

228-241

1996.204

古代与现代海底黑矿型块状硫化物矿床
矿石地球化学比较研究*

侯增谦

浦边徹郎

(地质矿产部矿床地质研究所, 北京 100037)

(日本地质调查所)

A

摘 要 选择西南太平洋冲绳海槽(Okinawa Trough)现代海底烟囱硫化物矿床, 日本小坂矿山上向(Uwamuki)黑矿(第三纪)和中国西南岬村黑矿型矿床(三叠纪)进行了矿石地球化学比较研究。黑矿型矿床矿石吨位-品位模式与其他火山成因块状硫化物(VMS)矿床类似, 矿田(20—50km²)矿石吨位与单个喷气-沉积型(Sedex)矿床相当, 金属总量4—6Mt, 为矿田范围内热液流体搬运的最大金属量。与洋脊环境VMS矿床相比, 岛弧裂谷环境产出的黑矿型矿床相对富Pb、As、Sb、Ag、Au等, 相对贫Cu、Fe、Se等。不同时代的黑矿型矿床的矿石化学存在一定差异。矿床硫化物成分受岛弧张裂程度制约, 与岛弧壳层物质及海相火山岩系密切相关, 证实成矿物质来源于壳层火山岩系。古代与现代黑矿型矿床块状矿体内元素化学分带型式十分一致, 揭示硫化物堆积过程高度类似。基于现代海底烟囱-硫化物生长过程实地观察和古代黑矿的具体剖析, 建立了古代黑矿硫化物淀积新模式, 强调硫化物堆积发生于已固结的结壳或烟囱及火山碎屑堆下部, 表现为开放空间的充填、交代与动态迁移。

关键词 冲绳海槽 黑矿型矿床 矿石化学比较 成矿模式

金属矿床

1 前 言

黑矿型(Kuroko)矿床是一种形成于岛弧张裂环境(岛弧裂谷、弧后盆地), 产于“双峰”岩石组合长英质火山岩系顶部的火山成因块状硫化物矿床(volcanogenic massive sulfide deposit, 以下简称VMS矿床)^[1-3]。作为重要的矿床成因类型、其成矿地质背景、矿床地质特征、物质组成特点及描述-成因模型已有详细研究^[1-4], 但对硫化物矿石地球物理化学的了解, 知之甚少。

本研究选择三个不同成矿时代的黑矿型矿床进行了系统的化学分析和对比研究。这三个典型矿床分别为: (1)西太平洋冲绳海槽现代海底烟囱式硫化物矿床, 系黑矿型矿床的现代类比物^[5-6]; (2)日本小坂矿山(Kosaka mine)上向黑矿(Uwamuki Kuroko

第一作者简介: 侯增谦 男 34岁 研究员 火山作用与成矿

* 本文为“古代与现代黑矿型块状硫化物矿床比较研究”中日合作项目的一部分, 并得到日本“国际产业技术研究事业”基金资助

收稿日期 1995-07-01, 改回日期 1995-12-14

deposit), 一个第三纪典型黑矿^[7]; (3) 中国西南呷村矿床, 一个典型的晚三叠世黑矿型矿床^[8-12]。旨在了解: (1) 矿石地球化学特征及随地质时代的化学演变规律; (2) 不同地质时期矿石地球化学的普遍性和特殊性; (3) 矿石化学揭示的硫化物堆积过程与淀积机制。

2 黑矿型矿床基本特征

三个不同时代的黑矿型矿床的基本特征总结于表1。三者的基本地质特征总体类似, 但略有差异。它们均产于岛弧张裂环境, 但冲绳矿床产于弧后扩张盆地、而上向黑矿和呷村矿床分别产于岛弧裂谷环境——一种特殊的弧后扩张环境^[13], 反映三者形成于岛弧张裂作用的不同发育阶段, 冲绳矿床和上向黑矿发育石膏矿石, 呷村矿床明显缺乏, 可能揭示, 漫长的地质过程使海水将石膏淋滤殆尽。三者虽各具矿石化学分带(表1), 但上向黑矿中“黑矿”与“黄矿”分带尤为发育, 反映三者的矿质(特别是Cu)来源和热液活动的热历史存在着一定差异(见后)。

表1 不同时代黑矿型矿床主要地质特征

Table 1 Main geological characteristics of the Kuroko-type deposits in different time

	冲绳矿床	日本黑矿	呷村矿床
构造背景	弧后扩张盆地	岛弧(弧间)裂谷	岛弧(弧间)裂谷
岛弧“基底”	大陆壳	过渡壳	薄陆壳
矿床分布特征	成群集中地堑式盆地	成群集中于断陷盆地	成群集中于断陷盆地
含矿岩系	拉斑玄武岩-流纹岩-双峰岩石组合	矿体产于酸性单元的流纹质岩系上部和顶部	酸性火山碎屑岩-矿体-化学沉积岩“三位一体”密切
化学沉积岩	重晶石岩 硅质烟囱 重晶石-非晶硅结壳	重晶石岩 赤铁矿硅质岩	纯硅质岩 共生 重晶石岩 硫化物硅质岩 磁铁矿硅质岩
矿床结构	矿床由上部层状块状矿石和下部不整合脉状-网脉状矿体构成		
矿化分带	分带明显, 但“黄矿”不发育 石膏烟囱外墙	上部“黑矿”下部“黄矿” 发育石膏矿体	“黄矿”不发育 不发育石膏矿体
围岩蚀变	围岩蚀变具不对称性, 下盘蚀变强烈, 上盘蚀变微弱。绕网脉矿带形成蚀变烟囱		
	高岭石化, 绢云母化, 和硅化	石英-绢云母核, 绢云母-绿泥石边	石英-榍石长石核 绢云母-绿泥石边

3 黑矿型矿床的吨位与品位

世界范围内144个VMS矿床统计分析表明, VMS矿床平均吨位为7.78Mt, 品位为Cu 1.25%, Pb 0.73%, Zn 3.76%(表2)。黑矿型矿床的吨位-品位模式与之相当, 即品位接近, 吨位相当(表2)。

日本北鹿盆地小坂矿田, 面积约20—30km², 发育3个黑矿矿床(元山、上向、内之代), 每个矿床平均吨位7—8Mt^[7], 品位为Cu 0.67%—5.38%, Zn 0.15%—23.2%,

