

太平洋北部铁锰结核富集区沉积物和间隙水中 Fe, Mn, Ca, Mg 的地球化学*

鲍根德

(国家海洋局第二海洋研究所, 杭州)

提要 本文利用太平洋北部铁锰结核富集区(富集度 1.1—22.0 kg/m²) 7 个柱状样的沉积物和间隙水资料,详细探讨了其 Fe, Mn, Ca, Mg 的地球化学特征。结果表明:(1) 沉积物中 Mn 明显的比河口、陆架及贫结核洋区富集,而 Fe 则与河口沉积物相接近;(2) 沉积环境不同,沉积物和间隙水中元素的垂直分布和进入间隙水的途径不同;(3) 沉积物中 Fe, Mg 主要来自粘土吸附, Ca 来自生物化学作用沉积,而 Mn 则可能通过河口、陆架及半深海沉积物次表层 Mn 的迁移、生物化学及附近海底火山作用而富集;(4) 由于钙、硅软泥区生物作用强烈,使间隙水中 Mn²⁺/Fe²⁺ 比值明显的比钙质软泥和褐色粘土区大,这在某种程度上支持了结核中 Mn 组元素的沉积物来源。

无论从地质(矿物),还是化学、生物(细菌)等不同角度的研究均已证实,大洋中铁锰结核的形成与沉积环境密切相关,结核中部分元素来自沉积物。而 Fe, Mn, Ca, Mg 既是结核的主要成分,也是深海沉积物的重要组成^[2,3,6]。因此,探讨铁锰结核富集区的沉积环境、沉积物来源和元素地球化学特征,对研究大洋铁锰结核的形成机制无疑有重要意义。

1983年5—7月,我国首次对太平洋北部 167—178°W, 7—11°N 之间的洋域进行了铁锰结核调查。本文利用此次调查所取得的 7 个相对富集铁锰结核的柱状样(计 18 个沉积物和间隙水样品)的化学、地质等资料,对调查区 Fe, Mn, Ca, Mg 的地球化学特征作一探讨。

一、测定方法

沉积物中 Fe, Mn, Ca, Mg 用等离子体发射光谱仪测定;间隙水中 Fe²⁺, Mn²⁺, Ca²⁺,

表 1 取样站位及沉积物某些参数

Tab. 1 Sampling stations and some environmental parameters in sediments

站位	水深 (m)	OC (%)	CO ₃ ²⁻ (%)	SiO ₂ (%)	结核丰度 (kg/m ²)	沉积物类型
M ₁	4769.5	0.33	3.56	48.95	1.1	褐色粘土
M ₂	4552.6	0.18	73.26	13.13	3.4	钙、硅软泥
M ₅	5912.2	0.51	20.13	42.93	12.0	褐色粘土
M ₇	4680.2	0.09	70.60	14.27	22.0	钙、硅软泥
M ₈	5265.0	0.60	10.31	47.71	15.0	褐色粘土
M ₁₁	4928.0	0.31	41.24	31.97	12.8	钙、硅软泥
M ₁₆	5201.4	0.42	33.07	39.28	10	钙、硅软泥

* 大洋锰结核调查队提供沉积物和间隙水样品,黄德佩、崔淑英及原子吸收组同志提供部分分析数据,在此一并致谢。

收稿日期: 1986年4月1日。

Mg²⁺ 分别用 703 型原子吸收（无火焰）和 WY₂ 型火焰原子吸收分析；沉积物中有机碳（OC）、碳酸盐（CO₃²⁻）和二氧化硅用容量法滴定。

粘土、生物等资料引自《中太平洋铁锰结核调查报告》。表 1 为所研究样品的有关情况。

二、元素丰度及其分布规律

1. 元素的丰度

表 2 是表层沉积物和间隙水中元素的平均含量及与河口、陆架和贫结核洋区的比较结果。从表中可见，调查区的 Fe, Mn, Ca, Mg 含量变化有以下特征：

表 2 不同海区沉积物和间隙水中元素的比较

Tab. 2 Comparison of element concentrations in sediment and pore water in different areas

海区	项目	沉积物(%)				间隙水*				样品数	资料来源
		Fe	Mn	Ca	Mg	Fe ²⁺	Mn ²⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		
长江口		3.30	0.088	2.91	1.62	41.3	55.3	375.0	1108.0	47	[8]
东海陆架		2.71	0.060	4.00	1.41	113.0	117.3	380.5	1135.0	479	**
日本七尾湾		4.62	0.023	2.89	1.21					19	[15]
太平洋南部 (半深海)		4.06	0.072	4.15	1.19	253.7	182.7	358.0	953.6	38	[5]
太平洋西部 (深海贫结核区)		4.58	0.550	14.35	3.17					7	[6]
太平洋北部 (深海结核富集区)		3.02	0.600	18.87	1.43	544.4	117.7	403.1	1169.3	7	本文

