

硫精矿焙烧、浸出提金试验研究^①

杨孟华^{1,2}, 杨洪玉³, 朱晓玉², 张世文⁴, 田丰²

(1.合肥工业大学资源与环境工程学院,安徽合肥 230002; 2.安徽长之源环境工程有限公司,安徽合肥 230051; 3.安徽金鼎矿业有限公司,安徽合肥 231500; 4.安徽理工大学,安徽合肥 232001)

摘要: 对某硫精矿进行了焙烧、浸出试验研究,比较了固定床焙烧和沸腾焙烧对金浸出率的影响。结果表明,固定床焙烧适宜条件为:硫精矿粒度-0.074 mm 粒级含量 80%、焙烧温度 650 °C、焙烧时间 4 h,沸腾焙烧适宜条件为:硫精矿粒度-0.074 mm 粒级含量 80%、焙烧温度 650 °C、焙烧时间 3 h、焙烧气料比 2.1 m³/kg。2种焙烧方式所得焙砂在矿浆浓度 33%、矿浆 pH 值 11.5、碱处理时间 2 h、CG505 用量 10 kg/t 条件下浸出 24 h,金浸出率分别为 69.45%和 69.92%,沸腾焙烧提金效果更佳。研究结果可为从硫精矿中回收有价元素提供技术依据。

关键词: 硫精矿; 沸腾焙烧; 固定床焙烧; 金

中图分类号: TF831

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.0253-6099.2023.03.028

文章编号: 0253-6099(2023)03-0124-04

Experimental Study on Gold Extraction from Sulfur Concentrate by Roasting and Leaching

YANG Menghua^{1,2}, YANG Hongyu³, ZHU Xiaoyu², ZHANG Shiwen⁴, TIAN Feng²

(1.School of Resources and Environmental Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230002, Anhui, China; 2.Anhui Changzhiyuan Environmental Engineering Co Ltd, Hefei 230051, Anhui, China; 3.Anhui Jinding Mining Co Ltd, Hefei 231500, Anhui, China; 4.Anhui University of Science and Technology, Hefei 232001, Anhui, China)

Abstract: Experiments of roasting and leaching of some sulfur concentrate were performed, and the effects of two schemes with fixed bed roasting and fluidized bed roasting on gold extraction were analyzed. The results showed that with the sulfur concentrate at a sizing of 80% -0.074 mm, the proper conditions for a fixed bed roasting included a roasting temperature of 650 °C and roasting time of 4 h; while the proper conditions for a fluidized bed roasting included a roasting temperature of 650 °C and roasting time of 3 h, roasting gas and material in a ratio of 2.1 m³/kg. The calcines obtained by these two roasting methods were then separately leached for 24 h with the slurry concentration of 33% and pH of 11.5, 2 h alkali treatment and CG505 dosage of 10 kg/t, resulting in the leaching rate of gold reaching 69.45% and 69.92% respectively. It is shown that the fluidized bed roasting can bring in a better gold extraction result. This research results can provide a technical basis for recovery of valuable elements from sulfur concentrate.

Key words: sulfur concentrate; fluidized bed roasting; fixed bed roasting; gold

硫精矿是硫化矿浮选的产物,主要成分是黄铁矿,其中含有一定量的铁、金、银等有价金属^[1-2]。目前大部分研究主要关注矿石中铁、铜、砷等元素的回收^[3-5],对金、银回收研究不多。本文采用2种不同焙烧工艺,通过焙烧、浸出试验研究提高硫精矿中金回收率的工艺方法,可为从硫精矿中回收金提供新思路。

1 原料性质和研究方法

1.1 原料性质

试验用硫精矿样品化学多元素分析结果见表1。结果表明,硫精矿中Fe和S含量分别为43.32%及48.66%,主要以硫化铁(黄铁矿)形式存在。硫精矿中还含有

① 收稿日期: 2022-12-22

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2020YFC1908601); 安徽省自然资源科技资助项目(2020-K-8)