Pb0.27%—10.42%(表2)。整个矿区矿石总吨位为20—25Mt,金属量约4—6Mt。与之相当,呷村矿床产于面积为25—50km²的呷村断陷盆地内,实际为3个矿床(7[#]、20[#]和25[#]矿)构成的矿群,矿石吨位约为22Mt,金属量约4Mt。冲绳海槽热液活动区内硫化物矿床产于尹是名洼陷盆地^[6]。因矿床正在形成,现有矿石吨位尚难确切估定,但硫化物不断淀积成矿的热液区,长约1800m、宽约600m^[6],与日本小坂矿区和中国呷村矿区矿床累计长度(1400—1800m)和宽度(400—800m)基本相当,由此推测,冲绳海槽尹是名洼地内矿床的未来矿石吨位可能达到或接近呷村矿床规模。

表2 VMS矿床的吨位、品位与规模

Table 2 Total metal amounts, ore grades and scale of VMS deposits

矿床	世界		小 板 矿 山					呷村矿田	冲绳海槽
	SHMS	VMS	元山矿床	内之代矿床		上向矿床			
矿石量 (Mt)	59.57	7.78	8	8		7		20—22	
金属总量 (Mt)	6.75	0.44		4—6				3.7—4.5	
			平均	黑矿	黄矿	黑矿	硅矿	平均	
Cu	0.07	1.25	2.2	1.41	5.38	1.27	0.67	0.28	3.48
矿石品位 Pb	3.98	0.73	0.8	9.42	0.27	10.42	4.13	2.1	7.06
(%) Zn	7.29	3.76	4.5	18.29	0.15	23.2	8.72	3.1	21.67
矿体规模	1800m × 750m					1700m × 800m		1800m × 600m	

SHMS. 以沉积岩为容矿岩石的块状硫化物矿床; VMS. 火山成因块状硫化物矿床。

Sedex 型矿床的吨位—品位模型与 VMS(或黑矿型)矿床显著不同(表2),单个 Sedex 矿床的吨位(60Mt)和金属量(6.75Mt)几乎与整个黑矿矿田或矿群相当。根据 Sedex 矿床和黑矿型矿床分别在范围大体相当的区域内独立与成群产出的基本事实,推测在一个25—50km²区域范围内,热液流体可能搬运的最大金属量约4—6Mt,亦即在类似规模的区域内,成群产出的黑矿型矿床,其金属储量具有扩大到4—6Mt的成矿潜力。

4 成矿元素地球化学特征

4.1 主要成矿元素

矿床的硫化物金属量(Cu、Pb、Zn)及比值[Zn/(Pb+Zn)、Zn/Cu]取决于热液流体性质和金属源类型。世界范围的 VMS 矿床的金属总量呈双峰分布,峰值对应的 Zn/(Pb+Zn)比值分别为0.7—0.85和>0.9^[3],前者反映了从长英质岩系和沉积岩萃取金属组分的热液特征[Zn/(Pb+Zn)=0.7—0.85^[3]];后者揭示了金属组分源自镁铁质岩系的溶液特点[Zn/(Pb+Zn)>0.9^[3]]。不同时代黑矿型矿床的 Zn/(Pb+Zn)比值基本一致,介于0.60—0.85之间,反映其成矿物质可能主要来自长英质及相伴的沉积岩系。

图1比较了大洋中脊和岛弧环境的 VMS 矿床,两组 VMS 矿床明显分离,洋中脊环境的 VMS 矿床多为 Cu—Zn 型或 Cu 型,岛弧张裂环境的 VMS 矿床多属 Zn—Pb—Cu 型或 Pb—Zn—Cu 型。由于海底热液成矿作用过程基本类似,热液系统的热历史基本一

致^[14], 因此, 洋脊与岛弧环境 VMS 矿床间的矿石化学差异可能反映了不同热液体系内的金属浓度差异及成矿的水-岩反应体系差别。在洋脊环境, 洋壳为相对富含 Cu、Fe 的玄武质岩石, 而在岛弧张裂环境, 岛弧下部的“基底”多为陆壳或过渡壳, 火山作用产物主要为相对富含 Pb 和 Zn 的长英质火山岩系。因此, 在海水循环和水-岩反应过程中, 岛弧环境的火山-沉积岩系无疑比洋脊环境的玄武岩系提供更多的 Pb、Zn 和较少的 Cu、Fe 组分。

遭受热水循环淋滤的火山-沉积岩系对热液流体中金属组分的贡献的另一体现为, 不同的岛弧发育阶段, 造就不同的矿床金属类型。冲绳海槽系琉球岛弧的弧后扩张初期阶段产物^[13, 15, 16], 扩张的弧后区仍以陆壳为主, 并发育大量长英质岩系和少量玄武岩^[6], 其矿床金属类型为 Zn-Pb-Cu 型, Pb 含量高于其他黑矿型矿床。斐济和马里亚那海槽代表着弧后扩张晚期产物, 弧后区已开裂成洋, 发育大量的玄武岩系^[17], 其相应矿床的金属类型为 Cu-Zn 型, 矿石的化学特征与洋中脊环境的 VMS 类似(图 1)。呷村矿床和日本上向黑矿均形成于岛弧裂谷环境, 产于以酸性火山岩为主体的双峰岩系中, 相应的矿床金属类型均为 Zn-Pb-Cu 型, 但因前者的长英质岩系较后者的更为发育, 故其矿床 Cu 含量较后者为低。

可以认为, 黑矿型矿床 Cu、Pb、Zn 含量及比值受岛弧张裂程度(阶段)及其产生的火山-沉积岩系制约, 而与成矿地质时代无必然联系。

4.2 次要成矿元素

次要元素(As、Sb、Se、Te、Cd、Ag、Au 等)因不形成主要矿石矿物相, 故比主要成矿元素能更好地揭示热液流体性质和矿质来源。

比较现代海底洋脊环境的硫化物矿床与岛弧环境的黑矿型矿床发现(图 2), 岛弧张裂环境的 VMS 矿床比洋脊环境的硫化物矿床普遍低 Cu、Fe 和 Se, 显著高 Pb、As 和 Sb, 中等富 Mn、Zn 和 Ag(表 3、图 2)。黑矿型矿床的高 As 和 Sb 丰度, 亦揭示了陆壳及长英质火山岩对热液流体的成矿组分的重要贡献。

