

# 某氧硫混合粗锡精矿除硫活化剂试验研究及工业试验

## Experimental Study and Industrial Test of a Sulfur Removal Activator for an Oxygen-Sulfur Mixed Crude Tin Concentrate

佟新 时映怡

Xin Tong Yingyi Shi

云南锡业集团（控股）有限责任公司大屯锡矿 中国·云南 个旧 661000

Yunnan Tin Industry Group (Holding) Co., Ltd. Datun Tin Mine, Gejiu, Yunnan, 661000, China

**摘要：**某氧硫混合粗锡精矿，含锡 6.10%、硫 10.70%、砷 2.502%、铁 41.37%，针对前期探索不同活化剂对该次精矿中硫的活化效果。采用控制最佳浮选除硫技术关键参数，主工艺为一粗二扫三精，扫选尾矿进入摇床重选产出合格锡精矿。通过不同活化剂对比试验，筛选出价格较低，同样具有活化功能的药剂，保证选矿指标的同时大幅降低药剂成本。

**Abstract:** An oxygen-sulfur mixed crude tin concentrate contains 6.10% tin, 10.70% sulfur, 2.502% arsenic, and 41.37% iron. The activation effects of different activators on sulfur in the concentrate were explored in the early stage. The key parameters of the optimal flotation sulfur removal technology are controlled. The main process is one roughing, two sweeping, and three refining. The swept tailings enter the shaking table for gravity separation to produce qualified tin concentrates. Through comparative tests of different activators, agents with lower prices and the same activation function were selected, ensuring mineral processing indicators while significantly reducing agent costs.

**关键词：**氧硫粗锡精矿；不同活化剂；浮选除硫；选矿指标；药剂成本

**Keywords:** oxygen sulfur crude tin concentrate; different activators; flotation sulfur removal; mineral processing index; pharmaceutical cost

**DOI:** 10.12346/etr.v5i2.7699

## 1 引言

大屯锡矿选矿车间精选工段主要以重选工艺为主，对氧硫混合粗锡精矿采用优先浮选脱硫，一粗、二扫、三精的工艺流程得到粗锡精矿和硫精矿，粗锡次精矿再进行重选得到合格锡精矿。由于大屯锡矿除硫浮选现使用硫酸铜作为除硫浮选活化剂，2022 年初，随着硫酸铜价格的持续上涨，现单价上升至 17390 元/吨，为保证除硫效率，降低药剂成本，继续寻找硫酸铜的替代品。

## 2 矿石性质

### 2.1 元素组成

多元素分析结果见表 1。

表 1 原矿多元素分析结果

| 元素     | Sn   | S     | As    | Fe    |
|--------|------|-------|-------|-------|
| 含量 (%) | 6.10 | 10.70 | 2.502 | 41.37 |

### 2.2 矿石粒度组成

试料粒度组成分析结果见表 2。根据结果分析，矿石粒度组成主要分布于 -0.15mm 以下，产率达 85.95%。大于 0.15mm 粒级产率 14.05%，硫品位 17.88%，金属率 23.32%。从粒度结果分析，该矿样需要进行磨矿后进行小型除硫试验，后续试验研究均采用先磨矿再浮选作业。

【作者简介】佟新（1986-），女，彝族，中国云南个旧人，本科，工程师，从事选矿技术研究。

表2 原矿粒度组成分析结果

| 粒级 (mm)     | 产率 (%) | 锡      |         | 硫      |         | 砷      |         | 铁      |         |
|-------------|--------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|
|             |        | 品位 (%) | 金属率 (%) | 品位 (%) | 金属率 (%) | 品位 (%) | 金属率 (%) | 品位 (%) | 金属率 (%) |
| +0.15       | 14.05  | 2.309  | 5.49    | 17.88  | 23.32   | 3.55   | 21.30   | 46.89  | 16.83   |
| 0.15+0.074  | 50.64  | 4.99   | 42.78   | 12.08  | 56.77   | 2.397  | 51.82   | 41.33  | 53.46   |
| 0.074+0.037 | 23.74  | 7.97   | 32.04   | 6.15   | 13.55   | 1.841  | 18.66   | 33.34  | 20.22   |
| -0.037      | 11.57  | 10.05  | 19.69   | 5.92   | 6.36    | 1.664  | 8.22    | 32.10  | 9.49    |
| 合计          | 100.00 | 5.906  | 100.00  | 10.774 | 100.00  | 2.342  | 100.00  | 39.146 | 100.00  |

