

含铜硫化金矿浸取的矿物学研究^①

曹昌琳 胡洁雪 龚 乾

(中国科学院化工冶金研究所, 北京 100080)

摘 要

在研究了用氨性硫代硫酸盐溶液浸取含铜硫化金矿的基础上, 进一步探讨了浸取过程中矿物物相的变化。通过扫描电镜、X射线粉末衍射、差热分析等检测方法, 结合浸取的实验结果, 查明了河台硫化金矿中金的赋存状态。用氨性硫代硫酸盐溶液浸取含铜硫化金矿时, 发现氨水对硫代硫酸盐的协同效应是提高金浸取率的根本原因。

关键词: 氨性硫代硫酸盐 含铜硫化金矿 赋存状态 协同效应

硫代硫酸盐浸金的条件及机理已有不少研究, 而有关浸取过程中矿物物相的变化情况至今尚未见报导。广东河台含铜硫化金矿的浮选精矿的含金量为 60 g/t。主要矿物为黄铁矿、黄铜矿、辉铜矿、蓝铜矿、孔雀石及褐铁矿。脉石主要为石英和方解石。金的赋存状态属于细粒分散状态。该精矿浸取后, 金浸出率达 97%。本文考察了浸取过程的矿物物相变化情况, 以便进一步查明金的分布及赋存状态, 改善提取方法。主要检测方法为扫描电镜进行形貌观察并做电子探针微区分析测定矿物组成, X射线粉末衍射法检测矿物物相的变化, 并辅以差热分析检测。

1 金的赋存状态

图1是河台金精矿矿物相的扫描电镜照片。从中可清晰地辨认出黄铁矿、黄铜矿、石英、硅酸盐等矿物相。经过多次仔细搜索, 没有发现显微可见金。

对于各矿相进行大复盖面的电子探针搜



图1 河台金精矿矿物相

1—黄铁矿; 2—石英;

3—黄铜矿; 4—铁矿; 5—硅酸盐

寻, 结果只在黄铁矿附近的微区分析中发现了金。电子束直径是 1 μm 左右, 分析结果中除金外还有其它基体成分伴随出现, 说明金的粒径小于 1 μm 。其它矿相中未能检测到金, 说明黄铁矿是主要的载金矿物。

图2是Z9号试验浸渣的扫描电镜照片。Z9试验的浸取条件如下: $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 4 mol/L, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.8 mol/L, 及 Cu^{2+} 5 g/L, 60 $^{\circ}\text{C}$, 浸

^① 本课题属于国家自然科学基金资助项目; 于 1992 年 12 月 7 日收到初稿

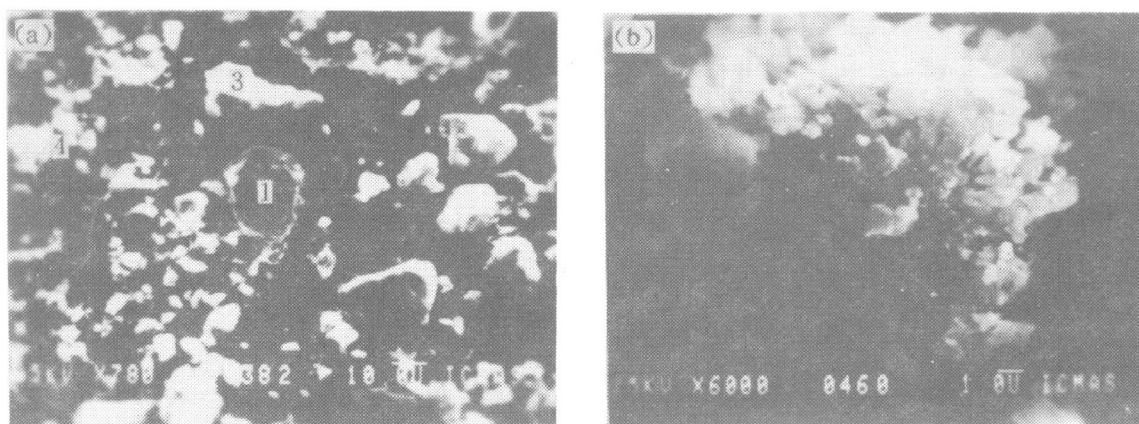
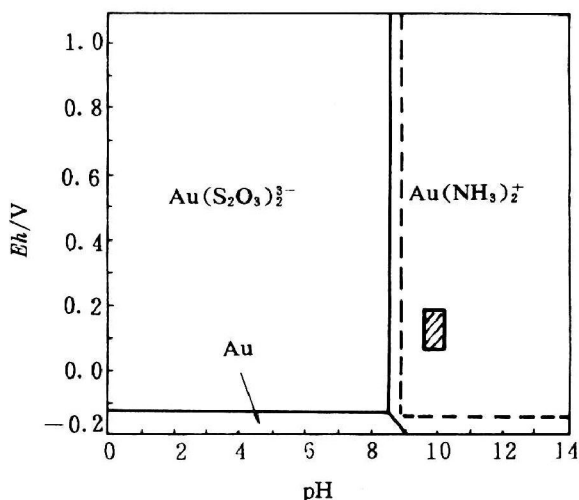


