

# 南沙海区盛冰期的气候问题<sup>\*</sup>

汪品先 翦知湓 刘志伟

(同济大学海洋地质开放实验室, 上海 200092)

**摘要** 南沙海区属于西太平洋暖池区, 其盛冰期的表层水温变化涉及暖池在冰期旋回中的稳定性, 因而具有全球性意义。本文根据十几个沉积柱状样的氧同位素与微体古生物分析结果, 指出南沙海区盛冰期时夏季温度与全新世差别微小, 而冬季水温强烈降低, 使季节性温差高达 $6^{\circ}\text{C}$ , 明显超过同纬度的西太平洋开放水域。推测冰期时的冬季风强化, 是造成这些变化的主要原因, 同时也为热带海区冰期海面温度高、岛屿山地温度低的矛盾提出了一种新的可能解释。

**主题词** 南沙海区 表层海水温度 盛冰期 冬季风

## 1 问题的提出

严晓海等<sup>[1,2]</sup>汇总 10 年 (1982 ~ 1991) 遥感资料展示的西太平洋暖池 (WPWP), 为过去全球变化的研究提出了一个新问题: 西太平洋暖池在冰期旋回中有没有显著的变化?

长期的遥感资料一致表明, 赤道两侧从印度洋东部到太平洋西部, 有一大片平均表层水温超过  $28^{\circ}\text{C}$  的暖池区, 其中超过  $29^{\circ}\text{C}$  的核心在新几内亚附近 (图 1)。这片西太平洋暖池对于现在的厄尔尼诺和南方涛动, 甚至对于全球气候都起着举足轻重的作用<sup>[1,2]</sup>。近来有一种主张认为, 热带海面的水温在冰期时变化微弱 (温差  $<2^{\circ}\text{C}$ ), 因而西太平洋暖池在冰期旋回中的变化不大<sup>[3]</sup>。其实, 早在 70 年代 CLIMAP 计划的研究结论, 也是赤道海区冰期降温不过  $2^{\circ}\text{C}$ <sup>[4]</sup>。但是地貌证据表明, 新几内亚山地冰川在盛冰期时的雪线较今下降 1000 ~ 1500 m, 相当于降温  $6 \sim 8^{\circ}\text{C}$ <sup>[5]</sup>; 从孢粉资料看, 爪哇和苏门答腊海拔 1300 m 的山地盛冰期植被与现在 1800 m 高处的相似, 反映气温较今低  $1.8 \sim 7^{\circ}\text{C}$ <sup>[6]</sup>。可见, 暖池区内岛屿山地的冰期降温值远远超过海面的温差。这就产生了陆地与海面冰期古温度的矛盾。是不是海面古温度算错了? 或者冰期时大气层温度垂直梯度比今天强烈得多?<sup>[7]</sup>

西太平洋暖池的中段, 恰好是西太平洋低纬区的边缘海, 包括南海南部、苏禄海、苏拉威西海、班达海、爪哇海、帝汶海和阿拉富拉海, 其中的南海南部正是南沙海区 (见图 1)。由于边缘海对冰期旋回的“放大效应”, 在盛冰期时的环境变迁比开放性大