不同成矿时代的黑矿型矿床, Pb 和 Zn 的富集度相差不大(图 2), 但 As、Sb、Ag、富集度相差甚远。冲绳海槽矿床的 As、Sb、Ag 富集程度最高, 呷村矿床次之, 上向黑矿

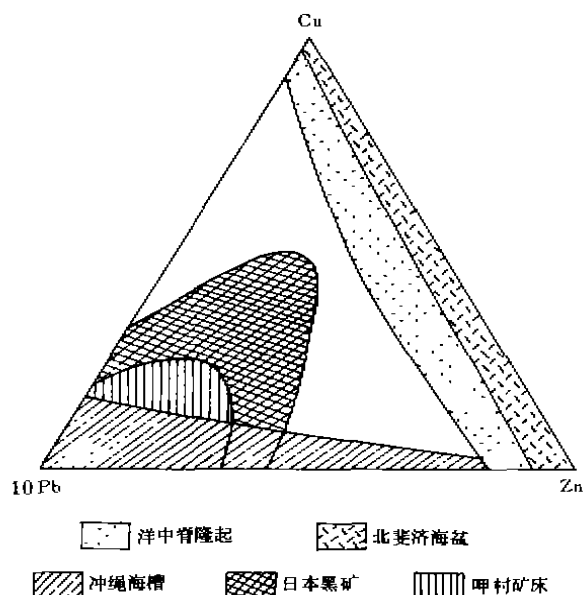


图 1 不同构造环境的 VMS 矿床成分比较

Fig.1 Comparison of chemical compositions of volcanogenic massive sulfide deposits in different tectonic settings

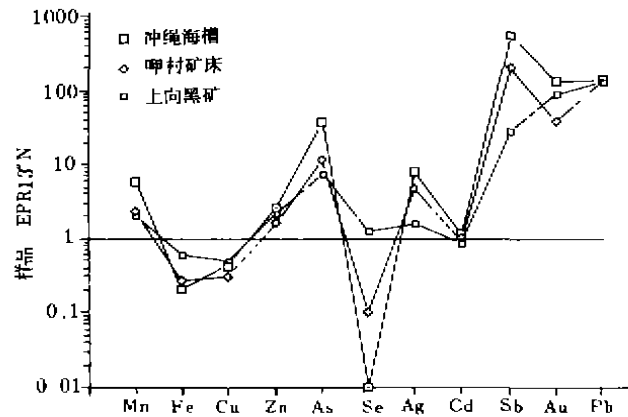


图2 三叠纪以新的黑矿型矿床的主要和次要金属元素配分形式

Fig.2 Major and trace metal element patterns for the Kuroko-type deposits formed since Triassic

EPR 13° N 代表东太平洋脊北纬 13° 热液区热液硫化物矿床, 其平均化学成分为: Mn 100 × 10⁻⁶,Fe 25.96%; Cu 7.83%, Zn 8.17%; As 154 × 10⁻⁶; Se 163 × 10⁻⁶; Ag 49 × 10⁻⁶; Cd 960 × 10⁻⁶; Sb 8 × 10⁻⁶;Au 260 × 10⁻⁶; Pb 500 × 10⁻⁶.

表3 不同构造环境的古代和现代海底热液硫化物矿床化学成分

Table 3 Chemical compositions of ancient and modern sea-floor hydro thermal sulfide deposits from different tectonic environments

构造环境	Cu	Pb	Zn (%)	Fe	Mn (10 ⁻⁶)	Sb
1 冲绳	3.48	7.06	21.67	5.84	600	4455.3
2 呷村	2.34	6.90	13.50	7.14	715	1638.7
3 黑矿	3.96	6.70	18.25	15.80	200	225.3
4 劳海盆	4.56	0.33	16.10	17.40	542	51.0
5 斐济海盆	7.45	0.06	6.64	30.10	761	30.0
6 TAG	6.21	0.05	11.70	25.20	548	20.0
7 胡安·德富卡	0.16	0.26	36.70	19.70	970	18.0
8 EPR13° N	7.83	0.05	8.17	26.00	100	<10
9 EPR21° N	0.58	0.21	19.76	12.40	246	23.0
构造环境	As	Se	Cd (10 ⁻⁶)	Ag	Au	
1 冲绳	5602.1	0.9	1127.2	397.4	3.4	
2 呷村	1773.4	89.3	913.4	237.2	1.0	
3 黑矿	1135.2	211.1	845.5	81.4	2.4	
4 劳海盆	2213.0	8.0	482.0	256.0	1.4	
5 斐济海盆	182.0	168.0	260.0	151.0	1.1	
6 TAG	78.0	47.0	410.0	80.0	2.2	
7 胡安·德富卡	359.0	13.0	519.0	178.0	0.0	
8 EPR13° N	154.0	968.0	960.0	49.0	0.0	
9 EPR21° N	296.0	14.0	376.0	98.0	0.0	

注: 1—5. 岛弧张裂环境, 1—3. 本文资料; 4. 引自文献[17]; 5. 引自文献[18].

6—9. 洋脊环境, 6. 引自文献[19]; 7. 引自文献[20]; 8—9. 引自文献[17].

最低,这种系统差异与岛弧张裂程度逐渐增大相对应,与长英质岩系及陆壳物质对热液系统相对贡献逐渐减小趋势相吻合。

5 黑矿型矿床的矿石化学分带

典型黑矿的块状矿体带型式,自下而上依次为黄铁矿带→“黄矿”→“黑矿”→重晶石带^[7,9-10]。黄铁矿带几乎全部由黄铁矿组成,“黄矿”主要由黄铜矿和黄铁矿组成,“黑矿”则主要由闪锌矿、方铅矿和重晶石组成。“黄矿”与“黑矿”间常有过渡类型,称为“半黄矿”或“半黑矿”^[12]。

