

# 金蝉在锌硫分离中的应用研究及经济效益对比

莫少健 赵 锋 (广西森合高新科技股份有限公司, 广西 南宁 530226)

**摘要:** 对金蝉在锌硫分离中的应用进行选矿试验研究。结果表明, 采用金蝉作抑制剂, 锌精矿锌品位40%以上、锌回收率90.00%, 锌硫分离指标较好, 实现了低碱度选锌抑硫。

**关键词:** 金蝉; 石灰; 低碱度锌硫分离

内蒙古锡盟地区含锌硫化矿经过多年开采, 矿石锌品位降低, 氧化率升高, 锌硫分离难度增大, 生产过程中不得不加入大量的石灰作为黄铁矿抑制剂, 衍生出一系列生产、安全、环保等问题。石灰是生产中最常用的无机抑制剂, 其对黄铁矿的抑制作用主要是由于在黄铁矿表面形成了由  $\text{CaCO}_3$ 、 $\text{CaSO}_4$ 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$  和  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  组成的亲水膜, 阻碍了捕收剂与黄铁矿的接触。该工艺已经相当成熟, 分离效果好, 精矿品位和回收率较高。但石灰用量大, 加入后矿浆 pH 变得很高。这种高碱的环境会使泡沫变得黏稠、设备的使用寿命缩短, 高碱的废水对环境污染严重。而且石灰对金、银矿物有抑制作用, 加入后伴生金银难以回收。因此改进以石灰为代表的高碱工艺, 实现在低碱度下抑制黄铁矿已成为目前最主要的研究方向。

本试验矿样来自内蒙某锡铅锌多金属矿, 锌硫分离系统中一系列和二系列的综合样为研究对象。针对生产现场锌硫分离系统中石灰用量大, 锌精矿品位波动明显; 大量的石灰导致选矿回水中残留大量的钙离子, 钙会在摇床床面生成床垢, 造成摇床床面光滑、摩擦不够, 从而影响摇床中锡石回收率低的难题。参照现场生产工艺流程和药剂制度进行实验室实际矿石的选矿试验研究, 研究采用组合抑制剂(石灰+金蝉)对浮选指标的影响, 确定经济合理的降低石灰用量方案, 为该矿锌硫分离系统锌的高效回收提供指导和参考。

## 1 原矿取样

研究所使用的试验样从选厂生产现场的锌硫分离搅拌槽底流矿浆处(综合样)取得, 矿浆中  $-0.074\text{mm}$  含量为 80%。将取得的矿浆样桶装送往实验室。考虑到搅拌槽中添加了黄药、硫酸铜等药剂, 将综合样脱药后再进行条件用量试验。

