

铜陵凤凰山铜矿床伴生金银的赋存 状态及其综合回收途径

李 艺 梁有彬

(中国有色金属工业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, 金矿物为银金矿和自然金, 银矿物有5种。根据金银的赋存状态及其工艺矿物学特征, 提出了若干提高金银回收率的技术措施。

关键词 铜矿床 伴生金银 赋存状态 金银回收



采矿工作

铜陵凤凰山铜矿床是一重要的夕卡岩型伴生金银铜矿床。矿石中的金、银品位分别为 0.41×10^{-6} 和 15.4×10^{-6} , 具有较大的综合回收价值, 并在生产中取得了较好的经济效益。因此, 查明矿石中金、银的赋存状态, 对进一步提高其回收率, 具有十分重要的经济意义。

矿床地质概况

矿床位于安徽省铜陵下扬子台坳新屋里复向斜的北西翼, T_{1-2} 灰岩、钙质页岩与花岗闪长岩体的接触带附近。该矿床共有83个矿体, 其中主矿体4个, 自南向北依次编

号为I、II、III、IV号矿体; 次要矿体3个, 分别为V、VI、VII号矿体; 其余均为小矿体。I~IV号矿体赋存于花岗闪长岩与围岩的接触带中及其附近, 不连续产出。矿体产状多变, 其走向自南而北由北西转向北东, 平面上略呈向西凸出的弧形。矿体倾角 $70 \sim 80^\circ$ 。

矿石工业类型主要有含铜磁铁矿赤铁矿矿石、含铜菱铁矿矿石、含铜黄铁矿矿石、含铜夕卡岩矿石、含铜角砾状矿石、含铜花岗闪长岩矿石和含铜大理岩矿石等。矿石组合大样的化学成分见表1。主要金属矿物为黄铜矿、斑铜矿、磁铁矿、赤铁矿和黄铁矿等; 非金属矿物主要为方解石、菱铁矿、白云石、石英、绿泥石、斜长石、钾长石、石榴子石和角闪石等。

表1 矿石组合大样的多元素分析结果

元素	Cu	Fe	S	Pb	Zn	As	Sb	Co
含量 (wt%)	1.07	42.59	4.57	0.010	0.051	0.012	<0.001	0.018
元素	Au	Ag	Se	Te	Cd	Ga	In	
含量 ($\times 10^{-6}$)	0.41	15.4	6.7	1.5	<10	22	4.4	

金、银赋存状态

通过对矿床100多块各种类型矿石光片、薄片和组合试样进行系统的岩矿鉴定,

并采用电子探针分析、选择性溶解试验、化学物相分析和单矿物金、银含量分析等多种研究手段, 基本查明了矿石中金、银的赋存状态。现将有关研究结果叙述如下。

本文1993年3月收到, 范若芬编辑。

1. 金、银矿物的种类

伴生的金、银主要呈独立矿物产出，少部分呈类质同象形式及其他形式赋存于黄铁矿、黄铜矿和脉石矿物中。本次研究发现的

金、银矿物主要有自然金、银金矿、银硫铋铅铜矿、硫银铋矿、硒银矿和碲银矿等，它们的电子探针分析结果见表 2。

2. 金、银载体矿物

表 2 金、银等矿物的电子探针分析结果 (%)

序号	矿物名称	Au	Ag	Cu	Fe	S	Bi	Pb	Co	Te	Hg
1	自然金	93.54	3.86	0.43	1.97						
2	含银自然金	83.20	12.56	2.23	1.79						
3	银金矿	79.83	16.50	0.54	2.62						
4	银金矿	76.74	21.11	0.66	1.31						
5	银金矿	73.36	25.15	0.90	0.37						
6	银金矿	65.81	31.59	1.18	0.98						
7	银金矿	64.33	32.39	2.52	0.40						
8	银金矿	62.52	32.61	2.72	1.52						
9	银金矿	60.50	36.27	1.62	0.94						
10	硫银铋矿		26.59			15.04	58.37				
11	银铋铅铜矿		6.15	6.81	1.17	17.05	49.21	18.75			
12	脆硫铜铋矿		2.99	36.49		18.65	41.76				
13	硫铜铋矿		0.15	19.02		18.76	62.18				
14	辉碲铋矿				2.94	4.85	56.04			35.64	
15	硫铜钴矿			22.33	2.69	40.96			34.05		
16	含汞辉铜矿			74.26		19.17					6.50
17	含汞辉铜矿			76.48		19.28					4.21