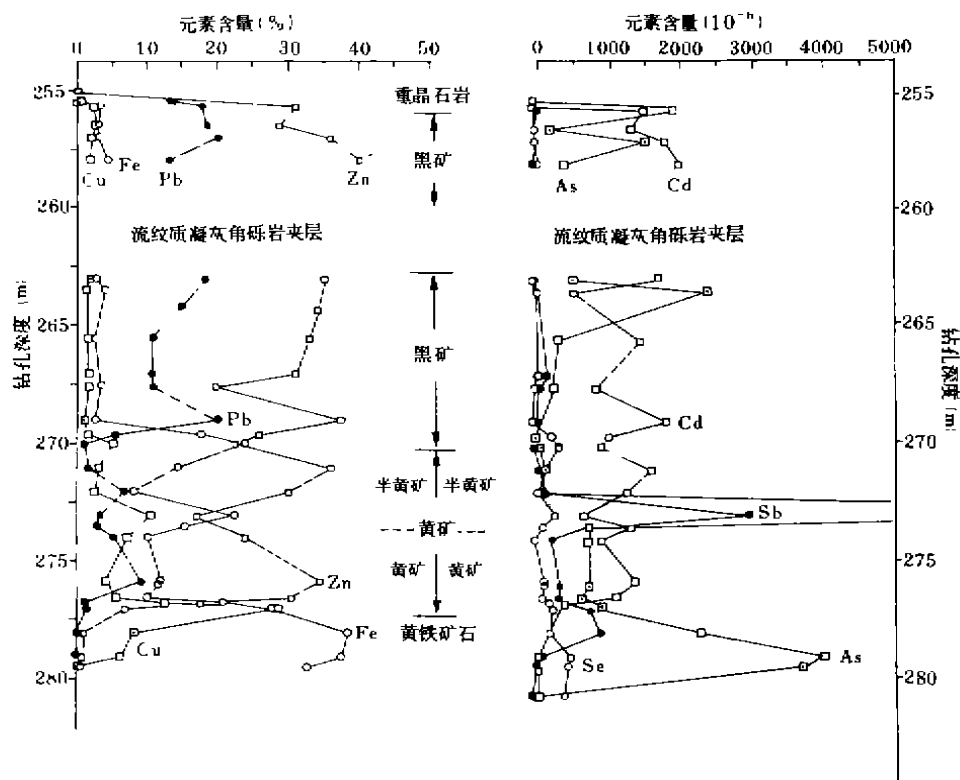


图3 日本小坂矿山上向矿床块状硫化物矿体内的金属元素化学分带

Fig.3 Diagram showing chemical zonation in metal elements within massive sulfide orebodies in Uwamuki kuroko deposit, Kosaka mine, Japan

所有分析样品均取自钻孔 No.287, 该钻孔穿透整个块状硫化物矿体。矿床的矿物分带根据矿物学研究确定, 所有分析用 ICP 方法在日本地质调查所完成。

图3展示了日本上向黑矿块状硫化物矿体的矿物分带和相应化学分带。在黄铁矿带, Cu、Pb、Zn 含量甚低, Fe 高达 38%, As 和 Sb 相对富集。在“黄矿”带, Cu 和 Zn 显示双峰分布, Cu 含量峰值分别为 29% 和 11%, 分别与“黄矿”带的典型“黄矿”和“半黄矿”对应。在典型“黄矿”中, As 和 Sb 含量较低, 但进入“半黄矿”, As 和 Sb 含量骤增(表

表 4 黑矿型矿床主要矿石的主要(%)和微量(10^{-6})金属元素分析结果Table 4 Representative analyses of major (%) and minor (10^{-6}) metal elements in Kuroko-type deposits

样品号	N	Type	Cu	Pb	Zn	Fe	Mn	Sc	As	Sb	Te	Cd	Ag	Au
(10 ⁻⁶)														
冲绳矿床														
411-2	20	E, BO	2.1	7.9	31.9	5.6	0.05	5.7	160	82.2	95.6	1732.1	21.3	2.42
411-3	3	E, BO	0.8	3.6	30.8	7.7	0.04	1.1	371	128.6	54.1	1641.1	50.3	3.06
412-5	2	E, BO	0.6	1.9	39.9	1.8	0.05	1.6	46.1	42.7	266.2	2547.5	48.7	0.65
412-1	7	E, BO	5	17.2	24.7	6	0.12	0.9	261.4	360	2.6	1343.3	115.2	2.27
616-1	15	E, BO	1.2	4.9	23.7	23.7	0.07	0.5	114.4	167.4	89.4	1561.7	121	8.49
116-1	37	L, YLO	2.3	8.2	6.6	10.4	0.03	0.3	5208	1193.3	40.9	269.6	195.7	5.19
360-1	1	L, YLO	14.3	15.3	30.4	3.2	0.15	0.6	20300	21200	1100	2600	<0.3	
360-2	3	L, YLO	12.3	15	30.2	5.5	0.15	0.6	27933.3	16433.3				1.3
360-3	3	L, YLO	6.8	8.7	19.2	4.8	0.11	0.4	15866.7	19933.3		513.3	733.3	3.6
360-4	1	L, YLO	13.3	16.1	30	3	0.12	0.4	16900	40200	140		967	12.8
360-5	1	L, YLO	4.6	11.2	19.5	1.4	0.06	0.3	8000	10160	90		680	1.5
360-7	1	L, BO	0.9	18.8	50.2	3.4	0.1	0.8	1800	1100	230		491	6.3
360-8	1	L, YLO	8.1	21.3	28.5	5.4	0.09	0.5	7500	8100	140		676	5.9
359-5	1	L, BO	1	0.5	1.2	0.1	0.01	0	3440.5	483.7	10.8	74	167.8	
160-I	1	SO	0.1	0.4	14.8	8.9	0.02	0.5	130.1	8.3	n.d	n.d	n.d	n.d
160-E	1	SO	0.2	2.5	3.3	1.1	0	0.5	935.9	10	n.d	n.d	n.d	n.d
160-N	1	SO	4.1	0.9	14.4	3.5	0.04	0	13131.5		n.d	n.d	n.d	n.d
上向黑矿														
263.0	1	MBO	2	18.5	35.5	2.7	0.04	9.1	570.3	32.7	122	1755.8	213.3	1.74
263.5	1	MBO	1.5	7.4	13.2	3.7	0.02	56.1	2408.1	77.7	27.1	574.9	83.7	0.46
265.5	1	MBO	1.6	10.8	33.1	1.6	0.03	10.3		51.2	74.6	1493.7	90.7	0.65
267.0	1	MBO	1.8	10.9	31.2	6.3	0.02	79.9	218.8	194.9	17.6	1300.5	36.3	3.14
267.6	1	MBO	1.7	10.7	19.9	3.3	0.01	37.5	304.9	79.3	41.5	882.3	50.3	1.77
269.2	1	MBO	1.2	20	37.5	2.6	0.02	0.2		39.1	137.7	1864.9	136.8	2.93
269.6	1	MBO	1.7	5.4	25.9	17.8	0.02	255.7	41.5	34.3	112.1	1074.6	67.5	2.99

