

# 白银厂铜多金属矿田微量元素和 稀土元素地球化学研究

宋学信 张景凯 徐庆生 曹亚文

(中国地质科学院矿床地质研究所, 北京)

**提 要:** 与日本黑矿及现代海底火山岩为主岩矿床相比, 白银厂矿田各类矿石, 尤其是块状 Zn-Pb-Cu 矿石具有最高的 As 和 Bi 含量, 比较高的 Ga、Cd 和 Au 含量, 以及较高的 Au/Ag 和 Co/Ni 比值。该矿田矿石的 Au 含量与闪锌矿中铁含量呈负相关关系。小铁山矿床闪锌矿与日本黑矿的闪锌矿微量元素特征很相似。矿田各类矿石 REE 型式 (pattern) 与细碧角斑岩类岩石基本相似, 这说明矿石与岩石的物质来源基本一致。研究和对比表明, 火山成因块状硫化物矿床黄铁矿的 Co、Se 含量和 Co/Ni 比值有随矿床年龄变年轻而降低之趋势。

**关键词:** 火山成因 块状硫化物矿床 微量元素 稀土元素 白银厂矿田

白银厂矿田是我国最大的火山成因块状硫化物矿田, 著名的铜城白银市就由此而得名。该矿田由折腰山、火焰山、小铁山、铜厂沟和四个圈等 5 个矿床组成。其中以前三个较具规模和经济价值。第一、第二两矿床相距很近, 常合称折腰山—火焰山矿床。在本世纪 60 至 70 年代, 折腰山—火焰山矿床, 即白银有色金属公司露天矿曾是我国最大的铜生产基地。除 Cu、Zn、Pb 和 S 外, 该矿田矿石中的 Se、Te、Cd、In、Tl、Bi、Hg、Au、Ag 等有益元素均可被综合利用。小铁山锌铅铜矿床中共生的 Au、Ag 储量, 分别可达大型规模。

以往对该矿田的研究, 人们多侧重地质学、岩石学、矿物共生组合、矿物中的包裹体、成矿模式等方面, 仅有少数作者论及该矿田的微量元素<sup>[5]</sup>和稀土元素<sup>[1]</sup>。本文将着重论述该矿田的微量元素地球化学特征, 并与国外类似矿田(床)进行对比。此外, 还将首次论及白银厂矿田块状矿石(作为一种特殊的较均一的岩石来看待)的 REE 型式。

## 1 微量元素地球化学

### 1.1 矿石中的微量元素

表 1 中列出了白银厂矿田块状 Zn-Pb-Cu 矿石、块状 Cu 矿石和块状黄铁矿矿石的微量元素含量平均值。为了便于对比, 在表 1 中还列出了日本黑矿矿石, 以及大西洋中脊、东太平洋隆起和马里亚纳 (Marianas) 弧后现代火山成因块状硫化物矿石的微量元素数据。

由表 1 可以看出:

宋学信, 男, 1939 年出生, 研究员, 长期从事矿床学和地球化学研究。邮政编码: 100037  
1992-8-11 收稿, 1992-12-19 修改回

表 1 古代与现代海底火山成因块状硫化物矿石的化学成分 ( $10^{-6}$ )  
Table 1. Chemical composition of ancient and modern volcanogenic massive sulfide ores ( $10^{-6}$ )

	白银厂矿田①			日本Kosaka和Hanaoka 矿山②			现代海底火山岩为主岩硫化 物矿床③		
	块状 Zn- Pb-Cu 矿石	块状 Cu 矿石	块状 黄铁矿石	黑 矿	黄 矿	黄铁矿石	大西洋中脊 TAG Field	东太平洋 隆起 21°N	马里亚 纳弧后
Cu (%)	2.72	1.14~1.73	0.16	2.2	7.4	0.4	9.2	0.6	1.2
Pb (%)	8.84	0.18	0.18	16.0	0.2	0.07	0.05	0.21	7.4
Zn (%)	13.86	0.1~0.39	0.49	22.5	2.0	0.2	7.6	19.8	10.0
Pb/Zn	1:1.6	1:1~2	1:2.7	1:1.4	1:10	1:3	1:152	1:94	1:1.4
S (%)	34.45	43.18~45.42	31.26	23.1	38.9	48.1	36.0	31.4	17.8
Au	7.29	0.58	0.20	3.0	0.8	0.6	2.1	0.15	0.8
Ag	294.74	16.7	1.2	312	36	15	72	98	184
Au/Ag	0.025	0.035	0.167	0.01	0.022	0.04	0.029	0.002	0.004
Se	141	89.9	75				62	40	10
S/Se	2443	4803~5052	4168				5806	7850	17800
Te	1.8	2.3					0.02	1	<1
As	1170	638	240	1030	380	320	73	296	126
In	18	3.4	<1						
Tl	25	10.0	1.3				26.5	13.0	18.0
Cd	800	72	30	1270	80	80	301	376	465
Bi	196	88	40	20	180	痕量	0.05	1	
Ga	33	6.1	19				44	9	
Ge	5.5	3.7					20	40	
Co	50.5	130~479.9					113	14	2
Ni	18.0	7.8~12.3					97	2.5	1
Co/Ni	2.8	16.7~39.0					1.2	5.6	2