测试分析表明 (表 2)，矿石中金、银含量最高的载体矿物为斑铜矿，次为黄铜矿，再次为黄铁矿，它们构成矿区最主要的金、银载体矿物，而其余矿物的金、银含量甚微。

3. 金、银的筛分分析

为了解金、银在矿石碎磨过程中的赋存特点和工艺性质，对矿石组合大样进行了筛分分析 (表 3)。从表 3 中可见，金的含量仅在 -65 ~ +90 目和 -200 ~ +260 目两个

表 3 组合大样的筛分分析结果

序号	粒 级	重量 (g)	产 率 (%)	Au ($\times 10^{-6}$)	Ag ($\times 10^{-6}$)	Cu (%)	Au 占有率 (%)	Ag 占有率 (%)	Cu 占有率 (%)
1	+65 目	9.32	4.77	0.27	11.7	0.44	3.17	3.62	1.92
2	-65 ~ +90 目	21.6	11.07	0.65	11.6	0.60	17.72	8.32	6.07
3	-90 ~ +150 目	23.1	11.84	0.38	12.7	0.76	11.08	9.74	8.22
4	-150 ~ +200 目	4.3	2.20	0.34	14.3	0.99	1.84	2.04	1.99
5	-200 ~ +260 目	14.1	7.22	0.50	18.1	1.36	8.89	8.47	8.97
6	-260 ~ +300 目	49.1	25.16	0.40	15.5	1.16	24.78	25.27	26.66
7	-300 目	73.65	37.74	0.35	17.4	1.34	32.52	42.55	46.19
8	品位加权平均值	195.17	100.00	0.41	15.43	1.09			

注：筛分样品重量为 200g。

粒级中略高于大样品位外,其余粒级中的金含量均低于大样品位;银、铜的含量在-200目以下各粒级中稍高于大样品位,但其富集并不明显。由此推断,金、银及铜所赋存的粒度比较细小,并在矿石中较均匀分布,金的赋存粒度比银的赋存粒度要相对粗一些。

4. 金的物相分析

对-200目粒级占70.3%的磨矿细度的矿石组合试样作金的物相分析,结果见表4。从表4可看出,矿石中的金以单体金(包括裸露连生体金)为主,次为黄铜矿中的金,两者分布率之和达70.70%。黄铁矿中的金占11.63%,这部分金中应包括矿物金和次显微金或类质同象金,其详细赋存状态有待进一步的研究。

5. 金、银的平衡配分

根据对矿石试样进行金、银的配分研究

表4 组合矿石大样金的物相分析结果

矿物相	单体+连生体裸露金	黄铜矿中金	黄铁矿中金	碳酸盐*中金	硅酸盐*中金	总金
Au含量($\times 10^{-6}$)	0.24	0.064	0.050	0.044	0.032	0.43
Au分布率(%)	55.81	14.89	11.63	10.23	7.44	100.00

* 包括铁氧化物中的金。

结果(表5)可见,单体金、银矿物及黄铜矿、斑铜矿中的金、银占有率之和分别为78.48%和56.35%,而黄铁矿(包括非金属矿物)等其他矿物的金、银占有率之和分别为21.52%和43.65%。金、银的这一分配状态表明,赋存于有用矿物中的金较为集中,而银则较为分散。

表5 矿石中金、银的平衡配分表

矿物名称	wt%	Au品位($\times 10^{-6}$)	Ag品位($\times 10^{-6}$)	Au配分量($\times 10^{-6}$)	Ag配分量($\times 10^{-6}$)	Au分配率(%)	Ag分配率(%)
单体金(银) ⁽¹⁾				0.24	3.54	65.4	28.45
黄铜矿	2.21	0.80	80.5	0.018	1.779	4.91	14.3
斑铜矿 ⁽²⁾	0.55	5.486	307.87	0.030	1.693	8.17	13.6
黄铁矿	7.56	0.541	39.99	0.041	3.023	11.17	24.29
磁铁矿	20.36	0.027	1.4	0.006	0.285	1.63	2.29
赤铁矿	11.19	0.022	0.8	0.002	0.09	0.55	0.7
综合脉石	58.13	0.052	3.5	0.030	2.034	8.17	16.35
合计	100.00			0.367	12.444	100.00	100.00