第一作者简介: 汪品先 男 59岁 教授、中国科学院院士 海洋微体古生物学与古海洋学专业

\* 南沙专项课题和国家自然科学基金资助项目

1996-04-12 收稿, 1996-05-18 收修改稿

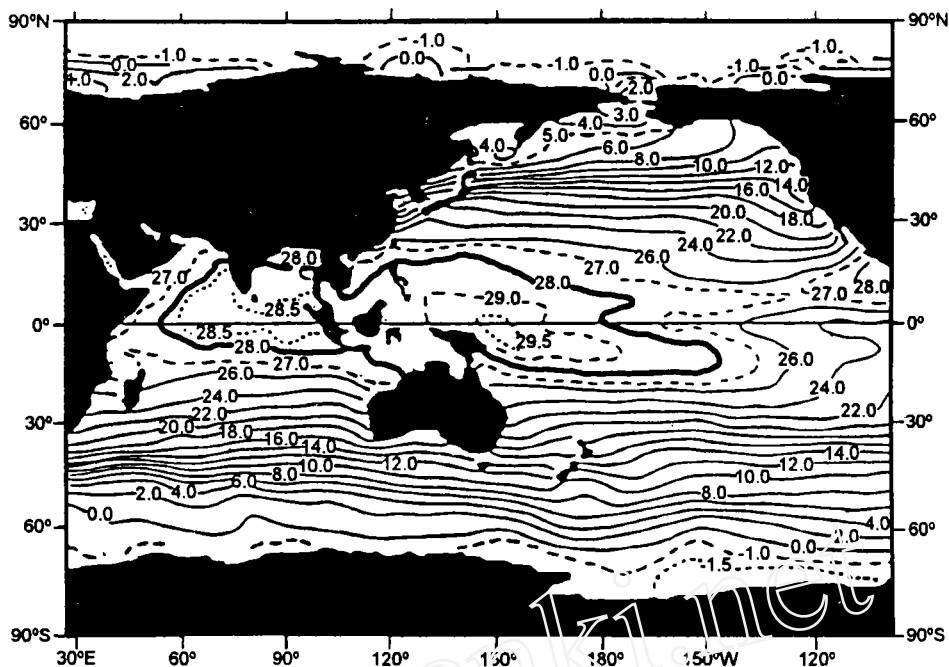


图1 印度—太平洋区长期平均表层水温(°C)分布图

(据[1]改绘)

粗线示 28°C 等温线, 圈出了西太平洋暖池的范围

洋强烈得多。属于暖池区的热带西太平洋边缘海, 其浅海区(即“亚洲大浅滩和澳大利亚大浅滩”)在冰期时出露成陆, 总面积达三百万平方公里, 相当于整个阿拉伯半岛, 大面积暴露必然显著改变了本区的海陆布局和水热平衡; 深海区则经历了环流格局和水温、蒸发量的变化<sup>[8]</sup>。

南沙海区, 正是南海南部 28°C 等温线范围内的暖池所在, 由于该区南部沉积速率高, 水深又大多普遍处在碳酸盐补偿深度(CCD)以上, 是通过高分辨率地层学研究边缘海暖池区对冰期旋回反应的理想场所。近年来我国和一些国外学者对南沙海区的调查研究, 为盛冰期时古气候再造提供了宝贵材料。本文拟在现有资料的基础上, 从南沙海区表层水温入手, 对上述热带冰期古气候之争做一探索, 希望能对解决存在的矛盾有所帮助。

## 2 盛冰期的古温度

南海的古温度估算始自北部陆坡<sup>[9]</sup>。根据浮游有孔虫定量统计的数据, 用古生态转换函数求取冬、夏古温度, 发现南海北部盛冰期与现代的表层水温差, 冬季达 5~7°C, 夏季为 1.5~3.5°C 左右, 而同纬度太平洋区冰期冬季水温下降不过 3°C, 夏季少于 2°C, 边缘海的“放大效应”至为明显<sup>[10, 11]</sup>。继北部之后, 南海南部也有采用同一转换函数 FP12-E<sup>[12]</sup> 计算的古温度再造发表<sup>[3, 13, 14]</sup>, 并得出相似的结论。同时, 中

中国科学院南沙综合考察队对于南沙附近水域沉积层中多种门类化石和各种地球化学指标进行分析,探讨了晚第四纪古环境变迁<sup>[15,16]</sup>。现在已经有条件根据已有转换函数古温度数据或浮游有孔虫氧同位素测定的18个沉积柱状样(表1),对南沙海区的冰期古气候进行归纳。

