

澳大利亚某铜尾矿综合回收硫、铁试验研究*

姚孟齐^{1,2,3}, 童雄^{1,2,3}, 谢贤^{1,2,3}, 张胜东^{1,2,3}, 宋强^{1,2,3}

(1. 昆明理工大学 国土资源工程学院, 云南 昆明 650093; 2. 省部共建复杂有色金属资源清洁利用国家重点实验室, 云南 昆明 650093; 3. 云南省金属矿尾矿资源二次利用工程研究中心, 云南 昆明 650093)

摘要:对澳大利亚某铜尾矿进行了选矿试验研究, 采用浮选—磁选联合工艺流程, 综合回收尾矿中的硫、铁元素。试验结果表明: 采用新型 XT-01 作为硫铁矿捕收剂, 可获得硫品位为 49.80%、回收率为 92.58% 的硫精矿; 浮硫尾矿采用湿式弱磁选机磁选, 获得了铁品位为 64.11%、全铁回收率为 45.91% 的铁精矿, 实现了铜尾矿中硫、铁的综合回收。

关键词:铜尾矿; 硫; 铁; 捕收剂; 综合利用

中图分类号:TD926.4⁺2 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-0076(2017)06-0062-04

DOI:10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2017.06.012

Study on the Comprehensive Recovery of Sulfur and Iron from Copper Tailings in Australia

YAO Mengqi^{1,2,3}, TONG Xiong^{1,2,3}, XIE Xian^{1,2,3}, ZHANG Shengdong^{1,2,3}, SONG Qiang^{1,2,3}

(1. Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China; 2. State Key Laboratory of Complex Nonferrous Metal Resources Clean Utilization, Kunming 650093, China; 3. Yunnan Province Engineering Research Center for Reutilization of Metal Tailings Resources, Kunming 650093, China)

Abstract: Detailed beneficiation test research was conducted on a copper tailings from Australia, and then a combined flowsheet of flotation – magnetic separation was adopted for comprehensive recovery of sulfur and iron in tailings. The result showed that new – type XT – 01 as the collector for pyrite, a sulfur concentrate with the sulfur grade of 49.80% and recovery of 92.58% can be obtained. After flotation, the magnetic separation test which used wet low intensity magnetic separator has been done on flotation tailings, an iron concentrate with the iron grade of 64.11% and the total iron recovery of 45.91% was obtained. Comprehensive recovery and utilization of sulfur and iron in copper tailings was realized.

Key words: copper tailings; sulfur; iron; collector; comprehensive utilization

随着矿产资源的大量开发和利用, 矿产资源和环境保护的双重压力日益加剧, 尾矿作为二次资源已受到世界各国的重视, 同时尾矿的大量排放给环境造成的严重固体废弃物污染和危害以及占用土地等问

题也受到全社会的广泛关注^[1-3]。我国原生铜矿资源相对较少, 但经多年资源开发铜尾矿二次资源量却相当大。铜尾矿作为有色金属尾矿的重要组成部分, 对其综合回收利用不仅可以缓解铜矿资源压力,

* 收稿日期: 2017-08-21

基金项目: 云南省应用基础研究计划项目(2014FA027)

作者简介: 姚孟齐(1993-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为矿产资源的综合利用。

通讯作者: 童雄(1965-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事矿物加工的理论及工艺研究及尾矿资源清洁高效利用。

同时还能促进社会经济发展和生态环境保护^[4-6]。因此,铜尾矿资源的综合利用具有重要意义。

本研究以澳大利亚某大型铜矿浮选尾矿为研究对象,该尾矿主要可利用矿物为硫铁矿和磁铁矿,虽然尾矿中仍含有铜和金,但其赋存状态造成铜和金不能得到有效利用,因此为了高效地综合利用尾矿中的硫、铁元素,拟采用优先浮选选硫,浮选尾矿磁选选铁的原则工艺进行选矿试验研究。

