

## 某复杂铜硫铁矿石的选矿工艺研究<sup>\*</sup>

杨少燕, 冯其明, 张国范, 欧乐明, 周清波

(中南大学资源加工与生物工程学院, 湖南 长沙, 410083)

**摘要:**针对某复杂铜硫铁矿石进行了选矿工艺研究。依据矿石性质,用石灰和CTP作铜硫分离中黄铁矿的抑制剂、Z-200作黄铜矿的捕收剂、111#作起泡剂,采用“铜硫混浮—铜硫分离—磁选”流程,在原矿Cu品位0.59%、S品位7.08%、Fe品位40.31%的条件下,得到了Cu品位19.46%、回收率88.02%的铜精矿,S品位50.71%、回收率81.89%的硫精矿以及Fe品位65.35%、回收率83.69%的铁精矿。所推荐的工艺流程简单,达到了综合回收铜、硫、铁矿物的目的,易于产业化。

**关键词:**浮选;铜硫分离;石灰;CTP;磁选

中图分类号:TD923;TD982 文献标识码:B 文章编号:1001-0076(2010)02-0028-05

### Research on the Mineral Processing Technology of a Complex Cu-S-Fe Ore

YANG Shao-yan, FENG Qi-ming, ZHANG Guo-fan, et al.

(School of Resources Processing and Bioengineering, Central South University, Changsha, Hunan 410083, China)

**Abstract:** The mineral processing technology for a complex Cu-S-Fe ore was studied in this paper. In light of the characteristics of the ore, a flowsheet including Cu-S bulk flotation, Cu-S separation and magnetic separation was introduced, using lime and CTP as the depressant of pyrite in Cu-S separation, Z-200 as the collector of chalcopyrite and 111# as the frother. The results showed that for the run-of-mine with Cu grade of 0.59%, S 7.08% and Fe 40.31%, Cu concentrate with Cu grade of 19.46% and recovery of 88.02%, S concentrate with S grade of 50.71% and recovery of 81.89% and Fe concentrate with Fe grade of 65.35% and recovery of 83.69% were obtained respectively. The simple flowsheet recommended in this paper could achieve the comprehensive recovery of Cu, S, Fe minerals, and was easy to be industrialized.

**Key words:** flotation; Cu-S separation; lime; CTP; magnetic separation

对于含磁铁矿的硫化铜矿石,常用的选矿原则流程有“先磁后浮”和“先浮后磁”<sup>[1]</sup>。若采用“先磁后浮”原则流程,那么磁选尾矿需浓缩后才能进行浮选,这样就增加了设备投资和水电费用;并且,由于未预先浮选分离出硫化矿,磁选铁精矿的含硫量会比采用“先浮后磁”流程时高。因此,我国铜硫铁矿石的选矿大部分采用“先浮后磁”原则流程<sup>[2,3]</sup>。

此外,硫化铜矿石中也常共生有硫化铁矿物,其

含量、可浮性及其与硫化铜矿物的共生关系等都直接影响铜的浮选指标<sup>[4]</sup>。因此,硫化铜矿的选矿必须解决铜硫分离的问题。目前,国内选矿厂多采用下列几种工艺流程<sup>[5-7]</sup>:优先浮选、混合浮选、等可浮、部分优先—混合浮选等。铜硫分离的药剂方面,目前大多采用石灰作抑制剂,在高碱度下浮选黄铜矿,这种高碱工艺存在许多弊端,因此采用新型抑制剂实现铜硫分离势在必行<sup>[8]</sup>。CTP是一种新型小分

\* 收稿日期:2010-02-01;修回日期:2010-03-03

作者简介:杨少燕(1984-),女,山东烟台人,在读硕士研究生,主要从事选矿工艺研究。

子有机抑制剂,能取代部分石灰实现低碱度铜硫分离。低碱度铜硫分离工艺不仅能降低石灰用量以及铜硫分离作业的矿浆 pH 值,利于环保,而且有利于铜及伴生元素的回收,也使硫的浮选成为可能<sup>[9]</sup>。