续表 4

样品号	N	Type	Cu	Pb (%)	Zn	Fe	Mn	Se	As	Sb	Te (10 ⁻⁶)	Cd	Ag	Au
270.0	1	MYO	5.2	1	22.6	23.7	0.02	353.7	93.4	37.5	76.8	954	86.5	2.39
271.0	1	MYO	3.1	1.7	36.2	14.4	0.03	185.6	177.9	107.7	147	1653.1	84.2	0.15
272.0	1	MYO	2.5	6.6	30	8.1	0.02	73	207	187.2	127.9	1327.4	94.4	0.23
273.0	1	MYO	10.5	3.3	17	22.4	0.01	309.3	10871.2	2993	53.3	700.5	306.5	4.11
273.5	1	MYO	6.7	3	30.1	15.5	0.02	117.8	768.7	782.6	116.1	1366.7	139.2	2.47
274.0	1	MYO	7.1	5.2	24.1	9.9	0.01	215.4	1571.8	263.6	106.8	958.6	115.2	2.24
275.8	1	MYO	4.2	9	34.5	11.8	0.02	148.9	288.5	215	151.6	1420	95.8	3.1
276.0	1	MYO	6	2.6	30.4	11.6	0.01	152.2	776.3	388.5	156.9	1245	125.5	3.09
276.5	1	MYO	5.6	7	30.3	10.1	0.02	125.7	669.3	348.5	141.4	1138	90	2.1
276.8	1	MYO	12.5	1.1	17.8	20.8	0.01	234.3	960.1	469	0.8	466.4	58.1	4.53
277.0	1	MYO	28.5	1.4	7	27.8	0	278.2	981.9	816.6		298.1	58.3	1.47
278.0	1	MYO	18.5	0.9	20.3	21.8		230.6	2340.4	938.3	61.9			
279.0	1	PYO	7.9	0.1	1	38.4		525	4072.1	105.5	33.1	86.2	34.5	4.87
279.4	1	PYO	6	0.1	1	37.4		482.4	3758.6	40.9	26.5	82.6	19.1	4.23
280.7	1	PYO	0.2	0.1	0.5	32.8		435.4	77.3	4.3	31.3	71.7	12.5	n.d
280.8	1	PYO	3.2	1.3	2.6	39.1		556.1	1256.9	1495.2	38.3	120.1	94	n.d
281.0	1	SO	4.6	0.5	2.6	15.1		231.3	55.9	7.1	0.1	103.2	6.5	n.d
285.0	1	SO	1.2	0.2	15.1	13.7		63	42.9	9.9		131.1	6.4	n.d
286.0	1	SO	6.4	1.9	12.1	27.8		371		16.5	8.4	543.4	42.6	n.d
294.0	1	SO	2.9	0	0.5	16		231.1	60.8		11.1	47.4	0.4	n.d
295.0	1	SO	8.2	0.1	4.2	24.7		330.1			15.6	219.1	11.2	n.d
296.0	1	SO	2	0	0.6	20.7		316.8	59.2	4	12.8	60.1	3.7	n.d
310.0	1	SO	2.9	0.1	0.5	27.6		386.3	17.7		28	72.3	5.7	n.d
317.0	1	SO	7.4	0	0	26.1		361.9	40.5	13.4	22.4	54.9	13.5	n.d
320.0	1	SO	0.6	0	0.7	3.2		74.7	74.7	1.2	1.4	8	7.5	n.d
324.0	1	SO	0.4	0.1	6.4	3.3		49.4	94.3	6.1	28.5	265.2	0.6	n.d

续表 4

样品号	N	Type	Cu	Pb (%)	Zn	Fe	Mn	Se	As	Sb	Te (10 ⁻⁶)	Cd	Ag	Au
呷村矿床														
R5-1	1	MBO	0.1	6.2	18.9	1.6		8.8	199.4	1.5	90.8	1031.5	59.6	1.66
R5-2	1	MBO	0.4	6.3	19.5	14.4		202.8	424.2	51		1034.4	70.1	1.96
R-3	1	MBO	2.1	5.9	29.8	1.5			14222.1	2958.3	210	1264.4	184.9	0.26
II-5	1	MBO	1	6.6	19	8.7		95.6	2260	2715.8		822.9		
II-4	1	MBO	0.2	5	5.9	0.3		103	218.8	109.9	14.3	1407.8	137.7	0.84
II-3	1	MBO	0.7	8.7	28.6	18.1		131.1	4.3	2505.8		1599	52.9	1.08
II-2	1	MBO	0.1	23	23.3	10.3			555.4	2723.9		1277.1	100.2	0.33
II-1	1	MBO	1.8	12.7	12	5.8		202.8	424.2	51		471		0.19
I-2	1	MBO	2.4	5.9	14.4	4.3		63.4	284.9	2602.7		599	153.2	
I-4	1	MBO	2.6	10.5	22.1	7.2		12.5	2167.9	324.7		1194.9	286.3	0.36
X-6	1	MBO	0.3	6.4	17.5	16.9			670.1	4219.8		804.1		0.74
X-7	1	MBO	0	0.7	2.4	7.5		11.9	252.3	500.3		50.8		1.84
Z4-20	1	MBO	0.4	5	10.1	4.7	0.04	50	412.3	239.2		536.5	87.7	0.36
Z4-21	1	MBO	0.4	3.9	10.7	1.3	0.03	28.2	340.2	794.3	21.8	666.1	94.4	1.41
406-10	1	MBO	0.1	9.3	31.5	10.3	0.02	111.3	202.7	67.5	22	1821.8	50.4	1.41
I-5	1	MYLO	6.3	11.4	32.6	8.6			1908.7	3734.8		1546.5	96.1	2.39
R-1	1	MYLO	4.6	2.1	0.8	1								
R-4	1	MYLO	6.5	8.5	23.9	10.5			768.5	3380.9	0.9	1215.8	300.4	0.18
X-3	1	MYLO	8	9.2	16	8			1908.7	3734.8		621.3		1.49
Z4-014	1	MYLO	3.3	8.3	17.9	9.5	0.07	117.9	764.9	3061.6				0.38
Z4-016	1	MYLO	9.3	7	9.4	8.2	0.18	109.2	1883.3	3007.9		559.6	200.8	1.97
406-42	1	MYLO	4.5	10	27.9	13	0.22	204.8	2157.8	1492.6		1343.7	108.4	0.24
Z4-049	1	SO	1.8	1.9	3.1	2.7		36.8	1682	36.5	109.7			0.71
Z4-060	1	SO	0	7.7	11.3	10.2	0.03							1.56
Z4-054	1	SO	0	0.3	1	20.9	0.03		29.3	38.1				0.46
CT-038	1	SO	0.9	3.7	9.5	2.3	0.03		2268.2	1689.5				2.52
X-8	1	SO	0.2	2.3	2.1	0.6						109.5	135.2	0.06
R-2	1	SO	0.9	3	6.5	1.3			919.2	2343.9		104.9	2865.3	0.8

