

# 晚上新世以来南海北部上部水体结构变化 及东亚季风演化

黄宝琦 成鑫荣 翦知明 汪品先

( 北京大学环境学院,北京 100871; 同济大学海洋地质教育部重点实验室,上海 200092)

**摘要** 文章通过对南海大洋钻探 1146 站有孔虫组合及其壳体氧、碳同位素的研究,探讨了南海北部上部水体结构对晚上新世(3.2~2.0MaB. P.) 北极冰盖的形成、扩大的响应。浮游有孔虫混合层和温跃层属种相对百分含量的变化, *Globigerinoides sacculifer*, *Pulleniatina obliquiloculata* 和 *Cibicides wuellerstorfi* 种间碳同位素的差值,以及底栖有孔虫内生种含量的变化表明:3.2~2.0MaB. P. 期间南海北部混合层、温跃层浮游有孔虫属种的百分含量主要受表层海水温度、生产力变化的控制;2.7MaB. P. 前后该区表层海水混合程度、生产力增加,上部海水垂直交换增强,反映了南海北部上部水体结构变化对北极冰盖的形成、扩张,以及东亚冬季风强化的响应。

**主题词** 晚上新世 有孔虫壳体氧、碳同位素 上部水体结构

**中图分类号** P69, P534.622 **文献标识码** A

晚上新世(3.2~2.0MaB. P.) 是研究地球气候系统变化的一个非常重要的时期。其间全球气候变冷导致北极冰盖形成,并逐步扩大<sup>[1~3]</sup>。冰盖的形成及扩张不但影响了深海底层环流<sup>[4~6]</sup>、大洋表层环流<sup>[7]</sup>、大气环流<sup>[8]</sup>,同时也改变了海洋的上部水体结构<sup>[9,10]</sup>。

南海的表层环流主要受东亚季风控制。上部水体结构表现出明显的季节性特征<sup>[11,12]</sup>。现代南海北部夏季混合层厚度为 20~30m,冬季为 40~80m<sup>[13]</sup>。地质历史时期,尤其是晚上新世,在北极冰盖形成并迅速扩大期间,作为东亚冬季风主要控制海区的南海北部,其上部水体结构对这一重大气候事件是如何反应的? 本文主要通过晚上新世浮游有孔虫属种的相对百分含量、底栖有孔虫的内生种含量以及有孔虫壳体的氧、碳同位素差值(<sup>13</sup>C) 探讨北极冰盖的形成和扩张对南海北部上部水体结构的影响。

## 1 材料与方 法

南海大洋钻探(ODP) 1146 站位于南海北部陆坡(19°27'24" N, 116°16'22" E), 水深 2 092m。共钻取得 3 个柱状样,最深达 642.25mcd (meter composite depth,

以下简称 m), 根据 ODP 初始报告结果,其底部年龄约为 19MaB. P.<sup>[14]</sup>。本文研究的取样层位为 196.3~241.7m, 采样的时间间距约为 10ka, 共取得 111 块样品,每个样品体积为 10cm<sup>3</sup>; 年龄框架采用 Huang 等<sup>[15]</sup> 的结果。

样品在水中浸泡数日直至样品完全散开,然后在 100 目的铜筛中冲洗,在 < 60 的烘箱中烘干。将大于 154μm 的粗组分分样至样品中的浮游有孔虫数目大于 250 枚,挑出样品进行统计,并按 Kennett 等<sup>[16]</sup> 以及 Saito 等<sup>[17]</sup> 的标准进行鉴定,同时在大于 154μm 的粗组分中挑尽底栖有孔虫。

底层水的营养和溶解氧含量不但控制了底栖有孔虫的丰度和分布,对底栖有孔虫的形态也有很大影响。Corliss<sup>[18]</sup> 根据底栖有孔虫的形态与底层水营养含量的关系将底栖有孔虫分为内生种和外生种,其中内生种的含量变化与表层海水生产力密切相关。本文采用 Den Dulk 等的标准计算底栖有孔虫内生种的百分含量<sup>[19]</sup>,并用来讨论表层海水生产力状况。