1 样品的性质

样品的化学成分分析结果见表1,铁物相分析结果见表2,粒度组成分析结果见表3。

表1 化学多元素分析结果 /%

| 化学成分 | S | SiO ₂ | CaO | MgO | TFe | Al ₂ O ₃ | Au | Cu |
|------|------|------------------|------|------|-------|--------------------------------|-----|------|
| 含量 | 5.23 | 39.56 | 8.43 | 1.40 | 21.37 | 13.89 | 0.8 | 0.14 |

注:Au单位为g/t。

表2 铁物相分析结果 /%

| 铁物相 | 磁铁矿 | 碳酸盐 | 硅酸盐 | 硫化物 | 赤褐铁矿及其他 | 总铁 |
|-------|-------|------|------|-------|---------|--------|
| Fe含量 | 9.91 | 0.94 | 1.93 | 6.48 | 2.11 | 21.37 |
| Fe分布率 | 46.37 | 4.41 | 9.03 | 30.32 | 9.87 | 100.00 |

表3 粒度分析结果

| 粒级/ μm | 产率/% | | S品位/% | | S分布率/% | |
|-------------------|--------|--------|-------|------|--------|--------|
| | 个别 | 累计 | 个别 | 平均 | 个别 | 累计 |
| +74 | 25.32 | 25.32 | 0.81 | 0.81 | 3.70 | 3.70 |
| -74+44 | 13.79 | 39.11 | 3.69 | 1.83 | 9.18 | 12.88 |
| -44+37 | 11.28 | 50.39 | 7.26 | 3.04 | 14.77 | 27.65 |
| -37+28 | 9.61 | 60.00 | 8.70 | 3.95 | 15.08 | 42.73 |
| -28 | 40.00 | 100.00 | 7.61 | 5.41 | 57.27 | 100.00 |
| 合计 | 100.00 | | 5.41 | | 100.00 | |

综合表1、表2可知,矿样中硫、铁品位较高,硫主要为硫化铁矿,铁主要为磁铁矿,硫铁矿和磁铁矿是该铜尾矿中主要综合利用的矿物;同时矿石工艺矿物学研究结果表明,虽然样品中铜、金品位较高,但铜以结合铜为主,且金与铜共生密切,因此该铜尾矿中的铜和金均难以回收利用。从表3可知,该矿样中微细粒级含量较高,粗粒级与细粒级中硫的品位差别较大,该尾矿样中硫主要分布于微细粒级中,-37 μm 粒级中硫累积分布率达72.35%,因此该尾矿中硫铁矿不宜重选而采用浮选回收较适宜。