## 2 试验研究方案

选矿流程的确定。结合现场的生产实际经验, 确定了条件试验的浮选流程为一粗一扫。试验流程如图

1 所示。

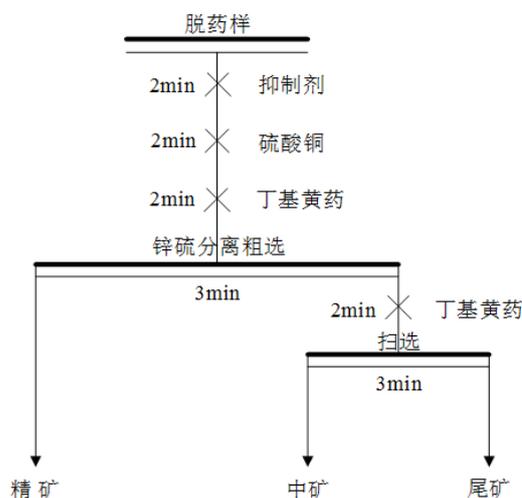


图1 条件试验流程图

## 3 试验结果与分析

### 3.1 丁基黄药用量试验

本试验选取现场丁基黄药作为锌硫分离浮选作业的捕收剂。按照图1所示的条件试验流程, 参考选厂现场的药剂制度, 固定锌粗选石灰用量为  $100\text{kg/t}$ ,  $\text{CuSO}_4$  用量  $300\text{g/t}$ ; 锌扫选丁基黄药用量  $10\text{g/t}$ 。考察了丁基黄药用量对锌精矿选别指标的影响, 通过试验, 浮选过程中丁基黄药用量的适量增加有利于精矿中锌回收率的增加。当锌粗选丁基黄药用量为  $100\text{g/t}$  时, 精矿中锌回收率为  $86.06\%$ , 锌品位为  $13.67\%$ , 继续增加丁基黄药用量提高幅度不大。因此, 确定锌粗选丁基黄药的用量为  $100\text{g/t}$ , 此时锌的选别效果最佳。

### 3.2 硫酸铜用量试验

硫酸铜是闪锌矿常用的活化剂, 其用量对锌精矿的指标具有显著的影响。当硫酸铜用量不足时, 部分锌矿物没有被铜离子完全活化上浮, 导致锌在尾矿中的损失会增大。所以, 固定锌粗选石灰用量为  $100\text{kg/t}$ , 丁基黄药用量  $100\text{g/t}$ ; 锌扫选丁基黄药用量  $20\text{g/t}$ 。考察硫酸铜用量对锌精矿选别指标的影响, 通过试验结

果显示,随着硫酸铜用量的增加,精矿中锌品位先升高后骤降,锌回收率呈现逐渐升高的趋势。当硫酸铜用量达到 500g/t 时,精矿中锌回收率为 86.21%,锌品位为 13.87%,均处于较高值。综合考虑药剂成本与锌选矿指标,确定锌粗选的硫酸铜用量为 500g/t。

### 3.3 抑制剂条件试验

通过丁基黄药用量试验与硫酸铜用量试验研究,确定了最佳捕收剂丁基黄药用量为 100g/t,最佳硫酸铜用量为 500g/t。为了对比石灰(CaO)和组合抑制剂(金蝉+石灰)两种抑制剂对锌浮选指标的影响,探索实际生产中金蝉替代大部分 CaO 的可行性,固定锌粗选 CuSO<sub>4</sub> 用量为 500g/t,丁基黄药用量 100g/t,; 锌扫选丁基黄药用量 20g/t; 使用组合抑制剂时,固定石灰用量 10kg/t (pH 值=9)。考察抑制剂用量对锌精矿选别指标的影响,通过试验得知,当石灰从 20kg/t 逐渐增加到 100kg/t 时,精矿中锌品位和锌回收率逐渐上升,当石灰用量为 100kg/t 时,精矿中锌回收率达到最大值为 90.00%,锌品位为 11.55%。当石灰用量继续增加时,精矿锌品位和回收率均有所下降。原因是硫酸铜会在闪锌矿表面生成 Cu(OH)<sub>2</sub>, Cu(OH)<sub>2</sub> 转化为铜硫化物的过程与闪锌矿表面 Zn(OH)<sub>2</sub> 的溶解扩散过程有关。过量的石灰会导致 Zn(OH)<sub>2</sub> 解离平衡常数逐渐变小,导致闪锌矿表面吸附的 Cu(OH)<sub>2</sub> 在有限的时间内来不及转化为铜硫化物,从而抑制闪锌矿的浮选。综合考虑下,确定锌粗选石灰的最佳用量为 100kg/t。

通过试验还显示,采用(金蝉+石灰)作为抑制剂,随着用量的不断增大,精矿锌品位提高,但是锌的回收率逐渐降低。说明抑制剂过量的抑制剂不仅会抑制黄铁矿,也会影响一部分闪锌矿的富集。当抑制剂组合抑制剂金蝉用量为 1000g/t 时,精矿锌品位为 15.52%,锌回收率为 80.89%,继续增加金蝉用量,锌品位提升空间不大,但是回收率持续降低。综合考虑下,确定锌粗选金蝉的最佳用量为 1000g/t。