表1 南沙海区柱状样站位与古温度资料类型表

站号	站位	水深/m	古温度资料类型			资料来源
			转换函数	氧同位素	有孔虫	
RC12-350	6°33' N, 111°13' E	1950	+			[13]
SCS12	7°42' N, 109°18' E	543	+			本文
NS86-43	7°02' N, 110°24' E	1763	+			[14]
NS88-11	9°56' N, 115°37' E	880	+			[14]
GGC-11	11°53' N, 118°20' E	2165	+			[17]
GGC-13	10°36' N, 118°17' E	990	+			[17]
GGC-9	11°38' N, 118°38' E	1465	+			[17]
SCS15A	10°25' N, 114°14' E	1812		+		[18]
SCS15B	10°19' N, 114°11' E	1500		+		[19]
V35-5	7°11' N, 112°05' E	1253			+	[20]
17962	7°11' N, 112°05' E	1969			+	本文
SO27 91KL	8°33' N, 115°42' E	2060		+		[21]
SO49 136KL	5°58' N, 114°42' E	650		+		[21]
SO49 137KL	5°56' N, 114°48' E	220		+		[21]
SO58 109KL	6°13' N, 114°04' E	2792		+		[21]
SO58 110KL	6°11' N, 114°06' E	2238		+		[21]
SO58 114KL	6°06' N, 114°14' E	1929		+		[21]
SO58 133KL	6°39' N, 114°43' E	2163		+		[21]

## 2.1 转换函数古温度

目前南沙海区至少已从7个柱状样取得了转换函数古温度数据,结果如表2和图2a~e所示。盛冰期时,南沙水域夏季表层水温将近28℃,具体数值在25.6~28.6℃之间(图2b),与CLIMAP的推测(当时南海并无站位)26~28℃十分接近,与西太平洋同纬度开放海区(略高于28℃)也相当近似<sup>[4]</sup>;而盛冰期的冬季水温在南沙海区为20.5~23.0℃,大多在22℃上下(图2a),比同纬度西太平洋开放水域(>26℃)低4℃以上<sup>[8,22,23]</sup>。冬季的显著降温导致季节性的增强,南沙海区盛冰期的冬、夏温差达3.6~7.4℃,一般在6℃上下(图2e)。盛冰期与全新世相比,冬季表层水温低3.3~7.3℃,差异十分明显(图2c),而夏季只差0.9~1.8℃(图2d),往往在转换函数古温度测算法的误差范围之内。由于转换函数法本身的误差等种种原因,上述