资料来源: ①本研究; ②参考文献[6]; ③参考文献[7]

(1) 白银厂各类矿石与日本黑矿矿石和马里亚纳 (Marianas) 弧后海底火山岩为主岩矿床具有类似的Pb/Zn比值 (1:1~2.7);

(2) 与现代海底火山岩为主岩的矿床相比, 白银厂矿石具有较高的Se含量 ( $75 \times 10^{-6}$  ~  $141 \times 10^{-6}$ ) 和较低的S/Se比值 (2443~5052);

(3) 白银厂各类矿石, 特别是块状Zn-Pb-Cu矿石 (大致相当于黑矿) 具有较高的Au含量 ( $7.29 \times 10^{-6}$ ) 和Au/Ag比值 (0.025);

(4) 白银厂矿田块状Zn-Pb-Cu矿石具有最高的砷含量 ( $1170 \times 10^{-6}$ ), 这与其中含毒砂和砷黝铜矿等含砷矿物有关;

(5) 白银厂矿田块状Zn-Pb-Cu矿石具有最高的铋含量 ( $196 \times 10^{-6}$ ), 以及较高的镓 ( $33 \times 10^{-6}$ ) 和Cd ( $800 \times 10^{-6}$ ) 含量;

(6) 白银厂矿田矿石具有较高的Co/Ni比值 (2.8~39.0)。

## 1.2 矿石的金品位及其与闪锌矿中铁含量的关系

Hannington和Scott曾研究过块状硫化物矿石金含量与矿石中闪锌矿的铁含量的相关

性, 并且指出在200~300℃形成的Zn-Cu-Pb矿石以含贫铁闪锌矿 (< 1 mol% FeS) 和高的Au品位 ( $1 \times 10^{-6} \sim 3 \times 10^{-6}$ ) 为特征, 相反, 在300℃以上形成的富铜矿石含富铁的闪锌矿 (1~5 mol% FeS) 和具有较低的Au品位 (<  $1 \times 10^{-6}$ )<sup>[8]</sup>。

这次我们亦研究了白银厂矿田块状硫化物矿石金的含量及矿石中共生闪锌矿的FeS含量。研究结果(表2)表明, 折腰山—火焰山矿床铜矿石具有较低的金平均含量 ( $0.82 \times 10^{-6}$ ), 而它的闪锌矿具有较高的FeS含量 (6.39~16.52 mol%); 相反小铁山矿床 Zn-Pb-Cu矿石具有较高的金的平均含量 ( $2.28 \times 10^{-6}$ ), 而它的闪锌矿具有较低的FeS含量 (1.03~3.91 mol%)。这说明白银厂矿田矿石的金含量与闪锌矿的FeS含量具有负相关关系。

在表2中, 我们还列出了日本、澳大利亚、加拿大等国某些黑矿型矿床或火山成因块状硫化物矿床, 以及现代海底硫化物矿石金的平均含量和闪锌矿中FeS的分子百分数。

表2 火山成因块状硫化物矿床和现代海底硫化物矿石的金平均含量和闪锌矿的成分

Table 2. Average gold content and composition of sphalerite in volcanogenic massive sulfide deposits and modern sea-floor sulfide ores

矿床名称	金的平均含量 ( $10^{-6}$ )	矿石的平均品位 (%)			闪锌矿中的 FeS 平均含量 (mol %)
		Cu	Zn	Pb	
1. 折腰山—火焰山	0.82	1.16~2.84	2.13~3.29	0.01	6.39~16.52
2. 小铁山	2.28	1.26	5.33	3.39	1.03~3.91
3. Uchinotai-Nishi, 日本	3	2.5	13.7	4.8	0.34
4a. 塔斯马尼亚的 Mt. Lyell	0.4	1.2	—	0.1	2.2
4b. 塔斯马尼亚的 Que River	3.5	0.4	13.3	7.7	—
5. 纽芬兰的 Buchans	1.4	1.3	14.6	7.6	0.3
6. 不列颠哥伦比亚的 Seneca, Lynx 和 Hw 矿山	2.2	1.6	7.0	0.7	0.56
7. 诺兰达的 Corbet, Lac Dufault, Amulet A, Moberg 和 Delbridge, 加拿大	1.7	2.0	6.0	—	9.4
8. 11°N 东太平洋隆起	0.16	1.8	26.9	0.07	14.5
9. 21°N 东太平洋隆起	0.15	1.3	19.5	0.10	14.8
10. TAG Field, 大西洋中隆	2.27	6.2	11.7	0.04	5.1

