

# 中太平洋海盆表层沉积物 及其与锰结核的关系

沈华梯

(国家海洋局第二海洋研究所)

**提要** 通过对中太平洋海盆表层沉积物与相伴生的锰结核的研究表明,不同沉积物中锰结核的丰度、品位、类型等有明显的差异,在深海粘土中锰结核丰度最高,钙质软泥中最低,锰结核的发育、富集与沉积物类型、沉积速率、孔隙度、金属含量及形成时的氧化还原条件、粒度和水深、底层流等密切相关,锰结核的形成、发育与富集是受多种因素所控制,是一个复杂模式的过程。

**关键词** 中太平洋 表层沉积物 锰结核

**作者简介** 沈华梯 男 50岁 副研究员 沉积与海底矿产

在世界大洋中广泛地分布着锰结核,尤其在太平洋锰结核更为发育,它不仅金属含量高,而且储量大,是人类的宝贵财富和潜在的矿产资源,因此引起人们的普遍关注和注意。

锰结核一般生长在沉积物的表面,与沉积物有密切的关系。据许多学者的研究,不同沉积物中锰结核的丰度、类型、金属含量有明显的差异,所以通过对沉积物类型的研究,可了解它与相伴生的锰结核的分布、富集规律与成因等问题,从而为锰结核的寻找,认识大洋沉积作用的特征具有十分重要的意义。

本文以中太平洋海盆进行综合科学调查所得的实际资料为研究对象,从沉积物与锰结核特征出发,来认识它们之间的某些关系。

## 一 表层沉积物类型

本区表层沉积物按 Berger W.H. (1972) 和 Nakao. (1982) 的分类分为6种类型,根据其实际情况把本区表层沉积物分为六种类型,现简述如下。

### (一) 沉积物类型与特征

#### 1. 钙质软泥 (钙质类含量 > 30%)

呈乳白色、灰色或灰黄色。具砂粒状结构,生物组分主要为有孔虫等。粘土含量为 8—64%左右。它分布在 3949—5076m 水深区,在本区碳酸盐溶解深度范围内,软泥中锰结核的丰度很低。

#### 2. 钙质粘土 (钙质壳含量 10—30%)

黄色—褐黄色,以黄色的色调为特征。常见薄层状、团块状的褐色粘土夹层。有孔虫含量约 10—23%,粘土含量普遍小于 70%。它分布在钙质软泥的周围(剖面)。与软泥关系,钙质粘土出现在 4812—5176m 水深区,锰结核的丰度较低。

#### 3. 硅质粘土 (硅质壳含量 10—30%)

硅质粘土呈黄褐色,生物组份主要为硅质壳(放射虫等),含量 10—27%。粘土含量一般大于 75%。它出现在 5186—5672m 水深范围内,与钙质粘土关系密切。

区, 在 5700m 以深, 随着水深增大硅质壳含量有明显的减少。

#### 4. 深海粘土 (褐色粘土)

呈褐色、深褐色, 稍带红色的色调, 生物壳体很少, 粘土含量约占 80% 以上。深海粘土常有沸石, 沸石主要分布在单斜辉石、磁铁矿富集区的周围, 这可能反映沸石的形成与海底的基性火山的喷发作用有关。它分布在碳酸钙补偿深度以深的海区。

#### 5. 沸石粘土 (沸石含量 > 10%)

棕色, 放射虫壳含量约 7% 以下, 有孔虫壳少。粘土含量 70—80%, 其中蒙脱石含量很高, 最高约占粘土总量的 44%。沸石粘土中 Cu、Co、Ni 较高, 分别为 501ppm、155ppm、363ppm。是所有沉积物中含量最高的一类。