* Fe²⁺, Mn²⁺ 的单位为 $\mu\text{g}/\text{kg}$; Ca²⁺, Mg²⁺ 为 $\mu\text{g}/\text{g}$ 。

** 东海大陆架调查报告。

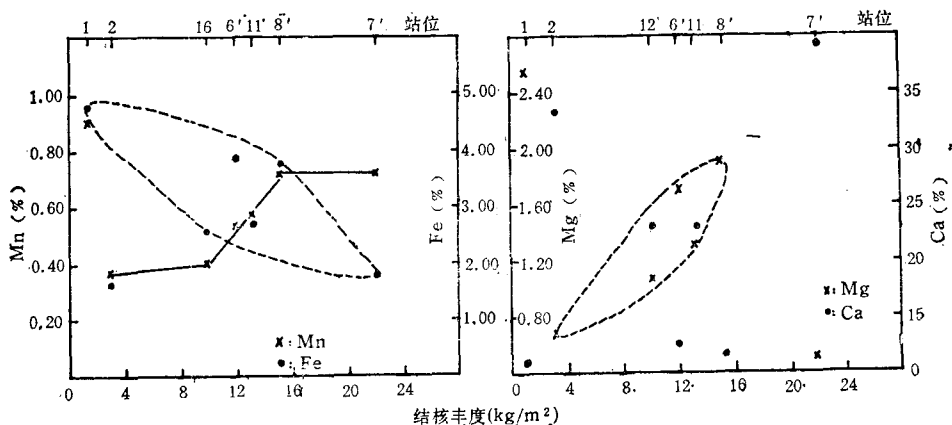


图 1 沉积物中元素含量与结核丰度的关系

Fig. 1 Relationship between element concentration in sediment and abundance of nodules

