

南海北部末次间冰期早期的突然降温事件*

涂霞^① 郑范^① 王吉良^② 汪品先^② 蔡慧梅^①C. Bühring^③ M. Sarnthein^③

(①中国科学院南海海洋研究所, 广州 510301; ②同济大学海洋地质教育部重点实验室, 上海 200092;

③德国基尔大学地球科学系)

摘要 南海北部陆坡 ODP1144 站 96.49~137.6 mcd¹⁾ 井段的高分辨率浮游有孔虫定量分析与 $\delta^{18}\text{O}$ 测定表明末次间冰期(MIS 5.5 即 5 e)内发生过一次表层海水突然降温的事件, 冬季水温下降幅度可达 7.5°C, 表层水 $\delta^{18}\text{O}$ 值也下降 1.2‰. 此次降温事件在西欧和北大西洋均已发现, 相互可以对比, 但南海记录的降温事件更加强烈. 此次事件推测由中低纬地区而非极地冰盖引起; 由于黑潮标志种 *Pulleniatina obliquiloculata* 对此次降温事件反映最为强烈, 有可能与西太平洋低纬度地区的古海洋学变化有关. 此次事件可认为属“新仙女木期”式的降温, 表明末次间冰期气候的变异性.

关键词 南海北部 末次间冰期 突然降温事件 MIS 5.5 期 气候不稳定性

同是格陵兰冰盖上的冰钻, GRIP 站首先发现末次间冰期 MIS 5e 时气候有快速的冷暖变化, 而在 GIS 站却并未出现^[1]. 于是末次间冰期气候是否稳定, 成为古气候研究的重要问题. 所以重要, 还在于当前的间冰期(全新世)还没有结束, 借鉴以往间冰期的记录有助于对未来气候趋势的预测. 由于此项研究要求高分辨率的地层记录, 可供比较的剖面并不多, 其中深海记录是一个重要方面, 如近来北大西洋 ODP658 孔发现在 MIS 5e 即 5.5 期内有一次不足 400 a 的突然降温事件^[2]. 此类事件在其他大洋有无反映, 对评价间冰期气候的稳定性具有重要意义. 南海 ODP184 航次取得的高沉积速率地层剖面, 为追索 5.5 期气候的突然变化提供了理想条件. 本文在高分辨率地层学的基础上对南海北部间冰期气候的稳定性作一探讨.

1 材料和方法

供本文分析的样品选自南海北部陆坡区水深 2037 m 的 ODP1144 站(20° 3.18'N, 112° 54' E) 96.49 ~ 137.6 m 的井段. 时间跨度为氧同位素 MIS 6 期至 5 期中期. 取样间隔多数为 10 cm, 少数 >10 cm, 共计取样 345 个, 时间分辨率平均约为 160 a. 上述样品用标准的微体古生物学方法进行处理, 并对 >0.154 μm 的粗组分用四分法进行浮游有孔虫的分类鉴定和统计, 每样鉴定、统计的浮游有孔虫个体数一般在 300~500 枚之间. 浮游有孔虫的定量分析数据, 通过转换函数的计算进行古海洋学分析. 此外, 对于 122 m 以上地层中的浮游有孔虫 *Globigerinoides ruber* 进行了稳定氧碳同位素分析, 分析工作在德国的基尔大学同位素实验室完成.

2001-02-05 收稿, 2001-04-05 收修改稿

* 国家自然科学基金重大项目资助(批准号: 49999560)