与晚第四纪不同,在上新世地层中,浮游有孔虫出现多个属种的绝灭事件。如何恢复已绝灭属种的

\* 第一作者简介:黄宝琦 女 30 岁 博士 海洋地质学专业 E-mail: baoqi\_huang@263.net

国家重点基础研究发展规划项目(批准号:G2000078502)、中国科学院现代古生物学和地层学国家重点实验室(批准号:033109)和中国博士后科学基金项目资助

2003 - 03 - 20 收稿,2003 - 08 - 25 收修定稿

生态,并利用其进行古海洋和古环境解释? Chaisson 等认为许多上新世绝灭的属种,与其现生的后代种有相似的生态环境,所以可以用现代种代替其已灭绝的祖先<sup>[20]</sup>。此外,浮游有孔虫壳体的氧同位素值可以代表其生活水层的水体氧同位素<sup>[21]</sup>,已绝灭的浮游有孔虫生活的水层与其后代现生种极其相似<sup>[22]</sup>。据此在绝灭种与现生种共存的柱状样中可以建立一个连续的生物组合记录<sup>[23]</sup>,并用其进行古海洋学研究。为了适当的应用绝灭种,对比其与现生种相对的生活深度,本文根据 Huang 等<sup>[15]</sup>的分类标准将上新世以来的浮游有孔虫分为 5 个组合:1) *Globigerinoides ruber* 组合(包括 *G. ruber*, *G. obliquus*, *G. extremus*); 2) *Globorotalia menardii* 组合(包括 *G. menardii*, *G. multicamerata*, *G. miocenica*, *G. limbata*); 3) *Globigerinoides sacculifer* 组合(包括 *G. sacculifer*, *G. fistulosus*, *N. altispira*); 4) *Neogloboquadrina* 组合(包括 *N. dutertrei*, *N. humerosa*, *N. acostaensis*); 以及 5) *Globorotalia inflata* 组合(包括 *G. inflata*, *G. crassaformis*)。并以此恢复 3.2 ~ 2.0MaB.P. 间 ODP

1146 站上部水体结构的变化历史。

每个样品中分别挑出 8 ~ 11 个浮游有孔虫 *G. sacculifer*(无袋)和 *Pulleniatina obliquiloculata* 壳体,大小严格控制在 350 ~ 425 $\mu$ m 之间,并尽量挑取底栖有孔虫 *Cibicides wuellerstofi* (> 315 $\mu$ m),进行壳体氧、碳同位素分析。在没有 *C. wuellerstofi* 的样品中,挑选 *Uvigerina peregrina* 或 *Oridorsalis umbonatus* 代替。底栖有孔虫不同属种间氧、碳同位素的差别按照 Shackleton 等<sup>[1]</sup>的方法进行校正,统一为 *C. wuellerstofi* 值。所有样品的同位素分析在同济大学海洋地质教育部重点实验室完成,其中氧同位素的分析精度为  $\pm 0.07\%$  (PDB),碳同位素的分析精度为  $\pm 0.04\%$  (PDB)。