### 3 选矿流程试验

通过指标分析,该粗锡精矿采用硫酸铜作为活化剂除硫效果较好<sup>[1]</sup>,但从生产成本考虑,目前降低药剂成本是较为关键的有效方案,探索不同活化剂用量、不同工艺对比试验研究。

#### 3.1 不同活化剂粗扫选工艺试验

试验流程图见图1,试料进行磨矿粒度-0.15mm、粗选浓度为35%进入浮选产出硫粗泡、扫泡,浮选尾矿为粗锡精矿,试验结果见表3。

根据试验结果分析,未添加活化剂效果不如添加活化剂后,采用HS-1时,在硫粗泡产率及品位一致的情况下,回收率略高于硫酸铜,在尾矿含锡指标相差不大的情况下,其含硫品位和其金属含量均较硫酸铜低。从HS-1不同药剂用

量对比来看,三种不同的药剂用量除硫效果均一致。综合考虑除硫效果和生产成本,开展活化剂用量在80g/t时的开路试验。

#### 3.2 不同活化剂全流程工艺试验

试验流程图见图2,试料进行磨矿粒度-0.15mm,粗选浓度为35%进入浮选产出硫粗泡、扫泡,对粗扫泡进行精选,浮选尾矿将进入摇床重选得到合格锡精矿,结果见表4。

根据试验结果分析,以硫酸铜80g/t为基准,针对HS-1,80g/t用量开展浮选除硫全流程开路试验,从以上开路试验指标来看,HS-1比硫酸铜效果好,在夹带锡矿物相差不大的情况下,除硫尾矿含硫、砷矿物较少,硫精矿硫、砷矿物回收率更高,其余各项技术指标均较硫酸铜好,且药剂成本较低,下一步将优化条件开展HS-1工业试验。

