

末次冰期南海表层环流的数值模拟 及其验证*

汪品先

李荣凤

(同济大学海洋地质开放实验室, 上海 200092) (LASG, 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

关键词 古洋流 古温度 数值模拟 南海

边缘海在冰期旋回的环境变迁中, 可以产生“放大效应”。如南海北部的冬季表层水温, 间冰期可比冰期高 $6\sim 9\text{ }^{\circ}\text{C}$, 远远超出太平洋同纬度区的温差^[1,2]。我们曾经推测: 南海这种“放大效应”, 应与冰期时表层环流的根本改组有关^[3,4], 但这种推测有待论证。数值模拟就是可以采用的一种方法。

大洋环流模式(OGCM)不仅是通过数值模拟认识现代洋流系统的基本方法, 也是研究边界条件变化引起洋流改组的有效手段, 对于古洋流再造和变化趋势预测都有重要价值。南海北、西、南三侧水浅, 盛冰期海面下降 $100\sim 120\text{ m}$ 时, 几乎只剩东北角的巴士海峡与大洋联通, 成为半封闭的海湾; 而现代南海在季风驱动下穿越盆地的双向海流, 也当为半封闭式的环流取代^[3,4]。为定量地考察这种变化, 我们采取了用于现代南海环流的模型^[5], 对冰期时南海的冬季(1月份)和夏季(7月份)表层环流进行模拟。

为此, 先在 $98.75^{\circ}\sim 122.25^{\circ}\text{ E}$, $0.25^{\circ}\sim 30.25^{\circ}\text{ N}$ 范围内, 取现代南海水深下降 110 m , 以每半个经、纬度为单位的格点资料作出盛冰期的水深及海区轮廓图。全球大气环流的模拟结果表明^[6], 南海地区冰期(18 ka)与现代的风向大体一致, 而冰期南海风应力变化又缺乏资料, 我们在模拟时采用现代风场进行计算。冰期时南海通过巴士海峡与太平洋水的交换量, 也因缺乏资料而暂时假定表层水的流出量与流入量相当。后面将要说明, 即使上述假定条件有所变化时, 所得环流的流向格局不变。数值模拟的结果如图 1 所示。

模拟表明: 冰期最盛时南海表层水流在冬季出现逆时针方向的环流(图 1(a)); 夏季大体为顺时针环流, 但局部有反方向流, 图景较为复杂(图 2(b))。所得基本格局, 与我们原来的推测一致^[3,4]。为检验模拟结果的可靠性, 进行了不同条件下的多次计算。当用同样方法对整个西太平洋海区作冰期表层环流时, 所得南海部分的环流与上述单独模拟南海的结果十分一致; 当采用不同风场数据进行模拟时, 只要冬、夏季风的格局不变, 所得表层环流也保持上述模拟的格局不变。可见模拟的结果具有充分的代表性。

然而, 对古环流模拟进行真正的检验, 还需要用独立的数据系统, 通常采用的就是古温度场。根据浮游有孔虫定量分析结果, 用古生态转换函数法提取的冬、夏古温度, 是方法上比较成熟的海洋古环境参数^[1]。在南海, 我们分析或收集了不同部位共计 10 个站位的沉积柱状样分析结果(表 1), 一律用 Thompson 为西太平洋建立的 EP-12E 转换函数^[7]测算古温度, 求出了

1994-03-29 收稿, 1994-07-25 收修改稿

* 国家自然科学基金及 LASG 国家重点实验室资助项目

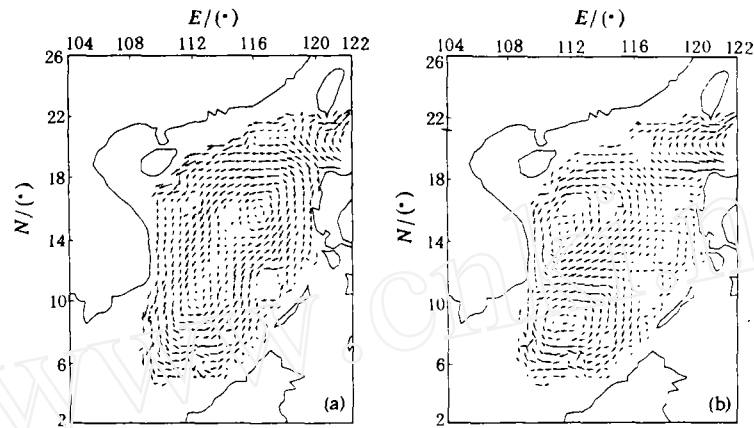


图1 末次冰期南海表层海流的数值模拟

(a) 冬季(1月份); (b) 夏季(7月份)

