

湖南柿竹园铅锌矿床伴生金、银的 赋存状态研究

李 艺 梁有彬

(有色金属总公司矿产地质研究院·桂林)

该矿床的金、银主要呈独立矿物存在,主要金矿物为金 银矿和 含金自然银,银矿物主要有11种。根据金、银的赋存状态,对该区伴生金、银的综合利用作了初步评价。

关键词: 湖南省柿竹园, 铅锌矿床, 伴生金银, 赋存状态



岩矿工作

柿竹园蛇形坪—横山岭铅锌矿床矿石中普遍含银,平均品位为160g/t,金0.10g/t。伴生金、银主要以独立矿物的形式存在,银主要赋存在方铅矿和闪锌矿中,具有较大的综合利用价值。

矿床地质简述

矿床位于东坡矿田南西端五盖山背斜东北侧,即千里山花岗岩岩体西南约2000m接触带中。铅锌矿体赋存于中、上泥盆统棋子桥组和余田桥组碳酸盐岩岩层中。矿区断裂构造发育,以北东向断裂为主,次为北北东向、近东西向及近南北向的断裂。区内石英斑岩脉、花岗斑岩脉及辉绿岩脉非常发育。石英斑岩脉和花岗斑岩脉受断裂控制,呈北东向分布,它们与矿体在空间上有较密切的联系,在岩脉的两侧有一系列的铅锌矿脉产出。

该矿床的矿体数量多,规模小,主要矿体有10个。矿体多分布于规模较大的北东向断裂构造旁侧,矿体形态复杂,大部分为不规则的脉状、透镜状、囊状和扁豆体状等。

矿石中有用元素为Pb、Zn、S,伴生Cu、Au、Ag、Cd等(表1)。主要金属矿

组合矿石大样多元素分析结果 表 1

分析项目	Pb	Zn	Cu	Sn	As	S	TFe	
wt%	4.33	3.42	0.02	0.085	0.032	6.34	10.25	
分析项目	Au	Ag	Bi	Mo	Cd	Ga	In	Ge
ppm	0.10	160	110	3.3	340	8	35	<1

物有:方铅矿、闪锌矿、铁闪锌矿、黄铁矿、磁黄铁矿、磁铁矿;次要矿物有黄铜矿、白铁矿、毒砂、辉铜矿;微量矿物有斑铜矿、方黄铜矿、黝铜矿、黝锡矿、锡石、硫锑铅矿、脆硫锑铅矿、赤铁矿、褐铁矿及各种金、银矿物。脉石矿物主要为方解石、镁铝榴石、透辉石、透闪石、石英,其次为白云石、绢云母、绿泥石、绿帘石、萤石等。

矿石为半自形—他形粒状结构、包含结构、填隙结构、交代结构、似文象结构、固溶体分离结构和网状结构等。矿石构造有块状构造、浸染状构造、团块状构造等,角

砾状构造和条带状构造仅局部出现。

根据矿物含量及矿物共生组合特征可将矿石分为夕卡岩型铅锌矿石、(毒砂)磁铁矿黄铁矿型矿石、磁铁矿黄铁矿型铅锌矿石、(磁黄铁矿)黄铁矿型铅锌矿石、块状铅锌矿石和浸染状贫铅锌矿石等。蛇形坪矿区以前4种矿石类型分布较普遍,横山岭矿区则以(磁黄铁矿)黄铁矿型铅锌矿石和块状铅锌矿石为主。

金、银的赋存状态

1. 金、银矿物的种类及其相对含量

矿区的金矿物有金银矿和含金自然银。银矿物有银黝铜矿、黝锑银矿、淡红银矿、深红银矿、锑银矿、辉银矿、脆银矿、硫锑铜银矿、硫铁铜银矿(?)、自然银以及含金自然银和金银矿等(表2)(前人在该矿区还发现有黑硫银锡矿)。其中银黝铜矿(包

括黝锑银矿),约占银矿物总量的90%,其次为淡红银矿,而自然银、锑银矿、辉银矿、脆银矿、硫锑铜银矿和硫铁铜银矿(?)等银矿物含量较微。

2. 金、银矿物的工艺矿物学特征

金银矿 反射色为亮淡黄色至亮灰白微带黄色色调,光面易氧化呈带玫瑰红或锈褐、锍色的色调。反射率较高,正交镜下消光不完全。矿物形态多呈近浑圆粒状、椭圆状及他形粒状等。粒径1~15μm,一般为5~8μm,包裹于方铅矿和闪锌矿中以及方解石的粒间。

含金自然银 反射色为亮白色,略带淡黄色调。矿物颗粒一般为20~30μm,呈不规则粒状或细小椭圆粒状,包裹于方铅矿中或产于方解石的粒间或其他金属矿物的边缘。其含金量为2.92~7.89%。

