

# 多金属结核的沉积物地球化学场

杨慧宁 沈桂海

(地矿部地质研究所, 北京 100037)

陈永志

(地矿部矿床地质研究所, 北京 100037)

**主题词** 东太平洋 水成组分 多金属结核 沉积物地球化学场

**提 要** 远洋沉积物是多金属结核赖以生长的场所, 本文系统地研究了沉积物中主要成矿元素水成组分在不同地球化学场和不同沉积阶段的地球化学特征, 以及水成组分的含量比与成矿作用的相互关系。研究表明, Mn、Fe、Co、Ni、Cu 都是一些比较活泼的元素, 它们共处于多金属结核、沉积物和大洋水的统一体系中, 当结核形成时, Mn、Fe、Ni、Cu 在结核与沉积物中的含量呈负相关, 而 Co 含量呈正相关。研究区东部结核以富含 Mn、Ni、Cu 贫 Fe、Co 为特征, 其伴生沉积物相对贫 Mn、Ni、Cu、Co, 而富 Fe, 可称之为贫化的地球化学场。研究区西部结核富含 Fe、Co 而贫 Mn、Ni、Cu, 其伴生沉积物则相应贫 Fe, 而富 Mn、Ni、Cu 和 Co, 可称之为富化的地球化学场。可以看出, 贫化的沉积物地球化学场, 恰恰是寻找富矿结核的最佳场所。早中新世以来的沉积物, 根据水成组分的含量或含量比, 也可相应于结核的形成分为三大沉积阶段, 其中的第 II 阶段具有贫化的地球化学特征, 是多金属结核形成的最有利时期。

大洋中多金属结核的形成与沉积物密切相关, 后者是多金属结核赖以生长的场所。对主要成矿元素 Mn、Fe、Co、Ni、Cu 在沉积物中水成组分含量的研究, 能更好地了解它们与多金属结核形成的关系, 有助于寻找富矿结核。

水成组分是指由海水直接折出到沉积物中的物质, 包括吸附组分、生物碳酸盐、非晶质金属氧化物、有机金属络合物以及硫化物等, 可通过选择性溶解(用盐酸氢铵和醋酸的混合液)的物理化学方法, 将它们分离出来, 然后采用原子吸收光谱进行分析<sup>[1]</sup>。

笔者对东太平洋研究区四个钻孔: 西区的 PC5222 和 PC5263, 东区的 PC5653 和 PC5813 的沉积物主要成矿元素 Mn、Fe、Co、Ni、Cu 的总量及水成组分含量做了分析(沉积物柱长 700-1020cm, 取样间距 20cm)。

## 1 研究区的地质概况

研究区位于东太平洋盆地克拉里昂—克利帕顿断裂带之间, 即 CC 区的西部(图 1)。在 CC 区的中部还有欧罗兹科断裂带从研究区的东区北部与西区南侧通过; 海洋四号断裂带又呈北北西向贯穿东区, 并与东西向断裂带相交。洋底火山活动强烈, 其喷出物有碱性玄武岩

研究区地形以深海丘陵为主要特征,东、西差别较大,东区以 NNW-SSE 向相间排列的谷槽—台地为基础,分布有近东西向排列的串珠状海丘,其余为深海平原,海山仅局部出现;西部地形比较复杂,东西向海山链为其主要地形骨架,相对较陡,其余平缓。研究区洋壳上部盖层主要发育有自上白垩世至第四纪的硅质、钙质沉积物。本项研究所涉及的沉积物中为早中新世早期至第四纪的硅钙质软泥、硅质软泥、沸石粘土和硅质粘土。

作为大洋矿产资源之一的多金属结核,在研究区按其成因不同可分为沉积成因、成岩成因及成岩成因三种类型。沉积成因结核即水成结核,其成矿元素主要来自大洋底层水,结核经常直接暴露于沉积物表面;成岩成因结核,其整体或大部分藏于沉积物上面的乳浊层中,成矿元素主要由沉积物中间隙水提供;而成岩成因结核则是上述两种类型的过渡型结核<sup>[2]</sup>。

多金属结核、沉积物和大洋水共处于一个统一体系中,研究 Mn、Fe、Co、Ni、Cu 在沉积物中水成组分含量的变化,能更好地了解沉积物与结核形成的相互关系,并为寻找富矿结核提供依据。

