

文章编号 1001 - 7410(2008)03 - 399 - 08

南海西部晚更新世以来表层海水 剩余氧同位素及盐度变化*

李 丽 王 慧 李建如 赵美训 汪品先

(同济大学海洋地质国家重点实验室, 上海 200092)

摘要 根据南海西部越南岸外 MD05 - 2901 岩芯成对的有孔虫壳体氧同位素和 $U_{37}^k - SST$ 计算出过去 450ka 以来南海西部表层海水氧同位素 $^{18}O_{\text{water}}$ 和盐度 S_{water} 变化记录, 二者的变化范围在冰期分别为 $0.2\text{‰} \sim 0.6\text{‰}$ 和 $34.2\text{‰} \sim 35.1\text{‰}$, 间冰期分别为 $-0.6\text{‰} \sim 0$ 和 $32.4\text{‰} \sim 33.7\text{‰}$, 表现为冰期高、间冰期低的特征。相反扣除冰盖影响后的剩余氧同位素 $^{18}O_{\text{resid}}$ 和剩余盐度 S_{resid} , 呈现冰期低、间冰期高的特征, 在冰期分别平均为 -0.5‰ 和 32.7‰ , 间冰期分别平均为 -0.3‰ 和 33.1‰ 。研究认为该现象主要与赤道太平洋海域冰期纵向的 ITCZ 平均位置偏南导致的降雨增加有关, 同时冰期温度低蒸发弱, 间冰期温度高蒸发强以及冰期海平面下降, 南海地理格局的改变、河流输入增多等因素也有一定影响。

主题词 南海 表层海水氧同位素 表层海水盐度 表层海水剩余氧同位素 表层海水剩余盐度

中图分类号 P534.631, P736.4 **文献标识码** A

1 前言

海水盐度是海水最重要的理化特性之一, 是现代海洋观测、测量中的一项重要内容。盐度的分布变化是影响和制约其他水文要素分布和变化的重要因素, 对现代气候有重要影响。为更好地了解地质历史时期的海洋环境状态, 海洋古盐度变化史重建是其中的关键内容之一。但与海水温度相比, 还没有很好的参数指示海洋盐度变化。根据生物对盐度的响应, 从生物组合变化中定性提取古盐度信息是一种解决办法, 对于一些窄盐种和盐度梯度变化大的区域该方法可以获得满意的结果。而一般生物生长主要受营养盐和温度的控制, 盐度影响因素次之, 因此从生物组合中重建古盐度有一定局限性。随着现代分析手段的发展, 可以从有孔虫壳体的 ^{18}O 记录中提取古盐度变化信息。浮游有孔虫壳体的 ^{18}O 与其生活期间海水的 $^{18}O_{\text{water}}$ 和温度密切相关, 利用转换函数、长链烯酮不饱和度以及有孔虫壳体的 Mg/Ca 比值可以定量恢复地质历史时期表层水温度, 从而求得海水的 $^{18}O_{\text{water}}$ 。同时现代海水的氧同位素组成与海水盐度线性相关^[1~3]。最终我们可以

根据有孔虫壳体的 ^{18}O 恢复古盐度变化。近几年已经有不少学者据此讨论冰期、间冰期尺度当地海水组成的变化, 进而讨论过去气候的变迁^[4~7]。

由于第四纪以来冰盖发育, 特别是冰期时全球气温大幅度下降, 海平面下降, 两极冰盖大面积扩展, 而冰盖中主要聚集轻同位素导致冰期海水同位素和海水盐度正偏移, 排除冰期海平面、冰盖变化造成的影响后的剩余氧同位素 ($^{18}O_{\text{resid}}$) 或剩余盐度 (S_{resid}), 主要反映了冰期 - 间冰期气候变化的大背景状态下, 区域气候的影响, 如大气降水, 河流输入, 海面蒸发等^[2,4,8~11]。

南海是西太平洋海域最大的边缘海, 近年来已经成为古海洋学研究的国际热点。以往对南海的古气候古环境研究以有孔虫古生态、古温度重建以及古生产力^[12~15]居多, 对其盐度变化研究较少^[4,8,11]。本文对南海西部越南岸外 MD05 - 2901 孔深海样品进行了长时间序列分析, 根据 450ka 以来的浮游有孔虫 *Globigerinoides nuber* 的壳体氧同位素和表层水温 ($U_{37}^k - SST$), 计算出海水同位素 ($^{18}O_{\text{water}}$) 和海水盐度 (S_{water}), 并进一步计算出排除冰盖影响后剩余

第一作者简介: 李 丽 女 34 岁 副教授 海洋生物地球化学专业 E-mail: lilitju@mail.tongji.edu.cn

*国家自然科学基金项目 (批准号: 40403012)、同济大学青年优秀人才培养行动基金项目 (批准号: 2006KJ055)、国家重点基础研究发展规划项目 (批准号: 2007CB815904) 和国家自然科学基金创新研究群体科学基金项目 (批准号: 40621063) 资助

2008 - 02 - 15 收稿, 2008 - 03 - 18 收修改稿

海水同位素 ($^{18}\text{O}_{\text{resid}}$) 和剩余盐度 (S_{resid}), 探讨了冰期 - 间冰期旋回区域气候变化对海水氧同位素和盐度的影响。

2 研究材料与方法

本次研究样品取自 2005 年中法合作 Marco Polb 航次, MD05 - 2901 (14°22.50'N, 110°44.60'E) 站位 (图 1), 该站位水深 1454m, 柱长 3649cm (其中 1369 ~ 1433cm 段在采样过程中有损, 未在此段取样)。

根据有孔虫 *G. nuber* 的氧同位素结果, 参考 Shackleton^[17] 氧同位素曲线, 并结合浮游有孔虫 *G. nuber* (pink) 的初现面 (125ka) 和末现面 (407ka) 的绝对年龄, 确定了本次样品的年龄框架, 结果显示 MD05 - 2901 岩芯底部为氧同位素 12 期, 年龄为 447ka。本次研究以 8cm 间隔取样, 样品分辨率约 1ka。详细的有孔虫氧同位素方法及年龄模式确定请参考文献 [18]; U_{57}^k - SST 测定方法请参考文献 [19]。