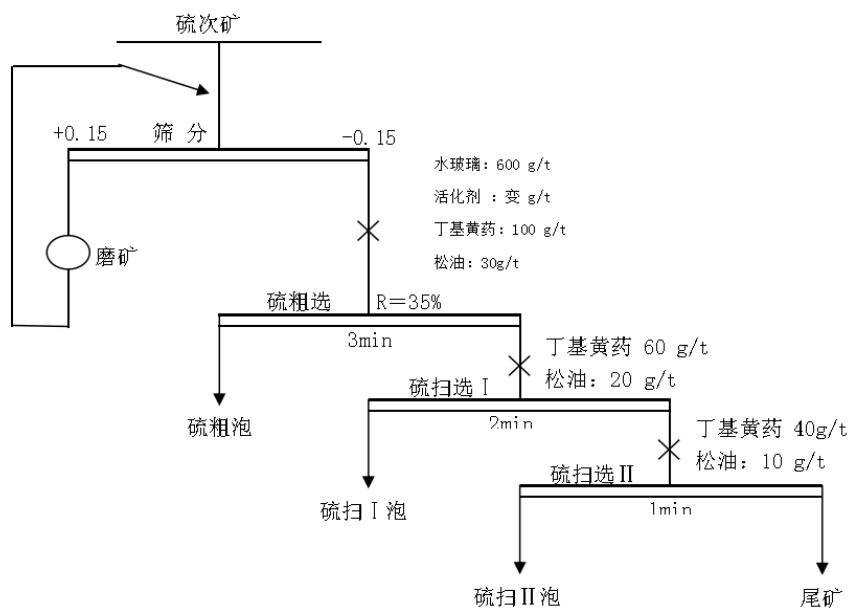


图1 粗扫选试验流程图

表 3 不同活化剂粗扫选工艺试验表

| 药剂条件        | 产品名称  | 产率 (%) | 锡     |        | 硫     |       | 砷     |       | 铁     |        |
|-------------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
|             |       |        | 品位    | 回收率    | 品位    | 回收率   | 品位    | 回收率   | 品位    | 回收率    |
| 未添加活化剂      | 硫粗泡   | 26.47  | 0.344 | 1.56   | 33.1  | 82.47 | 8.39  | 89.37 | 54.01 | 35.27  |
|             | 扫 1 泡 | 3.64   | 1.143 | 0.71   | 27.73 | 9.51  | 1.31  | 1.92  | 48.41 | 4.35   |
|             | 扫 2 泡 | 0.89   | 2.335 | 0.36   | 18.08 | 1.52  | 1.748 | 0.63  | 42.11 | 0.93   |
|             | 尾矿    | 69.00  | 8.23  | 97.37  | 1.00  | 6.50  | 0.291 | 8.08  | 34.93 | 59.45  |
|             | 合计    | 100    | 5.832 | 100    | 10.62 | 100   | 2.485 | 100   | 40.54 | 100    |
| 硫酸铜 80g/t   | 硫粗泡   | 28.12  | 0.35  | 1.70   | 33.28 | 88.49 | 7.71  | 89.02 | 53.17 | 37.46  |
|             | 扫 1 泡 | 1.90   | 1.835 | 0.60   | 22.25 | 4.00  | 2.617 | 2.04  | 44.99 | 2.14   |
|             | 扫 2 泡 | 0.76   | 2.241 | 0.29   | 15.1  | 1.09  | 2.068 | 0.64  | 40.77 | 0.77   |
|             | 尾矿    | 69.22  | 8.16  | 97.41  | 0.982 | 6.43  | 0.292 | 8.30  | 34.38 | 59.63  |
|             | 合计    | 100    | 5.799 | 100    | 10.58 | 100   | 2.436 | 100   | 39.91 | 100    |
| HS-1 80g/t  | 硫粗泡   | 28.11  | 0.37  | 1.76   | 33.24 | 90.36 | 7.64  | 89.67 | 52.96 | 37.36  |
|             | 扫 1 泡 | 1.72   | 1.819 | 0.53   | 20.44 | 3.40  | 2.609 | 1.87  | 44.51 | 1.92   |
|             | 扫 2 泡 | 0.65   | 2.764 | 0.31   | 13.52 | 0.86  | 1.866 | 0.51  | 40.32 | 0.66   |
|             | 尾矿    | 69.52  | 8.28  | 97.40  | 0.801 | 5.38  | 0.274 | 7.95  | 34.43 | 60.06  |
|             | 合计    | 100    | 5.909 | 100    | 10.34 | 100   | 2.395 | 100   | 39.85 | 100    |
| HS-1 150g/t | 硫粗泡   | 27.42  | 0.405 | 1.89   | 33.82 | 89.03 | 7.38  | 83.08 | 52.24 | 36.34  |
|             | 扫 1 泡 | 1.96   | 1.107 | 0.37   | 19    | 3.58  | 5.87  | 4.72  | 48.56 | 2.41   |
|             | 扫 2 泡 | 0.68   | 1.79  | 0.21   | 12.4  | 0.81  | 4.71  | 1.32  | 44.11 | 0.76   |
|             | 尾矿    | 69.94  | 8.2   | 97.53  | 0.98  | 6.58  | 0.379 | 10.88 | 34.1  | 60.49  |
|             | 合计    | 100    | 5.880 | 100.00 | 10.58 | 100   | 2.436 | 100   | 39.43 | 100.00 |
| HS-1 300g/t | 硫粗泡   | 28.33  | 0.407 | 1.94   | 31.58 | 89.18 | 7.52  | 89.36 | 52.5  | 37.80  |
|             | 扫 1 泡 | 2.16   | 1.804 | 0.66   | 20.15 | 4.34  | 3.67  | 3.33  | 43.71 | 2.40   |
|             | 扫 2 泡 | 0.66   | 3.07  | 0.34   | 13.02 | 0.86  | 1.165 | 0.32  | 40.29 | 0.68   |
|             | 尾矿    | 68.85  | 8.380 | 97.06  | 0.82  | 5.62  | 0.242 | 6.99  | 33.79 | 59.12  |
|             | 合计    | 100    | 5.944 | 100    | 10.03 | 100   | 2.384 | 100   | 39.35 | 100    |