## 2 沉积物地球化学场的特征

东西研究区的多金属结核具有不同的地球化学特征<sup>①</sup>:东区结核富 Mn、Ni、Cu,和高 Al 低 Si;西区结核则富 Fe、Co,贫 Mn、Ni、Cu,并低 Al。与结核伴生的沉积物,在东、西二区也分别具有不同的地球化学特征。从表 1 可明显地看出:东区沉积物中的  $Mn^*$ 、 $Ni^*$ 、 $Cu^*$  和  $Mn^*$  明显低于西区。而  $Fe^*$  高于西区;东区的 Al 和 Si 高,西区的,Al 高 Si 低。这些恰恰与前述结核中成矿元素的分布呈负相关关系(见图 2)。 $Co^*$  虽然也是东区低于西区,却与多金属结核中的 Co 含量呈正相关。从  $Mn^*$ 、 $Fe^*$ 、 $Co^*$ 、 $Ni^*$ 、 $Cu^*$  水成组分在沉积物各有关元素总含量中所占的比例也可清楚地反映出结核与沉积物之间的上述相关关系。如表 1 所示,东区水成  $Mn^*$ 、 $Ni^*$ 、 $Cu^*$  在各有关元素总量中所占比例明显低于西区;水成  $Fe^*$  与其总量之比则是东区高于西区,这些比值也与结核中的 Mn、Co、Ni、Cu、Fe 含量呈负相关关系,而  $Co^*$  的水成组分与其总量之比又是西区高于东区,并与西区结核中的高含量 Co 呈正比。另外,若以同一时代、同一种类型沉积物进行对比,也同样可以获得与上述相同的结果。从表 1 中可以看到:东区  $N_1^2$  沉积物中水成组分  $Mn^*$ 、 $Co^*$ 、 $Ni^*$ 、 $Cu^*$ 、 $Mn^*/Fe^*$  都低于西区;而  $Fe^*$  则是西区低于东区。

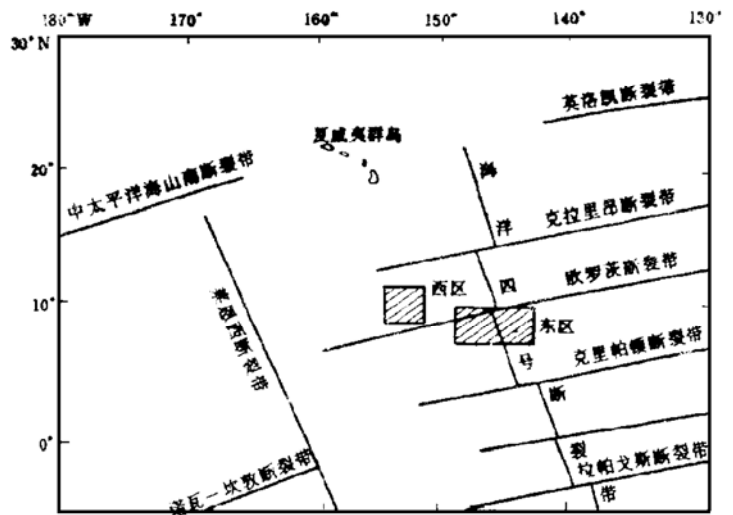


图 1 研究区地理位置图

Fig. 1 Geographic location of the study area

① 黄永祥、杨慧宁等,东太平洋海底沉积物类型及其地球化学环境对多金属结核形成与分布的控制作用(专题研究报告),1996.

表 1 东、西研究区沉积物中水成组分含量对比  
Table 1 Comparison in hydrogenic component contents of sediments between eastern area area and western area

研究区	西 区						东 区						
	PC5222				PC5263		PC5653				PC5813		
时代	Q	N <sub>2</sub>	N <sub>1</sub> <sup>3</sup>	N <sub>1</sub> <sup>2</sup>	Q	N <sub>2</sub>	Q	N <sub>1</sub> <sup>2</sup>	N <sub>1</sub> <sup>1-2</sup>	N <sub>1</sub> <sup>1-1</sup>	Q	N <sub>1</sub> <sup>2</sup>	N <sub>1</sub> <sup>1-2</sup>
Mn*	0.99	0.97	1.16	0.90	0.86	1.23	0.84	0.67	0.53	0.57	0.68	0.49	0.35
Fe*	0.24	0.21	0.28	0.23	0.28	0.35	0.47	0.50	0.38	0.50	0.46	0.47	0.39
Co*	147	157	117	98	120	105	49	35	32	38	32	17	13
Ni*	344	380	359	257	287	289	185	112	89	87	227	82	38
Cu*	173	142	148	110	129	161	81	101	106	148	124	84	54
Mn*/Fe*	4.13	4.62	4.14	3.91	3.07	3.51	1.79	1.34	1.40	1.14	1.48	1.04	0.90
SiO <sub>2</sub>	50.85	53.81	48.61	55.90	-	-	49.12	57.62	61.44	52.14	46.89	57.35	67.23
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.84	12.01	12.54	8.57	-	-	11.33	8.41	7.53	6.22	7.77	6.47	3.75
Mn*/Mn	0.917	0.873	0.903	0.904	0.917	0.911	0.686	0.696	0.691	0.671	0.560	0.612	0.700
Fe*/Fe	0.046	0.042	0.059	0.051	0.048	0.064	0.075	0.095	0.089	0.116	0.078	0.089	0.131
Co*/Co	0.886	0.900	0.845	0.850	0.765	0.769	0.534	0.540	0.596	0.654	0.403	0.410	0.568
Ni*/Ni	0.894	0.896	0.924	0.894	0.841	0.751	0.591	0.603	0.494	0.510	0.563	0.472	0.433
Cu*/Cu	0.259	0.222	0.233	0.229	0.230	0.248	0.116	0.200	0.204	0.273	0.176	0.164	0.201