有孔虫氧同位素方法如下: 收集样品中粒径 $>0.063\text{mm}$ 的组分并挑选 *G. nuber*, 在配有碳酸盐自动制备装置 (Kiel) 的 MAT252 稳定同位素质谱仪 (Finnigan, Thermo Electron) 测定其氧同位

素, 仪器监测的标准偏差为: 0.07‰ 。

U_{57}^k - SST 测定方法如下: 称取 2g 冷冻干燥后样品并加入一定量的有机物内标, 用 CH_2Cl_2 - CH_3OH (3:1, V/V) 超声抽提, 得到总的可萃取有机质, 浓缩后加入 6% KOH 的甲醇溶液水解后, 然后用 *n*-hexane 萃取非酸类物质; 并用硅胶柱层析分离出烷烃和醇类组分, 长链不饱和酮存在于醇类组分中, 将该组分用 BSTFA 衍生化后 (70°C, 2 小时), 进行气相色谱分析。

气相色谱分析条件: 配有 HP-1 毛细色谱柱 (50m \times 0.32mm \times 0.17 μm , J&W) 和氢火焰离子检测器的 Trace GC 2000 气相色谱仪上完成, 进样口和检测器温度均为 300°C, 不分流方式进样, 氦气为载气, 流速 1.2ml/分钟, 升温程序: 初始温度为 60°C, 保持 1 分钟, 先以 20°C/分钟升温至 200°C 后, 再以 5°C/分钟升温至 270°C, 然后以 1.3°C/分钟升温至 300°C 保持 18 分钟, 最后以 5°C/分钟升温至 310°C 保持 5 分钟。部分样品采用 GC/MS 分析鉴定长链不饱和酮的出峰时间, 并确定不存在共溢出现象 (GC 条件同上, 质谱条件: 离子源: EI 源。离子源温度: 200°C, 发射电子能量: 70eV, 扫描范围: m/z 50 ~ 650 amu, 接口温度: 300°C)。

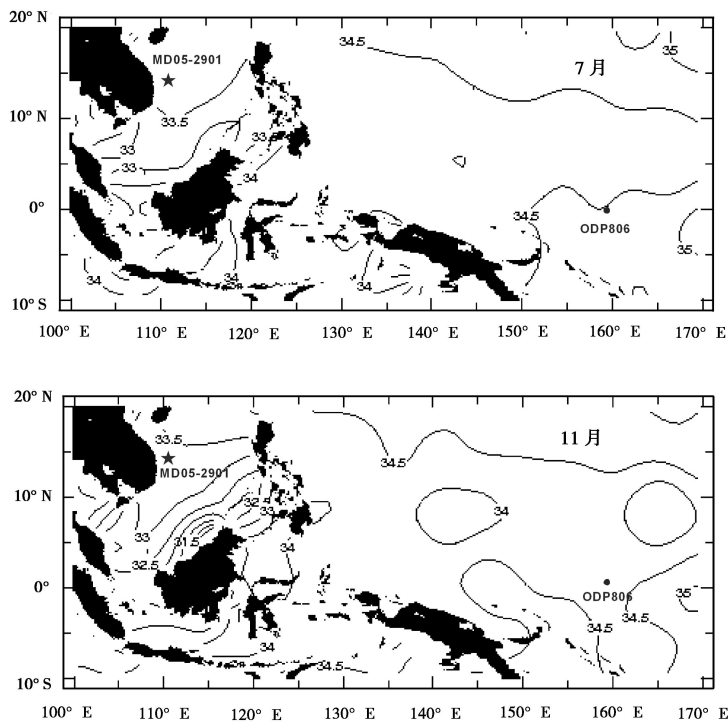


图 1 热带西太平洋区域 7 月与 11 月表层海水月均盐度分布图^[16]及 MD05 - 2901, ODP806 站位图

Fig. 1 July and November monthly mean sea surface salinity map of tropical Western Pacific and location of MD05 - 2901 and ODP 806

3 结果

3.1 MD05 - 2901 浮游有孔虫氧同位素及 U_{37}^k - SST 温度结果

MD05 - 2901 浮游有孔虫氧同位素测定结果显示过去约 450ka 的冰期 - 间冰期旋回中浮游有孔虫 *G. nuber* ^{18}O 在冰期平均为 -1.7‰ , 间冰期平均为 -2.5‰ , 冰期 - 间冰期变化幅度为 1.8‰ (图 2a), U_{37}^k - SST 温度变化同样显示明显的冰期 - 间冰期旋回特征, 表层海水温度变化范围在间冰期为 $25 \sim 28$, 最高值出现在 MIS 5e, 达到 28.4 ; 冰期为 $23 \sim 25$ (MIS 8 除外, 此阶段部分时期温度达到 27), 最低值在 MIS 2, 为 22.6 , 冰期 - 间冰期平均温度变化幅度为 3.5 , 最大出现在 Termination I, 为 5.2 (图 2b)。详细的温度变化请参考文献 [19]。

3.2 海水氧同位素变化

根据不同经验公式推算的 $^{18}O_{\text{water}}$ 在本研究区域没有明显差别^[20,21], 在本文主要依据 Bemis 等经验公式所推算的 $^{18}O_{\text{water}}$ 进行讨论 ($^{18}O_{\text{water}} = \text{SST} - 16.5 + 4.8 \times ^{18}O_{G.nuber}$)^[21] (图 2c)。结果显示过去约 450ka 以来, 南海 $^{18}O_{\text{water}}$ 冰期和间冰期的主要变