平衡配分系数 $\Delta K_{Au} = (0.41 - 0.367) / 0.41 \times 100\% = 10.49\%$

$\Delta K_{Ag} = (15.4 - 12.444) / 15.4 \times 100\% = 19.19\%$

单体金(银)含量为物相分析裸露金、银值;斑铜矿中包括有0.02%的辉铜矿。

金、银的工艺矿物学特征

1. 金矿物

(1) 化学成分特征 电子探针分析结果(见表2)表明,矿区产出的金矿物以银

金矿为主,少量为含银自然金和自然金,其金的成色平均为730左右。

(2) 矿物的形态和粒度特征 金矿物多呈等轴粒状或近浑圆粒状,次为长条棒状及片状等。金矿物的粒度最大者达100 μ m

以上,小者则 $<0.5\mu\text{m}$,一般为 $20\sim 50\mu\text{m}$ 。

(3) 金矿物的产出和嵌布特征 金矿物主要见于含铜磁铁矿矿石中,其次是含铜黄铁矿矿石和含铜角砾状矿石中。主要以裂隙金、包体金和粒间金等形式产出。统计结果表明,裂隙金和包体金各约占 48%,粒间金所占比例较小。裂隙金主要见于黄铁矿的裂隙中,粒间金及包体金较少见。包体金则主要产于黄铜矿、斑铜矿和辉铜矿等铜矿物中,黄铜矿中的裂隙金较少见。粒间金偶见于铜矿物与脉石矿物之间。

(4) 金矿物的解离性质 从金矿物的粒度、嵌布特征,结合碎磨样重选获得的单体金粒(一般富集于黄铁矿中)及物相综合分析结果来看,矿石中的金矿物一般较易于解离,在 -200 目占 70% 以上的磨矿粒度下,金的解离度可达 55%~65%。若增加磨矿细度,则赋存于黄铁矿、菱铁矿和脉石等矿物中的微粒金将获得进一步解离。

2. 银矿物

(1) 银金矿 其工艺特征见金矿物所述。

(2) 银硫铋铅铜矿 ($\text{Pb}_2(\text{Cu}, \text{Ag})_3 \text{Bi}_5 \text{S}_{11}$)

偶见。反光显微镜下呈浅灰白色略带褐黄色,强非均质性:呈灰黄白色—深褐色。长条状,粒度为 $80\mu\text{m} \times 16\mu\text{m}$,产于赤铁矿(交代磁铁矿而成)裂隙中,与脉石连生,偶见交代黄铜矿。

(3) 硫银铋矿 (AgBiS_2) 镜下反射色呈白色,强非均质性:呈亮至暗灰色。该矿物粒度微小,主要产于方铅矿中。

(4) 硒银矿 (Ag_2Se) 镜下反射色呈浅灰色,非均质性:呈亮灰—暗灰色。粒度微小,产于黄铜矿或辉铜矿中。

(5) 碲银矿 (Ag_2Te) 镜下呈灰白色,强非均质性。粒度约为 $10\mu\text{m}$,产于黄铜矿及斑铜矿中。

提高金、银回收率的途径

1. 利用现状

除主要回收 Cu 外,伴生的 Au、Ag、Fe、S、Co、Ga 等有益元素亦可综合利用。大量的磁铁矿及黄铁矿已在选矿过程中单独回收,菱铁矿和赤铁矿的回收亦在实施之中。

矿床中伴生金、银的储量已达大、中型矿床规模。近几年,矿山生产部门特别注重于金、银的综合回收。在历年的选矿生产中,铜的回收率一直比较稳定,平均达 93% 以上,而金、银则主要富集于铜精矿中作为副产品回收。金、银入选品位分别为 0.815×10^{-6} 和 19.33×10^{-6} 的情况下,其平均回收率分别为 62.32% 和 55.38%。伴生金银的年产值约占矿山年总产值的 20%,利润则占 60%~70%。可见,该矿综合回收金、银的经济效益是十分可观的。