N. 样品数量; Type. 矿石类型; E, BO. 早期阶段黑矿; L, YLO. 晚期阶段似黄铁矿; L, BO. 晚期阶段黑矿; SO. 硅质矿; MBO. 块状黑矿; MYO. 块状黄铁矿; PYO. 黄铁矿; MYLO. 块状似黄铁矿; n.d. 未分析. 表中空格者分析精度不够
分析者: 侯增谦, 分析单位: 日本地质调查所.

4)。这些元素含量变化揭示,“黄矿”和“半黄矿”可能代表着先后两次热液成矿事件。“黑

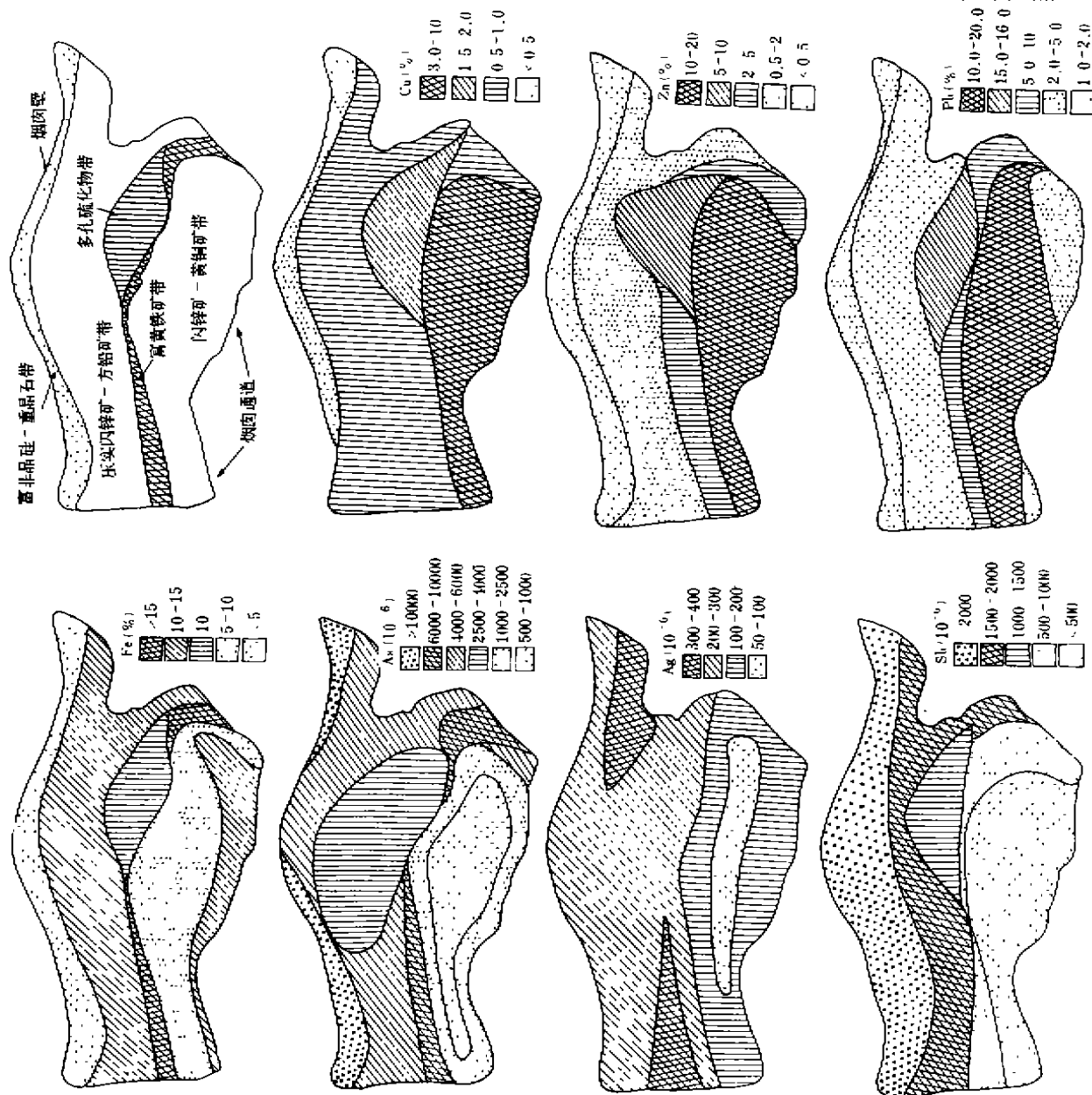


图4 冲绳海槽硫化物烟囱切面上的金属元素分布图

Fig.4 Chemical map showing the distribution of major and trace metal elements in the wall of the sulfide chimney (sample RS116) collected from the Okinawa trough

该切面取自烟囱的一部分。烟囱切面内的矿物分带根据镜下观察结果确定。化学分布图由系统取自该切面的37件样品分析结果确定。

矿”带的元素分带相对简单,Fe、Cu降至最低,Zn、Pb含量随层位增高而增大。As变异趋势与Pb、Zn类似(图3)。进入重晶石带,Pb、Zn、Cu、Fe、As和Sb含量锐减,相应地,

