

240ka 以来西赤道太平洋碳酸钙沉积特征及其古海洋学意义*

向 荣 阎 军

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

提要 利用采自西赤道太平洋 WP2 和 WP7 孔的柱状岩芯,对其 CaCO_3 含量、粗碎屑组分和浮游有孔虫动物群进行分析,并利用氧同位素曲线对比和 AMS^{14}C 数据相结合进行地层划分,从而对该区 240ka 以来的 CaCO_3 沉积特征进行研究。结果表明,WP2 孔和 WP7 孔的 CaCO_3 含量在变化趋势上具有较一致的特征。距今 240ka 以来, CaCO_3 含量变化整体上呈现冰期高、间冰期低的特征,与太平洋型 CaCO_3 旋回有相似的趋势。该区的 CaCO_3 含量的主要影响因素不是溶解作用,而是钙质生物生产率和冲淡作用。WP7 孔在 150—160cm 和 380—395cm 处分别存在两个 CaCO_3 含量的明显低值层位,分别对应大约距今 80ka 和 225ka,表明和该时期火山物质的冲淡有关。

关键词 西赤道太平洋 CaCO_3 沉积特征 冲淡作用

学科分类号 P56.3883

深海的 CaCO_3 沉积在第四纪呈明显的旋回性。世界大洋的 CaCO_3 旋回主要有两种类型:一种是冰期时 CaCO_3 含量高、间冰期含量低的太平洋型 CaCO_3 旋回;另一种是冰期时 CaCO_3 含量低、间冰期时含量高的大西洋型 CaCO_3 旋回。这两种类型的旋回在变化趋势上与冰期、间冰期变化的古气候旋回保持一致,表明了 CaCO_3 含量变化受气候变化的控制。对西太平洋边缘海的调查数据表明,该海域存在着上述两类 CaCO_3 旋回(阎军, 1989; 李铁钢等, 1994; 石学法等, 1995)。对于热带太平洋的 CaCO_3 旋回的控制因素至今仍存在争论,有着两种不同观点:一种认为冰期时表层海面海水生产力高,使得钙质生物骨架向洋底的供应加强的“生产力模式”(Arrhenius, 1952, 1988);另一种认为太平洋水体中碳酸盐饱和度随冰期旋回发生变化而引起溶解作用强度相应波动的“溶解模式”(Bergner, 1973, 1992)。WP2 和 WP7 孔正处于边缘海与大洋的过渡区域,对该区 CaCO_3 沉积特征和其控制因素进行研究,有助于为热带太平洋的 CaCO_3 旋回机制提供依据。

1 材料和方法

WP2 和 WP7 孔柱状岩芯样品是由中国科学院海洋研究所的“科学一号”考察船采用重力活塞取样器分别于 1989 年和 1993 年采得。WP2 孔位于 $6^\circ 20.06' \text{N}$ 、 $126^\circ 20.74' \text{E}$, 长 213cm, 水深 1 580m; WP7 孔位于 $3^\circ 56' \text{S}$ 、 156°E , 长 460cm, 水深 1 800m(图 1)。

* 国家教委留学回国人员启动基金, 1996 年; 国家自然科学基金资助项目, 49736210 号, 向 荣, 男, 出生于 1972 年 7 月, 博士生, E-mail: Qyscxli@ms. qdio. ac. cn