本文根据该矿的矿石性质,选择合适的工艺流程和药剂制度,在低碱条件下有效地实现了矿石中铜、硫、铁资源的选矿利用,同时也为其它同类矿石的选矿提供了借鉴。

### 1 原矿性质

矿石属低磷高硫的含铜原生磁铁矿矿石,铁矿物主要是磁铁矿,次为半假象~假象赤铁矿和菱铁矿;铜矿物以黄铜矿为主,偶见铜蓝或斑铜矿;其它金属硫化物主要是黄铁矿和微量闪锌矿、方铅矿;脉石矿物以石英和方解石为主,其次是绢云母和绿泥石,其它微量矿物包括磷灰石、锆石、金红石、榍石和黝帘石等。绝大部分磁铁矿以致密块状集合体形式产出,绝大部分黄铜矿与磁铁矿的镶嵌关系密切,黄铁矿与磁铁矿的嵌连关系不及黄铜矿密切。矿石中磁铁矿和黄铁矿均属中粗粒嵌布,而黄铜矿则具细粒嵌布的特点。欲使 90% 左右的黄铜矿获得解离,需选择 -0.1 mm 的磨矿细度,此时 -0.074 mm 部分约占 85%,在这种磨矿细度条件下,矿石中磁铁矿和黄铁矿基本上均已呈单体产出。

原矿化学组成及物相分析分别见表 1 和表 2。

| 表 1 原矿化学多元素分析结果 |                   |                                |      |      |                 |                  |
|-----------------|-------------------|--------------------------------|------|------|-----------------|------------------|
| 组分              | Cu                | TFe                            | Pb   | Zn   | WO <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> |
| 含量/%            | 0.59              | 40.31                          | 0.01 | 0.07 | 0.06            | 19.05            |
| 组分              | TiO <sub>2</sub>  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | MgO  | MnO             | K <sub>2</sub> O |
| 含量/%            | 0.12              | 3.71                           | 4.47 | 1.31 | 0.30            | 1.49             |
| 组分              | Na <sub>2</sub> O | S                              | P    | Au   | Ag              |                  |
| 含量/%            | 0.07              | 7.08                           | 0.03 | 0.63 | 4.00            |                  |

注: Au、Ag 含量单位为 g/t。

| 表 2 原矿物相分析结果 |  |       |            |       |       |       |      |       |
|--------------|--|-------|------------|-------|-------|-------|------|-------|
| 铜物相          |  | 原生硫化铜 | 次生硫化铜      | 自由氧化铜 | 结合氧化铜 | 总铜    |      |       |
| 含量/%         |  | 0.54  | 0.04       | 0.003 | 0.007 | 0.59  |      |       |
| 占有率/%        |  | 91.52 | 6.78       | 0.51  | 1.19  | 100   |      |       |
| 铁物相          |  | 磁铁矿   | 半假象赤(褐)赤铁矿 | 碳酸盐铁  | 硫化物中铁 | 硅酸盐中铁 | 总铁   |       |
| 含量/%         |  | 21.93 | 4.12       | 2.89  | 4.62  | 5.93  | 0.82 | 40.31 |
| 占有率/%        |  | 54.40 | 10.22      | 7.17  | 11.46 | 14.71 | 2.04 | 100   |

## 2 浮选试验研究

### 2.1 磨矿细度试验

为了考察磨矿细度对铜浮选行为的影响,以磨矿细度 -0.074 mm 的含量为变量进行了磨矿细度试验。试验流程及药剂制度见图 1,试验结果见图 2。由图 2 结果知:磨矿细度在 -0.074 mm 70% ~ 80% 范围内,浮选综合指标较好。磨矿细度 -0.074 mm 71.36% 时,粗精矿的 Cu 品位为 3.72%, Cu 回收率为 91.07%,综合指标明显优于其它磨矿时间的指标,故选择磨矿细度为 71.36% 左右。