Ba 和 Si 含量大大增高。

根据取自同一硫化物烟囱切面系列样品分析结果,绘制了冲绳海槽典型烟囱切面金属元素化学分布图(图 4)。自烟囱核部的热液通道至烟囱外壁,金属矿物显示明显的分带。岩相学研究表明,以中间的富黄铁矿带为界,其内外两部分矿石分别系晚期和早期阶段热液成矿作用产物¹⁾。

比较黑矿块状矿体与烟囱切面的元素化学分布,两者具有惊人的一致性。在烟囱外墙部分,元素分布型式清楚地显示出原有的热液通道轮廓,被富 Cu 和 Zn 硫化物充填。由古通道至外墙壁,元素分带与黑矿矿床块状矿体“半黄矿”至重晶石矿的金属分带特征十分类似。在烟囱切面内墙部分,Cu、Fe 和 Zn 含量显著增高。由活动热液通道向外部,Cu 和 Zn 含量显著递减,Pb 含量先增大,尔后突然降低,Fe 含量由高到低,尔后达到最大(图 4)。考虑到高温($t > 300^{\circ}\text{C}$)热液流体正在通过烟囱通道向外排泄,黄铜矿正在烟囱内壁不断沉积,可以认为,正在不断增长的烟囱内壁部分的金属含量分带型式和未来矿物组合与黑矿矿床的“黄矿”带相类比。

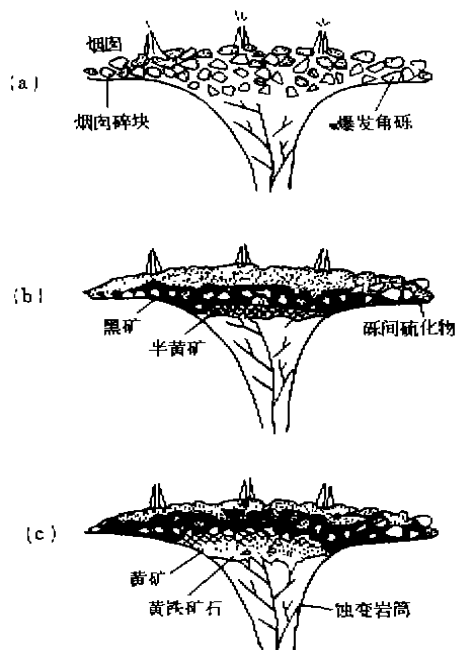


图 5 根据现代海底硫化物丘堤-烟囱的生长原理推演的黑矿型矿床硫化物堆积与矿体生长模式(详细解释见正文)

Fig.5 The model of sulfide precipitation and growth of the Kuroko-type deposit inferred from the growth principle of the modern mound-chimney on the modern sea-floor

6 硫化物堆积模式

大量观察研究表明,烟囱的生长是由烟囱壁向内部生长的^[4, 22]。顺烟囱通道向外排泄的高温流体,与冷海水的快速混合以及由此产生的巨大温度梯度,将首先导致石膏、非晶硅和重晶石在热液喷口处快速淀积。由这些物质构成的多孔壁不仅降低热水-海水混合速率,而且可捕获悬浮的硫化物颗粒。在多孔壁构成的屏障内,热液的传导冷凝及与海水的有限混合,将导致低温硫化物组合(方铅矿——Gn; 闪锌矿——Sp; 重晶石——Ba)紧贴烟囱内壁沉淀,高温流体沿烟道排泄。随烟道变窄乃至通道堵塞,高温矿物(黄铜矿、磁黄铁矿)则在烟道内沉淀。旧烟囱窒息和倒塌后,热液流体可通过烟囱碎片塌积物空隙继续喷射,并构筑新的烟囱,因弥散式喷射而流速大大降低的热液流体,则在烟囱塌积物下部及内部淀积硫化物。冲绳海槽烟囱的金属-矿物分带型式亦反映了类似的烟囱生长过程。

1) 侯增谦和浦边微郎,西太平洋冲绳海槽块状硫化物矿床矿石化学特征与化学分带型式,地球学报(出版中)。

作者基于冲绳海槽硫化物烟囱生长过程的实地考察和对古代黑矿的剖析, 提出黑矿型矿床硫化物堆积新模式(图 5a)。

(1) 穿过长英质火山岩系的高温热液流体排泄进入岩系顶部的碎屑堆(层)。该碎屑堆包括热液爆发角砾岩之碎屑和崩塌的“烟囱”碎片。碎屑堆使热液活动方式由中心单通道式变为弥散多通道式, 并在其顶部形成众多烟囱。

(2) 碎屑堆降低热液喷射速率, 促进热液在碎屑层内及下部传导冷凝并与海水混合, 导致硫化物淀积。排泄入海的热液与海水快速混合, 导致非晶硅-重晶石结壳的形成。在结壳层-烟囱碎屑联合体内部, 相对低温的矿物组合和较高温矿物组合自外而内、自上而下(自高温梯度带向低温梯度带)依次淀积, 形成“黑矿”及“半黄矿”雏形(图 5b)。

(3) 新的高温热液再复活动, 并沿新热液通道排泄, 形成新的烟囱。因已成硫化物堆积体的自身屏蔽作用, 搬运大量 Cu、Fe 组分的高温流体交代淋滤先成的“黑矿”乃至“半黄矿”堆积物, 并使 Pb、Zn 组分向外迁移, 残留空间淀积黄铜矿和黄铁矿, 形成“黄矿”和“黄铁矿石”(图 5c)。

简言之, 该模式强调: (1) 硫化物淀积需要固结的结壳和机构; (2) 块状硫化物矿体的形成是热液流体的开放空间充填和广泛交代及硫化物淀积作用结果, 同生沉积与热液交代作用构成统一的动力成矿体系; (3) 块状硫化物矿体的发育过程是一个硫化物不断交代沉淀、金属组分不断迁移的动态过程。

应该说明, 任何模式均不可能适用于全部矿床。可以推想, 如果热液流体具有足够高的盐度和密度, 其通过烟囱排泄入海, 则可能形成卤水池, 发育长度/厚度比值较大的板状矿体。

本文为中日合作项目“古代与现代黑矿型块状硫化物矿床比较研究”的部分研究成果, 是第一作者在日本地质调查所做“客座研究员”期间完成的。研究工作得到日本“国际产业技术研究事业”基金资助。

