

中太平洋西部沉积物中有孔虫 和碳酸钙的初步研究

高建西 吕成功 刘彬昌 李文勤 白叶龙*

(国家海洋局第一海洋研究所)

1978年12月到1979年7月,我所在参加联合国组织的“全球大气试验”过程中,对中太平洋西部洋区进行了底质调查,共取得10个表层样和2个柱状岩芯,其站位见图1.

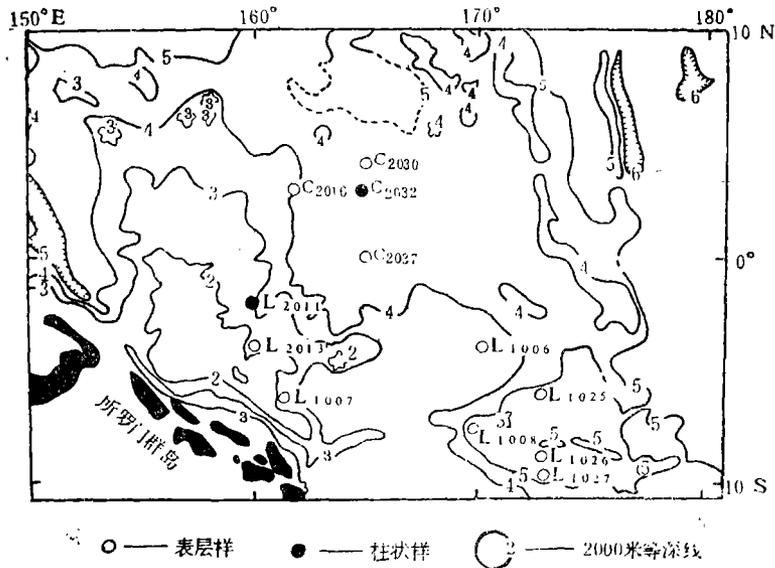


图1 站位图

柱状样取样间距为10厘米。有孔虫分析均取5克干样,用120目标标准筛冲洗分离,进行镜下鉴定和定量统计。碳酸钙分析,表层样分两部分:一部分在80°C温度下烘干,磨细后过100目筛析成 $>250\mu$ 、 $250-45\mu$ 和 $<45\mu$ 三种粒级,另部分烘干后磨细过100目筛做全样分析。按照国家海洋局制订的《海洋调查规范》中碳酸钙的容量法,分别进行全样和不同粒级中 CaCO_3 的测定。

本文1980年9月11日收到,1981年10月17日收到修改稿。

* 苏群、张惠芬同志参加了资料整理和绘图。

一、表层沉积物中有孔虫和碳酸钙的分布特征

根据表层沉积物中有孔虫和碳酸钙的分析结果，将调查区划分为 I、II、III 三个不同的沉积区。各区的沉积特点详见表 1。

从表 1 可知：(1) 浮游有孔虫和 CaCO_3 的各主要参数都随着水深的增加发生明显的变化。(2) 在三个沉积区中，I 区为浮游有孔虫和碳酸钙的富集区，II 区为浮游有孔虫和碳酸钙的溶解区，III 区为非有孔虫的沉积及碳酸钙低含量区。(3) 3,500 米和 5,000 米是本调查区划分不同沉积区的重要水深界限。

二、溶跃面和碳酸钙的补偿深度

溶跃面和碳酸钙的补偿深度是大洋水体中两条重要的水深界限。确定它们的水深位置，对于大洋沉积类型的划分和研究，具有十分重要的意义。

(一) 溶跃面的确定

溶跃面是指 CaCO_3 开始大量溶解时的水深。对浮游有孔虫来说，其壳体通过溶跃面时，溶解速度迅速增高。Berger 就特别强调这一溶解作用的突变性。

根据初步工作，我们认为浮游有孔虫通过溶跃面时应具有如下的变化：1. 有孔虫属种组分及个体总数突然减少。2. 浮游有孔虫抗溶性种丰度值变化突然增高，而易溶性种丰度值突然减少（见图 2）。3. 浮游有孔虫壳体破碎量（重量百分比）突然增高（见图 3），破碎方式以化学（溶蚀）破碎为主。4. 浮游有孔虫溶解指数¹⁾突然增大，本区突变值为 0.5（见图 4）。