本文的年龄确定及冰期 - 间冰期的划分采用 Huang 等<sup>[15]</sup>的研究结果。

## 2 结果

### 2.1 有孔虫属种组合变化

根据 Dowsett 等<sup>[7]</sup>的分类,结合 Huang 等<sup>[15]</sup>工

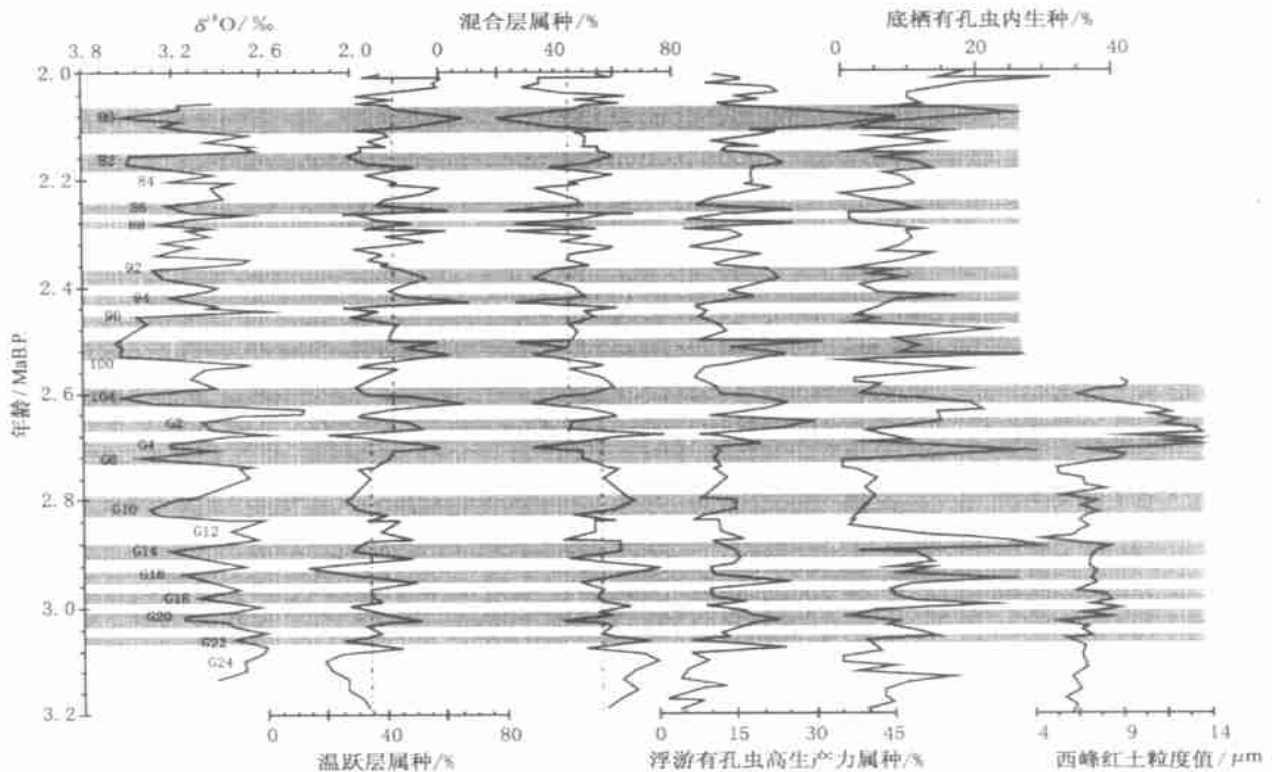


图 1 ODP 1146 站底栖有孔虫 (*C. wuellerstofi*) 氧同位素和浮游有孔虫混合层、温跃层、高生产力属种<sup>[15]</sup>和底栖有孔虫内生种的相对百分含量以及西峰红粘土粒度值<sup>1)</sup>

图中数字为氧同位素分期,阴影条带代表冰期(图 2 同);图中虚线为平均值线

Fig. 1 Oxygen isotope of *C. wuellerstofi* and relative abundance of mixed layer and thermocline species, planktonic foraminiferal high productivity species and beneath foraminifera infaunal species in ODP core 1146, and the grain size of red clay in Xifeng

1) Guo Z, Peng S, Hao Q et al. Late Miocene-Pliocene development of Asian aridification as recorded in the red-earth Formation in northern China. *Global and Planetary Change*, 2004 (in press)

作,ODP 1146站3.2~2.0MaB. P. 期间浮游有孔虫的混合层属种包括 *Globigerinoides ruber*组合和 *Globigerinoides sacculifer*组合以及 *Dentoglobigerina altispira*, *Globigerinoides bulloides*, *Globigerina rubescens*, *Globigerinita glutinata*; 而温跃层属种包括 *Globorotalia menardii*组合, *Neogloboquadrina*组合以及 *Globorotalia margaritae*, *Pulleniatina obliquiloculata*, *Globigerina calida*, *Globigerina eaquilateralis*, *Spheroidina dehiscens*。在3.2~2.0MaB. P. 期间浮游有孔虫温跃层属种的百分含量由不到30%增至50%,相反混合层属种百分含量则逐渐从近80%减少到30%,其变化与冰期-间冰期<sup>[15]</sup>变化一致,即冰期时温跃层属种含量增加,间冰期时混合层属种含量增加(图1)。浮游有孔虫组合的主要变化发生在2.7MaB. P.。2.7MaB. P. 之前浮游有孔虫组合以混合层属种为主,其含量是温跃层属种含量3倍左右;2.7MaB. P. 以来温跃层属种含量迅速增加,混合层与温跃层属种含量相当。

