



白银厂黄铁矿型矿床的 综合评价与综合利用

白银有色金属公司 周世德 刘柱凡

白银厂黄铁矿型矿床,是我国已知铜矿床的重要工业类型之一。矿床中除铜、硫、金、银具有工业价值外,还有铅、锌、硒、碲、镉、铟、铊、镓、铋、汞、砷等,也具有综合利用价值。

地质概况

矿床产于北祁连加里东地槽褶皱带中寒武统变质火山岩系中。区内火山岩发育,分异完全,从基性到酸性、从浅成到喷发乃至喷发沉积均可见到。矿床产于石英角斑岩中。矿床呈扁豆状、似层状、脉状等产出,常见膨胀、狭缩、分枝、复合、尖灭、再现等现象。矿体走向280~300°,倾向南西,倾角50~80°。矿石成分复杂,主要有黄铁矿、黄铜矿,其次是闪锌矿、方铅矿及少量

磁铁矿、磁黄铁矿、毒砂、黝铜矿、砷黝铜矿、方黄铜矿、黄锡矿、硫锑铅矿、自然金、自然银、银金矿、辉铋矿、辰砂等。主要有用组分是铜、铁、硫、铅、锌,伴生组分有金、银、硒、碲、镉、铟、铊、镓、铋、汞、砷、钴、锑和少量放射性元素。矿石结构构造复杂,主要有块状、浸染状、条带状、角砾状构造,主要结构有交代结构、变质结构等。脉石矿物有石英、绢云母、绿泥石、方解石。矿床具明显垂直分带和水平分带。一般认为矿床是火山喷发沉积—变质—热液叠加复合成因。

对有益组分的认识过程

1. 地质勘探阶段 对矿体和近矿围岩进行了

矿石全分析平均数结果(%)

表1

矿床	矿石种类	Cu	Fe	S	SiO ₂	CaO	MgO	TiO ₂	MnO	Mo	BaO	P	Pb	Zn	V	Al ₂ O ₃	H ₂ O
折腰山矿床	表内原生带含铜黄铁矿	1.14	44.83	45.42	2.43	0.32	0.06	0.15	0.019	0.001	0.04	0.014	痕	0.096	0.01	1.76	0.42
	铜表外硫表内含铜黄铁矿	0.39	40.36	42.82	5.67	1.05	0.46	0.16	0.014	0.001	0.01	0.02	0.047	0.66	0.01	1.26	0.44
	表内次生带浸染矿	0.74	2.41	10.34	51.86	0.14	1.51	0.78	0.01	0.001	0.02	0.02	痕	0.07	0.01	11.13	0.13
	表内原生带浸染矿	2.36	21.17	17.88	10.39	0.39	1.62	0.34	0.04	0.001	0.025	0.014	痕	0.26	0.01	8.63	0.32
	表内次生带含铜黄铁矿	1.21	39.2	44.94	6.94	0.01	0.16	0.44	0.004	0.004	1.35	0.01	0.08	0.30	0.01	1.89	0.27
火焰山矿床	表内原生带含铜黄铁矿	1.73	38.96	43.18	3.85	0.04	0.05	0.27	0.006	0.002	0.22	0.01	0.18	0.39	0.01	1.95	0.38
	铜表外硫表内含铜黄铁矿	0.37	45.04	50.20	1.22	0.01	0.05	0.09	0.005	0.002	0.95	0.01	0.031	0.15	0.01	0.45	0.35
	表内次生带浸染矿	4.1	13.05	18.82	34.44	0.25	0.33	0.49	0.011	0.01	0.32	0.01	0.07	0.22	0.01	12.77	0.25
	表内原生带浸染矿	1.61	15.23	16.41	40.40	0.54	2.21	0.37	0.03	0.01	0.15	0.01	0.33	1.33	0.01	10.63	0.39
	表外原生带浸染矿	0.45	13.99	16.20	38.08	0.08	0.54	0.48	0.009	0.01	0.18	0.01	0.088	0.17	0.01	18.03	0.24