根据上述有孔虫特征，确定本海区溶跃面的深度为 3,500 米左右。

(二) 碳酸钙的补偿深度

CaCO_3 的补偿深度是指大洋水体中 CaCO_3 的供给速度与溶解速度达到平衡

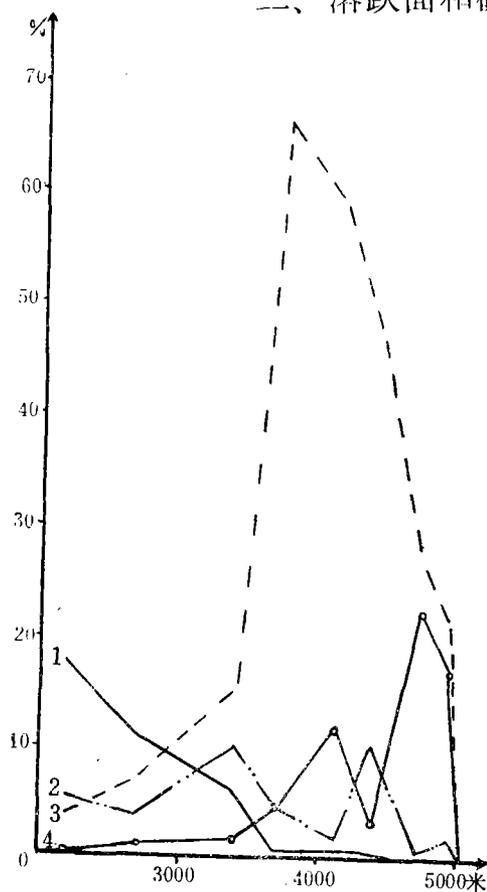


图 2 几个特征性浮游有孔虫种的丰度值随水深的变化曲线

1—*Globigerinoides rubra*, 2—*Hastigerina aequilateralis*, 3—*Pulleniatina obliquiloculata*, 4—*Globorotalia tumida*.

1) 溶解指数是根据公式: $S = \sum(p_i \times r_i)$ 计算的 [2]。

表 1 表层沉积物中有孔虫和碳酸钙的分布特征

区划及 水深范围	站号	CaCO ₃ % (平均值)			有孔虫 底栖类/浮游类	主要组 分变化				
		全样	不同粒级							
			>250μ	250—45μ			<45μ			
I 区 3,500 5,000 米	L1006					<i>Globigerinoides rubra</i> (d'Orbigny), <i>G. sacculifera</i> (Brady), <i>Hastigerina aequilateralis</i> (Brady), <i>Pullentatina obliquiloculata</i> (Parker & Jones), <i>Globigerinita glutinata</i> (Eggere), <i>Globoquadrina dutertrei</i> (d'Orbigny), <i>Globigerinoides conglobata</i> (Brady), <i>Globigerina bulloides</i> (d'Orbigny), <i>Globorotalia menardii</i> (d'Orbigny), <i>G. tumida</i> (Brady), <i>Sphaeroidinella dehiszens</i> (Parker & Jones), <i>Globigerina calida</i> (Parker),				
	L1007	86.05	96.40	84.74	83.23		17370.6	0.27	13.20	0.004
	L2011									
	L2013									
II 区 3,500 5,000 米	L1008									<i>Globorotalia menardii</i> (d'Orbigny), <i>Globoquadrina dutertrei</i> (d'Orbigny), <i>Pullentatina obliquiloculata</i> (Parker & Jones), <i>Globorotalia tumida</i> (Brady), <i>G. crassaformis</i> (Galloway & Wissler), <i>Sphaeroidinella dehiszens</i> (Parker & Jones).
	C2016									
	C2030	64.68	89.65	72.12	59.80	1273.6	0.96	76.29	0.193	
	C2032									
	C2037									
III 区 >5,000 米	L1025									无
	L1026	4.70		5.86	4.90					
	L1027									

