

# 太平洋北部铁锰结核富集区 沉积物的元素地球化学特征

鲍根德

(国家海洋局第二海洋研究所, 杭州)

**提要** 本文对太平洋北部铁锰结核富集区沉积物的元素地球化学作了较为详细的研究。因子分析提供的信息表明, 元素的分布主要受三个因子控制: (1) 粘土及 Fe、Mn 氧化物水化物胶体的吸附作用; (2) 生物化学作用过程有关的自生沉积作用; (3) 海底页岩风化及附近海区的火山喷发作用。元素的来源: (1) Fe、Mn、Cu、Co、Ni、Zn、Cr、Cr、Mg、Al、Ti、K 共生, 主要来自粘土吸附; (2) C<sub>有机</sub>、N、Sr、Na 及 Si、Ca、Sr 主要来自生物化学过程沉积; (3) Pb 主要来源于岩石碎屑 (火山喷发碎屑)。

**关键词** 铁锰结核 沉积物 元素地球化学 因子分析 太平洋

**作者简介** 鲍根德 男 40 岁 工程师 海洋地球化学

众所周知, 研究铁锰结核富集区的沉积环境, 探讨铁锰结核富集区沉积物的元素地球化学特征, 无论对开展大洋铁锰结核调查, 还是进而研究大洋铁锰结核的形成机制都具有重要的意义。

本文利用 1985、12—1986、4 对太平洋北部铁锰结核调查所取得的 28 个相对富集结核沉积物的化学资料, 利用因子分析提供的信息, 进行了数学地质分析, 初步探讨了大洋铁锰结核富集区沉积物中 Fe、Mn、Cu、Co、Ni、K、Na、Mg、Ca、Pb、Zn、Cr、Sr、Ti、Al、Si、C<sub>有机</sub> 及 N 元素的含量分布规律、控制分布的因素及其元素的主要来源。

## 一、研究区域及样品分析

研究区地处中太平洋海盆东部, 北纬 7°—13°, 西径 178°—165°。其北面为约翰斯顿岛 (美), 西南面为莱恩群岛, 东南面为圣诞岛 (美), 东北面为夏威夷群岛, 面积约 67 万 km<sup>2</sup>。图 1 为所取站位及其沉积物类型分区。

除 42 站未取到结核外, 其余各站结核丰度在 0.12—34.00kg/m<sup>2</sup> 之间。水深东北部较浅, 一般为 4000—5000m, 西南面处于麦哲伦海槽中, 水深较大, 普遍为 5000—6000m。除个别海山顶有基岩裸露外, 绝大部分区域为现代松散沉积物覆盖。孢粉、粘土矿物研究表明, 沉积物主要为来自夏威夷群岛及更远的亚洲大陆物质及生物化学沉积 (Lisitz, 1972)。沉积物类型主要为深海粘土 (褐色粘土)、钙质软泥及硅质软泥。此外, 尚有砾石、火山碎屑、宇宙尘和生物残体。

区内普遍分布火山锥, 但除夏威夷南部火山时有喷发外, 大部分地区早已停止活动 (米

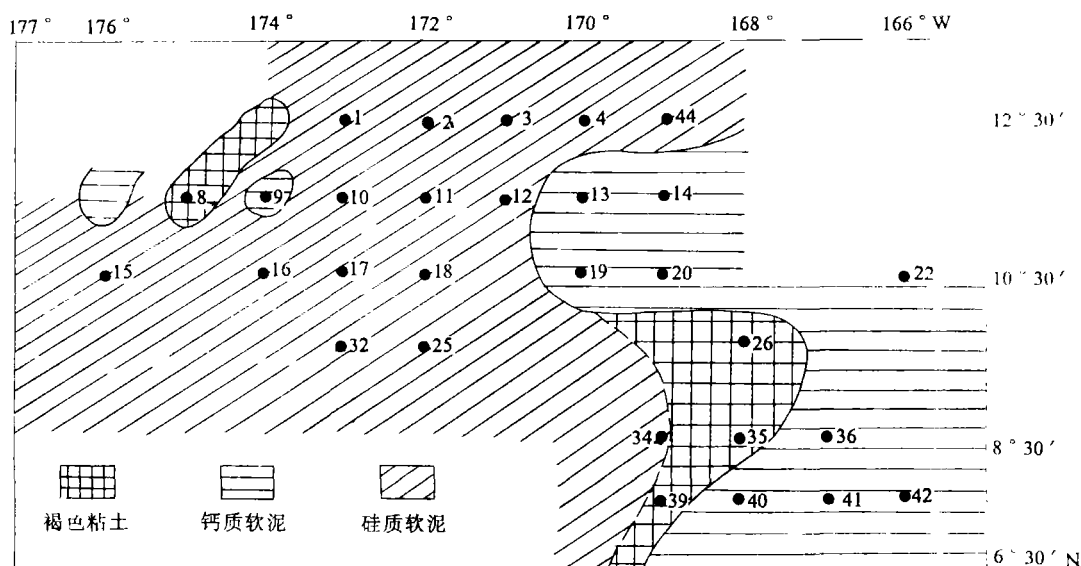


图1 取样站位及沉积物类型分区

Fig.1 Sampling stations and types of sediment.