收稿日期: 1998-10-11, 收修改稿日期: 1999-09-08

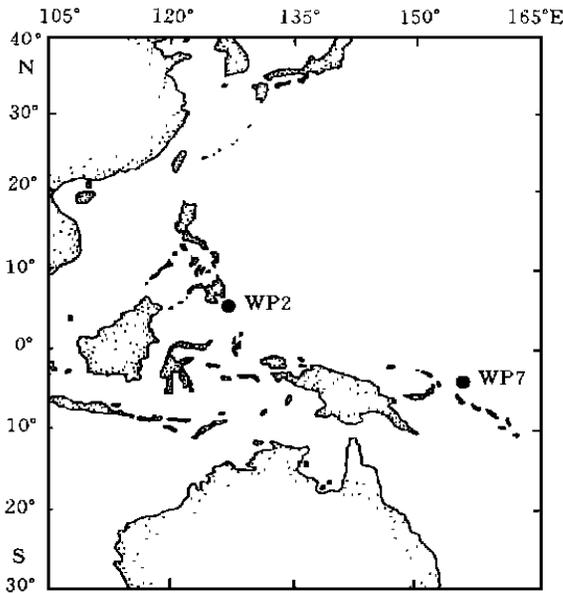


图1 WP2 和 WP7 孔站位图

Fig. 1 Locations of core WP2 and core WP7

为了获取高分辨率的地层和气候事件,样品按2.5cm的间距进行分割取样。对WP7孔进行了有孔虫分析,样品按标准的微体古生物学方法处理,取5g干样,用清水浸泡,过63 μ m的筛,对>63 μ m的粗碎屑组分进行干燥称重,计算粗碎屑百分含量,对其中大于150 μ m的组分中的有孔虫分种计数,进行定量分析,并对组分中的碎壳比、火山玻璃、硅质骨架和陆源碎屑含量进行了统计。WP7孔的有孔虫壳体稳定同位素组成 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 的测试在美国南卡罗莱纳大学(University of South Carolina)完成,分别由浮游有孔虫单种*Neogloboquadrina dutertrrei*、*Globigerinoides sacculifer*同步测得。 CaCO_3 百分含量以原子吸收法对沉积物碳酸盐中的Ca进行测定,最后将测定结果换

算成 CaCO_3 百分含量。对WP7孔进行的两个AMS ^{14}C 年代数据的测定,是由北京大学螺旋加速器质谱实验室完成的。

2 地层年代划分

WP7孔深度20—22.5cm和50—52.5cm处的AMS ^{14}C 年龄分别为11060 \pm 140a.B.P.和22420 \pm 290a.B.P.,用浮游有孔虫壳体测得。考虑到赤道太平洋表层海水和大气中的 ^{14}C 差异,对上述AMS ^{14}C 年龄作一个400a的校正(表1)。

表1 WP7孔的AMS ^{14}C 测年数据

Tab. 1 AMS ^{14}C ages of core WP7

样品深度(cm)	^{14}C 年龄(a)	误差(a)	校正年龄(a)
20—22.5	11060	\pm 140	10660
50—52.5	22420	\pm 290	21920

根据所测得的 $\delta^{18}\text{O}$ 曲线与标准化的氧同位素曲线进行对比(图2),按照Martison等(1987)的 $\delta^{18}\text{O}$ 地质年代表,并结合上述AMS ^{14}C 年代数据,对WP2和WP7孔进行了地层划分(表2)。从氧同位素曲线看,和标准化曲线变化基本一致,其中WP7孔所跨的地质年代较长,大约240Ka;WP2孔所跨地质年代相对较短,为末次冰期以来的沉积。在WP7孔,发现了粉红色红拟抱球虫*Globigerinoides ruber*(pink),该种在印度太平洋区的绝灭界线(未现面)是距今120ka的标志(Thompson et al, 1979),在WP7孔其未现面深度为200cm,年代与氧同位素地层年代基本一致。