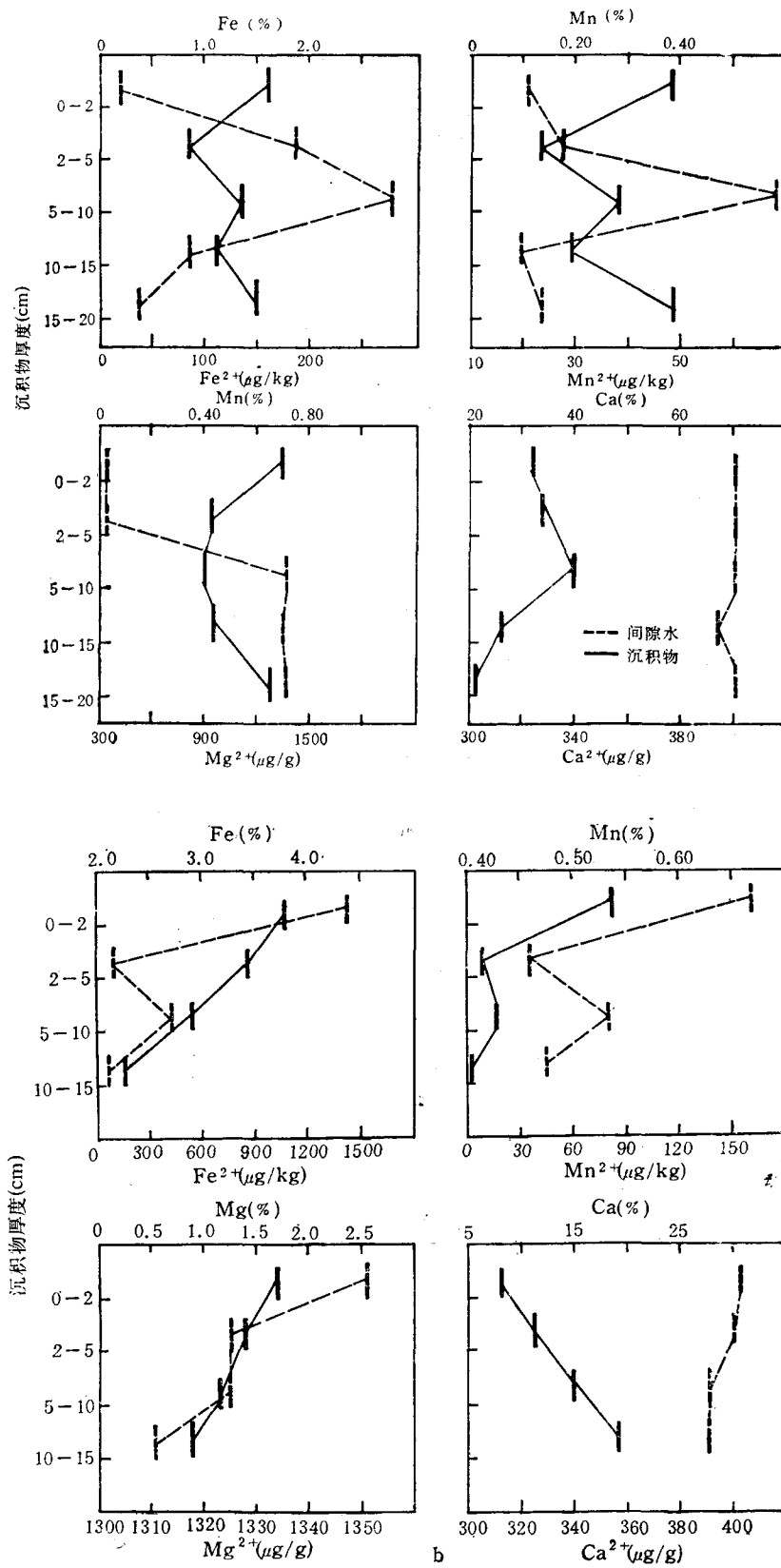


图 2 不同类型沉积物中元素的垂直分布

Fig. 2 Vertical distribution of elements in different types of sediment.

a. 钙、硅软泥区(上半图); b. 褐色粘土层。----间隙水; ——沉积物(图 3—7 同)。

(1) 沉积物中 Mn, Ca 明显的比河口、陆架和贫结核洋区的高, 尤其是 Mn 明显的富集, 而 Fe 则与河口泥质沉积物相接近。

(2) 间隙水中 Fe^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} 比河口、陆架及太平洋南部高, 尤其是 Fe^{2+} , 比河口高 10 倍, 而 Mn^{2+} 则不明显。

2. 元素的分布规律

元素的平面分布表明, 结核丰度高的站位, 沉积物中 Mn, Mg 的含量就高, 尤其是 Mn 呈较明显的正相关。Fe 与结核的富集度呈负相关, 而 Ca 则不明显(图 1)。

图 2a, b 是两个不同类型沉积物和间隙水中元素的垂直分布, 可以看出, 沉积环境不同, 元素的分布规律也不同。

(1) 钙、硅软泥区(以 M_2 站为例)

该区沉积物和间隙水中 Fe, Mn 分布基本相同。即沉积物中 2—5 cm 层次上 Fe, Mn 含量最低, 表层和深层高; 而间隙水中 5—10 cm 层次最高, 表层和深层最低。沉积物中 Mg 与 Ca 呈相反趋势分布。前者与 Fe, Mn 的趋势接近, 后者在 5—10 cm 处含量最高。间隙水中 Mg^{2+} 在 5—10 cm 以下层次明显的比表层高, 而 Ca^{2+} 的变化不明显(图 2a)。

(2) 褐色粘土区(以 M_6 站为例)

该区沉积物和间隙水中元素分布与钙、硅软泥区相比, 共同点是沉积物和间隙水中 Fe, Mn 分布趋势基本相同。不同之处是后者沉积物和间隙水的 Fe, Mn 完全呈正相关分布, 随着沉积物厚度的增加而明显减少。沉积物和间隙水中 Mg 亦同 Fe, Mn 一样。而 Ca 则呈负相关分布, 沉积物中增加, 间隙水中减少(图 2b)。

三、元素间相关及赋存状态

深海沉积物中元素间的相关直接与很多因素有关, 例如物质来源、赋存状态及沉积环境^[5]。

表 3 是所有沉积物中元素和部分环境参数, 用数理统计法统计列成的相关系数表。现将有关元素的来源及赋存状态简述如下:

1. 铁、镁

沉积物中 Fe, Mg 与粘土、 SiO_2 呈较强烈的正相关 (r 分别为 0.872, 0.945 和 0.917, 0.903) 表明, 沉积物中 Fe, Mg 主要为来自粘土等细颗粒物对海水中 Fe^{2+} , Mg^{2+} 的吸附, 并不主要以碎屑矿物形式存在。这与粘土和硅质生物颗粒细、表面积和单位面积自由能大引起的表面吸附和粘土矿物本身含有 Fe^{2+} , Mg^{2+} 有关。由于调查区受火山喷发影响小, 沉积物主要来自夏威夷群岛或更远的亚洲大陆¹⁾。正因为沉积物中粘土矿物主要为来自陆源的伊利石²⁾, 而 Fe 比 Mn 等元素有较低 pH, Eh 沉积水平, 同时伊利石的吸附能力比火山喷发物转化的蒙脱石为低^[6], 从而 Fe, Mg 的含量亦比贫结核区低(表 2)。

2. 锰

沉积物中 Mn 与粘土、OC 呈弱的正相关, 同时与 CO_3^{2-} 呈弱的负相关表明, Mn 的来源是多途径的。即通过河口、陆架和半深海沉积物次表层 Mn^{2+} 的迁移和生物化学作用

1), 2) 国家海洋局, 1984。太平洋北部锰结核调查报告。

及邻近海区火山作用而富集, 同样并不主要以碎屑矿物的形式存在。这是由于 Mn 有比 Fe 活泼的地球化学个性和较高的 pH, Eh 沉积水平, 可以呈 Mn^{2+} 形式搬运, 而研究区沉积物中有机碳含量较低, 同时由于所研究站位主要处在褐色粘土和碳酸盐补偿深度附近的钙、硅软泥区, 沉积速率较低 (1—2 mm/千年), 导致了沉积物中 Mn 的富集。

