

北祁连块状硫化物矿床中矿石和主要 矿石矿物地球化学特征

黄玉春 郭介人 于浦生

(地矿部西安地质矿产研究所, 西安)

摘要: 对北祁连山白银矿田和郭密寺矿田中主要矿床的矿石和矿石矿物组分特征研究表明, 由于各矿田的成矿条件和地球化学背景存在差异, 造成不同矿床的矿石和矿石矿物元素组合各具特色。但作为同一类型矿床, 它们之间又有很多共性, 特别是同一矿田内各矿床的地球化学特征具有相似性和过渡性, 反映了成矿条件变化的趋势。

关键词: 块状硫化物矿床 白银矿田 郭密寺矿田 矿石 矿石矿物

北祁连造山带海相火山岩中的块状硫化物矿床(点)很多。在形成时代上以古生代, 特别是早古生代为主, 赋矿岩系以细碧角斑岩系为主, 在类型上以白银厂式为主。本文以北祁连地区具有代表意义的白银矿田和郭密寺矿田的矿床为例, 讨论对比矿石化学成分和主要硫化矿物的化学成分。

1 矿床概况

1.1 白银矿田

白银矿田位于北祁连东段, 已有块状硫化物矿床5处, 以折腰山、火焰山和小铁山矿床为主。矿床形成于酸性火山喷发末期, 含矿层位是石英角斑凝灰岩顶部和石英角斑凝灰岩与沉积岩或基性火山岩过渡部位。白银矿田各矿床中, 除主金属元素Cu、Pb、Zn外, 还有20余种元素可回收利用, 如Au、Ag、Se、Cd、Bi、Hg、Te、In、Ga、Ge、Ti、Co、As、Sb、Sn、Nb、Ta、Pd、Pt和U等。折腰山、火焰山矿床为Cu-Zn型矿床, 而小铁山矿床为Zn、Pb、Cu为主的多金属矿床, 金银品位较高^[1,2]。

1.2 郭密寺矿田

郭密寺矿田位于北祁连造山带中段祁连县, 已知块状硫化物矿床有香子沟、郭密寺、下柳沟、下沟等。矿床在空间上与火山碎屑岩关系密切, 沿区域构造线成带状分布。含矿层位为早期喷发的酸性火山岩顶部, 含矿围岩以石英角斑凝灰岩为主。郭密寺矿田内各矿床的伴生金属元素也很丰富, 除Cu、Pb、Zn外, 还有Au、Ag、Ga、Cd、Se、As、Sb、Bi和Hg等。其中香子沟矿床为含铜黄铁矿矿床, 郭密寺、下柳沟和下沟矿床为Zn-Pb-Cu型多金属

黄玉春, 男, 生于1965年1月, 1988年获硕士学位, 从事火山岩和矿床研究工作。邮政编码: 710054
1992-11-24收稿, 1993-5-20修改回

矿床^[3]。

2 矿石化学成分及其相关性

2.1 白银矿田

折腰山、火焰山和小铁山矿床的矿石及矿化围岩的化学成分见表1, 主要金属元素Cu、

表1 白银矿田主要矿床的矿石化学成分

Table 1. Chemical composition of ores from major depositss in the Baiyin orefield

矿床	矿石类型	序号	10 ⁻²			10 ⁻⁶						10 ⁻²
			Cu	Pb	Zn	Au	Ag	As	Sb	Bi	Hg	S
折腰山	网脉状矿石	1	2.99	0.03	0.19	0.10	6.25	34.31	3.47	2.26	0.12	4.83
	网脉状矿石	2	6.27	0.01	0.04	0.10	9.25	71.42	6.72	0.76	0.20	8.64
	脉状矿石	3	3.35	0.00	0.08	0.10	4.50	25.06	2.69	2.05	0.06	4.05
	网脉状矿石	4	7.34	0.00	0.24	0.15	11.50	252.32	18.80	11.62	0.20	23.87
	块状矿石	5	7.91	0.00	0.08	0.20	7.90	273.70	7.90	51.18	0.36	42.80
	网脉状矿石	6	2.76	0.00	0.04	0.10	3.50	30.87	6.02	1.66	0.06	3.81
	脉状、浸染状矿石	7	0.80	0.00	0.04	0.10	2.00	34.71	5.43	5.73	0.12	2.84
	块状矿石	8	0.91	0.00	0.11	0.20	2.75	457.27	7.23	157.20	0.22	51.13
	浸染状铜矿石	9	2.34	0.01	0.04	0.10	5.12	148.27	24.31	9.20	0.18	7.75
	浸染状矿石	10	0.38	0.00	0.04	0.01	1.38	38.03	5.56	4.14	0.06	1.98
	浸染状矿石	11	0.03	0.01	0.05	0.10	1.25	1520.75	109.68	9.90	0.76	21.45
	含石英脉浸染状矿石	12	0.12	0.02	0.10	0.10	2.75	20.79	2.97	3.35	0.06	1.23
	石英钠长斑岩	13	0.05	0.01	0.08	0.10	1.62	39.60	8.36	3.50	0.42	2.03
火焰山	块状矿石	14	3.02	0.01	0.06	0.15	10.50	191.20	34.02	51.52	1.60	48.04
	块状矿石	15	2.50	0.02	0.07	0.13	18.00	964.82	16.34	152.87	2.66	51.30
	浸染条带状矿石	16	1.21	0.00	0.06	0.15	3.00	124.49	13.88	10.81	1.28	30.50
	条带状矿石	17	0.42	0.14	1.22	0.10	10.00	281.53	51.93	41.23	7.66	35.45
	条带状矿石	18	0.62	0.00	0.12	0.10	6.75	1200.18	134.08	63.34	6.57	44.66
	浸染状矿石	19	0.69	0.00	0.07	0.10	2.50	966.08	222.92	66.02	3.02	31.97
	条带状矿石	20	0.01	0.08	0.12	0.10	5.28	218.97	81.48	8.76	1.34	22.61
	石英角斑凝灰岩	21	0.01	0.01	0.06	0.10	3.10	86.82	19.92	2.58	0.52	3.44
小铁山	块状矿石	22	0.66	5.15	1.60	15.90	154.00	979.04	624.37	64.12	11.62	29.37
	块状矿石	23	1.42	0.88	0.09	13.82	120.50	2559.53	971.91	236.41	2.11	34.37
	块状矿石	24	1.04	2.84	14.28	4.26	95.38	2050.62	172.40	204.86	39.29	45.31
	条带状矿石	25	0.49	9.08	12.62	4.00	161.00	605.22	701.96	54.28	46.92	27.72
	块状矿石	26	1.50	2.08	17.36	4.35	126.88	1819.95	221.42	92.55	37.25	44.70
	条带状矿石	27	0.82	7.80	26.52	2.85	173.12	4065.31	262.52	240.22	51.73	39.30
	石英钠长斑岩	28	0.01	0.53	0.72	0.15	20.00	49.88	64.02	2.34	2.36	1.43
	含石英脉蚀变岩	29	0.05	0.40	0.91	0.20	9.38	208.91	52.91	10.35	3.24	1.88
	石英钠长斑岩	30	0.02	0.07	0.30	0.10	2.25	61.92	9.18	2.90	0.97	0.57
	黄铁矿化灰绿色蚀变岩	31	0.01	0.02	0.09	0.10	6.75	65.36	7.50	3.16	0.04	8.88
	灰绿色蚀变岩	32	0.01	0.04	0.24	0.10	1.25	41.85	24.28	0.26	0.76	0.32
	绿泥石蚀变岩	33	0.09	0.00	0.02	0.10	0.75	26.65	2.80	7.10	0.05	2.29