浮游有孔虫高生产力属种(*N. dutertrei*, *N. humerosa*和 *G. bulloides*)含量在3.2~2.0MaB. P. 间大致也随冰期-间冰期变化,即冰期时含量增加,间冰期减少。3.06~2.94MaB. P. 浮游有孔虫高生产力属种含量平均约为15%;2.94~2.68MaB. P. 该值低于15%;2.68~2.0MaB. P. 高生产力属种含量随冰期-间冰期变化较大,即冰期时大于15%,间冰期时在10%左右。

底栖有孔虫内生种的含量变化与浮游有孔虫高生产力属种的变化相似,即在2.9~2.7MaB. P. 内生种含量较低(<10%),而2.7MaB. P. 以来该含量增加,且呈冰期增加,间冰期减少变化。

2.7MaB. P. 前后的变化,不仅在南海北部海洋沉积物中被记录,中国内陆的红土粒度也在这一时期发生较大变化,2.7MaB. P. 之前平均粒度中值小于6 $\mu\text{m}$ ,2.7MaB. P. 后突然增加到大于10 $\mu\text{m}$ <sup>[1]</sup>(见图1)。

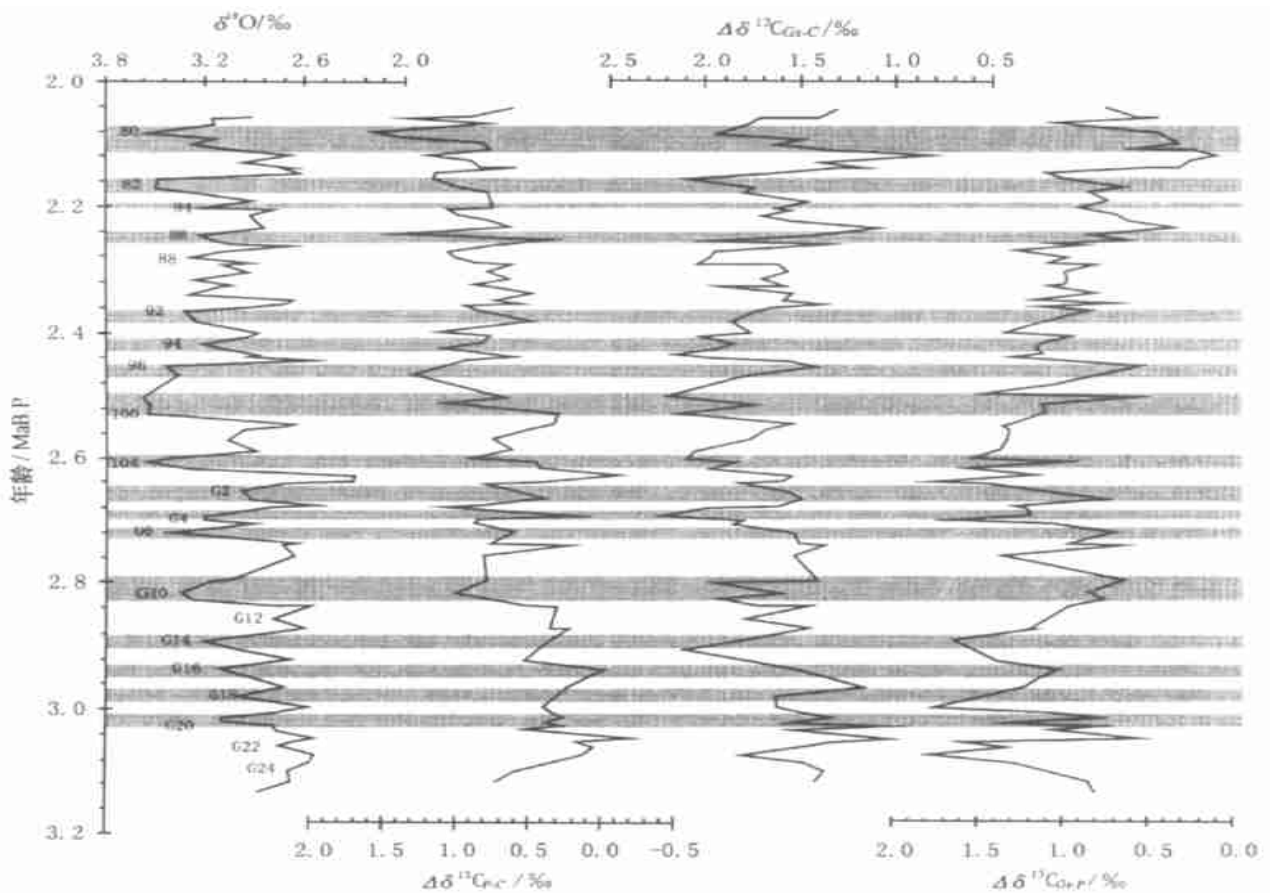


图2 ODP 1146站底栖有孔虫氧同位素和浮游有孔虫混合层、温跃层及底栖有孔虫碳同位素的差值<sup>[15]</sup>

Fig. 2 Oxygen isotope of *C. wuellerstofi* and  $^{13}\text{C}$  among *G. sacculifer*, *P. obliquiloculata* and *C. wuellerstofi* in ODP core 1146

1) Guo Z, Peng S, Hao Q et al. Late Miocene-Pliocene development of Asian aridification as recorded in the red-earth Formation in northern China. *Global and Planetary Change*, 2004 (in press)