资料来源: 1,2—本研究; 3—文献[9,10]; 4,6,10—文献[8], 以及 D.B. Wallace 和 G.R. Green 未公开发表资料;

5—文献[11]; 7—文献[8,12]; 8—文献[13,8]; 9—文献[14]

从表2中我们还可以看出:

(1) Uchinotai-Nish (黑矿) 的闪锌矿具有最低的FeS含量 (0.34 mol%), 但是矿石的Au平均含量却相当高 ( $3 \times 10^{-6}$ );

(2) 加拿大不列颠哥伦比亚的三个矿床的闪锌矿成分亦以FeS含量低 (0.56 mol%) 为特征, 但是它们的矿石的金品位平均值亦很高 ( $2.2 \times 10^{-6}$ );

(3) 现代海底硫化物矿石的金含量和闪锌矿的FeS含量亦显示出明显的负相关性;

(4) 加拿大Noranda地区的矿床的闪锌矿虽然含FeS较高, 但矿石的金平均含量亦比较高, 这可能说明, 尽管矿石形成温度较高, 并且成矿流体比较富铜, 但矿区内金丰度可能较高, 所以硫化物矿石中仍可有较多的金富集;

(5) 塔斯马尼亚的 Mt. Lyell 和 Que River 两矿床表现出明显的差异, 前者富铜而贫铅锌, 金含量亦低 ( $0.4 \times 10^{-6}$ ), 后者贫铜而富铅锌, 并具有最高的金平均含量 ( $3.5 \times 10^{-6}$ )。

### 1.3 矿石矿物中的微量元素

#### 1.3.1 黄铁矿

表 3 中列出了中国主要火山成因块状硫化物矿床和日本黑矿矿床的黄铁矿的某些微量元素含量和比值, 从该表可以看出:

表 3 某些火山成因块状硫化物矿床黄铁矿中微量元素含量 ( $10^{-6}$ )

Table 3. Contents of minor elements in pyrite from some volcanogenic massive sulfide deposits ( $10^{-6}$ )

矿床名称	时代	Co	Ni	Co/Ni	Au	Ag	Au/Ag	Se	Tc	As
1. 红透山	Ar	810	10	81	0.14~0.37	3.5~22	0.04~0.017			
2. 红沟	Pz1	670		>10	1.0	4.9	0.20	131	12.3	
3. 折腰山	Pz1	175	50.2	3.5	4.8	9.0	0.53	136	<5	503
4. 火焰山	Pz1	176	43.3	4.1	5.0	22.0	0.23	95.6	<5	701
5. 小铁山	Pz1	52.4	50.1	1.1	10.0	50.1	0.20	49.9	<5	657
6. 阿舍勒	D	92	73	1.3	0.8	95.4	0.008	28.50	0.20	3270
7. 呷村	T	39	133	0.29				4	0.15	1630
8. 日本 Shakanai	E	37	30	1.23	0.18	32	0.0056			490

资料来源: 1—文献[2]; 2—文献[3]; 3、4、5—本研究; 6—刘风国(硕士论文), 1990; 7—文献[4]; 8—文献[15]

(1) 以Cu-Zn组合为特征的折腰山和火焰山矿床的黄铁矿具有较高的Co含量、Co/Ni比值、Au含量和Au/Ag比值, 以及较高的Se含量, 而以Zn-Pb-Cu组合为特征的小铁山矿床的黄铁矿却具有较低的Co含量、Co/Ni比值和Se含量, 但具有最高的Au含量 ( $10 \times 10^{-6}$ );

(2) 以细碧岩为主岩的红沟矿床的黄铁矿具有比以角斑质凝灰岩为主岩的折腰山—火焰山矿床的黄铁矿高3倍的Co含量 ( $670 \times 10^{-6}$ ) 和低4倍的Au含量 ( $1.0 \times 10^{-6}$ );

(3) 太古代的红透山Cu-Zn矿床的黄铁矿拥有最高的Co含量 ( $810 \times 10^{-6}$ ) 和最高的Co/Ni比值 (81);

