

西菲律宾海晚第四纪沉积地球化学特征*

石学法 陈丽蓉

(中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

提要 对1988年取自西菲律宾海区的3个沉积物柱样进行系统的地球化学研究。结果表明,本区的沉积物属半远洋沉积物,其地球化学特征受控于陆源沉积作用、海洋生物沉积作用和海底火山沉积作用。据主要化学元素和 CaCO_3 的柱状变化进行地层划分和古气候的恢复,区分出末次冰期的亚间冰期沉积、冰期最盛期沉积和全新世沉积。本区的 CaCO_3 变化表现出两种类型,WP1柱样属大西洋型溶解旋回;WP2和WP40柱样属太平洋型溶解旋回。

关键词 西菲律宾海 沉积地球化学 沉积作用 古气候

海洋柱状沉积物的地球化学特征可以反映物质来源、沉积作用和沉积环境的演化,并可以作为地层划分的依据。目前对海洋表层沉积物的地球化学做了大量的工作,而对柱状沉积物的研究则较少(赵其渊等,1989)。在西菲律宾海区西部,该项研究尚未进行。本文对西菲律宾海区的3个沉积物柱样进行了系统的地球化学研究,并据主要化学元素和 CaCO_3 的柱样变化探讨了物质来源、沉积环境,进行了地层划分和古气候恢复。

1 地质背景与研究方法

研究区位于西菲律宾海域。中国科学院海洋研究所“科学一号”考察船于1988年在该区取得3个沉积物柱样,其地理坐标和水深分别为:WP1柱样, $13^{\circ}47.1'N, 125^{\circ}34.4'E, 2208m$; WP2柱样, $6^{\circ}20.1'N, 126^{\circ}26.7'E, 1580m$; WP40柱样, $6^{\circ}51.19'N, 126^{\circ}37.63'E, 2540m$ 。WP1柱样位于菲律宾海沟东侧,WP2和WP40柱样则位于菲律宾海沟以西,临近菲律宾岛屿。3柱样沉积物以粉砂质粘土和粘土质粉砂为主,含少量中细砂,夹有孔虫软泥。根据颜色可将各柱样沉积物分为3部分:上部呈黄色和褐红色,中部呈特征的黄色和黄褐色,下部呈灰色和绿灰色。

SiO_2 用重量法测得, $\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{CaO}, \text{MgO}, \text{K}_2\text{O}, \text{Na}_2\text{O}, \text{MnO}, \text{P}_2\text{O}_5$ 用等离子光谱法(ICP)测得, CaCO_3 用原子吸收光谱法测得。

2 结果

2.1 沉积物化学成份的含量和组成 对WP1, WP2和WP40 3个柱状样共选择了32个样品进行了化学分析(表1)。

从表1可以看出,沉积物中最主要的4种化学成份为 $\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{CaO}$ 和 Fe_2O_3 。这4种氧化物在WP1柱样中的平均含量总和为73.73%,WP2柱样为69.97%,WP40柱样为76.95%。 $\text{SiO}_2, \text{Fe}_2\text{O}_3$ 和 Al_2O_3 , WP40柱样含量最高,WP1柱样次之,WP2柱样最低; CaO , WP2柱样最高,WP1柱样次之,WP40柱样最低。沉积物的主要化学成份

* 国家自然科学基金资助项目,49176264号。石学法,男,出生于1965年4月,博士,副研究员。

收稿日期:1993年8月15日,接受日期:1994年8月10日。

表 1 西菲律宾海沉积物主要化学成分(%)
Tab.1 Chemical compositions of sediments in Western Philippines Sea