## 2.2 不同水层间碳同位素差值的变化

不同的浮游有孔虫生活在大洋上部的不同水层中,其相对百分含量可以用来恢复当时上部水体的水文特征<sup>[24~27]</sup>。此外,由于有孔虫壳体氧、碳同位素值与其生活时期海水的氧、碳同位素平衡,所以不同水层中有孔虫壳体的同位素差值可以用来指示上部水体结构的变化<sup>[21,26~28]</sup>,即当浮游有孔虫混合层与温跃层属种的碳同位素差值减小,反映海水上部混合程度增强,反之亦然。本次工作测得了 ODP 1146 站混合层(*G. sacculifer*)、温跃层(*P. obliquiloculata*)及底栖有孔虫(*C. wuellerstorfi*)的碳同位素,并计算了三者之间的差值(图 2)。*P. obliquiloculata* 与 *C. wuellerstorfi* 的碳同位素差值( $^{13}C_{p-c}$ ), 3.2MaB. P. 以来逐渐增加,变化范围在 -0.5‰~2.0‰之间,明显变化发生在 2.5MaB. P.,在冰期-间冰期旋回中多数表现为冰期 $^{13}C_{p-c}$ 值增大,而间冰期减小。*G. sacculifer* 与 *C. wuellerstorfi* 碳同位素的差值( $^{13}C_{g-c}$ ) 在 3.2~2.0MaB. P. 期间主要表现为冰期-间冰期旋回的变化,即冰期较高,间冰期较低,变化幅度在 0.8‰~2.1‰之间。*G. sacculifer* 与 *P. obliquiloculata* 碳同位素的差值( $^{13}C_{g-p}$ ),除同样表现为冰期高,间冰期低的规律外,3.2MaB. P. 以来 $^{13}C_{g-p}$ 值逐渐降低,由 3.2MaB. P. 时的近 1.8‰减少到 2.1MaB. P. 时的 0.1‰左右,且其明显变化发生在 2.2MaB. P. 前后。

## 3 讨论

在东太平洋,上升流导致温跃层变浅,当温跃层上升进入真光层后,浮游有孔虫温跃层属种百分含量增加,而混合层属种含量减少<sup>[20,26,29]</sup>。由于上升流作用增强,4.5MaB. P. 后东太平洋(ODP 846)浮游有孔虫混合层属种含量的显著减少,说明温跃层变浅<sup>[20]</sup>,南海西部夏季上升流区浮游有孔虫混合层、温跃层属种的变化也被用来指示温跃层深度的变化<sup>[30]</sup>。在现代南海北部,ODP 1146 站附近没有发现可以导致温跃层变浅的冬季或夏季上升流存在,相反,当冬季风控制南海时,表层海水温度大大低于夏季,温跃层变深<sup>[11]</sup>。是什么原因使本文研究的 ODP 1146 站浮游有孔虫温跃层属种含量在 2.7MaB. P. 后显著增加? 对比 ODP 1146 站浮游有孔虫高生产力