3. 钙

沉积物中 Ca 与 CO_3^{2-} 呈强烈的正相关 ($r = 0.967$) 表明。研究区 Ca 主要以 $CaCO_3$ 的形式存在, 来源于生物化学作用沉淀。镜下鉴定表明, 主要以 *Globorotalia tumida* (厚圆幅虫)。 *Pulleniatina obliquiloculata* (斜室普林虫) 和 *Sphaeroidinella dehiscentes* (果裂球形虫) 等有孔虫壳体形式存在。

表 3 沉积物中元素相关系数矩阵

Tab. 3 Statistics of interrelation coefficient of elements in sediment

n = 18	粘土	Mn	Fe	OC	CO_3^{2-}	SiO_2	Ca	Mg
水深*	0.244	-0.155	0.475	0.791	-0.552	0.603	-0.555	0.345
Mg	0.945	0.630	0.977	0.640	-0.946	0.903	-0.958	1.000
Ca	-0.891	-0.505	-0.963	-0.810	0.967	-0.940	1.000	
SiO_2	0.893	0.420	0.917	0.852	-0.992	1.000		
CO_3^{2-}	-0.914	-0.514	-0.957	-0.811	1.000			
OC	0.664	0.047	0.661	1.000				
Fe	0.872	0.640	1.000					
Mn	0.530	1.000						

* 元素与水深的关系, $n = 7$ 。当 $n = 18$ 时, $R = 0.468$, $\alpha = 0.05$; $R = 0.590$, $\alpha = 0.01$; $R = 0.708$, $\alpha = 0.001$ 。

四、元素的地球化学行为

1. 元素比值的垂直变化

图 3 是钙、硅软泥区元素比值的垂直变化。从图 3a 中可见, 沉积物和间隙水中 Mn/Fe 比值在 5cm 处有一强烈的回折, 然后随着沉积物厚度的增加而增加。这表明在 0—10 cm 层次上, 由于间隙水与上覆水形成的 Fe^{2+} , Mn^{2+} 浓度梯度(图 2a), Fe^{2+} , Mn^{2+} 是向上覆水扩散的。因为表层处于强的氧化环境, 使向上扩散的 Fe^{2+} , Mn^{2+} 不断产生沉积。由于 Mn^{2+} 的迁移力比 Fe^{2+} 大得多, 所以沉积物和间隙水中 Mn/Fe 比值增大。在这个层次以下, 间隙水中 Fe^{2+} , Mn^{2+} 同样存在一个浓度梯度(图 2a), 因此, Fe^{2+} , Mn^{2+} 同时向深层迁移, 导致以下层次 Mn/Fe 比值又增大。造成 Fe^{2+} , Mn^{2+} 在 5—10 cm 层次向上、下层次迁移的原因, 可能是钙、硅软泥区在此层次上细菌活动强烈, 引起有机物降解, 还原微区形成, 使 Fe^{2+} , Mn 的迁移力增加所致。这从该层次上有机碳和 SiO_2 的含量较低以及细菌含量较高得到证实(图 4)¹⁾。这表明, 研究区沉积物中 Fe^{3+} , Mn^{4+} 参与了沉积物中

1) 1985 年航次资料。

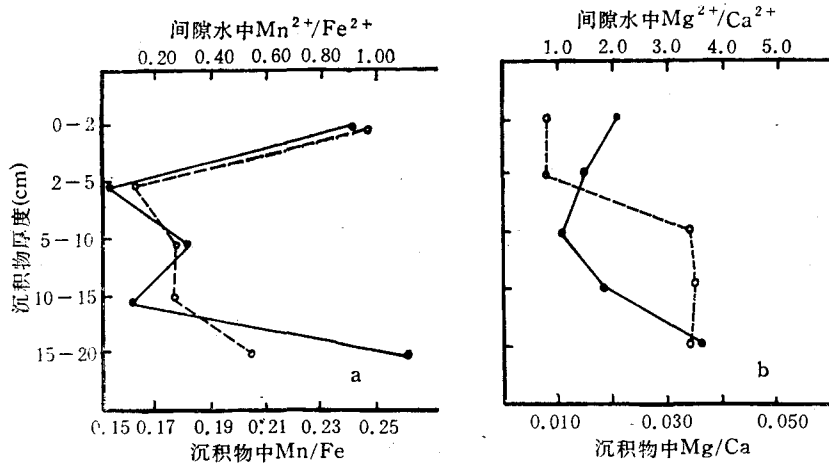
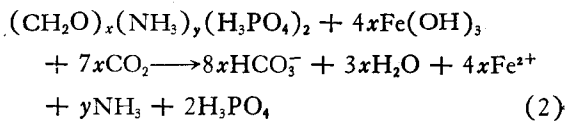
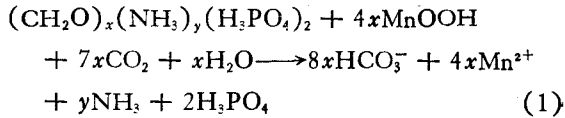


图3 钙、硅软泥区沉积物和间隙水中元素比值的垂直变化

Fig. 3 Vertical distribution of element ratio in sediment and pore water of calcareous ooze
a. Mn/Fe; b. Mg²⁺/Ca²⁺.