纳德, 1964)。

沉积物中 Fe、Mn、Al、Ti、Sr、Mg、Ca 用等离子体发射光谱议分析; Cu、Co、Ni、Pb、Zn、Cr、K、Na 用无火焰和火焰原子吸收分光光度法测定;  $C_{\text{有机}}$ 、N 用 240C 元素分析仪分析; Si 用容量法滴定。

沉积物中  $CO_3^{2-}$  (碳酸盐)、粘土、有孔虫、碎屑矿物等资料引自 1986 年国家海洋局《中太平洋锰结核调查报告》

## 二、元素的丰度及其分布特征

### 1. 元素的丰度

表 1 是元素的丰度与地壳克拉克值、河口、陆架及贫结核洋区沉积物和大洋铁锰结核的比较结果。

从表 1 的统计结果分析, 太平洋铁锰结核富集区沉积物的元素丰度具有以下几个特征:

(1) 与地壳的克拉克值、近岸泥及陆架沉积物比较, 主要元素 Si、Mg、N 变化不明显, 微量元素 Mn、Cu、Co、Ni、Zn 及 Ca 明显的富集, 而 Fe、Al、Cr、Ti 及  $C_{\text{有机}}$  相对贫乏。

(2) 与次深海及大洋沉积物比较, Si、Al、Fe、Zn、K、Cr、Pb、Ti 及 N 变化不明显, Mn、Cu、Co、Ni 及 Ca 同样明显的富集,  $C_{\text{有机}}$  仍显示相对贫乏。

表 1 不同地区及大洋沉积物中元素含量的比较

Table 1 Comparison of elements abundance in sediments of the difference area.

地区 元素	克拉克值	近岸泥	东海陆架	南极普里兹湾 (半深海)	南海中部 (次深海)	太平洋平均丰度 (深海)	太平洋铁锰 结核实集区	太平洋 铁锰结核
Si	28.15	16.97	26.28	32.00	20.46	29.08	20.25	7.71
Al		7.18		4.92	6.96	6.51	5.65	2.61
Fe	5.63	6.70	3.20	3.19	3.41	4.20	3.49	10.06
Mn	0.095	0.085	0.064	0.064	0.88	0.32	0.78	19.30
Ca	3.39	3.12	2.89	4.06	6.89	0.43	7.87	1.32
Mg	1.94	1.63	1.21	0.66	1.61	1.31	1.59	1.27
Na				0.70	2.76	0.81	2.92	1.71
K				1.74	2.11	1.74	2.10	0.82
Cu	55	48	1'	21	66	250	310	5119
Co	25	13	12	11	18	74	104	2934
Ni	75	55	41	30	82	225	185	6392
Pb		20		23	22		27	506
Zn	70	95	74		128	165	126	819
Cr		100		38			42	9
Sr					0.029		0.027	0.040
Ti	0.57		0.36		0.26	0.35	0.28	0.64
C <sub>有机</sub>	0	0.55	0.50	0.44	0.72	0.42	0.39	
N		0.07	0.07	0.035	0.09	0.04	0.07	

注 1. Cu、Co、Ni、Pb、Zn、Cr 单位为 mg/kg, 其余为% 2. 本表资料分别引自 Laylar、李粹中、王贤觉、鲍根德、黄德佩等。

(3) 与同一区域生长的铁锰结核比较, Si、Al、K、Na、Mg、Ca 及 Cr 明显的高, 而 Mn、Cu、Co、Ni、Pb、Sr、Ti 及 Fe 普遍要低 1—2 个数量级。

纵观上述, 其共同特点是: 从河口到研究区, 沉积物中 Mn、Cu、Co、Ni 明显的富集, 并由河口—陆架—次深海—大洋贫结核区—大洋铁锰结核富集区—大洋铁锰结核递增。C<sub>有机</sub>、Ti 则渐减, 而 Fe、N、Mg 的变化不甚明显。

## 2. 元素的平面分布趋势

元素的平面分布趋势大致有以下几种:

(1) 沉积物中 Fe、Mn、Cu、Co、Ni、Zn 及 K、Al、Ti 等元素的分布趋势见图 2—4 (以 Fe、Mn、Cu 为例)。总趋势由东北向西南、东南向西北和西北向东南呈三个舌状向研究区中部递增, 高值区处在研究区的 4、11、26 站的粘土质沉积物中, Fe 分别为 4.80%、5.54% 和 4.50%; Mn 分别为 1.00%、1.10% 和 1.22%; Cu 分别为 390mg/kg、410mg/kg 和 521mg/kg。而钙质软泥区含量普遍较低。

因子 1 载荷值平面分布 (虚线)