注: 1. L2011 站和 C2032 站的 CaCO₃ 只作了全样分析 (两站均属柱状表层样)。

2. L1007 站未进行有孔虫分析。

3. III 区中 >250μ 粒级的沉积物数量很少, 未能进行 CaCO₃ 的分析。

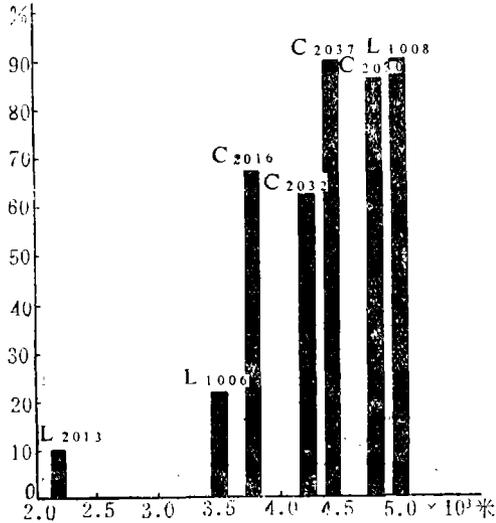


图3 破碎壳含量 (重量百分比) 随水深的变化

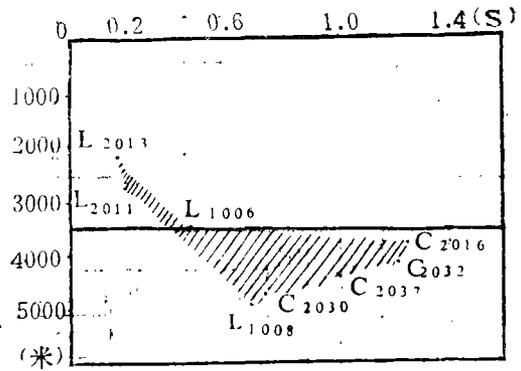


图4 浮游有孔虫溶解指数(S)随水深的变化

时的水深分界^[1]。目前确定碳酸钙补偿深度的意见尚未取得一致，多数人将碳酸钙含量10%作为确定此界限的标准。根据我们的分析结果，在5,000米水深以下，其沉积特点是：沉积物中CaCO₃的含量均在5%以下。浮游有孔虫壳体几乎全部消失或仅残存个别强抗溶性壳体碎片，而放射虫则占主要成分，属于非有孔虫沉积区类型，因此确定本海区CaCO₃补偿深度为5,000米左右。

三、古气候的演变

(一) 浮游有孔虫丰度值与古气候的关系

浮游有孔虫丰度值，特别是某些指温种丰度值及溶解指数随时间变化是显示古气候阶段性变化的极好参数。

从图5可看出，几个指温种丰度值曲线显示出阶段性变化的界限。在X、V层内，以*G.menardii*为代表的指温种含量比较丰富，而Y、W层内，其含量较少，根据统计数据列表如下(见表2)：

表2中的I表示了在不同气候期中有孔虫指温种丰度值的变化。*G.menardii*在X、V层中>2，而在Y、W层中则<2。*P.obliquiloculata*在X、V层中>8，而在Y、W层中<7。*G.sacculifera*在X、V层中>4，而在Y、W层中则<4。总之，指温种的丰度值在X、V层中高于Y、W层。

Schott, Cushman, Parker, Ericson等人^[6]研究了深海沉积岩芯中的浮游有孔虫，

表 2 不同气候期中浮游有孔虫丰度值及溶解指数

种类	参数 \ 气候期	Z	Y	X	W	V
		暖	冷	暖	冷	暖
I	<i>G. menardii</i>	—	0.97	2.41	1.88	3.07
	<i>P. obliquiloculata</i>	—	6.67	10.69	4.67	8.04
	<i>G. sacculifera</i>	—	2.24	4.0	3.97	8.05
I	<i>G. rubra</i>	—	5.48	2.19	4.41	4.03
I	溶解指数	—	0.20	0.30	0.24	0.34