数值并不确切，但冰期旋回中南沙海区冬季温度变化强烈而夏季温度变化微弱，冰期时季节性大为加强等总趋势是毋庸置疑的。

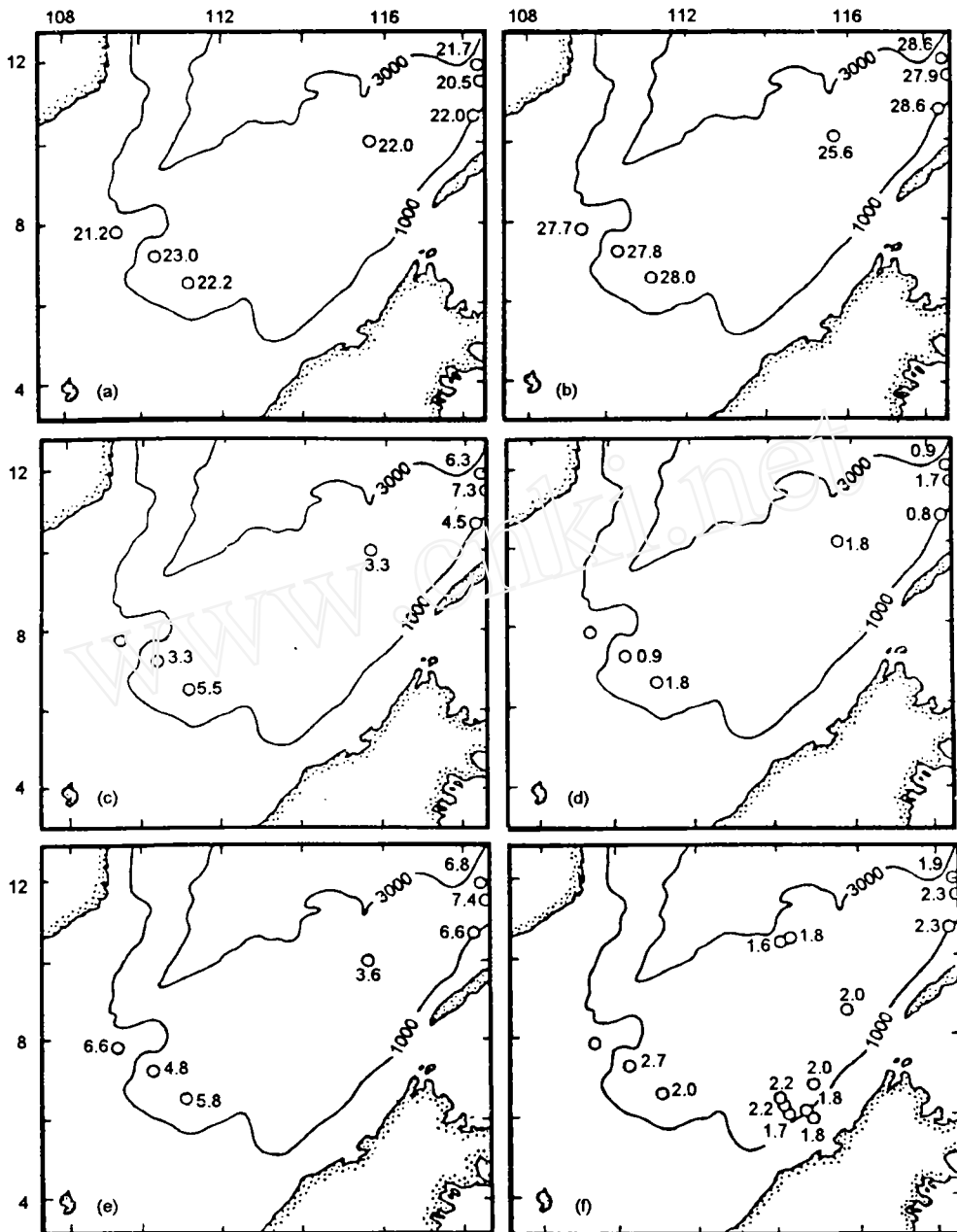


图2 南沙海区盛冰期表层海水古温度(℃)及其与全新世的比较

- (a) 盛冰期冬季温度 (b) 盛冰期夏季温度 (c) 盛冰期与全新世冬季温差 (d) 盛冰期与全新世夏季温差
- (e) 盛冰期季节性(冬夏温差) (f) 盛冰期与全新世浮游有孔虫(浅层水种)的 $\delta^{18}O$ 差值

表2 南沙海区盛冰期与全新世表层水温和  $\delta^{18}\text{O}$  的差值\*

站号	表层水温 / $^{\circ}\text{C}$									$\delta^{18}\text{O} / \text{‰}$ , PDB	
	盛冰期			全新世最佳期			盛冰期与全新世差值				盛冰期与全新世差值
	冬	夏	季节差	冬	夏	季节差	冬	夏	季节差		
RC12-350	22.2	28.0	5.8	27.7	29.8	2.1	5.5	1.8	3.7	2.0	
SCS12	21.1	27.7	6.6	27.2	29.5	2.3	6.1	1.8	4.3		
NS86-43	23.0	27.8	4.8	26.3	28.7	2.4	3.3	0.9	2.4	2.7	
NS88-11	22.0	25.6	3.6	25.3	27.4	2.1	3.3	1.8	1.5		
GGC-9	20.5	27.9	7.4	27.8	29.6	1.8	7.3	1.7	5.6	2.3	
GGC-11	21.7	28.6	6.8	28.0	29.5	1.5	6.3	0.9	5.3	1.9	
GGC-13	22.0	28.6	6.6	26.5	29.4	2.9	4.5	0.8	3.6	2.3	
SCS15A										1.8	
SCS15B										1.6	
SO27-91KL										2.0	
SO49-136KL										1.8	
SO49-137KL										1.8	
SO58-109KL										2.2	
SO58-110KL										2.2	
SO58-114KL										1.7	
SO58-133KL										2.0	