由甘肃地矿局第一地质队实验室分析

Pb、Zn 含量相对关系见图 1。可以看出, 折腰山、火焰山矿床矿石的元素组成类型有 Cu、Cu+Zn、Zn+Pb 型, 而小铁山矿床分布范围相对宽一些, 有 Cu+Zn、Cu+Pb、Zn+Pb+Cu、Zn+Pb 型。总体来看, 折腰山、火焰山两矿床以 Cu 为主, 多分布在 Cu 的端元附近, 有些样品点沿 Cu-Zn 线分布, 含 Pb 很低, 以 Cu+Zn 为主。小铁山矿床的样品分布在 Pb-Zn 线附近或中部, 个别点富铜, 主要为 Zn+Pb+Cu 型的多金属矿石。小铁山矿床的 Au、Ag 含量明显高于折腰山、火焰山矿床, 已达金银矿石工业品位。

从表 1 还可看出, 尽管矿化围岩中金属含量较低, 但其数值变化规律却与相应矿床的矿石相似。为了搞清样品和元素间的相互关系, 我们对表 1 数据作了对应分析, 然后将 R 型和 Q 型因子载荷值在因子平面上投影作图 (见图 2)。

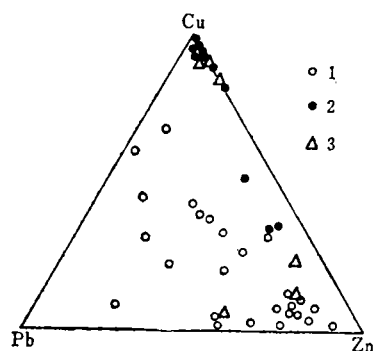


图 1 白银矿区各矿床矿石 Cu、Pb、Zn 三角图
1—小铁山矿床; 2—折腰山矿床; 3—火焰山矿床
Fig. 1. Cu-Pb-Zn triangular diagram of ores from various ore deposits in the Baiyin ore district.

1—Xiaotieshan deposit; 2—Zheyaoashan deposit;
3—Huoyanshan deposit.

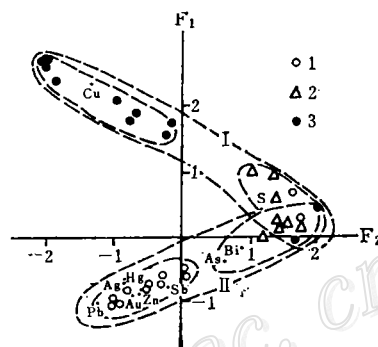


图 2 白银矿区矿石对应分析 F_1 - F_2 平面聚点图
1—小铁山矿床; 2—火焰山矿床; 3—折腰山矿床
Fig. 2. Plane cluster point diagram for F_1 - F_2 factor loads of correspondence analysis of ores from the Baiyin orefield.

1—Xiaotieshan deposit; 2—Huoyanshan deposit;
3—Zheyaoashan deposit.

在 F_1 - F_2 平面聚点图上, 可将矿石样品分为两个大群, 第一大群代表以 Cu 为主的富铜硫化物矿石, 第二大群代表富集 Pb、Zn、Au、Ag 的多金属硫化物矿石, 这两大群部分发生重合。折腰山矿床是第一大群的代表, 小铁山矿床则是第二大群的代表, 而火焰山矿床则是重合部分的代表。第二象限的一组样品全部是折腰山矿床的样品组合, 以富 Cu 为特征; 第三象限的一组样品全是小铁山样品的组合, 以富 Pb、Zn、Au、Ag 等多金属为特征; 而两大群重合部位的第三组则以火焰山矿床为主, 同时包括折腰山和小铁山矿床的少量样品组合而成, 以富 S、Bi、As 为代表, 既具有折腰山矿床的某些特点, 亦具有小铁山矿床的某些特点。显示了白银矿田中同一矿床系列中的各端元矿床间具有一定的联系和过渡性。

以上分析表明, 折腰山矿床以块状含铜黄铁矿矿石为主, 微量元素含量相对较低; 火焰山矿床以铜矿为主, 也有一些多金属矿石, 微量元素以 Bi、As 为主; 小铁山矿床则以 Zn、Pb、Cu 多金属矿石为主, 同时伴有 Au、Ag、Hg、Sb。Bi、As 可作为火焰山矿床的指示元素, Hg、Sb 可作为小铁山矿床的指示元素。

2.2 郭密寺矿田

香子沟、郭密寺、下柳沟和下沟矿床的矿石成分见表 2, 矿石中 Cu、Pb、Zn 关系见图 3。

表 2 郭密寺矿田主要矿床矿石化学成分
Table 2. Chemical composition of ores from major deposits
in the Guomisi orefield