2 选硫试验研究

2.1 捕收剂的选择

为了研究不同捕收剂对该矿的选别效果,分别采用XT-01、丁基黄药、MC44、A31四种捕收剂进行对比,选矿工艺流程及药剂制度如图1所示,试验结果见表4。

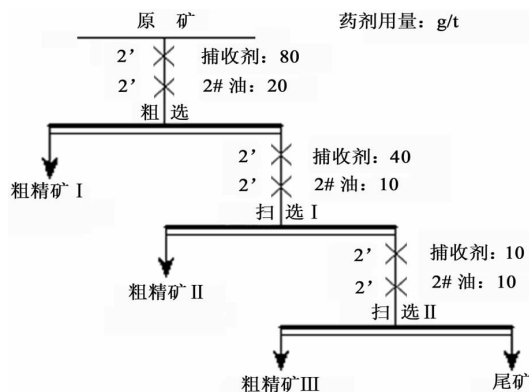


图1 捕收剂种类试验流程

Fig.1 Flowsheet of collector type test

表4 捕收剂种类试验结果 /%

| 捕收剂种类 | 产品 | 产率 | | S品位 | | S分布率 | |
|-------|---------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|
| | | 个别 | 累计 | 个别 | 平均 | 个别 | 累计 |
| XT-01 | 粗精矿 I | 10.11 | | 45.19 | | 87.31 | |
| | 粗精矿 II | 2.25 | 12.36 | 12.76 | 39.29 | 5.49 | 92.80 |
| | 粗精矿 III | 1.51 | 13.87 | 7.30 | 35.80 | 2.10 | 94.90 |
| | 尾矿 | 86.13 | 100.00 | 0.31 | 5.23 | 5.10 | 100.00 |
| 丁基黄药 | 粗精矿 I | 10.28 | | 43.28 | | 85.12 | |
| | 粗精矿 II | 2.30 | 12.58 | 12.26 | 37.61 | 5.41 | 90.53 |
| | 粗精矿 III | 1.53 | 14.11 | 7.22 | 34.31 | 2.12 | 92.65 |
| | 尾矿 | 85.89 | 100.00 | 0.45 | 5.23 | 7.35 | 100.00 |
| MC44 | 粗精矿 I | 7.35 | | 43.35 | | 60.89 | |
| | 粗精矿 II | 1.98 | 9.33 | 22.56 | 38.94 | 8.54 | 69.43 |
| | 粗精矿 III | 0.83 | 10.16 | 15.27 | 37.00 | 2.42 | 71.85 |
| | 尾矿 | 89.84 | 100.00 | 1.64 | 5.23 | 28.15 | 100.00 |
| A31 | 粗精矿 I | 10.07 | | 43.96 | | 84.59 | |
| | 粗精矿 II | 2.43 | 12.50 | 15.50 | 38.43 | 7.20 | 91.79 |
| | 粗精矿 III | 1.67 | 14.17 | 8.76 | 34.93 | 2.80 | 94.59 |
| | 尾矿 | 85.83 | 100.00 | 0.33 | 5.23 | 5.41 | 100.00 |

由表4可知,采用MC44作为捕收剂时,浮选效果较差,而采用XT-01、丁基黄药、A31三种捕收剂均取得了相对较好的浮选指标,但XT-01的选择性和捕收性最好,因此选择XT-01作为捕收剂进行硫化铁矿物浮选较适宜。

2.2 捕收剂用量试验

确定捕收剂种类后进行捕收剂用量试验,选矿工艺流程及药剂制度见图 1(粗选 + 扫选 I 捕收剂用量为试验变量,其他药剂用量固定不变),试验结果如图 2 所示。

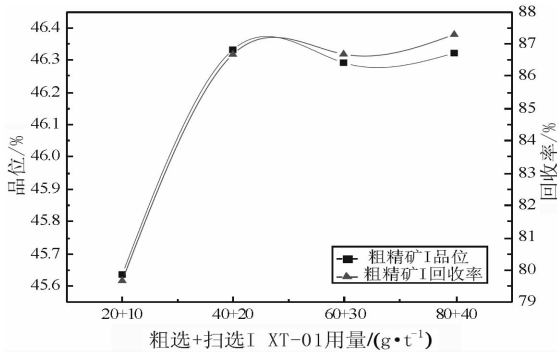


图 2 精矿 I 的品位及回收率与 XT-01 用量的关系
Fig. 2 Grade and recovery of concentrate I as a function of the dosage of XT-01

从图 2 可以看出,当 XT-01 用量达到 60 g/t 后,品位和回收率都趋于稳定,且浮选效果最佳,因此 XT-01 在粗选 + 扫选 I 的用量应选择 40 + 20 g/t 为宜。

结果讨论:

(1) 试验结果:铜尾矿硫浮选试验结果表明 XT-01 为回收细粒的硫铁矿的优良选矿药剂,获得硫精矿品位和回收率均较高,说明该药剂选择性好,同时具有较高的捕收能力。

(2) 药剂配伍:XT-01 主要药剂组分为戊基硫铵类极性捕收剂与低级乙黄药在乳化剂 TW80 调节下,以一定比例混匀,在水浴恒温、长时间、高剪切力外力作用下,配制复合而成,该药剂具有低毒、易溶于水、流动性较好、化学性质稳定的特性。