化范围分别为 $0.2\text{‰} \sim 0.6\text{‰}$ 和 $-0.6\text{‰} \sim 0$, 呈现冰期高、间冰期低的特征, 冰期 - 间冰期变化幅度约 1.2‰ , 与冰期 - 间冰期冰盖体积的变化造成的海水氧同位素组成约 1‰ 变化幅度接近。在冰期阶段 (MIS 12, 10, 8, 4 和 2), MIS 2 时期的 $^{18}O_{\text{water}}$ 比前几个冰期偏低约 0.2‰ , 间冰期阶段 (MIS 11, 9, 7, 5, 3 以及全新世), MIS 11 早期的 $^{18}O_{\text{water}}$ 比其他时期的偏低 0.5‰ , 达到 -1.04‰ , 是过去 450ka 期间的最低点。冰期向间冰期转化过程中 MIS 12/11 的变化幅度最大, 达到 2‰ , 远高于其他转换时期的 1‰ 。在东北大西洋和西太平洋也发现在 MIS 12/11 存在较大的偏移^[7,22], 说明这种现象是全球性的, 可能与 MIS 12 时期巨大的海平面降低或产生更多贫氧同位素的大陆冰导致海水氧同位素偏重有关。

3.3 海水剩余氧同位素变化

从 $^{18}O_{\text{water}}$ 中扣除冰盖变化影响后计算得出 $^{18}O_{\text{resid}}$ ($^{18}O_{\text{resid}} = ^{18}O_{\text{water}} - ^{18}O_{\text{ice vol}}$) (见图 2c), $^{18}O_{\text{ice vol}}$ 为冰盖伸缩导致全球大洋海水氧同位素相对变化的平均值^[23]。结果显示在过去约 450ka, $^{18}O_{\text{resid}}$ 变化范围为 $-1.5\text{‰} \sim 0.5\text{‰}$, 最高值为 MIS 11/12 转换期 (423ka) 时的 0.56‰ , 最低值为 228ka 时的 -1.34‰ , 总体呈现间冰期高、冰期低的变化特征。与南海北部 140ka 以来 $^{18}O_{\text{resid}}$ 冰期比间冰期偏

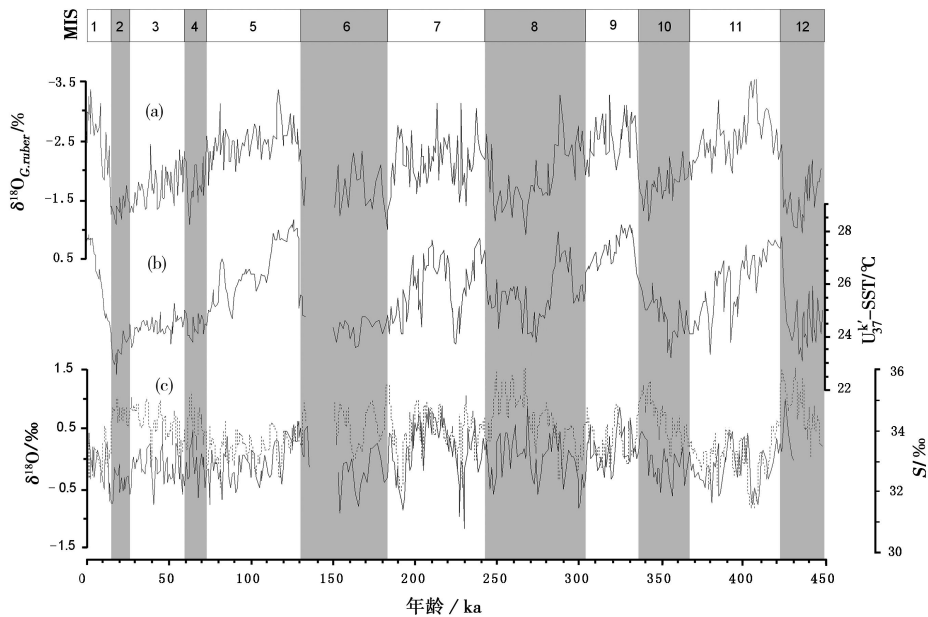


图 2 MD05 - 2901 岩芯 $^{18}O_{G.nuber}$ (a), U_{37}^k - SST (b) 以及 $^{18}O_{\text{water}}, S_{\text{water}}$ (虚线) 和 $^{18}O_{\text{resid}}, S_{\text{resid}}$ (实线) (c) 变化曲线

其中图 2c 的 $^{18}O_{\text{water}}$ 和 $^{18}O_{\text{resid}}$ 对应于左边坐标; S_{water} 和 S_{resid} 对应右边坐标

Fig. 2 Plots of $^{18}O_{G.nuber}$ (a), U_{37}^k - SST (b), and $^{18}O_{\text{water}}, S_{\text{water}}$ (dashed line),

and $S_{\text{resid}}, ^{18}O_{\text{resid}}$ (real line) (c) of core MD05 - 2901

负的结果一致^[4]。与 $^{18}\text{O}_{\text{water}}$ 相比,间冰期二者变化一致,冰期由于冰盖影响, $^{18}\text{O}_{\text{resid}}$ 比 $^{18}\text{O}_{\text{water}}$ 偏负约0.5‰。

3.4 海水盐度变化

不同的 $^{18}\text{O}_{\text{water}} - S$ 关系式^[1~3]计算南海海水盐度结果表明,根据Rostek等^[2]在北印度洋孟加拉湾的关系式所得表层样的盐度计算值33.3‰,与该区域的多年年平均观测值33.6‰^[16]最接近。在本文中应用此关系式计算出本岩芯过去45万年来海水盐度的变化记录(见图2c),图2c中 S_{water} 和 S_{resid} 分别是根据 $^{18}\text{O}_{\text{water}}$ 和 $^{18}\text{O}_{\text{resid}}$ 计算所得的海水盐度分别表示实际的海水盐度和消除冰盖因素区域环境影响下的剩余海水盐度。