1) mcd 指合成剖面的井深米数, 本文中 1144 站井深一律用 mcd, 以下简称 m

2 结果和讨论

2.1 地层学记录

ODP1144 站提供了南海深海沉积最高的堆积速率, 钻穿的 505 m 地层只记录了 1 Ma 来的历史^[3], 加以有孔虫化石群含量丰富、保存良好, 是探索末次间冰期气候突变事件的理想材料. 据 Thompson 等对印度洋和太平洋岩芯的研究^[4], *Globigerinoides ruber* 红色壳的末现面位于氧同位素的 5e 期(年龄为距今 120 ka). 对 1144 站浮游有孔虫分析发现, *G. ruber* 红色壳见于该孔 110.33 m 以深的各样, 一般占该种丰度的 10%~15%, 多者可达 30%~40% 左右. 据此判断孔深 110.33 m 处属 MIS 5.5 期. 浮游有孔虫 *G. ruber* 的 $\delta^{18}\text{O}$ 分析正在进行, 本文完稿时仅分析到 121.73 m, 但已表明本次工作分析层段的顶部属 MIS 5.3(即 5c)期. 氧同位素 5/6 期界线位于孔深 113.5 m 处, 界线之下 $\delta^{18}\text{O}$ 明显加重, 最重值位于孔深 120 m 处, 可与氧同位素 6.2 事件对比(图 1), 按照 Martinson 等 $\delta^{18}\text{O}$ 年代表^[5], MIS 5.3 和 6.2 的年龄分别为 96 ka BP 和 135 ka BP. 因此, 本次工作分析的样品底部年龄约为 150 ka BP.

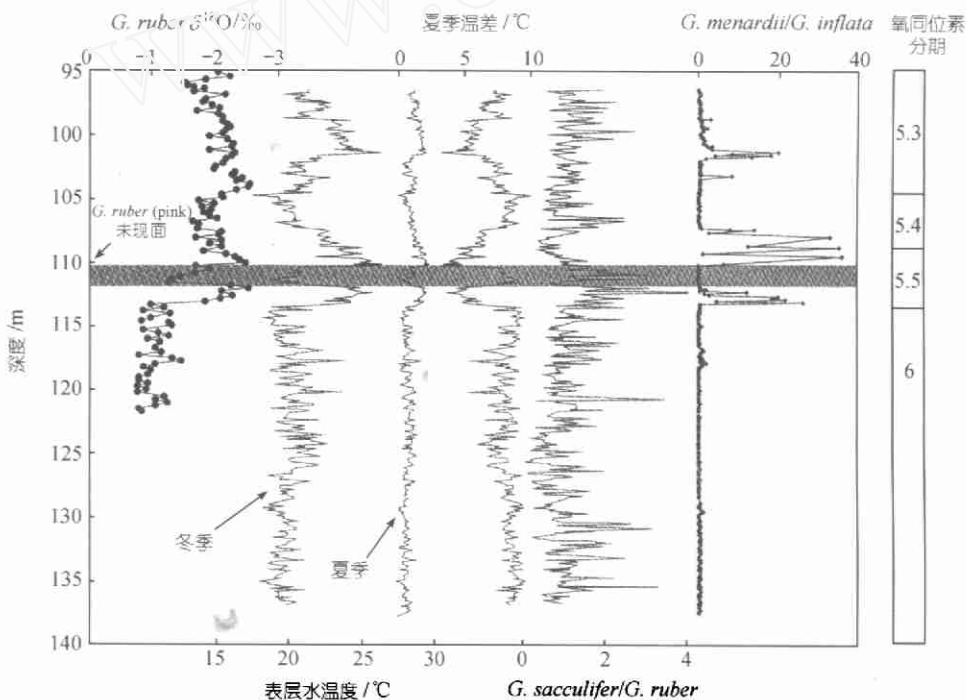


图 1 南海北部 1144 站 MIS 5.3~6 期转换函数温度、氧稳定同位素、*G. sacculifer*/*G. ruber* 及 *G. menardii*/*G. inflata* 的变化
阴影区代表氧同位素 5.5 期内的降温事件

2.2 表层古水温记录

对浮游有孔虫的分析结果表明, 热带~亚热带暖水种 *Globigerinoides sacculifer*, *Globorotalia menardii*, *Pulleniatina obliquiloculata* 等种在 MIS 5 期含量明显较高, 冷温水团代表种如 *Neogloboquadrina pachyderma*, *Globigerina bulloides* 和 *Globorotalia inflata* 则一般含量较低, 上述各种在 MIS 6 期则呈相反的分布趋势(图 2), 表现了冰期/间冰期表层古水温的变化

特征.

