

# 高硅高铁含铜渣氧压酸浸过程

金炳界, 杨显万, 沈庆峰

(昆明理工大学材料与冶金工程学院, 云南 昆明 650093)

**摘要:** 对火法炼铅产高硅高铁含铜渣进行了氧压硫酸浸出过程研究. 结果表明, 浸出时间、氧分压、酸量、浸出温度和搅拌速度对 Cu 的浸出率和浸出液中 Fe 含量有显著影响, 溶液初始含  $\text{Cu}^{2+}$  量对 Cu 浸出率影响不明显. 最佳工艺条件为: 时间 2 h, 氧分压 0.8 MPa, 硫酸浓度 46.6 g/L, 温度  $(150 \pm 2)^\circ\text{C}$ , 搅拌速度 600 r/min, 复合絮凝剂 A 用量  $30 \sim 100 \text{ g/m}^3$ . 在该条件下, Cu 浸出率  $>95\%$ , 浸出液中  $\text{Fe} < 5 \text{ g/L}$ , 硫转化率  $20\% \sim 30\%$ , 料浆过滤速度约  $0.8 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ .

**关键词:** 铜渣; 高硅高铁; 氧压酸浸; 过滤; 铜; 回收

**中图分类号:** TF111.31; TF803.21; TF811

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-606X(2008)06-1085-07

## 1 前言

铅矿通常伴生金属铜, 在铅火法冶炼过程中, 铜进入粗铅. 粗铅火法精炼一般采用加硫除铜的方法脱铜, 所产浮渣经反射炉熔析后产出粗铅、铅冰铜和渣 3 种产品, 在生产中较难将铅冰铜与渣彻底分开, 从而形成含铜渣. 含铜渣中除了含铜、硫外还含一定量的铅、银等有价金属, 具有较高的综合回收价值. 目前, 这类物料一般采用火法-湿法联合工艺处理, 除不适合小规模生产外, 还有明显的缺陷: 金属回收率低、环境污染严重、工艺流程长、投资大、生产成本高等. 所以, 开发适于处理该类物料, 且经济效益好、环境污染少的新工艺具有重要的现实意义.

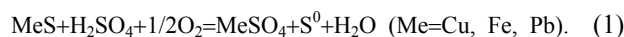
氧压浸出技术是一种全湿法冶金新技术, 具有料浆适应性强、金属回收率高、流程简单、环境污染少、投资及生产成本低等优点. 谢克强等<sup>[1]</sup>研究了多金属硫化矿浮选精矿的加压酸浸, 该精矿铅锌含量高, 铜含量低; 王北海等<sup>[2]</sup>研究了新疆某伴生锌砷的硫化铜矿在添加  $\text{Cl}^-$  条件下的加压浸出; 陈永强等<sup>[3]</sup>研究了锌铅混合精矿加压浸出过程; 赵宙等<sup>[4]</sup>研究了铜锌混合矿的加压浸出; 烟伟等<sup>[5,6]</sup>研究了混合铜矿的常压氨浸与高压氨浸; Marsden 等<sup>[7-10]</sup>详细介绍了铜精矿的氧压酸浸, 浸出温度  $150 \sim 160^\circ\text{C}$ ; Pandey 等<sup>[11]</sup>、Huang 等<sup>[12]</sup>对含 Cu, Ni, Co 复杂硫化物精矿的氧压酸浸进行了研究. 关于火法炼铅产高硅高铁含铜渣的氧压酸浸处理尚未见文献报道, 采用氧压酸浸可使该类物料中的铜进入溶液, 浸出液用于电积生产阴极铜, 而铅、银、部分铁、未被完全浸出的铜及浸出时生成的单质硫留在渣中, 渣可返回氧气底吹熔炼-鼓风机还原炼铅系统回收有价金属, 单质硫可

为其提供热源. 本工作对该类含铜渣的氧压酸浸过程进行了研究.

## 2 实验

### 2.1 实验原理

氧压硫酸浸出火法炼铅产高硅高铁含铜渣过程中, 渣中的金属硫化物将发生如下反应:



可以看出, 铜主要以  $\text{Cu}^{2+}$  的形式进入溶液, 铅转化为硫酸铅进入渣. 本研究体系中, 铁主要是以草黄铁矾的形式沉淀, 其生成反应为

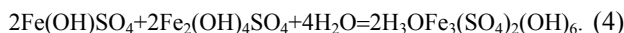


图 1 为  $298 \text{ K}$  下的  $\text{H}_3\text{OFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6 - \text{H}_2\text{O}$  系  $E - \text{pH}$  图. 从图可见, 当溶液  $0.85 < \text{pH} < 1.99$  时, 铁形成稳定的草黄铁矾沉淀, 可以部分除去浸出液中 As, Si 等有害元素. 在酸性尤其是有盐存在的情况下, 进入溶液的硅酸很不稳定, 硅酸分子首先由单分子硅胶聚合成双分子聚合物、三分子聚合物, 最后形成多分子聚合物而变成稳定的胶体溶液, 硅胶聚合过程如图 2 所示. 稳定的硅酸溶胶或硅凝胶将影响矿浆的过滤性能, 严重者将使液固分离完全停滞. 本工作采用中和-絮凝法脱除部分硅, 解决了该问题. 料浆经中和-凝聚作用后, 溶液中的硅酸以游离态的蛋白石 ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ )、硅灰石 ( $\text{Ca}_3\text{SiO}_5$ ) 及少量  $\beta$ -石英形式沉淀析出, 硅酸凝聚颗粒的粒度也显著增大.