化学成分	含量范围			平均值			标准差			变异系数		
	WP1(n=9)	WP2(n=13)	WP40(n=10)	WP1	WP2	WP40	WP1	WP2	WP40	WP1	WP2	WP40
SiO ₂	35.30—46.30	33.42—40.30	43.44—45.78	41.56	37.27	44.44	3.45	2.14	0.66	0.08	0.06	0.01
Fe ₂ O ₃ ¹⁾	6.37—8.43	6.11—6.99	7.18—7.64	7.01	6.69	7.40	0.59	0.28	0.17	0.08	0.04	0.02
Al ₂ O ₃	13.90—16.12	13.28—16.48	15.70—17.37	15.02	14.45	16.51	0.69	0.81	0.54	0.05	0.06	0.03
CaO	8.45—11.86	9.23—13.37	7.08—9.42	10.14	11.56	8.60	1.17	1.18	0.65	0.12	0.10	0.08
MgO	2.90—3.42	3.38—5.22	3.46—4.16	3.05	4.02	3.85	0.14	0.67	0.24	0.05	0.17	0.06
K ₂ O	1.26—1.74	1.24—1.78	1.43—1.67	1.56	1.42	1.58	0.17	0.14	0.087	0.11	0.10	0.06
Na ₂ O	2.86—3.75	2.20—3.55	2.59—3.66	3.14	2.91	3.21	0.29	0.36	0.38	0.09	0.12	0.12
MnO	0.07—0.20	0.08—0.10	0.12—0.14	0.11	0.091	0.13	0.043	0.007	0.008	0.41	0.08	0.06
TiO ₂	0.62—0.70	0.61—0.70	0.70—0.76	0.66	0.65	0.73	0.022	0.027	0.016	0.03	0.04	0.02
P ₂ O ₅	0.17—0.22	0.20—0.24	0.24—0.26	0.20	0.22	0.26	0.014	0.012	0.007	0.07	0.05	0.03
CaCO ₃	15.10—21.20	16.50—23.90	12.60—16.80	18.10	20.60	13.80	2.35	2.27	1.04	0.13	0.11	0.09

1) Fe₂O₃ 指全铁, 包括 FeO。

组成与其矿物组合特征是一致的。经研究(石学法等, 1994), 该区沉积物中主要矿物为方解石、石英、斜长石、钾长石和粘土矿物, 它们分别主要由 CaO 、 SiO_2 和 Al_2O_3 组成, Fe_2O_3 则主要由角闪石等重矿物和蒙脱石、绿泥石等粘土矿物提供。以 WP40 柱样为例, 长石和蒙脱石含量高, 方解石含量则低, 相应地 Al_2O_3 、 SiO_2 和 Fe_2O_3 含量高, CaO 含量低。可见, 沉积物的主要化学成份受宿主矿物控制。

总的看来, 这 3 个柱样的主要化学成份很相近, 其差异不如矿物之间明显。从纵向上看, 各柱样的主要化学成份组成也相当均匀, 变化不大, 这也反映在元素的变异系数上。变异系数指示着沉积物中元素的分散程度, 变异系数小, 意味着元素分布均匀, 变异程度低。从表 1 可见, 研究区 3 个柱样各个元素的变异系数都很小, 一般小于 0.1, 最大变异系数是 WP1 柱样中的 MnO (变异系数为 0.41), 说明元素的分散程度不高。值得注意的是, CaO 的变异系数大于 SiO_2 、 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 的变异系数。