自然银 多为浑圆粒状和椭圆粒状,次

金、银矿物及其他矿物电子探针分析结果表(%) 表 2

矿物名称	Au	Ag	Cu	Sb	Fe	Sn	S	Pb	Zn	As
金银矿	37.81	61.52	0.12		0.06					
金银矿	37.837	61.054	0.626		0.056					
含Au自然银	7.860	91.589	0.033		0.037					
含Au自然银	2.922	94.824		0.474						
自然银		91.657		0.680			2.707			1.245
自然银	0.296	99.183	0.253		0.116					
自然银	0.12	97.55	0.18	0.02	0.05	0.03			0.08	
银黝铜矿		18.450	24.440	27.097	5.495		23.142		1.392	
黝锑银矿		36.25	12.97	24.58	4.88	0.05	19.92		0.97	
黝锑银矿		31.475	14.218	25.301	5.323		21.879		1.215	
黝锑银矿		28.969	17.419	26.250	2.057		21.615		4.247	
黝锑银矿		24.432	19.827	27.298	5.524		22.183		0.613	
淡红银矿		66.167		1.931			18.278			13.496
锑银矿		78.031		21.734						
锑银矿		75.81	0.05	23.59	0.07	0.06				
脆银矿		68.40		15.25			16.35			
脆银矿		67.75		14.95			16.30			
辉银矿		85.13					13.13			
硫锑铜银矿		60.18	7.18	14.07	1.88	0.05	14.95		1.22	
硫铁铜银矿(?)		13.12	31.28	0.06	27.42	0.03	28.32		0.15	
黝铜矿		0.62	30.19	0.10	11.44	28.30	29.19		1.01	
黝铜矿		0.25	29.20	0.02	13.03	27.45	29.33		1.98	
黝铜矿		0.249	29.756		12.016	27.950	29.392		1.446	
脆硫锑铅矿		0.077		35.947	2.021		21.207	40.855		

分析者:本院郑巧荣、庄世杰。

为近三角形粒状和不规则他形粒状等, 也可见呈棒状或长条状产出。粒径 $1\mu\text{m}\sim 0.5\text{mm}$, 一般为 $10\sim 15\mu\text{m}$ 。产于方解石等脉石矿物的粒间或呈微细颗粒包裹于方铅矿中, 偶见产于闪锌矿中, 可见交代银黝铜矿(或黝锑银矿)并与金银矿共生。

银黝铜矿 广泛在铅锌矿石和磁黄铁矿黄铁矿型铅锌矿石中出现, 多呈不规则粒状。包裹于方铅矿中, 产于脉石(方解石)中者则交代自然银或为自然银所交代。可见该矿物与闪锌矿、黄铜矿、磁黄铁矿、黄铁矿、黝锡矿等连生。银黝铜矿粒度为 $1\mu\text{m}\sim 0.2\text{mm}$ 以上, 一般为 $10\sim 30\mu\text{m}$, 属细粒不等粒非均匀嵌布。

黝锑银矿 产出特征与银黝铜矿相类似, 区别在于黝锑银矿含银更高, 常借助于电子探针成分分析来区分, 一般把含 $\text{Ag}>20\%$ 者称为黝锑银矿或称富银黝铜矿。

淡红银矿 颜色为鲜红色, 在有金银矿或自然银产出的矿石光片中容易发现有淡红银矿。该矿物呈不规则粒状产于方铅矿中, 粒径一般为 $5\sim 10\mu\text{m}$, 在破碎淘洗后的重砂矿物中淡红银矿最大粒度可达 0.1mm 左右。

深红银矿 较少见。其产出特征与淡红银矿相似。

锑银矿 仅见产于横山岭矿区的黄铁矿磁黄铁矿型铅锌矿石中。该矿物多呈半自形—他形粒状包裹于方铅矿中, 常与自然银、金银矿、淡红银矿等矿物共生。粒径为 $1\sim 15\mu\text{m}$, 一般为 $5\sim 8\mu\text{m}$ 。该矿物含银量为 $75\sim 78\%$, 若其含银更高者则过渡为含锑自然银或自然银, 故其常与自然银等共生。

辉银矿 微量, 呈他形粒状产于方铅矿中, 粒径约为 $10\mu\text{m}$ 。

脆银矿 微量。该矿物呈浑圆粒状或他形粒状产于方铅矿中, 粒径为 $5\sim 20\mu\text{m}$, 一般为 $5\sim 10\mu\text{m}$ 。

