

南沙海区晚第四纪的碳酸盐旋回*

汪品先 卞云华 翦知湓

(同济大学海洋地质开放实验室, 上海 200092)

摘要 根据水深 200~2 800m 范围内的 17 个沉积柱状样分析结果, 讨论南沙海区晚第四纪沉积中碳酸钙相对含量的垂向和横向变化。南沙海区的碳酸盐旋回普遍属于“大西洋型”, 冰期时含量低、间冰期含量高, 反映出陆源物输入量的控制作用。在平面上, 南沙海区的碳酸钙含量与纬度几乎呈线性关系, 由北向南递减, 冰期时趋势不变而梯度加大。南海南部陆坡由于集水盆地处于热带湿热条件而且有大河注入海区, 使碳酸钙含量相对北部陆坡为低。

主题词 南沙 碳酸盐沉积 陆源物输入 冰期旋回

1 引言

南海的晚第四纪碳酸盐旋回, 是太平洋古海洋学的热点之一。自从南海发现“大西洋型”碳酸盐旋回^[1]以来, 国内外已经有不少论文加以探讨。现已查明: 碳酸盐溶跃面以上, 南海碳酸钙含量主要受陆源物“稀释作用”控制, 冰期时低、间冰期时高, 其曲线与氧同位素的趋势一致, 呈“大西洋型”; 溶跃面以下, 以深海碳酸盐溶解作用占优势, 曲线呈“太平洋型”^[2~6]。然而, 边缘海碳酸盐旋回所包含的信息极其丰富, 既由于陆源物供应而关系到陆地风化作用速度和气候问题, 又通过海水生产力和碱度涉及大气 CO₂ 含量变化。南海碳酸盐旋回只是重要性已被认识, 而其中的信息宝库尚待打开。需要指出的是, 国内学者研究大多偏重南海北部, 而海外对南海南部的工作又通常只限其一角甚至一孔, 资料比较零星, 讨论也欠全面。

除去冰期时难有连续沉积的大片陆架区外, 南海南部的较深水部分属于南沙海区。直到 1992 年, 涉及南沙海区碳酸盐旋回的文章还是很少, 1993 年以来却已有许多成果发表^{[5, 7]1)}, 为取得本区碳酸盐旋回的全貌提供了条件。本文拟在自己分析的新资料基础上, 综合目前已发表的成果, 将南沙海区作为一个整体进行碳酸盐旋回的专题讨论。拟先从现有的材料找出碳酸钙含量的时空变化趋势, 为进一步从中提取全球变化的各项信息准备条件。

第一作者简介: 汪品先 男 60岁 教授、中国科学院院士 海洋地质学专业

* 南沙专题项目和国家自然科学基金资助项目

1997-06-25收稿, 1997-08-27收修改稿

1) Sarnthein M, Pflaumann U, Wang P X *et al.* Preliminary report on Sonne-95 cruise “Monitor Monsoon” to the South China Sea. 1994

2 碳酸盐旋回

南海的深海碳酸盐沉积溶解作用,曾经吸引过我国海洋地质界的广泛兴趣^[8~11],但重点都在北部海区。研究南沙海区沉积物的碳酸盐旋回是近年来的事,至少目前从成果看是海外^[3,5,7,12]多于海内^[13],虽然我国不少成果中也含有重要的碳酸盐信息但未就此展开讨论^[1,14]。

南沙海区(3.5~12°N范围内)的主体地貌是大陆坡,其北部为南沙海底高原,即岛礁发育的碳酸盐台地,向南为连接巽他陆架的南海南部陆坡区,东部为绵延六百余公里的南沙海槽^[15]。目前此区至少17个站位有晚第四纪碳酸盐含量曲线,不少还伴有氧同位素曲线。其中12个站分布在南沙海槽,5个在南沙碳酸盐台地和南部陆坡(表1)。

17个站位的水深均在200~2800m范围以内,浅于南海总体的碳酸盐溶跃面(约3000m)。各站的碳酸盐曲线也均属于“大西洋型”。图1示出6个站位的碳酸盐(%)曲线,其中太平岛附近的SCS15A站,水深1812m,其碳酸盐(%)曲线与 $\delta^{18}\text{O}$ 曲线相互平行(图