收稿日期: 2008-06-30, 修回日期: 2008-10-17

基金项目: 云南省自然科学基金面上项目

作者简介: 金炳界(1980-), 男, 云南省陆良县人, 博士研究生, 主要从事冶金新技术及湿法冶金研究, Tel: 0871-5182554, E-mail: jinbingjie18@sina.com.cn; 杨显万, 通讯联系人, E-mail: yangxianwan@sina.com.cn.

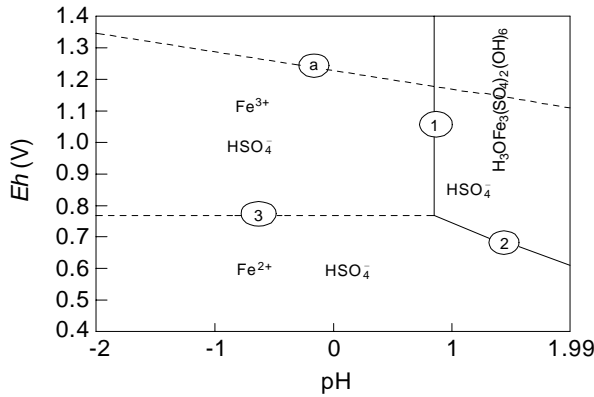


图 1 298 K 温度下  $H_3OFe_3(SO_4)_2(OH)_6-H_2O$  系  $Eh-pH$  图  
Fig.1  $Eh-pH$  diagram of  $H_3OFe_3(SO_4)_2(OH)_6-H_2O$  system at 298 K

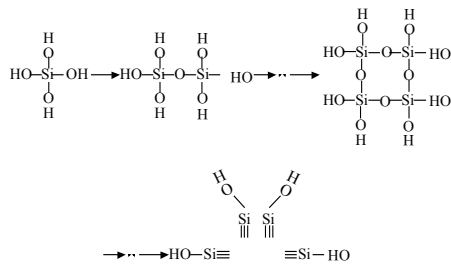


图 2 硅胶聚合过程  
Fig.2 Polymerization process of silica gel

2.2 实验原料

实验所用原料为粗铅火法精炼所产浮渣经反射炉熔析后产出的含铜渣，成分见表 1，物相分析结果见表 2，粒度分布见表 3。从表 1 可见，该原料除含 Cu、Pb、Fe、S 和 Ag 外，还含有高达 5.45%的  $SiO_2$ ，硅的存在将影响料浆的过滤性能。从表 2 可见，该原料主要以硫化物的形式存在。从表 3 可见，该原料<100 目(150  $\mu m$ )的颗粒占 90%。

表 1 原料的化学成分

Table 1 Chemical composition of the copper slag (%、 $\omega$ )

Cu	Pb	Fe	S	$SiO_2$	As	Sb	Ag (g/t)
24.43	19.22	12.17	10.7	5.45	2.33	0.23	280.88

表 2 原料主要元素的物相分析

Table 2 Phase percentages of primary elements in copper slag

Phase	Sulfide (%、 $\omega$ )	Oxide (%、 $\omega$ )	Metal and alloy (%、 $\omega$ )
Cu	99.26	0.72	<0.02
Pb	49.24	48.53	<2.23

表 3 原料粒度分布

Table 3 Average particle size distribution of the slag sample

Mesh	Percentage (%)
+100 (150 $\mu m$ )	9.5
-100~+200 (75~150 $\mu m$ )	24.9
-200 (75 $\mu m$ )	65.6

2.3 实验设备

加压浸出实验主要设备是 GSHAT-2 型 2 L 衬钛加

压釜(山东威海鑫泰化工设备厂)，工作温度 $\leq 300^\circ C$ ，工作压力 $\leq 10.0 MPa$ 。釜上设有通氧阀门、取样阀门、爆破安全阀门及压力表，为垂直式皮带传递作业方式，釜盖与釜体通过六角螺栓固定封紧，其结构见图 3，加压浸出设备连接图见图 4。