硫锑铜银矿 极微量。产于方解石粒间, 与自然银共生或互相交代形成文象结

构。

硫铁铜银矿(?) 根据电子探针分析的主要成分而暂定。该矿物反射色为暗黄略带绿色色调, 反射率比黄铜矿低。均质或微弱非均质性。见与自然银、银黝铜矿(或黝锑银矿)共生, 或为自然银所交代。呈不规则他形粒状产于方解石等脉石矿物粒间, 或与方铅矿连生产出。其粒径 $10\mu\text{m}\sim 0.2\text{mm}$, 一般为 $0.05\sim 0.10\text{mm}$ 。

3. 金、银的主要载体矿物及其配分

(1) 金、银的主要载体矿物 本区的金、银载体矿物主要是黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、磁黄铁矿和磁铁矿(表3)。从表3可看出, 从黄铁矿 $\rightarrow$ 闪锌矿 $\rightarrow$ 方铅矿的顺序中, 金含量有由高变低, 而银含量则有由低变高的趋势。

各种矿物的Au、Ag含量(g/t) 表3

矿物名称	Au	Ag
方铅矿	0.046	1600
闪锌矿	0.25	365
黄铁矿	0.49	138
磁黄铁矿	0.053	64
磁铁矿	0.21	310
方解石	0.034	34
透辉石	0.078	45
石榴石	0.036	12
金属矿物	1.09	272
非金属矿物	0.043	39

为进一步探讨金在主要载体矿物黄铁矿中的赋存状态, 选择了由含金最高的D36矿石标本—黄铁矿型铅锌矿石分离所得的黄铁矿(含 $\text{Au}0.959\text{g/t}$), 先后用 HCl 和 HNO_3 进行选择溶解试验, 溶液用双层慢速定量滤纸过滤。各次溶液中测定的金含量见表4。

从表4看出, 被 HCl 和 HNO_3 所溶解的金为 0.769g/t , 残渣含 Au 为 0.19g/t , 两者金含量分别占总金的 80.2% 和 19.8% 。我们认为被 HCl 和 HNO_3 溶解的3种滤液中的金, 不是自然金, 可能是晶格或晶格间隙

黄铁矿选择溶解液的Au含量 表 4

Au (g/t)	备 注
0.049	HCl 溶解
0.33	HNO ₃ 溶解
0.39	HCl 溶解
0.19	残渣, 王水溶解

金、吸附金或包括金银矿在内等一些易溶于酸或易透过滤纸的超显微金, 而由王水溶解

最后部分的残渣中的金应是以自然金形式存在的金。在大量的光片鉴定中, 未见黄铁矿中有可见金粒存在。此外, 据陈升平等的研究资料^①, 他们对该区含金较高的黄铁矿单矿物进行电镜扫描, 结果也未发现金的独立矿物。因此, 黄铁矿中金的赋存形式还有待进一步的研究。

(2) 金、银的配分 根据矿石组合大样进行金、银的平衡配分, 结果(表5)表

矿石中Au、Ag的平衡配分结果

表 5

矿物名称	体 积 (%)	重 量 (%)	Au品位 (g/t)	Ag品位 (g/t)	Au配分量 (g/t)	Ag配分量 (g/t)	Au分配率 (%)	Ag分配率 (%)
方 铅 矿	2.38	5.22	0.046	1600	0.0024	83.52	2.68	53.73
闪 锌 矿	4.17	4.57	0.25	365	0.0118	17.155	13.17	11.0
黄 铁 矿	4.38	6.46	0.49	138	0.0317	8.9148	35.38	5.71
磁黄铁矿	2.68	3.63	0.053	64	0.0019	2.3232	2.12	1.49
磁 铁 矿	2.99	4.41	0.21	310	0.0093	13.671	10.38	8.76
毒 砂	0.04	0.07						
黄 铜 矿	0.1	0.12	0.055*		0.0001		0.11	
非金属矿物	83.26	75.41	0.043	39	0.0324	29.4099	36.16	18.85
合 计	100.00	99.89			0.0896	155		

$$\text{平衡系数 } \Delta K_{Au} = (0.0896 - 0.10) / 0.10 = -10.4\%$$

$$\Delta K_{Ag} = (155 - 160) / 160 = -3.12\%$$

* 据中国地质大学陈升平(1988.7)。

明, 方铅矿和闪锌矿中金的分配率仅占金总量的15.85%, 而黄铁矿中为35.85%; 矿石中的银主要分布在方铅矿中, 占银总分配率的53.73%, 而闪锌矿中则占11.0%。脉石矿物中金分配率占36.16%, 银占18.85%。脉石矿物中金、银的占有率较高, 其原因可能是由于采用0.2~0.1mm粒级的矿样提纯脉石矿物进行金、银分析(金、银矿物粒度绝大部分小于30 μ m), 脉石矿物中有些微细粒的金、银矿物未解离出来, 因而造成脉石矿物含金、银品位偏高。