结果显示 S_{water} 变化范围为32‰~36‰,最低值31.45‰(404.5ka),最高值36.44‰(266.7ka),表现为冰期盐度高(平均34.5‰),间冰期盐度低(平均33.5‰)的特征。而 S_{resid} 的变化范围为31‰~35‰,与 S_{water} 对比二者在间冰期无显著变化,而冰期时 S_{resid} 减少2‰~3‰,尤其MIS 2降低最多,最大达3.4‰,剩余海水盐度变化总体显示为冰期低间冰期高的特征,最高值35‰(424.8ka),最低值30.8‰(229.1ka)。

4 讨论

现代海水的氧同位素组成与盐度线性相关,氧同位素低值对应海水盐度低,相反氧同位素高值对应海水盐度高。由于第四纪冰期时期南北两极冰盖发育,使得冰期时的 $^{18}\text{O}_{\text{water}}$ 显著偏正,海水盐度高,排除冰盖伸缩影响后的海水的剩余氧同位素值 $^{18}\text{O}_{\text{resid}}$ 将主要反应当地区域因素如河流注入和降雨-蒸发平衡所造成的海水盐度变化。南海西部过去450ka剩余氧同位素 $^{18}\text{O}_{\text{resid}}$ 及剩余海水盐度 S_{resid} 变化显示冰期值低于相邻的间冰期,即排除冰盖影响后,冰期阶段表层海水实际淡化。本文主要对冰期剩余海水氧同位素及剩余盐度的影响因素进行了讨论。

4.1 冰期间冰期地理格局的改变和陆地淡水注入影响

南海是西太平洋区最大的边缘海,受周边陆地河流的影响,表层海水盐度低于周边的苏禄海,西太平洋^[16]。冰期海平面下降,陆架出露,尤其在末次盛冰期时期南海海平面下降达120m,有相当于五分

之一面积的陆架出露,南海海盆面积缩小,出露的陆架上河流发育(尤其是南海南边完全出露的巽他陆架上发育了活跃的河流系统),如果河流输入量不变,冰期南海海盆面积的减少,将导致河流输入影响加大,排除冰盖影响后表层水盐度应降低。Wang等^[11]就将南海北部陆架区17940站末次冰期海水盐度下降的原因归结于海平面下降,陆地淡水影响增加所致。但贾国东等的分析认为,在南海北部冰期海平面下降导致与入海口距离拉近不会对陆架区海水盐度产生明显影响,同时冰期阶段亚洲大陆相对干旱,降雨减少,更降低了地表径流对南海表层水盐度的影响^[18]。

赤道西太平洋ODP 806站过去430ka海水的剩余氧同位素 $^{18}\text{O}_{\text{resid}}$ 显示冰期与间冰期海水剩余氧同位素相差0.5‰,剩余盐度 S_{resid} 相差2‰~3‰,也表现为排除冰盖影响后表层海水淡化(图3b)。ODP 806位于西太平洋,受陆地淡水的影响相对较小(其较高的表层海水盐度,全新世 S_{water} 为34.8‰,也说明了此点),但也表现出表层海水冰期比间冰期的盐度低的特征,说明地表淡水注入因素造成冰期表层海水的淡化不占绝对主导地位。如果忽略地表径流的影响,冰期表层水淡化主要与区域降雨-蒸发平衡有关。

4.2 热带辐合带南北偏移对热带地区降雨的影响

现代气候表明“热带辐合带”(Inter-Tropical Convergence Zone,简称ITCZ)与低纬地区气候特别是当地降雨密切相关。夏季,受西南季风的影响,ITCZ偏北,降雨带也随之北移;冬季,东北季风强盛,ITCZ南移,降雨带偏南。对南海观测记录显示,南海各区域的降雨量与ITCZ密切相关,ITCZ位置越近,频率越高,降雨量越大,不同站位的记录显示,ITCZ的位置在7月和8月最北,12月和1月最南,南海降雨量最大月在北部出现在8月,南部12月,降雨量最小月则是ITCZ位置较远月在北部和南部分别是12月、3月和4月。观测记录也显示MD05-2901岩芯位置夏季7月份时盐度最高为33.8‰,11月份时盐度最低为33.4‰^[16],与ITCZ位置夏季偏北和冬季南移的情况对应。结合MD05-2901岩芯 $^{18}\text{O}_{\text{resid}}$ 和 S_{resid} 冰期比间冰期低的情况说明冰期ITCZ位置偏南,与本岩芯位置更近或频率更高,使得该区域降雨增加,间冰期ITCZ偏北,距离本岩芯位置偏远或频率减少,使该区域降雨减少,造成 $^{18}\text{O}_{\text{resid}}$ 和 S_{resid} 冰期比间冰期低的现象。花