注: 1. Mn、Fe...为沉积物元素总含量; Mn\*、Fe\*...为其水成组分含量。

2. Mn\*、Fe\*、Al、Si 单位为%; Co\*、Ni\*、Cu\* 单位为 10<sup>-6</sup>。

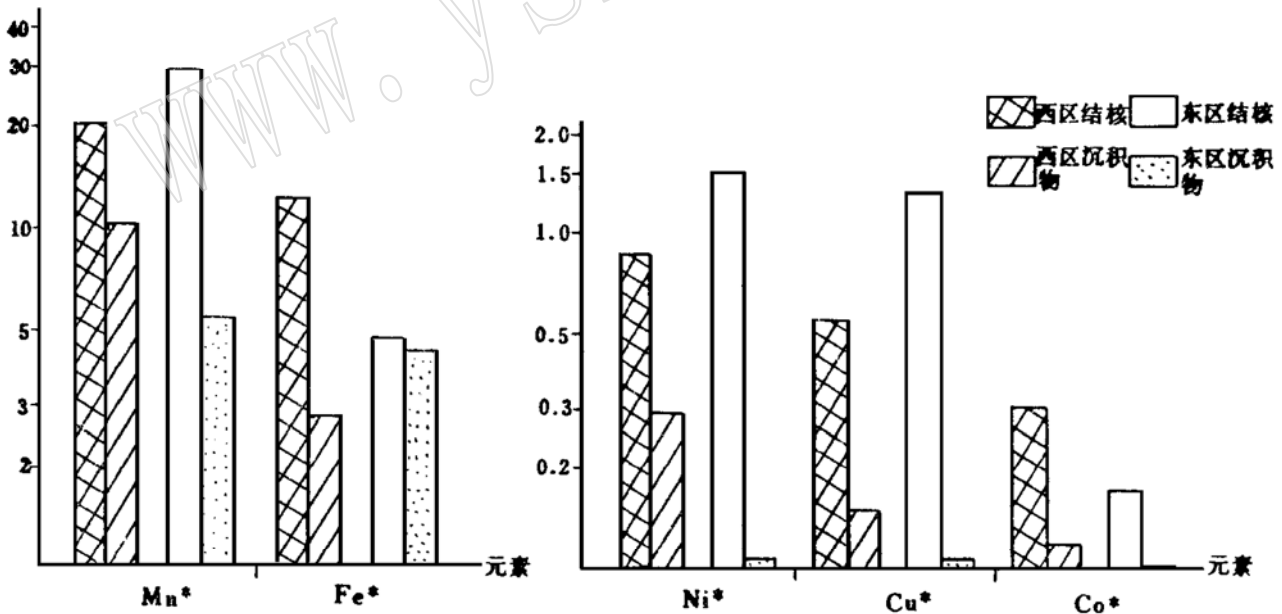


图 2 东西区分核与沉积物水成组分含量对比图

Fig. 2 Comparison in hydrogenic component contents of nodules and sediments between eastern area and western area

上述三方面的资料都取得了相同的分析结果, 概括起来: 1. 沉积物的水成组分呈现东、西区分异: 前者贫 Mn\*、Ni\*、Cu\*、Co\*、而富 Fe\*, 后者富 Mn\*、Cu\*、Co\* 而贫 Fe\*; 2. 沉积物中的水成组分 Mn\*、Ni\*、Cu\*、Fe\* 与结核中的相应组分呈负相关, 而 Co\* 为正相

关。产生这些现象的原因有三:一是因东、西区的氧化还原环境不同,使结核的化学组成出现东西分异。东区结核富 Mn,而 Ni、Cu、Zn、Mo 等元素又与其呈现强烈的正相关关系<sup>[3]</sup>,西区由于具有更强的氧化还原环境,拥有更多的沉积成因结核,其 Fe 含量相对更高,Co、Pb 可与其呈现较明显的正相关关系。二是沉积物与结核共处于一个统一的环境中,Mn、Ni、Cu、Fe 在沉积物与结核中的分配系数很可能 > 1,被称为相容元素,随着成矿作用的进行,Mn、Ni、Cu、Fe 在结核中含量不断增长,而在沉积物中的含量则相应减少,故而呈现负相关关系。Co 的分配系数 < 1,可称其为不相容元素,因而 Co 在结核与沉积物中的含量呈现正相关关系。三是 Co 和 Ni 在地壳中其地球化学行为极为相近,但在结核中发生分异,富含 Co 者,含 Ni 少;反之富 Ni 者,Co 少。Co 和 Ni 的上述差异,可能由于它们由二价离子氧化成三价离子时,晶体场稳定能(CFSE)不同造成的,前者的 CFSE 的增加大于后者。Ni 与 Mn 有着密切的关系,两者含量存在明显正相关性;而 Co 和 Fe 一起富集在强氧化环境形成的结核中,在这些结核中 Co 是三价离子。