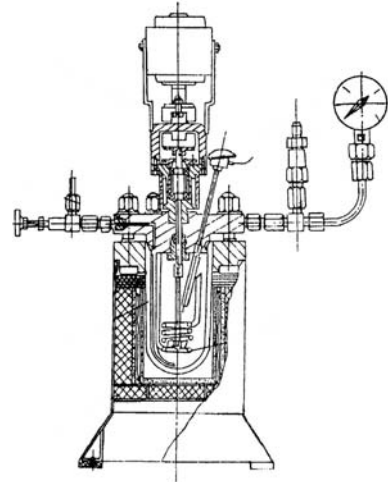


图 3 2 L 加压釜结构图  
Fig.3 Structure drawing of 2 L autoclave

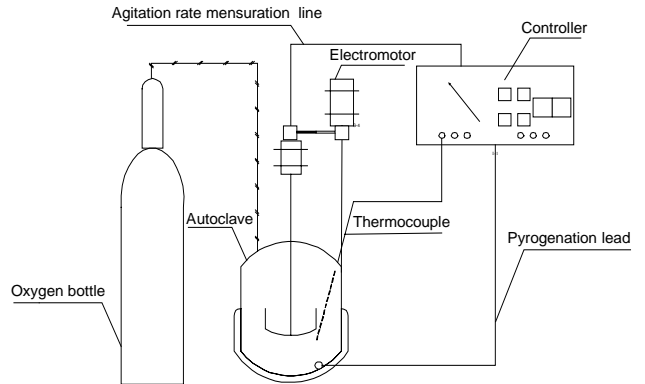


图 4 加压浸出设备连接图  
Fig.4 Connection layout of pressure leaching equipment

2.4 实验方法

实验由高硅高铁含铜渣氧压酸浸和浸出料浆中和-絮凝过滤两部分组成。

含铜渣氧压酸浸：称取 100 g 料样及 0.8 g 木质素磺酸钠加入到高压釜中，木质素磺酸钠用于破坏单质硫对未反应完全料样的包裹，然后加入 1 L 一定酸度的硫酸溶液调浆，待料浆表层泡沫散尽后密封高压釜，开启高压釜控制仪加热升温，待温度升到实验设定温度时连续通氧并计时，实验过程中用冷却水冷却和电加热调节反应温度，使温度波动范围控制在 $\pm 2^\circ C$ 。反应到达设定时间后结束实验，立即通冷却水快速降温，拆卸传动装置、测温装置及测速装置，关闭冷却水，将高压釜胆取

出, 用自来水快速冷却, 待温度降至  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  以下后将釜胆中气体完全排放, 开启釜盖, 取出釜胆, 用真空泵抽滤出浸出浆液. 将浆液过滤, 反复洗涤滤渣, 待冷却至室温后, 分别测量浸出液和洗水体积并取样用于分析 Cu, Fe, 浸出渣烘干后取样用于分析 Cu, Pb, Ag, S. 实验中液固比均为  $10\text{ mL/g}$ , 添加剂质量均为料样质量的  $0.8\%$ . 单因素条件实验过程中保持其他实验条件不变.

浸出料浆中和-絮凝过滤: 氧压酸浸结束后浸出料浆冷却出槽, 置于烧杯中, 在电炉上加热并保持温度在  $(80\pm 5)\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 在搅拌下缓慢加入 CaO 粉末并不断测定料浆 pH, 待 pH 达到设定值后, 停止加入 CaO, 加入复合絮凝剂 A, 过滤.

### 3 结果与讨论

#### 3.1 浸出时间的影响

浸出时间对 Cu 浸出率有很大影响, 随着浸出时间的延长浸出率一般增加. 时间过长, 浸出率增加很小, 但明显增加了生产周期, 降低了生产效率. 图 5 为 Cu 浸出率及浸出液中 Fe 含量随时间的变化. 固定实验条件: 料样  $100\text{ g}$ , 液固比  $10\text{ mL/g}$ , 氧压  $0.8\text{ MPa}$ , 温度  $(150\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 起始酸浓度  $46.6\text{ g/L}$ , 添加剂  $0.8\text{ g}$ , 搅拌转速  $600\text{ r/min}$ .

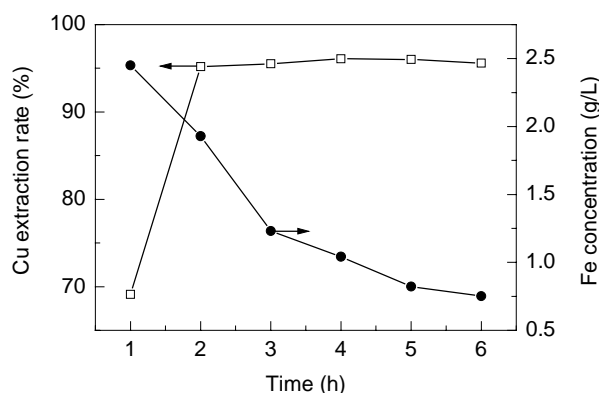


图 5 Cu 浸出率随时间的变化  
Fig.5 Effect of leaching time on Cu extraction rate

从图 5 可以看出, Cu 的浸出率随时间的延长而增加. 在实验的前 2 h, Cu 的浸出率呈快速上升趋势, 在 1 h 时 Cu 的浸出率为  $69.1\%$ , 2 h 时为  $95.2\%$ , 2 h 之后 Cu 的浸出率没有明显变化, 但都大于  $95\%$ ; 浸出液中 Fe 含量随着时间的延长不断下降. 综合来看, 加压浸出时间控制在 2 h 较合理, 既能保证高的 Cu 浸出率又能将浸出液中的 Fe 降低到较低水平.

