

上的分配相当. 所以 M 位的 Ca, Na 分布大致有序, M 位的 Mg, Al 接近完全有序分布.

Pn 绿辉石 M 位的 Ca, Na 含量相差较大, 四种 M 位上 Ca, Na 的占位率分布不同, 占位率的不同影响了静电键的分布而引起配位多面体的畸变, 导致 Ca, Na 偏离了二次对称轴位置. 同理, Mg, Al 也偏离了二次对称轴位置.

致谢 在本文工作中曾得到中国科学院地质研究所叶大年院士的热心指导, 在此表示衷心感谢.

参 考 文 献

- 1 王璞, 潘兆橹, 翁玲宝. 系统矿物学(中). 北京: 地质出版社, 1984. 304~308
- 2 彭志忠. X射线分析简明教程. 北京: 地质出版社, 1982. 36~58
- 3 马喆生, 施倪承. X射线晶体学——晶体结构基本理论及实验技术. 北京: 地质出版社, 1995. 75~98
- 4 Deer W A, Howie R A, Zussman J. Rock-Forming Minerals. Volume 2A, 2nd ed. Single-Chain Silicates. London: Longman, 1978. 319~340
- 5 叶大年. 结构光性矿物学. 北京: 地质出版社, 1988. 56~90
- 6 沈今川译. 硅酸盐辉石的晶体化学(上). 地质科技情报, 1985, 4(1): 47~56
- 7 沈今川译. 硅酸盐辉石的晶体化学(下). 地质科技情报, 1985, 4(3): 48~55
- 8 Matsumoto T, Tokonani M, Morimoto N. The crystal structure of omphacite. Am Mineral, 1975, 63: 840~868
- 9 Clark J R, Papike J J. Crystal-chemical characterisation of omphacites. Am Mineral, 1968, 53: 840~868
- 10 Yokoyama K, Banno S, Matsumoto T. Compositional range of P2/n omphacites from the eclogitic rocks of central Shikoka, Japan Mineral Mag, 1976, 40: 773~779

(1997-11-24 收稿, 1998-03-27 收修改稿)

南沙海区南部近 30 ka 来的古生产力记录

房殿勇 翦知[✉] 汪品先

(同济大学国家教委海洋地质开放研究实验室, 上海 200092)

摘要 选取南沙海区南部重力柱状样 17962(7°11'N, 112°5'E, 柱长 8 m, 水深 1 968 m), 在高分辨率地层学基础上, 通过有机碳、碳酸盐、蛋白石、浮游及底栖有孔虫群等多种指标探讨古生产力的变化, 并定量计算了该柱状样近 30 ka 来的表层古生产力. 结果发现南沙海区南部末次冰期的古生产力增大, 约为全新世的 1.6 倍, 推测与冰期海平面下降, 该柱状样所在位置的陆源营养元素增多有关.

关键词 表层生产力 有机碳通量 高分辨率 南沙海区

海洋表层水中的浮游生物通过光合作用和沉降作用, 将碳从有光带“泵”入深海, 从而使海洋表层生产力、海水化学、大气化学(CO₂ 浓度)与全球气候 4 个环节联结起来, 确定了古生产力在气候演变中的突出地位^[1]. 因此, 海洋表层古生产力的研究近年来受到古海洋学界的极大重视, 而南海晚第四纪古生产力的研究, 似乎是不约而同地从 1992 年开始^[2~5]. 是年, 同济大学王律江用碳同位素^[2]、卞云华等人^[3]用底栖有孔虫探索了南海北部 10 余万年来的古生产力变化; 美国 Thunell 等人^[4]用有机碳含量与碳同位素等地球化学指标讨论了南海东南约 30 ka 来的古生产力与表层海水 CO₂ 含量; 德国 Winn 等人^[5]用有机碳的 ¹³C 等指标探讨南