通过对比石灰和金蝉用量试验,发现使用石灰精矿回收率 90.00% 但是精矿锌品位只有 11.55%; 使用组合抑制剂(金蝉+石灰)精矿锌品位可以达到 15.52%,回收率只有 80.89%。

## 4 实验室浮选闭路试验

闭路试验是用来考察循环物料影响的分批试验,是在不连续的设备上模仿连续的生产过程,根据试验结果确定可能达到的浮选指标,从而可以更好的指导生产。

### 4.1 实验室综合样脱药闭路试验

在条件试验所确定的最佳药剂制度,进行了综合样脱药浮选闭路试验。试验样品取自选厂一系列和二系列的综合样,首先采用选矿回水清洗对试验样品进行两次清洗脱药,再用抽滤机抽滤得到滤饼,并对滤饼进行均匀分样。后续浮选试验采用(石灰+金蝉)为组合抑制剂、硫酸铜为活化剂、丁基黄药为捕收剂的一粗三精两扫、中矿顺序返回的浮选闭路试验流程。通过综合样脱药闭路试验可知,以石灰+金蝉为组合抑制剂,硫酸铜为活化剂,丁基黄药为捕收剂,采用一次粗选三次精选两次扫选的闭路工艺流程。连续多天(5天)的闭路试验结果表明:锌精矿品位平均 40.30% (品位最高 42.22%,最低 37.83%); 锌精矿回收率平均 89.28% (回收率最高 93.71%,最低 84.63%) 的选别指标。通过对比,生产现场流程为一次粗选三次扫选三次精选,从 5 月 11 日至 5 月 17 日锌硫分离中锌矿物的选矿指标,选厂精矿平均品位 34.76% (5 月 1 日至 5 月 17 日的月累计锌精矿品位为 34.82%),回收率 94.23%。表明组合抑制剂石灰+金蝉能更高效地抑制黄铁矿,锌精矿品位稳定在 40% 左右,扫选次数少一次的情况下回收率比现场指标低 4.95%。

### 4.2 实验室综合样不脱药闭路试验

根据选厂要求,对综合样不脱药的情况下,考察组合抑制剂用量对于锌精矿锌品位的波动情况。因此又进行了综合样不脱药组合抑制剂不同用量的闭路试验。

表 1 综合样不脱药闭路试验结果

粗选金蝉用量 (g/t)	名称	产率	Zn	
			品位 %	回收率 %
800	精矿	19.97	38.12	93.05
	尾矿	80.03	0.71	6.95
	合计	100.00	8.18	100.00
1000	精矿	16.53	40.15	89.23
	尾矿	83.47	0.96	10.77
	合计	100.00	7.44	100.00
1200	精矿	21.34	42.85	87.37
	尾矿	78.66	1.68	12.63
	合计	100.00	7.35	100.00

从综合样不脱药闭路试验结果可以看出,组合抑制剂金蝉用量为 800g/t,锌精矿锌品位为 38.12%,回

收率为 93.05%；当金蝉用量为 1000g/t-1200g/t 时，锌精矿品位均超过 40%，回收率逐渐降低。从试验数据结果可以看出，组合抑制剂金蝉的用量在最佳条件 1000g/t 上下波动 20% 的情况下锌精矿品位影响不大，保证用量的情况下均可达到锌品位 40%。

#### 4.3 石灰实验室闭路试验

在条件试验所确定的最佳药剂制度，进行了石灰作为抑制剂综合样浮选闭路试验。试验样品取自选厂一系列和二系列的综合样。后续浮选试验采用石灰抑制剂、硫酸铜为活化剂、丁基黄药为捕收剂的一粗三精两扫、中矿顺序返回的浮选闭路试验流程。

表 2 现场抑制剂石灰闭路试验结果

名称	产率	Zn	
		品位 %	回收率 %
精矿	17.63	37.54	89.32
尾矿	82.37	0.96	10.68
合计	100.00	7.41	100.00
精矿	19.63	35.88	89.30
尾矿	80.37	1.05	10.70
合计	100.00	7.89	100.00