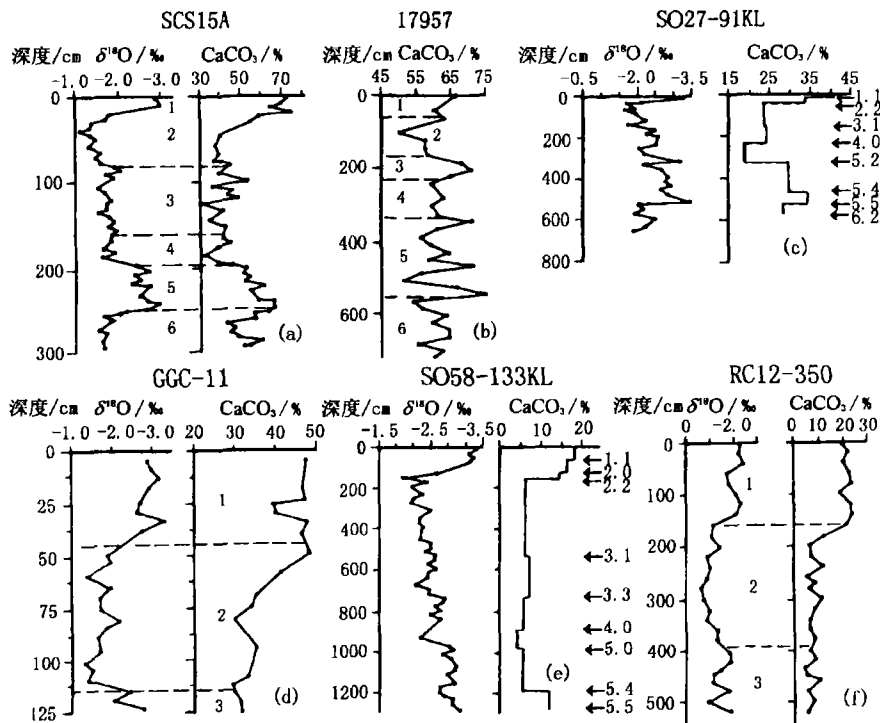


图1 南海海区晚第四纪碳酸盐(%)曲线实例
(站位及分析数据见表1)

图面数字示氧同位素分期或事件。同位素值系浮游有孔虫测值(PDB)。SO27-91KL和SO58-133KL两个柱状样的碳酸盐(%)表示各井段的平均值

(a)据[1] (b)据[1] (c),(e)据[7] (d)据[5] (f)据[13]

1) Sarnthein M, Pflaumann U, Wang P X *et al.* Preliminary report on Sonne-95 cruise "Monitor Monsoon" to the South China Sea. 1994