某些有机物的降解反应(在细菌媒介下)后被还原,从而由沉积物转移到间隙水中。其反应可用下式表示^[8]:



导致间隙水中 Fe²⁺, Mn²⁺ 分布与沉积物中 Fe, Mn 和 OC 呈负相关(图 2a, 图 4)。

在钙、硅软泥区 0—5 cm 层次上,亦可能由于有机物降解,还原微区和自生黄铁矿形成, Mg²⁺ 代替 Fe²⁺ 进入到粘土中去同该区沉积物中进行生成白云石和石膏的成岩作用^[10,14], 导致间隙水中 Mg²⁺ 缺乏,故而 Mg²⁺/Ca²⁺ 比值较低(图 3b)。以下层次, Mg²⁺ 相当于海水中的

含量 (1351 μg/g), 似乎 Mg, Ca 固液相没有重新分配^[12]。沉积物中 Mg/Ca 比值增大, 可能是沉积物中 Mg 含量增加, Ca 含量减少所致(图 2a)。

褐色粘土区沉积物和间隙水中 Mn/Fe 比值的垂直变化见图 5。沉积物和间隙水 Mn/Fe 比值虽然在 5—10 cm 处有一个回折(图 5a), 但总趋势随着沉积物厚度增加而增大。这表明,间隙水中 Fe²⁺, Mn²⁺ 并未向上覆水扩散,而向沉积物深层迁移,这与图 2b 间隙水中 Fe²⁺, Mn²⁺ 由表层向下形成浓度梯度的结果是一致的。导致 Fe²⁺, Mn²⁺ 向下迁移的因素,作者认为,可能与褐色粘土区间隙水中 Fe²⁺, Mn²⁺ 的来源有关。因为图

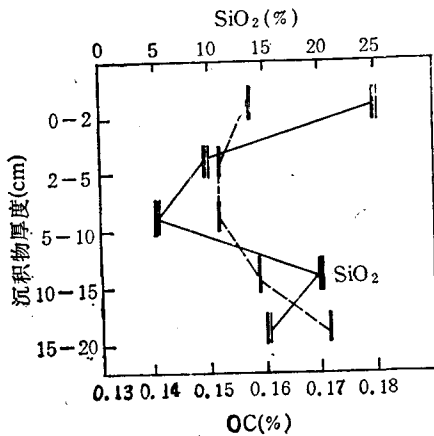


图4 沉积物 OC 和 SiO₂ 的垂直分布 (以 M₂ 站为例)

Fig. 4 Vertical distribution of OC and SiO₂ in sediment (M₂)

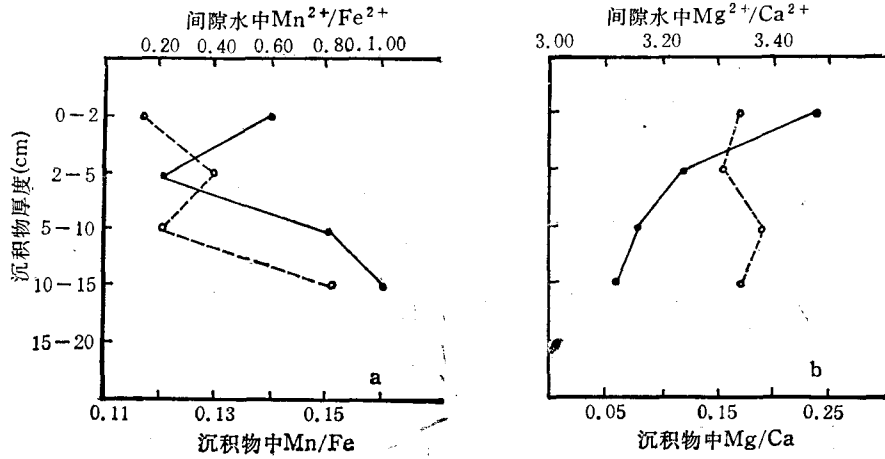


图 5 褐色粘土区沉积物和间隙水中元素比值的垂直变化

Fig. 5 Vertical distribution of element ratio in sediment and pore water of brown ooze (M_6)