为了更加明确说明本区沉积物化学组成的特点, 表 2 列出了本区沉积物及有关沉积物中的主要化学成份, 以便对比。虽然不能简单地从化学组成的相似与差异来说明沉积

表 2 西菲律宾海及有关沉积物主要化学成份

Tab.2 Chemical compositions of Western Philippines Sea and other sediments

化学成份(%)	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	MnO	TiO_2	P_2O_5
钙质软泥 ¹⁾	26.96	3.87	7.97	28.35	2.32	1.48	0.80	0.33	0.38	0.15
深海粘土 ²⁾	55.34	8.23	17.84	1.37	3.82	3.26	1.53	0.48	0.84	0.14
中国黄土 ²⁾	54.66	5.43	11.45	7.87	3.44	1.96	1.70	0.0818	0.61	0.106
冲绳海槽底 ³⁾	42.71	5.16	16.17	12.85	1.97	2.02	2.72	0.44	0.52	0.32
冲绳海槽 ³⁾	44.59	4.66	15.00	14.54	1.81	1.79	2.47	0.30	0.48	0.30
东海 ³⁾	54.41	4.59	12.03	10.05	1.81	1.97	2.24	0.12	0.57	0.24
1	1.54	1.80	1.88	0.36	1.32	1.06	3.92	0.32	1.60	1.30
2	0.75	0.85	0.84	7.40	0.80	0.48	2.05	0.22	0.72	1.40
WP1 ⁴⁾ 3	0.76	1.29	1.31	1.29	0.89	0.80	1.85	1.28	1.00	1.84
4	0.97	1.35	0.93	0.92	1.54	0.77	1.15	0.25	1.05	0.63
5	0.93	1.50	1.00	0.70	1.69	0.87	1.27	0.35	1.27	0.65
6	0.76	1.53	1.25	1.01	1.68	0.79	1.40	0.87	1.07	0.81
1	1.38	1.72	1.81	0.41	1.73	0.96	3.64	0.27	1.71	1.47
2	0.67	0.81	0.81	8.44	1.21	0.44	1.90	0.18	0.77	1.57
WP2 ⁴⁾ 3	0.68	1.23	1.26	1.47	1.17	0.72	1.71	1.10	1.06	2.08
4	0.87	1.30	0.89	0.90	2.04	0.70	1.07	1.20	1.25	0.69
5	0.84	1.44	0.96	0.80	2.29	0.79	1.18	0.30	1.35	0.73
6	0.68	1.46	1.20	1.15	2.21	0.72	1.30	0.76	1.14	0.91
1	1.65	1.90	2.07	0.30	1.66	1.07	4.01	0.39	1.92	1.73
2	0.65	0.60	0.93	6.28	1.01	0.48	2.10	0.27	0.87	1.85
WP40 ⁴⁾ 3	0.81	1.36	1.44	1.09	1.12	0.81	1.89	1.59	1.20	2.45
4	1.04	1.43	1.02	0.67	1.97	0.78	1.18	0.30	1.40	0.81
5	1.00	1.59	1.10	0.59	2.13	0.88	1.30	0.43	1.52	0.87
6	0.82	1.61	1.37	0.87	2.12	0.80	1.13	1.08	1.28	1.08

1) 赵其渊等, 1989; 2) 文启忠等, 1989; 3) 秦蕴珊等, 1987。4) 1, 2, 3, 4, 5, 6 分别为各柱样氧化物平均含量与钙质软泥、深海粘土、中国黄土、冲绳海槽底沉积物、冲绳海槽沉积物和东海沉积物的相应氧化物含量比值。

物的成因,但它可以提供许多必要的成因信息,计算了研究区各柱样沉积物化学成份的平均值与参考沉积物的比值,以此来表示研究区沉积物与其化学组成的相似程度,若比值近于 1,表明化学组成相近。

钙质软泥和深海粘土是两类典型的深海沉积物,东海沉积物代表一个陆源型边缘海的沉积,冲绳海槽沉积物是陆坡沉积,有陆源、生物源和火山源的物质,冲绳海槽底沉积物则属于半远洋沉积,其中火山物质所占比例较高(秦蕴珊等,1987),至于中国黄土,代表着陆壳的平均物质组成(文启忠等,1989)。

从表 2 可以看出,研究区沉积物化学成份与钙质软泥和深海粘土相差甚远,反映出该区沉积物在成因上与这两类沉积物有较大差别——既不属于典型的钙质软泥,也不属于典型的深海粘土。

与中国黄土相比,研究区沉积物贫 Si,K; 富 Fe,Al,Ca,Na,Mn; P,Mg 含量相近。对于 Ti,WP1 柱样与黄土含量相近,WP2 和 WP40 柱样略有富集。贫 Si,K 是由于缺乏陆源矿物石英、云母和伊利石等,富 Fe,Al, Ca, Mn,P 等是因为有大量火山物质和海洋生物沉积。