(2) 沉积物中 C<sub>有机</sub>、N、Si 及 Na 的分布似乎与 Fe、Mn 等微量元素相类似 (图 5 以

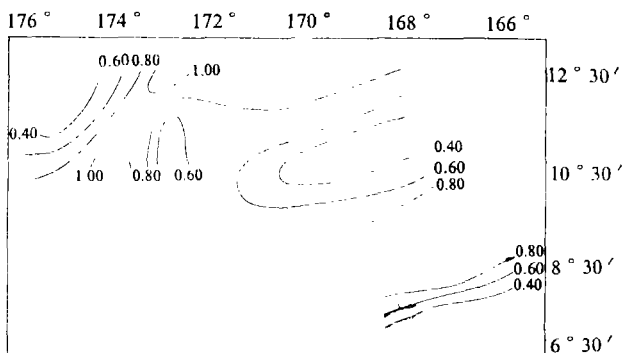


图2 表层沉积物中 Mn 的分布

Fig.2 The distribution law of Mn in surface sediments (percentage of sediment)

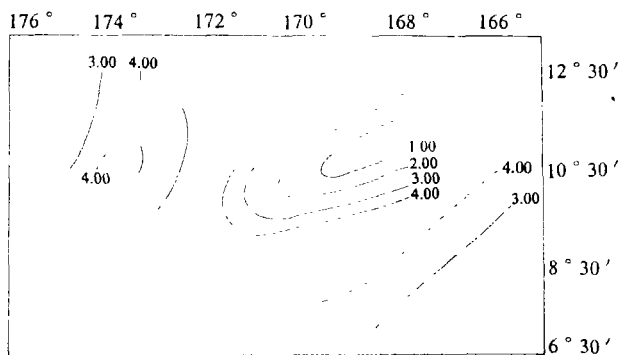


图3 表层沉积物中 Fe 的分布

Fig.3 The distribution law of Fe in surface sediments. (percentage of sediment)

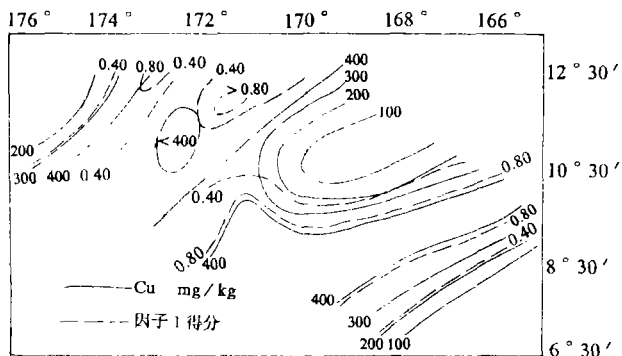


图4 表层沉积物中 Cu 的分布 (实线)

Fig.4 The distribution law of Cu in surface sediments and score value distribution of factor 1.

C<sub>有机</sub>为例)。最低值同样处在 19.20 站的钙质软泥中，亦由东北向西南方向递增。不同的是最高值处在 32、39 号站的硅质软泥和褐色粘土区中（生物沉积物），C<sub>有机</sub>高达 0.58% 和 0.59%。

因子 2 载荷值平面分布（虚线）

(3) Ca 和 Sr 的分布似乎与 Fe、Mn 等微量元素呈完全相反的趋势（图 6 以 Sr 为例）。前者的高值区，是后者的低值区，反之亦然。

(4) Pb 的分布与 Fe、Mn 和 Ca、Sr 既有相同之处，又有不同点（图 7）。其较高值处在硅质软泥区的 11、12 站，而最高值处在钙质软泥区的 41 号站，含量达 73mg/kg，其次为硅质软泥区的 16 号站为 39mg/kg，最低值又处在钙质软泥区的 19 号站，含量仅 3mg/kg。

### 三、元素间相关及其赋存状态

深海沉积物中元素间相关与很多因素有关，例如物质来源和存在形式。表 2 是所研究元素及碳酸盐 (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) 间相关的统计结果。现将元素的相关及赋存状况简述如下：

#### 1. Fe、Mn、Cu、Co、Ni、Zn 和 Cr 等微量元素

Fe、Mn、Cu、Co、Ni、Zn、Cr 是沉积物中微量元素，而是大洋铁锰结核中的

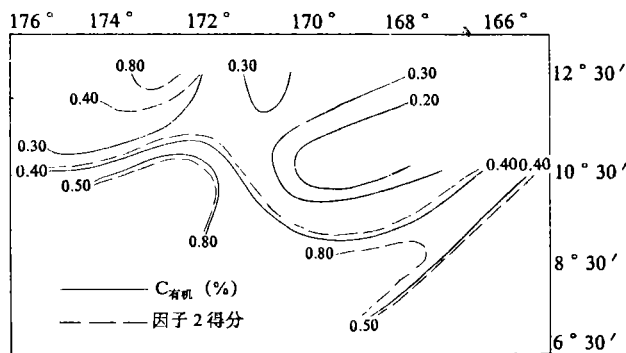
图 5 表层沉积物中  $C_{\text{有机}}$  分布 (实线)

Fig.5 The distribution law of Corg. In surface sediments and score value of factor 2.