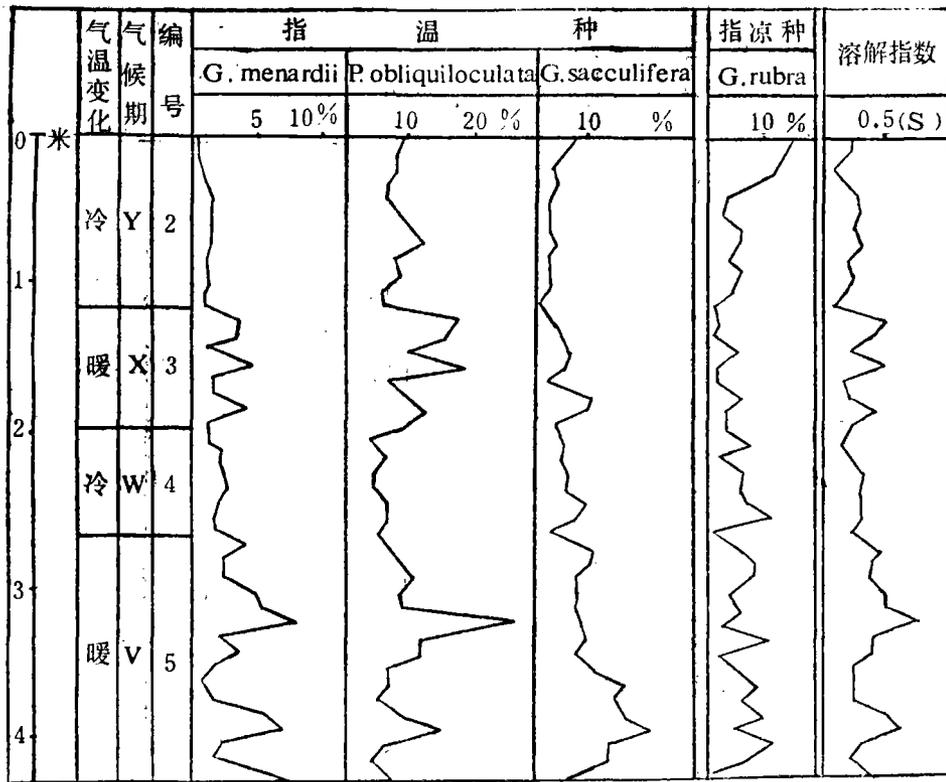


图 5 浮游有孔虫丰度值及溶解指数变化曲线

指出对温度变化敏感的 *G. menardii* 种比较丰富。他们认为在存在 *G. menardii* 的地区内，其丰度值的变化是晚更新世气候变化的结果。Schott 提出，*G. menardii* 集合体 (*G. menardii* complex) 是气候最灵敏和最可靠的标志。他们论述并证明了 *G. menardii* 丰度值变化与古气候变化的关系是十分密切的。

Be 和 Tolderlund (1971) 在研究大洋浮游有孔虫时，按照各个属种对温度的适应能力，划分了 5 个主要的动物“省”^[4]，在热带“省” (tropical province) 生活的浮游有孔虫

有 14 个种, 1 个亚种, 其中 *G.menardii*、*P.obliquiloculata*、*G.sacculifera* 等, 都是指温性较强的热带优势种。根据它们的指温性, 我们认为其丰度值高代表间冰期古气候, 而丰度值低则代表冰期古气候。因此, X、V 层代表温暖的古气候, 而 Y、W 层代表较冷的古气候。

关于 *G.sacculifera* 一种的指温性, 在 Ericson 的文章中没有提到, 但 Bé 和 Tolderlund (1971) 把它放在热带“省”中, 是热带的绝对优势种。在本站中其含量非常丰富, 是优势种之一。根据计算 *G.sacculifera* 的丰度值随时间变化的阶段性也比较明显, 因此我们认为在恢复古气候中, 可以把它看作指温种。同时它又是易溶种, 只有在溶跃面以上的海域内使用它才是有效的。因此, 作为指温种在使用意义上, 它不如 *G.menardii* 等抗溶种那样广泛。

(二) 易溶种丰度值变化与古气候的关系

由表 2 中的 I 可知, 在 Y、W 层中易溶种 *G.rubra* 的丰度值分别为 5.48 和 4.41, 而在 X、V 层中则依次为 2.19 和 4.03。说明 *G.rubra* 在 Y、W 层中比在 X、V 层中含量丰富, 这种变化趋势恰好与上述指温种变化相反。因此对易溶种 *G.rubra* 说来, 丰度值低的 X、V 层反映的古气候比丰度值高的 Y、W 层更暖些。

Bé 和 Tolderlund 等人^[4]把 *G.rubra* 一种放在亚热带“省”(subtropical province) 中, 说明它是指凉的温带种。在本站中, 它的丰度值变化与指温的热带种相反, 这证明在同一个气候期中, 不同指温种向着各个适宜的方向发展, 表现出顺者昌、逆者衰的不同结果。因此, 在暖期中是指温种的丰度值高, 指凉种的丰度值低; 反之亦然。这不但说明不同属种的指温性差异, 而且也是不同气候条件下, 海水的溶解作用对于有孔虫(易溶种、抗溶种)产生不同反映。

总之, 从图 5 中可看出, 上述有孔虫各种属的丰度值在各个气候期中呈现了规律性的变化, 它们为恢复古气候提供了依据。

(三) 溶解指数与古气候的关系

浮游有孔虫生活于大洋的表层水或近表层水中, 死亡之后壳体将逐渐沉到海底。

大洋水体对浮游有孔虫有一定的溶解作用, 从表层沉积物中浮游有孔虫溶解指数计算结果, 说明这种溶解作用随水深的增加而加大。海水对那些壳壁薄、具刺、多孔型的易溶种的溶解作用比壳壁厚、无刺、光滑的无孔型抗溶种明显得多。