表1 南沙海区碳酸盐旋回研究站位及平均含量/%

区	站号	站位	水深 /m	CaCO ₃ /%				冰期最 低值D	全新世最 高值C	冰期平 均值 ^B	(A-B)/A /%	(C-D)/C /%	资料来源
				全新世平 均值 ^A	冰期平 均值 ^B	(A-B)/A /%	全新世最 高值C						
南沙海区	17957	10° 54' N, 115° 18' E	2 195	63.6	57.1	10.2	64.4	50.1	57.1	10.2	22.2	**	
	SCS15A	10° 25' N, 114° 14' E	1 812	70.8	58.3	17.7	72.0	38.5	58.3	17.7	46.5	16	
	17961	8° 30' N, 112° 20' E	1 795	32.7	17.2	47.4	35.0	9.5	17.2	47.4	72.9	**	
	17962	7° 11' N, 112° 05' E	1 969	15.5	6.7	56.8	21.8	3.0	6.7	56.8	86.2	本文	
	RC12-350	6° 33' N, 111° 13' E	1 950	21.0	9.0	57.1	23.0	5.0	9.0	57.1	78.3	13	
	GGC-11	11° 53' N, 118° 20' E	2 165	44.0	40.0	9.1	47.0	31.0	40.0	9.1	34.0	5	
南沙海区	GGC-9	11° 38' N, 118° 38' E	1 465	47.0	40.0	14.9	55.0	31.0	40.0	14.9	43.7	5	
	GGC-13	10° 36' N, 118° 17' E	990	61.0	57.0	6.6	67.0	30.0	57.0	6.6	55.2	5	
	SO27-91KL	8° 33' N, 115° 42' E	2 060	40.3	33.9	15.9	57.0	30.0	33.9	15.9	55.2	7	
	NS87-8	7° 47' N, 116° 27' E	835	25.8	14.8	42.6	28.8	13.3	14.8	42.6	53.8	14	
	NS87-11	7° 01' N, 114° 09' E	2 452	18.5	6.3	65.9	18.5	5.9	6.3	65.9	68.1	7	
	SO58-133KL	6° 39' N, 114° 43' E	2 163	18.2	15.7***	13.7	18.2	5.9	15.7***	13.7	68.1	7	
槽区	SO58-109KL	6° 13' N, 114° 04' E	2 792	11.5	8.5	26.1	11.5	7	8.5	26.1	7	7	
	SO58-110KL	6° 11' N, 114° 06' E	2 238	14.4	9.1	36.8	14.4	7	9.1	36.8	7	7	
	SO58-114KL	6° 06' N, 114° 14' E	1 929	14.6	7.1	51.4	14.6	7	7.1	51.4	7	7	
	SO49-136KL	5° 58' N, 114° 42' E	650	16.4	7.3	55.5	16.4	7	7.3	55.5	7	7	
	SO49-137KL	5° 56' N, 114° 48' E	220	19.1	6.1	68.1	19.1	7	6.1	68.1	7	7	

* 此处平均值采用 Schönfield 和 Kudrass(1993) 统计界限^[7], 即 $\delta^{18}\text{O}$ 事件 1.1 以上各样平均值作全新世值; 1.1~2.2 事件(冰期最盛时) 之间的各样平均值作冰期, 并非整个 $\delta^{18}\text{O}$ 2 期

** Samthein M, Pflaumann U, Wang P X *et al.* Preliminary report on Sonne-95 cruise "Monitor Monsoon" to the South China Sea. 1994

*** 此值存疑, 因冰期 $\delta^{18}\text{O}$ 2.2~3.1 间即为 6.2%

1a)^[16], 表层 CaCO_3 达 70% 左右。末次盛冰期降至 40% 以下, 可作为南沙碳酸盐台地近 15 万年来的典型曲线。值得注意的是, $\delta^{18}\text{O}$ 4 期时 CaCO_3 值降到 30% 左右, 比 2 期更低, 反映出当时整个大洋的水化学特征^[17]。郑和群礁附近水深 2 195m 处的 17957 柱状样, 碳酸钙曲线与之十分相似(图 1b¹⁾), 全新世 CaCO_3 达到 60% 以上, 但 $\delta^{18}\text{O}$ 3 和 5 期超过 70%, 4 期的下降远不及 2 期, 因而与 SCS15A 既有大同又存小异。这种站位之间的差异要求投入更多的工作, 才能通过辨别地方性与全区性的信息而找到解释。至于南海南部陆坡近巽他陆架的站位, 由于大量接受湄公河、古巽他河等许多河流输入陆源物质和从陆架再搬运的物质, 加以赤道附近的集水区处于湿热环境, 陆源物质不仅有稀释而且有促进碳酸盐溶解的作用, 使碳酸钙(%)明显偏低。以水深 1 950m 的 RC12-350 站为例, 全新世 CaCO_3 在 20% 左右, 冰期时降至 10% 以下(图 1c)^[13], 与南沙碳酸盐台地形成对照; 然而“大西洋型”的总特点保持不变。