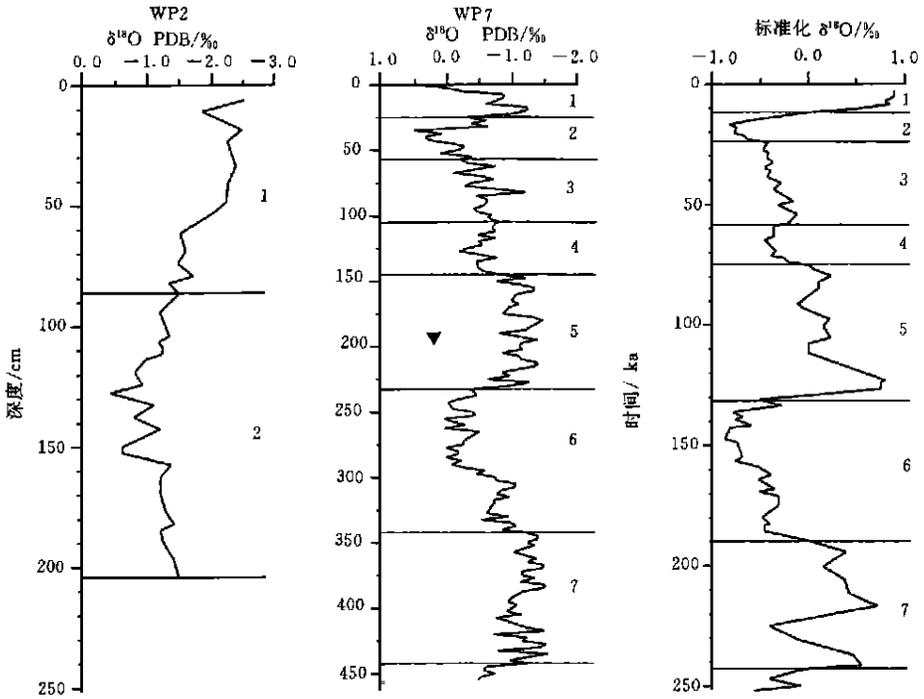


图 2 WP2、WP7 孔的 $\delta^{18}\text{O}$ 曲线和标准化的 $\delta^{18}\text{O}$ 曲线对比

Fig. 2 Comparison of oxygen isotope curves between core WP2, core WP7 and standardized curve
WP2 孔的 $\delta^{18}\text{O}$ 曲线据 Thunell 等 (1994), 标准化 $\delta^{18}\text{O}$ 曲线据 Martison 等 (1987) 所绘, 图中的数字为对应的氧同位素期, ▼ 为粉红色红拟抱球虫的绝灭界线

表 2 WP2 和 WP7 孔的氧同位素地层

Tab. 2 Oxygen isotope stratigraphy of core WP2 and core WP7

氧同位素期	底界年龄 ¹⁾ (a)	柱状样深度 (cm)	
		WP2	WP7
1	12 050 ± 3 140	86.5	25
2	24 110 ± 4 930	204.5	57.5
3	58 960 ± 5 560		105
4	73 910 ± 2 590		145
5	129 840 ± 3 050		232.5
6	189 610 ± 2 310		342.5
7	244 180 ± 7 110		422.5

1) 据 Martison 等 (1987) $\delta^{18}\text{O}$ 地质年表

3 CaCO_3 沉积特征及其古海洋学意义

从 CaCO_3 含量变化曲线 (图 3) 可以看出 WP7 孔的 CaCO_3 含量总体较高, 除氧同位素 7 期的含量较低外 (平均 43.2%), 其它各期含量都在 50% 以上 (表 3), 为正常的大洋有孔虫软泥沉积, 其 CaCO_3 含量变化整体上呈冰期高、间冰期低, 与太平洋旋回有相似的趋势。氧同位素第 6 期和末次冰期的 CaCO_3 百分含量相对较高, 其平均含量分别为 55% 和 55.5%; 而氧同位素 7 期、5 期和全新世冰后期的 CaCO_3 百分含量相对较低, 平均含量

分别为 43.2%、53.2% 和 52%。WP2 孔的 CaCO_3 含量总体较低, 具有明显的边缘海沉积特性, 其冰期和全新世的 CaCO_3 平均百分含量大致相当, 均为 14.4% (表 3), 在冰消期阶段含量相对较高, 与 WP7 孔的变化特征基本一致, 但与南海和苏禄海的“大西洋型旋回”有明显的差异(李铁钢等, 1994)。