#### 3.2 氧分压的影响

氧压浸出, 氧气是先溶解在溶液中然后才与固体反应物作用的, 提高氧压可增加氧气在溶液中的溶解度,

同时可以增大氧电极电位, 从而增大氧气与硫化物氧化反应之间的电位差, 使硫化矿物的氧压浸出更容易进行. 图 6 为 Cu 浸出率随氧压的变化, 氧压从  $0.6\text{ MPa}$  到  $1.0\text{ MPa}$ , 其他实验条件同 3.1. 从图可以看出, Cu 的浸出率随氧分压的增加而增加, 在氧压为  $0.6\text{ MPa}$  时 Cu 浸出率为  $71.1\%$ , 氧压为  $0.7\text{ MPa}$  时 Cu 浸出率为  $89.6\%$ , 当氧压继续增加到  $0.8\text{ MPa}$  时, Cu 浸出率已达  $95.2\%$ , 而继续加大压力至  $1.0\text{ MPa}$ , Cu 浸出率为  $96.0\%$ , 较氧压为  $0.8\text{ MPa}$  时增长不大. 综合来看, 控制氧压为  $0.8\text{ MPa}$  较合适, 在此氧压下,  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  时釜体内总压力为  $1.2\sim 1.3\text{ MPa}$ .

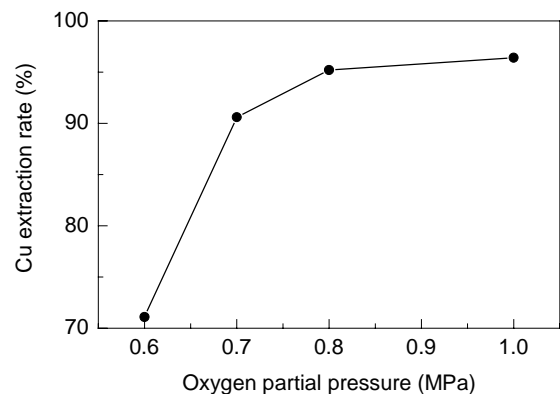


图 6 Cu 浸出率随氧压的变化  
Fig.6 Effect of oxygen partial pressure on Cu extraction rate

#### 3.3 酸浓度的影响

在氧压浸出过程中, 酸浓度是非常重要的, 浓度大或小都达不到理想的浸出效果, 且影响整个系统的酸平衡. 图 7 为硫酸浓度对浸出的影响, 其他实验条件不变.

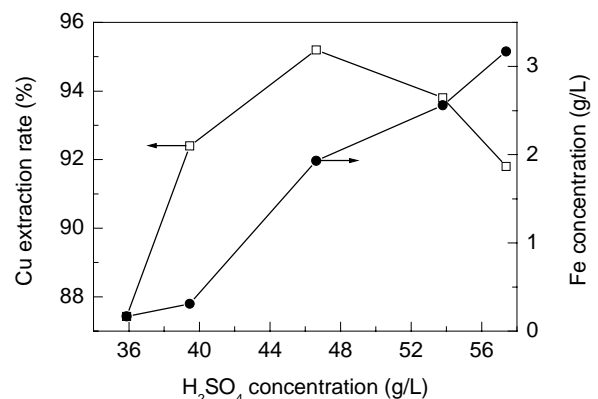


图 7 硫酸浓度对浸出的影响  
Fig.7 Effect of sulfuric acid addition on Cu extraction rate and iron concentration

图 7 表明, Cu 的浸出率先随着酸浓度的增加而升高, 然后降低, 硫酸浓度太大 Cu 的浸出率反而下降是因为浸出渣中出现了黑色结块, 主要为单质硫和铜的硫化物, 含 Cu  $37\%$ , S  $53.62\%$ . 这是硫化物加压浸出过程

中常见的硫包裹现象. 硫的熔点是  $119^{\circ}\text{C}$ , 超过该温度后硫就开始变为液态, 液态硫在搅拌条件下将覆盖在未反应完全的硫化物表面甚至渗入孔隙内, 从而大大增加了浸出液的扩散阻力, 使浸出过程难以进行, 从而生成黑色结块. 根据  $\text{S-H}_2\text{O}$  系  $Eh\text{-pH}$  图<sup>[13]</sup>, 酸浓度偏高有利于元素硫的生成. 浸出液中  $\text{Fe}$  含量随着酸浓度的增加一直增加. 综合来看, 初始酸浓度为  $46.6\text{ g/L}$  较为合理, 该浓度下既能获得高的  $\text{Cu}$  浸出率, 又能使浸出液中的  $\text{Fe}$  含量保持在较低水平.

### 3.4 温度的影响

温度在加压氧浸过程中起着重要的作用, 通常升高温度能使浸出率增加, 因为温度升高可以改良反应的动力学; 但温度太高, 将增加能耗, 同时增加蒸汽压力, 加大釜的操作难度. 自来水和  $150\text{ g/L H}_2\text{SO}_4$  水溶液在  $2.0\text{ L}$  加压釜中蒸汽压随温度的变化如图 8 所示, 从图可看出, 在  $150^{\circ}\text{C}$  附近, 水和  $150\text{ g/L H}_2\text{SO}_4$  水溶液的蒸汽压均为  $0.4\text{ MPa}$  左右.