(4) 三叠纪的呷村富银Pb-Zn矿床的黄铁矿具有最大的Ni含量 ( $133 \times 10^{-6}$ ), 以及最低的Co/Ni比值 (0.29) 和最低的Se含量 ( $4 \times 10^{-6}$ );

(5) 阿尔泰造山带泥盆系中的阿舍勒Cu-Zn矿床的黄铁矿具有中等的Co、Ni含量和Co/Ni比值, 最高的Ag含量 ( $95.4 \times 10^{-6}$ ), 相当低的Au/Ag比值和最高的砷含量 ( $3270 \times 10^{-6}$ );

(6) 日本老第三纪黑矿 Shakanai 矿床黄铁矿具有最低的Co含量 ( $37 \times 10^{-6}$ )、较低的Ni含量和Co/Ni比值, 以及最低的Au含量 ( $0.18 \times 10^{-6}$ )、Au/Ag比值 (0.0056) 和As含量 ( $490 \times 10^{-6}$ )。

#### 1.3.2 黄铜矿

由于黄铜矿的单矿物样品难于获得, 所以本次研究只测定了折腰山的两个黄铜矿样品

(详见表4)。

表4 某些火山成因块状硫化物矿床黄铜矿中微量元素含量 ( $10^{-6}$ )

Table 4. Contents of minor elements in chalcopyrite from some volcanogenic massive sulfide deposits ( $10^{-6}$ )

采样地点	Au	Ag	Mn	Cd	Co	Ni	Co/Ni	Bi	In	Cr	Sb	As	Se
1.折腰山矿床上部	4.4	6.5	85.4	18.0	10.9	27.5	0.4	<5	34.5	32.6	19.3	94.0	90.1
2.折腰山矿床下部	5.9	74.4	77.5	24.7	6.3	15.7	0.4	<5	56.5	32.7	18.1	84.4	33.9
3.阿舍勒矿床		78	10	50	30	30	1	360		<4	<100	200	49
4.日本 Shakanai 矿床	0.1	57	23	14	27	22	1.23	88	62	<10	368	557	

资料来源: 1、2—本研究; 3—刘风国(硕士论文), 1990; 4—文献[6]

折腰山黄铜矿的Au、Mn、Cd、Cr含量比日本Shakanai黄铜矿的为高, 但是其Ag、Co、Bi、Sb和As含量明显低于后者。

表4列出的三个矿床中, 阿舍勒的黄铜矿具有最高的Ag、Cd和Bi含量。

如果将折腰山矿床上部的黄铜矿与下部的黄铜矿加以比较, 则可发现, 下部的黄铜矿具有比上部黄铜矿高的Au、Ag、Cd和In含量, 但具有较低的Co、Ni和Se含量。折腰山下部黄铜矿具有较高的Au含量, 可能预示深部有Au的富集体存在。

### 1.3.3 闪锌矿

表5列出了折腰山、火焰山、小铁山和日本Shakanai矿山闪锌矿主要和微量元素含量。从表5不难看出:

表5 某些火山成因块状硫化物矿床闪锌矿中的微量元素含量 ( $10^{-6}$ )

Table 5. Contents of minor elements in sphalerite from some volcanogenic massive sulfide deposits ( $10^{-6}$ )

矿床名称与样品号	Zn(%)	S(%)	Fe(%)	Cd	Zn/Cd	In	Ga	Ge	Bi	Sb	As	Se
1.折腰山	53.66	33.55	9.12	6160	87.1	70.2	35.2	2.2	痕		900	37
2.火焰山	57.93	33.78	3.38	6210	93.3	90.6	20	1.5	痕		300	91
小铁山:												
3.Xiao-9	63.89	30.85	0.67	3300	193.6	27	2.7	8	1.2	2.9	300	14
4.Xiao-3	59.06		2.20	3100	190.5	28	10	1.6		58	100	60
5.Xiao-4	65.22	32.39	0.58	3100	210.4	31	3	1.5		36	70	20
6.Xiao-5	65.51	31.46	0.95	3100	211.3	11	11	1.1		43	25	20
7.日本Shakanai			0.309	3430	189.5	17	90	<50	41	300	250	

资料来源: 1~2—周世德和刘柱凡, 内部资料, 1982; 3—孔令补(硕士论文), 1985; 4~5~6—白银矿冶研究所, 内部资料; 7—文献[15]