序号	矿床	矿石类型	10 ⁻²			10 ⁻⁶						10 ⁻²
			Cu	Pb	Zn	Au	Ag	As	Sb	Bi	Hg	S
1	香子沟	脉状黄铁矿石	0.03	0.02	0.02	0.10	2.00	61.80	8.12	5.86	0.19	29.96
2		浸染状黄铁矿石	0.01	0.03	0.01	0.10	1.60	50.35	15.67	5.12	12.00	25.18
3	郭密寺	块状矿石	3.08	11.43	19.81	2.30	217.25	1245.34	23465.98	8.29	17.60	14.60
4		块状矿石	4.88	12.94	12.19	0.68	210.00	2709.21	4643.86	3.56	12.27	11.04
5		块状含铜黄铁矿石	0.26	0.54	0.35	0.10	15.00	281.00	431.36	1364.38	1.32	37.70
6		浸染状黄铁矿石	0.06	0.14	0.07	0.10	5.50	57.97	55.52	64.42	0.81	13.40
7		块状矿石	3.97	17.92	27.00	0.22	183.75	1131.58	1865.63	6.52	11.13	20.63
8		块状矿石	3.64	16.08	27.32	0.68	237.12	5418.42	8721.56	4.91	16.00	24.98
9		条带状矿石	4.12	11.09	21.34	2.15	238.00	3831.81	30087.36	16.47	13.70	15.66
10		块状矿石	0.70	32.39	34.72	0.25	133.88	1317.18	3653.08	8.62	14.12	27.24
11		块状黄铁矿石	1.10	1.21	0.95	0.10	50.75	781.33	757.58	705.76	0.78	48.70
12		块状矿石	1.65	13.42	1.94	0.25	35.00	627.16	275.82	38.28	3.06	29.97
13	下柳沟	块状矿石	2.86	16.59	7.14	1.10	126.00	14309.41	2170.28	35.29	18.63	19.11
14		块状矿石	2.77	0.70	0.68	2.20	178.50	5238.80	12563.36	329.31	24.68	32.20
15	下沟	块状黄铁矿石	1.22	5.34	4.57	5.48	80.50	528.37	347.78	172.80	3.56	32.54
16		块状矿石	2.39	3.29	1.95	1.30	36.75	1338.14	582.34	84.89	1.81	33.72
17		浸染状矿石	0.19	0.24	0.47	0.10	10.00	143.32	104.44	72.70	1.21	12.24
18		块状黄铁矿石	0.68	6.40	5.70	0.68	86.19	904.07	1307.56	158.41	2.41	29.73
19		块状矿石	2.24	1.68	1.22	5.62	43.25	718.46	1496.28	76.52	2.54	24.60
20		块状黄铁矿石	1.22	0.17	0.30	3.00	9.00	640.63	227.41	111.62	0.82	27.84
21		块状矿石	4.79	1.48	2.14	1.70	22.38	908.56	245.70	103.89	2.89	28.57

由甘肃地矿局第一地质队实验室分析

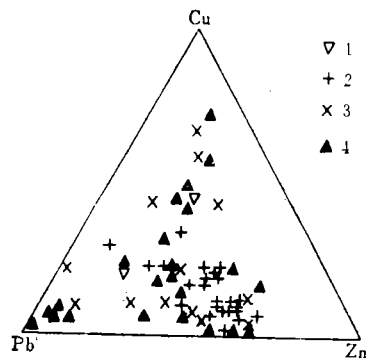


图 3 郭密寺矿田各矿床矿石Cu-Pb-Zn三角图

1—香子沟矿床；2—郭密寺矿床；3—下柳沟矿床；
4—下沟矿床

Fig. 3. Cu-Pb-Zn triangular diagram of ores from various ore deposits in the Guomisi orefield.

1—Xiangzigou deposit; 2—Guomisi deposit;
3—Xialigou deposit; 4—Xiagou deposit.

香子沟矿床主要是黄铁矿矿石, Cu、Pb、Zn含量均较少, 局部富集 Cu, Cu 品位最高达 5.4×10^{-2} , 一般为 $(0.38 \sim 2.18) \times 10^{-2}$, Pb+Zn 一般 $< 0.1 \times 10^{-2}$, 垂向上 Cu 与黄铁矿成正比。

郭密寺矿床的矿石在三角图中比较集中, 分布在 Pb+Zn 附近, 与日本黑矿的黑矿类型一致, 矿石中金属含量较高, Cu 最高达 8.35×10^{-2} , Pb 最高达 22.39×10^{-2} , Zn 最高达 34.72×10^{-2} 。此外, Ag、Bi、As、Sb 含量亦很高, 可综合利用, 局部 Au 含量已达工业品位。

下柳沟矿床的矿石在图 3 中明显在 Pb+Zn 一侧集中, 仅个别样品散布于富 Cu 方向, 属黑矿+黄矿类型。矿石中 Cu 最高含量为 5.2×10^{-2} , Pb 最高为 16.59×10^{-2} , Zn 最高为 7.14×10^{-2} 。主元素富集程度较郭密寺矿床差一些。此外, Ag、As、Sb 含量较高, Au 在局部富集。

下沟矿床的矿石在图 3 中分布较零散, 从金属含量上看, 有富 Pb 矿石、富 Cu 矿石和 Pb+Zn 矿石。其中 Cu 最高达 4.79×10^{-2} , Pb 最高为 6.4×10^{-2} , Zn 最高为 5.7×10^{-2} 。伴生有益组分较多, 特别是 Au、Ag、As、Sb 和 Bi 较高。

为了解以上各矿床中矿石元素组合及相互关系, 对表 2 进行了对应分析, R 型和 Q 型因子载荷在 F_1 - F_2 平面上的投影见图 4。图 4 中样品聚合为两大类: 第一大类是以富金为特征的多金属矿石, 以下沟为代表; 第二大类是以富 Bi 为特征的多金属矿石。这两个大类有重合, 表明这二类矿石在成因上是相连的。第二大类又可细分为 3 组, 第三象限的第 2 组是典型的 Zn、Pb、Cu、Ag、As、Sb 多金属矿石, 第四象限的第 4 组以 Bi 元素的富集为特征。零点附近的第 3 组则是过渡类型。第 2、3 组作为两大类重合部位的样品, 代表了本区矿石的基本类型, 是主成矿期形成的, 第 1、4 组矿石只是后期叠加的成矿作用在不同部位的体现。

以上说明北祁连郭密寺矿田中的几个矿床也是既相联又有差异的矿床(系列)组合, 它们虽然都是多金属块状硫化物矿床, 在相同或相似的成矿背景和成矿作用下形成, 但由于成矿条件及矿床产出部位的某些差异, 使它们在主元素比例及微量元素组合上有所不同, 成为同一矿床系列中的亚型矿床。