#### 6. 沸石质粘土 (沸石含量 5—10%)

此类沉积物与沸石粘土特征相似, 只是沸石含量为 5—10%, 外貌难以与沸石粘土区分。

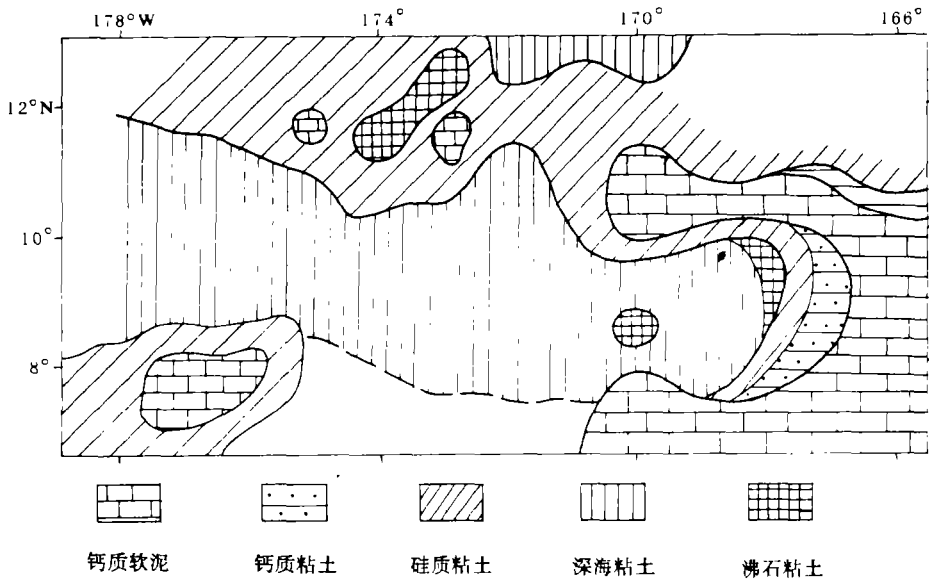


图 1 测区沉积物分布图

Fig.1 Distribution of sediments in the study area

## (二) 水源对沉积物、锰结核的影响

从上所述, 在不同水深中沉积物类型差异甚大, 如钙质沉积物均分布在碳酸钙补偿深度以浅海区, 而深海粘土、硅质粘土和沸石粘土主要分布在 CCD 以下的全溶带中 (表 1), 它们严格地受水深的控制, 尤其是 CCD 面对沉积物影响特别明显。

水深对锰结核的分布也有一定影响, 从本区锰结核富集区主要在 5300—5700m 水深区, 也就是在 CCD 以下 100m 处, 是锰结核最富集地区, 这可能是由于 CCD 以下钙质壳体被大量溶解殆尽, 物源减少, 沉积速率降低而有利于锰结核的发育和富集。但水深继续增大趋过 6000m 后, 锰结核丰度又趋降低, 这可能是与沉积环境的 Eh 和深水静压力影响下, 促使矿物相转化有关。

表 1 本区不同沉积物的分布水深范围  
Table 1 The water depth of the different sediments in the study area

沉积物	水深 (m)		碳酸钙溶解深度带		沉积速率 (mm / 10 <sup>3</sup> a)
	范围	平均	溶解深度带	水深 (m)	
钙质软泥	3949-5076	4500	弱溶带	3900-4800	> 7.0
钙质粘土	4812-5176	4964	强溶带	4800-5200	> 4.0
硅质粘土	5186-5672	5341	全溶带	5200 以下	/
沸石粘土	5305-5500	5431	全溶带	5200 以下	6.2
深海粘土	5204-5919	5473	全溶带	5200 以下	7~2

## 二 不同沉积物中锰结核的丰度

初步统计表明 (表 2), 本区深海粘土中锰结核的最高丰度  $34\text{kg}/\text{m}^2$ , 平均丰度  $7.7\text{kg}/\text{m}^2$ , 均列第一。硅质粘土和沸石粘土中锰结核丰度大致接近, 仅次于深海粘土。而钙质沉积物中锰结核丰度普遍很低, 平均只有  $1.4\text{kg}/\text{m}^2$ , 是本区锰结核丰度最低的沉积物。造成钙质沉积物中锰结核丰度普遍低的主要原因之一是沉积速率高。据测定结果, 钙质软泥 (Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 站) 的沉积速率为  $>7.0\text{mm}/10^3\text{a}$ , 比本区深海粘土高约 5 倍, 高的沉积速率不利于锰结核的发育和富集。