\* 表层水温用浮游有孔虫数据经 FP12-E 转换函数处理求得, 氧同位素值系浮游有孔虫浅层水种壳体测定结果

其实, 浮游有孔虫的单个数量比值, 也同样说明温度, 尤其是季节温度的变化。已经证明 *Pulleniatina obliquiloculata* 是一个冬季发育的暖水种<sup>1)</sup>, 该种在南沙海区的冰期沉积中含量低微, 进入全新世后急剧增多, 这在 V35-5 柱状样<sup>[20]</sup> 和同一地点的 17962 柱状样 (见表 1) 中表现得十分清楚, 反映出冬季水温由冰期到冰后期的强烈变化。

## 2.2 同位素古温度

南沙海区至少 14 个站位有浮游有孔虫稳定同位素数据, 图 2f 所示是浅层水种浮游有孔虫 (*Globigerinoides sacculifer* 一类) 氧同位素值在盛冰期与全新世之间的差值, 除一站 (1.6 ‰) 外均在 1.8 ‰ ~ 2.7 ‰ 之间, 大多在 2.0 ‰ 左右。浮游有孔虫的氧同位素取决于全球冰盖大小, 当地表层水温和盐度诸因素。盛冰期时冰盖大增, 世界大洋海水  $\delta^{18}\text{O}$  比现代应重 1.26 ‰<sup>[24]</sup>, 开放性大洋热带水域冰期时水温变化不大, 冰期 / 冰后期的浮游有孔虫  $\delta^{18}\text{O}$  差值也正在 1.0 ‰ ~ 1.5 ‰ 之间<sup>2)</sup>。然而南沙海区的  $\delta^{18}\text{O}$  差值多了

1) Li B, Jian Z, Wang P. *Pulleniatina obliquiloculata* as paleoceanographic indicator in the southern Okinawa Trough during the last 20000 years. 1995

2) Broecker W S. The Glacial World According to Wally. 29 ~ 36

$2.0 - 1.26 = 0.74\%$ 左右。如果这多余的  $\delta^{18}\text{O}$  差值(可称为“剩余  $\delta^{18}\text{O}$  差”)全由表层水降温造成,便可以相当盛冰期与全新世有将近  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  的温差,与转换函数测算结果并无矛盾。

### 3 冰期热带海区的气候问题

南沙海区盛冰期的古温度资料,为探讨前述热带海区古气候解释中的矛盾问题提供了新的线索。

年平均水温  $>28\text{ }^{\circ}\text{C}$  属于西太平洋暖池的南海南部,盛冰期时浅水区(“亚洲大浅滩”)出露成陆,深水区即南沙海区冬季水温大幅度下降,说明暖池中部西太平洋边缘海区在盛冰期时气候条件有过急剧变化,决不能说成冰期旋回中变化不大。Thunell 等<sup>[3]</sup>利用“现代类比法(MAT)”处理浮游有孔虫数据测算古温度年平均值,发现在  $20^{\circ}\text{N} \sim 20^{\circ}\text{S}$  的低纬区冰期与全新世温差不超过  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,向中纬度区递增至  $2.7 \sim 5.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (图3)。将南沙取得的转换函数冬、夏表层水温的盛冰期/全新世差值投于图上,可见仅夏季温差在  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$  以下,冬季温差则远超过中纬度的数值(见图3)。西太平洋海区属于东亚季风盛行区,气候的季节性差别是季风区的根本特色,笼统地采用年平均温度讨论季风发育区的气候演变,难免会遗漏关键性特征。十分明显,在这种“年平均温度”基础上做出的西太平洋暖池在冰期旋回中变化不大的推论,至少对其中的边缘海区是不适用的。