海古生产力。但以往的工作无论是定性的,还是定量的,样品的时间分辨率都较低,一般仅用单种指标,其研究成果亟待用多种指标对深海沉积记录进行检验。

各大洋的研究表明,中低纬度海区的表层古生产力冰期时普遍高于全新世^[6]。南海北部及东南部的研究也显示了同样的变化趋势^[4,5]。但 Broecker 等人^[7]在南沙海区南部 V35-5 柱状样(7°12'N, 112°5'E, 水深 1 953 m)进行全球首例加速器放射性碳(AMS ¹⁴C)测年时,发现从冰期到全新世浮游有孔虫 *Pulleniatina obliquiloculata* 和 *Globigerinoides sacculifer* 所占重量丰度(mg/g,即每克沉积物中该属种壳体的重量)突然增加,那么这种变化是否意味着全新世古生产力高于冰期的呢?为此,1994年中德合作“太阳号”95航次特地在

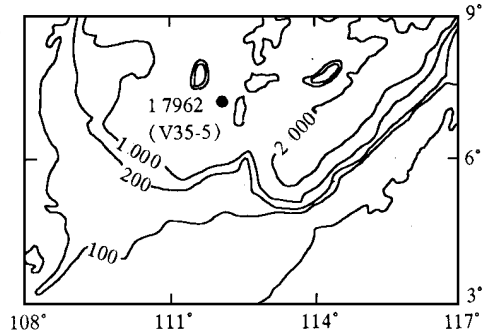


图1 南沙海区南部 17962 与 V35-5 柱状样位置图

V35-5 站的同一地点采取了 17962 重力柱状样(7°11'N, 112°5'E, 柱长 8 m, 水深 1 968 m)(图 1)。本次研究旨在该柱状样高分辨率的地层学基础上,对南沙南部的古生产力进行研究。

17962 柱状样按 10 cm 的间距,取 3 套样品,共 240 个样品,分别用于有孔虫分析、干样密度和有机碳、碳酸盐含量测定。有孔虫分析采用标准微体古生物学方法处理样品,从大于 0.154 mm 的粗组分中分别挑出浮游及底栖有孔虫 200~300 枚进行鉴定和统计,并计算底栖有孔虫 *Uvigerina* 和 *Bulimina* 两属的相对丰度之和(简称 U+B 指数^[3])和浮游有孔虫 *Neogloboquadrina dutertrei* 的相对丰度。有机碳和非有机碳的碳酸盐含量采用 LECO WR-112 碳质分析仪测定,其综合标准偏差为 ±0.02%;干样密度的计算系以沉积物烘干后所得之干重除以湿样体积。

在详尽对比 V35-5 和 17962 柱状样中碳酸盐含量、有孔虫属种相对丰度和氧、碳稳定同位素的基础上¹⁾,依据 V35-5 柱状样的 AMS ¹⁴C 年龄值和氧同位素 3.1 事件(井深 640 cm 处),建立 17962 柱状样的高分辨率地层框架(图 2),并求得各样品的年龄。这样,本次研究的样品代表 30 ka 的记录,时间分辨率约为 0.4 ka。

定量估算古生产力的方法有多种^[8],有的依据底栖有孔虫堆积速率^[9]、浮游有孔虫转换函数(Uwe Pflaumann,个人通信),但大多依据沉积物中的有机碳含量^[10]。本文采用 Sarnthein 等人^[10]最新得出的公式来计算 17962 柱状样的输出生产力和有机碳通量:

$$P_{exp} = 9.354 \times C_A^{0.403} \times S_{B-C}^{0.015} \times Z^{0.300},$$
$$F_C = 20.563 \times P_{exp}^{0.665} / Z^{0.554},$$

式中, P_{exp} 为层输出生产力, F_C 为有机碳通量, C_A 为有机碳含量(%), S_{B-C} 为非有机碳的沉积速率(cm/ka), Z 为水深(m)。结果见图 2。末次冰期(井深 175 cm 以下),有机碳通量和表层输出生产力平均为 2.5 和 22.7 gC/cm² a⁻¹,均高于全新世的值(1.8 和 14.2 gC/cm² a⁻¹)(图 2)。底栖有孔虫 U+B 指数^[3]和浮游有孔虫 *N. dutertrei* 百分含量^[11],在冰期时较全新世的显著增大(图 2),最大值分别达 87%和 23%,说明冰期时有机碳通量和古生产力较高。此外,