表 2 不同沉积物中锰结核丰度  
Table 2 Abundance of manganese nodule in the various sediments

丰度		沉积物			
		深海粘土	硅质粘土	沸石粘土	钙质沉积物
丰度 (kg/m <sup>2</sup> )	极值	0—34	0—9	0—10	0—9.6
	平均值	7.7	3.8	3.6	1.4
25kg/m <sup>2</sup> 站数统计	统计站数	12	9	3	12
	> 5kg/m <sup>2</sup>	7	4	1	3
	百分数 (%)	58	44	33	25

沉积物中锰结核的丰度差异, 往往与沉积物的组份有关。初步分析结果, 在锰结核高富集区内沉积物的组分中粘土含量较高, 并有一定数量的硅质壳等粒状组分。但当粘土含量过高 (>90%), 硅质壳 <30% 的细粒沉积物中锰结核的丰度则明显地降低, 这可能是因过细沉积物分布在 6000m 以深海区, 那里的物化条件不利于锰结核发育。同时当水深趋过 5800m 后, 硅质壳含量急剧减少, 一般低于 3%, 而硅质壳和存在能提高沉积物的空隙度与促进间隙水的活动, 增加间隙水的含量, 这对金属元素的迁移、储存是十分有利的。

从上所述, 锰结核与它相伴生的沉积物有着密切关系。值得指出, 各地区锰结核富集区的沉积物是不完全一致的, 如在夏威夷群岛东南的克拉里翁断裂带与克里伯顿断裂带之间的锰结核高富集区沉积物主要为硅质软泥, 其次为深海粘土, 而本区锰结核富集区的沉积物主要是深海粘土, 这表明两区的地质条件、物化环境与物源等因素有些差异。特别在本区海底有明显的基性火山喷发, 火山物质十分丰富, 它对锰结核的形成、发育和富集有较大的影响。所以锰结核的形成、发育、富集是受多种因素所控制, 具有多模式的成因特点。

### 三 不同沉积物中锰结核的类型与品位

在钙质沉积物中锰结核呈土黑色，表面裂纹发育，极易破碎，表面光滑，光滑型 (S) 结核约占 60%，它们裸露在沉积物的表面，有的上表面光滑下表面粗糙埋入沉积物中。在钙质沉积物中锰结核个体普遍较小一般在 7.5—3.5cm (直径) 锰结核形态以不规则状、瘤状、椭球状和球状，矿物相主要为锰的氧化物  $\delta$ - $MnO_2$  与 7Å 水锰矿，矿物结晶差。锰结核中铜、镍和锰含量较低，铁、钴较高 (表 3)， $Mn/Fe=1.6-2.1$ ， $Cu+Ni/Co=2.0-2.4$ 。

表 3 不同类型锰结核的金属含量和比值  
Table 3 The contents and ratios of metals in the different types of manganese nodules

站号	沉积物	类型	Mn (%)	Fe (%)	Mn/Fe	微量元素含量%			Cu+NiCo
						Cu	Co	Ni	
Mn33	沸石粘土	r	23.5	5.4	4.3	0.83	0.24	0.78	6.6
Mn34	深海粘土	r	24.0	4.7	5.1	1.02	0.21	1.12	10.0
Mn12-2	硅质粘土	s	21.7	9.7	2.2	0.72	0.38	0.64	3.9
Mn11-1	深海粘土	s	17.8	14.2	1.3	0.25	0.42	0.41	1.6
Mn31	深海粘土	s+r	20.4	8.9	2.3	0.78	0.23	0.91	7.0
Mn38	钙质软泥	s	19.1	12.5	1.6	0.48	0.34	0.32	2.1

沸石粘土中锰结核表面多为粗糙，以粗糙型 (r) 结核为主约占 60% 以上，一般个体直径为 2—4cm 锰结核坚硬不易破碎，表面具砂粒状小粒，其核心物多为蚀变火山碎屑和老结核碎块。以亚铃状、球状、椭球状为主。矿物相以 10Å 水锰矿、7Å 水锰矿等为主。矿物结晶比前者好。金属含量以 Cu、Ni、Mn 较高，Fe、Co 较低。

深海粘土中锰结核的类型、品位变化较大，统计结果，粗糙型结核约占 35% 光滑型结核占 25%，光滑+粗糙型结核 (s+r) 约占 40%。前者以 10Å 水锰矿为主， $Cu+Ni/Co > 2.3$ ， $Mn/Fe > 3$ ，后者以 7Å 水锰矿为主， $Cu+Ni$  一般小于 1.0%， $Mn/Fe < 2.0$ 。