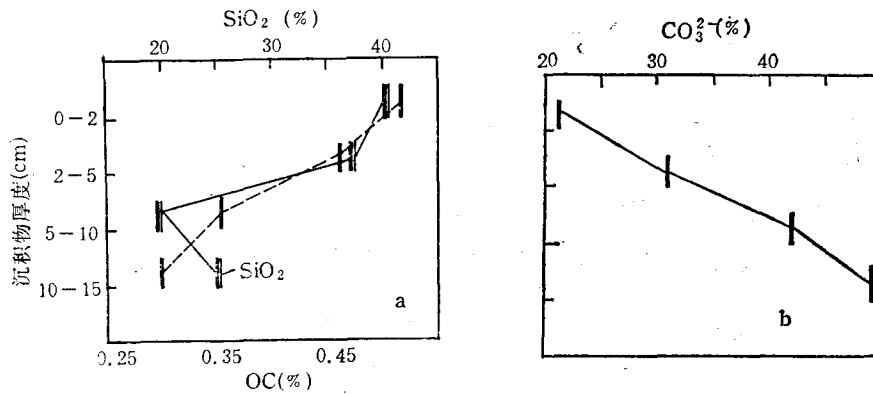
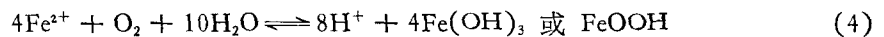
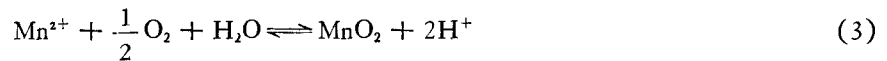


图 6 褐色粘土区沉积物中有机碳酸盐、 SiO_2 的垂直分布

Fig. 6 Vertical distribution of OC, CO_3^{2-} , SiO_2 in sediment of brown ooze (M_6)

6 中有机碳的垂直分布与沉积物中 Fe, Mn 和间隙水中 Fe^{2+} , Mn^{2+} 呈正相关, 表明沉积物中 Fe^{3+} , Mn^{4+} 可能没有参与有机物的降解反应, 间隙水中 Fe^{2+} , Mn^{2+} 可能主要来自高压微酸性海水的浸取作用^[2]。因为表层海水的浸取作用肯定比深层强烈, 从而其分布由表向下递减(图 2b)。上述浸取作用可用下式表示:



同样, 由于 Mn^{2+} 的迁移力比 Fe^{2+} 大, 向下迁移的 Mn^{2+} 不断与间隙水中 CO_3^{2-} 作用, 而碳酸盐矿物(菱锰矿)的稳定范围又较宽^[13], 不断形成的碳酸盐沉淀, 使沉积物 Mn/Fe 比值增大, 同时与 CO_3^{2-} 呈正相关分布(图 5a, 图 6)。后来的调查表明, 该区褐色粘土中细菌

含量、pH 和 HCO_3^- (有机物降解后产物) 较钙、硅软泥区低而 Eh 高¹⁾, 这进一步证实了以上推论。

该区沉积物中 Mg/Ca 比值随沉积物厚度增加而减少, 而间隙水中 $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ 变化不明显(图 5b), 这表明, 在该区沉积物中, Mg, Ca 在固、液相可能没有大量发生重新分配(图 2b)。

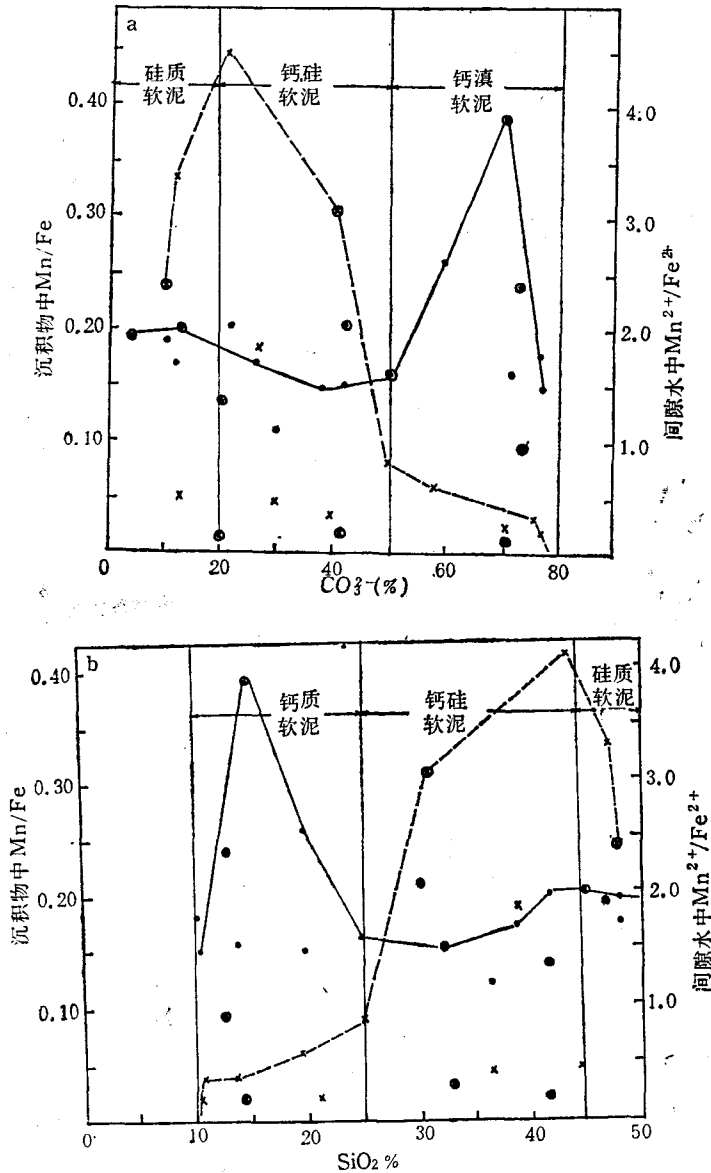


图 7 元素比值与沉积环境的关系 (a: CO_3^{2-} ; b: SiO_2)