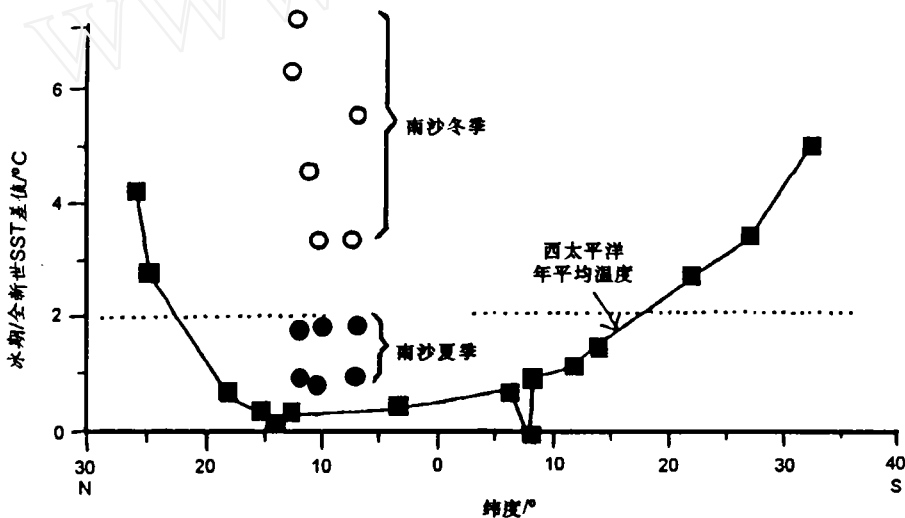


图3 南沙海区与西太平洋冰期/全新世表层水温(SST)差值的比较

黑方块表示西太平洋开放海区站位,黑圆点为南沙海区夏季温度,白圈为冬季温度。太平洋区据[3]图

盛冰期季节性温差的增大,十分可能是冰期时东亚冬季风强化的反映。冬季风带来的南下冷空气,使低纬海区水面温度下降,从而使季节性温差加大。这种季节性温差的效应,在封闭或半封闭的边缘海最为明显。同时,冬季风强化的假设,也为解决上述

热带海区冰期时海陆气候记录的矛盾揭示了新的途径。爪哇、苏门答腊及新几内亚,都是南海等边缘海附近的岛屿,其气候演变应当受边缘海海面温度的影响。冰期时虽然西太平洋开放海面温度变化不大,但南沙海区等边缘海冬季水温骤降,冬季风将北方冷空气和南海低温的影响一起送到印度尼西亚诸岛,势必造成山地植被带的下移<sup>[6]</sup>。另一方面,对于南海以南诸岛直到新几内亚和澳大利亚北部,北半球冬季风正是其降水的主要来源<sup>[2]</sup>,北风将南海等海域的水汽输送到山坡而产生北半球冬季的降水。冰期时东亚冬季风强化,为新几内亚的水汽增加来源,水汽与降温相结合,十分可能导致高山雪线的下降<sup>[3]</sup>。

总之,从季风气候和季节性温差的角度分析南沙海区的盛冰期气候变化,可以为理解东南亚的环境演变提供新的线索。

## 4 结语

(1) 南沙海区现有分析资料表明,盛冰期表层水温冬季在 22℃ 左右,夏季将近 28℃,季节性温差约 6℃。与全新世相比,夏季温差 (0.9 ~ 1.8℃) 基本上在转换函数古温度测算的误差范围以内,但冬季温差强烈 (3.3 ~ 7.3℃),远远超过同纬度区西太平洋开放水域的数值 (<2℃)。