2. 提高金、银回收率的途径

金、银的赋存状态,特别是在各矿物中的分配率,是反映或揭示伴生金、银在选矿工艺过程中理想回收率的重要指标,也是评价选矿流程是否合理的重要依据之一。金、银的配分结果表明,矿石中金、银的理想回收率应分别为 78.48% 和 56.35%,若按当前现场生产过程金的流向计算,金的回收率也可达 69.45%。由此可见,与金、银生产的实际选矿回收指标相比,要进一步提高其回收率的潜力和前景还是很大的。在此,我们仅根据该区金、银的赋存状态及其矿物工艺性质来探讨提高金、银回收率的途径,以供有关方面参考。

(1) 改善磨矿工艺,提高磨矿细度 黄铁矿是重要的载金矿物,并赋存有较多的裂隙金、银矿物,其粒度相对较粗,另外,在部分碳酸盐等脉石矿物中也包裹有独立的金、银矿物。据此,通过提高磨矿细度,即

由现在-200目占74%~75%的人选粒度提高到80%~85%以上,可使赋存于黄铁矿等矿物中的金、银矿物获得更好的单体解离,并通过选矿使之富集于铜精矿中而获得回收。选矿试验结果也表明,当铜、硫混合精矿通过增加再磨工艺,金、银及铜的回收率均有所提高。

(2) 开展重-浮联合流程的试验研究 根据该区金矿物粒度相对较粗(如在重选样中 $\geq 50\mu\text{m}$ 的金粒占60.14%),现行入选粒度条件下即有55%~65%的单体金粒解离,占总金量10%以上的单体金流失于尾矿中的这一事实,是否可考虑先用重选回收部分粗粒单体金,然后再浮选回收铜、金、银,由此探寻提高金、银回收率的新工艺。

(3) 保持入选矿石质量的相对稳定 由于该区矿石类型多,矿石性质变化大,如含铜磁铁矿矿石硬度较大,而含铜花岗闪长岩矿石及含铜大理岩矿石的硬度则相对较低,两者混磨,后者易产生过磨和泥化;另外,有些含铜角砾状矿石和含铜菱铁矿矿石有一定程度的氧化和含有某些可溶性离子而改变选矿药剂的性质,所有这些因素都会对选矿指标带来较大的不利影响。因此,应加强对该区矿石进行工艺矿物学性质的研究和进行

矿石工艺类型的分类,并据此做好各类矿石的配矿工作,以保证入选矿石性质的相对稳定或根据矿石性质的变化而适时调整药剂条件,这样才有助于金、银回收率的稳定和提高。

(4) 其他措施 根据在磨矿中可解离出较多的单体金,并有相当一部分单体金损失于尾矿中的特点,通过技术改造和设备更新,采用搅拌力强、充气量大的浮选机,可改善金、银矿物的上浮和回收。另外,在经济合理和技术可行等条件下,通过适当延长浮选时间或适当增加加药点(如在球磨机内加药)、改善药剂条件等,以强化金、银的浮选和捕收,也可大大有利于金、银的回收。

通过上述研究表明,提高金银回收率的途径应主要根据金、银的赋存状态及其工艺矿物学性质来制定合适的工艺流程,而合理的工艺流程尚须辅以严格的技术操作和管理才能获得较理想的选矿指标。就凤凰山铜矿床伴生金、银的赋存特征而论,其金的回收率在现水平上可望提高5%~10%,而银的回收率则可能不会获得较大幅度的提高。

Occurrence of Associated Elements of Au and Ag and Their Comprehensive Recovery Methods in the Fenghuangshan Cu-deposit of Tongling

Li Yi, Liang Youbin

Gold and silver in this deposit mainly occur as independent minerals, in which the main Au minerals are electrum and native gold whereas there are five types of Ag minerals. According to the occurrence of Au and Ag and their mineralogical features in technology, some technical methods are presented for increasing the Au and Ag recovery in this paper.