3 矿石矿物化学成分及意义

因白银矿田和郭密寺矿田中矿床的产出时代和层位相当, 矿床特征相似, 在此将这两个

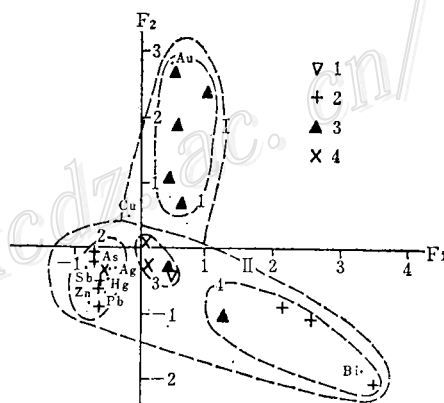


图 4 郭密寺矿区矿石对应分析 F_1 - F_2 平面聚点图
1—香子沟矿床; 2—郭密寺矿床; 3—下沟矿床; 4—下柳沟矿床

Fig. 4. Plane cluster point diagram for F_1 - F_2 factor loads of correspondence analysis of ores from the Guomisi orefield.

1—Xiangzigou deposit; 2—Guomisi deposit;
3—Yiagou deposit; 4—Xialigou deposit.

表 3 闪 锌 矿

Table 3, Chemical

序 号	元 素 矿 床	10 ⁻²									
		Fe	S	Cu	Pb	Zn	Ag	As	Cd	Sb	Mn
1	小铁山	1.17	31.88	0.042	2.59	60.86	61.6	11.5	3272.0	540.1	42.3
2		4.39	33.72	0.99	3.13	56.81	62.3	10.5	3279.0	464.4	31.5
3		3.66	33.5	0.16	1.49	58.93	41.4	52.9	5926.0	457.2	301.0
4		5.83	29.95	0.27	11.57	51.70	210.9	47.4	2981.0	596.0	14.5
5	火焰山	2.88	32.2	0.8	1.66	60.89	60.6	15.2	3251.0	1192.0	21.4
6	郭密寺	0.98	31.14	0.59	3.65	59.4	48.7	688.2	2249.0	981.5	187.9
7		1.98	29.1	9.65	5.37	48.76	85.8	5205.0	1511.0	2339.0	290.8
8		1.12	31.55	2.6	2.66	56.98	128.7	1826.0	2211.0	2452.0	167.0

由地科院测试所分析

表 4 黄 铜 矿

Table 4, Chemical

元 素 矿 床	10 ⁻²								
	Fe	S	Cu	Pb	Zn	Ag	Cd	Mn	Co
小铁山	29.08	36.02	29.45	0.37	0.63	47.7	67.3	195.7	10.1
	36.87	42.48	19.16	0.33	0.26	48.1	27.6	126.2	62.2
	35.01	40.43	22.71	0.80	0.46	52.3	47.3	77.5	50.1
	29.00	34.73	30.12	1.88	1.67	88.8	124.3	184.7	13.4
	29.96	37.06	28.09	0.15	4.57	54.1	660.8	130.7	23.7
折腰山	30.02	35.43	32.70	0.04	1.27	20.3	56.9	114.4	37.9
郭密寺	24.54	31.99	30.04	9.74	3.58	48.7	139.7	48.0	8.1
	28.50	33.58	30.68	3.30	1.32	63.6	56.1	78.6	8.7
铜厂沟	30.34	37.06	30.52	1.67	0.21	80.1	16.7	154.6	20.2

由地科院测试所分析

矿田中主要矿石矿物的单矿物分析结果放在一起对比研究。

3.1 闪锌矿

闪锌矿的化学分析(见表3)表明,小铁山和火焰山矿床中闪锌矿的铁含量较高,为 $(1.17\sim 5.83)\times 10^{-2}$,而郭密寺矿床的闪锌矿铜含量高,为 $(0.59\sim 9.65)\times 10^{-2}$,In、Se、Bi、V、Ba和Cd在小铁山矿床较富,As、Sb在郭密寺矿床较富。

在Zn/Cd对lg(Zn/Cu)图中(见图5),闪锌矿明显分为两组,小铁山和火焰山矿床以贫铜富Cd为特征,郭密寺矿床则相反。在闪锌矿晶格中,Fe、Mn、Cd、In、Ga和Ge等常

化 学 成 分
composition of sphalerite

10 ⁻⁶												
Co	Ni	Au	In	Mo	Sc	Bi	Sn	Cr	Ti	V	Ba	Hg
18.9	14.3	2.0	140.5	3.6	1.4	17.1	78.6	75.9	20.1	8.1	2023.0	193.83
33.4	18.0	2.0	54.0	1.4	3.0	17.4	76.2	92.4	163.6	21.1	848.9	193.83
30.0	18.6	2.3	38.3	3.6	3.2	35.7	180.8	91.8	30.4	18.6	924.8	186.94
14.4	13.8	10.9	35.7	1.9	21.2	48.1	67.0	53.8	40.8	11.2	5.5	183.19
16.9	16.0	2.9	19.6	13.0	4.4	13.8	80.9	56.7	15.8	13.7	137.2	169.76
13.9	13.2	2.6	2.0	95.1	1.0	1.7	60.7	19.9	64.2	6.7	208.8	32.6
13.7	14.9	4.0	2.0	0.8	1.9	1.6	60.7	29.5	22.2	7.5	60.5	58.6
14.2	14.7	3.3	2.0	105.1	1.9	1.8	56.1	27.5	17.5	6.3	72.0	56.4

化 学 成 分
composition of chalcopyrite

10 ⁻⁶									S/Se
Ni	Au	In	Mo	Bi	Sn	Ti	Hg	Se	
5.0	2.9	132.2	6.5	754.1	79.0	22.5	20.42	63.6	5664
4.6	2.0	25.1	4.3	139.8	43.3	3.0	12.3	96.3	4538
10.7	7.2	32.5	9.5	488.4	58.4	1.6	12.7	106.2	3807
16.1	5.3	25.1	3.1	39.2	59.2	35.6	18.43	31.9	10887
26.2	2.1	8.0	3.0	37.5	42.8	547.5	11.52	32.2	11509
11.1	1.9	28.5	0.8	12.5	104.5	27.3	1.13	140.0	2531
4.0	4.3	2.0	17.2	4.4	54.9	1.5	3.25	1.0	319900
4.2	2.4	2.0	23.4	37.6	48.8	8.4	1.08	2.6	129154
12.7	2.1	19.7	2.6	8.8	73.3	611.9	0.63	53.3	6953

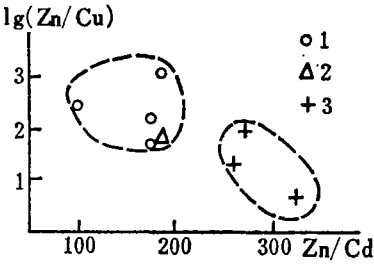


图 5 闪锌矿 lg(Zn/Cu)对Zn/Cd图
1—小铁山矿床；2—火焰山矿床；3—郭密寺矿床
Fig. 5. lg(Zn/Cu) versus Zn/Cd diagram of sphalerite.
1—Xiaotieshan deposit; 2—Huoyanshan deposit; 3—Guomisi deposit.