### 四 沉积物中金属含量对锰结核的影响

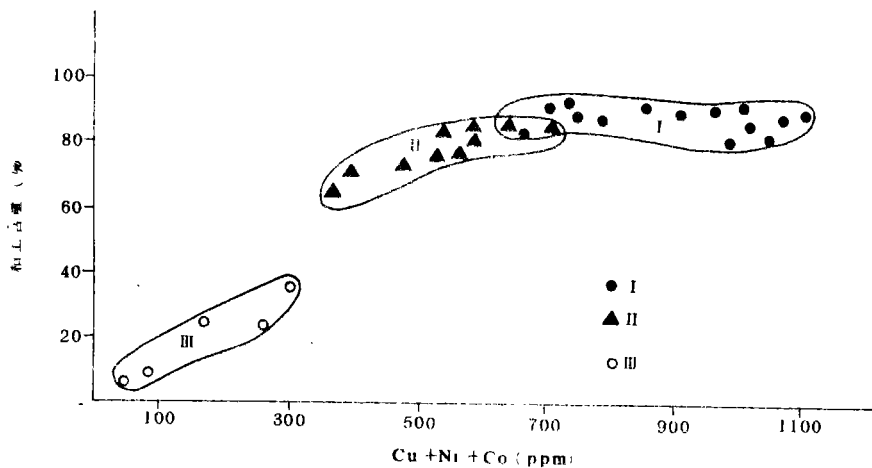
本区表层沉积物中 Mn、Fe、Cu、Ni、Co 等元素含量列于表 4。

从表 4 中可看出，沸石粘土和深海粘土中  $Cu+Ni+Co$  含量为 502—1102ppm，平均 748ppm，Mn 的含量 0.66—1.48%，平均 1.13%，Fe: 5.85—7.29% 是所有沉积物中含铁最高。总的来看，金属含量高低与粘土、沸石含量成正相关 (图 2)，在深海粘土中粘土含量最高，金属元素含量也高；钙质粘土中  $Cu+Ni+Co$  为 350—400ppm，Mn、Fe 含量分别为 0.3—0.19% 与 400—472ppm。尤其在钙质软泥中更低，这显然与钙质软泥中粘土含量低而有孔虫壳含量高有关。随着有孔虫壳含量增加而金属含量减少，两者成明显的负相关。一般来说在深海粘土中金属元素含量高，锰结核丰度较高，钙质软泥金属元素含量低，锰结核丰度低，这反映了锰结核的富集与沉积物中金属元素含量有关。因为 Mn、Fe、Cu、Ni、Co

等元素是组成锰结核的主要金属元素, 当沉积物中具有高的金属元素时, 它们经过海解作用、成岩过程可释放大量的  $Mn^{+2}$ 、 $Fe^{+2}$  和微量元素进入海水与间隙水, 使水体中金属元素含量增高, 并不断地供给, 这为锰结核的生长、富集提供了大量的物源。

表 4 不同沉积物中金属元素含量  
Table 4 The contents of the metal in the various sediments

沉积物	Mn (%)		Fe (%)		Cu (ppm)		Ni (ppm)		Co (ppm)		Cu+Ni+Co (ppm)	
	极值	平均	极值	平均	极值	平均	极值	平均	极值	平均	极值	平均
深海粘土	0.66~1.48	1.13	5.85~7.29	6.43	285~537	390	110~380	223	91~194	138	502~1102	748
钙质粘土	0.30~1.19	0.75	4.00~4.72	4.26	201~229	213	99~179	141	51~108	75	350~480	429
硅质粘土	0.58~1.72	1.03	4.65~7.01	6.10	234~528	316	205~363	213	96~181	134	435~1072	713
钙质软泥	0.12~0.35	0.24	0.79~4.12	2.57	39~194	146	48~105	84	7~55	36	94~318	216