与东海沉积物相比,仍贫 Si,K,因东海沉积物仍是以陆源物质为主,富 Fe,Mg,Al 和 Na 主要是由于火山物质的加入。

与冲绳海槽(包括海槽底)沉积物相比,研究区沉积物富 Fe,Mg,Na; 贫 K,P,Mn, Ca; 而 Si,Al 近于相等,反映了本区有较多的火山物质,生物沉积和自生沉积较弱。可见,研究区沉积物与冲绳海槽,尤其是与冲绳海槽底沉积物化学组成相近,反映了它们沉积作用和物质来源的相似性。即本区沉积物属半远洋沉积,发育陆源沉积作用、海洋生物沉积作用和海底火山沉积作用,海底火山物质在沉积物中占了很大的比例,WP2 和 WP40 柱样尤为明显。对矿物和铁族元素的研究也得出了相同的结果(石学法等,1993,1994)。沉积物中主要矿物为方解石、石英、斜长石和钾长石,次要矿物为高岭石、绿泥石、角闪石、斜发沸石、水云母、蒙脱石和滑石。其中方解石是生物源的,石英、钾长石、水云母、高岭石、绿泥石、部分斜长石是陆源的,而大部分斜长石、角闪石、斜发沸石、蒙脱石和滑石是火山源的。WP1 柱样中石英和钾长石、水云母含量较高,而 WP2 和 WP40 柱样中斜长石、角闪石、斜发沸石和滑石含量高,表明 WP1 柱样陆源沉积作用发育,WP2 和 WP40 柱样中火山沉积作用发育(石学法等,1994)。铁族元素在 WP1 柱样中含量低,而在 WP2 和 WP40 柱样中含量较高也说明了这一点(石学法等,1993)。

2.2 沉积物主要化学成份的柱状变化 研究区沉积物主要化学成份含量比较稳定,但在纵向上还是有一定的变化,各个元素的变化趋势也不尽一致(图 1)。图 1 只给出了 7 种主要化学成份的柱状变化曲线;Mn,Ti 已做过专门研究(石学法等,1993)。

从图 1 可以看出,各柱样中 Fe_2O_3 和 Al_2O_3 有相近的变化曲线;对于 SiO_2 ,WP1 和 WP2 柱样由下而上表现出旋回性变化,WP40 柱样呈逐渐增大趋势;至于 CaO 和 MgO,WP2 和 WP40 柱样表现出相似的变化趋势;WP1 柱样 MgO 自下而上几乎不变化,CaO 表现出两个变化旋回。沉积物化学成份含量在纵向上的变化主要受矿物组成变化的影响,因而它可以反映物质来源;沉积时的环境条件对它也有一定的影响,所以化学成份的柱状变化可用于地层划分,并能反映一些古气候的演化信息。