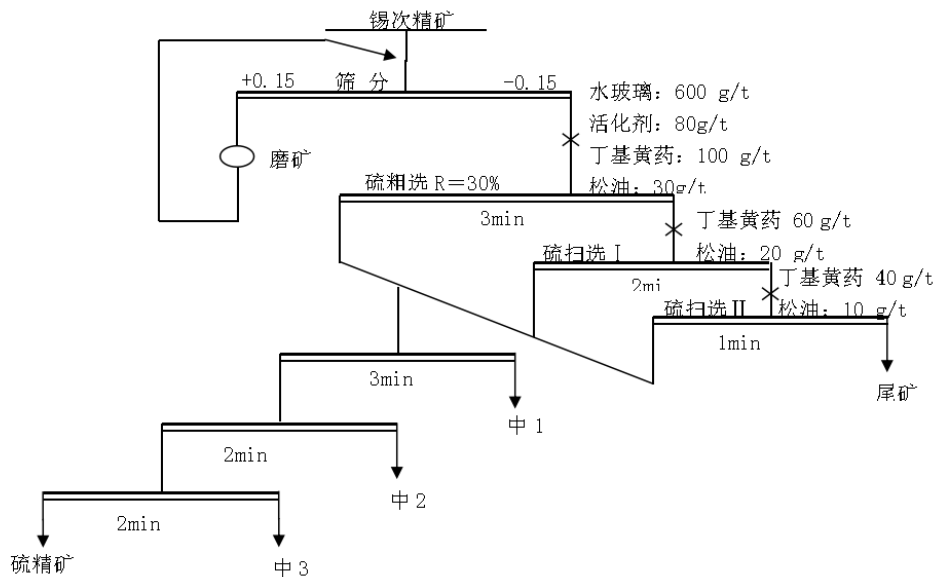


图 2 全流程试验流程图

表4 不同活化剂全流程工艺试验结果(%)

| 药剂条件 | 产品名称 | 产率(%) | 锡     |       | 硫     |       | 砷     |       |
|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|      |      |       | 品位    | 回收率   | 品位    | 回收率   | 品位    | 回收率   |
| 硫酸铜  | 硫精矿  | 25.34 | 0.158 | 0.64  | 34.57 | 87.77 | 8.15  | 79.40 |
|      | 中3   | 0.66  | 1.009 | 0.11  | 27.63 | 1.84  | 6.26  | 1.60  |
|      | 中2   | 1.53  | 1.5   | 0.37  | 24.32 | 3.74  | 4.16  | 2.45  |
|      | 中1   | 2.58  | 2.994 | 1.23  | 8.3   | 2.14  | 2.38  | 2.36  |
|      | 尾矿   | 69.89 | 8.76  | 97.65 | 0.644 | 4.51  | 0.528 | 14.19 |
|      | 合计   | 100   | 6.27  | 100   | 9.98  | 100   | 2.601 | 100   |
| HS-1 | 硫精矿  | 25.75 | 0.175 | 0.75  | 34.82 | 89.60 | 7.74  | 86.20 |
|      | 中3   | 0.68  | 0.924 | 0.10  | 27.23 | 1.84  | 5.23  | 1.53  |
|      | 中2   | 1.26  | 1.888 | 0.39  | 21.07 | 2.65  | 3.65  | 1.98  |
|      | 中1   | 2.61  | 3.7   | 1.60  | 8.89  | 2.32  | 1.751 | 1.97  |
|      | 尾矿   | 69.70 | 8.39  | 97.16 | 0.517 | 3.60  | 0.28  | 8.32  |
|      | 合计   | 100   | 6.02  | 100   | 10.01 | 100   | 2.31  | 100   |