图2 Z9号试验浸渣矿物相

1—黄铁矿;2—石英;3—黄铜矿;4—金银矿

取2 h。金浸取率为22.6%与精矿的矿相对比,除仍含有黄铁矿、黄铜矿、石英等物相外,出现了一种很细的颗粒聚在一起的物相(图2(a)中的矿相4)其放大图为图2(b)。经电子探针在这些细粒上多点探测,发现金银的含量很高,而且很多微区都含有金银。元素分析的结果为铝、硅、硫、银、钾、铁、金。矿物相是钾长石和黄铁矿。上述结果表明,金精矿经氨性硫酸铵溶液浸取后,使金银细粒裸露出来了。Z9试验所用浸取液中仅含氨与硫酸铵,没有其它能与金生成稳定配合物的强配合剂如氰化物、硫代硫酸盐等。虽然从热力学的观点看,pH-Eh图(图3)表明在上述浸液中金可以与氨配合,但可能由于氨对金的配合能力较差,生成的金氨配合物不稳定。所以尽管金可以被裸露出来,但大部分未能进入浸液中而留在浸渣中。笔者曾进行过铜氨溶液浸金的系列正交试验^[1],结果表明在仅含氨、硫酸铵与铜离子的浸液中,金浸取率最高仅达22.9%。

图4是G1号试验浸渣的扫描电镜照片。该试验浸取条件为: $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 3 mol/L, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.8 mol/L, $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0.2 mol/L, Cu^{2+} 3 g/L, 60℃, 浸取1 h。金浸取率为97.4%。从照片中可分辨出黄铁矿、黄铜矿、石英、硅酸钾铝等矿物,经电子探针搜索未发现金,金已进入浸液中。G1试验不同于Z9试

图3 $\text{Au-NH}_3\text{-S}_2\text{O}_3^{2-}$ -pH-Eh条件: 5 mg/kg Au; 1 mol/L $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ 虚线—1 mol/L $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$;实线—3 mol/L $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$

验之处是加入了0.2 mol/L的 $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$,用以配合金使之进入溶液。

表1为不同浸取液的一组对比实验。从浸出结果看,在不含硫代硫酸盐的铜氨浸液中,金可以浸出一些,但浸取率很低。在不含氨水的浸液中,金不能浸出,而在硫代硫酸盐与氨水同时存在的浸取液中,金浸取率大大提高,可达97%以上,这充分说明二者的协同作用十分明显。结合扫描电镜分析结果可知氨性溶液能够浸蚀载金矿物,使包裹在其中的金银裸露

出来,然后与浸液中的强配合剂 $S_2O_3^{2-}$ 配合生成 $Au(S_2O_3)_2^{2-}$ 进入浸取液,二者缺一不可。这种协同效应十分有效,即使在很低的 $S_2O_3^{2-}$ 浓度下,也可达很高的金浸取率。



图4 G1 试验浸渣矿物相

1—黄铁矿;2—石英;3—硅酸盐相;4—黄铜矿

表1 不同浸液中的金浸取率

$NH_3 \cdot H_2O$ /mol · L ⁻¹	$(NH_4)_2SO_4$ /mol · L ⁻¹	$(NH_4)_2S_2O_3$ /mol · L ⁻¹	C_2^{2+} /g · L ⁻¹	T /C	金浸率 (%)
3	0.8	0	3	60	20.3
3	0.8	0.2	3	60	97.7
0	0	1.0	3	60	0

注:浸取时间均为 2h

2 载金矿物在浸取时的变化

硫化金矿主要的载金矿是黄铁矿。电子探针的检测表明在金、银存在的地方,往往有铁、铜、硫、钾、铝、硅等元素存在。扫描电镜的微区分析表明,矿中的铁与铜的矿物相有伴生现象(见图5)。