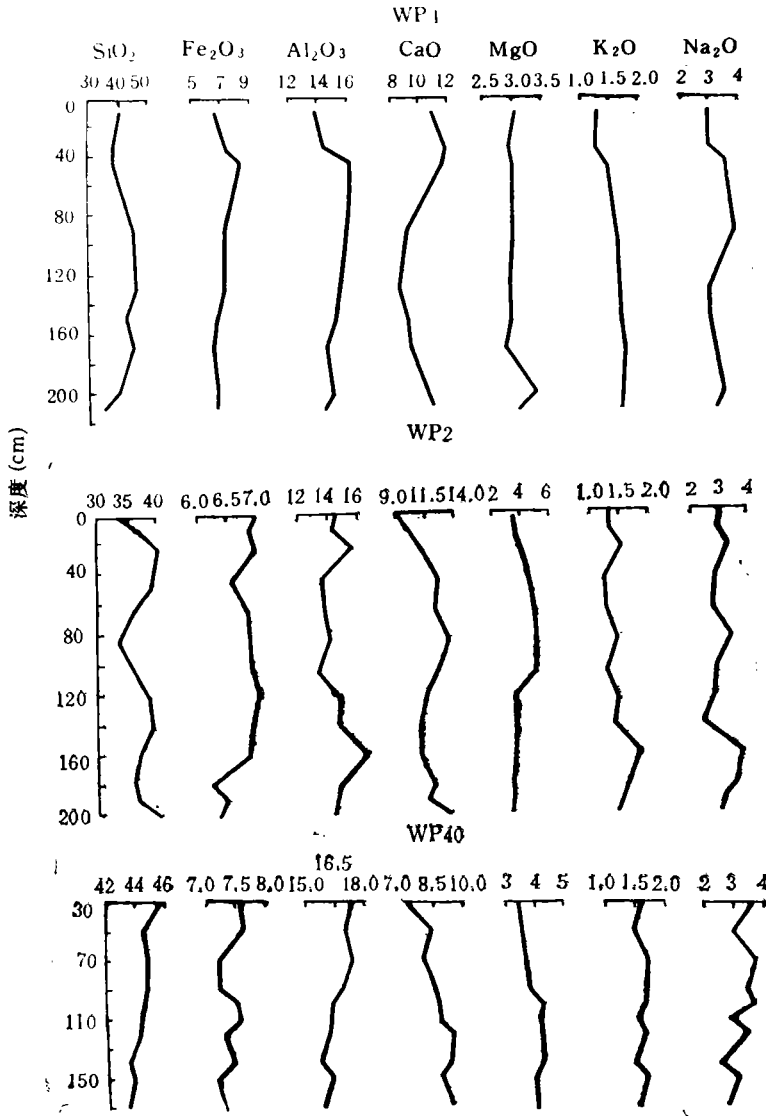


图1 西菲律宾海沉积物主要化学成份(%)柱状变化曲线

Fig.1 Vertical variance of chemical compositions in sediments in Western Philippines Sea

矿物组合和铁族元素的研究已经揭示出(石学法等,1993,1994),WP40 和 WP2 柱样有较多的海底碱性火山物质,对于地层划分和古气候的反映不敏感,WP1 柱样受火山沉积作用影响较小,用于地层划分和古气候的恢复比较理想。

从图1还可以看出,WP1 柱样各主要元素氧化物在柱状上的截点有2个(37cm 和 170cm),由上到下划分为3层:(1)0—37cm,(2)37—170cm,(3)170—220cm。这个划分与铁族元素的划分相一致(石学法等,1993)。有一点值得注意,即在(1)层中 SiO₂ 含量低;(2)层 SiO₂ 含量高;(3)层中 SiO₂ 高于(1)层而低于(2),这表明(2)层中陆源沉积

作用较强, 石英含量较高。

2.3 CaCO_3 地球化学特征 矿物学的研究表明, 本区的碳酸盐以生物 CaCO_3 沉积为主, 另有少量碎屑方解石, 因而沉积物中的 CaCO_3 主要是生物 CaCO_3 。由表 1 可知, WP2 柱样中 CaCO_3 含量最高 (16.5%—23.9%, 平均为 20.7%); WP1 柱样次之 (15.1%—21.2%, 平均为 18.1%); WP40 柱样含量最低 (12.6%—16.8%, 平均为 15.4%)。 CaCO_3 含量在不同粒度中的分配也不均匀, 主要富含于砂粒级和粘土粒级中。在纵向上, CaCO_3 含量自下而上有节奏地波动, 表现出旋回性变化(图 2)。