采用 Tompson 建立的浮游有孔虫古生态转换函数 FP-12E^[6] 计算 1144 孔冬季与夏季表层古水温(图 1), 结果与 $\delta^{18}\text{O}$ 对应很好, 而且与浮游有孔虫 *G. menardii*/*G. inflata* 和 *G. sacculifer*/*Globigerinoides ruber* 的比值相一致. 表层水温的变化主要见于冬季表层古水温曲线. 由图 1 可见, MIS 6 期冬季与夏季表层水温分别介于 18~24°C 和 27~29°C, MIS 5 期的冬季与夏季表层水温变化范围分别为 17~27°C 和 27~30°C. MIS 5 和 6 期的冬季与夏季表层水温差值幅度分别为约 7°C 和约 2°C, 该结果尤其是冬季水温的变化远大于南海南部海区同期的数值, 与西太平洋海区相比其差别更大^[7].

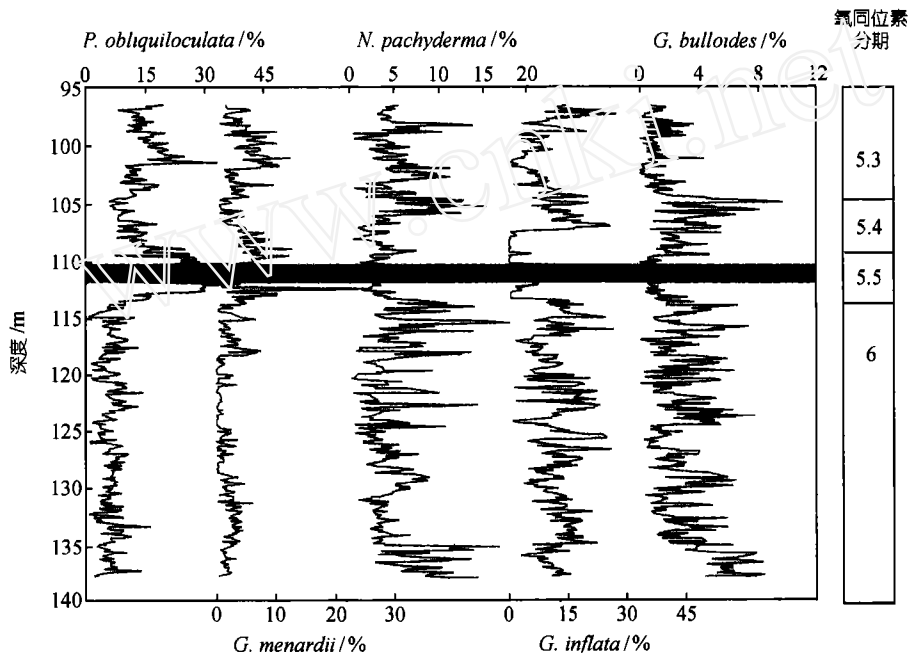


图 2 南海北部 1144 站 MIS 5.3~6 期部分浮游有孔虫属种含量的变化
说明同图 1

由图 1 和图 2 可见, 无论是浮游有孔虫的 $\delta^{18}\text{O}$ 曲线, 还是浮游有孔虫含量与古温度, 都有许多幅度不等的突变现象. 有趣的是在 MIS 6 期即冰期时表层水温变化频繁, 但变动幅度更大的却是在 MIS 5 期, 如 5.4 期的表层水温下降到冰期时的水平, 与 5.5 期最暖时水温可差 6°C.

2.3 氧同位素 5.5 期内降温事件

ODP1144 站 $\delta^{18}\text{O}$ 曲线中 MIS 5.5 期并非单峰型, 而是在 $\delta^{18}\text{O}$ 值轻达 -2.5‰ 左右的两峰之间有一个明显的谷区, $\delta^{18}\text{O}$ 值重达 -1.25‰, 使 5.5 期形成明显的双峰形. 早期峰位于 112 m, 后期峰位于 110 m 处. 早期峰 $\delta^{18}\text{O}$ 值轻于后期峰, 后期峰正好与 *G. ruber* 红色壳的末现面相吻合, 年龄为 120 ka BP (MIS 5.51 晚期). 依照 SPECMAP 氧同位素地层年代推算^[5], 早期峰的年龄是 123.5 ka, 两峰分别对应为 MIS 5.53 和 5.51 期. 由图 1 可见, MIS 5.53 期浮游有孔虫的热带暖水种 *P. obliquiloculata*, *G. menardii* 的含量比 MIS 5.51 高, 温、凉水种 *G. inflata* 和 *G. bulloides* 比 MIS 5.51 低; 同时, *G. sacculifer*/*G. ruber* 的比值同样显示出双峰性质, 同样是 MIS 5.53 比