### 3 早中新世以来不同成矿阶段的地球化学特征

黄永祥<sup>[2]</sup>根据生物地层对比、<sup>10</sup>Be 及 K-Ar 同位素测年等资料,曾把研究区多金属结核的生长划分成三个生长阶段:第 I 生长阶段为晚渐新世(E<sub>3</sub>)至早中新世早期(N<sub>1</sub><sup>1-1</sup>);第 II 生长阶段为早中新世晚期(N<sub>1</sub><sup>1-2</sup>)至中中新世初期(N<sub>2</sub><sup>1</sup>);第 III 生长阶段为晚中新世(N<sub>3</sub><sup>1</sup>)至第四纪(Q)。根据早中新世以来沉积物水成组分的地球化学特征,也可相应划分出 I、II、III 三个沉积阶段(表 2),它们分别被早中新世晚期和中中新世中期至晚中新世末期的沉积间断所隔开。

综合 4 个钻孔资料,研究区第 I 沉积阶段仅有早中新世早期的硅钙质软泥沉积;第 II 沉积阶段包括部分早中新世早期,以及早中新世晚期和中中新世初期的硅质软泥;第 III 沉积阶段有沸石粘土(晚中新世、上新世、第四纪)、硅质粘土(上新世、第四纪)和硅质软泥(第四纪)的沉积。图 3 反映出研究区不同地质时期、不同类型沉积物中 Mn<sup>\*</sup>、Fe<sup>\*</sup>、Co<sup>\*</sup>、Ni<sup>\*</sup>、Cu<sup>\*</sup> 水成组分平均含量的变化(表 2),可以看出:

1. 第 I 沉积阶段各元素水成组分含量较低。第 II 沉积阶段 Mn<sup>\*</sup>、Co<sup>\*</sup>、Ni<sup>\*</sup> 仅有微弱的增长(或降低),而 Fe<sup>\*</sup>、Cu<sup>\*</sup> 则有较大幅度的增高,以此形成了 I、II 阶段间的界线。第 II、III 阶段之间,各元素都有较明显的跃迁,而且极不连续。Mn<sup>\*</sup>、Co<sup>\*</sup>、Ni<sup>\*</sup>、Cu<sup>\*</sup> 普遍有较大幅度的增长,而 Fe<sup>\*</sup> 则是较大幅度降低,因而第 II、III 阶段的界线比较明显。

2. 元素水成组分除 Fe<sup>\*</sup> 外,其他元素的第 I、II 沉积阶段变化微弱,到第 III 沉积阶段都有较大幅度的增加,至第四纪顶部又都降低。Fe<sup>\*</sup> 与其他元素不同,第 II 阶段含量明显高于第 III 阶段,到第四纪顶部又有所增高。从总体上看,Mn<sup>\*</sup>、Co<sup>\*</sup>、Ni<sup>\*</sup>、Cu<sup>\*</sup> 含量的变化彼此是正相关关系,与 Fe<sup>\*</sup> 则呈负相关关系。

3. 图 3 右侧的元素总量 Mn/Fe 和水成组分 Mn<sup>\*</sup>/Fe<sup>\*</sup> 比值,在第 II、III 阶段间存在显著的跃升,而且第 III 阶段的比值远比第 II 阶段高。

表 2 早中新世以来沉积物中成矿元素的水成组分平均含量

Table 2 Average hydrogenic component contents of ore-forming elements in sediments since Early Miocene

阶段	时代	钻孔	沉积物类型	Mn*	Ni*	Cu*	Fe*	Co*	Mn/Fe	Mn*/Fe*
III	Q	PC5263	硅质软泥	0.61	179	86	0.35	82	0.12	1.72
			硅质粘土	0.58	164	95	0.28	107	0.1	2.03
			硅质沸石粘土	0.98	343	150	0.25	135	0.19	3.9
	N <sub>2</sub>	PC5222	硅质粘土	0.97	399	150	0.22	162	0.23	4.48
		PC5263	硅质沸石粘土	1.23	292	161	0.35	105	0.24	3.46
N <sub>2</sub> <sup>3</sup>	PC5222	硅质沸石粘土	1.17	349	147	0.28	106	0.28	4.18	
II	N <sub>1</sub> <sup>2</sup>	PC5813	硅质软泥	0.49	82	84	0.47	17	0.15	0.04
	N <sub>1</sub> <sup>1-2</sup>	PC5653		0.53	89	106	0.38	32	0.18	1.37
				0.64	92	167	0.61	52	0.2	1.05
I	N <sub>1</sub> <sup>1-1</sup>	PC5653	硅钙质软泥	0.48	82	125	0.36	21	0.2	1.32