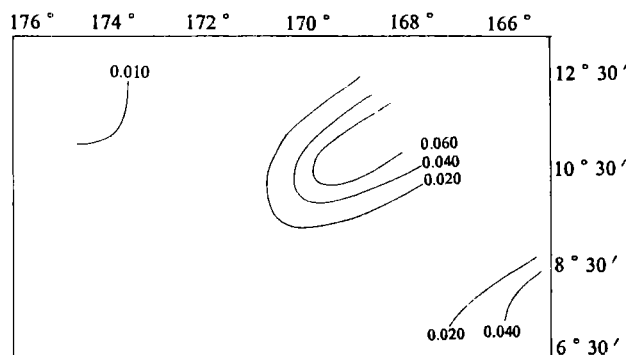


图 6 表层沉积物中 Sr 的分布

Fig.6 The distribution law of Sr in surface sediments.

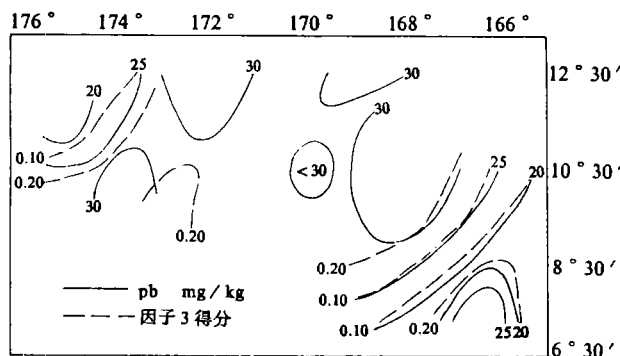


图 7 表层沉积物中 Pb 的分布 (实线) 和因子 3 载荷值平面分布

Fig.7 The distribution law of Pb in surface sediments and score value of factor.

主要元素。表 2 表明上述元素间均呈强烈的正相关 (置信水平大于 99.9%)<sup>①</sup> 这表明研究区上述元素的来源和存在形式可能较为一致, 从而上述元素的分布规律亦相似 (图 2—4)。

一般认为, 深海沉积物中 Mn, 可以伴随粘土矿物或含水氧化物单个颗粒, 通过海流从大陆搬运而来, 或通过海底 (包括陆架和半深海) 次表层 Mn 的迁移以及海底火山作用而富集。作者根据研究区沉积物中有陆源孢粉和主要由伊利石, 其次为蒙脱石组成的粘土矿物<sup>②</sup> (2) 沉积物中碎屑矿物主要为自生矿物及非生物的硅酸盐矿物;<sup>③</sup> (3) 沉积物中岩屑, 如用  $TiO_2-Al_2O_3-MgO$  三角图解表示, 则这些样品的组份点沿着花岗岩与玄武岩的平均组份点连线分布, 而这些花岗岩和玄武岩均属大陆与大洋粒斑玄武岩组分相差甚远 (Ryuichi Sugisaki, 1980) 及 (4) 上述元素与 Al、Mg、Si、K 和  $C_{\text{有机}}$  共生关系 (表 2) 分析, 研究区上述元素主要并不以碎屑矿物形式存在。可能主要来自陆源粘土矿物搬运。

## 2. Ca、Sr 和 Si 元素间的关系

Sr 和 Ca 呈强烈的正相关

① 元素间相关的密切程度分: 强烈相关指置信水平大于 99.9%; 明显相关指置信水平大于 99.9%; 弱相关指置信水平为 95.0%, 以下同。

② 国家海洋局, 1986, 中太症洋锰结核调查报告;

③ 国家海洋局, 1986, 中太症洋锰结核调查报告。

表2 元素间相关系数矩阵

Table 2 Statistical results of the interrelation coefficient of elements.

n=28	Mn	Fe	Cu	Co	Ni	Pb	Zn	Cr	C <sub>有机</sub>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Mg	Al	Ca	Ti	Sr	K	Na	N	Si
Mn	1.00																		
Fe	0.72	1.00																	
Cu	0.87	0.76	1.00																
Co	0.89	-0.83	-0.93	1.00															
Ni	0.88	-0.67	-0.91	-0.86	1.00														
Pb	0.16	0.39	0.28	0.27	0.23	1.00													
Zn	0.75	0.71	0.84	0.88	0.86	0.34	1.00												
Cr	0.61	0.73	0.71	0.75	0.55	0.40	0.58	1.00											
C <sub>有机</sub>	0.34	0.51	0.37	0.45	0.16	0.26	0.30	0.56	1.00										
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	-0.74	-0.83	-0.86	-0.83	-0.64	-0.33	-0.66	-0.78	-0.72	1.00									
Mg	0.78	0.76	0.86	0.85	0.72	0.36	0.74	0.84	0.65	-0.87	1.00								
Al	0.78	0.86	0.87	0.86	0.72	0.31	0.38	0.83	0.53	-0.93	0.86	1.00							
Ca	-0.73	-0.82	-0.82	-0.62	-0.33	-0.65	-0.76	-0.72	0.99	-0.87	-0.93	1.00							
Ti	0.64	0.84	0.76	0.75	0.64	0.36	0.62	0.88	0.45	0.81	0.80	0.88	0.81	1.00					
Sr	-0.70	-0.81	-0.80	-0.77	-0.59	-0.30	-0.61	-0.71	-0.72	0.99	-0.81	-0.90	0.99	-0.76	1.00				
K	0.76	0.80	0.84	0.77	0.72	0.29	0.62	0.72	0.36	-0.86	0.73	0.94	-0.85	0.80	-0.84	1.00			
Na	0.69	0.72	0.75	0.75	0.55	0.30	0.58	0.69	0.81	-0.94	0.85	0.84	-0.94	0.69	-0.94	0.74	1.00		
N	0.42	0.55	0.40	0.52	0.15	0.19	0.28	0.57	0.73	-0.70	0.62	0.62	-0.72	0.52	-0.68	0.42	0.70	1.00	
Si	0.69	0.79	0.75	0.76	0.55	0.31	0.59	0.71	0.75	-0.99	0.82	0.88	-0.98	0.77	-0.99	0.81	0.93	0.71	1.00