通过石灰闭路试验可知，现场石灰作为抑制剂的实验室闭路试验，取石灰用量 100kg/t 时，锌精矿品位仅为 37.54% 和 35.88%，锌回收率 89%。

通过对综合样脱药、综合样不脱药进行的组合抑制剂（石灰 + 金蝉）、石灰两种抑制剂进行的实验室闭路试验，试验试验结果显示组合抑制剂（石灰 + 金蝉）效果明显优于石灰。

#### 5 经济效益对比

实验室浮选闭路试验与生产现场抑制剂药剂成本对比，结果见表 3。

表 3 实验室浮选闭路试验与生产现场抑制剂药剂成本对比

类型	药剂	价格 (元 / t)	用量 (g/t)	成本 (元 / t)	合计成本 (元 / t)
组合药剂 (实验室)	石灰	610	1250	0.76	1.51
	金蝉	15000	50	0.75	
石灰 (实验室)	石灰	610	5000	3.05	3.05

从表 3 结果可以知道，实验室药剂制度和生产现场药剂成本对比，成本降低了 1.54 元 / t，并且该药剂对比方案并未将第三次扫选中黄药药剂成本计算在内，经济效益显著。

#### 6 结论

针对内蒙某锡铅锌多金属矿选厂一系列和二系列的综合样，采用（石灰 + 金蝉）为组合抑制剂、硫酸铜为活化剂、丁基黄药为捕收剂的一粗三精两扫、中矿顺序返回的浮选闭路试验流程，可以获得锌品位为 40% 以上，锌回收率 90% 左右的锌精矿选矿指标。总的药剂成本降低 1.54 元 / t。

实验室条件试验采用一粗一扫的试验流程，研究了硫酸铜、石灰和组合抑制剂（石灰 + 金蝉）、丁基黄药用量等参数对浮选指标的影响，确定了实验室闭路试验的最佳浮选药剂制度。在此基础上开展了实验室全闭路试验，结果显示组合抑制剂（石灰 + 金蝉）作为抑制剂时最终获得的锌精矿品位为 40% 以上，回收率 90% 左右，明显优于石灰作为抑制剂时的选别指标。

金蝉是一种高效、清洁、环保的新型抑制剂，采用组合抑制剂（石灰 + 金蝉）替代石灰，能够大幅度降低石灰用量，石灰的用量降低了 75%。节约运输成本、药剂成本、人力成本等。

#### 参考文献：

- [1] 贺壮志, 朱阳戈, 肖巧斌. 低碱下含硫化物的抑收机理和行为研究现状 [J]. 有色金属 (选矿部分), 2023 (4):156-62.
- [2] 刘智林, 许方. 某组合抑制剂对易浮黄铁矿的抑制性能研究 [J]. 矿冶, 2004, 13(4):35-7.
- [3] 胡明振, 陈锦全, 等. 预先磁选 - 脱硫对锡多金属矿铅锌浮选分离的影响 [J]. 矿业研究与开发, 2015(5):4.
- [4] 荆正强, 彭雪清. 广西某多金属矿锌硫分离无氰工艺研究 [J]. 湖南有色金属, 2015, 31(3):3.
- [5] 魏宗武, 黄涛, 杨谦. 低碱条件下高硫铅铋锌多金属的高效分离 [J]. 矿业研究与开发, 2023(11):101-103.
- [6] 冯其明, 周荣. 经铜离子活化后的某铅锌硫混合精矿中闪锌矿的浮选分离研究 [J]. 矿冶工程, 2011, 31(5):3.

#### 作者简介：

莫少健 (1984- )，男，壮族，广西武鸣人，本科，助理工程师，研究方向：选矿试验研究。

#### 广西重点研发计划项目：

项目名称：“金蝉”系列环保高效黄金浸出剂的研发及产业化（厅市会商）。项目任务书编号：桂科 AB20297035。项目申请书编号：2020AB47003。