大量取样和化验分析工作。根据划分的矿石技术品级和类型,进行了普通分析、组合分析、全分析和光谱分析(表1)。

与此同时,还按不同矿石类型及技术品级,采取了选矿试验样品,并对试样的原矿、精矿进行了化学和光谱分析。

在这个阶段,评价了铜、硫、金、银,肯定了其工业价值,并计算了储量。铅、锌虽作了较多的样品分析,因品位低,没有进一步研究,就作出了否定的结论。伴生组分中,因受条件限制,只通过光谱分析发现了铋、钴、锡、钒、铍、镍等元素,其含量为0.01~0.001%;硒、镉、镓、铟、锗等当时尚未发现。在某些样品中虽发现铋、钴、硒、碲、锡的含量较高,但因地质勘探工作已基本结束,而没有进一步做出评价。

2. 矿山生产阶段 首先在折腰山矿床的致密块状矿石中发现了一定规模的铅、锌富集。由于铅、锌矿的存在严重影响了选铜指标和冶炼生产,于是开展了铅、锌调查,并根据地质勘探阶段的化学分析资料重新圈定矿体。结果查明,仅折腰山铅、锌即达中型,锌平均品位为2.27%。

1961年开始对伴生组分进行普查,通过系统

取样和组合分析,初步查明了硒、碲的工业价值,其含量分别为0.0084~0.0094‰和0.0003~0.0005‰,并确定了一定储量。对选矿产品、半产品和废渣的检查,除铜、硫外,还初步肯定了铅、锌、金、银、硒、碲、镓、铟、铊、锗、钴、镍等13种元素。冶炼产品中查明铜、铁、硫、铅、锌、金、银、硒、碲、镓、铟、铊、锗、钴、镍、铋、铈、钽等19种元素。上述元素中,金、银、硒、碲、铟、铊、锗、铋的富集程度较高,可考虑综合利用。

从1966年底开始,全面开展了伴生贵金属和分散元素的查定工作,综合评价了金、银、硒、碲、镓、铟、铊、锗、铋、汞、砷等13种组分,研究了它们的分布规律和赋存状态,以及在不同产品中的富集程度,并计算了储量,为综合利用提供了地质资料。

伴生组分的赋存状态及分布规律

1. 矿物中伴生组分的分布 主要金属矿物中伴生组分的含量往往差别很大,不同矿区同一矿物中的含量也有明显不同(表2)。

从表中可以看出,金、银主要富集在方铅矿

主要硫化矿物中各种元素的平均含量(单位:金、银—克/吨,其余%)

表 2

矿 物 矿 床 元 素	黄 铁 矿		黄 铜 矿		闪 锌 矿		方 铅 矿	
	折 腰 山	火 焰 山	折 腰 山	火 焰 山	折 腰 山	火 焰 山	折 腰 山	火 焰 山
金	0.83	0.89	0.10	0.28	0.56	0.55	2.75	17.82
银	29.8	49.6	102	106.6	56.9	73.3	1516.8	528.6
硒	0.0134	0.0095	0.0308	0.02	0.0037	0.0091	0.0274	0.0747
碲	0.0001	0.0005	0.00008	0.00048	0.00017	0.00012	0.00057	0.00087
铟	0.00039	0.00035	0.00505	0.00148	0.00702	0.00906	0.00015	0.00033
铊	0.0007	0.00147	0.00031	0.00078	0.00277	0.00067	0.01201	0.01151
锗	0.0020	0.0025	0.0062	0.0049	0.616	0.621	0.0058	0.0068
铋	0.0056	0.0041	0.0021	0.0132	0.0011	微	0.056	0.007
铈	0.14	0.14	0.05	0.12	0.09	0.03	0.10	0.05
镓	0.00019	0.00012	0.00018	0.00022	0.00352	0.002	0.00076	0.00039
锗	0.00009	0.000019	0.0001	0.00013	0.00022	0.00015	0.00007	0.00015
钴	0.20	0.004	0.01	0.005	—	—	—	—
铜	0.25	0.28	30.58	28.02	0.71	0.54	0.04	0.05
铅	0.23	0.54	0.01	0.02	0.36	0.50	85.86	80.67
锌	0.38	0.52	0.45	1.10	53.66	57.93	0.35	0.74
铁	45.55	45.16	30.89	31.13	9.12	3.38	0.35	0.22
硫	51.93	51.63	34.57	35.18	33.55	33.78	11.42	14.03