Mn\*、Fe\* (%)      Ni\*、Cu\*、Co\* (10<sup>-6</sup>)

上述三点清楚地表明,研究区自早中新世以来沉积物中主要成矿元素水成组分的演变具有明显的阶段性特征。第 II 阶段水成组分明显富化,是结核形成最有利的阶段,第 I 阶段资料虽然较少,但也具有相对贫化的特点;第 III 阶段总体上呈现富化,但在顶部却出现贫化,因而对富矿结核的形成或 Mn、Ni、Cu 的富集总体上相对不利,但顶部仍然有利。形成上述特点的基本原因可能与沉积物的性质有关。如前所述,研究区第 II、III 沉积阶段的沉积物类型分别与硅质软泥、沸石粘土和硅质粘土,其中的硅质软泥(第 II 沉积阶段)通常具有较大的孔隙度和含水量(与其他沉积物相比),在其沉积物表层界面处更易形成乳浊层,从而也更有利于富 Mn、Ni、Cu 高 Mn/Fe 成岩结核的生长,而沉积于第 III 阶段的沸石粘土和硅质粘土,孔隙度小,含水量低,乳浊层薄,仅

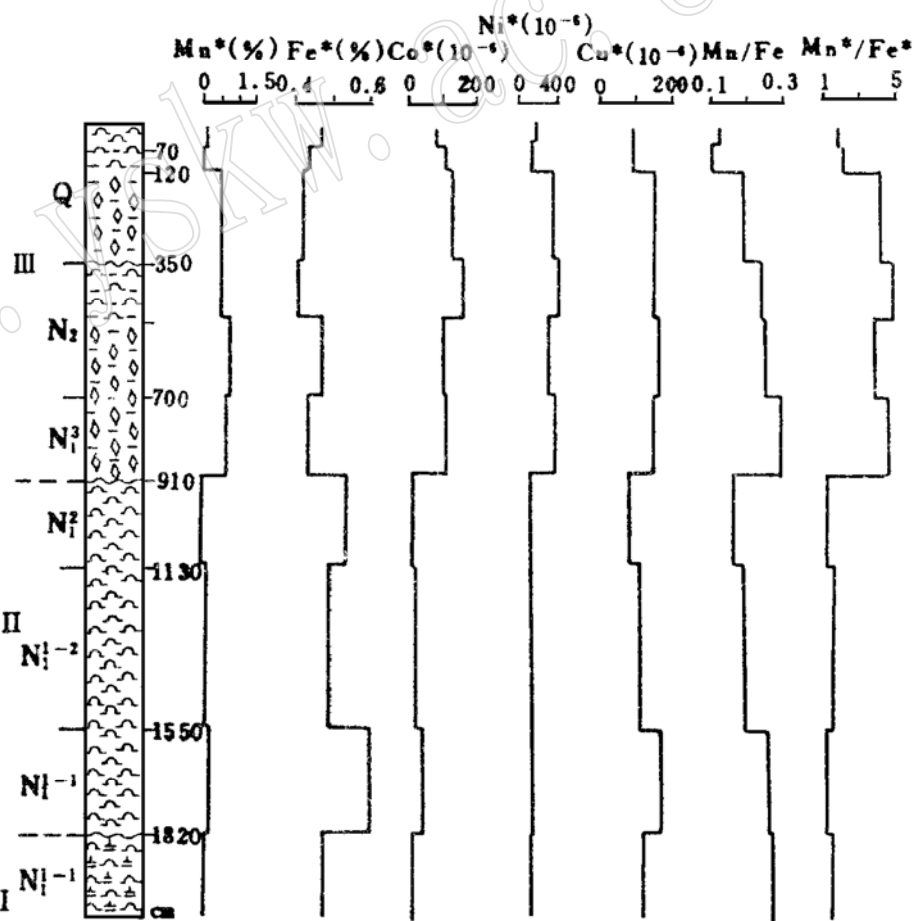


图 3 沉积物中主要成矿元素水成组分的含量变化

Fig. 3 Variation of hydrogenic component contents of major ore forming elements in sediments

在其沉积物表层界面处更易形成乳浊层,从而也更有利于富 Mn、Ni、Cu 高 Mn/Fe 成岩结核的生长,而沉积于第 III 阶段的沸石粘土和硅质粘土,孔隙度小,含水量低,乳浊层薄,仅

有利于沉积型结核的生长,并以富 Fe、Co 低 Mn/Fe 为特征<sup>[2]</sup>。上述结果可导致共生的沉积物中成矿元素的赋存发生相反的变化,如第 II 阶段的 Mn/Fe 就要比第 III 阶段低得多。显然,研究大洋沉积物中的水成组分及 Mn/Fe 的变化可客观地指出结核的有利生长期。