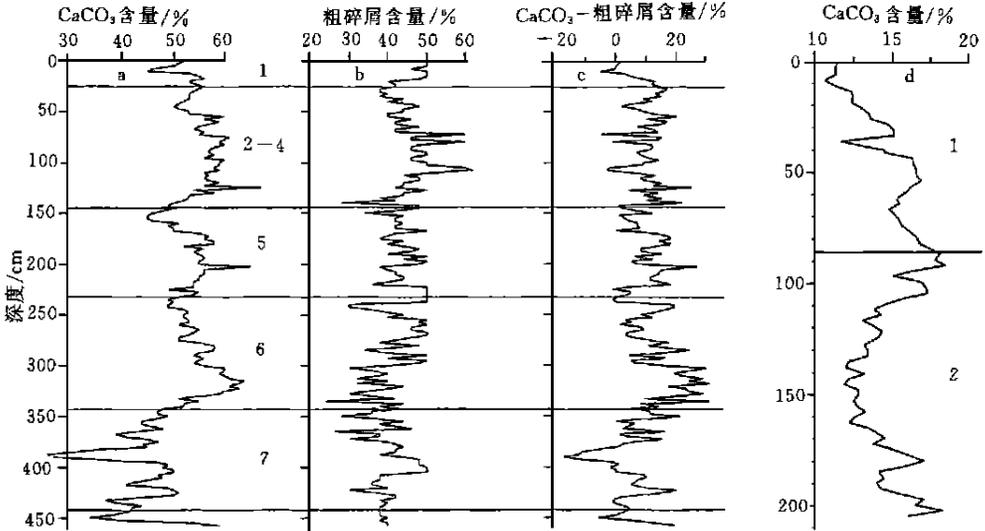


图3 WP2 和 WP7 孔的 CaCO_3 含量 (%) 及粗碎屑组分 ($> 63\mu\text{m}$) 变化曲线

Fig. 3 Variations in CaCO_3 (%) and coarse fraction ($> 63\mu\text{m}$) in core WP2 and core WP7

a. WP7 孔 CaCO_3 含量 (%); b. WP7 孔粗碎屑组分 ($> 63\mu\text{m}$); c. WP7 孔 CaCO_3 含量 (%)

与粗碎屑组分 (%) 的差值; d. WP2 孔 CaCO_3 含量 (%). 图中的数字表示氧同位素期

决定海洋中 CaCO_3 含量变化的因素主要有: 海水中碳酸盐饱和度波动而引起的溶解作用的变化; 非钙质生物的稀释作用; 含钙质骨架的生物生产力越高, 其 CaCO_3 含量也越高。针对热带太平洋存在的“生产力模式”和“溶解模式”之争, 下面对上述 3 种因素分别进行讨论。

3.1 溶解作用

用以表示深海沉积物中 CaCO_3 溶解程度的标志主要有: (1) 以壳体的保存状况作标志。根据浮游有孔虫中破碎壳的比例, 或者完整壳的比例, 都可以表示溶解程度。破碎壳越多, 表示溶解程度越大。(2) 不同种类壳体比例作标志。Berger(1979) 将现代 37 种浮游有孔虫按抗溶程度分为 7 个等级, 并用 $FDX = \frac{\sum(RP_i)}{\sum P_i}$ 公式求取浮游有孔虫溶解指数。式中 R_i 为第 i 种的抗溶等级, P_i 为第 i 种所占百分比。当抗溶种越丰富时, 溶解指数越高, 反映的溶解程度也越深。此外, 底栖有孔虫一般较抗溶, 根据底栖有孔虫与浮游有孔虫的比值也可以反映溶解作用的程度。

对 WP7 孔的上述 3 项指数分别进行了统计计算(图 4)。从浮游有孔虫的碎壳比(图 4a) (破碎壳与全体壳的比值) 反映出溶解作用存在间冰期逐渐增大、冰期逐渐减少的趋势, 其中 6 氧同位素期早期和 5、4 期的溶解作用相对较强。FDX(图 4b) 反映出的溶解在