Fig. 7 Relationship between element ratio and sedimentary environment

1) 鲍根德, 1989. 太平洋铁锰结核中 Fe, Mn 的含量分布特征、来源及其与沉积环境的关系. 中国科学 4: 418—425.

2. 元素比值与沉积环境的关系

图 7 为所有沉积物和间隙水中 Mn/Fe 比值与沉积物中 CO_3^{2-} 和 SiO_2 的关系。假设 CO_3^{2-} 含量在 0—20%、 SiO_2 含量在 45—50% 时的沉积物为硅质软泥, CO_3^{2-} 的含量在 20—50%、 SiO_2 含量在 25—45% 时的沉积物为钙、硅软泥; 同样, 当沉积物中 CO_3^{2-} 的含量在 50—80%, SiO_2 含量在 10—25% 时为钙质软泥, 那么, 图 7 的趋势表明, 其关系亦比贫结核洋区复杂得多。Mn 相对于 Fe 富集程度的变化, 在硅质软泥间隙水中, 先随着 CO_3^{2-} 的含量升高而增大, 至沉积物中 CO_3^{2-} 含量达到 25% 时, 又随着 CO_3^{2-} 含量升高而降低, 直至 CO_3^{2-} 含量达到 80% 时达最低。在沉积物中的变化刚好与间隙水相反。这证实了前文提出的沉积物中 Mn/Fe 比值变化受控于 Fe, Mn 分离程度的推测^[6]。导致上述关系的原因, 也正如前所述, 钙、硅软泥区物质来源相对丰富, 而沉积物疏松多孔, 生物活动强烈^[3,7], 导致沉积物中元素被还原的多。由于 $\text{Mn}^{4+}/\text{Mn}^{2+}$ 标准氧化还原电位比 $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 高, 故相对的 Mn^{2+} 进入间隙水的多, 沉积物中固相锰相对就低。最终导致沉积物 Mn/Fe 比值低, 间隙水高。间隙水中 Mn^{2+} 含量高, 必然与上覆水之间的浓度梯度大, 因此向上覆水扩散的亦多, 这同样与图 2a 的结果是一致的。作者认为, 可能正是这个原因, 使钙、硅软泥区结核富集^[1]。在钙质软泥区, 有机碳来源相对贫乏^[7,9], 这样参与 Fe^{3+} , Mn^{4+} 等还原的物质和细菌就少, 最终沉积物中 Fe, Mn 失去的亦少, 导致沉积物中 Mn/Fe 比值高, 间隙水中则低, 因而就不利于结核的形成。从图 7 中还可以明显看出, 当 SiO_2 的含量大于 45%, 沉积物中 CO_3^{2-} 接近 10% 时, 沉积物中 Mn/Fe 升高, 而间隙水中 $\text{Mn}^{2+}/\text{Fe}^{2+}$ 急剧下降, 这可能是褐色粘土区的沉积物颗粒细、粘性大, 有利于有机碳的保存而不利于 Fe^{3+} , Mn^{4+} 还原所致^[7], 因而这种环境中亦不利于结核的形成。这与 Huh 等 (1984), 黄奕普等 (1987) 用放射性同位素法测得的褐色粘土区的结核, 其生长速率一般较慢是一致的。