(2) 南沙海区属于西太平洋暖池区,盛冰期冬季水温的大幅下降和浅海区的大面积出露,必然严重影响当时暖池区的水热平衡,进而导致全球气候的变化,其具体后果有待进一步查明。

(3) 南沙海区盛冰期冬季表层水温的强烈降低,应与亚洲冬季风强化有关,冬季风加强还可以导致南海以南诸岛屿山地降雪,和降温效应一起使岛屿山地雪线下降,植被带下移。这种机制可能为热带海区冰期时西太平洋海面水温居高不下,岛屿山地却出现明显降温的矛盾提供了一种新的解释。

## 参 考 文 献

- 1 Yan Xiaohai, Ho Chungru, Zheng Quanan *et al.* Temperature and size variabilities of the Western Pacific Warm Pool. *Science*, 1992, **258**: 1643 ~ 1645
- 2 Yan Xiaohai, Klemas V, Chen Dake. The Western Pacific Warm Pool observed from Space. *Eos*, 1992, **73**: 41, 44
- 3 Thunell R, Anderson D, Gellar D *et al.* Sea-surface temperature estimates for the tropical Western Pacific during the last glaciation and their implications for the Pacific Warm Pool. *Quaternary Research*, 1994, **41**: 255 ~ 264
- 4 CLIMAP Project Members. The surface of the ice age Earth. *Science*, 1976, **191**: 1131 ~ 1137
- 5 Webster P J, Stretten N A. Late Quaternary ice age climates of tropical Australasia: Interpretations and reconstructions. *Quaternary Research*, 1978, **10**: 279 ~ 309
- 6 Stuijts I, Newsome J C, Flenley J R. Evidence for late Quaternary vegetational change in the Sumatran and Javan highlands. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 1988, **55**: 207 ~ 216
- 7 Anderson D M, Webb R S. Ice-age tropics revisited. *Nature*, 1994, **367**: 23 ~ 24
- 8 汪品先. 西太平洋边缘海对我国冰期干旱化影响的初步探讨. *第四纪研究*, 1995, (1): 32 ~ 42
- 9 汪品先, 闵秋宝, 卞云华等. 十三万年来南海北部陆坡的浮游有孔虫及其古海洋学意义. *地质学报*, 1986, **60**(3): 215 ~ 225