表 3 WP2 和 WP7 孔的沉积速率分期表

Tab 3 Sedimentation rates of core WP2 and core WP7

柱状样号	氧同位素期	持续时间 (a)	沉积厚度 (cm)	沉积速率 (cm/ka)	各期平均 CaCO ₃ 含量 (%)	CaCO ₃ 沉积速率 (cm/ka)	非 CaCO ₃ 沉积速率 (cm/ka)
WP2	1	12 050	86.5	7.18	14.4	1.03	6.15
	2	12 060	118	9.78	14.4	1.41	8.37
WP7	1	12 050	25	2.07	52	1.08	0.99
	2	12 060	32.5	2.69	53.4	1.44	1.25
	3	34 850	47.5	16.3	57.8	0.79	0.57
	4	14 950	40	2.68	55.4	1.48	1.20
	5	55 930	87.5	1.56	53.2	0.83	0.73
	6	59 770	110	1.84	55	1.01	0.83
	7	54 570	100	1.83	43.2	0.79	1.04

氧同位素 5、4、3 期相对较高, 与碎壳比有一定差异, 可能是由于浮游有孔虫动物群属种组合本身受生态因素影响所致(卞云华等, 1992)。从碎壳比和 *FDX* 的阈值看, 碎壳比为 0.1—0.5, *FDX* 为 4—5, 整体上值较低, 反映的溶解作用较弱, 与该孔的水深 1 800m、位于该区的溶跃面 3 500m 之上、溶解程度较小相符。从底栖有孔虫与浮游有孔虫比值(图 4d)也反映出溶解作用在氧同位素 6、5、4 期相对较高。但总的来看, 这 3 项指数与 CaCO₃ 含量都没有明显相关, 表明溶解作用不是控制该区 CaCO₃ 含量变化的主要因素。此外, 在浮游有孔虫 *G. menardii* 的百分含量曲线(图 4c)变化趋势上与碎壳比反映的溶解变化有较好的一致, 似乎表明 *G. menardii* 的百分含量与溶解度有内在相关性。

3.2 冲淡作用

非钙质壳体的冲淡作用, 又可以分陆源碎屑物质、火山碎屑物质和硅质生物壳体冲淡 3 类。从 WP7 孔粗碎屑百分含量看(图 2), 与 CaCO₃ 含量无明显相关性, 表明可能受到非钙质壳体冲淡作用的影响。对 WP7 孔样品中大于 150 μ m 组分中的有孔虫碎壳比、火山玻璃、硅质骨架和陆源碎屑分别进行了统计(图 4a、e、f)。从图 4a、e、f 可以看出, 火山物质主要为火山玻璃, 无色、透明, 呈丝绢光泽或玻璃光泽, 尖角碎片状, 少数呈束状, 在 150—160cm 和 380—395cm 层位分别有两个明显的峰值。陆源碎屑主要为石英颗粒, 在 260—280cm 处和氧同位素第 7 期含量相对较高。硅质生物骨架主要为一些放射虫和海绵骨针, 含量较少, 在 280cm 处和末次冰期以及氧同位素 7 期中出现了几个较小的峰。

总的看来, 火山玻璃的冲淡作用影响较大, 它的两个峰值分别对应于该层位的 CaCO₃ 含量的低峰。根据氧同位素年代划分, 大约在距今 80ka 和 225ka, 表明该时期周边火山活动较活跃。同时, 氧同位素 7 期的陆源物质影响较强, 与该期的 CaCO₃ 含量低值相符, 表明该期的 CaCO₃ 含量整体低值主要由冲淡作用控制。

从沉积速率反映出的数字来看, 氧同位素第 1 期和第 7 期的沉积速率分别为 2.07cm/ka 和 1.83cm/ka, 比其它同位素期的沉积速率要高, 表明了冲淡作用的影响。但氧同位素第 1 期的非钙质碎屑统计却没有反映出上述结果, 可能该期冲淡主要为细粒陆源物质的影响。此外, 从 CaCO₃ 含量与 > 63 μ m 粗碎屑组分的差值似乎也可以反映冲淡作用的影响(图 3c)。因为正常大洋主要为碳酸钙和粘土沉积, 一般情况下粗粒组分主要