1) 房殿勇. 同济大学硕士学位论文,1996

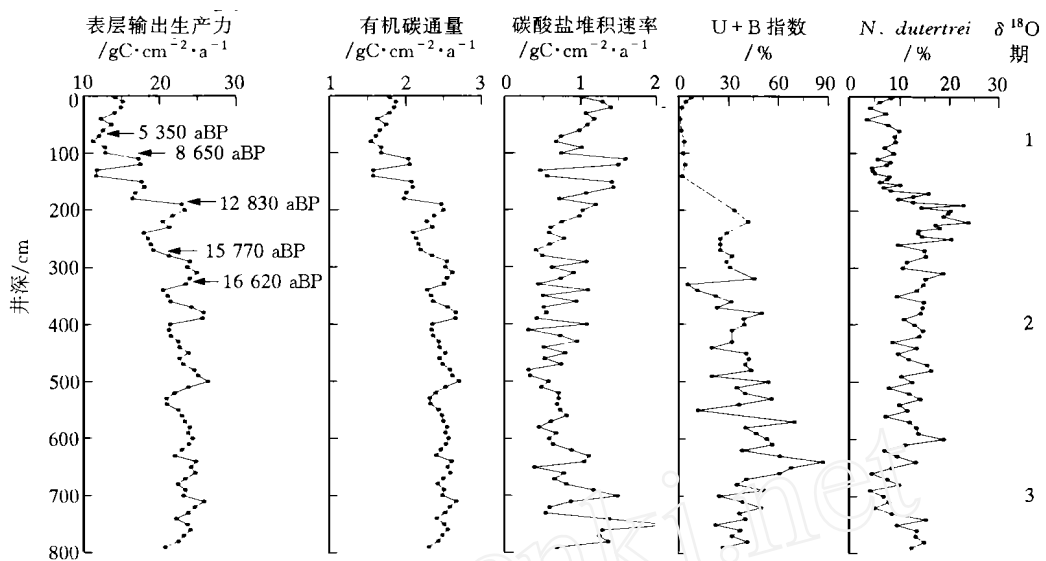


图2 17962 柱状样中输出生产力、有机碳通量、碳酸盐堆积速率、U+B 指数及 *N. dutertrei* 百分含量的变化

带箭头数值为主要的 AMS ^{14}C 年龄

根据该柱状样中末次冰期和全新世蛋白石(生物硅)的平均含量(林慧玲,未发表资料),计算其堆积速率分别为 0.38 和 $0.09 \text{ g/cm}^2 \text{ a}^{-1}$ ($\text{AR} = X \cdot \text{DBD} \cdot \text{SR}$, 式中 AR 为堆积速率, X 为物质百分含量, DBD 为样品的干样密度), 同样说明末次冰期古生产力较全新世的增大。

将计算出的南沙海区南部 17962 站位处的末次冰期和全新世的输出生产力相比较,发现冰期古生产力增大为全新世的 1.6 倍。而 Winn 等人^[4]和翦知^[8]等人^[8]根据南海北部 SO50-37 KL 柱状样所得冰期时古生产力约为全新世的 1.6 ~ 1.8 倍, Thunell 等人^[5]也根据南海东南 GGC-4 和 GGC-11 柱状样认为冰期古生产力较全新世的增加约 50% ~ 100%, Herguera 等人^[9]则在赤道西太平洋得出冰期古生产力约为全新世的 1.6 ~ 2.0 倍。可见,末次冰期旋回中,南沙海区南部亦遵循低纬西太平洋表层古生产力变化的总趋势。

C/N 值以及岩芯样中饱和烃的色谱-质谱分析表明:本海区沉积物中的有机碳绝大多数是由海洋自身产生,并同开放性大洋相似,来自陆源的只占少部分^[12]。由此推测,冰期时随着海平面下降,岸线向海方向大大推进,大量陆源物质直接倾倒在陆坡上部,17962 柱状样所在位置的陆源营养元素显著增多,从而引起古生产力增高,有机碳通量和蛋白石堆积速率增大,浮游及底栖有孔虫群中指示高生产力的 U+B 指数、*N. dutertrei* 百分含量也随之增高。而全新世时,南海海平面回升,地表径流所携带的陆源物质卸载在宽广的巽地陆架上,到达本海区的陆源营养元素急剧减少,因而古生产力、有机碳通量和蛋白石堆积速率都显著降低,U+B 指数和 *N. dutertrei* 百分含量也就明显减少。