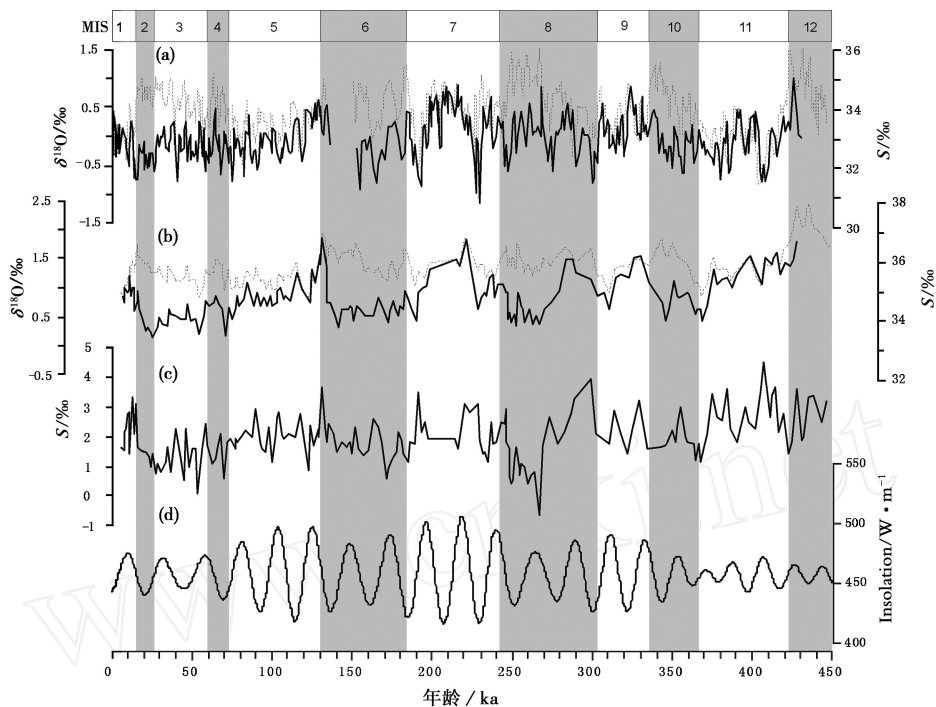


图 3 MD05 - 2901岩芯 (a)以及 ODP 806岩芯 (b)的 $^{18}\text{O}_{\text{water}}$, S_{water} (虚线)和 $^{18}\text{O}_{\text{resid}}$, S_{resid} (实线)变化曲线, 以及二者差值 (c)和 15°N 7月份太阳辐射量 (d)的对照

Fig. 3 Comparison of $^{18}\text{O}_{\text{water}}$, S_{water} (dashed line), $^{18}\text{O}_{\text{resid}}$, and S_{resid} (real line) of core MD05 - 2901 (a) and ODP 806 (b), their difference (c), and insolation in July in 15°N (d)

粉数据也显示冰期中国大陆气候干旱而南海以南的赤道地区(如出露的巽他陆架,新几内亚)气候湿润^[24-28]。

与赤道西太平洋 ODP 806站过去 40 万年来海水剩余盐度 S_{resid} , 对比显示(图 3c), 二者差值在冰期小, 间冰期大, 也与 IICZ 的位置有关, 冰期受北半球经向温度梯度增加驱动, IICZ 平均位置南移导致赤道低纬地区降雨增加^[29], 海水盐度减少, 因而与南海盐度差值减少; 而间冰期 IICZ 平均位置北移, 热带低纬地区降雨减少, 盐度增加, 因而与南海的盐度差值增大。

4.3 ENSO 对热带地区降雨的影响

除 IICZ 的南北季节性偏移对南海的区域降雨造成影响外, 赤道太平洋地区 ENSO 的年际变化对热带地区的气候同样有显著影响, 在 El Niño 期间, 降雨带移至太平洋中心, 西太平洋降雨显著减少; 在 La Niña 期间, 西太平洋区域降雨显著增加(参考 <http://www.cdc.noaa.gov/ENSO/COMPARE>)。模拟数据显示末次冰盛期时期尽管温度降低, 大洋环流效率减弱, 在热带地区如印度尼西亚、西太平洋暖池降雨增加^[30, 31]。

Koutavas 等^[32]根据东太平洋冷舌区 LGM 与全新世温度差仅 1.2, 提出冰期时期热带太平洋横向及纵向温度梯度降低, Hadley 和 Walker 环流减弱, IICZ 南移, 更类似 El Niño 状态。Stott 等^[33]根据棉兰老海(Mindanao Sea)冰期盐度比现在高也提出冰期处于超级 El Niño 状态并认为与 $^{18}\text{O}_{\text{water}}$ 记录的横向盐度梯度减弱一致, 同与 Clement 等^[34]的模拟结果一致。Rosenthal 等^[6]认为 LGM 期间赤道太平洋东西方向温度梯度差的减少比起现代 El Niño 事件时的异常要小的多, 如 LGM 时期赤道太平洋横向温度梯度差比全新世时期的低 1 远低于 El Niño 事件历史记录的 3~4 异常。他们通过对末次冰期苏禄海表层海水盐度降低, 及在东西赤道太平洋一些岩芯中的类似现象说明所观察到的盐度变化反应了大气模式的大规模重排, 冰期赤道太平洋的气候受热带和超热带力控制, 而年际间的 ENSO 变化是否很好的模拟了冰期、间冰期气候变化还不确定。

本次研究结构显示冰期时南海及西太平洋的 $^{18}\text{O}_{\text{resid}}$ 和 S_{resid} 较临近的间冰期值低, 说明冰期时表层海水的淡化, 既可能与冰期时贸易风增强^[35], 水汽西移有关, 类似于现代的 La Niña 状态^[7], 又可能与太平洋海盆 El Niño 事件时常伴随着 IICZ 平均南

移有关^[36]。对于冰期时热带低纬区域更类似何种气候状态,尚需更进一步研究来确定。

4.4 温度及太阳辐射对热带地区海水蒸发的影响

U_{37}^k - SST显示冰期间冰期南海西部表层水温相差4~5。冰期偏低的剩余氧同位素和海水盐度一方面与降雨增加有关,也与冰期温度降低,表层海水蒸发减少有关。赤道西太平洋与南海西部过去450ka海水盐度差值在冰期小,间冰期大(见图3c),也说明冰期时的温度低,蒸发弱,二者的差值小;间冰期温度高,蒸发强,造成赤道太平洋盐度在间冰期显著增加,二者的差值加大。

与冰期时 $^{18}O_{resid}$ 偏负不同,在本次研究中除MIS 11早期高温段有一强变化外(快速由咸变淡,变化幅度达1.5‰),在间冰期温度升高都伴随 $^{18}O_{resid}$ 偏正,海水变咸。陆地孢粉记录显示间冰期气候温暖湿润,而海洋数据表明扣除冰盖因素后,与冰期相比间冰期海水同位素组成偏正,可能与间冰期太阳辐射较强,表层海水高温蒸发大于降雨有关。对比MIS 11与MIS 7可以发现,两个阶段温度接近,但 $^{18}O_{resid}$ 在MIS 11显著偏负,可能与此阶段的太阳辐射相对低,蒸发弱有关(见图3d)。