## 4 工业试验

本次工业试验为期24天,生产现场较为平稳,除硫现象较好,报表统计结果见表5。

表5 工业试验报表指标

| 班次     |     | 1班    | 2班     | 3班     | 合计     |
|--------|-----|-------|--------|--------|--------|
| 原矿     | Sn  | 8.594 | 8.111  | 7.304  | 8.033  |
|        | S   | 7.9   | 6.378  | 5.351  | 6.595  |
|        | As  | 1.171 | 1.08   | 0.859  | 1.044  |
| SnK 含硫 | S   | 2.091 | 2.555  | 2.129  | 2.269  |
|        | 一段锡 | 1.677 | 2.123  | 1.939  | 1.909  |
|        | 复洗锡 | 3.503 | 4.147  | 2.754  | 3.521  |
| SK 含锡  | Sn  | 0.338 | 0.203  | 0.285  | 0.309  |
|        | S   | 34.72 | 36.803 | 36.189 | 35.324 |

从报表指标分析,本阶段工业试验期间,原矿含硫较试验矿样低,硫品位为6.595%,锡精矿含硫2.269%,硫精矿含锡0.309%,均满足考核要求。

## 5 试验结果讨论

### 5.1 关于浮选除硫活化剂的添加

试料中的硫化铁矿物粒度相对较粗,尤其是大于+0.15mm粒级产率达14.05%,含硫金属率为23.32%,要想浮选除硫作业效果更好,需对矿样进行磨矿,并添加相适应活化剂进行除硫作业<sup>[2]</sup>。

### 5.2 关于工业试验活化剂的添加

工业试验调试期间,原矿含硫波动较大,低时仅为3.18%,高时达9.82%,给浮选操作带来不利影响。从测定结果看,捕收剂用量大,硫精矿带锡品位较高,降低捕收剂用量,从浮选液位和刮量上进行调整控制,也可以达到较好的除硫效果,同时可降低硫精矿带锡<sup>[3]</sup>。

## 6 结语

①从多元分析,该氧硫混合矿含硫品位波动较大,对除硫效果有一定影响,该工序除硫作业应根据实际生产需求及时进行药剂调整。矿样的粒度偏粗,需对矿样进行磨矿。

②从试验指标来看HS-1的活化作用、药剂用量与硫酸铜基本一致,指标变化不大,从降低药剂成本分析,HS-1有较大优势。

③生产报表指标统计对比,开展HS-1工业试验期间,原矿含硫波动较大,其余含量基本一致,针对氧硫混合矿对比使用硫酸铜指标,锡精矿含硫、硫精矿带锡情况基本相近,砷杂质也变化不大。

④本次工业试验时间较长,使用HS-1过程中,浮选流程稳定后,泡沫现象变化不大,摇床床面精矿带也基本一致。且HS-1配制时易溶解,使用过程中不会与黄药、硫酸铜、草酸发生化学反应,与其他药剂混合不会产生相应影响乃至失去药剂本身的效果。针对氧硫混合矿浮选除硫,分别使用硫酸铜、HS-1两种药剂生产指标基本相近,说明HS-1适应于该流程除硫浮选作业。药剂成本上HS-1为7170元/吨,硫酸铜为17390元/吨,使用HS-1药剂用量比硫酸铜低,捕收剂用量也可降低,使用HS-1较硫酸铜可降低药剂成本6元/吨左右。使用HS-1在指标基本一致的情况下,对降低药剂成本具有明显的优势。

## 参考文献

- [1] 许时.矿石可选性研究[M].长沙:中南工业大学,2006.
- [2] 谢广元.普通高等教育九五国家级重点教材·选矿学[M].北京:中国矿业大学出版社,2001.
- [3] 胡岳华.矿物加工工程专业规划教材:矿物浮选[M].长沙:中南大学出版社,2014.