(1) 折腰山和火焰山的闪锌矿具有最高的Fe (3.38%~9.12%)、Cd ( $6160 \times 10^{-6}$ ~ $6210 \times 10^{-6}$ )、In ( $70.2 \times 10^{-6}$ ~ $90.6 \times 10^{-6}$ )和As ( $300 \times 10^{-6}$ ~ $900 \times 10^{-6}$ )含量;

(2) Shakanai闪锌矿具有最高的Ga ( $90 \times 10^{-6}$ )、Bi ( $41 \times 10^{-6}$ )和Sb ( $300 \times 10^{-6}$ )含量, 但是其具有最低的Fe含量 (0.309%);

(3) 小铁山闪锌矿以其较低的Fe (0.67%~2.2%)、Cd ( $3100 \times 10^{-6}$ ~ $3300 \times 10^{-6}$ )、In ( $11 \times 10^{-6}$ ~ $31 \times 10^{-6}$ )、Ga ( $2.7 \times 10^{-6}$ ~ $11 \times 10^{-6}$ ) 和 As( $25 \times 10^{-6}$ ~ $300 \times 10^{-6}$ ) 含量而别于折腰山和火焰山的闪锌矿;

(4) 相比之下, 小铁山闪锌矿在Fe、Cd、和In含量以及Zn/Cd比值方面与日本黑矿Shakanai的闪锌矿却非常相似, 这进一步佐证了小铁山矿床与日本黑矿成因的相似性;

(5) 白银厂矿田的三个矿床, 即折腰山、火焰山和小铁山三矿床闪锌矿的Se含量均较高, 尤以火焰山为著 ( $91 \times 10^{-6}$ )。

## 2 稀土元素地球化学

为了探讨白银厂地区含矿火山岩系和矿石的成因关系, 我们送样测定了折腰山和小铁山块状矿石的稀土元素含量, 详见表6。表6中岩石稀土元素数据系据蒋心明和丛桂新的资料<sup>[1]</sup>。图1为白银厂地区细碧-角斑岩和块状矿石的球粒陨石标准化REE分布型式图。

表6 白银厂矿田岩石和矿石稀土元素含量( $10^{-6}$ )及某些参数  
Table 6. Contents (ppm) and some parameters of REE in rocks and ores from the Baiyinchang ore field

元素及参数	1	2	3	4	5	6	7	8
La	23.12	12.82	9.91	12.26	0.815	1.926	5.19	0.509
Ce	48.57	19.28	23.62	23.52	0.862	1.243	9.34	0.290
Pr	6.15	3.77	3.64	2.74	0.205	0.286	0.81	0.072
Nd	23.87	16.12	16.02	10.20	0.644	0.242	3.40	0.238
Sm	5.01	4.33	4.90	2.21	0.196	0.157	1.00	0.057
Eu	1.30	1.62	1.21	0.69	0.025	0.097	0.17	0.006
Gd	4.73	5.10	6.48	2.42	0.309	0.184	0.46	0.055
Tb	0.40	0.58	0.86	0.41	0.065	0.023	0.15	0.008
Dy	3.61	4.32	6.98	2.46	0.435	0.116	1.07	0.020
Ho	0.70	0.87	1.61	0.68	0.103	0.026	0.23	0.007
Er	2.06	2.34	4.56	1.61	0.495	0.074	0.58	0.009
Tm	0.30	0.33	0.76	0.26	0.047	0.015	0.09	0.002
Yb	1.80	1.95	4.90	1.84	0.397	0.108	0.64	0.020
Lu	0.28	0.28	0.75	0.35	0.058	0.024	0.08	0.004
Y	18.05	21.06	38.91	15.56	3.057	0.828	5.97	0.151
$\Sigma$ RE	139.95	94.77	125.11	77.21	7.713	5.349	29.18	1.448
$\Sigma$ Ce/ $\Sigma$ Y	3.38	1.57	0.90	2.02	0.55	2.83	2.15	4.25
Sm/Nd	0.21	0.27	0.311	0.22	0.304	0.65	0.29	0.24
Eu/Eu*	0.21	1.06	0.66	0.92	0.31	1.76	0.67	0.33
(Ce/Yb) <sub>N</sub>	6.88	2.52	1.23	3.26	0.55	2.94	3.72	3.71

资料来源: 1~4—文献1, 其中: 1—白银地区富钾细碧岩; 2—白银地区细碧岩; 3—白银地区角斑岩; 4—白银地区石英角斑质凝灰岩; 5~8—本研究, 其中: 5—折腰山块状含铜黄铁矿; 6—小铁山块状黄铁矿; 7—折腰山块状黄铜矿; 8—小铁山块状Zn-Pb-Cu矿石