I. 深海粘土、沸石粘土 II. 硅质粘土、钙质粘土 III. 钙质软泥

图 2 Cu+Ni+Co 与粘土含量的关系

Fig.2 The relation between the content of Cu+Ni+Co and clay mineral

此外, 从本区锰结核的富集区与沉积物微量金属元素的高值区的空间位置基本一致 (图 3)。富集区的分布在 Cu+Ni+Co 含量 500—1000ppm 范围内, 在此区内沸石、蒙脱石含量较高, 而这些矿物主要是由橙玄玻璃蚀变而来, 而橙玄玻璃又是玄武岩流、火山岩碎屑蚀变的, 因此它们大量存在证明基性火山喷发的结果。同时, 沉积物金属含量高值区范围与火山碎屑、辉石、磁铁矿的富集区十分一致, 这些矿物表面常见白色的火山玻璃衬套与包壁结构, 反映本区基性火山喷发作用频繁, 大量火山物质是提供金属元素的重要来源, 特别是基性岩比中酸岩具有更高的 Mn、Fe、Cu、Ni、Co 含量, 为锰结核形成和富集提供了物源。

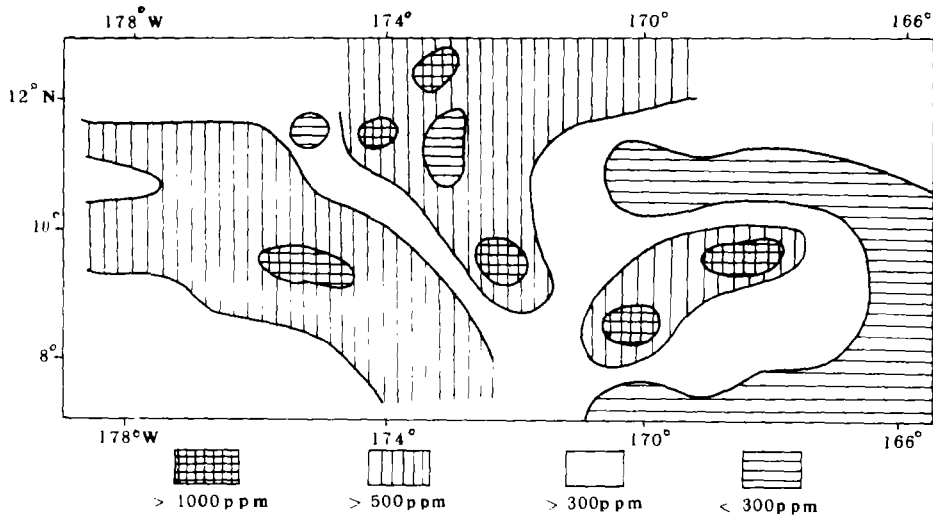


图3 Cu+Ni+Co 等值线图

Fig.3 The isoline map of the Cu+Ni+Co content in the area

## 五 结 语

综上所述,通过对本区表层沉积物与锰结核的研究,有如下5点认识:

1.本区表层沉积物有六种类型即钙质软泥、钙质粘土、硅质粘土、深海粘土、沸石粘土和沸石质粘土,这些沉积物严格受水深所控制,钙质沉积物分布在 CCD 以上海区,非钙质沉积物在 CCD 以下水深区。CCD 深度界面是影响沉积物的最重要的深度界面,以它为界面分钙质沉积物与非钙质沉积物两大类。

2.不同沉积物中锰结核的丰度有明显差异。从本区来看,锰结核高丰度区主要分布在深海粘土,其次为硅质粘土、沸石粘土,而钙质沉积物中锰结核丰度最低。

3.本区锰结核富集区是东西向的纬向分布,主要在北纬 9°00'—10°30' N 范围内,与区域地形、构造线走向基本一致。锰结核的富集区中粒径较大的结核一般集中在中心部,向外侧锰结核丰度降低,粒径变小。

4.本区内锰结核主要分布在 5300—5700m 水深区。富集区内正是南极低层流通过的地区,表层沉积物的透明层很薄(10—15m),沉积物普遍受底层流的改造,沉积速率低。表明锰结核的形成,富集与南极底层流、低沉积速率有关。

5.区内基性火山喷发作用十分频繁,它不仅对沉积物有明显的影响,而且对锰结核的形成、发育、富集也有较大的影响。一般在火山喷发区周围平坦区有锰结核的富集,而喷发区内一般不富集锰结核。