中火焰山砷铜矿也矿富集金银,金21.38克/吨,银259.08克/吨;硒、碲、汞则明显的富集在黄铜矿中,其次是黄铁矿;锗、镉、铟、镓以闪锌矿中含量最高;铊、铋主要富集在方铅矿中。

2.在不同矿石类型中的分布 金、硒、碲、铋、汞、砷和铟,在块状矿石中的含量比在浸染状矿石中要高,其中金、铟、砷以铅锌块状矿石含量为最高,硒、碲、铋、汞则富集在含铜的块状矿石中,银、镉、镓、锗在铅锌矿石中的含量比在铜硫矿石中要高得多,尤以块状铅锌矿石更为富集。

3.在矿区空间上的分布 沿矿带走向,块状矿石中的金、银、铟、镉、镓、锗以矿体东西两端含量最高,中部显著降低;硒、碲、铋则相反,明显富集在中部。垂直方向上,金、银在次生带矿石中较为富集。

4.伴生元素在选冶产物中的分布 金、银、铟、镉、汞在铜精矿中较为富集,与原矿相比,富集七、八倍至十几倍,在冶炼过程中,阳极泥中的金、银、硒、碲比铜精矿中的含量富集数百倍,在酸泥中也高度富集;烟尘中镉、铟、铊、汞、铋、硒也相对富集(表3、表4)。

选矿产物中伴生元素分布(平均含量,克/吨)

表3

矿石类型 元素	浸染状铜矿石				块状铜锌矿石			
	原矿	铜精矿	尾矿	精矿原矿比	原矿	铜精矿	尾矿	精矿原矿比
金	0.31	2.39	0.25	7.8	0.58	1.3	0.50	1.9
银	16.8	142.0	43	8.4	16.7	103	10	6.2
硒	48	180	40.7	3.8	89.9	159.4	88.6	1.8
碲	1.1	2.7	0.6	2.5	2.3	3.3	1.5	1.4
铟	3.4	16.3	2.2	4.8	3.4	43.3	1.6	12.7
铊	6.1	7.4	5.1	1.2	10.0	11.2	8.8	1.1
镉	55	468	13	8.6	72	655	21	9.3
汞	<1	8.3	<1	>8.3	1	7.2	1	>7.2
铋	18.6	78	14.9	4.2	88	209	79	2.4
砷	259	1369	178	5.3	638	1271	633	2.00
镓	11.9	5.7	11.2	贫化	6.1	8.4	6.5	1.4
锗	1.3	0.7	1.8	贫化	3.7	5.1	3.3	1.4
钴	28	98	22	3.5	65	72	62	1.1

冶炼过程中伴生元素的分布(平均含量,克/吨)

表4

元素	精矿	炉渣		烟尘					酸泥	焙砂	冰铜	阳极泥
		反射炉	转炉	焙烧	电收尘	反射炉	转炉	大烟囱				
金	1.57	1.0	0.75	1.67	1.63	1.58	5.21	1.75	32.5	1.17	225	1025
银	106	29	10.5	115.5	106.5	88.8	311	103.5	221	67.5	161	65025
硒	162.5	146	71	169.3	290.6	180.7	289.7	428	34385	114	176.7	96000
碲	24	0.4	1.3	6.0	2.0	7.3	4.5	17.4	21.1	1.4	<1	479.7
铟	21	15	20	21.0	28.5	19.3	32.5	27.0	29	21	33.3	38.0
铊	7.4	1.6	1.4	10.1	25.0	3.0	13.3	4.2	18.9	5.7	11.2	1.4
镉	409.6	32	30	368	927.5	68.3	1427.8	1460	295	346.7	272.7	<5
汞	4.7	2.4	1.5	<1	19.2	1	1.7	43	1969	1	1.5	2.5
铋	108	10.1	6.0	145	156	369	331	578	476	130	121	159.5
砷	1135	359	78	1026	1732	2917	2568	5240	423	649	677	3617
镓	6.3	9.7	2.6	7.9	9.6	10.1	4.5	12.7	5.5	6.9	1.7	<1
锗	1.4	1.3	2.0	1.3	2.7	14	1.5	2.3	5.7	1.5	<1	未分析
钴	90.6	115.3	268.5	未分析	未分析	未分析	未分析	未分析	108.5	284	未分析	未分析