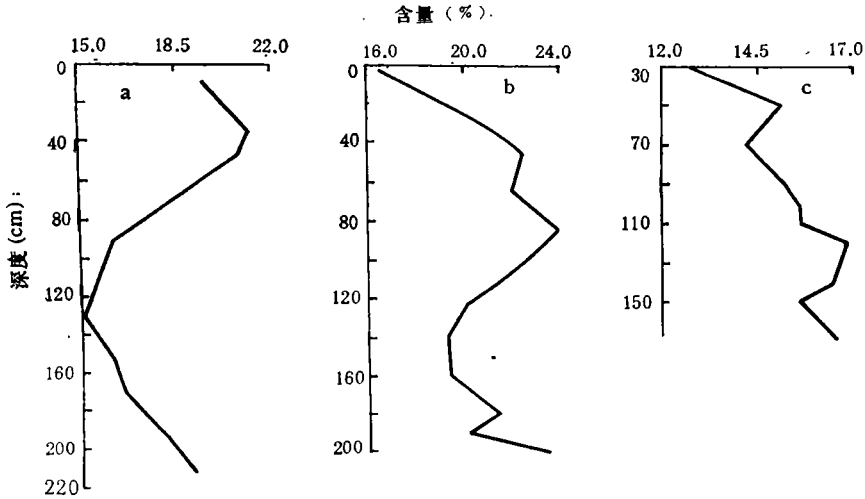


图 2 西菲律宾海 CaCO_3 含量(%)的柱状变化

Fig.2 Vertical changes of CaCO_3 contents in Western Philippines Sea

a. WP1 柱样; b. WP2 柱样; c. WP40 柱样。

由图 2 可以看出。WP1 柱样自下而上 CaCO_3 含量的变化表现出一个完整的旋回。底部(215cm) CaCO_3 含量高(19%), 向上逐渐减少; 至中部 (130cm) CaCO_3 含量降至最低值(15.1%), 向上又逐渐变大; 至上部 (37cm) CaCO_3 含量增至最大值, 向上又逐渐变小。另外, 70cm 处也是 CaCO_3 含量的一个突变点。该柱样 130cm, CaCO_3 含量陡然降低, 主要是受物质组成的影响, 陆源沉积作用加强。从物质来源和沉积作用的角度考虑, WP1 柱样 0—37cm 和 170—220cm 处生物沉积作用较强, 陆源物质较少, CaCO_3 含量高; 37—170cm 处陆源沉积作用较强, 生物沉积作用较弱, CaCO_3 含量低。因而以 37cm 和 170cm 处为界, 将 WP1 柱样划分为 3 层, 这与根据主要化学元素氧化物的划分相同。WP2 柱样以 45cm 和 120cm 处为界分为 3 层: 0—45cm, CaCO_3 具低含量; 45—120cm, CaCO_3 含量增高; 120—200cm, CaCO_3 含量又降低。WP40 柱样 CaCO_3 含量自下而上总体上呈降低趋势, 以 50 和 140cm 为界划分为 3 层: 0—50cm, CaCO_3 含量最低; 50—140cm, CaCO_3 含量增高; 140—175cm 含量较高。

CaCO_3 含量在剖面上的变化, 有重要的地质意义。近年来, 随着古海洋学研究的兴起, 对海洋沉积物 CaCO_3 旋回的研究日益受到重视(同济大学海洋地质系, 1989)。据目前对几个主要大洋盆地的研究结果, 将 CaCO_3 旋回划分为两种类型: 太平洋型和大西

洋型。太平洋型以太平洋和印度洋为代表,表现为间冰期时 CaCO_3 含量高,冰期时 CaCO_3 含量低。有鉴于此,目前人们广泛应用 CaCO_3 含量变化来划分地层和恢复古气候。

据 CaCO_3 含量在柱状上的变化,参照元素地球化学特征,将 3 个柱样地层划分推测如下: WP1 柱样,0—37cm 为全新世沉积,37—170cm 为末次冰期最盛期沉积,170—220cm 为冰期中的亚间冰期沉积; WP2 柱样,0—45cm 为全新世沉积,45—120cm 为冰期最盛期沉积,120—200cm 为亚间冰期沉积; WP40 柱样,0—50cm 为全新世沉积,50—140cm 为冰期最盛期沉积,140—175cm 为亚间冰期沉积。这种划分与古地磁地层划分和生物地层划分大致可以对比¹⁾,说明应用 CaCO_3 和元素地球化学特征划分地层和恢复古气候还是可行的。