表 1 中采自南沙海槽的柱状样共 12 个, 其分布从菲律宾以西直到加里曼丹北侧。其中海槽南部的 7 个站由于发表资料只有各期的碳酸钙(%)平均值, 只能用垂向线条表示(图 1c, e)^[7]。南沙海槽的碳酸钙曲线, 同样显示出北部高南部低的特点, 全新世从北部(如 GGC-11 站水深 2 165m, 图 1d)的 50% 左右, 降到南部(如 SO58-133KL, 水深 2 136m, 见图 1e)的 20% 以下, 末次冰期从北部的 30% 左右(见图 1d)降至南部的 6% 左右(见图 1e)。SO58-133KL 和 SO27-91KL(见图 1c)两站揭示了 $\delta^{18}\text{O}$ 5 期以来的碳酸钙(%)变化趋势, 大体均与 $\delta^{18}\text{O}$ 曲线相一致, 包括 $\delta^{18}\text{O}$ 4 期时含量也属最低值。南沙海区晚第四纪碳酸钙含量曲线显示出来的一致性, 为本区深海地层对比提供了一种简便易行的地层标志。

3 变化趋势

上述资料表明, 南沙海区晚第四纪碳酸盐旋回的特征与南海北部溶跃面以上所见并无二致, 反映出南海作为边缘海的共同特征。如果把南沙海区各处的碳酸盐旋回和碳酸钙含量做横向对比, 还可以进一步看出本区的特色。

南沙海区北部为海底高原, 属于珊瑚礁、海山林立而构成航行“危险地带”的碳酸盐台地; 而南部则濒临世界最大的热带浅海之一的巽他陆架, 使南海南部陆坡接受热带湿热环境下风化剥蚀后输入海底的大量陆源物, 属于西太平洋次深海沉积速率最高区之一。沉积环境如此强烈的南北反差, 必然为碳酸盐沉积带来巨大的南北梯度。这种梯度, 从表层沉积、全新世地层以致冰期地层中, 均有明显的表现。

本区东部南沙海槽的表层沉积物, 曾经有碳酸钙含量的系统分析。我国南沙考察发现, 南沙海槽表层沉积中的碳酸钙(%)值在 7°N 以北含量较高, 7°N 以南逐渐降低^[14]。加拿大 Calvert 等^[12]分析了南沙海槽一带共 19 个沉积柱状样顶部 2cm 的样品, 发现其中 CaCO_3 含量从 1 000m 左右水深处的 60%~90% 逐渐随深度加大而降至 4 000m 附近的 3.5%, 然而同一水深样品中的碳酸钙(%) , 海槽北区 (10°N 以北) 明显高于南区 (10°N 以南), 在水深 1 000~2 000m 左右的水域, 其差值可逾 20%^[12]。可见, 对于同一水深的站位

1) Sarnthein M, Pflaumann U, Wang P X *et al.* Preliminary report on Sonne-95 cruise “Monitor Monsoon” to the South China Sea. 1994

而言,从 7°N 以南至 10°N 以北,南沙海槽表层样中的 CaCO_3 含量逐渐增高。

这种碳酸钙百分含量由南向北递增的趋势,是否是南沙海区的普遍现象? 在冰期旋回中这种趋势是否改变? 要回答这些问题,可以将上述 17 个沉积柱状样做横向比较。为了排除样品间距疏密不一等干扰因素,对每个柱状样中全新世和末次冰期的碳酸钙 (%) 计算平均值。由于南沙海槽南部的 6 个柱状样只发表了氧同位素 1.1 事件以上 9 800a 的平均值和 1.1~2.2 事件之间 (9 800~18 300a B.P.) 的平均值^[7],而这 6 个站又占了 17 个站位的 1/3 以上,我们对其余 11 个柱状样也尽量采集相应的数据进行计算,将两者分别作为全新世和末次冰期 (实际上是 $\delta^{18}\text{O}$ 第 2 期的中后期,包括冰消期在内) 的平均值,以便比较。计算结果示于表 1 和图 2a, b。