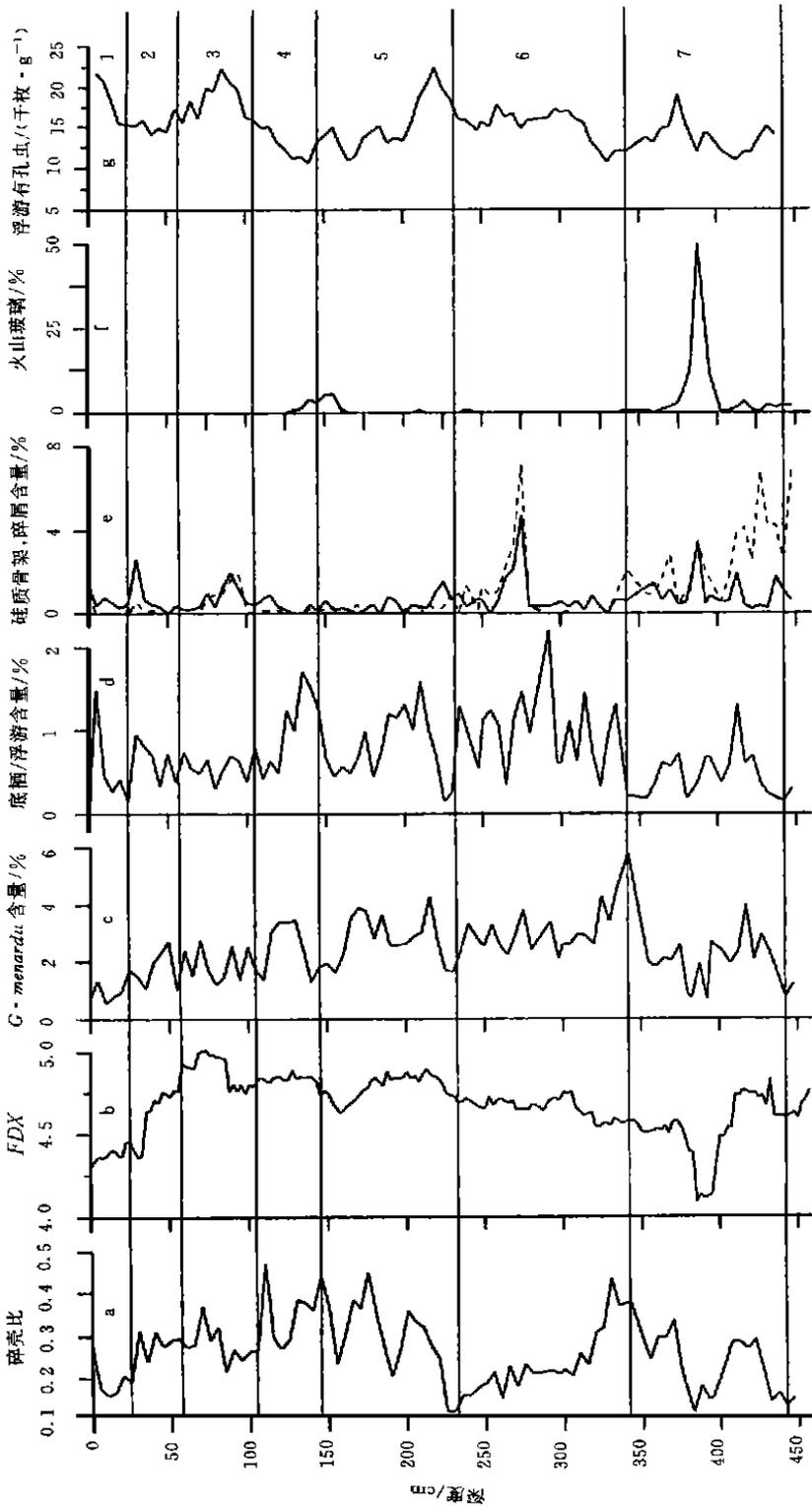


图 4 WP7 孔有孔虫反映的几项指标

Fig. 4 Foraminifera indices of core WP7

a. WP7 孔碎壳比[破碎壳/(破碎壳+完整壳)]; b. 溶解指数 FDX; c. *G. menardii* 百分含量; d. 底栖/浮游有孔虫 < 100%; e. 硅质骨架与浮游有孔虫百分比(实线); 碎屑与浮游有孔虫百分比(虚线); f. 火山玻璃与浮游有孔虫完整壳数(三点平滑曲线)。图中的数字表示氧同位素期

为有孔虫壳体, 差值为正值, 当有大量非钙质壳体沉积时, 差值变为负, 表明有非钙质物质的冲淡影响, 从该差值曲线看, 与其它方法所得结果基本一致。

WP2 孔位于苏拉威西海, 非 CaCO_3 沉积速率在冰期和冰后期都较高, 分别为 8.37cm/ka 和 6.15cm/ka (表 3), 与 WP7 孔相比, 沉积速率明显偏高, 表明 WP2 孔的边缘海特性要强于 WP7 孔。它主要受陆源碎屑物质冲淡影响, 因此, 冰期和冰后期的 CaCO_3 含量都较低。对于末次冰消期阶段出现的 CaCO_3 含量相对高值, 可能与该阶段的 CaCO_3 保存较好有关。Min Te Chen 等 (1997) 对南海 25ka 以来的碳酸盐保存研究表明, 从 25ka 到终末期 I (~ 12ka), 碳酸盐保存逐渐增大, 并在 12ka 左右达到最大, 从终末期 I 进入全新世, 又逐渐变至最小 (Min Te Chen *et al.*, 1997)。