由此看来, 溶解指数的大小主要是通过易溶种被溶解的多少表现出来的。溶解指数越大, 易溶种溶解的越快, 抗溶种相应溶解的就慢, 即抗溶种的相对含量增加。

在同一个岩芯中, 溶解指数随时间的变化与上述指温种丰度值的变化是一致的, 同样是冰期、间冰期交替的反映。因此, 溶解指数大, 代表间冰期古气候; 反之, 代表冰期古气候。

(四) 与氧同位素 $\delta^{18}\text{O}$ 的古温度曲线比较

由上述几种参数随时间的变化得出 4 米多岩芯的沉积经历了 5 个气候期 (其中 Z 期缺失), 除顶部外, 浮游有孔虫丰度值曲线与氧同位素 $\delta^{18}\text{O}$ 的古温度曲线变化是一致的 (见图 6)。

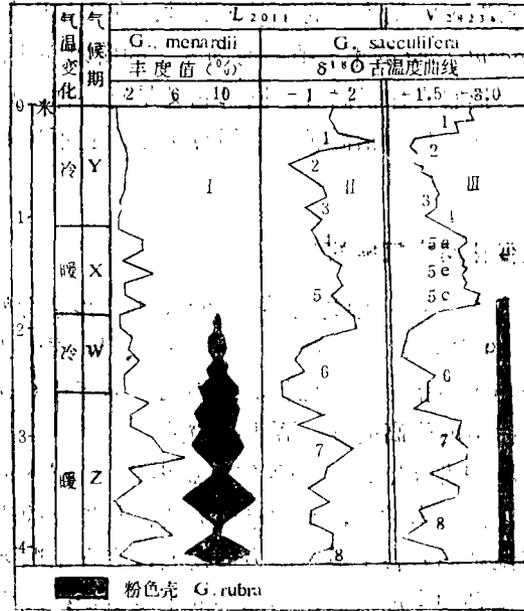


图 6 *G. menardii* 丰度值与 $\delta^{18}\text{O}$ 温度曲线比较

表 3 *G. menardii* 丰度值曲线与 $\delta^{18}\text{O}$ 古温度曲线的比较

<i>G. menardii</i> (丰度值)	气候分期	(Z)	Y	X	W	V
<i>G. sacculifera</i> ($\delta^{18}\text{O}$)	区 间 值	缺 失	1-4	5	6	7-8
			1.56	1.82	1.32	1.57

在图 6 中, II 是本站用浮游有孔虫 (袋状拟抱球虫) *G. sacculifera* 的壳体测定的 $\delta^{18}\text{O}$ 古温度曲线¹⁾, I 是指温种 *G. menardii* 的丰度值曲线, 二者的对应关系见表 3。

从对比中可知, 利用指温种的丰度值曲线划分的古气候期与 $\delta^{18}\text{O}$ 古温度曲线反映的冷暖变化相一致, 这说明指温种丰度值的变化是冷暖气候阶段性交替变化的结果。

四、沉积岩芯的对比及其年代

上述浮游有孔虫丰度值与古气候变化的密切关系, 进一步说明了浮游有孔虫丰度值的

1) 由我所同北京大学合作测定的 L2011 站的氧同位素曲线。

变化是古气候变化的结果。在图 5 中, 几个指温种的丰度值在岩芯的 110 厘米、190 厘米和 260 厘米处发生了明显的转折, 是全球性古气候变化的自然分界, 也是重要的地质界线。

(一) 根据粉色壳的 *G. rubra* 确定年代

Bronnimann 和 Resig 等人^[5]在赤道太平洋更新世地层中, Jenking 和 Orr 在东赤道太平洋上新世和更新世地层中^[6]发现了粉色壳 *G. rubra*。在太平洋和印度洋粉色壳的 *G. rubra* 绝灭于更新世或更老的地层。一般认为绝灭于 120,000 年前, 这为地层对比提供了主要依据。

在太平洋中, 选取靠近 L₂₀₁₁ 站的 V₂₈₋₂₃₈ 站进行 *G. rubra* 出现的层位深度和年代比较 (见表 4)。由表 4 可知, 粉色壳 *G. rubra* 在岩芯中出露的顶界深度比较接近, 而且又都绝灭于冷期(W)之末或暖期(X)之初 (见图 6), 这恰好处于全球性气候变动之际。由此看来, 其绝灭的时代应基本一致。故此把本站粉色壳 *G. rubra* 的绝灭时间也归于 120,000 年前。

表 4 *G. rubra* 出现的深度和年代

洋 区	站 号	岩芯长度 (米)	水深 (米)	出露顶界 (米)	距今年令 (年)
太平洋	V28—238	16.09	3.100	2.01—2.02	119.750±1200
太平洋	L2011	4.20	2.705	1.9	?