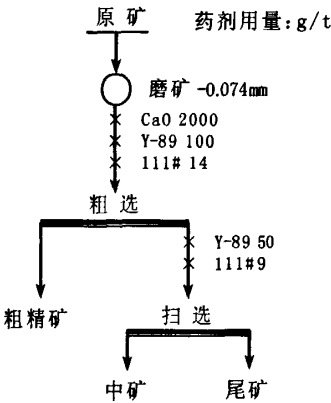


图 1 磨矿细度试验流程

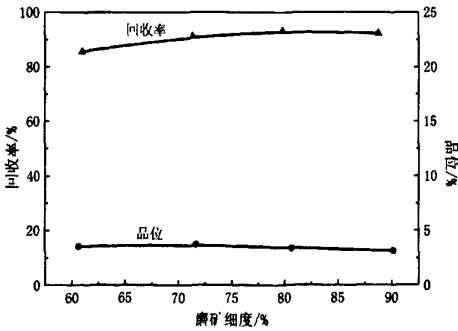


图 2 磨矿细度试验结果

### 2.2 铜粗选条件试验

#### 2.2.1 捕收剂 Z-200 用量试验

Z-200 即 O-异丙基-N-乙基硫逐氨基甲酸酯,简称异丙乙硫氨基酯,是硫氨基酯的典型代表,它的特点是用量少、对黄铁矿的捕收能力极弱,因此对含黄铜矿和黄铁矿的矿石优先浮铜很有效<sup>[10]</sup>。故本

试验中采用 Z-200 作为优先浮铜的捕收剂。试验流程同图 1, 磨矿细度为  $-0.074\text{ mm}$  占 71.36%, 药剂制度为: 粗选中抑制剂 CaO 用量为 2 000 g/t, 以捕收剂 Z-200 用量为变量, 起泡剂 111# 14 g/t; 扫选中捕收剂 Y-89 用量为 100 g/t, 起泡剂 111# 14 g/t。试验结果见图 3。由图 3 结果可知: 捕收剂 Z-200 用量在 13 ~ 27 g/t 的范围内, 随着用量的增加, 粗精矿中 Cu 回收率不断升高, 粗精矿的 Cu 品位不断下降; Z-200 用量大于 27 g/t 时, Cu 回收率开始下降; 当 Z-200 用量为 20 g/t 时, 粗精矿的 Cu 品位达到 10.34%, Cu 回收率为 84.13%。综合考虑药耗和浮选指标, 选择捕收剂 Z-200 用量为 20 g/t。

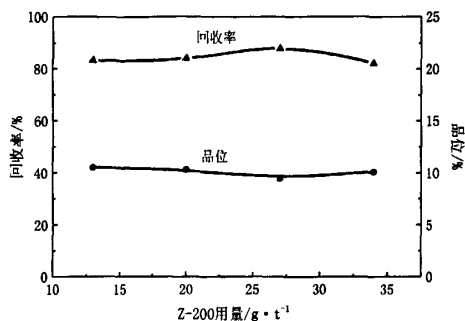


图3 Z-200 用量试验结果

### 2.2.2 抑制剂 CaO 用量试验

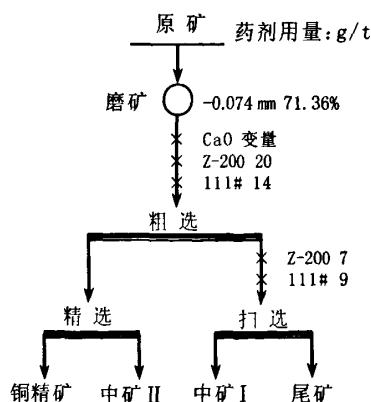


图4 CaO 用量试验流程

试验流程和药剂制度如图 4 所示, 结果见图 5。由图 5 可以看出: 抑制剂 CaO 用量在 0 ~ 2 000 g/t 范围内, 随着 CaO 用量的增加, 铜精矿的 Cu 回收率不断下降, Cu 品位不断升高; CaO 用量为 1 000 g/t