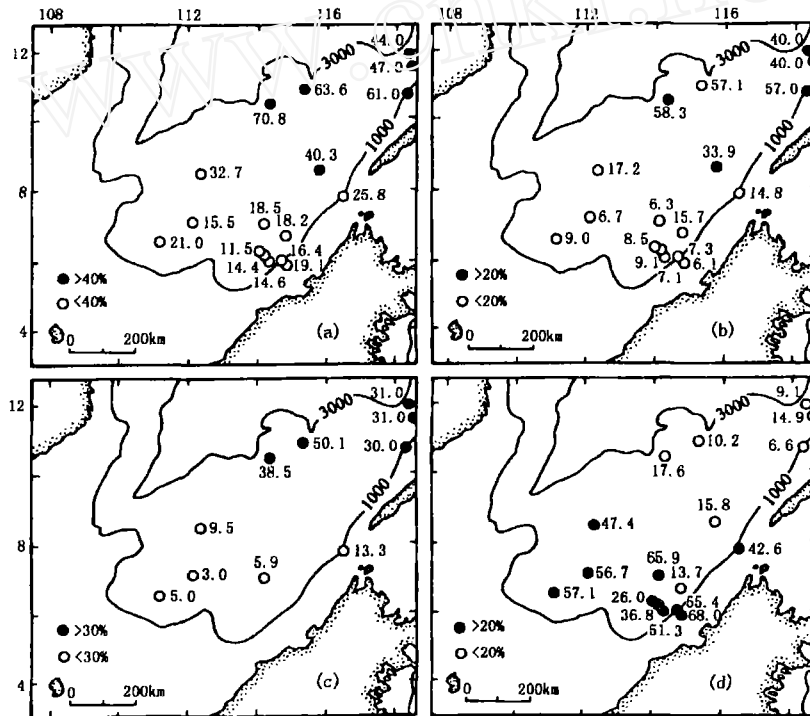


图 2 南沙海区全新世和末次冰期时沉积物碳酸钙 (%) 分布及其比较

(数据及其来源见表 1)

(a) 全新世沉积 (指 $\delta^{18}\text{O}$ 事件 1.1 以上地层, 见正文) 平均值 (b) 末次冰期 (指 $\delta^{18}\text{O}$ 1.1~2.2 事件间的地层, 见正文) 平均值 (c) 末次冰期中碳酸钙 (%) 最低值 (d) 全新世与末次冰期碳酸钙 (%) 差值占全新世值的 % (即 $(A-B)/A$, 见表 1)

全新世沉积中碳酸钙相对含量的向北递增趋势, 见于图 2a。尽管由于各站水深和离岸距离不一, 数值参差不齐, 但从北部的 60%~70% 降至南端的 20% 以下, 总趋势十分醒目。水深同为 2 100 多米的 GGC-11 和 SO58-133KL 南北两个柱状样, 纬度相差 5°, 全新世碳酸钙 (%) 相差竟达 25.8% (见表 1)。

末次冰期的碳酸钙百分含量, 普遍较全新世为低。各柱状样中出现的碳酸钙 (%) 最低值 (图 2c), 往往只有全新世平均值 (见图 2a) 的一半。图 2b 所示的“末次冰期平均值”在北