3.3 钙质生物生产力

深海 CaCO_3 沉积的源是钙质生物壳体, 因此, 钙质生物生产力的变化对深海 CaCO_3 含量有直接的影响。而钙质生物主要为有孔虫和钙质超微化石, 利用有孔虫化石群丰度在某种程度上可以反映出钙质生物的生产力变化。从 WP7 孔的浮游有孔虫丰度 (图 4g) 上看与 CaCO_3 含量变化有较一致的特征, 基本上表现为冰期高、间冰期低的特征, 表明了钙质生物生产力对 CaCO_3 含量有一定影响。但同时由于样品中的浮游有孔虫动物群本身已经受到了溶解和冲淡作用的影响, 因此并不能完全反映出钙质生物生产力的变化, 对于能否找到一种真正能反映出钙质生物生产力变化的指标, 有待于进一步研究。

4 结论

4.1 WP2 和 WP7 孔的 CaCO_3 沉积特征较一致, 在末次冰消期含量高, 与碳酸盐的保存峰相对应, 而在末次冰盛期和全新世则较低, 与陆源物质的冲淡有关。体现该区具有边缘海的性质, 仍受陆源物质的冲淡影响, 其中 WP2 孔受陆源影响要强于 WP7 孔。

4.2 该区的碳酸钙含量整体上呈现出冰期高、间冰期低的特征, 与太平洋旋回较相似, 但氧同位素第 7 期含量显著偏低。研究表明, 控制该区 CaCO_3 含量变化的主要因素不是溶解作用, 而是钙质生物生产力和冲淡作用的共同影响, 研究结果倾向于 Arrhenius (1952, 1988) 的“生产力模式”。