当  $r=0.374$  时,  $a=0.05$ ;  $r=0.479$  时,  $a=0.01$ ;  $r=0.588$  时,  $a=0.001$ .

( $r=0.99$ ), 同时 Ca 与  $\text{CO}_3^{2-}$  呈强烈的正相关 ( $r=0.99$ )。这表明 Ca 基本以  $\text{CaCO}_3$  的形式存在。沉积物镜下鉴定表明, Ca 含量高的站位上, 有孔虫的丰度就大, 例如 19 号站, Ca 达 33.28%, 有孔虫就达 144126 枚/25 克干样。主要由底栖有孔虫, *Nuttalids umbonifer*, *Globocassidulina Subglobosa*—*Nuttalides*, *Nuttalides*—*umbonifer*—*Epstominella exigua* 和浮游有孔虫 *Globorotalia tumida*, *Globogadrina dutertrei*—*Globirinodes* 组成。由此, Sr 亦就主要赋存于上述有孔虫的方解石结构中。这主要是上述方解石结构 (不是霏石型结构),  $\text{Ca}^{2+}$  为 b 次配位, 它排斥半径大的元素 (例如  $\text{Ba}^{2+}$ ) 进入, 而 Sr 相对较易进入, 从而有孔虫含量高的站位一般富含 Sr。Si 与 Ca、Sr 呈强烈的负相关 ( $r$  分别为 -0.98 和 -0.99), 表明 Si 的存在形式完全相同于 Ca, 不过在深海环境中具有完全不同的化学性质, 主要以放射虫和硅藻壳体形式存在。

### 3. C<sub>有机</sub> 与 N 的关系

沉积物中  $C_{\text{有机}}$  与 N 呈强烈的正相关 ( $r=0.73$ ), 这表明沉积物中 N 主要以有机氮的形式存在。一般认为, 大洋沉积物中  $C_{\text{有机}}$ , 由于远离大陆, 水深大, 温度、盐度的年变化小, 沉积环境相对较为稳定, 因此, 主要来自生物沉积, 故而研究区 N 亦主要以蛋白质、氨基酸形式存在。同时, 有机 C 与  $CO_3^{2-}$  呈强烈的负相关( $r=-0.78$ ), 与 Si、Mg 元素呈强烈的正相关表明, 太平洋北部铁锰结核富集区的有机 C, 主要赋存于细粒物质中, 可能主要以硅质生物有机残体形式存在。

#### 4. Pb 与 $C_{\text{有机}}$ 及 Fe、Sr 的关系

Pb 除与 Fe 呈弱的正相关外 (置信水平为 95.0%), 无论与 C 有机, 还是 Sr 的关系不明显 (表 2)。表明研究区 Pb 的来源及存在形式可能较为复杂, 从而其分布规律亦不时显现 (图 7)。导致上述复杂关系的因素, 笔者认为, 可能是深海沉积物中 Pb 的来源, 除与陆源粘土搬运和生物作用沉积外, 还有大气降落物 (包括火山喷发和地表土壤中痕量的  $U^{238}$  衰变) 及沉积物和大洋水中  $U^{238}$  衰变有关。

### 四、元素的控制因素及其来源

为了探讨大洋铁锰结核富集区沉积物中元素分布的控制因素及来源, 笔者对所研究元素的原始数据进行了数理统计分析, 其中 R 型因子分析为笔者解释不同沉积环境中元素分布的控制因素和来源提供了有价值的信息。

#### 1. 控制因素

表 3 是因子分析得出的前三个因子的特征值和各特征值平方和百分数及特征值平方和累积百分数 (矩阵为 28 (样品数)  $\times$  18 (变量即元素))。

从表 3 中可见, 前三个因子的特征值平方和累计已达 87.47%, 这表明研究区元素的分布主要受三个因子的控制。且因子 1 所代表的地质作用反映了研究区元素变化的主要方面。

表 4 是三个因子的典型样品中某些元素组合及环境参数。图 4.5.7 (虚线) 是经进一步数学处理后得到的方差极大旋转后, 因子 1—3 的得分值平面分布。

通过对图 4.5.7 和表 4 的对比分析, 可以认为:

(1) 因子 1 的典型站处于褐色粘土区 (表 4), 沉积物调查表明, 这类沉积物属强氧化环境。其主要特点是: 生物含量少 (一般不超过 10%); 微量元素 Fe、Mn、Cu 及 Mg 和粘土 (蒙脱石) 含量高;  $C_{\text{有机}}$  和岩石碎屑 (火山碎屑) 含量低 (表 4)。这表明研究区沉积物中元素的变化首先受控于粘土吸附这个地质 (沉积) 作用。正是由于 1.8.26 号站的粘土含量分别高达 39.27%、45.16% 和 42.55%, 从而因子 1 的得分值亦高, 使因子 1 的得分值

表 3 主因子及其特征值  
Table 3 Major factors and the characteristic value.

因子	特征值	特征值平方和百分数	特征平方和累计百分数
1	13.73	72.25	72.25
2	1.91	10.06	82.31
3	0.98	5.17	87.47

表2 元素间相关系数矩阵

Table 2 Statistical results of the interrelation coefficient of elements.

n=28	Mn	Fe	Cu	Co	Ni	Pb	Zn	Cr	C <sub>有机</sub>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Mg	Al	Ca	Ti	Sr	K	Na	N	Si	
Mn	1.00																			
Fe	0.72	1.00																		
Cu	0.87	0.76	1.00																	
Co	0.89	-0.83	-0.93	-1.00																
Ni	0.88	-0.67	-0.91	-0.86	-1.00															
Pb	0.16	0.39	0.28	0.27	0.23	1.00														
Zn	0.75	0.71	0.84	0.88	0.86	0.34	1.00													
Cr	0.61	0.73	0.71	0.75	0.55	0.40	0.58	1.00												
C <sub>有机</sub>	0.34	0.51	0.37	0.45	0.16	0.26	0.30	0.56	1.00											
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	-0.74	-0.83	-0.86	-0.83	-0.64	-0.33	-0.66	-0.78	-0.72	1.00										
Mg	0.78	0.76	0.86	0.85	0.72	0.36	0.74	0.84	0.65	-0.87	1.00									
Al	0.78	0.86	0.87	0.86	0.72	0.31	0.38	0.83	0.53	-0.93	0.86	1.00								
Ca	-0.73	-0.82	-0.82	-0.62	-0.33	-0.65	-0.76	-0.72	0.99	-0.87	-0.93	1.00								
Ti	0.64	0.84	0.76	0.75	0.64	0.36	0.62	0.88	0.45	0.81	0.80	0.88	0.81	1.00						
Sr	-0.70	-0.81	-0.80	-0.77	-0.59	-0.30	-0.61	-0.71	-0.72	0.99	-0.81	-0.90	0.99	-0.76	1.00					
K	0.76	0.80	0.84	0.77	0.72	0.29	0.62	0.72	0.36	-0.86	0.73	0.94	-0.85	0.80	-0.84	1.00				
Na	0.69	0.72	0.75	0.75	0.55	0.30	0.58	0.69	0.81	-0.94	0.85	0.84	-0.94	0.69	-0.94	0.74	1.00			
N	0.42	0.55	0.40	0.52	0.15	0.19	0.28	0.57	0.73	-0.70	0.62	0.62	-0.72	0.52	-0.68	0.42	0.70	1.00		
Si	0.69	0.79	0.75	0.76	0.55	0.31	0.59	0.71	0.75	-0.99	0.82	0.88	-0.98	0.77	-0.99	0.81	0.93	0.71	1.00	

当  $r=0.374$  时,  $\alpha=0.05$ ;  $r=0.479$  时,  $\alpha=0.01$ ;  $r=0.588$  时,  $\alpha=0.001$ .

( $r=0.99$ ), 同时 Ca 与  $\text{CO}_3^{2-}$  呈强烈的正相关 ( $r=0.99$ )。这表明 Ca 基本以  $\text{CaCO}_3$  的形式存在。沉积物镜下鉴定表明, Ca 含量高的站位上, 有孔虫的丰度就大, 例如 19 号站, Ca 达 33.28%, 有孔虫就达 144126 枚/25 克干样。主要由底栖有孔虫, *Nuttalids umbonifer*, *Globocassidulina Subglobosa*—*Nuttalides*, *Nuttalides*—*umbonifer*—*Epstominella exigua* 和浮游有孔虫 *Globorotalia tumida*, *Globogadrina dutertrei*—*Globirinodes* 组成。由此, Sr 亦就主要赋存于上述有孔虫的方解石结构中。这主要是上述方解石结构 (不是霏石型结构),  $\text{Ca}^{2+}$  为 b 次配位, 它排斥半径大的元素 (例如  $\text{Ba}^{2+}$ ) 进入, 而 Sr 相对较易进入, 从而有孔虫含量高的站位一般富含 Sr。Si 与 Ca、Sr 呈强烈的负相关 ( $r$  分别为 -0.98 和 -0.99), 表明 Si 的存在形式完全相同于 Ca, 不过在深海环境中具有完全不同的化学性质, 主要以放射虫和硅藻壳体形式存在。