(二) 岩芯对比

本站岩芯几乎均为浮游有孔虫软泥。根据以 *G. menardii* (d'orbigny) 为代表的浮游有孔虫丰度值曲线分析, 得出 4.2 米长的岩芯经历的古气候演变过程, 完全可以和 Ericsson 等^[3]获得的深海岩芯的古气候曲线相对比 (如图 7)。

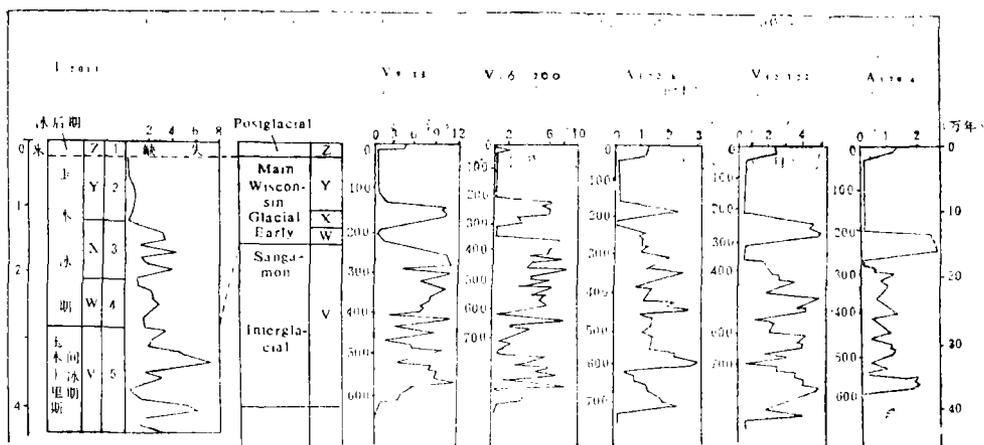


图 7 岩芯对比图

从图 7 中可看出, 本站共分 5 层, 其中第 1 层 (Z 期) 缺失, 其余 2、3、4、5 层分别相当于 Y、X、W、V 期的沉积, 第 5 层相当于 V 期的一部分, 其底界相当于 V 期 (距今 30 万年左右) 的沉积层, 所以本站 4.2 米长的岩芯下限大约为距今 300,000 年。

五、几点看法

1. 在表层沉积物中, 随着水深的增加每克干样中有孔虫壳体数逐渐减少, 壳体数的破碎量增加, 易溶种减少, 抗溶种增加, 底栖有孔虫和浮游有孔虫的比值也增加。水深大于 5,000 米的海区, 浮游有孔虫壳体几乎全部消失。

表层沉积物 CaCO_3 的含量随着水深的增加而减少, 在水深 5,000 米以下, 其含量低于 5%。

2. 本区溶跃面位于水深 3,500 米左右, CaCO_3 补偿深度为 5,000 米左右。

3. 根据浮游有孔虫和溶解指数随时间的变化, 初步探讨了古气候的演变规律, 划分了 Z、Y、X、W、V 五个气候期, 其中 Z 期缺失, X、V 为暖期, Y、W 为冷期。

4. 初步确定了 4.2 米岩芯的下限年龄大约为 300,000 年。

5. 关于“Z”期的缺失问题: 从图 7 看出, 本站缺失“Z”期即冰后期沉积。这是由于第一, 指温种丰度值的变化是在暖期高、冷期低, 而指凉种丰度值的变化则正相反。但本站的表层沉积物中, 指温种丰度值低, 指凉种丰度值高。第二, 溶解指数变化的总规律是暖期高、冷期低, 而本站表层沉积物的计算结果是低的。因此, 我们认为本站缺失“Z”期沉积。

参 考 文 献

- (1) Valencia, M., *Pacific Science*, 27(1973), 3, 290—303.
- (2) Wolfgang, H., *Chemical Oceanography*, vol.5, 1976, 2nd Edition, Academic Press, London, New York, San Francisco.
- (3) David, B., *Science*, 162(1968), 3848—3861, 1227—1234.
- (4) Allan, W.H., *Oceanic Micropalaeontology*, 1, 1977, 35—62.
- (5) Peter, R.T. & Allan, W.H., *Nature*, 280(1979), 5723, 554—558.