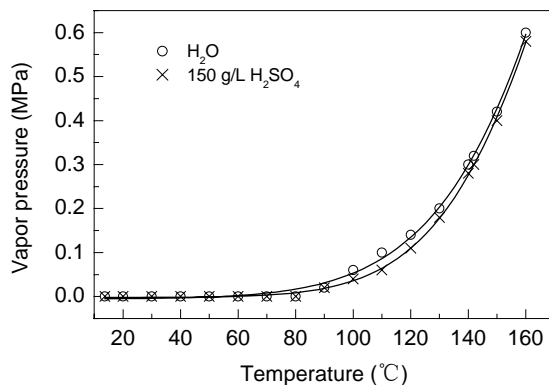


图 8 自来水和  $150\text{ g/L H}_2\text{SO}_4$  水溶液的蒸汽压与温度的关系  
Fig.8 Relationships of vapor pressure with temperature in water and  $150\text{ g/L H}_2\text{SO}_4$

图 9 为氧压浸出温度与  $\text{Cu}$  浸出率和浸出液  $\text{Fe}$  含量的关系, 其他实验条件不变. 从图可以看出,  $\text{Cu}$  的浸出率随温度的升高而增加, 在  $120\sim 130$  和  $150\sim 160^{\circ}\text{C}$  温度间,  $\text{Cu}$  的浸出率随温度的升高稍有增加; 在  $130\sim 150^{\circ}\text{C}$  间,  $\text{Cu}$  的浸出率随温度升高呈直线上升, 当温度为  $150^{\circ}\text{C}$  时,  $\text{Cu}$  的浸出率已大于  $95\%$ , 而  $160^{\circ}\text{C}$  时  $\text{Cu}$  的浸出率较  $150^{\circ}\text{C}$  时无显著增长. 在所作实验的温度条件下, 浸出液的  $\text{Fe}$  含量随温度的升高而降低, 温度为  $150^{\circ}\text{C}$  时, 浸出液的  $\text{Fe}$  含量由  $130^{\circ}\text{C}$  时的  $3.61\text{ g/L}$  降低为  $1.92\text{ g/L}$ , 原因是随着温度的升高  $\text{Fe}$  发生了沉淀. 综合来看, 加压浸出温度控制在  $150^{\circ}\text{C}$  较合理.

### 3.5 搅拌速度的影响

搅拌的主要作用在于促进动量、热量和质量传递. 浸出过程中搅拌能使固体反应物颗粒均匀地悬浮于溶液

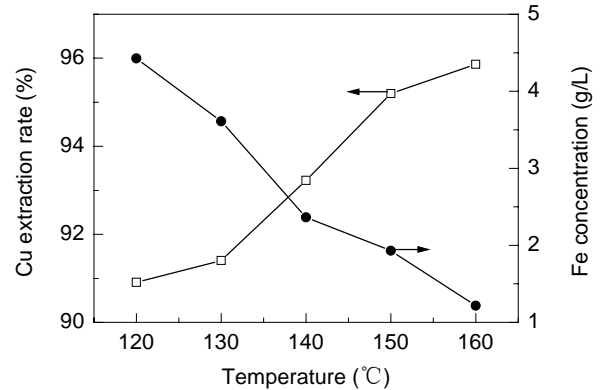


图 9 浸出温度与  $\text{Cu}$  浸出率和浸出液  $\text{Fe}$  含量的关系  
Fig.9 Effect of leaching temperature on  $\text{Cu}$  extraction rate and iron concentration

中, 及时充分地液相反应物发生作用, 能使固体反应物的边界层厚度变薄, 降低边界层扩散阻力, 增加反应物的扩散速度和生成物的离散速度, 使溶液中液相反应物、液相产物的浓度和溶液温度迅速扩散达到均匀. 搅拌速度对浸出率的影响结果还可以用来判断反应的控制步骤, 当浸出过程受扩散控制时, 搅拌强度对反应速率的影响十分显著, 而温度的影响不明显.

图 10 为搅拌转速与  $\text{Cu}$  浸出率和浸出液  $\text{Fe}$  含量的关系, 其他实验条件不变. 由图可见,  $\text{Cu}$  浸出率随搅拌转速的增加而升高. 当搅拌转速在  $500\text{ r/min}$  以下时, 搅拌转速对  $\text{Cu}$  的浸出率影响非常显著,  $\text{Cu}$  浸出率随搅拌转速呈直线上升, 搅拌转速为  $500\text{ r/min}$  时,  $\text{Cu}$  浸出率为  $93.8\%$ , 较搅拌转速  $300\text{ r/min}$  时的  $\text{Cu}$  浸出率 ( $54.27\%$ ) 增长了近  $40\%$ ; 搅拌转速大于  $500\text{ r/min}$  后, 对  $\text{Cu}$  浸出率影响不显著. 浸出液的  $\text{Fe}$  含量随搅拌转速的增加而降低. 综合来看, 搅拌速度控制在  $600\text{ r/min}$  较为合适.