属种与温跃层属种含量的变化,发现两者的变化几近平行,反映大洋表层生产力变化的底栖有孔虫内生种含量,2.7MaB. P. 后也明显增加(见图 1),结合该区晚上新世表层海水温度的变化<sup>[15]</sup>,说明南海北部 2.7MaB. P. 以来浮游有孔虫混合层与温跃层属种的变化主要受表层海水温度和生产力控制。Wiesner 等<sup>[31]</sup>研究认为,强劲的东亚冬季风从陆地带来大量的风尘沉积,增加了南海北部表层海水的营养,使浮游有孔虫高生产力属种含量增加。中国内陆黄土的磁化率和粒度变化一直被作为东亚季风演化的替代性指标。西峰红粘土的粒度也在 2.7MaB. P. 后显著增大,说明此时亚洲内陆干旱化加强<sup>[1]</sup>。对海、陆研究结果的一致说明 2.7MaB. P. 是东亚季风演化的重要时期。

$^{13}C$  的变化与海水中营养盐的含量密切相关,不同水层碳同位素差值反映了营养盐在水层间的交换,差值大说明上部水体的垂直交换能力较弱,差值变小则反映上部水体垂直交换增强。ODP 1146 站 $^{13}C_{p-c}$ 值在 2.5MaB. P. 后显著增加,而 $^{13}C_{g-p}$ 值则减少,说明 2.5MaB. P. 以来南海北部上部水体混合程度增强,使碳同位素在混合层与温跃层间的交换增强,而减弱温跃层与低层海水间碳同位素的交换。这些变化可能与东亚冬季风强化,导致海水生产力增加、垂直交换增强有关。

ODP 1146 站晚上新世有孔虫属种组合及其壳体同位素的变化,说明南海北部上部水体结构的变化反映了东亚季风的演化历史。在研究中发现浮游有孔虫属种组合的变化与碳同位素的变化在时间上并不一致,这是由于不同指标对同一事件反应上的差别,还是由于本次工作的分辨率较低所致? 还需要进一步的工作。

## 4 结论

2.7MaB. P. 前浮游有孔虫组合混合层属种相对百分含量远远高于温跃层属种含量,浮游有孔虫高生产力属种和底栖有孔虫内生种含量较低; 2.7MaB. P. 后混合层属种含量减少,以高生产力属种为主的温跃层属种及底栖有孔虫内生种含量增加。有孔虫组合含量的变化说明 2.7MaB. P. 后南海北部表层海水营养盐含量增加。

浮游有孔虫 *G. sacculifer*, *P. obliquiloculata* 和

1) Guo Z, Peng S, Hao Q et al. Late Miocene-Pliocene development of Asian aridification as recorded in the red-earth Formation in northern China. *Global and Planetary Change*, 2004 (in press)

底栖有孔虫 *C. wuellerstorfi* 三者间碳同位素的差值表明 2.5MaB. P. 后南海北部混合层深度增大、海水上部垂直交换增强。

ODP 1146 站有孔虫组合及其壳体同位素差值的变化表明东亚季风在 2.7MaB. P. 后强化。

**致谢** ODP 184 航次上所有的科学家和工作人员为本次工作提供了高质量的研究样品;中国科学院地球环境研究所郭正堂研究员提供西峰红粘土粒度数据。同济大学海洋地质教育部重点实验室的方定元老师和夏佩芬老师在本次有孔虫氧、碳同位素测定工作中给予的帮助。