由表6和图1不难看出:

(1) 白银厂地区的富钾细碧岩和细碧岩的REE型式基本一致, 并均具有较高的 $\Sigma$ REE

( $139.95 \times 10^{-6}$ 和 $94.77 \times 10^{-6}$ )、 $\Sigma Ce/\Sigma Y$  (3.38和1.57) 和  $(Ce/Yb)_N$  (6.88和2.52)值, 以及较低的Sm/Nd比值 (0.21和0.27), 说明其均属轻稀土富集型, 基本属大陆拉斑玄武岩, 物质来源为壳-幔混合型, 形成于岛弧至弧后盆地环境<sup>[4]</sup>。

(2) 白银厂地区的角斑岩和角斑质凝灰岩的REE型式与该区细碧岩类相似, 亦属轻稀土富集型和分馏不好的类型, 也与大陆拉斑玄武岩相似, 但其具有较低的Eu值和负Eu异常,

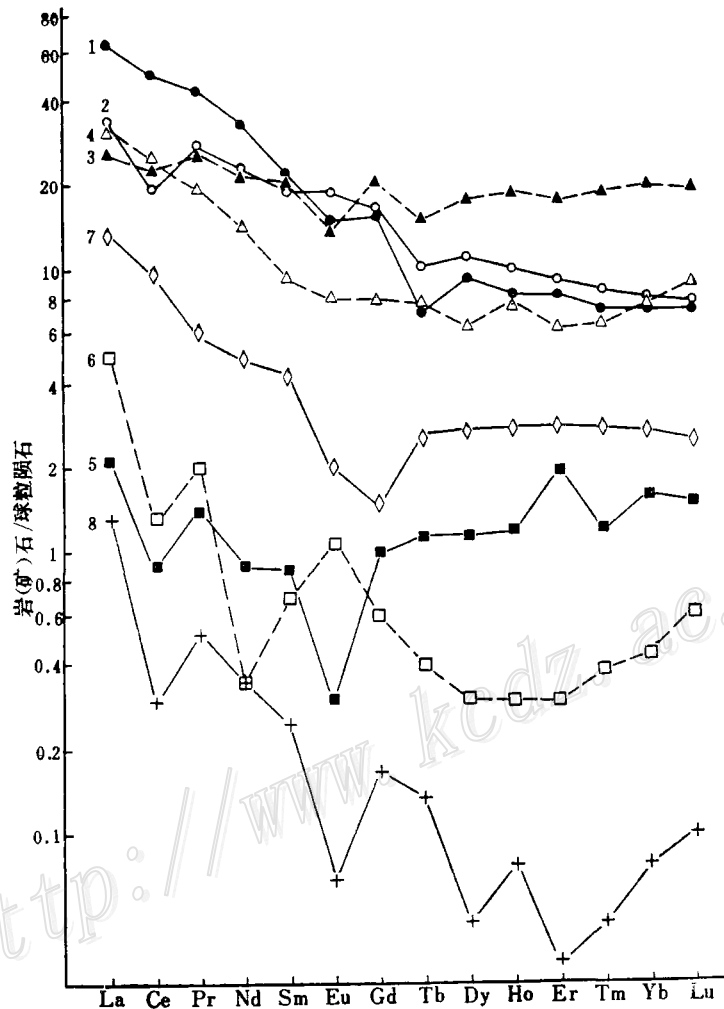


图1 白银厂铜矿田岩石、矿石的球粒陨石标准化REE分布型式

1—富钾细碧岩; 2—细碧岩; 3—角斑岩; 4—石英角斑质凝灰岩; 5—折腰山块状含铜黄铁矿石; 6—小铁山块状黄铁矿石; 7—折腰山块状黄铜矿石; 8—小铁山块状Zn-Pb-Cu矿石

Fig.1. Chondrite-normalized REE patterns of rock and ores from the Baiyinchang copper orefield.

1—K-rich spilite; 2—Spilite; 3—Keratophyre; 4—Quartz keratophytic tuff; 5—Massive cupreous pyrite ore from Zheyaooshan; 6—Massive pyrite ore from Xiaotieshan; 7—Massive chalcopyrite ore from Zheyaooshan; 8—Massive Zn-Pb-Cu ore from Xiaotieshan.