参 考 文 献

- 1 Franklin J M, Sangster D F, Lydon J W. Volcanic-associated massive sulfide deposits. *Econ Geol*. 1981, 75th Ann Vol; 485—627
- 2 Ohmoto H, Skinner B J. The Kuroko and related volcanogenic massive sulfide deposits; Instruction and summary of new findings. *Econ Geol*, 1983, Monogr 5; 1—8.
- 3 Lydon J W. Volcanogenic massive sulfide deposits. Part 1: a descriptive model. *Geoscience Canada*. 1984, 11; 195—202.
- 4 Lydon J W. Volcanogenic massive sulfide deposits. Part 2: Genetic model. *Geoscience Canada*. 1988, 15; 43—65.
- 5 Halbach P, Nakamura K, Walsner M *et al*. Probable modern analogue of kurokotype massive sulphide deposits in the Okinawa Trough back-arc basin. *Nature*. 1989, 338; 496—499.
- 6 Halbach P, Pracejus B, Marten A. Geology and mineralogy of massive sulfide ores from the Central Okinawa trough, Japan. *Econ Geol*, 1993, 88; 2210—2225.
- 7 Urabe T, Stoto T. Kuroko deposits of the Kosaka mine, Northeast Honshu, Japan—products of submarine hot springs on Miocene sea floor. *Econ Geol*, 1978, 73; 161—179
- 8 侯增谦, 莫宣学. 义敦岛弧形成演化及其对“三江”地区块状硫化物矿床的控制作用. *地球科学——中国地质大学*

- 学报, 1991, 16(2): 153—164.
- 9 叶庆同. 四川呷村含金富银多金属矿床成矿地质特征和成因. 矿床地质, 1991, 10(2): 107—118.
- 10 徐明基, 傅德明. 四川呷村银多金属矿床. 成都: 成都科技大学出版社, 1993. 1—38.
- 11 侯增谦. 川西呷村黑矿型块状硫化物矿床成矿流体化学与热演化历史和成矿过程. 矿床地质, 1992, 11(2): 411—423.
- 12 侯增谦. 三江地区义敦岛弧形成演化历史. 青藏高原地质文集, 1991, (21), 153—165.
- 13 Cathles L M, Guber A L, Lenagh T C *et al.* Kuroko-type massive sulfide of Japan: Products of an absorbed island-arc rift. *Econ Geol.* 1983, Monogr 5: 96—114.
- 14 Rona P A, Scott S D. A special issue on sea-floor hydrothermal mineralization: New perspectives—preface. *Econ Geol.* 1993, 88: 1933—1976.
- 15 Kimura M. Back-arc rifting in the Okinawa trough. *Marine Petroleum Geol.* 1985, 2: 222—240.
- 16 Letouzey J, Kimura M. Okinawa trough genesis. Structure and evolution of a back-arc basin. *Marine Petroleum Geol.* 1985, 2: 111—130.
- 17 Fouquet Y, Stackelberg U, Charlou J L *et al.* Metallogenesis in back-arc environments: The Lau basin example. *Econ Geol.* 1993, 88: 2154—2181.
- 18 Bendel V, Fouquet Y, Auzende J M *et al.* The white lady hydrothermal field, North Fiji back-arc basin, Southwest Pacific. *Econ Geol.* 1993, 88: 2237—2249.
- 19 Hannington M D. The geochemistry of gold in modern sea-floor hydrothermal systems and implication for gold mineralization in ancient volcanogenic massive sulfide: [dissertation]. Toronto: Univ of Toronto, 1989. 1—544.
- 20 Bischoff J L, Rosenbauer R J, Aruscavage P J *et al.* Sea-floor massive sulfide deposits from 21 ° N, East Pacific Rise: Juan de Fuca Ridge and Galapagos rift: Bulk chemical composition and economic implications. *Econ Geol.* 1983, 78: 1711—1720.
- 21 Eldridge C S, Barton P B J, Ohmoto H. Mineral textures and their bearing on formation of the Kuroko orebodies. *Econ Geol.* 1983, Monogr 5: 241—281.
- 22 Hekinian R, Fevrier M, Bischoff J L *et al.* Sulfide deposits from the East Pacific Rise near 21 ° N. *Science*, 1980, 207: 1433—1444.

A COMPARATIVE STUDY ON GEOCHEMISTRY OF SULFIDE ORES FROM THE KUROKO-TYPE DEPOSITS ON ANCIENT AND MODERN SEA-FLOOR

Hou Zengqian

(*Institute of Mineral Deposits, CAGS, Beijing 100037*)

T. Urabe

(*Geological Survey of Japan*)

Abstract

A comparative study have been made on geochemistry of sulfide ores from sulfide mounds in the Okinawa trough, Pacific, Uwamuki kuroko deposit in Kosaka mine, Japan and Gacun kuroko-type deposit, S. W. China. The ore tonnage-grade model of Kuroko-type deposits is similar to that of other volcanogenic massive sulfide deposits. The tonnage of sulfide ores from Kuroko-type deposits or ore clusters in a field with 20 — 50 km² equals to that of individual Sedex-type deposit, the total metal amount is about 4—6 Mt for the two type deposits, suggesting that the hydrothermal fluids could carry about 4—6 Mt metals. Comparing with volcanogenic massive sulfide deposits in the mid-oceanic ridges, Kuroko-type massive sulfide deposits occurred in intra-arc rifting zone and back-arc rifting basin show enrichment in Pb, As, Sb, Ag, Au, etc. and depletion in Cu, Fe, Se, etc. The chemical compositions of Kuroko-type sulfide ores are controlled by the intra-arc rifting degree, and related to submarine volcanic rocks and crustal nature (continental or oceanic), indicating that the ore-forming metals derived from volcano-sedimentary rocks through which hydrothermal fluid circled and discharged. The patterns of chemical zoning for major and minor metal elements in the ancient massive orebodies are identical to those in modern analogue, suggesting a similarity in processes of sulfide deposition on ancient and modern seafloor. Based on observation on growth processes of sulfide chimneys on seafloor and investigation on ancient Kuroko-type deposits, a new model on sulfide deposition have been established, in which sulfides fill and accumulate in open space beneath solidifying crust or pyroclastic layer and replace low-temperature sulfide assemblage to result in outward migration of metal components.

Key words: Okinawa trough, ancient and modern kuroko, ore chemical comparison