用 X 射线粉末衍射法检测浸取前后的结果表明经 G1 实验(条件如前述金浸率 97%)后浸渣中黄铜矿的峰强度有所下降,说明铜矿物在氨性溶液浸取过程中受到了破坏。

当采用只含硫代硫酸铵,不含 $NH_3 \cdot H_2O$ 的浸液进行浸取实验时,如 E5 实验,条件为: $(NH_4)_2S_2O_3$ 2.0 mol/L, Cu^{2+} 3g/L, 60℃, 浸取 2h。金浸取率为 0。E5 浸渣与原精矿的 X 射线衍射结果表明,各物相几乎完全一致,说明当

浸液中不含 $NH_3 \cdot H_2O$ 时,铜的矿物相不被破坏。虽然有 NH_4^+ 离子存,但没有影响。

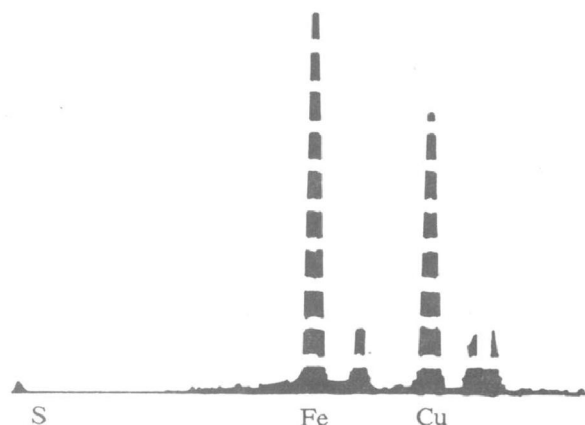


图5 金精矿中含铜、铁及少量硫的矿物相

综上所述,浸液中含 $NH_3 \cdot H_2O$ 时,浸取过程中铜矿物受到破坏,铜进入浸液后,矿物中留下了浸蚀后的孔隙,使包裹在其中或共生的黄铁矿中的金银裸露出来。

图 6(a)、(b)分别为浸取前后黄铁矿的形貌。可以看到经氨-硫代硫酸铵溶液浸取后,黄铁矿出现了较明显的浸蚀现象,颗粒变得疏松而多孔。还有一些黄铁矿颗粒的显微照片也表明了类似的现象。

由于精矿中孔雀石、斑铜矿、兰铜矿等铜矿物含量很少,在 X 射线衍射中不能检测出其变化情况。但是,可能这类铜矿物更容易被氨所浸蚀。

根据 X 射线检测结果,金精矿中其它矿物在浸取前后均无变化。

对精矿、G2 实验(其浸取条件与 G1 类似)和 Z4 实验(其浸取条件与 Z9 类似)浸渣进行了差热分析,结果表明黄铁矿成分在浸取前后无明显变化。

3 结论

(1) 河台含铜硫化金矿中主要载金矿物为黄铁矿,并与铜矿物及钾长石共存。

(2) 金在矿物中主要为细粒分散状,呈包裹态。金的颗粒粒度一般小于 1 μm,大部分呈



图6 浸取前后黄铁矿的形貌

(a)—金精矿中黄铁矿 (b)—G1 浸渣中黄铁矿

次显微或超显微不可见金存在。

(3)单纯氨-硫酸铵溶液浸取能够破坏铜矿物,使金银裸露出来,但对金的配合能力很差,浸取率仅为20%左右。

(4)单纯硫代硫酸铵溶液对金精矿不起作用,浸取前后各矿物相均无变化,浸金率为0。

(5)氨性硫代硫酸盐浸取液中氨与硫代硫酸盐的协同作用十分有效。在含氨3 mol/L,硫代硫酸盐0.2 mol/L以上的浸液中,金浸取率可达97%。可以认为浸取作用首先是氨将载金矿浸蚀使金银裸露出来,随后立即被硫代硫酸

盐配合而进入浸液中。

李书年、付玉珍、储绍彬参加了部分工作,在此向他们表示感谢。

参考文献

- 1 Cao Changlin, Hu Jiexue, Gong Qian. Randol Gold Forum—Vancouver, 92, Proceedings, 1992, 293—98.
- 2 梅津良之, 户尺一光. 黄金, 1984, 2: 52—57.
- 3 刘陶梅. 第五届全国工艺矿物学学术会议论文集, 1991: 34—41.