呈类质同象混入物进入晶格中,而Cu、Sn、Sb等易呈机械混入物进入晶体。因矿物在较高温形成时才易形成类质同象,所以推测白银矿田的闪锌矿形成温度较郭密寺矿田高。

据陈光远等^[4],In、Fe含量与温度成正比,而Ge、Ga、Ti含量与温度成反比,亦可得出白银矿田闪锌矿形成温度高于郭密寺矿田的结论。

从Hg含量来看,小铁山和火焰山矿床明显偏高,这可能与白银地区的高背景值有关。在白银矿田内,成矿温度相对较低的小铁山矿床含Hg较高,符合Hg的分布规律。郭密寺矿田内Hg含量偏低。

闪锌矿成分的对对应分析结果表明,在 F_1 - F_2 平面聚点图上可将闪锌矿分成两个自然群体(见图6)。一类为较低温形成的,以郭密寺矿床为代表,含Cu、Mn及Sb、As,杂质较少。另一类为较高温形成的,以白银矿田的样品为代表,含杂质元素较多,如Co、Ni、Ti、In、Ba、Sn和Cr等。 F_2 因子轴所代表的金矿化对闪锌矿影响甚小,说明这两个矿田内闪锌矿都不是主要载金矿物。

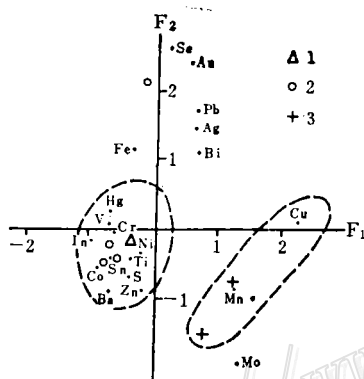


图6 闪锌矿对应分析 F_1 - F_2 平面聚点图
1—火焰山矿床; 2—小铁山矿床; 3—郭密寺矿床
Fig. 6. Plane cluster point diagram for
 F_1 - F_2 factor loads of correspondence
analysis of sphalerite.
1—Huoyanshan deposit; 2—Xiaotieshan
deposit; 3—Guomisi deposit.

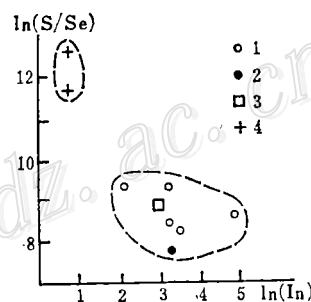


图7 黄铜矿 $\ln(S/Se)$ 对 $\ln(In)$
1—小铁山矿床; 2—折腰山矿床; 3—铜厂沟矿床;
4—郭密寺矿床
Fig. 7. $\ln(S/Se)$ versus $\ln(In)$ diagram of
chalcopyrite,
1—Xiaotieshan deposit; 2—Zheyaoshan deposit;
3—Tongchanggou deposit; 4—Guomisi deposit.

3.2 黄铜矿

黄铜矿化学成分分析结果见表4。郭密寺矿田相对富Pb、贫S,而白银矿田则稍富Mn,这与区域背景有关。

郭密寺矿田黄铜矿贫In、Se, In含量只有 2×10^{-6} , S/Se为 $n \times 10^6$,而白银矿田的黄铜矿中 $In > 10 \times 10^{-6}$, S/Se为 $n \times 10^4 \sim n \times 10^5$ 。在 $\ln(In)$ 对 $\ln(S/Se)$ 图上(见图7),黄铜矿分为两组,郭密寺矿床为一组,白银矿田的折腰山、小铁山和铜厂沟矿床为一组。因为Se在较高温度下易于呈类质同象代替S,因此S/Se可作为判别矿物形成温度的参数,结合In值,显示出郭密寺矿田黄铜矿形成温度较白银矿田低,与闪锌矿研究结果一致。

小铁山矿床的黄铜矿还具有富Bi、Hg、Au和Ag的特点,Bi与Au呈正相关,即含Bi的黄铜矿与Au关系更密切。Hg含量高于矿田内其它矿床,亦表明其形成温度低于矿田内其它