收稿日期 1987年6月30日

## 参 考 文 献

- (1) H·布拉特等, 1972. 沉积岩成因, 科学出版社, 1978, 414-418 页
- (2) 南京大学地质系编, 地球化学 (修订本), 科学出版社, 1979, 90-91 页
- (3) Berger W. H. and Von Rad, 1972. Deep sea sedimentologic. The Geology of continental margins Springer-Verlag New York Inc.
- (4) Calvert S.E. and Price N.B. 1977. Mar. chem., Vol.5, p.43-74.
- (5) David A.J. and Thomas C.J. 1970. Deep sea Research, Vol. 17, p.157-169.
- (6) Glasby G.P. et al. 1982. Pacific Science, Vol. 36, No.2. p.241-260.
- (7) James E.A. 1979. Marine Mining. Vol.2, number1-2, p.1-40.
- (8) Meyer K., 1973. Meere Stechnik N. 6, p.196-199.
- (9) Nakao S. and Atsuyki M. 1982. Regional sedimentologic data: The central Pacific Wake-tahiti transect, GH 80-1 cruise. p.95-111.
- (10) Uirich von Stackelberg 1982. Marine Mining V.3. p.297-312.
- (11) Von Stackelberg U. 1979. Sedimentation, hiatuses and development of manganese nodules: Valdivia site VA-13 / 2. Northern central Pacific. In: Marine Geology and Oceanography of the Pacific manganese nodules provia, Marine Science 9.

## SURFACE SEDIMENTS AND RELATIONSHIP BETWEEN IT AND MANGANESE NODULES IN CENTRAL PACIFIC OCEAN BASIN

Shen Huati

(Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou)

### Abstract

44 sediment samples were collected from northeastern part of Central Pacific Ocean basin during 1985-1986 cruise. These sediments were classified into six types: calcareous ooze, calcareous clay, siliceous clay, deep-sea clay, zeolite clay and zeolite rich clay. The distribution, characteristics and controlling factors of these sediments, as well as some relationship between the surface sediments and manganese nodules are discussed in this paper.

Deep-sea clay which appears brown or dark brown is distributed widely on the sea floor at below 5200m water depth. The contents of the coarse fractions in the deep-sea clay is less than 15%, and these are composed dominantly of radiolarian remain and zeolite. The contents of clay is more than 85%.

Calcareous sediments (calcareous ooze and calcareous clay) were distributed in the surround of hills, in where water depth is above CCD (5200m). Its coarse fraction of which consists almost exclusively of the foraminifera shells, of which the contents range between 11% and 90% or so.

Zeolite clay is dark brown. The contents of zeolite (phillipsite) in the zeolite clay is more than

90%, the coarse fractions consists mainly of the zeolite minerals and radiolarian casts. Zeolite clay were distributed in the surround of volcanic regions, in where water depth is about 5300m-5530m.

Manganese nodules in the study area occur predominantly on or near the present sediments surface. Abundance of manganese nodules in the different types of sediments are various. The surface sediment of the type of manganese nodules is deep-sea clay, in which concentration of manganese nodules is highest with values of more than  $34\text{kg}/\text{m}^2$ , average value is about  $7.7\text{kg}/\text{m}^2$ . Grain size of manganese nodules in deep-sea clay are usually bigger than 3cm. The surface of nodules buried within the sediments are mainly (s-type) or other have a granular texture on the side in contact with sediment, and a smooth surface in contact with the overlying seawater.

The abundance of manganese nodules in calcareous sediment is lower, and average value is about only  $1.4\text{kg}/\text{m}^2$ . The surface of nodules mainly a smooth (s-type). In general, grain size of manganese nodules in calcareous sediment is smaller ( $<4\text{cm}$ ). The contents of Cu, Ni and Mn in these nodules are very low, the contents of Fe, Co is higher, and have a low Mn/Fe ratio.

The higher abundant area of manganese nodules in the survey area lies mainly around the zonal area between  $9^{\circ}00' \text{N}$  and  $10^{\circ}30' \text{N}$ , and the relatively larger size nodules such as 4-8cm are found in the marginal part of the higher abundant area, while smaller grain size nodules less than 2cm become abundant toward the marginal part of the same area.