目前公司除生产铜、硫（硫精砂、硫酸）两种主要产品外，还综合利用了金、银、硒、碲、钼、铟、铈、铋等，前几年还回收了汞、铂、钯等。由于资源综合利用，大大提高了矿床的经济价值，估算综合利用产品的产值约占总产值的三分之一（包括硫酸和硫精砂）。如果进一步改进工艺条件，还有更多的伴生元素可以综合回收。

目前已着手回收浸染矿尾矿中的硫，尾矿经过再次选矿可以获得含硫30%以上的硫精矿。

各种元素的工业要求标准问题

1. 工业指标要求

(1) 主要组分工业指标

①地质勘探采用内工业指标：将矿石划分为6种类型分别计算其储量，其指标如下：

表内块状含铜黄铁矿：铜大于0.5%，硫大于35%。

表内块状黄铁矿：铜小于0.3%，硫大于35%。

铜表外，硫表内含铜黄铁矿：铜0.3~0.5%，硫大于35%。

表内含铜浸染矿：铜大于0.5%。

表外含铜浸染矿：铜0.3~0.5%。

表外黄铁矿：硫15~35%，铜小于0.3%。

②矿山开采暂定工业指标：露天开采根据主要组分铜、硫、铅、锌的含量，以及开采、加工利用的技术水平和生产成本，调整了工业指标要求，并划分出8种矿石类型，其中铜矿、铅锌矿不分表内外，其指标如下：

块状含铜黄铁矿：铜大于0.3%，硫大于15%。

块状铜铅矿：铜大于0.3%，铅大于0.5%，锌大于0.5%，硫大于15%。

块状铅矿：铅大于0.5%，锌大于0.7%，硫大于15%。

浸染状铜矿：铜大于0.2%。

浸染状铜铅矿：铜大于0.2%，铅大于0.5%，锌大于0.5%。

浸染状铅矿：铅大于0.5%，锌大于0.7%。

表内硫矿：硫大于15%。

表外硫矿：硫8~15%。

上述工业指标是指露天开采而言，地下开采与地质勘探工业指标要求相同。

(2) 伴生组分工业指标要求

金：0.5克/吨

银：5克/吨

硒：5克/吨

碲：5克/吨

钼：30克/吨

铟：3克/吨

铈：20克/吨

铍、锆在原矿中含量为0.0001~0.0006%，但在选矿产物中不富集，故回收困难；汞在原矿中虽含量低，但在选矿过程中能够富集，尤其在酸泥中可富集200~300倍，故可综合利用。可见，对伴生组分的工业要求，要想提出一个统一的标准是困难的。

2. 对伴生组分研究程度的要求

(1) 由于贵金属和分散元素常以类质同象的形式赋存于金属矿物中，所以要在勘探评价主金属的同时，查明其种类、含量、赋存状态及分布规律。另外还要查明它们在选择过程中的行为。

(2) 由于伴生组分常与主金属矿物和不同矿石类型有关，因此要按矿石自然类型、工业类型及技术品级，分别查定其种类、含量、赋存状态和分布规律。

(3) 在综合勘探、综合研究的基础上，要求提交伴生矿产的评价报告并计算储量，以提供工业设计部门利用。

伴生组分评价的经验教训和意见

白银厂矿区，在地质勘探阶段，首先是对铜和硫作了系统的综合研究工作，查明了其变化性质和程度及分布规律，同时根据工业要求，结合矿床地质特征，划分出氧化带、次生带和原生带的界线；根据矿石结构构造及硫含量，划分出块状和浸染状矿石，并根据工业部门提出的指标，划分出六类工业类型，肯定了伴生的金、银的工业价值，并提交了储量。