矿床。

3.3 方铅矿

单矿物化学成分见表5，其特点是S含量较理论值高而Pb偏低。

表5 方铅矿化学成分
Table 5. Chemical composition of galena

序号	矿床	10 ⁻²					10 ⁻⁶			
		Fe	S	Cu	Pb	Zn	Ag	As	Cd	Sb
1	小铁山	1.07	13.75	0.46	83.47	1.28	22.0	104.4	76.0	18.2
2		0.22	14.00	0.04	84.35	1.44	106.4	13.2	81.3	5.0
3		0.76	17.70	0.11	82.44	1.85	11.3	522.3	133.3	110.0
4		0.75	13.72	0.03	85.23	0.91	15.9	9.0	47.9	164.4
5		0.18	13.36	0.17	85.6	0.57	32.7	9.5	27.6	1.0
6	郭密寺	0.07	13.48	0.02	86.12	0.85	17.6	522.4	24.1	8.4
7		1.23	15.42	0.12	79.93	3.07	48.7	748.4	118.2	1370.0
8		0.72	14.10	0.02	85.52	0.02	286.3	206.6	16.7	430.8
9		0.20	12.67	0.13	84.29	3.19	125.8	754.0	327.4	729.7
10		0.90	13.36	0.07	85.25	0.53	121.7	311.1	16.5	1.0
11	下沟	1.55	15.07	0.14	82.19	0.76	171.6	1263.0	56.2	289.1
12		1.15	14.44	0.08	82.49	1.11	158.3	595.6	76.1	163.9
序号	矿床	10 ⁻⁶								
		Mn	Au	Mo	Sc	Bi	Sn	Cr	Ba	Hg
1	小铁山	78.7	24.8	0.8	10.3	382.1	10.4	46.9	0.3	17.55
2		61.4	3.7	0.5	3.9	81.2	81.9	48.3	0.3	6.32
3		85.9	39.6	1.1	2.2	137.2	610.9	83.6	42.3	12.96
4		98.6	4.2	0.5	2.9	261.4	462.2	83.1	6.9	16.31
5		97.6	2.1	0.6	6.2	609.6	138.1	166.5	1.2	8.39
6	郭密寺	58.0	2.0	5.7	1.2	1.6	94.3	15.6	0.3	0.69
7		46.7	4.4	22.8	1.0	4.2	63.1	18.7	0.3	4.48
8		56.8	8.9	70.8	6.4	5426.0	92.2	20.0	0.3	0.21
9		60.0	15.7	8.9	1.6	2.0	44.8	15.2	0.3	3.05
10		63.4	2.0	8.5	1.0	293.2	29.3	30.8	0.3	0.63
11	下沟	40.6	57.4	4.8	77.0	1056.0	76.9	18.4	18.4	2.56
12		49.6	13.9	6.6	5.3	551.1	88.3	21.1	133.3	1.73

由地科院测试所分析

表 6 黄 铁 矿
Table 6. Chemical

序 号	矿 床	10 ⁻²									
		Fe	S	Cu	Pb	Zn	Ag	As	Cd	Sb	Mn
1	折 腰 山	45.46	52.09	0.38	0.14	0.10	28.6	908.2	6.7	38.5	225.6
2		45.64	53.46	0.34	0.15	0.02	18.7	279.6	1.9	34.5	166.1
3		44.50	51.42	0.16	1.22	1.32	32.4	754.1	87.8	64.4	271.2
4	火 焰 山	45.12	52.43	0.29	0.12	0.81	21.0	494.4	49.0	57.7	209.8
5		45.44	52.73	0.10	0.12	0.08	30.3	437.7	4.7	42.7	257.9
6		45.97	52.38	1.14	0.05	0.04	22.0	366.09	2.8	42.8	215.0
7	铜厂沟	46.15	52.93	0.22	0.23	0.04	71.0	451.2	7.0	42.5	194.1
8	银 硐 沟	44.44	51.06	0.28	0.07	1.15	32.6	740.6	62.0	55.1	199.6
9		42.18	49.26	0.40	0.09	2.42	19.0	696.5	138.9	45.2	228.1
10		45.37	52.29	1.19	0.05	0.09	61.0	314.5	8.2	22.3	79.4
11	下 沟	46.25	51.58	0.47	0.52	0.58	82.5	574.6	34.3	190.2	77.5
12		44.42	50.29	0.74	1.23	1.69	66.5	530.5	83.8	217.9	72.5
13	郭 密 寺	43.38	49.63	0.52	1.89	1.66	78.8	1917.0	47.7	1896.0	94.4
14		47.27	52.52	0.60	0.24	0.05	63.7	134.5	4.9	39.5	79.7
15		44.91	49.52	1.25	1.48	1.89	63.1	1807.0	109.4	4350.0	98.9
16		36.05	43.89	2.58	10.8	5.99	91.4	2322.0	164.0	2620.0	173.4
17	小 铁 山	43.86	50.73	0.23	0.75	1.86	97.0	557.0	120.3	133.9	170.3
18		41.83	49.08	0.59	0.64	5.59	100.1	393.8	244.0	41.21	159.5
19		44.24	51.28	0.54	0.68	0.07	104.7	1082.0	5.1	81.6	184.1
20		45.09	52.13	0.09	0.33	0.83	26.4	278.8	44.3	27.4	152.8
21		42.65	50.01	5.21	0.11	0.18	64.9	862.0	17.8	46.8	147.7
22		43.88	52.16	0.76	0.54	0.08	116.2	690.9	5.1	25.9	187.8
23		43.58	49.74	0.59	1.06	3.11	59.0	363.7	176.6	6.7	162.9
24		41.78	48.80	1.57	0.67	4.09	72.6	735.5	450.0	14.7	285.6
25		44.30	50.76	3.53	0.55	0.32	116.1	1536.0	36.8	192.3	179.0
26		39.94	48.56	0.26	1.85	8.42	58.8	225.8	389.2	166.9	157.0
27		45.29	52.60	0.32	0.35	0.37	76.1	294.9	110.3	32.3	164.3
28		44.98	51.71	0.44	1.31	0.61	42.2	948.8	50.6	486.6	199.6