### 3. C<sub>有机</sub> 与 N 的关系



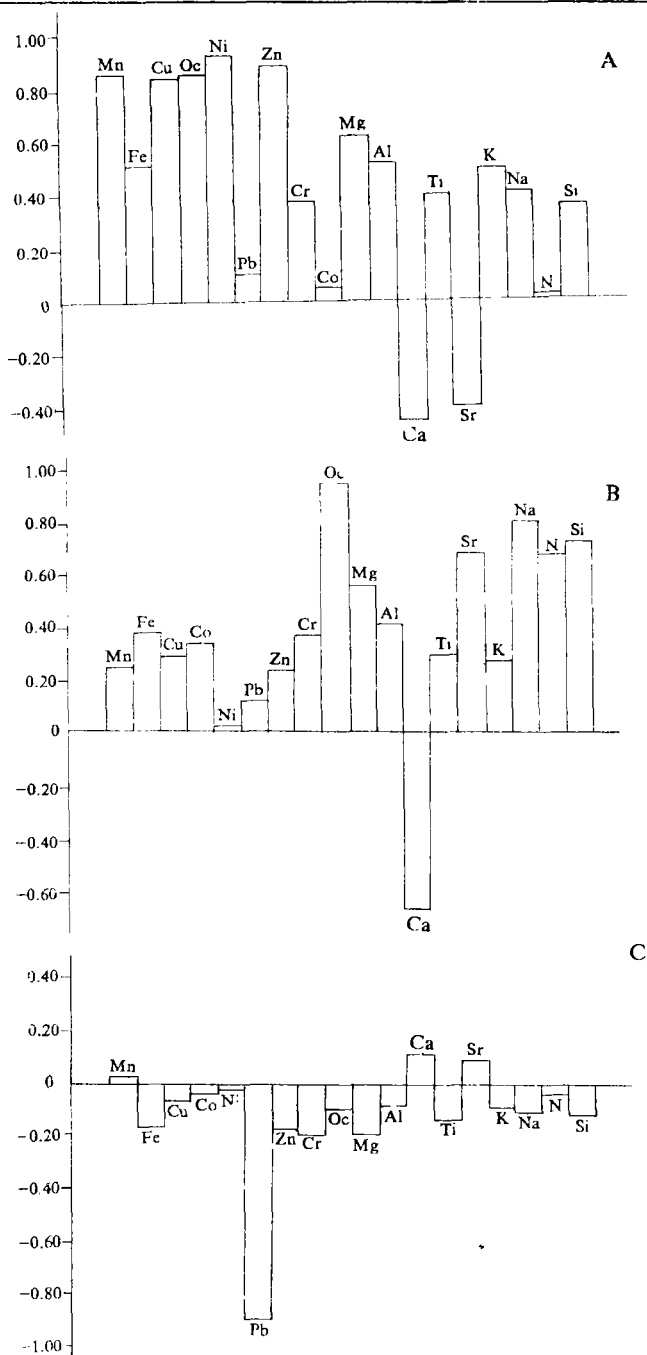


图 8 各因子的元素组合

Fig.8 The relationship between combination of elements and factors.

为了进一步弄清楚元素的共生组合关系, 作者进一步研究了各因子与元素的关系, 其结果见图 8。从图中可见, 元素的组合有以下的特点:

(1) 在因子 1 中 Fe、Mn、Cu、Co、Ni、Zn、Cr 和 K、Mg、Al、Ti 等元素共生, 并且对 Ni 起主导作用, 这表明上述元素主要被粘土的吸附而富集。正是由于 Fe 在任何酸度下比 Mn 沉积得完全, 而沉积后由于更易与  $S^{2-}$  结合而不能进一步的迁移<sup>①</sup>, 使来自陆源的 Fe 一般在河口区沉积, 从而导致远洋非火山成因的沉积物中 Fe 相对贫乏 (表 2)。

(2) 在因子 2 中不仅  $C_{\text{有机}}$  起主导作用, 并与 Sr、Na、N、Si 共生而与 Ca 以互不相容的对立状态出现 (图 8B), 其载荷绝对值表明 Ca 与上述元素主要来自生物化学作用过程有关的自生沉淀作用。然而值得指出的是, 微量元素 Fe、Mn、Cu、Co、Ni、Pb、Zn、Cr 及 Mg、Al 部分也与上述过程有关, 只不过上述元素的比重占大些。同时,  $C_{\text{有机}}$  的富集不利于 Ca 自生沉积。这与调查证实, 以有孔虫为主的钙质软泥, 一般颗粒大, 不利于  $C_{\text{有机}}$  保存是一致的。

(3) Pb 与 Fe、Cu、Pb、Cr、Zn 等微量元素以互

① 鲍根德: 1988 铁锰在早期成岩过程中分离及其生物地球化学机制, 中国科学 (待发表)

不相容的对立状态出现(图8C)因子3载荷绝对值表明Pb分别除来自自生沉积和粘土吸附外,主要赋存于碎屑矿物中,来源于海底页岩风化和火山喷发。这从沉积物调查中发现有石英颗粒(来自火山岩的侵蚀)和包括少量紫苏辉石、角闪石及磁铁矿的火山喷发物得到证实。