4.5 南海季风的影响

南海受季节性反向的东亚季风的强烈影响,6~8月温暖湿润的西南季风盛行,11~次年2月干燥寒冷的东北季风盛行。虽然25ka以来高分辨率的研究表明西太平洋热带边缘海的海水氧同位素变化与东亚季风强度变化相关,表层水淡化与强夏季风相关联的净降水有关^[6],但长时间尺度的对比显示,海水同位素及剩余同位素组成变化与东亚夏季风强度没有显著相关,尤其在MIS 5.3和MIS 5.5强夏季风期间, $^{18}O_{water}$ 和 $^{18}O_{resid}$ 都偏重,对应盐度增加^[4]。过去224ka的研究显示东亚夏季风与太阳辐射同步变化^[37]。在本次研究中二者与温度变化同步,而与 $^{18}O_{resid}$ 和 S_{resid} 似乎反相。如果 $^{18}O_{resid}$ 和 S_{resid} 主要反映当地降水-蒸发平衡变化,则间冰期夏季风增强,南海降水反而减少,结合本文4.2讨论中的与降雨有紧密联系的ITCZ,说明夏季风增强时,ITCZ北移。高分辨率的研究也显示ITCZ的北移出现在北半球暖期,如Bølling-Allerød,早全新世^[38,39],对应东亚夏季风增强,冬季风减弱^[11,37]。

5 结论

通过 $^{18}O_{G. nuber}$ 与 U_{37}^k - SST计算得出南海西部晚更新世以来的海水氧同位素($^{18}O_{water}$)、海水盐度(S_{water})和排除冰盖影响后的剩余氧同位素($^{18}O_{resid}$)、剩余盐度(S_{resid})的变化范围分别为-1.04‰~1.20‰,31.5‰~36.0‰和-1.34‰~0.60‰,31‰~35‰; $^{18}O_{water}$ 和 S_{water} 呈现出冰期高、间冰期低的特征,相反 $^{18}O_{resid}$ 和 S_{resid} 呈现冰期低、间冰期高的特征。 $^{18}O_{resid}$ 和 S_{resid} 主要反应了河流淡水注入、降雨-蒸发平衡等区域气候特征。冰期低、间冰期高的特征说明了冰期与纵向ITCZ平均位置南移所致降雨的增多,而东亚季风的季节性风向和强弱变化作用更强化此过程,同时冰期温度低蒸发弱而间冰期温度高蒸发强,以及冰期海平面下降、河流输入增多也有一定影响。

致谢 本次研究的样品由“国际海洋全球变化”(MAGES)计划2005年Marco-Polo航次提供,在此向船上科学家和工作人员表示感谢。

参考文献 (References)

- 1 Wang L, Samthein M, Duplessy J C *et al* Paleo sea surface salinities in the low-latitude Atlantic: The ^{18}O record of *Globigerinoides nuber* (white). *Paleoceanography*, 1995, **10** (4): 749~761
- 2 Rostek F, Ruhland G, Bassinot F C *et al* Reconstructing sea surface temperature and salinity using ^{18}O and alkenone records *Nature*, 1993, **364**: 319~321
- 3 Duplessy J C, Labeyrie L, Juillet-Leclerc A *et al* Surface salinity reconstruction of the North Atlantic Ocean during the Last Glacial Maximum. *Oceanographic Acta*, 1991, **14**: 311~324
- 4 Oppo D W, Sun Youbin Amplitude and timing of sea-surface temperature change in the northern South China Sea: Dynamic link to the East Asian monsoon *Geology*, 2005, **33** (10): 785~788
- 5 Oppo D W, Linsley B K, Rosenthal Y *et al* Orbital and suborbital climate variability in the Sulu Sea, western tropical Pacific. *Geochronology Geophysics Geosystems*, 2003, **4** (1): 1003, doi: 10.1029/2002GC000260
- 6 Rosenthal Y, Oppo D W, Linsley B K The amplitude and phasing of climate change during the last deglaciation in the Sulu Sea, western equatorial Pacific. *Geophysical Research Letters*, 2003, **30** (8): 1428, doi: 10.1029/2002GL016612
- 7 Lea D W, Pak D K, Spero H J. Climate impact of Late Quaternary equatorial Pacific sea surface temperature variations *Science*, 2000, **289**: 1719~1724
- 8 贾国东, 谢宏琴. 南海北部海水氧同位素剩余值在冰期-间冰期气候旋回中的变化及其古气候意义. *地学前缘*, 2006, **13** (1): 199~204
- 9 贾国东, 谢宏琴. Surface water oxygen isotope residuals in northern South China Sea: Variations during glacial-interglacial