- 10 王律江, 汪品先. 用转换函数法推算南海古温度的尝试. *科学通报*, 1988, (5): 371 ~ 373
- 11 Wang Luejiang, Wang Pinxian. Late Quaternary paleoceanography of the South China Sea: Glacial-interglacial contrasts in an enclosed basin. *Paleoceanography*, 1990, 5: 77 ~ 90
- 12 Thompson P. Planktonic foraminifera in the western North Pacific during the past 150 000 years: Comparison of modern and fossil assemblages. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1981, 35: 241 ~ 279
- 13 翦知聿. 南海南部陆坡末次冰期以来的古水温及其与北部陆坡的比较. 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. 78 ~ 87
- 14 李两全, 涂震, 罗又郎等. 南海晚第四纪浮游有孔虫类群变化所表征的古海洋学特征. *热带海洋*, 1992, 11 (2): 62 ~ 69
- 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(一), 下卷. 北京: 科学出版社, 1989. 443 ~ 629
- 16 Multidisciplinary Oceanographic Expedition Team of Academia Sinica to the Nansha Islands. Quaternary Biological Groups of the Nansha Islands and the Neighbouring Waters. Guangzhou: Zhongshan University Publishing House, 1991. 1 ~ 552
- 17 Miao Q, Thunell R C, Anderson D M. Glacial-Holocene carbonate dissolution and sea surface temperatures in the South China and Sulu Seas. *Paleoceanography*, 1994, 9: 269 ~ 290
- 18 Wang Chung-Ho, Chen M-P, Lo S-C *et al.* Stable isotope records of late Pleistocene sediments from the South China Sea. *Bulletin of Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taipei*, 1986, 6: 185 ~ 195
- 19 Wang Chung-Ho, Chen Min-Pen. Upper Pleistocene oxygen and carbon isotopic changes of core SCS-15B at the South China Sea. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 1990, 4: 243 ~ 246
- 20 Broecker W S *et al.* New evidence from the South China Sea for an abrupt termination of the last glacial period. *Nature*, 1988, 333: 156 ~ 158
- 21 Schönfield J, Kadras H-R. Hemipelagic sediment accumulation rates in the South China Sea related to late Quaternary sea-level changes. *Quaternary Research*, 1993, 40: 368 ~ 379
- 22 汪品先. 西太平洋边缘海末次冰期古海洋学的比较研究. 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. 308 ~ 321
- 23 Wang Pinxian, Wang L, Bian Y *et al.* Late Quaternary paleoceanography of the South China Sea: Surface circulation and carbonate cycles. *Marine Geology*, 1995, 127: 145 ~ 165
- 24 Fairbanks R G. A 17 000-year glacio-eustatic sea level records: Influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation. *Nature*, 1989, 342: 637 ~ 642
- 25 李克让. 中国近海及西北太平洋气候. 北京: 海洋出版社, 1993. 537 ~ 663

## THE LAST GLACIAL MAXIMUM CLIMATE PROBLEM IN THE SEA AREA OF THE NANSHA ISLANDS, SOUTH CHINA SEA

Wang Pinxian    Jian Zhimin    Liu Zhiwei  
(Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092)

### Abstract

The sea area of the Nansha Islands, southern South China Sea (SCS), is located within the Western Pacific Warm Pool. Its sea surface temperature (SST) variations at the last glacial maximum (LGM) are of global significance because of the stability of



the warm pool in the glacial cycles. Judging from outcomes of oxygen-isotope and micropaleontological analyses from over ten cores, the present paper shows that the winter SST at the LGM in the Nansha Islands sea area was about 22 °C and the summer SST was about 28 °C, resulting in a seasonality as high as 6 °C. Thus, the glacial / postglacial difference in summer SST (0.9 ~ 1.8 °C) there is within the range of standard errors for the paleo-SST estimations using Transfer Function, whereas the difference in winter SST (3.3 ~ 7.3 °C) is much higher than in the open Western Pacific at the same latitudes.

The strengthened seasonality in the Nansha area at the LGM can be ascribed to intensified winter monsoon circulation. This also provides a new explanation for the apparent contradiction between the warm SST and cool mountain temperature of the islands in the tropics at the LGM. There had long been a discrepancy between marine and terrestrial indicators of tropical climate: the SST estimations for the LGM derived by CLIMAP and recent work<sup>[3]</sup> have indicated a cooling of less than 2 °C in the tropical Western Pacific, whilst terrestrial evidences have shown that in New Guinea snow line at the LGM was by 1 000 ~ 1 500 m lower than it is now and the vegetation zones in Sumatra and Java shifted by some five hundreds meter downslope, suggesting a 6 to 8 °C decrease in the tropical highlands. As shown by the present study, there was a significant difference in response to glacial cycles between marginal seas and open ocean. The intensified winter monsoon at the LGM might bring more snow fall in the islands to the south of the SCS and, together with the decreased SST, lower the snow line and vegetation zones in the highlands there.

In sum, the remarkable decrease of SST in the Nansha area and its reduction in sea area due to the emergence of extensive shelf must have profoundly influenced the thermodynamic balance in the Western Pacific Warm Pool at the LGM, and further studies are needed to reveal the climate consequences.

**Key words** Nansha Islands area, sea surface temperature, last glacial maximum, winter monsoon