作者简介: 杨孟华(1999—),男,山西临汾人,硕士,主要研究方向为矿山资源利用。

通信作者: 田丰(1977—),男,安徽宿松人,博士,正高级工程师,主要研究方向为环境影响评价、环境管理等。

少量 As、Al₂O₃、CaO 等。金和银品位分别为 0.90 g/t 和 2.41 g/t。

表 1 硫精矿化学多元素分析结果(质量分数) %

Au ¹⁾	Ag ¹⁾	As	Fe	S	Al ₂ O ₃	CaO	C	MgO
0.90	2.41	0.12	43.32	48.66	0.73	0.7	0.55	0.33

1) 单位为 g/t。

利用 MLA 系统对硫精矿样品主要成分进行定量分析,结果见表 2。由表 2 可知,硫精矿中金属硫化物含量较高,占 94.35%;金属氧化物为磁铁矿和赤铁矿;脉石矿物含量很少,合计占 3.90%。

表 2 硫精矿组成及其含量

矿物名称	含量/%	矿物名称	含量/%
黄铁矿	93.08	钾长石、斜长石	1.36
磁黄铁矿	1.11	白云石、方解石	0.86
黄铜矿	0.14	石榴石	0.86
毒砂	0.01	石英	0.73
方铅矿	0.01	金红石	0.05
磁铁矿、赤铁矿	1.48	黑云母	0.04

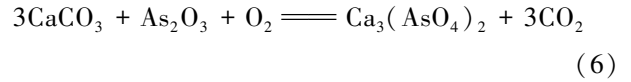
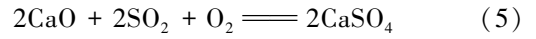
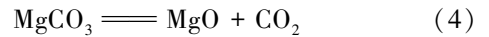
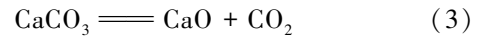
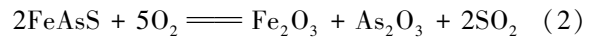
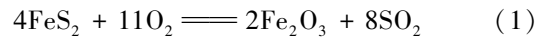
对硫精矿样品进行富集,将得到的重砂在体视显微镜下检测,金矿物粒度检测结果见表 3。由表 3 可知,硫精矿中金矿物粒度整体较细,绝大多数金矿物粒度小于 0.010 mm,且多被金属硫化物包裹。这部分金矿物由于粒度细,在焙烧后仍可能被金属氧化物紧密包裹,无法回收,另外小部分的粗粒金可能需要延长浸出时间或增加浸出药剂才能将其彻底浸出,对后续金的回收效率会有一定影响。

表 3 金矿物粒度检测结果

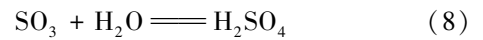
粒级/mm	相对含量/%
-0.074+0.053	2.32
-0.053+0.037	1.21
-0.037+0.010	1.96
-0.010+0.005	94.51
合计	100.00

1.2 试验原理

焙烧的氧化作用可使矿石中载金硫化物氧化分解,在矿物结构中形成微小空隙,这种孔隙结构的氧化物为金的浸出创造了有利条件,使矿物中的金得到有效回收;同时焙烧能够消除矿物中劫金物质的影响,进一步提高金回收率。在硫精矿焙烧过程中会发生的化学反应如下:

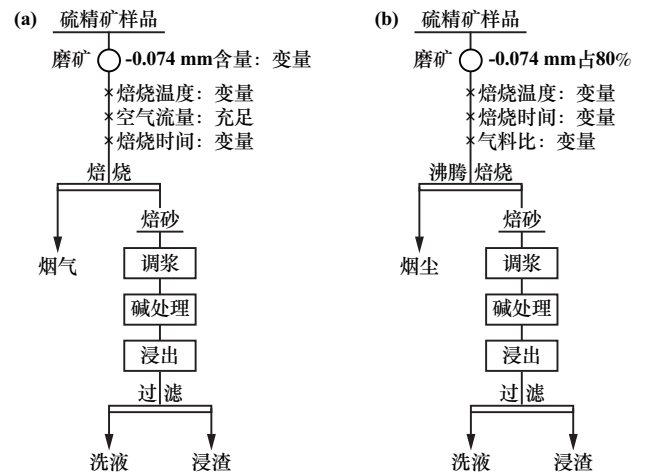


此外,焙烧过程中产生的 SO₂ 经过式(7)及式(8)回收硫生成硫酸;硫精矿中 Fe 在焙烧、浸出过程中以铁精矿形式产出。两种副产品均可产生经济收益,最大化利用了矿物资源。