(3) 作用机理分析:根据乙黄药、乙基双黄药、黄原酸铁的红外光谱图,乙黄药主要的吸收峰为: C—O—C 伸缩振动为 1 100 ~ 1 172 cm⁻¹; C—S 伸缩振动为 1 049 cm⁻¹ 和 1 008 cm⁻¹,当乙基双黄药形成时, C—S 伸缩振动降至 1 019 cm⁻¹ 和 998 cm⁻¹; C—O—C 伸缩振动增至 1 240 ~ 1 290 cm⁻¹。当黄原酸铁形成时, C—S 伸缩振动降至 1 029 cm⁻¹ 和 1 005 cm⁻¹[7]。

XT-01 捕收剂在硫化矿物表面吸附机理的研究表明矿物的可浮性与矿物中 Fe—S 键特性和矿物

表面元素含量有关。当高低级硫化矿捕收剂混合用药时,药剂在黄铁矿表面吸附时具有较好的协同效应,加之在乳化剂作用下,分子直径变小,选择吸附性更高^[8]。当药剂与黄铁矿相互作用后,通过红外光谱分析发现,黄铁矿出现了 XT-01 的吸收峰,说明 XT-01 在黄铁矿表面发生了吸附。本次浮选试验表明 XT-01 具有良好的浮选性能,比丁基黄药、MC44 及 A31 等对比药剂的捕收性更强,浮选速度也较快。

2.3 选硫闭路试验

在探索试验、条件试验基础上,采用 XT-01 作为捕收剂进行闭路试验。闭路试验流程及药剂制度如图 3 所示,试验结果见表 5。

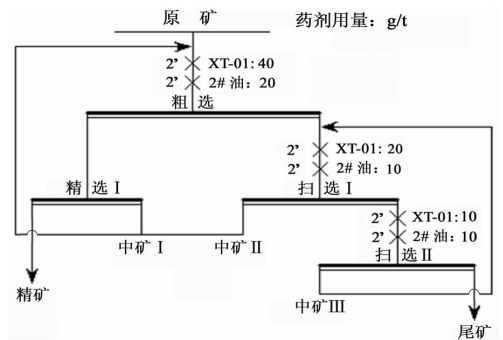


图 3 选硫闭路试验流程
Fig. 3 Flowsheet of sulfur closed-circuit test

| 产品 | 产率 | S 品位 | S 回收率 |
|----|--------|-------|--------|
| 精矿 | 9.79 | 49.80 | 92.58 |
| 尾矿 | 90.21 | 0.43 | 7.42 |
| 给矿 | 100.00 | 5.27 | 100.00 |

由闭路试验结果可知,采用 XT-01 作为捕收剂,该矿经一粗一精两扫流程选别后可获得平均品位为 49.80%、回收率为 92.58% 的硫精矿,尾矿中硫品位降至 0.43%,选别效果较好。

为确定 XT-01 作为捕收剂的闭路流程所选别的硫精矿的质量,对硫精矿进行了主要成分分析,分析结果见表 6。

| 化学成分 | S | SiO ₂ | Fe | Au | Al ₂ O ₃ | Cu | As |
|------|-------|------------------|-------|-----|--------------------------------|------|------|
| 含量 | 49.80 | 3.31 | 44.15 | 2.1 | 1.03 | 0.66 | <0.1 |

注: Au 单位为 g/t。

由表6可知,最终获得的硫精矿中硅品位较低,硫、铁品位较高,伴生金、铜在硫精矿中富集,但含量较低达不到综合利用质量要求。

3 选铁试验研究

试验采用湿式弱磁场鼓式磁选机对浮硫尾矿进行了选铁试验,主要进行磁场强度选择试验,经湿式弱磁选得到铁精矿和尾矿,试验结果如图4所示。为确定磁选铁精矿的质量,对铁精矿进行了主要成分分析,分析结果见表7。