时, 铜精矿的 Cu 品位达到 13.92%, Cu 回收率为 82.05%。综合考虑药耗和浮选指标, 选择抑制剂 CaO 用量为 1 000 g/t。

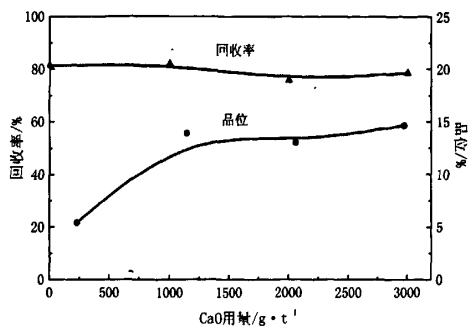


图5 CaO 用量试验结果

### 2.3 精选次数试验

在条件试验确定的粗扫选条件下, 研究了精选次数对铜浮选指标的影响。试验流程如图 6 所示, 不同精选次数下的铜浮选指标见图 7。由图 7 可以看出: 随着精选次数的增加, 铜精矿的 Cu 品位不断升高, 铜精矿的 Cu 回收率不断下降; 铜粗精矿精选 3 次后, 铜精矿的 Cu 品位可以达到 22.20%, 相应的铜精矿中 Cu 回收率达到 75.82%。为生产出合格的铜精矿, 确定精选次数为 3 次。

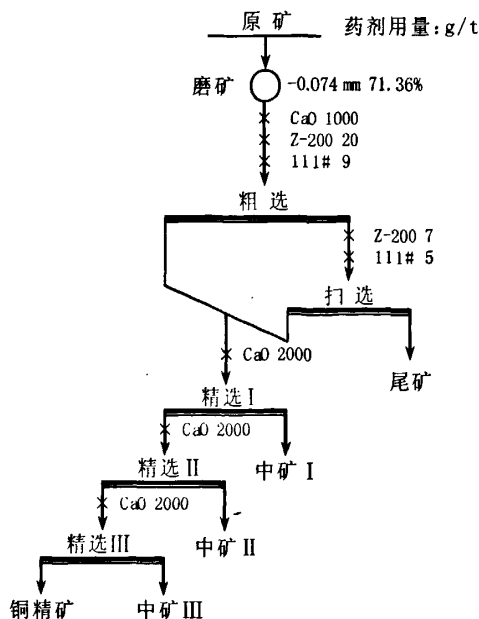


图6 精选次数试验流程

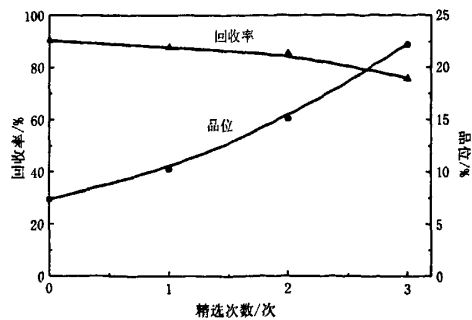


图 7 精选次数试验结果

2.4 铜硫混浮—铜硫分离试验

由于“铜硫混浮—铜硫分离”工艺在许多矿山已广泛应用,并取得了很好的工艺指标,因此我们考虑进行“铜硫混浮—铜硫分离”试验,以考察其可行性。试验流程如图 8 所示,结果见表 3。由表 3 可以看出,采用“铜硫混浮”原则流程,在铜精矿的 Cu 品位仅有6.24%时,相应的 Cu 回收率仅有54.88%。比较而言,“优先浮铜”流程的指标更优,因此决定采用“优先浮铜”原则流程。