实际上, Broecker 等人^[6]所观察到从末次冰期到全新世有孔虫丰度巨变在一定程度上也是陆源物质稀释的结果,因为全新世碳酸盐堆积速率较末次冰期只增加了约 25% (图 2), 而冰期时陆源物质(除碳酸盐、有机碳和蛋白以外的物质)的堆积速率却比全新世高 2 倍多。此外,

Broecker 等人^[6]所用的浮游有孔虫 *P. obliquiloculata* 和 *G. sacculifer* 均为喜暖种,其全新世丰度急增并不一定意味着古生产力增高,而可能与表层海水温度的升高等其他环境因素的改变有关。

总之,南沙海区南部 17962 柱状样所揭示的末次冰期古生产力较全新世的显著增高,仅是南海表层古生产力高分辨率研究的开始,有待更多、更深入工作的投入。

致谢 作者感谢胜利油田刘传联协助测定有机碳、碳酸盐含量,法国 J. C. Duplessy 提供 V35-5 柱状样的氧碳同位素资料,台湾中山大学林慧玲博士测定蛋白石含量。本工作为国家自然科学基金(批准号:49576286)和南沙专项课题联合资助项目。

参 考 文 献

- 1 Berger W H, Smetacek V S, Wefer G. Ocean productivity and paleoproductivity-an overview. In: Berger W H, Smetacek V S, Wefer G, eds. Productivity of the Ocean: Present and Past. New York: John Wiley and Sons, 1989. 1 ~ 34
- 2 王津江. 南海北部晚第四纪碳同位素记录与古生产力——以 SO49-8 KL 柱状样为例. 见:业治铮,汪品先编. 南海晚第四纪古海洋学研究. 青岛:青岛海洋大学出版社,1992. 217 ~ 226
- 3 卞云华,王律江,汪品先. 底栖有孔虫指示含氧量与古生产力——南海北部陆坡晚第四纪的实例. 见:业治铮,汪品先编. 南海晚第四纪古海洋学研究. 青岛:青岛海洋大学出版社,1992. 227 ~ 233
- 4 Thunell R C, Miao Q, Calvert S E, et al. Glacial-Holocene biogenic sedimentation patterns in the South China Sea: productivity variations and surface water pCO₂. Paleoceanography, 1992, 7: 143 ~ 162
- 5 Winn K, Zheng L, Erlenkeuser H, et al. Oxygen/carbon isotopes and paleoproductivity in the South China Sea during the past 110 000 years. In: Jin X, Kudrass H R, Pautot G, eds. Marine Geology and Geophysics of the South China Sea. Beijing: China Ocean Press, 1992. 154 ~ 166
- 6 Sarthein M, Winn K, Duplessy J C, et al. Global variations of surface ocean productivity in low and middle latitudes: influence on CO₂ reservoirs of deep ocean and atmosphere during the last 21 000 years. Paleoceanography, 1988, 3: 361 ~ 399
- 7 Broecker W S, Andree M, Klas M, et al. New evidence from the South China Sea for an abrupt termination of the last glacial period. Nature, 1988, 333: 156 ~ 158
- 8 翦知明,王律江,卞云华. 南海古生产力演变. 见:汪品先等著. 十五万年来的南海. 上海:同济大学出版社,1995. 115 ~ 126
- 9 Herguera J C, Berger W. Paleoproductivity from benthic foraminifera abundance: glacial to postglacial change in the west-equatorial Pacific. Geology, 1991, 19: 1 173 ~ 1 176
- 10 Santhein M, Pfaumann U, Ross R, et al. Transfer function to reconstruct ocean paleoproductivity: a comparison. In: Summerhayes, C P, prell W L, Emeis K C, eds. Upwelling Systems: Evolution Since the Early Miocene. Geol Soc Spec Pub, 1992, 64: 411 ~ 427
- 11 B é A W H. An ecological, zoogeographic and taxonomic review of Recent planktonic foraminifera. In: Ramsay A T S, ed. Oceanic Micropaleontology. London: Academic Press, 1977, 1(1): 1 ~ 100
- 12 段毅,罗斌杰,徐雁前,等. 南沙海洋沉积物中生物标志化合物的组成及地化意义. 海洋与湖沼,1996,27(3): 258 ~ 263

(1997-10-13 收稿,1998-03-17 收修改稿)