## 4 水成组分的成矿意义

为了更深入地阐明在不同地质时期或不同沉积阶段中成矿元素由海水直接析出并进入结核的强度,可以沉积物的水成组分在该元素总量中所占的百分比为准进行讨论。表 3 和图 4 为不同成矿元素水成组分的百分比在地质历史中的发展演化概况。

1. Mn、Fe、Co、Ni、Cu 的水成组成在各有关元素总量中所占的百分比存在的差别,可明显分成两类: 理 Fe 和 Cu, 其水成组分仅占总量的 5%—30%; 二是 Mn、Co、Ni, 可占其元素总量的 40%—95% (表 3)。这些资料表明,它们都是比较活泼的元素,尤其是 Mn、Co、Ni 对环境变化的响应异常敏感,较容易从海水中析出,并进入结核和沉积物中。

表 3 早中新世以来沉积物的水成组分含量比

Table 3 Hydrogenic component contents of sediments since Early Miocene

阶 段	III							II			I
	Q			N <sub>2</sub>		N <sub>1</sub> <sup>3</sup>		N <sub>1</sub> <sup>2</sup>	N <sub>1</sub> <sup>1-2</sup>	N <sub>1</sub> <sup>1-1</sup>	N <sub>1</sub> <sup>1-1</sup>
Mn* / Mn	92.4	94.3	91.1	86.1	91.1	87.1	91.1	61.2	69.1	68.6	65.3
Ni* / Ni	76	66.3	76.2	94.6	83.6	94.7	91.8	47.2	49.4	47.2	55.5
Cu* / Cu	21.1	20.7	24	22.7	24.7	25.3	22.9	16.4	20.4	27.5	27.1
Fe* / Fe	6.3	4.8	4.4	4.4	6.4	5.3	6.1	8.9	8.9	12.9	10
Co* / Co	69.6	78.4	78.5	87.2	76.7	91	82.9	41	59.6	86.7	40.2
钻 孔	PC5263			PC5222	PC5263	PC5222		PC5813	PC5653		

2. 水成组分含量比的演化呈现三分性,即在三个沉积阶段中呈现明显的差异。因 Fe、Cu 水成组分含量比相对降低,致使它们的变化趋势比较平缓,而 Mn、Co、Ni 则有较大幅度的增加或降低。在第 I 阶段虽然资料不多,在向第 II 阶段发展时,除 Ni 外,其他 4 种元素都有向上升高的趋势,其中以 Co 最为明显,增加 46.5%, Mn 为 3.3%、Fe 为 2.9%、Cu 仅为 0.4%,而 Ni 降低 8.3%。第 II 阶段自底部(N<sub>1</sub><sup>1-1</sup>层)向上(N<sub>1</sub><sup>2</sup>层)上述元素含量降低。

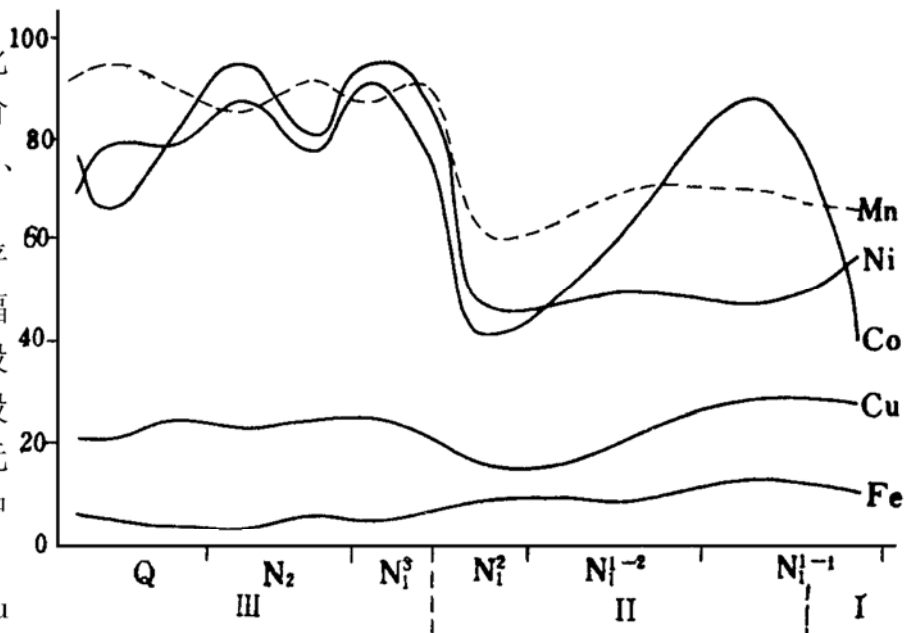


图 4 早中新世以来沉积物水成组分含量比的演化

Fig. 4 Evolution of content ratios of hydrogenic components in sediments since Early Miocene