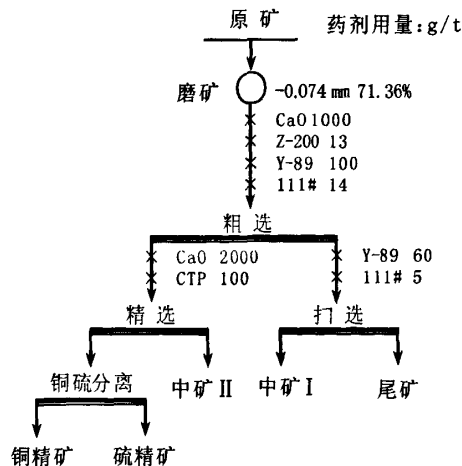


图 8 铜硫混浮—铜硫分离试验流程

表 3 铜硫混浮试验结果

| 产品名称  | 产率/%   | 品位/%  |       | 回收率/%  |        |
|-------|--------|-------|-------|--------|--------|
|       |        | Cu    | S     | Cu     | S      |
| 铜精矿   | 6.43   | 6.24  | 48.66 | 54.88  | 41.92  |
| 硫精矿   | 5.54   | 1.30  | 46.84 | 9.85   | 34.77  |
| 中矿 II | 2.66   | 0.54  | 17.52 | 1.97   | 6.24   |
| 中矿 I  | 3.40   | 0.41  | 17.71 | 1.91   | 8.07   |
| 尾矿    | 81.97  | 0.028 | 0.82  | 31.39  | 9.00   |
| 原矿    | 100.00 | 0.525 | 7.46  | 100.00 | 100.00 |

2.5 浮选闭路试验

浮选闭路试验流程如图 9 所示,结果见表 4。

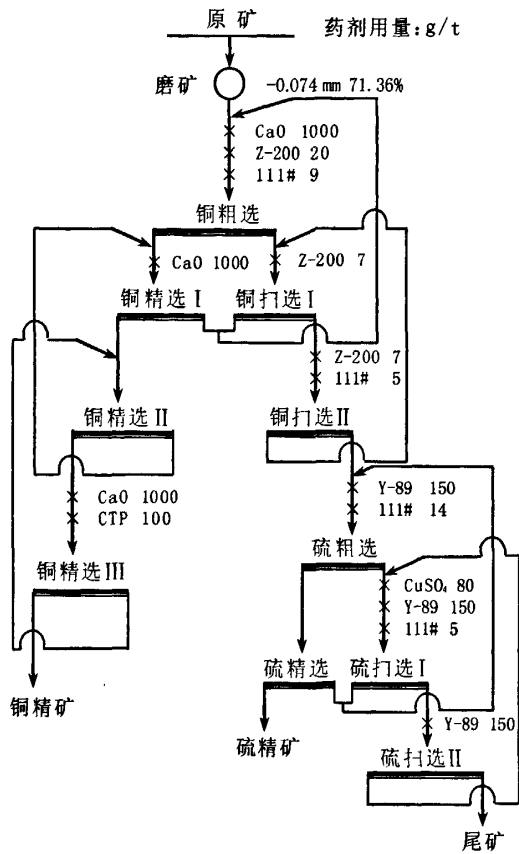


图 9 浮选闭路试验流程

表 4 浮选闭路试验结果

| 产品名称 | 产率/%   | 品位/%  |       | 回收率/%  |        |
|------|--------|-------|-------|--------|--------|
|      |        | Cu    | S     | Cu     | S      |
| 铜精矿  | 2.34   | 19.46 | 31.43 | 88.02  | 9.91   |
| 硫精矿  | 11.98  | 0.16  | 50.71 | 3.70   | 81.89  |
| 尾矿   | 85.68  | 0.05  | 0.71  | 8.28   | 8.20   |
| 原矿   | 100.00 | 0.52  | 7.42  | 100.00 | 100.00 |

3 磁选试验研究

由于“先磁后浮”原则流程在许多矿山有成功案例,故分别进行了浮选尾矿和原矿的磁选试验,以比较“先浮后磁”和“先磁后浮”原则流程用在本矿石选矿中的结果。

磁选试验流程如图 10 所示。其中,浮选尾矿直接进行磁选试验,而原矿要磨矿至 -0.074 mm 占

71.36%后再进行磁选试验;为考察磁场强度对这两种矿样中铁的磁选行为的影响,进行了磁场强度分别为0.03 T、0.08 T、0.09 T、0.1 T的磁选试验。

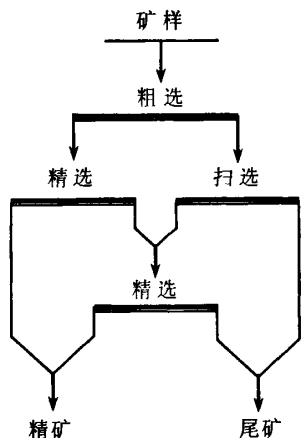


图10 磁选试验流程

### 3.1 浮选尾矿磁选试验

试验结果如图11所示。由图11可以看出:在磁场强度为0.03 T时,铁精矿的Fe品位达到65.35%,回收率达到83.69%,说明在较低的磁场强度下就可实现矿样中磁铁矿的回收。