1.3 试验方法

采用固定床焙烧或沸腾焙烧,通过改变焙烧温度、时间等变量寻找适宜工艺参数,再对所得焙砂进行浸出,比较 2 种焙烧方法下金的浸出率,确定适宜焙烧方案。2 种焙烧方法的具体流程见图 1。



(a) 固定床焙烧; (b) 沸腾焙烧

图 1 两种焙烧方案试验流程

2 试验结果与讨论

2.1 固定床焙烧试验

通过改变焙烧温度、焙烧时间及硫精矿粒度,开展硫精矿固定床焙烧试验。对获得的焙砂进行浸出,浸出条件设置为:矿浆浓度 33%、矿浆 pH 值 11.5、碱处理时间 2 h、CG505 药剂用量 10 kg/t、浸出时间 24 h。

2.1.1 焙烧温度

在焙烧时间 4 h、硫精矿粒度 -0.074 mm 粒级含量 69.07% 条件下于不同焙烧温度下对硫精矿进行焙烧,所得焙砂金浸出率随焙烧温度的变化如图 2 所示。由

图2可知,焙烧温度550~650℃时,随着焙烧温度升高,金浸出率逐渐提高,650℃时金浸出率为68.17%;之后继续提高焙烧温度,金浸出率总体呈下降趋势。考虑焙烧成本,确定焙烧温度为650℃。

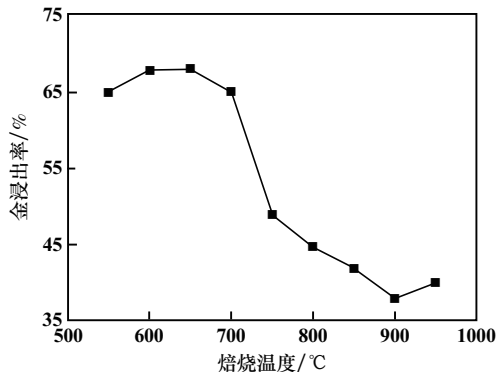


图2 焙烧温度的影响

2.1.2 硫精矿粒度

焙烧温度650℃、焙烧时间4h, -0.074mm 粒度含量对硫精矿中金浸出率的影响如图3所示。由图3可知,随着硫精矿粒度-0.074mm 粒度含量增加,金浸出率逐渐提高,-0.074mm 粒度含量80%时,金浸出率为69.11%;硫精矿-0.074mm 粒度含量超过80%后,金浸出率反而下降。确定硫精矿粒度-0.074mm 粒度含量80%。

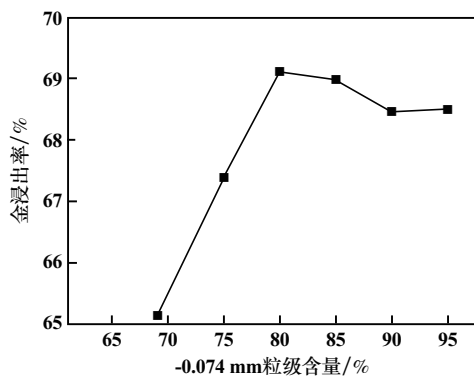


图3 硫精矿粒度的影响

2.1.3 焙烧时间

焙烧温度650℃、硫精矿粒度-0.074mm 粒度含量80%,焙烧时间对金浸出率的影响如图4所示。由图4可知,随着焙烧时间增加,金浸出率逐渐提高,焙烧时间4h时金浸出率为69.11%;之后继续延长焙烧时间,金浸出率变化不大。确定焙烧时间为4h。