作者对于大洋锰结核调查队同志提供沉积物样品,浙江省地质矿产局测试中心,海洋一所光谱实验室及黄德佩、崔淑英等同志完成样品分析,在此一并致谢。

收稿日期 1987年9月26日

### 参 考 文 献

- (1) 梁子原, 1986, 海洋与湖沼通报, 第4期, 77—82页
- (2) 王贤觉、陈毓蔚、吴明滔, 1984, 海洋与湖沼, 第6期, 501—514页
- (3) 鲍根德, 1986 地球化学, 第4期, 344—352页
- (4) 鲍根德, 1987, 沉积学报, 第1期, 114—124页
- (5) 黄德佩、鲍根德等, 1984 南极普里前湾海域沉积物中某些主要元素的地球化学, 南极科学考察论文集, 海洋出版社, 189—201页
- (6) 钱江初, 1986, 沉积学报, 第1期, 31—44页
- (7) Dyuichi Sugisaki, 1980, 中太平洋盆地北部GH79—1测区海底沉积物主要元素的化学性质, 海洋地质(译文) 1984, 245
- (8) 国家海洋局, 1981, 中太平洋西部调查报告, 海洋出版社 63—73页
- (9) Cronan, D.S.adn Tooms, J.S., 1969, Deep—Sea, Res.V.16 p.335—359.
- (10) Calvert, S.E.and Price, N.B., 1977, Marine Chem. V.5, p.43—74
- (11) Huh, C.A.and Ku, T.L., 1984, Geochim. Cosmochim. Acta, V.48, p.951—963
- (12) Taylor, S.R., 1964, Gcochim, Cosmochim.Acta.V.28, N.8p.1273—1285

## GEOCHEMISTRY OF ELEMENTS IN SEDIMENTS OF THE ENRICHMENT AREA OF FERROMANGANESE NODULES FROM THE PACIFIC

Bao Gende

(The Second Institute of Oceanography, National Breau of Oceanography, Hangzhou)

### Abstract

The distributing law, contralling factors and source of Fe, Mn, Cu, Co, Ni, Pb, Zn, Cr, Mg, Ca, Al, Ti, K, Sr, Na, Corg.Si, N in 28 stations sediments were described in detail by the study method of the mathematical geology based of the data obtained during the second oceanic survey of the ferromanganse nodules from the Pacific North region ( $7^{\circ}$ — $165^{\circ}$  W), Main results are as follow:

1. There are charecteristics for the abundance of chemical elements in sediments of study area as follow:

- a) Major elements Si, Mg, N are similar and the trace elements Mn, Cu, Co, Ni, Zn and Ca

are obviously enrichment, and Te, Al, Cr, Ti and Corg are poorer than that of the earth's crust, clay of the coast and the sediments of continental shelf.

b) .Si, Al, Fe, Zn, K, Cr, Pb, Ti and N are similar, and Mn, Cu, Co, Ni and Ca are obviously enrichment too, and Corg is poorer than that in sediments of the half deep sea and the ocean of the poor ferromanganese nodules.

c) .The content of Si, Al, K, Na, Mg, Ca and Cr in sediment are obviously higher, and the trace elements Fe, Mn, Cu, Co, Ni, Pb and Sr, Ti are 1—2 quantity stager lower than that in ferromanganese nod nodules.

d) .Mn, Cu, Co, Ni, in sediments are obviously enrichment and increased and the organic carbon is decreased, and the major elements are similar in the order of estuary—continental shelf—half deep sea—area of the poor ferromanganese nodules—area of the enrichment ferromanganese nodules—ferromanganese nodules.

2.The distribution law of the elements in the surface sediment is similar for Fe, Mn, Cu, Co, Ni, Zn and K, Al, Ti their content in calcsiliceous ooze is lower than that in brown clay and siliceous ooze, relatively, the content of elements in brown clay is higher than others.The distribution trend of Corg,N, Si and Na are in agreement with the trace elements of Fe, Mn, but their content of elements in biological sediments is higher than that in brown and calcsiliceous ooze and the content elements in calcsiliceous ooze is lowest than others.The distribution of Ca, Sr and opposition with Fe, Corg.and the content of elements in calcsilicenus is higher than that in brown clay and siliceous ooze.

3.The result of factor analysis shows that the distribution of elements in study area mainly is controlled by the three factors, that is ; 1) the adsorption of clay and colloid of the hydrate of Mn, Fe oxides; 2) the authigenic sedimentation of the processe of the biochemistry; 3) voicanism near to the strdy area and shale weathering in floor.

The relationship between factors and elements indicates that Fe, Mn, Cu, Co, Ni, Zn, Cr and Mg, Al, Ti, K, mainly came from adsorption of clay; Corg,N, Sr, Na and Si, Ca, Sr mainly came from the sedimentation of processes of biochemistry; Pb mainly came from the calastic rook (volcanic clastic) and biological clastic.