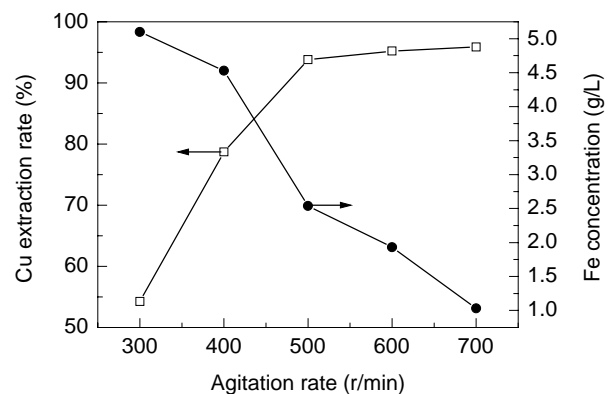


图 10 搅拌转速与  $\text{Cu}$  浸出率和浸出液  $\text{Fe}$  含量的关系  
Fig.10 Effect of agitation speed on  $\text{Cu}$  extraction rate and iron concentration

### 3.6 初始 $\text{Cu}^{2+}$ 浓度的影响

在后续工序中, 将含  $\text{Cu}^{2+}$  的电积废液返回浸出料

样,  $\text{Cu}^{2+}$  的存在可能起到电子传递的作用, 因此, 用  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  配制不同浓度的溶液进行浸出实验。

图 11 为溶液初始  $\text{Cu}^{2+}$  含量对 Cu 浸出率的影响, 其他实验条件不变。从图可以看出, Cu 浸出率受浸出溶液  $\text{Cu}^{2+}$  浓度的影响不明显。考虑到溶液  $\text{Cu}^{2+}$  的饱和溶解度和后续电积工序, 用于浸出料样的废电积液含  $\text{Cu}^{2+}$  25 g/L 较合适。

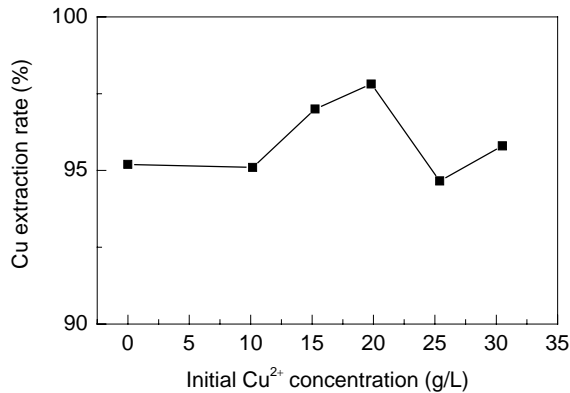


图 11 溶液  $\text{Cu}^{2+}$  初始含量对 Cu 浸出率的影响  
Fig.11 Effect of initial  $\text{Cu}^{2+}$  concentration on Cu extraction rate

### 3.7 料浆过滤性能

硅酸盐在浸出时溶出, 容易形成溶胶, 甚至凝胶, 给沉降和过滤操作带来极大的困难。如何很好地解决由硅引发的过滤难问题已引起广大冶金工作者的重视, 而解决这一问题的根本原则可归结为两个方面<sup>[14,15]</sup>, 即矿石浸出时避免或尽量阻止溶胶的形成, 以及当矿浆中溶胶形成后促使其有效沉降分离、改善过滤性能。

本研究体系物料含 Si 高, 在酸浸出过程中 Si 易形成硅胶影响料浆过滤。据此, 对料浆的过滤进行了实验研究。

#### 3.7.1 新液浸出

实验条件为: 氧压 0.8 MPa, 温度 150 °C, 起始酸浓度 46.6 g/L, 时间 2 h, 搅拌转速 600 r/min。主要考察了复合絮凝剂 A 用量对过滤性能的影响, 实验结果如图 12 所示。从图可以看出, 在实验条件下, 料浆过滤性能和 Cu 浸出率无明显变化, 料浆过滤速度约为  $0.8 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ , Cu 浸出率大于 95%。为降低生产成本, 避免水质恶化, 宜将复合絮凝剂 A 的使用降低到最少, 经多次重现性实验得出, 工业应用中复合絮凝剂 A 的用量为  $30 \sim 100 \text{ g/m}^3$ 。

#### 3.7.2 废液返回浸出

随着循环过程的不断进行, 溶液中的 Si 会发生累积, 同时 pH 值也会不断发生变化, 与新液浸出过滤相比, 废液浸出给料浆的过滤增加了更大的困难。多次实验表明, 仅加入絮凝剂不能解决难过滤的问题, 故研究

了中和-絮凝实验, 以 CaO 为中和剂, 同时使用复合絮凝剂 A。

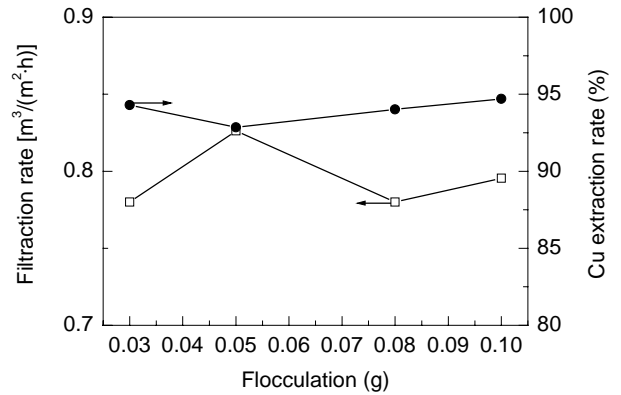


图 12 复合絮凝剂 A 添加量对过滤性能的影响  
Fig.12 Effect of composite flocculation A on filtration performance