这可能是因为在热液蚀变过程中斜长石斑晶的Eu发生部分迁移而造成的;

(3) 白银厂地区细碧岩具有较高的Eu含量 ( $1.62 \times 10^{-6}$ ) 和Eu/Eu\*值 (1.06), 可能系其中斜(钠)长石较多, 因而富集了一部分Eu的缘故;

(4) 白银厂地区各类矿石的REE分布型式与该区细碧-角斑岩类基本相似, 反映了成岩与成矿来源的一致性, 但各类矿石和不同矿床之间又有一些差异, 即: a. 小铁山块状黄铁矿石和块状Zn-Pb-Cu矿石的REE型式相对来说更相似一些, 而有别于折腰山的两类块状矿石, 但小铁山块状黄铁矿石具明显的正铈异常 (Eu/Eu\* = 1.76), 而其块状Zn-Pb-Cu矿石却显负铈异常 (Eu/Eu\* = 0.33); b. 折腰山的两类矿石的REE型式亦有差别, 即块状含铜黄铁矿石具有较低的 (Ce/Yb)<sub>N</sub>值 (0.55) 和 $\Sigma Ce/\Sigma Y$ 值 (0.55), 说明重稀土元素相对富集, 相比之下形成较晚的块状黄铜矿石具有较高的 (Ce/Yb)<sub>N</sub>值 (3.72) 和 $\Sigma Ce/\Sigma Y$ 值 (2.15), 说明轻稀土元素相对富集, 这说明成矿流体在演化过程中轻重稀土元素发生过分馏。

### 3 结 论

将白银厂矿田与日本黑矿矿床及现代海底火山岩为主岩矿床进行对比, 不难得出以下初步结论:

(1) 白银厂矿田的块状Zn-Pb-Cu矿石和日本黑矿矿床的黑矿矿石颇为相似, 均具有很高的As、Au、Ag和Cd含量, 这一方面说明二者成因的相似性, 另一方面也说明在火山成因块状硫化物矿床形成过程中贵金属Au、Ag的淀积与Zn、Pb淀积密切相关, 而且像其它类型的金矿床一样, As是Au矿化的良好指示剂;

(2) 白银厂矿田矿石的金含量与闪锌矿中的FeS含量亦具明显的负相关关系, 这说明虽然Au与Zn关系亲近, 但是当闪锌矿形成时, 如果成矿体系富铁则对Au的淀积不利;

(3) 火山成因块状硫化物矿床黄铁矿中Co、Se含量和Co/Ni比值有随矿床年龄变年轻而降低之趋势;

(4) 白银厂矿田折腰山铜矿床下部黄铜矿与上部黄铜矿相比, 具有较高的Au、Ag、Cd、In含量, 这一方面预示着深部可能有Au的富集地段, 另一方面也说明下部的黄铜矿是在相对高温的条件下形成的;

(5) 白银厂矿田小铁山Zn-Pb-Cu-Au-Ag矿床闪锌矿在Fe、Cd、In含量和Zn/Cd比值等方面均与日本黑矿型Shakanai矿床闪锌矿非常相似, 这是小铁山矿床属黑矿型矿床的又一佐证, 相形之下白银厂矿田折腰山-火焰山矿床却与日本黑矿矿床差别较大。

此外, 白银厂矿田各类矿石的REE分布型式与矿田内细碧-角斑岩类岩石REE分布型式基本相似, 这反映它们的物质来源基本一致。在同一矿床内不同类型矿石REE分布型式的差别可能意味着成矿流体在演化过程中发生过稀土元素的分馏。

在野外工作期间曾得到白银有色金属工业公司矿山处、深部铜矿和小铁山矿的大力支持和帮助。微量元素和稀土元素分析由国家地质实验测试中心的分析化学家完成。第一作者在欧洲进行矿床考察和研修期间曾得到联邦德国洪堡基金会的资助; 国内课题由地质矿产部和甘肃省地质矿产局联合资助。插图由傅子洁高级工程师清绘。对以上单位和个人, 谨在此一