5.51 值高, 反映 5.53 的温度较高. 所有这些都与 MIS 5.53 的 $\delta^{18}\text{O}$ 特征相符, 但是与开放性大洋的记录相悖, 那里 MIS 5.51 期水温达末次间冰期的最高值, 而且南海其他站位的氧同位素也在 5.51 期最轻. 与本站相邻的 ODP1145 站(19° 35' N, 117° 37' E; K. McIntyre, 2001, 口头告知), 以及 17954 (14° 48' N, 111° 32' E) 和 17955 (14° 07' N, 112° 11' E) 站^{[1][8]} 都是 MIS 5.51 的 $\delta^{18}\text{O}$ 峰值比 5.53 更轻. 可见 ODP1144 站 MIS 5.51 的主体部分缺失, $\delta^{18}\text{O}$ 曲线的上峰的下界为一数千年的沉积间断, 导致该间冰期最暖期的明显缺失. 这种 MIS 5.53 的极值也可能反映了冰期终止期 II 的某种气候变化过量的现象.

将 $\delta^{18}\text{O}$ 和浮游有孔虫记录与转换函数计算的表层海水古温度曲线对照, 显而易见的是在 MIS 5.51 和 MIS 5.53 期两个峰期之间海水降温事件(图 1). 而期间低谷即 MIS 5.52 期 $\delta^{18}\text{O}$ 值加重, 浮游有孔虫冷温水种 *G. inflata* 的含量达最大值(图 2). 换句话说, MIS 5.52 经历了一次明显的降温, 冬季表层水温低约 7.5°C, 夏季低约 1.5°C, 而表层水 $\delta^{18}\text{O}$ 则重 2.2‰, 变化幅度几乎可以与冰期/间冰期相对比(图 1).

实际上, MIS 5.52 的降温早有发现, 如北大西洋 ODP 658 站(20° 45' N, 18° 35' E, 水深 2263 m)的长链不饱和酮 U_{37}^K 古温度和底栖有孔虫 $\delta^{18}\text{O}$ 同样记录了这次事件^[2,9,10], 并被解释为“新仙女木期”式的降温, 发生在最近 650 ka 以来的每一个终止期^[11]. MIS 5.5 期的类似降温已经在许多其他地区发现, 譬如法国中部玛耳湖的花粉记录发现木本植物花粉百分比有一次急剧降低^[12]. 南海 ODP 1144 孔的发现和上述的记录十分一致, 但这次事件的性质和原因尚不清楚. 值得注意的是 ODP 658 孔底栖有孔虫的 $\delta^{13}\text{C}$ 反映比 $\delta^{18}\text{O}$ 强烈得多, ODP 1144 站表层水 $\delta^{18}\text{O}$ 也比 658 孔底层水 $\delta^{18}\text{O}$ 变化幅度大得多, 可能是表层海水明显降温的结果, 从而指示了当地表层海水盐度的增大以及夏季降雨的减少. 所有这些说明这次事件可能是中—低纬区而不是冰盖引起的. 从浮游有孔虫的组成看, 降温期最突出的变化是 *P. obliquiloculata* 的含量从 30% 以上突然下降至 10% 左右(图 2), 而这种在西北太平洋是黑潮的标志^[13], 这种突然降低可能指示了由于低纬区古海洋学的重要变化^[14](可能是海平面变化引起), 黑潮对本区的影响削弱.

3 结论

ODP1144 站浮游有孔虫分析表明, 南海北部表层海水温度和盐度在 MIS 5/6 期和 MIS 5.5 期变幅都很大. 推测这是由于本区冰期时受到季风海流和温带水团的影响, 使南海北部冬季表层古水温较低和季节温差较大.