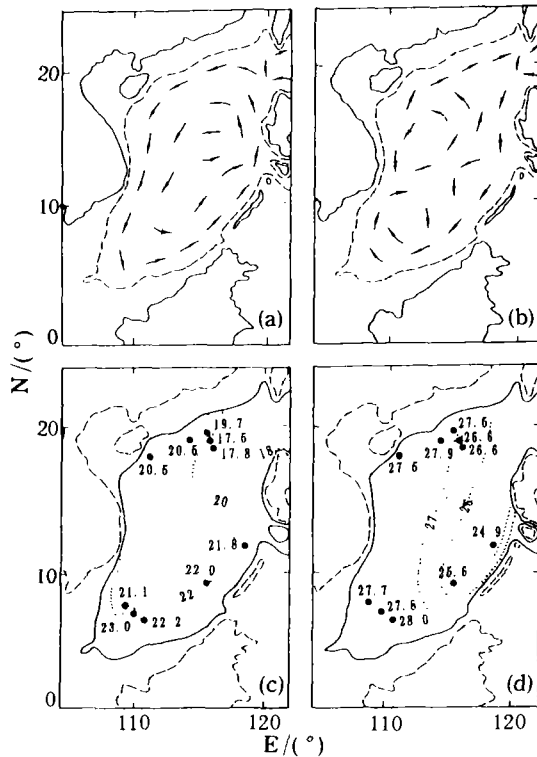


图2 末次冰期南海表层环流与温度场对比图

表层环流: (a) 冬季, (b) 夏季, 均根据数值模拟结果简化而得; 表层温度: (c) 冬季, (d) 夏季, 均根据浮游有孔虫数据用古生态转换函数法求得

取南部 10°N 以南 4 个站和北站 18°N 以北 5 个站计算平均值, 则南北相差只有 0.1℃; 而最东 (GGC-11 站, 24.9℃) 与最西 (SCS12, 27.7℃) 两站之间相差 2.8℃. (图 2(d)). 与 EF-12E 转换函数所得温度的标准差 (冬季 1.46℃, 夏季 2.48℃)^[8] 相比, 上述冰期时南海冬季南北温

南海末次冰期最盛时 (距今约 18~20 ka) 的冬、夏表层水温度场 (图 2). 虽然 10 个站位的数据来自 8 位 (组) 作者的分析结果, 但图 2 所示的温度分布趋势相当协调, 说明方法的合理性.

末次冰期时北太平洋极锋南移, 使极地/亚极地水的影响范围比现代向南推进 10 个纬度^[8]; 据此推论, 现代处于 25~35°N 的温带水团, 在冰期时也可南移至 20°N 左右, 到达巴士海峡的纬度^[3]. 因此, 通过巴士海峡进入南海的太平洋水温度较低^[4,9]. 冬季, 这种较低温水随南海逆时针方向的表层环流先向西行 (图 2(a)), 应当使南海北部水温较低; 夏季, 南海表层环流顺时针运行 (图 2(b)), 较低温的来水先向南行, 应当使东部水温较低. 根据浮游有孔虫资料重建的古温度场, 证实了这种格局. 冰期南海的冬季表层水温从珠江口外 (V36-6 部) 的 17.5℃ 增至南海西南角 (NS 86-43 站) 的 23.0℃, 南北相差 5.5℃; 而东西两侧相差不大, 在北部不过 3℃, 南部只有 1℃ 许 (图 2(c)). 相反, 夏季南北之间温差不明显, 如果分别