2.1.4 固定床焙烧-浸出优化试验

结合单因素试验结果,在焙烧温度650℃、焙烧时间4h、硫精矿粒度-0.074mm 粒度含量80%时,对硫精矿进行固定床焙烧优化条件试验,并将所得焙砂

按设置好的浸出条件浸出,此时硫精矿中金浸出率达到69.45%。

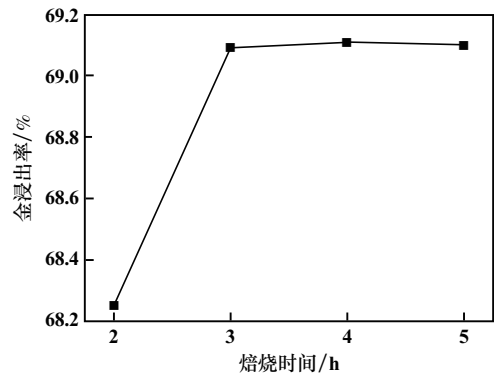


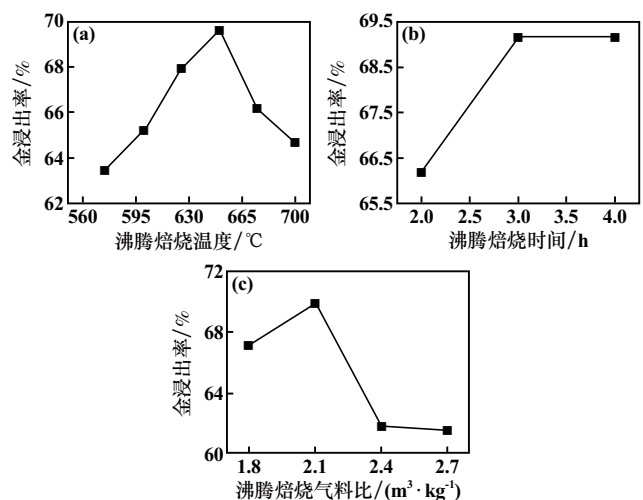
图4 焙烧时间的影响

2.2 沸腾焙烧试验

沸腾焙烧试验采用-0.074mm 粒度含量80%的硫精矿样品,沸腾焙烧试验条件见表4,对沸腾焙烧所得焙烧矿浸出:矿浆浓度33%、分析纯氧化钙调节矿浆pH值至11.5、碱处理时间2h、CG505用量10kg/t、浸出时间24h。金浸出率随沸腾焙烧工艺参数变化情况见图5。由图5可知,硫精矿沸腾焙烧的适宜条件为:焙烧温度650℃、焙烧时间3h,焙烧气料比2.1m³/kg,此条件下硫精矿中金浸出率达到69.92%。相比固定床焙烧,金浸出率有小幅提升。

表4 沸腾焙烧试验条件

试验名称	沸腾温度/℃	沸腾时间/h	沸腾气料比/(m ³ ·kg ⁻¹)
沸腾焙烧温度	变量	3	2.4
沸腾焙烧时间	650	变量	2.4
沸腾焙烧气料比	650	3	变量



(a) 沸腾焙烧温度; (b) 沸腾焙烧时间; (c) 沸腾焙烧气料比

图5 沸腾焙烧试验结果

2.3 方案选择及后续优化

比较2种焙烧方案发现,在各自适宜焙烧条件下,沸腾焙烧相较于固定床焙烧所需的焙烧时间更短,焙烧过程中可回收的副产品更多。通过粗步经济估算,采用沸腾焙烧工艺从硫精矿中提金比固定床焙烧及直接售出成品硫精矿效益更高。

可以通过以下措施进一步提高提金效率:①优化焙烧方法,如采取悬浮磁化焙烧^[6]、氧化焙烧及还原焙烧^[7-8]等;②在焙砂浸出前对焙砂进行预处理,如对焙砂进行细磨、水洗、水淬及碱浸等处理;③在浸出步骤调整氧化钙用量、浸出时间等条件优化浸出效果。