从图 2 可以发现,WP1 柱样与 WP2 和 WP40 柱样 CaCO_3 含量变化趋势相反,因而它们与气候冷暖的对应关系并不一致,WP1 柱样属大西洋型溶解旋回,WP2 和 WP40 柱样属太平洋型溶解旋回。关于西太平洋边缘海区出现两种 CaCO_3 溶解旋回情况,阎军等(1991)曾作过专门讨论。鉴于这种复杂的情况,应用 CaCO_3 旋回来恢复古气候要特别注意。

经对比发现,化学元素和 CaCO_3 含量发生明显变化时,沉积物的颜色也发生变化,也就是说,全新世沉积物呈黄色和褐红色,冰期最盛期沉积物呈黄和黄褐色,亚间冰期沉积呈灰色和绿灰色。可见,沉积物的颜色有时可以反映环境和气候条件,而颜色又往往由特征的元素所决定。沉积物呈黄色,反映其来源区或沉积区风化不彻底,Fe 主要以 2 价态存在;若风化彻底,则 Fe 完全淋滤出来,以 3 价态存在,沉积物呈红色。就本区而言,冰期时沉积物呈黄色,可以认为主要是因为陆源风积物在干冷气候条件下风化不彻底,而在沉积区又没得到进一步氧化所致。全新世初期,冰期刚过,气候仍有波动,风力的搬作用较今为强,所以仍有黄色沉积物,随着气候的变暖,风化作用加剧,出现红色沉积物。

3 结论

3.1 西菲律宾海晚第四纪沉积物化学成份表明,该区沉积物属半远洋沉积,发育陆源沉积作用、海洋生物沉积作用和海底火山沉积作用,WP1 柱样中陆源物质较多; WP2 和 WP40 柱样中火山沉积物占优势。

3.2 据主要化学元素和 CaCO_3 的柱状变化可以进行地层划分和恢复古气候,本区晚第四纪以来的沉积,可区分出末次冰期的亚间冰期沉积、冰期最盛期沉积和全新世沉积。

3.3 本区的 CaCO_3 变化表现出两种类型,WP1 柱样属大西洋型溶解旋回,WP2 和 WP40 柱样属太平洋型溶解旋回。

参 考 文 献

- 文启忠等,1989,中国黄土地球化学,科学出版社(北京),36—114。
石学法等,1993,西菲律宾海沉积物铁族元素地球化学,海洋地质与第四纪地质,13(1): 73—84。
石学法等,1994,西菲律宾海沉积物矿物组合特征及其地质意义,海洋与湖沼,25(3): 328—335。
同济大学海洋地质系,1989,古海洋学概论,同济大学出版社(上海),41—44,157—175。

1) 石学法,1992,西菲律宾海晚第四纪沉积作用和沉积环境演化,博士学位论文。

赵其渊等,1989,海洋地球化学,地质出版社(北京),36—114。

秦蕴珊等,1987,东海地质,科学出版社(北京),92—112。

阎军等,1991,西太平洋边缘海区元素地层学研究及其古海洋学意义,海洋地质与第四纪地质,11(2): 57—67。

LATE QUATERNARY SEDIMENTARY GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE WEST PHILIPPINES SEA

Shi Xuefa, Chen Lirong

(*Institute of Oceanology, Academia Sinica, Qingdao 266071*)

ABSTRACT

Studies on three cores sampled from the Western Philippines Sea in 1988, showed that the sediments of the studied area are semi-ocean deposit, whose geochemical characteristics are controlled by terrigenous deposition, marine biological deposition and submarine volcanic deposition. The main chemical elements and the vertical variation of CaCO_3 were used as basis to divide the stratum and restore the palaeoclimate, the differentiated deposits in the sub-interglacial epoch, the glacial maximum epoch in the last ice age, and the deposits in the Holocene. There are two types of CaCO_3 variation in this area. Core WP1 belongs to Atlantic solution cycle, and cores WP2 and WP40 to Pacific type.

Key words Western Philippines Sea Sedimentary geochemistry Sedi-
mentation Palaeoclimate