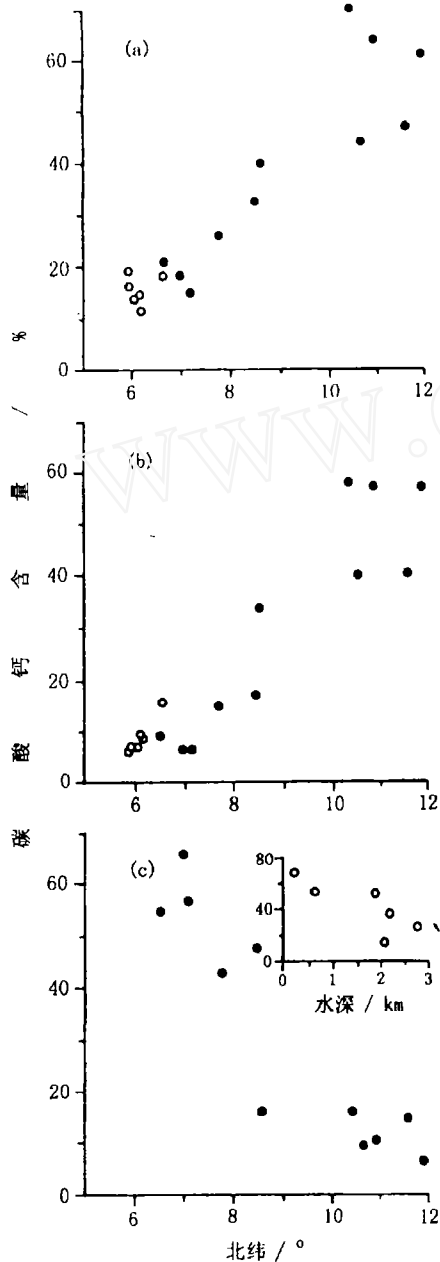


图3 南沙海区全新世和末次冰期沉积中碳酸钙相对含量与纬度的相关关系
(“全新世”、“冰期”含义见表1及正文)
(a)全新世 (b)冰期 (c)两者差值比率

图中黑点标志一般站位,圆圈表示加里曼丹西北岸外紧密排列的6个站,其间纬度区别微小,深度相差极大,近岸的浅水站受陆源物影响大,因此全新世与冰期的差值另用小插图表示,说明深度或离岸距离的影响

部接近60%,南部降到10%以下(见图2b);北部的下降率(即全新世与末次冰期差值与全新世值的比例,见表1)在10%左右,南部可逾50%(图2d),足见冰期时南北差异比冰后期更为强烈。

将全新世与冰期时不同站位的碳酸钙(%)平均值相对于纬度作散布图,可以明显看出碳酸钙百分含量与纬度之间的正相关线性关系(图3a, b),而末次冰期碳酸钙含量的下降比率[即(A-B)/A,见表1],则与纬度呈线性的负相关(图3c)。这些图件,进一步证明南沙海区碳酸钙分布的南北向趋势,这种趋势在冰期时有增无减。

研究表明,在溶跃面以上南海诸站碳酸钙百分含量在冰期旋回中的升降,主要受陆源物沉积速率变化的控制,而碳酸钙本身的沉积速率变化不大^[1,6,7,13]。前面说过南海南部的陆源物,主要来自诸大河流通过巽他陆架由南向北的输送,而婆罗洲等岛屿的贡献相比之下并不重要,从而决定了碳酸钙(%)由南向北递增的趋势。冰期时巽他陆架出露,陆源物直接进入南海南部陆坡,而南沙海区北部仍保持为碳酸盐台地,因此碳酸钙(%)南北梯度加剧。

若将南海南、北陆坡的碳酸钙含量相比,则南部陆坡即南沙海区南部明显偏低。同是水深2800m左右的站位,北部陆坡珠江口外的V36-3站(19°1'N, 116°6'E, 水深2809m)全新世的CaCO₃平均21.4%^[1],而南部陆坡的SO58-109KL(水深2792m)仅11.5%(见表1),相差几近一倍。Schönfield和Kudrass计算南北两陆坡的碳酸钙沉积速率^[7],发现北部中国岸外比南部沙巴岸外的数值高出一倍,推测是北部钙质浮游生物生产力高的缘故。其实这种推测并无根据,南北陆坡碳酸钙的沉积速率差别来自溶解作用。我们近来的分析表明,南沙海区南部诸站的沉积物中,浮游有孔虫含量低下,破壳率甚高,与同深度的北部陆坡十分不同。同时,南部陆坡沉积中红树林花粉的大量出现,表明有从陆架搬运而来的pH值低、腐殖质含量高的红树林泥,严重腐蚀了陆

坡沉积中的钙质壳体。有关南海南北两侧沉积环境的区别,我们将另文讨论,此处只是指出这种差别对碳酸钙含量的严重影响。

总之,南沙海区沉积物中碳酸钙含量的垂向和横向变化中,包含着丰富的古环境信息,有待在高分辨率地层学基础上进行分析比较而加以提取。

4 结论

(1) 南沙海区的晚第四纪碳酸盐旋回普遍属于“大西洋型”,符合南海溶跃面以上的共同规律;

(2) 南沙海区沉积中的碳酸钙百分含量主要由陆源物输入量控制,由于物源主要来自巽他陆架方向,呈现出碳酸钙相对含量由北向南递减的普遍趋势;

(3) 这种趋势在冰后期和冰期沉积中同样存在,只是向南递减的梯度在冰期时更为加剧,说明冰期时南来的陆源物影响比冰后期更为强烈;

(4) 南海南部陆坡与北部陆坡相比,碳酸钙百分含量普遍偏低,其原因一方面南区集水区的沉积供应量比北区为多,另一方面也与南区湿热条件下输入的陆源物使深海碳酸盐溶解作用加剧有关;