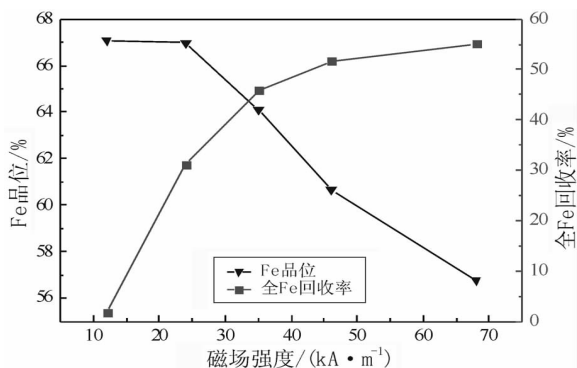


图4 磁场强度对选别指标的影响

Fig.4 Effect of magnetic field strength on beneficiation index

表7 铁精矿主要化学成分分析结果 /%

Table 7 Main chemical composition analysis results of iron concentrate

| 化学成分 | S | P | SiO ₂ | As | Fe |
|------|------|-------|------------------|------|-------|
| 含量 | 0.18 | 0.029 | 7.43 | <0.1 | 64.11 |

结果分析:从图4可以看出,在磁场强度为35 kA/m的条件下,磁选回收磁铁矿效果较好,因此,磁场强度选择35 kA/m较适宜。试验结果表明,通过一次湿式弱磁选可获得铁品位为64.11%、全铁回收率为45.91%的铁精矿。由表7可知,该铁精矿中磷、硅、砷含量较低,硫、磷、硅、砷、铁的品位达到国家铁矿石标准草案中的高炉炼铁的一级品I类的要求。因此,精矿产品达到了铁精矿质量要求。

4 结语

(1) 试验样品中的硫、铁含量较高,且主要以硫铁矿和磁铁矿存在,经选铜后有用矿物单体解离度较好,具有较高的回收价值;但硫铁矿主要以细粒、微细粒赋存于铜尾矿中,采用浮选较适宜,磁铁矿采用湿式弱磁场磁选机回收。

(2) 采用新型XT-01作为硫铁矿捕收剂获得了较好的试验效果,浮选指标高于常用硫化矿捕收剂,因此说明XT-01为铜尾矿回收细粒的硫铁矿的优良选矿药剂。

(3) 对选硫浮选尾矿进行选铁试验,采用湿式鼓式磁选机,得到了铁品位为64.11%、全铁回收率为45.91%的铁精矿,产品质量达到了铁精矿质量要求,通过对铜尾矿中硫、铁元素进行选别回收,实现了二次资源综合利用。

参考文献:

- [1] 陈宇峰,陆晓燕. 铜尾矿资源化的现状和展望[J]. 南通大学学报(自然科学版),2004(4):60-62.
- [2] 朱兵兵,田键,朱艳超,等. 铜尾矿综合利用现状与展望[J]. 建材世界,2015(5):84-87.
- [3] 蒲含勇,张应红. 论我国矿产资源的综合利用[J]. 矿产综合利用,2001(4):19-23.
- [4] 关红艳,徐利华,周冰,等. 我国铜尾矿二次资源再利用技术现状[J]. 金属矿山,2010(10):185-188.
- [5] 兰志强,蓝卓越. 铜尾矿资源综合利用研究进展[J]. 矿产保护与利用,2015(5):51-56.
- [6] 陈甲斌,王海军. 铜尾矿资源结构与综合利用政策研究[J]. 中国矿业,2012(1):48-52.
- [7] 张芹,胡岳华,顾帼华,等. 磁黄铁矿与乙黄药相互作用电化学浮选红外光谱的研究[J]. 矿冶工程,2004(5):42-44.
- [8] 王竹生,冯慧华,于兴涌. 黄铁矿浮选机理的研究[J]. 化工矿山技术,1983(3):31-35.

引用格式:姚孟齐,童雄,谢贤,等. 澳大利亚某铜尾矿综合回收硫、铁试验研究[J]. 矿产保护与利用,2017(6):62-65.

YAO Mengqi, TONG Xiong, XIE Xian, et al. Study on the comprehensive recovery of sulfur and iron from copper tailings in Australia[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2017(6):62-65.