由地科院测试所分析

化 学 成 分

composition of pyrite

 10^{-6}

Co	Ni	Au	In	Mo	Sc	Bi	Sn	Cr	Ti	V	Ba	Hg
410.8	19.60	2.10	3.0	4.1	239.2	77.6	10.0	97.0	3.0	4.9	3.0	0.16
374.4	21.6	1.8	3.0	13.6	179.7	38.6	10.0	48.2	3.0	3.0	3.0	0.05
46.3	304.0	2.3	3.0	5.6	42.9	7.5	68.2	48.3	326.0	3.0	897.7	1.57
42.9	20.0	2.2	3.0	23.8	26.4	13.1	23.1	75.6	3.0	3.0	1510.0	2.52
36.8	21.6	1.6	3.0	5.2	137.8	2.5	10.0	57.8	14.6	5.4	70.8	0.27
174.1	10.9	1.8	3.0	5.4	36.8	36.7	38.9	121.1	3.0	3.0	5.2	0.03
159.9	10.4	1.9	3.0	6.1	280.3	35.1	10.0	39.8	371.9	4.1	310.6	0.71
309.9	62.1	4.1	3.0	42.2	30.9	10.4	10.0	39.4	3.0	5.8	751.8	1.66
280.3	37.1	1.5	3.0	30.7	17.4	4.2	10.0	41.0	3.0	14.8	85.1	1.00
293.8	15.6	3.0	3.9	13.8	25.4	4.1	10.0	83.5	3.0	3.0	972.3	0.40
70.0	28.9	3.1	3.0	19.0	109.4	105.1	15.8	92.9	285.5	3.0	2286.0	0.62
62.2	14.1	3.6	7.8	37.6	19.3	48.6	25.9	83.2	59.1	3.0	43.5	1.40
32.8	62.4	5.2	3.0	45.3	28.1	18.9	10.1	216.7	123.9	3.0	480.4	3.79
11.6	8.0	3.0	3.0	111.1	11.6	62.8	10.0	84.5	24.5	3.0	90.1	0.24
11.2	108.7	4.8	3.0	66.7	2.1	1.3	10.0	186.5	3.0	3.0	81.6	5.05
8.1	8.5	3.0	3.0	44.6	4.2	94.9	10.0	180.4	8.2	3.0	58.6	4.96
10.4	31.8	3.0	3.1	7.1	4.8	13.5	22.8	18.0	17.0	3.0	949.81	14.96
85.4	10.1	3.0	6.94	17.2	131.9	59.8	13.3	26.8	13.6	3.9	6457.4	115.30
51.4	19.9	3.8	3.0	10.7	74.9	95.1	14.3	17.1	3.0	3.0	184.7	11.64
30.7	23.9	3.0	3.0	2.2	4.3	2.3	11.9	11.9	3.0	3.0	315	13.62
122.8	5.5	3.0	7.8	4.8	102.4	126.4	18.7	16.3	3.0	3.0	466.1	12.96
72.49	39.2	3.0	9.0	2.0	75.6	249.5	10.0	14.5	96.8	3.0	69.6	12.63
110.3	22.7	3.0	7.1	3.3	19.2	44.0	19.4	22.2	3.0	3.0	160.7	16.65
87.68	29.9	3.0	5.3	5.4	41.4	75.5	36.5	23.2	3.0	3.52	4979.8	18.01
148.4	9.5	5.5	6.3	9.4	136.5	296.2	14.1	12.1	3.0	3.0	351.5	11.97
15.7	25.3	3.6	3.0	1.6	6.7	7.4	10.0	48.2	62.7	3.0	154.6	26.22
109.8	38.6	1.7	3.0	4.8	41.2	26.9	10.0	30.3	141.5	3.0	63.4	0.86
21.9	41.5	3.5	3.0	7.9	23.7	39.3	26.5	49.8	39.4	3.0	3998.0	6.37

依对应分析结果的作 F_1 - F_2 因子平面聚点图中(见图8),方铅矿样品分为三组。第1组为小铁山矿床的样品,以富含Cr、Sn、Mn、Hg为特征,其中Sn易于与Pb类质同象替代,

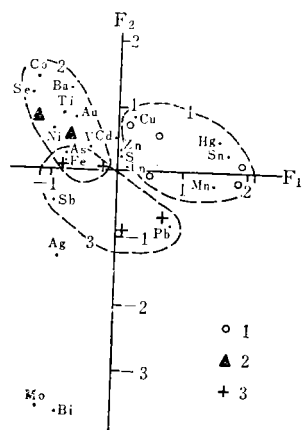


图8 方铅矿对应分析 F_1 - F_2 平面聚点图

1—小铁山矿床; 2—下沟矿床; 3—郭密寺矿床

Fig. 8. Plane cluster point diagram for F_1 - F_2 factor loads of correspondence analysis of galena.

1—Xiaotieshan deposit; 2—Xiagou deposit; 3—Guomisi deposit.

而Cr、Mn、Hg则与区域背景值高有关。第2组和第3组重合一部分而形成两组相关的样品,代表北祁连中段郭密寺矿床的特征。第2组由下沟及部分郭密寺矿床的样品组成富Au、Ti、Ni、As、V、Fe和Ba的方铅矿。第3组全部为郭密寺矿床的样品,以富含As、Fe、Sb和Pb为主。以上特征表明,各矿床的方铅矿都有各自的微量元素组合,同一矿田内的矿床间单矿物有一定联系。

3.4 黄铁矿

从表6中可看出,黄铁矿中微量元素含量丰富,有一定变化规律。

在黄铁矿中,Co、Ni是易于替代Fe的元素,一般含量为 $n \times 10^{-5} \sim n \times 10^{-4}$,个别为 $n \times 10^{-6}$,除郭密寺矿床的样品中 $Co < Ni$ 外,其余均为 $Co > Ni$ 。As和Se是易于类质同象替代S的元素,As的含量均大于Se且变化不大,多为 $n \times 10^{-4} \sim n \times 10^{-3}$,而Se含量变化较大,从 $n \times 10^{-6} \sim n \times 10^{-4}$ 。一般认为,Co/Ni值与形成温度成正比,而S/Se值与温度成反比。因此,

将各样品的S/Se和Co/Ni值投至同一平面上。可看出矿床形成温度的大致变化(见图9)。根据经验,沿图上箭头方向为温度的下降方向,可看出各矿床形成温度由高到低的顺序依次为折腰山、火焰山、铜厂沟、银洞沟、下沟、小铁山、郭密寺。其中小铁山的个别样品落在高、低温区,反映黄铁矿为不同期次形成的,这个结论与其它方法得出的结论基本吻合。

对应分析结果表明,在 F_1 - F_2 平面聚点图上,黄铁矿聚为三组(见图10)。第1组沿 F_1 轴分布,为较纯的黄铁矿,杂质元素主要是Mn、Ti、Co、V、Ni和Se,其中Mn、Ti、V、Co和Ni为第一过渡族亲铁元素,较易与铁呈类质同象进入黄铁矿晶格,而Se易与S呈类质同象,所以第1组矿物是在较高温下形成的,以折腰山、火焰山、铜厂沟和银洞沟矿床为代表。第2组受 F_1 和 F_2 共同影响,含杂质较多,主要有Cu、Cd、Ba、Bi、Ag、Sn、Hg和Zn,少量Au、Sn、In,主要是亲铜元素及少量亲氧元素。这些元素不形成类质同象进入晶格,而只能以机械混入物形式进入矿物晶格中。这些元素是成矿热液中常见的金属,可认为是温度稍低时,随着黄铁矿的形成而混入矿物晶体中的。主要代表矿床是小铁山及下沟的个别样品。第3组与前两组有较大差别,都在 F_1 - F_2 轴的负方向上,反映其形成背景与白银地区有一定差别,成矿条件有一定变化,以郭密寺矿床为代表。其主要杂质元素为Cr、Mo、Pb、As及少量Sb,属过渡元素或亲铜元素,多在较低温度出现。以上分析表明,从第1→第2→第3组,矿物形成温度逐渐下降,即东部白银矿田的形成温度稍高,西部郭密寺矿田的形成温度稍低,单矿物中的微量元素含量也是逐渐变化,受成矿温度和不同矿田的背景值所影响。从Hg的含量上看,以小铁山矿床含量最高,Hg的富集规律也与前面几个矿床一