对不同带的各种矿石类型，分别进行了选矿试验，研究了原矿的性质，对原矿、精矿进行了光谱和化学分析。提交了基本上满足矿山设计的地质勘探报告。成绩是肯定的。

但从综合勘探、综合评价的角度来看，由于缺乏经验，还存在以下问题：

1. 关于铅、锌矿的评价 在地质勘探阶段，

对几个矿床都做了大量采样化验工作。其中,折腰山129个钻孔,有88个孔做了取样分析,分析铅6308个,锌3296个;火焰山130个钻孔,有81个孔做了取样分析,共分析铅1844个,锌800个,并将分析结果按品位分组进行统计。结果够工业品位(铅大于0.5%,锌大于1%)的,锌占分析总数的11%,铅占2.5~2.7%,即作出了“无工业铅锌矿石存在,某些样品铅锌品位较高只是个别现象”的结论,从而否定了其工业价值。

通过对原地地质勘探铅锌资料的整理和综合研究,虽然原认为够工业品位的数量少,但分布集中,如折腰山有的孔段锌矿体厚度达58米,锌平均品位高达2.64%,根据勘探资料圈定出锌矿体50个,其中折腰山31个,火焰山19个,仅折腰山计算储量就有十多万吨,平均品位2.27%。因此,否定铅锌工业价值的结论是错误的。究其原因,除了思想重视不够外,主要是地质研究程度不够,片面地按品位分组统计方法作出结论,缺乏地质观察和综合研究,同时取样分析不系统,如有的钻孔已发现有铅锌而相邻工程没有取样分析,有的在组合分析中发现其铅锌的品位较高,但未做普遍分析。

2.关于分散元素的评价问题 在1955年以前的分析资料中,均未发现分散元素,这与当时化验技术水平和仪器灵敏度不高有关。在1957年火焰山矿床选矿试验铜精矿、黄铁矿精矿中,已发现有镉、硒、碲元素,其中硒0.02~0.0025%,碲0.00065~0.017%,但当时地质勘探已结束,对分散元素未给予评价。

3.矿石技术加工试验 地质勘探虽然已采样进行了试验研究,但少数试验样缺乏代表性,如折腰山第一、二号选矿样品各自取一个坑道的工作面;第三号样品为次生带含铜黄铁矿,该类型

矿石主要分布在VI行以东,但此样品采自Ⅷ行第一号平巷的小矿体,它对于整个矿床来说是缺乏代表性的,所以生产后对块状矿石可选性掌握不住,严重地影响了选矿指标。

综上所述,通过对地质勘探和生产实践的总结,我们认为在地质勘探整个过程中,必须加强矿产资源的综合勘探和综合评价工作。对于共生组分分布比较集中地段,在变化大,含量高的情况下,应适当加密工程,提高控制程度。划分矿石类型时,应结合主要组分,利用综合指标分别划分矿石类型,分别圈定矿体,计算储量。对于伴生的贵重和稀散元素,一般根据已有的勘探工程,可利用组合分析、单矿物分析等手段,查明其种类、含量、赋存状态和分布规律,同时提出有关评价的地质资料。这里值得注意的是,对矿床中共生组分和其他伴生的贵重和分散元素,不能按样品分析结果统计百分比进行评价,应加强地质观察和综合研究,否则将会导致错误的结论。技术加工试验样品,不但要按矿石类型、技术品级采取,而且还要充分研究各种矿石类型在不同地段上的代表性,这样矿石技术加工试验结果才能正确地反映出全矿区的客观实际。对选矿试验的产品,亦应进行伴生组分的考察,以查明其在精矿、尾矿中的富集与分布。

确定伴生组分的工业指标,要在充分研究矿床地质特征的基础上,考虑到选、冶加工的技术可能性以及各种产品中组分的富集程度,本着充分利用资源,同时又经济合理的原则进行。对伴生组分含量高,产值大的矿床,不宜采用单一矿种的单个指标,而应采用综合利用的综合品位值作为工业指标。这样,不仅有利于矿床的地质评价,尤其有利于矿床的经济评价。