4.3 WP7 孔在 150—160cm 和氧同位素 7 期中的 380—395cm 处分别存在两个 CaCO_3 含量低值事件, 研究表明与该时期火山玻璃的冲淡有关。

致谢 本文在完成过程中得到了苍树溪研究员和李铁钢博士的指导和帮助, 谨致谢忱。

参 考 文 献

- 卞云华, 汪品先, 郑连福, 1992. 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, 261—273
- 石学法, 陈丽蓉, 1995. 西菲律宾海晚第四纪沉积地球化学特征. 海洋与湖沼, 26(2): 124—131
- 李铁钢, 薛胜吉, 1994. 全新世/冰期西赤道太平洋边缘海碳酸钙沉积旋回及其古海洋学意义. 海洋地质与第四纪地质, 14(4): 25—32
- 阎 军, 1989. 西太平洋陆缘海沉积物中碳酸钙旋回. 海洋科学, 5: 28—32
- Arrhenius G O S, 1952. Sediment cores from the east Pacific. Rep Swed Deep Sea Exp, 5: 1—288
- Arrhenius G O S, 1988. Rate of production, dissolution and accumulation of biogenic solids in the ocean. Palaeogeogr.

Palaeoclimatol Palaeoecol, 67: 119—146

Berger W H, 1973. Deep-sea carbonates: Pleistocene dissolution cycles. J Foram Res, 3: 187—195

Berger W H, 1979. Preservation of foraminifera. Foraminiferal Ecology and paleoecology, SEPM short courses, 6: 105—155

Berger W H, 1992. Pacific Carbonate Cycles Revisited: Arguments for and Against Productivity Control. In: K. Ishizaki and T. Saito (ed) Centenary of Japanese Micropaleontology. Tokyo: Terra, 15—25

Martinson D G, Pisias N G, Hay J D *et al*, 1987. Age dating and the orbital theory of the ice ages: development of a high resolution 0 to 300 000 year chronostratigraphy. Quaternary Research, 27: 1—29

Min-Te Chen, Chi Yue Huang, Kuang-Yen Wei, 1997. 25 000-year late Quaternary records of carbonate preservation in the South China Sea. Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol, 129: 155—169

Thompson P R, Be W H A, Duplessy J C *et al*, 1979. Disappearance of pink pigmented *Globigerina ruber* at 120 000 yr B.P. in the Indian and Pacific Oceans. Nature, 280: 554—558

Thunell R, Anderson D, Gellar D *et al*, 1994. Sea surface temperature estimates for the tropical Western Pacific during the last glaciation and their implications for the Pacific Warm Pool. Quaternary Research, 41: 255—264

CALCIUM CARBONATE DEPOSITIONAL CHARACTERISTICS AND THEIR PALEOCEANOGRAPHIC IMPLICATION IN THE WESTERN EQUATORIAL PACIFIC DURING THE PAST 240ka

XIANG Rong, YAN Jun

(*Institute of Oceanology, The Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071*)

Abstract Two deep sea cores (WP2: 6°20.06' N, 126°20.74' E, water depth 1 580m; and WP7: 3°56' S, 156° E, water depth 1 800m) from the Western Equatorial Pacific were selected to study the carbonate depositional characteristic and their paleoceanographic implications during the past 240ka in this region. Calcium carbonate, coarse fraction and planktonic foraminifera have been analysed and we use oxygen isotope combine AMS¹⁴C data to control the stratigraphy. The variations in carbonate contents have similar characteristics which show high carbonate contents during deglaciation and low values during last glacial maximum and Holocene in the two cores. As a whole, high carbonate contents during glacial and low carbonate contents during interglacial are present; this has the same tendency with the “Pacific Carbonate Cycle” during the past 240ka. The study shows that productivity of calcareous organism and dilution other than dissolution was the main factor controlling the changes in carbonate content. Based upon the study we also found two apparent low carbonate contents layers at core depth 150—160cm and 380—395cm of core WP7 respectively, which are probably related to volcanic activities occurred about 80ka B.P. and 225ka B.P. in this region.

Key words Western Equatorial Pacific CaCO₃ depositional characteristic Dilution dissolution

Subject classification number P56.3883