并表示深切的谢意。

### 参 考 文 献

- 1 蒋心明、丛桂新. 白银地区细碧-石英角斑岩系成因. 长春地质学院学报, 1989, 19(2): 157~164
- 2 何双梅等. 辽宁红透山铜矿床中金银赋存状态研究. 矿产地质动态, 1988, 7: 5~7
- 3 李嘉增. 青海红沟铜矿床成因探讨及其在北祁连山地区的找矿意义. 中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊, 1986, 12: 48~55
- 4 傅德明、徐明基. 四川呷村超大型含金富银多金属矿床特征及其与日本黑矿的类比. 四川地质学报, 1989, 9(2): 24~31
- 5 Song X. Geochemical characteristics of volcanogenic massive sulfide deposits in China, In: Pagel M, Leroy J ed. Source, Transport and Deposition of Metals. Rotterdam; A. A. Balkeme, 1991. 367~370
- 6 Shimazaki Y. Ore minerals of the kuroko-type deposits. In: Ishihara ed. Geology of Kuroko deposits. Tokyo: The Society of Mining Geologists of Japan, 1974. 311~322
- 7 Hannington M D, Herzig P M, Scott S D. Auriferous hydrothermal precipitates on the modern seafloor. In: Foster R P ed. Gold metallogeny and exploration, 1990. 249~282
- 8 Hannington M D, Scott S D. Sulfidation equilibria as guides to gold mineralization in volcanogenic massive sulfides: evidence from sulfide mineralogy and the composition of sphalerite. Econ. Geol., 1989, 1978~1995
- 9 Sato T. An estimation for physico-chemical environments of formation of the Kuroko deposits based on their mineral parageneses. Koshogaku-noto, 1969, 7: 1~6
- 10 Hashimoto K. The Kuroko deposits of Japan: geology and exploration strategies. In: XII Convencion National AIMMGM. Acapulco; Asociacion de Ingenieros de Minas Metalurgistas Y Geologos de Mexico 1977
- 11 Thurlow J G, Swanson E A, Strong D F. Geology and lithogeo-chemistry of the Buchans polymetallic sulfide deposits, Newfoundland. Econ. Geol., 1975, 70(1): 130~144
- 12 Johnson A E. Mineralogy and textural relationship in the Lake Dufault ores, Northwest Quebec. Unpub. M. Sc. thesis, Univ. Western Ontario, 1966
- 13 McConachy T F. Hydrothermal plumes and deposits over spreading ridges in the northeast Pacific Ocean; The East Pacific Rise near 11°N and 21°N, Explorer Ridge, and the J. Tuzo Wilson Seamounts, Unpub. Ph. D. thesis, Univ. of Toronto, 1988
- 14 Hekinian, R. et al., Sulfide deposits from the East Pacific Rise near 21°N. Science, 1980, 207: 1433~1444
- 15 Nishiyama T. Minor elements in some sulfide minerals from the Kuroko deposits of the Shakanai Mine. In: Ishihara S(ed.) Geology of Kuroko Deposits. Tokyo; The Society of Mining Geologists of Japan, 1974, 371~376

## GEOCHEMISTRY OF MINOR ELEMENTS AND RARE EARTH ELEMENTS OF THE BAIYINCHANG GU-POLYMETALLIC ORE FIELD, GANSU PROVINCE

Song Xüexin, Zhang Jingkai, Xu Qingsheng and Cao Yawen

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

### Abstract

In comparison with ores from Kuroko deposits in Japan and modern sea-floor volcanic-hosted deposits in the world, various ores from the Baiyinchang orefield, especially the massive Zn-Pb-Cu ore, have the highest As and Bi contents, and relatively high Ga, Cd, and Au contents as well as Co/Ni and Au/Ag ratios. Au contents of ores from the field are negatively correlated with Fe contents of sphalerite from the ores. Sphalerite from the Xiaotieshan deposit of the field is similar to that from Kuroko deposits in Japan in minor elements.

REE patterns of ores from the Baiyinchang ore field is comparable to those of spilite-keratophyre rocks from the field, suggesting that the source of the ores in the field is roughly consistent with that of the rocks.

Investigation and comparison indicate that Co and Se contents and Co/Ni ratios of pyrite in volcanogenic massive sulfide deposits tend to decrease with the decrease of their ages.

### 书刊简介

## 新书简介《中国铜矿找矿新进展》

由中国有色金属工业总公司矿产地质信息网编辑出版的《中国铜矿找矿新进展》一书即将与读者见面。该书反映了近年来我国铜矿找矿工作中所取得的新进展、新成果以及在铜矿勘查中所取得的新经验。全书约60万字，分为综述、铜矿床实例介绍及大型铜矿找矿判别评价标志三部分。在综述中，结合近年来我国新发现的典型矿床实例，从地质理论、研究方法和手段上介绍了铜矿地质找矿的经验，找矿的新技术、新方法和成矿预测方面的新进展；在矿床实例部分，共收录了近年来我国新发现和取得新进展的34个铜矿床实例，列举了这些铜矿床的最新资料和研究成果；在大型铜矿找矿判别评价标志部分，针对7种重要的铜矿类型，结合国内外典型铜矿床的实际，指出了寻找大型铜矿床的各种判别评价标志，以供铜矿找矿工作者借鉴和参考。需要订阅者可来函与《有色金属矿产与勘查》编辑部联系（地址：北京安外大羊坊《有色金属矿产与勘查》编辑部，邮编：100012）。