3 结 论

1) 试验用硫精矿中金属硫化物含量占94.35%,其中黄铁矿占93.08%。硫精矿中细粒金和微粒金占比高达96%,金矿物粒度整体偏细。

2) 对硫精矿分别进行固定床焙烧及沸腾焙烧,得到固定床焙烧适宜条件为:硫精矿粒度-0.074 mm 粒级含量80%、焙烧温度650℃、焙烧时间4 h;沸腾焙烧适宜条件为:硫精矿粒度-0.074 mm 粒级含量80%、焙烧温度650℃、焙烧时间3 h、焙烧气料比2.1 m³/kg。对2种焙烧方式所得焙砂在矿浆浓度33%、矿浆pH值11.5、

碱处理时间2 h、CG505用量10 kg/t条件下浸出24 h,金浸出率分别为69.45%和69.92%,沸腾焙烧提金效果更佳。

参考文献:

- [1] 陈官华,周峰,蔡祥,等. 硫精矿中铁、铜、钴综合回收试验研究[J]. 烧结球团, 2021,46(1):88-93.
- [2] 荆念文,刘润清,王长涛,等. 低碱混合浮选提高某铅锌矿中金浮选指标的工艺研究[J]. 矿冶工程, 2022,42(3):46-50.
- [3] 刘旭,杨晓,彭泽友. 山东某铁矿提铁降硫试验研究[J]. 矿冶工程, 2022,42(2):55-58.
- [4] 吕昊子,刘超,陈志强,等. 高砷铅硫精矿铅砷分离试验研究[J]. 矿冶工程, 2021,41(2):52-54.
- [5] LIU R Q, JING N W, SONG Y F, et al. Recovery of valuable elements from pyrite pyrolysis slag using magnetic separation-flotation technique[J]. Separation and Purification Technology, 2022,299:121772.
- [6] 陈超,韩跃新,刘亚川,等. 重庆接龙铁矿悬浮磁化焙烧温度对焙烧产品性能的影响[J]. 矿产综合利用, 2022(4):75-81.
- [7] 邹廷信,聂程,毛拥军. 某进口软锰矿还原焙烧、浸出实验研究[J]. 矿冶工程, 2022,42(3):115-117.
- [8] 王兴锋,路明,于洪军,等. 大孤山磁铁精粉微观结构与氧化焙烧性能[J]. 烧结球团, 2021,46(6):75-81.

引用本文: 杨孟华,杨洪玉,朱晓玉,等. 硫精矿焙烧、浸出提金试验研究[J]. 矿冶工程, 2023,43(3):124-127.

第五届全国浆体浓缩与管道输送技术和装备研讨会隆重召开

2023年4月20日—23日,由中国金属学会选矿分会、浆体浓缩与管道输送学术委员会、清华大学水沙科学与水利水电工程国家重点实验室、深海矿产资源开发利用技术国家重点实验室、长沙矿冶研究院有限责任公司、长沙有色冶金设计研究院有限公司、中冶长天国际工程有限责任公司、湖南大学、湖南省力学学会主办,矿冶工程杂志、长沙长远管道有限公司承办的第五届全国浆体浓缩与管道输送技术和装备研讨会在湖南省长沙市隆重召开。

会议秉承“让世界聚焦中国浆体管道”的理念,由余永富院士、蔡美峰院士、胡春宏院士领衔,汇聚41位行业顶尖专家学者,以成功应用案例为依托,理论联系工程实际,就浆体浓缩与管道输送理论、工艺与装备技术等方面取得的新经验、新成果进行了广泛热烈交流,吸引约400名参会代表,共同见证了一场浆体管道行业高质量发展大会。

会议期间代表们还参观了深海矿产资源开发利用技术国家重点实验室、长沙矿冶研究院有限责任公司长距离高浓度浆体管道输送实验室。

在主办单位、联合主办单位、协办单位、承办单位及支持单位的共同努力和全体代表的积极参与下,会议取得了圆满成功!