- cycles and their paleoclimatic implication *Earth Science Frontiers*, 2006, **13** (1): 199 ~ 204
- 9 Emeis K C, Struck U, Schulz H M *et al* Temperature and salinity variations of Mediterranean Sea surface waters over the last 16,000 years from records of planktonic stable oxygen isotopes and alkenone unsaturation ratios *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2000, **158** (3 ~ 4): 259 ~ 280
- 10 Rohling E J. Paleosalinity: Confidence limits and future applications. *Marine Geology*, 2000, **163** (1 ~ 4): 1 ~ 11
- 11 Wang L, Samthein 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** (1): 245 ~ 284
- 12 黄宝琦, 成鑫荣, 翦知 等. 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. *第四纪研究*, 2004, **24** (1): 110 ~ 115
Huang Baoqi, Cheng Xinrong, Jian Zhi in *et al* Variations in upper ocean structure in the South China Sea and the evolution of the East Asian monsoon since Late Pliocene. *Quaternary Sciences*, 2004, **24** (1): 110 ~ 115
- 13 黄宝琦, 杨文瑜. 南海北部氧同位素 3 期时上部海水结构的变化. *第四纪研究*, 2006, **26** (3): 436 ~ 441
Huang Baoqi, Yang Wenyu Variations of upper water structure in MIS 3 from the northern South China Sea. *Quaternary Sciences*, 2006, **26** (3): 436 ~ 441
- 14 丁 旋, 方念乔, 陈 萍等. 孟加拉湾深海氧同位素 2、3 期上升流活动——北印度洋冬季风的实证. *第四纪研究*, 2003, **23** (1): 53 ~ 59
Ding Xuan, Fang Nianqiao, Chen Ping *et al* Upwelling actions in the Bay of Bengal during Marine Isotope Stages 2 and 3: Evidence for Indian winter monsoon. *Quaternary Sciences*, 2003, **23** (1): 53 ~ 59
- 15 郑洪波, 杨文光, 贺 娟等. 南海的氧同位素 3 期. *第四纪研究*, 2008, **28** (1): 68 ~ 78
Zheng Hongbo, Yang Wenguang, He Juan *et al* Marine Isotope Stage 3 (MIS 3) of South China Sea. *Quaternary Sciences*, 2008, **28** (1): 68 ~ 78
- 16 Levitus S, Boyer T. World Ocean Atlas 4: Temperature NOAA Atlas NESDIS 4. Department of Commerce, Washington D. C., 1994. 117
- 17 Shackleton N J. The 100,000-year ice-age cycle identified and found to lag temperature, carbon dioxide, and orbital eccentricity. *Science*, 2000, **289**: 1897 ~ 1902
- 18 李建如. 低纬海区碳储库与季风气候的轨道周期. 上海: 同济大学海洋与地球科学学院博士论文, 2007. 7 ~ 8
Li Jianru Carbon reservoir in low-latitude oceans and orbital cycles of monsoon climate, School of ocean and earth sciences Shanghai Tongji University, PhD dissertation, 2007. 7 ~ 8
- 19 李 丽, 王 慧, 李建如等. 南海西部 45 万年来的表层水温变化. *科学通报* (待刊)
Li Li, Wang Hui, Li Jianru *et al* Sea surface temperature record in western South China Sea over past 450 kyr. *Chinese Science Bulletin* (in press)
- 20 Shackleton N J. Attainment of isotopic equilibrium between ocean water and the benthonic foraminiferal genus *Uvigerina*: Isotopic changes in the ocean during the last glacial. *Colloques International du Centre National de Recherche Scientifique*, 1974, **219**: 203 ~ 210
- 21 Bemis B E, Spero H J, Bijma J *et al* Reevaluation of the oxygen isotopic composition of planktonic foraminifera: Experimental results and revised paleotemperature equations. *Paleoceanography*, 1998, **13** (2): 150 ~ 160
- 22 McManus J F, Oppo D W, Cullen J L. A 0.5-million year record of millennial-scale climate variability in the North Atlantic. *Science*, 1999, **283**: 971 ~ 975
- 23 Waelbroeck C, Labeyrie L, Michel E *et al* Sea-level and deep water temperature changes derived from benthic foraminifera isotopic records. *Quaternary Science Reviews*, 2002, **21** (1): 295 ~ 305
- 24 Wang Xiaomei, Sun Xiangjun, Wang Pinxian *et al* A high-resolution history of vegetation and climate history on Sunda Shelf since the last glaciation. *Science in China (Series D)*, 2007, **50** (1): 75 ~ 80
- 25 Bird M I, Taylor D, Hunt C. Palaeoenvironments of insular Southeast Asia during the Last Glacial Period: A savanna corridor in Sundaland? *Quaternary Science Reviews*, 2005, **24** (20 ~ 21): 2228 ~ 2242
- 26 Haberle S G, Hope G S, van der Kaars S. Biomass burning in Indonesia and Papua New Guinea: Natural and human induced fire events in the fossil record. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2001, **171** (3 ~ 4): 259 ~ 268
- 27 Sun Xiangjun, Li Xu, Luo Yunli *et al* The vegetation and climate at the last glaciation on the emerged continental shelf of the South China Sea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2000, **160** (3 ~ 4): 301 ~ 316
- 28 Farrera I, Harrison S P, Prentice I C *et al* Tropical climates at the Last Glacial Maximum: A new synthesis of terrestrial paleoclimate data: Vegetation, lake-levels and geochemistry. *Climate Dynamics*, 1999, **15** (11): 823 ~ 856
- 29 Schiller A, Mikolajewicz U, Voss R. The stability of the North Atlantic thermohaline circulation in a coupled ocean-atmosphere general circulation model. *Climate Dynamics*, 1997, **13** (5): 325 ~ 347
- 30 Pinot S, Ramstein G, Harrison S P *et al* Tropical paleoclimates at the Last Glacial Maximum: Comparison of Paleoclimate Modeling Intercomparison Project (PMIP) simulations and paleodata. *Climate Dynamics*, 1999, **15** (11): 857 ~ 874
- 31 Charles C D, Rind D, Healy R *et al* Tropical cooling and the isotopic composition of precipitation in general circulation model simulations of the ice age climate. *Climate Dynamics*, 2001, **17** (7): 489 ~ 502
- 32 Koutavas A, Lynch-Stieglitz J, Marchitto T M *et al* El Niño-like pattern in ice age tropical Pacific sea surface temperature. *Science*, 2002, **297**: 226 ~ 230
- 33 Stott L, Poulsen C, Lund S *et al* Super ENSO and global climate oscillations at millennial time scales. *Science*, 2002, **297**: 222 ~ 226
- 34 Clement A C, Seager R, Cane M A. Orbital controls on the El Niño / Southern Oscillation and the tropical climate. *Paleoceanography*, 1999, **14**: 441 ~ 456
- 35 Andreasen D J, Ravelo A C. Tropical Pacific ocean thermocline depth reconstructions for the last glacial. *Paleoceanography*, 1997, **12** (3): 395 ~ 413
- 36 Fedorov A, Philander S G. Is El Niño changing? *Science*, 2000, **288**: 1997 ~ 2002
- 37 Wang Yongjin, Chen Hai, Edwards R L *et al* Millennial-and orbital-scale changes in the East Asian monsoon over the past 224,000 years. *Nature*, 2008, **451**: 1090, doi: 10.1038/nature06692
- 38 Yancheva G, Nowaczyk N R, Mingram J *et al* Influence of the intertropical convergence zone on the East Asian monsoon. *Nature*, 2007, **445**: 74 ~ 77
- 39 Haug G H, Hughen K A, Sigman D M *et al* Southward migration of the intertropical convergence zone through the Holocene. *Science*, 2001, **293**: 1304 ~ 1308

