size maxima, which is indicators of strengthening of the East Asian winter monsoon, corresponded to Heinrich events very well. The transcontinental teleconnection between North Atlantic Ocean and East Asian supports that large scale of paleoclimate process controlled the Heinrich and D/O events.

Key words: biogenic silica; paleoceanography events; South China Sea