金、银的综合利用评价

金的平衡配分结果表明, 脉石中的金占总金分配率的36.16%, 黄铁矿中的金占

35.38%, 而方铅矿和闪锌矿中金的分配率仅为15.85%。说明在选矿过程中很难获得含金较高的铅精矿和锌精矿, 这对金的回收是很不利的。并且, 由于在黄铁矿和脉石中金的分配率共达71.54%, 这就不可避免地有大部分的金丢失在尾矿中, 造成该区金难以回收。

值得注意的是, 由于脉石中的金占有率占矿石中总金的1/3强, 且其中有部分金银矿物的粒度较大(达0.05~0.1mm), 这在一200目的选矿条件下, 脉石中所包裹的这部分较粗粒的金银矿、含金自然银、自然

①陈升平等, 中国地质大学地质系, 内部资料, 1988年。

银、银黝铜矿或黝锑银矿和硫铁铜银矿(?)等矿物即可在磨矿中被解离出来。同时,这些金银矿物具有与方铅矿相似的可浮性,因此,它们就有可能在选矿过程中进入铅精矿,因而提高了铅精矿产品中金、银的品位及其回收率。如据王庆^②等所做的选矿试验结果,铅精矿中含金1.07g/t,该品位远高于方铅矿中金品位,表明有部分较粗粒的单体金矿物解离进入铅精矿中。据此,如果要提高金的回收率并使铅精矿中的金含量达到计价品位(1g/t),则必须把与脉石矿物连生或包含的一部分较粗粒的金银矿物尽量解离出来,并使其富集于铅精矿中,这样才有可能提高伴生金的回收利用。

矿石中银的平衡配分结果表明,方铅矿中银的理想回收率为53.73%,锌精矿中银的最佳回收率为11.0%,还有35.27%的银分散在磁铁矿、黄铁矿和脉石等矿物中。根据矿石大样各粒级银的分析结果,粒度越细,银的含量有增高的趋势,表明有一部分银矿物可被解离出来。由此可见,欲要提高铅精矿和锌精矿产品中银的含量,就要在许可的范围内适当增加磨矿细度,并把解离出来的银矿物尽可能富集于铅精矿和锌精矿中,才可能提高这两种精矿产品的银含量和最大限度地提高银的回收率。由于银矿物粒度细小,并与铅、锌等矿物密切包裹共生,要想获得独立的银精矿产品是极困难的,银只能随载体矿物作为副产品回收。

结 语

1. 蛇形坪—横山岭铅锌矿床矿石银品

Mode of Occurrence of Gold and Silver Ores Associated with the Shizhuoyuan Pb-Zn Deposit, Hunan

Li Yi Liang Youbin

Most of the gold (mainly kustelite and Au-bearing native silver) and silver (including 11 types) ores in the deposit are occurred Separately. In the light of their modes of occurrence a preliminary evaluation for the comprehensive utilization of the gold and silver ores associated with the deposit is made.

②王庆等,湖南有色研究所,内部资料,1986年。③胡莹,湖南有色研究所,内部资料,1987年。④吕景范,辽宁省冶金研究所,内部资料,1982年。

位为160g/t,金为0.10g/t。根据金、银配分计算结果,黄铁矿中的金占矿石金总量的35.38%,脉石矿物占36.16%,方铅矿和闪锌矿只占15.85%;方铅矿是该区银的主要载体矿物,其含银占银总量的53.73%,闪锌矿占11.0%,有18.85%的银分散在脉石矿物中。

2. 在该区首次发现了金的独立矿物——金银矿和含金自然银,矿石中的金主要是以金的独立矿物相产出;银也主要是以银的独立矿物相产出。前人在该区发现的银矿物^{③④}有银黝铜矿、深红银矿、黝锑银矿和黑硫银锡矿等。我们还新发现了淡红银矿、锑银矿、辉银矿、脆银矿、硫锑铜银矿、硫铁铜银矿(?)、含金自然银和金银矿。这大大地丰富了矿区的金、银矿物学内容,对该区伴生金、银的综合利用和金银的地质找矿都具有重要的意义。

3. 鉴于金的独立矿物粒度细小,且有部分金矿物浸染于脉石矿物的粒间,使脉石矿物占有金含量较高,加之有1/3强的金分散在黄铁矿中,这就使大部分金丢失在铅锌选矿后的尾矿中,致使该区金难回收或回收率不高。银主要呈细小银矿物分布在金属矿物中,可预料铅精矿和锌精矿两项产品中银的回收率可大于64.73%。从金、银赋存状态和产出特征来看,难于形成独立产品,只能在回收铅锌时作为副产品回收。

本专题得到了柿竹园矿林巨成、余桂秋、梁敬功等同志的大力协助,本院分析及电子探针组承担了矿石矿物化学成分的分析工作,在此谨向他们致以衷心的感谢。