VARIABILITY OF SEA SURFACE RESIDUAL OXYGEN ISOTOPIC AND SALINITY IN WESTERN SOUTH CHINA SEA OVER LATE PLEISTOCENE

Li Li Wang Hui Li Jianru Zhao Meixun Wang Pinxian

(State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092)

Abstract

Records of $^{18}\text{O}_{\text{water}}$ and S_{water} in surface water of South China Sea over the past 450ka was calculated from paired ^{18}O of foraminifera and U_{37}^k - SST in core MD05 - 2901 off Vietnam. The results showed that $^{18}\text{O}_{\text{water}}$ and S_{water} varied in the range of 0.2‰~0.6‰ and 34.2‰~35.1‰ in glacial periods, -0.6‰~0‰ and 32.4‰~33.7‰ in interglacial periods, respectively. But $^{18}\text{O}_{\text{resid}}$ and S_{resid} estimated by subtracting the contribution from ice volume exhibited higher value in interglacials, lower value in glacials, averaged in -0.5‰ and 32.7‰ in glacial periods, -0.3‰ and 33.1‰ in interglacial periods, respectively. These may be related with higher precipitation by southern location of ITCZ during glacial periods. Decreasing evaporation by lower temperature, reduced sea level, increasing fluvial input, and geography change in SCS during glacial periods may also reduced the local oxygen isotopic and surface water salinity.

Key words South China Sea, sea surface oxygen isotopic, sea surface salinity, sea surface residual oxygen isotopic, sea surface residual salinity

《第四纪研究》2008年第4期主要论文预告

- | | | | |
|---|-----|-----|-----|
| 从地球系统科学角度浅析中国地貌若干问题研究的新进展 | 杨小平 | 李炳元 | 师长兴 |
| 中国陆地基本地貌类型及其划分指标 | 李炳元 | 潘保田 | 韩嘉福 |
| 山西河曲黄河阶地序列及其古气候意义 | 邱维理 | 张家富 | 周力平 |
| 兰州段黄河 和 级阶地的地层结构、年龄及环境意义 | 王 萍 | 蒋汉朝 | 袁道阳 |
| 金沙江石鼓 - 宜宾河段的贯通与深切地貌过程的研究 | | | 刘兴旺 |
| 杨达源 韩志勇 葛兆帅 胥勤勉 陈可峰 徐永辉 李郎平 黄 典 鹿化煜 | | | |
| 长江上游屏山至宜昌间河道泥沙存贮量的变化及其地貌学意义 | | | 许炳心 |
| 长江皖江段岸崩特征、形成机理及治理对策 | 李长安 | 杨则东 | 鹿献章 |
| 东喜马拉雅构造结更新世两期抬升 - 剥露事件的裂变径迹证据 | 雷永良 | 钟大赉 | 季建清 |
| 青藏高原全新世气候不稳定性的冰川冰缘和湖泊沉积记录 | 李世杰 | 张宏亮 | 吴艳宏 |
| 青藏高原现代湖泊沉积物碳酸盐矿物氧同位素组成特征及影响因素 | 王 宁 | 刘卫国 | 徐黎明 |
| 西藏纳木错沉积物单水方解石出现前后的环境变化 | 李明慧 | 康世昌 | 朱立平 |
| 新疆巴里坤湖全新世环境记录及区域对比研究 | | | 王君波 |
| 新疆罗北洼地湖相沉积物有机碳同位素的变化序列及其古环境意义 | | | 张强弓 |
| 罗 超 刘卫国 彭子成 杨 东 贺剑峰 刘桂建 张彭熹 | | | |
| 长江河口水下三角洲 ^{13}C 地球化学分布特征 | 张 瑞 | 潘少明 | 汪亚平 |
| 长江中下游干流河底沉积物环境磁性特征 | 王 辉 | 郑祥民 | 王晓勇 |
| 长江下游巢湖 9870cal. aB. P. 以来孢粉记录的环境演变 | 王心源 | 莫多闻 | 吴 立 |
| 长江中下游湖泊沉积物铅污染记录 —— 以洪湖、固城湖和太湖为例 | 姚书春 | 薛 滨 | 朱育新 |
| 太湖流域营养盐产量演变和趋势的数值模拟研究 | | | 于 革 |
| 江苏固城湖流域 1951~2000年农业非点源氮、磷输移的数值模拟研究 | 黄智华 | 薛 滨 | 逢 勇 |
| 北太湖沉积岩芯中 HCHs和 DDTs垂直分布特征及沉积环境意义 | | | 舒卫先 |
| 江苏圆陀角附近潮滩沉积岩芯粒度变化及其环境意义 | 张振克 | 李彦明 | 孟红明 |
| 港仔地裂缝 —— 雷州半岛西部一条纵贯晚全新世砂堤地裂缝的发现 | | | 王万芳 |
| 临潼 - 长安断裂带所在陡坎的成因分析 | 师亚芹 | 冯希杰 | 戴王强 |
| | | | 李晓明 |
| | | | 任 隽 |
| | | | 种 瑾 |