在末次冰期 MIS 5.52 内部出现过一次突然性降温事件, 表层水温下降幅度冬季可达 7°C 左右, 表层水 $\delta^{18}\text{O}$ 值也加重 1.2‰. 这一事件可以与大西洋和其他海区记录的“新仙女木期”^[15,16] 式事件相对比, 但南海北部显示出更大的强度. 推断此次降温系由中低纬区而不是冰盖变化引起, 为末次间冰期气候的不稳定性提供了又一个证据.

参 考 文 献

- 1 Grootes P M, Stulver M, Johnson J W C, et al. Comparison of oxygen isotope records from GISP2 and GRIP Greenland ice

1) Heilig, Stephanie. Paläo-Ozeanographie vor Vietnam im Wandel von Glazial zu Interglazial. Diplomarbeit, Universität zu Kiel, 1996. 57 S

- cores. *Nature*, 1993, 366: 552 ~ 554
- 2 Maslin M, Sarnthein M, Knaack J J, et al. Intra-interglacial cold events: an Eemian-Holocene comparison. *The Geological Society of London, Special Publications*, 1998, 131: 91 ~ 99
 - 3 Wang P, Prell W, Blum P, et al. *Proceedings of the Ocean Drilling Program. Initial Reports*, 2000, 184
 - 4 Thompson P R, Bé A W H, et al. Disappearance of pink-pigmented *Globigerinoides ruber* at 120,000yr BP in the Indian and Pacific Oceans. *Nature*, 1976, 280: 554 ~ 558
 - 5 Martinson D G, Piasias N G, Hays J D, et al. Age dating and the orbital theory of the ice ages: development of a high-resolution 0 to 300 000-year chronostratigraphy. *Quaternary Research*, 1987, 27: 1 ~ 29
 - 6 Thompson P R. Planktonic foraminifera in the West North Pacific during the past 150000 years: Comparison of modern and fossil assemblages. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol*, 1981, 35: 241 ~ 279
 - 7 涂 震, 郑 范, 陈木宏, 等. 南海南部陆坡的浮游有孔虫及其所表征的表层古水温. *热带海洋*, 2003, 19(3): 40 ~ 49
 - 8 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. *Marine Geology*, 1999, 156: 245 ~ 284
 - 9 Eglintin G, Bradshaw S A, Rosell A, et al. Molecular record of secular sea surface temperature changes on 100-year timescales for glacial terminations I, II, and IV. *Nature*, 1992, 355: 423 ~ 426
 - 10 Maslin M, Sarnthein M, Knaack J-J. Subtropical Eastern Atlantic climate during the Eemian. *Naturwissenschaften*, 1996, 83: 122 ~ 126
 - 11 Sarnthein M, Tiedemann R. Younger Dryas-style cooling events at glacial terminations I-VI at ODP Site 658: Associated benthic $\delta^{13}\text{C}$ anomalies constrain meltwater hypothesis. *Paleoceanography*, 1990, 5(6): 1041 ~ 1055
 - 12 Thouveny N, de Besulien J -L, Bonifay E, et al. Climate variations in Europe over the past 140 kyr deduced from rock magnetism. *Nature*, 1994, 371: 503 ~ 506
 - 13 Li B, Jian Z, Wang P, et al. *Pulleniatina obliquiloculata* as a paleoceanographic indicator in the South Okinawa Trough during the last 20 000 years. *Marine Micropaleontology*, 1997, 32: 59 ~ 69
 - 14 王吉良, 斋藤文记, 大场忠道, 等. 近万年来冲绳海槽温跃层的高分辨率记录. *中国科学, D 辑*, 2000, 30(3): 233 ~ 238
 - 15 汪品先, 卞云华, 李保华, 等. 西太平洋边缘海的“新仙女木”事件. *中国科学, D 辑*, 1996, 26(5): 542 ~ 560
 - 16 葛知涓, 陈民本, 林慧玲, 等. 从稳定同位素与微体化石看南海南部末次冰消期古海洋变化之阶段性. *中国科学, D 辑*, 1998, 28(2): 118 ~ 124