参 考 文 献

- [1] 王成厚编著, 1982。大洋锰结核。海洋出版社, 72—73 页。
- [2] 王贤觉、陈毓蔚、吴明清, 1984。铁锰结核的稀土和微量元素地球化学及其成因。海洋与湖沼 15(6): 501—513。
- [3] 国家海洋局, 1981。“实践”号海洋调查船中太平洋西部调查报告。海洋出版社, 63—73 页。
- [4] 黄奕普、罗尚德、施文远等, 1987。深海锰结核的放射化学研究。海洋学报 9(1): 36—44。
- [5] 黄德佩、鲍根德、汪依凡等, 1984。南极普里兹湾及邻近海域沉积物中某些主要元素地化行为的初步探讨。南极科学考察文集。海洋出版社, 189—201 页。
- [6] 鲍根德, 1986。太平洋西部深海沉积物中 Fe, Mn, Mg 地球化学。地球化学 4: 344—352。
- [7] 鲍根德, 1987。中太平洋西部沉积物中有机碳、氮、磷的初步研究。沉积学报 5(1): 114—124。
- [8] 鲍根德、张桂芬, 1986。东海陆架区沉积物中铁、锰、有机质、硫化物、细菌间关系的探讨。杭州大学学报(自然科学版) 13(1): 89—99。
- [9] Hinga, K. R., J. M. Sieburth and G. R. Heath, 1979. The supply and use of organic material at the deep-sea floor. *J. Mar. Res.* 37(3): 557—579.
- [10] Holland, H. D., 1978. *The Chemistry of the Atmosphere and Oceans*. By John Wiley. New York, 351pp.
- [11] Huh, C. A. and T. L. Ku, 1984. Radiochemical observations on manganese nodules from three sedimentary environments in the North Pacific. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 48: 951—963.
- [12] Masuzawa, T. and Y. Kitano, 1983. Interstitial water chemistry in deep-sea sediments from the Japan sea. *J. Ocean. Soc. Jap.* 39(4): 171—184.
- [13] Maynard, J. B., 1983. *Geochemistry of Sedimentary Ore Deposits*. Springer-Verlag. New York Heidelberg Berlin, pp. 121—132.

- [14] Sholkovitz, E., 1973. Interstitial water chemistry of the Santa Barbara Basin sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta.* **37**: 2043—2073.
- [15] Yoskikazu, Y., Y. Tanaka and U. Shunzo, 1977. The chemical composition and nickel, cobalt, copper, zinc and lead contents of Nanao Bay sediments. *J. Ocean. Soc. Jap.* **33**(5): 242—246.

GEOCHEMISTRY OF Fe, Mn, Ca, Mg IN SEDIMENTS AND INTERSTITIAL WATER OF THE FERROMANGANESE NODULE ENRICHMENT AREA FROM NORTH PACIFIC

Bao Gende

(The Second Institute of Oceanography, SOA, Hangzhou)

ABSTRACT

Geochemistry of Fe, Mn, Ca, Mg in sediments and interstitial water was described in detail based on the data obtained during the first ferromanganese nodule survey in the North Pacific region (167°00.06'—178°3.58' W, 6°57.16'—10°38.69' N).

The average contents of Fe, Mn, Ca, Mg in the surface sediments are 3.02%, 0.60%, 18.87% and 1.43% respectively. Mn content is obviously higher than that in sediments of estuary and continental shelf, but Fe content is similar to that in estuary. The average contents of Fe²⁺, Mn²⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ in interstitial water are 544.4 μg/kg, 117.7 μg/kg and 403.1 μg/g, 1169.3 μg/g respectively. Fe²⁺ content is obviously higher than that in the estuary interstitial water and continental shelf, but Mn²⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ contents are similar to those in the continental shelf.

The vertical distribution of elements and their geochemical nature in the sediment and the plaster stone (CaSO₄·2H₂O) in the sediment.

In calciliceous ooze region, Fe²⁺ and Mn²⁺ in interstitial water came mainly from the reduction of iron (Fe³⁺) and manganese (Mn⁴⁺) in sediments through the decomposing reaction of some organic carbon under the intermediating action of bacteria. Thus Fe²⁺ and Mn²⁺ in 5—10 cm sediments are diffused toward the overlying water, resulting in the decrease of their content.

The low Mg²⁺ content in surface (0—5 cm) interstitial water is due to (1) the reduction of organic carbon by the decomposing action of organic material in sediments, (2) replacement of Fe²⁺ by Mg²⁺, in the clay mineral, and the formation of dolomite (CaMg(CO₃)₂) and the plaster stone (CaSO₄·2H₂O) in the sediment.

In the brown ooze zone, Fe, Mn in sediments and interstitial water decreased with the increase of sediment layer and Fe²⁺, Mn²⁺ in interstitial water gathered from mainly the soaking action of high pressure sea water by the sedimentary environment which favoured the exist of the organic material in sediments. Simultaneously, the vertical change of Mg/Ca (Mg²⁺/Ca²⁺) in sediments and interstitial water were not obvious, indicating that Mg, Ca in solution-soil phase has not been redistributed, and Fe²⁺, Mn²⁺, Mg²⁺, Ca²⁺ in interstitial water has not diffused towards the overlying water and moved from surface towards the depth.

Fe, Mg in sediments of studying area came mainly from adsorption of clay mineral; Mn

in sediments came from the movement of Mn^{2+} in surface sediment of estuary and continental shelf and the biochemical action and volcanism in oceanic environment; Ca came from the biochemical deposits.

In the calcsiliceous ooze zone, owing to the action of organisms and low sedimentary rate compared with that of the calcareous and brown ooze zone, the Mn^{2+}/Fe^{2+} ratio in interstitial water is higher and Mn/Fe ratio in sediments is smaller than that in the calcareous and brown ooze zones, well in agreement with the higher abundance and faster growth rate of ferromanganese nodule in calcsiliceous ooze zone, indicating further the sediment origin of some main elements of ferromanganese nodule.