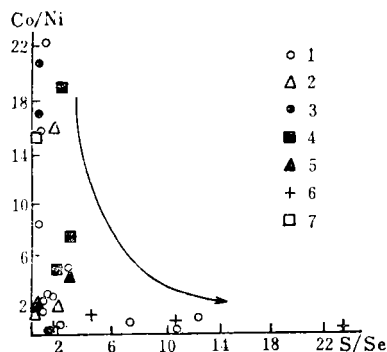
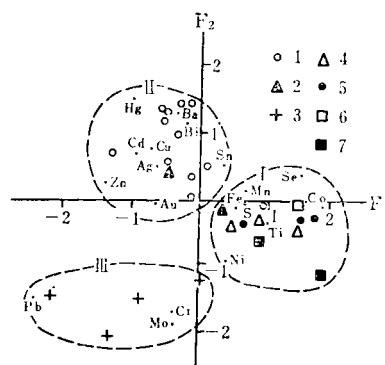


图9 黄铁矿Co/Ni-S/Se图

1—小铁山矿床; 2—火焰山矿床; 3—折腰山矿床; 4—银铜沟矿床; 5—下沟矿床; 6—郭密寺矿床; 7—铜厂沟矿床

Fig. 9. Co/Ni versus S/Se diagram of pyrite.

1—Xiaotieshan deposit; 2—Huoyanshan deposit; 3—Zheyaoshan deposit; 4—Yindonggou deposit; 5—Xiagou deposit; 6—Guomisi deposit; 7—Tongchanggou deposit.

图10 黄铁矿对应分析 F_1 - F_2 平面聚点图

1—小铁山矿床; 2—下沟矿床; 3—郭密寺矿床; 4—火焰山矿床; 5—折腰山矿床; 6—铜厂沟矿床; 7—银铜沟矿床

Fig. 10. Plane cluster point diagram for F_1 - F_2 factor loads of correspondence analysis of pyrite.

1—Xiaotieshan deposit; 2—Xiagou deposit; 3—Guomisi deposit; 4—Huoyanshan deposit; 5—Zheyaoshan deposit; 6—Tongchanggou deposit; 7—Yindonggou deposit.

致。

3.5 讨论

通过上述单矿物微量元素及其组合规律的讨论,我们可以得出以下认识:北祁连东部的白银矿田和中西部的郭密寺矿田各有自己一套矿床系(从高温→低温,元素组合从Cu(Zn)→Zn、Pb、Cu、(Au、Ag)多金属),矿田内微量元素在不同矿物中的分布都有相似性,各矿床既有联系又有区别。两个矿田间也是既有联系,又有区别,有过渡类型。白银矿田微量元素以Co、Ni、In、Sn、Ba、Hg、Bi、Mn为主,矿床系从高温→低温,微量元素也从Co、Ni等→Bi、Hg等,Cu(Zn)型矿床中微量元素含量较低,而Zn-Pb-Cu-(Au、Ag)矿床中微量元素含量高、种类多。郭密寺矿田以As、Sb、Ga、Ag、Mo、Cr含量较高,各矿床中微量元素含量特点与白银矿田相似。即从Cu(Zn)→Zn-Pb-Cu多金属矿床,微量元素组合少而呈高温型→微量元素组合多而呈低温型。总的来说郭密寺矿田的矿床形成温度较白银矿田偏低,更趋近于远侧型矿床,其中下沟矿床常具两个矿田的特征而呈过渡矿床的代表。

参考文献

- 1 郭介人,白银厂地区黄铁矿型铜-多金属矿床的地质特征及成矿条件分析,西北地质科学,1992,2:83~96
- 2 黄玉春,白银厂块状硫化物矿床成因及其研究进展,中国地质科学院西安地质矿产研究所刊,1991,(31):43~54
- 3 郭介人,任秉琛等,中国西北海相火山岩地区块状硫化物矿床地质特征兼论青海锡铁山铅锌矿床成因,中国地质科学院院报,1986,(15):73~95
- 4 陈光远等,成因矿物学与找矿矿物学,重庆:重庆出版社,1987.

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF ORES AND MAJOR ORE MINERALS FROM THE MASSIVE SULFIDE DEPOSITS IN NORTH QILIAN MOUNTAINS

Huang Yuchun, Wu Jieren and Yu Pusheng

*(Xian Institute of Geology and Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Xian,
Shaanxi province)*

Key words: massive sulfide deposit, the Baiyin orefield, the Guomisi orefield, ore, ore mineral

Abstract

Baiyin and Guomisi are important representative massive sulfide orefields in North Qilian mountains. A comparative study on chemical composition of ores and major sulfide minerals from the orefields can reveal the following characteristics.

In the Baiyin orefield, the Zheyaoshan ore deposit consists chiefly of copper ores, and is poor in minor elements; the Huoyanshan deposit is predominated by copper ores associated with some polymetallic ores, with minor elements being mainly bismuth and arsenic; the Xiaotieshan deposit is mainly composed of zinc-lead-copper polymetallic ores, associated with gold, silver, mercury, antimony etc. The deposits in the Guomisi orefield are chiefly made up of zinc-lead-copper polymetallic ores together with some copper-rich and lead-rich ores. Among them, the Xiagou deposit is rich in gold, whereas the Guomisi deposit is rich in bismuth. Although there exists some disparity of ore composition between the two orefields, chemical components of ores from different deposits show certain connection and transitional relationship within the same orefield.

Chemical components of sulfide minerals demonstrate that the Baiyin orefield is characteristically rich in cobalt, nickel, tin, barium, mercury, bismuth and manganese, while the Guomisi orefield is noted for the richness of arsenic, antimony, gallium, silver, molybdenum and chromium. This must have resulted from the difference in metallogenic conditions and geochemical background of the two orefields. The common features of the two orefields are that from the copper (zinc) type ore deposits to the zinc-lead-copper polymetallic deposits there exists an evolution trend from the high temperature element association to the low temperature element association.