### 参考文献 (References)

- Shackleton N J, Hall M A, Pate D. Pliocene stable isotope stratigraphy of Site 846. In: Pisias N G, Mayer L A, Janecek T R *et al.* eds. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 1995, **138**: 337 ~ 355
- Maslin M A, Haug G H, Sarnthein M *et al.* The progressive intensification of Northern Hemisphere Glaciation as seen from the North Pacific. *Geologische Rundschau*, 1996, **85**: 452 ~ 465
- Hilgen F J. Extension of the astronomically calibrated (polarity) time scale to the Miocene/Pliocene boundary. *Earth and Planetary Science Letters*, 1991, **107**: 349 ~ 368
- Sikes E L, Keigwin L D, Curry W B. Pliocene paleoceanography: Circulation and oceanography changes associated with the 2.4Ma glacial event. *Paleoceanography*, 1991, **6**: 245 ~ 257
- Raymo M E, Høddell D, Jansen E. Response of deep ocean circulation to initiation of Northern Hemisphere Glaciation (3 ~ 2Ma). *Paleoceanography*, 1992, **7**: 645 ~ 672
- Tiedemann R, Franz S O. Deep-water circulation, chemistry, and terrigenous sediment supply in the Equatorial Atlantic during the Pliocene, 3.3 ~ 2.6Ma and 5 ~ 4.5Ma. In: Shackleton N J, Curry W B, Richter C *et al.* eds. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 1997, **154**: 299 ~ 318
- Dowsett H, Barron J, Poore R. Middle Pliocene sea surface temperatures: A global reconstruction. *Marine Micropaleontology*, 1996, **27**: 13 ~ 25
- Ding Zhongli, Rutter N, Han Jingtai *et al.* A coupled environmental system formed at about 2.5Ma in East Asia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1992, **94**: 223 ~ 242
- Cannariato K G, Ravelo A C. Pliocene-Pleistocene evolution of eastern tropical Pacific surface water circulation and thermocline depth. *Paleoceanography*, 1997, **12**(6): 805 ~ 820
- Chaisson W P, Ravelo A C. Pliocene development of the east-west hydrographic gradient in the Equatorial Pacific. *Paleoceanography*, 2000, **15**(5): 497 ~ 505
- Liu Qinyu, Yang Haijun, Wang Qi. Dynamic characteristics of seasonal thermocline in the deep sea region of the South China Sea. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2000, **18**(2): 104 ~ 109
- 王东晓, 杜岩, 施平. 冬季南海温跃层通风的证据. *科学通报*, 2001, **46**(9): 758 ~ 762  
Wang Dongxiao, Du Yan, Shi Ping. Evidence for thermocline ventilation in the South China Sea in winter. *Chinese Science Bulletin*, 2001, **9**: 779 ~ 782
- National Oceanic and Atmospheric Administration. World Ocean Atlas 1994. NOAA, Washington, D. C.: National Oceanographic Data Center, 1994. <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.nodc.woa94.html>
- Wang P, Prell W L, Blum P. Site 1146. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Initial Reports 184*, 2000. [http://www-odp.tamu.edu/publications/184\\_IR/chap\\_07/chap\\_07.htm](http://www-odp.tamu.edu/publications/184_IR/chap_07/chap_07.htm)
- Huang B, Cheng X, Jian Z *et al.* Response of upper ocean structure to the initiation of the North Hemisphere Glaciation in the South China Sea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2003, **196**: 305 ~ 318
- Kennett J P, Srinivasan M S. Neogene Planktonic Foraminifera: A Phylogenetic Atlas. Stroudsburg, Pennsylvania: Hutchinson Ross Public Company, 1983. 1 ~ 244
- Saito T, Thompson P, Berger D. Systematic Index of Recent and Pleistocene Planktonic Foraminifera. Tokyo: Tokyo University Press, 1981. 1 ~ 190
- Corliss B H, Chen C. Morphotype patterns of Norwegian Sea deep-sea benthic foraminifera and ecological implications. *Geology*, 1988, **16**: 716 ~ 719
- Den Dulk M, Reichert G J, van Heyst S *et al.* Benthic foraminifera as proxies of organic matter flux and bottom water oxygenation? A case history from the northern Arabian Sea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2000, **161**: 337 ~ 359
- Chaisson W P, Ravelo A C. Changes in upper water-column structure at Site 925, Late Miocene-Pleistocene: Planktonic foraminifer assemblage and isotopic evidence. In: Shackleton N J, Curry W B, Richter C *et al.* eds. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 1997, **154**: 255 ~ 268
- Ravelo A C, Fairbanks R G. Oxygen isotopic composition of multiple species of planktonic foraminifera: Recorders of the modern photic temperature gradient. *Paleoceanography*, 1992, **7**(6): 815 ~ 831
- Keller G. Depth stratification of planktonic foraminifers in the Miocene ocean. In: Kennett J P ed. *The Miocene Ocean: Paleoceanography and Biogeography. Geological Society of America Memoir*, 1985, **163**: 177 ~ 196
- Dowsett H, Poore R. A new planktonic foraminifer transfer function for estimating Pliocene-Holocene paleoceanographic conditions in the North Atlantic. *Marine Micropaleontology*, 1990, **16**: 1 ~ 23
- Bé A W H. An ecological, zoogeographical, and taxonomic review of recent planktonic foraminifera. In: Ramsay A T S ed. *Oceanic Micropaleontology*. New York, NY: Academic Press, 1977. 1 ~ 100
- Henlebin C, Spindler M, Anderson O R. *Modern Planktonic Foraminifera*. New York: Springer-Verlag, 1989. 1 ~ 363
- Ravelo A C, Fairbanks R G, Philander S G H. Reconstructing tropical Atlantic hydrography using planktonic foraminifera and an ocean model. *Paleoceanography*, 1990, **5**: 409 ~ 431
- von Mücke S K, Oberhänsli H. The distribution of living planktonic