中和-絮凝实验主要考察了 Cu 浸出率和料浆过滤性能与料浆终点 pH 的关系。实验条件为: 氧压 0.8 MPa、温度 150 °C、新加  $\text{H}_2\text{SO}_4$  26 mL、时间 2 h、搅拌转速 600 r/min, 用于浸出的废液含 Cu 20~25 g/L,  $\text{SiO}_2$  1~4 g/L,  $\text{Fe} < 5 \text{ g/L}$ , pH 约为 0.7。图 13 为中和-絮凝实验结果。从图可看出, 随着 pH 值的升高, Cu 浸出率呈缓慢降低的趋势; 在实验的 pH 值范围内, 料浆过滤性能良好。这是因为在硅酸的等电点  $\text{pH}=2$  附近硅酸最稳定, 聚合速率最小, 主要以单体的形式存在, 同时由于中和剂脱出了部分 Si, 故过滤性能良好。当  $\text{pH} > 2$  或  $\text{pH} < 1$  时, 硅酸聚合的速率增大, 并生成体积庞大、疏松的网状结构, 这对过滤不利。故宜将 pH 值控制在 1.5 附近, 有利于提高生产率、降低中和剂用量, 降低生产成本。

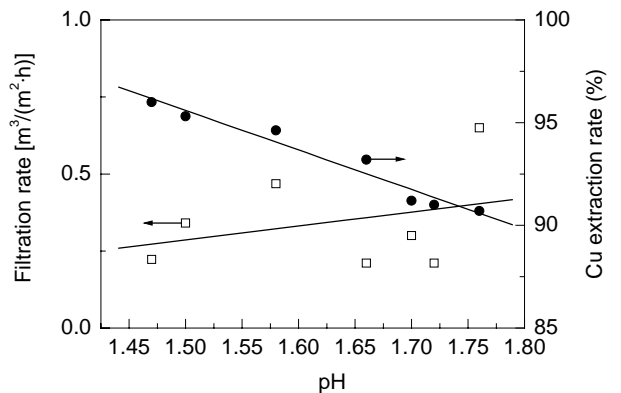
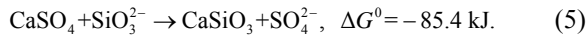


图 13 中和-絮凝实验结果  
Fig.13 Result of neutralization-flocculation

在中和凝聚料浆过程中, CaO 主要起两个作用, 一是调节料浆的 pH 值, 二是脱出溶液中的硅, 其中部分硅以硅灰石( $\text{Ca}_3\text{SiO}_2 \cdot \text{O}_7$ )的形式沉降析出, 硅灰石是硅酸钙发生了晶相转变的物种, 硅酸钙形成的反应如下:



从式(5)可以看出,中和过程中生成的  $\text{CaSO}_4$  将与  $\text{SiO}_3^{2-}$  发生反应生成  $\text{CaSiO}_3$ , 此反应的标准 Gibbs 自由能远小于 0, 说明该反应有可能发生。

## 4 工艺流程

经过系统的实验研究,氧压酸浸工艺处理高硅高铁含铜渣的推荐工艺流程如图 14 所示。该工艺具有流程短、环境污染少、原料适应性强、金属回收率高、规模可大可小、投资及生产成本低等优点,具有明显优越性。

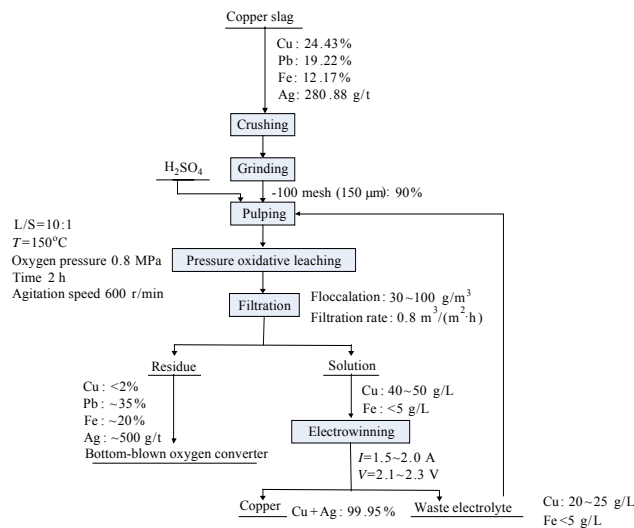


图 14 工艺流程图

Fig.14 Flowsheet of the process for recovery of copper from copper slag by pressure oxidative leaching

做 3 组重现性浸出实验计算金属 Cu 平衡, 新液浸出及其浸出液返回浸出料样为一组, 共 6 个浸出实验, 2 次浸出后, 3 组实验的浸出液  $\text{Cu}^{2+}$  浓度为 41.2 g/L, 能满足 Cu 电积的需求, Cu 浸出率为 95.6%; 6 个浸出渣合并、烘干、混匀分析 Cu 含量, 含 Cu 1.78%, Cu 浸出率为 96.0%。金属 Cu 平衡率(浸出液含 Cu 量加浸出渣含 Cu 量除以料样含 Cu 量)为 99.5%, 故金属 Cu 平衡误差 0.5%。