尤其以 Co 最为突出,降低 45.7%,其次为 Cu(11.1%)、Mn(7.4%)、Fe(4.0%),而 Ni 仅有微弱的波动。在第 III 阶段发展过程中,Fe 处于降低的趋势,直至第四纪顶部才有微弱升高。Ni、Co、Mn、Cu 与之相反,均有较大幅度的增长,但 Cu 的变化相对平缓。

上述变化在沉积间断面处也有同样的反映,从中中新世初期( $N_1^2$ )到晚中新世( $N_1^3$ )之间(即第 II、III 阶段界面处),除 Fe 呈现降低(2.8%)外,Co、Ni、Mn 表现出明显的跃升:Co 由 41.0% 跃升到 82.9%,Ni 由 47.2% 升到 91.8%,Mn 由 61.2% 升到 91.1%,相对跃升的幅度为 30%—50%。这意味着结核的组成也相应发生明显的变化,即 Co、Fe 突然增加,Mn、Ni、Co 突然降低。在第 II 阶段中从上新世( $N_2$ )到第四纪(Q)界面处,Ni、Co 呈现明显降低(18.4%和 8.7%),Cu 也降低(约 2%),Mn 升高约 5%,至第四纪中上部才略有降低,而 Fe 则略显升高(< 2%)。由此看出,三大沉积阶段的环境是彼此不同的,特别是第 II、III 阶段存在显著差别。

3. 水成组分含量比的变化太平洋底水的温度演化基本一致(图 5)。如果以化学活性大、分析精度又更高的  $Mn^{*}$  进行讨论的话,则可以清楚地看出,水成 Mn 的含量比在第 I 阶段比较 2 低,在第 II 阶段上部  $N_1^2$  沉积间断面过渡到  $N_1^3$  沉积层,水成 Mn 的含量比显著增加,然后在  $N_1^3$  和  $N_2$  沉积层中曾出现一些小波动,从  $N_2$  末间断面过渡到第四纪早中期,又有略升高的趋势。显然,与寒冷期同步的水成 Mn 含量比增高期,正好是南极底层流的强烈活动期,即环境的氧化强度很高,只有利于富含 Fe、Co,贫 Mn 结核的生长,而进入同一体系沉积物中的  $Mn^{*}$  含量相对增加。在其余时期,环境的氧化还原程度相对较低,对富 Mn、Ni、Cu 结核的生长更为有利,因彼此相容,使沉积物中的  $Mn^{*}$ 、 $Ni^{*}$ 、 $Cu^{*}$  含量呈现相对降低的趋势。

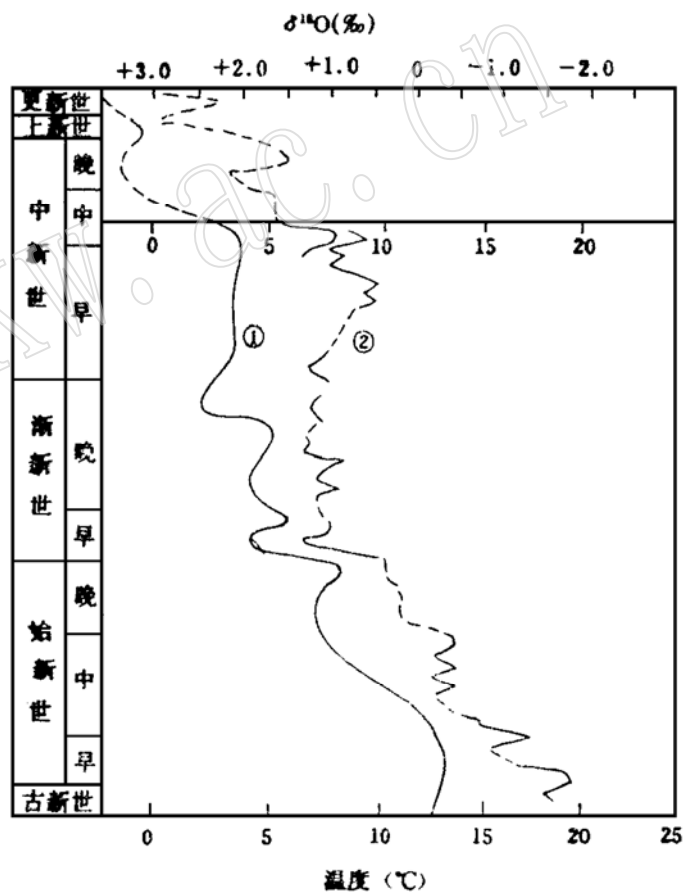


图 5 新生代古温度变低化(据同位素)

Fig. 5 Variation of Cenozoic paleotemperature

①北太平洋底水温度<sup>[4]</sup>(与极区表层水温相符)