- foraminifera in relation to Southeast Atlantic oceanography. In: Fisher G, Wefer Geds. Use of Proxies in Paleoceanography: Examples from the South Atlantic (Part 1). Berlin, New York: Springer-Verlag, 1999. 91 ~ 115
- 28 Jian Zhimin, Wang Pinxian, Saito Yoshiki *et al.* Holocene variability of the Kuroshio Current in the Okinawa Trough, northwestern Pacific Ocean. *Earth and Planetary Science Letters*, 2000, **184**: 305 ~ 319
- 29 Farrell J W, Murray D W, Mckenna V S *et al.* Upper ocean temperature and nutrient gradients inferred from Pleistocene  $^{18}\text{O}$  and  $^{13}\text{C}$  records in the eastern Equatorial Pacific. In: Pisias N G, Mayer L A, Janecek T R *et al.* eds. *Proceedings of the Ocean Drilling Program*, Scientific Results, 1995, **138**: 289 ~ 311
- 30 黄宝琦, 翦知巖. 越南岸外晚第四纪上升流与东亚夏季风变迁. *第四纪研究*, 1999, (6): 518 ~ 525
- Huang Baoqi, Jian Zhimin. Late Quaternary coastal upwelling and variations of the East Asian summer monsoon off the Vietnam coast. *Quaternary Sciences*, 1999, (6): 518 ~ 525
- 31 Wiesner M G, Zheng L, Wong H K *et al.* Fluxes of particulate matter in the South China Sea. In: Ittekkot V, Schafer P, Honjo S *et al.* eds. *Particle Flux in the Ocean*. London: John Wiley & Sons, Ltd., 1996. 293 ~ 312

## VARIATIONS IN UPPER OCEAN STRUCTURE IN THE SOUTH CHINA SEA AND THE EVOLUTION OF THE EAST ASIAN MONSOONS SINCE LATE PLIOCENE

Huang Baoqi

Cheng Xinrong

Jian Zhimin

Wang Pinxian

( College of Environment Sciences, Peking University, Beijing 100871; Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092)

### Abstract

Foraminiferal assemblages and oxygen and carbon isotopic records from ODP core 1146, located at the northern continental slope of the South China Sea, were used to study the response of the upper water column structure to the Late Pliocene (from 3.2 to 2.0MaB. P.) climatic changes. Variations in the relative abundance of planktonic foraminiferal assemblages, isotopic differences among *Globigerinoides sacculifer*, *Pulleniatina obliquiloculata* and *Cibicides wuellerstorfi*, and abundance of beneath foraminiferal infaunal species show that the abundances of mixed-layer species (*G. ruber* and *G. sacculifer* groups, *D. altispira*, *G. bulloides*, *G. rubescens*, and *G. glutinata*) and thermocline dwellers (*G. menardii* and *Neoglobobadrina* groups, *G. margaritae*, *P. obliquiloculata*, *G. calida*, *G. eaquilateralis*, and *S. dehiscens*) of planktonic foraminifera were controlled by sea surface temperature and primary productivity. After 2.7MaB. P., the abundance of mixed layer species decreased, while the high productivity species and  $^{13}\text{C}$  among mixed layer, thermocline, and deep-water species increased. These changes indicate that mixed layer depth, primary productivity and vertical exchange were enhanced, accompanied by the strengthening of the East Asian winter monsoon, which in turn is associated with the progressive intensification of glaciation in the Northern Hemisphere.

**Key words** Late Pliocene, oxygen and carbon isotope, upper water column structure