表1 南海冰期表层水温度场再造所依据的10个沉积柱状样

柱状样	位置	水深/cm	柱长/cm	数据来源
V36-3	19° 01'N, 116° 06'E	2809	1215	Wang and Wang, 1990 ^[3]
V36-6	19° 47'N, 115° 49'E	1579	1263	冯文科等, 1988 ^[10]
V36-8	20° 03'N, 115° 43'E	1304	1207	Samodai <i>et al.</i> , 1986 ^[10]
SO49-8KL	19° 11'N, 114° 12'E	1040	955	Wang and Wang, 1990 ^[3]
N204	18° 13'N, 110° 56'E	180	440	高良等, 1992 ^[11]
GGC-11	11° 53'N, 118° 20'E	2165	145	Thurnell <i>et al.</i> , 1992 ^[8]
NS88-11	9° 56'N, 115° 37'E	880	433	李两全等, 1992 ^[12]
RC12-350	6° 33'N, 111° 13'E	1950	1129	葛知滔, 1992 ^[13]
NS86-43	7° 02'N, 110° 24'E	1763	300	李两全等, 1992 ^[12]
SCS12	7° 42'N, 109° 18'E	543	120	新资料

差和夏季的东西温差均在标准差值以上, 而冬季东西向和夏季南北向的温差却在误差范围以内或接近其范围, 说明古温度场的趋势与环流的模拟结果一致。

总之, 数值模拟证明了冰期南海表层环流与间冰期根本不同, 而古温度再造证实了模拟的结果。南海冰期环流的认识, 为理解边缘海在环境演变中的特殊性及其对相邻陆地的影响, 提供了重要依据。

致谢 LASG的郭冬建、同济大学闵秋宝、黄维都为本文的资料和计算工作作出重要贡献, 吴梅英、刘志伟为本文清绘和整理图件, 在此一并致谢。

参 考 文 献

- 1 王津江, 汪品先. 用转换函数法推算南海古温度的尝试. 科学通报, 1988, 33(8): 371~373
- 2 汪品先. 冰期时的中国海——研究现状与问题. 第四纪研究, 1990, (2): 111~124
- 3 Wang Lue-jiang, Wang Pin-xian. Late Quaternary paleoceanography of the South China Sea: glacial-interglacial contrasts in an enclosed basin. *Paleoceanography*, 1990, 5: 77~90
- 4 汪品先, 王津江. 末次冰期时南海的表层海流与古水温. 见南海晚第四纪古海洋学研究. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 1992. 56~65
- 5 Li Rong-feng, Zeng Qing-cun, Ji Zhong-zhen *et al.* Numerical simulation for an ortheastward flowing current from area off the Easetrn Hainan Island to Tsugaru/Soya Strait. *Lamer*, 1992, 30: 229~238
- 6 Kutzbach J E, Guetter P J. The influence of changing orbital parameters and surface boundary conditions on climate simulations for the past 18 000 years. *Journal of Atmospheric Sciences*, 1986, 43: 1726~1759
- 7 Thompson P R. Planktonic foraminifera in the western North Pacific during the past 150,000 years: comparison of modern and fossil assemblages. *Palaeogeography, Palaeo climatology, Palaeo ecology*, 1981, 35: 241~279
- 8 Thunell R C. Glacial-Holocene biogenic sedimentation patterns in the South China Sea: productivity variations and surface water pCO₂. *Paleoceanography*, 1992, 7: 143~162
- 9 汪品先. 西太平洋边缘海末次冰期古海洋学的比较研究. 见: 南海晚第四纪古海洋学研究. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 1992. 314
- 10 Samodai E J, Thompson P, *Chen Chin.* Foraminiferal analysis of South China Sea core V36-08 with paleoenvironment implications. *Proceedings of the Geological Society of China, Taipei*, 1986, 29: 128
- 11 高良, 阎军, 薛胜吉. 南海西北陆架晚第四纪古海洋学研究. 见: 南海晚第四纪古海洋学研究. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 1992. 100
- 12 李两全. 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
- 13 葛知滔. 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: 南海晚第四纪古海洋学研究. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 1992. 83