②副南极表层水温<sup>[5]</sup>

## 5 结 论

1) Mn、Fe、Co、Ni、Cu 都是一些活泼或比较活泼的元素,它们共处于多金属结核、沉积物和大洋水的统一体系中,当结核形成时,Mn、Fe、Ni、Cu 在结核与沉积物中的分布彼此相容,即它们在二者中的含量呈负相关关系;但 Co 为不相容元素,它标志着结核与沉积物中的 Co 含量呈正相关关系。研究区东部的氧化还原环境比较强烈、适度,适于形成富含 Mn、Ni、Cu,贫 Fe、Co 的结核,据相容或不相容法则,其伴生沉积物相应贫  $Mn^{*}$ 、 $Ni^{*}$ 、 $Cu^{*}$ 、 $Co^{*}$  而富  $Fe^{*}$ ,可称之为贫化的地球化学

场。研究区西部环境氧化程度更为强烈,所形成结核富 Fe、Co,而贫 Mn、Ni、Cu,其伴生沉积物则相应贫 Fe<sup>\*</sup>,而富 Co<sup>\*</sup>及 Mn<sup>\*</sup>、Ni<sup>\*</sup>、Cu<sup>\*</sup>,可称之为富化的地球化学场。这样便可清楚地看到,贫化的沉积物地球化学场,恰恰是寻找富矿结核的最佳场所。

2) 沉积物中 Mn、Fe、Co、Ni、Cu 水成组分的含量比,自早中世以来的发展演化,相应于结核形成的时期,也可分成三大沉积阶段,尤其是第 II、III 阶段有着甚为明显的差别。第 II 阶段具有贫矿化的地球化学特征,为一有利富。Mn、Ni、Cu 多金属结核形成的成矿期。

3) 研究区东、西部地球化学场的差异及早中新世以来不同沉积阶段地球化学特征的变化,实质上反映了大洋水介质温度、氧化还原环境的时空变化,其基本控制因素是南极底层流活动强度的发展演化,导致生物产生甚至生物种类的变化,促使沉积物类型也产生相应的变化,并最终改变了洋底物理场、化学场的性质,使生产于其中的多金属结核也改变了自己的类型和物质组成。

### 参 考 文 献

- 1 李松筠, 李兴, 陈永志, 路秀云. 沉积物中元素赋存状态分析——选择性化学溶解法. 中国地质科学院矿床地质研究所所刊, 第 2 号, 232- 238.
- 2 黄永祥. 多金属结核分布规律. 北京: 地质出版社, 1992.
- 3 郭世勤, 吴必豪, 卢海龙等. 多金属结核和沉积物的地球化学研究. 北京: 地质出版社, 1994.
- 4 Savin S. M. The history of the earth's surface temperature during the last 100 million years. *Ann. Rev. Earth planet. Sci.* 1977, 5: 319- 355.
- 5 Shackleton N J and Kennett J P. Paleotemperature history of the Cenozoic and the initiation of antarctic glaciation: oxygen and carbon isotope analyses in DSDP sites 277, and 281, Initial reports of the deep sea drilling project, 1975, 29: 734- 755.

## Sediment Geochemical Field of Polymetallic Nodules

Yang Huining, Shen Guimei

(Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037)

Chen Yongzhi

(Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037)

**Key words** East Pacific Ocean; hydrogenic component; polymetallic nodule; sediment geochemical field

### Abstract

Pelagic sediments are the place where polymetallic nodules grow. The present paper has systematically studied geochemical characteristics of hydrogenic components of main ore-forming elements within sediments in different geochemical fields and at different sedimentary stages as well as the relationship between contents of hydrogenic components and mineralization. Studies show that Mn, Fe, Co, Ni and Cu are some fairly active elements existent together



in an unified system of polymetallic nodules, sediments and ocean water. When nodules are formed, Mn, Fe, Ni and Cu contents in nodules are in negative correlation with their contents in sediments, whereas things are just the opposite for Co content. Nodules in the eastern part of the study area are characterized by rich Mn, Ni, Cu and poor Fe, Co, while sediments associated with these nodules are relatively deficient in Mn, Ni, Cu, Co but rich in Fe, and can thus be called an impoverished geochemical field. Nodules in the western part of the study area are rich in Fe, Co but deficient in Mn, Ni, Cu, whereas their associated sediments are correspondingly poor in Fe but rich in Mn, Ni, Cu, Co, and can hence be called an enriched geochemical field. It is thus known that the impoverished sediment geochemical field is just the best place in search for rich ore nodules. Corresponding to the formation of nodules, the sediments since Early Miocene, in accordance with contents of content ratios of hydrogenic components, can be divided into three major sedimentary stages. of which No. II stage shows geochemical characteristics of impoverishment, and is the most favorable period for the formation of polymetallic nodules.

www.yskw.ac.cn