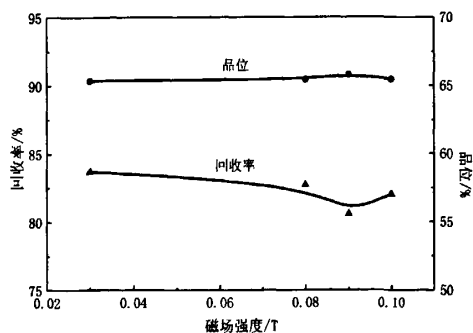


图11 浮选尾矿磁选试验结果

(其中,磁场强度为0.03 T时,铁精矿的S含量为0.83%)

### 3.2 原矿磁选试验

试验结果如图12所示。由图12可以看出,与浮选尾矿磁选试验结果相比,原矿经过磁选后,铁精矿的Fe品位和回收率均不高,且铁精矿含硫量升高,说明对于本矿石,采用“先浮后磁”的工艺流程是有利的。

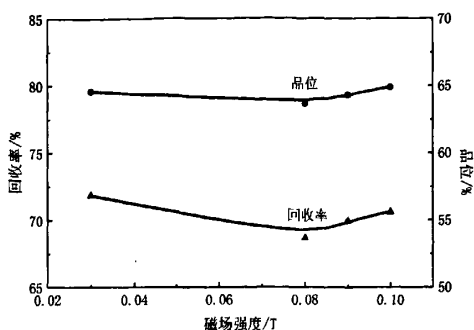


图12 原矿磁选试验结果

(其中,磁场强度为0.03 T时,铁精矿的S含量为1.77%)

## 4 结论

(1)工艺矿物学研究表明:矿石属低磷高硫的含铜原生磁铁矿矿石,含Cu 0.59%、TFe 40.31%、S 7.08%、Au 0.63 g/t,其中可供选矿回收的主要组分是铁和铜,金和硫可作为综合利用的对象。

(2)此矿石采用图9的浮选工艺和图10的磁选工艺,可获得Cu品位19.46%、回收率88.02%的铜精矿,S品位50.71%、回收率81.89%的硫精矿以及Fe品位65.35%、回收率83.69%的铁精矿。

(3)建议考虑金在铜精矿冶炼时进行回收。

### 参考文献:

- [1] 王立刚,陈金中. 澳大利亚 Cairn Hill 磁铁矿选矿试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2008, (3): 20-24.
- [2] 李俊宁,肖春莲,王炬,等. 某铁硫铜复杂多金属矿选矿工艺研究[J]. 金属矿山, 2008, (12): 58-63.
- [3] 普仓凤. 钢铁共采矿石选矿工艺流程试验研究[J]. 云南冶金, 2008, 37(4): 21-22.
- [4] 胡熙庚. 有色金属硫化矿选矿[M]. 北京:冶金工业出版社, 1987. 1-2.
- [5] 朱继生. 冬瓜山铜矿选矿技术攻关[J]. 中国铝业, 2006, 30(5): 24-27.
- [6] 阮华东,彭屹. 武山铜矿提高选矿指标实践[J]. 矿业快报, 2004, (7): 32-34.
- [7] 吴熙群,李世伦,谢珉. 西藏玉龙铜矿硫化矿选矿工艺流程的研究[J]. 矿冶, 2000, 9(4): 32-37.
- [8] 徐竟,孙伟,刘辉,等. 新型有机抑制剂 RC 在铜硫矿物浮选分离中的抑制作用[J]. 矿冶工程, 2004, 24(6): 27-30.
- [9] 欧乐明,冯其明,陈建华,等. 低碱度铜硫分离新工艺工业应用[J]. 湖南有色金属, 2001, 17(2): 9-11.
- [10] 朱建光. 浮选药剂[M]. 北京:冶金工业出版社, 1993. 25-26.