(5) 通过垂向的高分辨率分析和横向的广泛比较,可望从南海碳酸盐旋回中提取更加深入的古环境信息。

参 考 文 献

- 1 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
- 2 卞云华, 汪品先, 郑连福. 南海北部晚第四纪浮游有孔虫的溶解作用旋回. 见: 业治铮, 汪品先主编. 南海晚第四纪古海洋学研究. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 1992. 261~273
- 3 Thunell R C, Miao Q M, Calvert S E *et al.* Glacial-Holocene biogenic sedimentation patterns in the South China Sea: Productivity variations and surface water pCO₂. *Paleoceanography*, 1992, 7(2): 143~162
- 4 郑连福, 郭育廷, Winn K 等. 南海北部晚第四纪碳酸盐旋回及其地层学意义. 见: 郑连福, 陈文斌主编. 南海海洋沉积作用过程与地球化学研究. 北京: 海洋出版社, 1993. 109~123
- 5 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
- 6 Wang P, 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
- 7 Schönfield J, Kudrass H R. Hemipelagic sediment accumulation rates in the South China Sea related to Late Quaternary sea-level changes. *Quaternary Research*, 1993, 40: 368~379
- 8 李粹中. 南海深水海盆现代沉积作用的初步探讨. 海洋与湖沼, 1984, 15(1): 27~36
- 9 罗又郎, 劳焕年, 王淦漪. 南海东北部表层沉积物类型与粒度特征的初步研究. 热带海洋, 1985, 4(1): 33~41
- 10 韩舞鹰, 马克美. 南海东北部海区碳酸钙的饱和面、溶跃面和补偿深度. 热带海洋, 1988, 7(3): 84~89
- 11 陈木宏, 陈绍谋. 南海碳酸盐溶解与深海沉积物类型. 热带海洋, 1989, 8(3): 20~26
- 12 Calvert S E, Pedersen T F, Thunell R C. Geochemistry of the surface sediments of the Sulu and South China Seas. *Marine Geology*, 1993, 114 (3,4): 207~231
- 13 王慧中, 葛知潜. 南海晚第四纪碳酸盐的稀释旋回. 见: 业治铮, 汪品先主编. 南海晚第四纪古海洋学研究. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 1992. 283~294
- 14 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. 568~585
- 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), 上卷. 北京: 科学出版社, 1989. 142~150
- 16 Wang C H, 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 Science, Academic Sinica*, Taipei, 1986, 6: 185~195
- 17 Crowley T J. Calcium-carbonate preservation patterns in the central North Atlantic during the last 150 000 years. *Marine Geology*, 1983, 51(1,2): 1~14

LATE QUATERNARY CARBONATE CYCLES IN THE NANSHA ISLANDS AREA, SOUTH CHINA SEA

Wang Pinxian Bian Yunhua Jian Zhimin

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

Abstract

Stratigraphic and geographic variations of carbonate percentages in late Quaternary deposits of the Nansha Islands area, southern South China Sea, are discussed based on data from 17 sediment cores ranging from 200 to 2 800m in water depth. The revealed carbonate cycles of the Nansha Islands area all belong to so called "Atlantic type" with glacial lower and interglacial higher values, implying a controlling role played by the terrigenous input.

Geographically, the carbonate percentage in Holocene sediment of the Nansha area displays a nearly linear relationship with the latitudes of the sites, decreasing gradually from north (60%~70%) to south (<20%). During the glacial time, the carbonate content was generally lower than that in the Holocene whereas the gradient of its southward decline was increased. This is explained by the different nature of the two parts of the Nansha area: the northern part is stubbed with coral reefs, whereas the southern part is adjacent to the Sunda Shelf yielding great amounts of terrigenous clasts from the Paleo-Sunda River at the glacial low sea-level stand.

The carbonate content in sediments from the southern continental slope of the South China Sea is generally lower than that from the northern slope. This is caused by greater amounts of terrigenous input and the warm humid conditions of the tropical catchment basins of the southern slope, resulting in enhanced deep-water carbonate dissolution.

Key words Nansha Islands, carbonate sediments, terrigenous input, glacial cycles