## 5 结论

(1) 氧压酸浸工艺适于处理火法炼铅产高硅高铁含铜渣, 该工艺具有流程短、环境污染少、原料适应性强、金属回收率高、规模可大可小、投资及生产成本低等优点。

(2) 氧压酸浸火法炼铅产高硅高铁含铜渣, 浸出时间、氧分压、酸浓度、浸出温度和搅拌速度对 Cu 浸出率和浸出液中 Fe 含量影响显著, 溶液初始含 Cu 量对

Cu 浸出率影响不明显。

(3) 氧压酸浸最佳工艺条件为: 时间 2 h, 氧分压 0.8 MPa, 酸浓度 46.6 g/L, 温度(150±2)°C, 搅拌速度 600 r/min, 复合絮凝剂 A 用量 30~100 g/m<sup>3</sup>。在该条件下, Cu 的浸出率>95%, 浸出液 Fe<5 g/L, S 转化率 20%~30%, 料浆过滤速度约 0.8 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h)。

(4) 在中和-絮凝温度、复合絮凝剂 A 用量和搅拌速度固定的条件下, pH 值对料浆的过滤性能有显著影响, 在中和终点 pH=1.5 左右料浆过滤性能良好, Cu 浸出率>95%, 随 pH 值升高, Cu 浸出率呈缓慢降低的趋势。

## 参考文献:

- [1] 谢克强, 杨显万, 舒毓璋, 等. 多金属硫化矿浮选精矿加压酸浸研究 [J]. 有色金属(冶炼部分), 2006, (4): 6-9.
- [2] 王海北, 蒋开喜, 张邦胜, 等. 新疆某复杂硫化铜矿低温低压浸出工艺研究 [J]. 有色金属, 2004, 56(3): 52-56.
- [3] 陈永强, 张寅生, 尹飞, 等. 铅锌混合精矿加压浸出过程研究 [J]. 有色金属, 2003, 55(4): 57-60.
- [4] 赵宙, 李小康. 铜锌混合矿加压浸出的试验研究 [J]. 中国有色冶金, 2006, (3): 28-30.
- [5] 烟伟. 混合铜矿的高压氨浸工艺 [J]. 化工冶金, 2000, 21(4): 403-406.
- [6] 烟伟. 混合铜矿的常压氨浸与高压氨浸 [J]. 湿法冶金, 2001, 20(2): 76-78.
- [7] Marsden J O, Wilmot J C, Hazen N. Medium-temperature Pressure Leaching of Copper Concentrates: Part I. Chemistry and Initial Process Development [J]. Miner. Metall. Process., 2007, 24(4): 193-204.
- [8] Marsden J O, Wilmot J C, Hazen N. Medium-temperature Pressure Leaching of Copper Concentrates: Part II. Development of Direct Electrowinning and an Acid-autogenous Process [J]. Miner. Metall. Process., 2007, 24(4): 205-217.
- [9] Marsden J O, Wilmot J C, Mathern D R. Medium-temperature Pressure Leaching of Copper Concentrates: Part III. Commercial Demonstration at Bagdad, Arizona [J]. Miner. Metall. Process., 2007, 24(4): 218-225.
- [10] Marsden J O, Wilmot J C, Smith R J. Medium-temperature Pressure Leaching of Copper Concentrates: Part IV. Application at Morenci, Arizona [J]. Miner. Metall. Process., 2007, 24(4): 226-236.
- [11] Pandey B D, Bagchi D, Kumar V, et al. Pressure Sulphuric Acid Leaching of a Sulphide Concentrate to Recover Copper, Nickel and Cobalt [J]. Trans. Inst. Min. Metall., Sect. C: Miner. Process. Extract. Metall., 2002, 111: 106-109.
- [12] Huang K, Li Q W, Chen J. Recovery of Copper, Nickel and Cobalt from Acidic Pressure Leaching Solutions of Low-grade Sulfide Flotation Concentrates [J]. Miner. Eng., 2007, 20(7): 722-728.
- [13] Pourbaix M. Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions [M]. Houston: National Association of Corrosion Engineers, 1974. 550-551.
- [14] 梅光贵, 王德润, 周敬元, 等. 湿法冶金学 [M]. 长沙: 中南大学出版社, 2001. 183.
- [15] 徐鑫坤, 魏昶. 锌冶金学 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 1996. 72.

## Investigation on Pressure Oxidative Leaching of Copper Slag with High Iron and Silicon Content

JIN Bing-jie, YANG Xian-wan, SHEN Qing-feng

*(Faculty Mater. Metall. Eng., Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan 650093, China)*

**Abstract:** The pressure oxidative leaching of copper slag with high iron and silicon content was studied systematically. The results show that the effects of leaching time, oxygen partial pressure, acid dosage, leaching temperature and agitation rate are predominant, and the initial  $\text{Cu}^{2+}$  concentration not remarkable. The optimal technological conditions are obtained: leaching time 2 h, oxygen partial pressure 0.8 MPa, acid concentration 46.6 g/L, temperature  $(150\pm 2)^\circ\text{C}$ , agitation speed 600 r/min and flocculation composite A 30~100 g/m<sup>3</sup>. Under these conditions, the extraction rate of Cu is over 95%, the concentration of Fe less than 5 g/L, the yield of S 20%~30% of total sulfur mass, and the filtration rate of magma about 0.8 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h).

**Key words:** copper slag; high iron and silicon; pressure oxidative leaching; filtration; copper; recovery