

采用 CCF 浮选柱回收某尾矿中铜的实验研究

李纪¹, 黄迎春², 马国印¹, 黄浩¹

(1. 中际山河科技有限公司, 湖南 长沙 430100;

2. 湖南有色环保研究院有限责任公司, 湖南 长沙 410100)

摘要: 本文以湖北某磁选尾矿中铜的综合回收为研究对象, 通过工艺矿物学研究表明, 该磁选尾矿组分较为复杂, 铜含量较低为 0.38%, 嵌布粒度较细, 铜主要赋存于原生硫化铜中, 分布率为 74.08%, 铜矿物主要是黄铜矿, 少量铜蓝、辉铜矿等, 脉石矿物主要是石英, 其次为方解石、白云石、绢云母, 少量长石、高岭石等。针对尾矿中铜矿物“贫、细、杂”的特点, 采用 CCF 浮选柱进行回收铜的选矿实验研究, 研究表明, 经过一次粗选一次扫选和两次精选作业, 可从含铜 0.38% 的尾矿中获得铜品位 16% 以上, 铜回收率 76% 以上的铜精矿, 实验指标良好, 实现矿产资源综合回收利用。

关键词: 尾矿; 铜; CCF 浮选柱

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2022.05.008

中图分类号: TD952 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2022) 05-0042-04

随着国家对资源环境保护的重视, 矿山资源的综合高效利用已经成为行业发展的必然途径。新型节能高效选矿设备的研发应用是我国矿山资源现代化生产利用技术设备支撑的关键^[1-3]。CCF 型浮选柱为选矿日益面临的“贫、细、杂”矿石选矿难题的解决提供了可能, 它具有操作简单、选矿效率高、节能运行成本低、自动化程度高、占地面积和基建投资少等优点^[4-6]。

湖北某磁选尾矿, 堆存体量大, 经取样分析

尾矿中含铜量为 0.38%, 再进一步工艺矿物学研究表明, 尾矿中有用矿物铜的嵌布粒度较细, 主要为硫化铜矿物, 铜矿物主要是黄铜矿, 少量铜蓝、辉铜矿等。

1 尾矿性质

1.1 尾矿化学分析

尾矿化学多元素化学分析、铜的化学物相分析结果见表 1、2。

表 1 尾矿多元素分析结果/%
Table 1 Multi-elementary analysis results of tailings

Cu	Fe	S	As	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O
0.38	7.80	4.82	0.02	48.88	4.36	3.23	15.46	1.05	0.33

由表 1 中结果可知, 尾矿样中主要的有用组分是 Cu, 含量为 0.38%, 有害组分 As 的含量较低; 矿石中含量最高的组分主要是 SiO₂, 其次是 CaO。

由表 2 可知, 尾矿中铜的总含量 0.382%, 主要赋存于原生硫化铜中, 分布率为 74.08%, 其他以次生硫化铜和氧化铜的形式存在, 分布率为 15.45%、10.47%。

表 2 尾矿中铜的化学物相分析

Table 2 Chemical phase analysis of copper in tailings				
名称	原生硫化铜	次生硫化铜	氧化铜	总铜
含量/%	0.283	0.059	0.040	0.382
分布率/%	74.08	15.45	10.47	100.00

1.2 尾矿的矿物组成及相对含量

根据偏光显微镜和扫描电镜下的观测结果, 并参考尾矿的多元素化学分析结果、铜的化学物相分析结果, 得出矿样中主要的矿物组成及其相

收稿日期: 2020-08-15

作者简介: 李纪 (1984-), 男, 高级工程师, 主要从事选矿工艺研究和生产管理工作。

对含量，结果见表 3。

表 3 矿石中主要矿物的相对含量			
Table 3 Relative content of the main minerals in the ore			
矿物	含量/%	矿物	含量/%
黄铜矿	0.8	方解石	19.8
铜蓝、辉铜矿	0.1	白云石	14.3
孔雀石	微量	绢云母	8.0
黄铁矿	8.6	长石	3.0
赤铁矿、褐铁矿	3.5	高岭石	5.4
磁铁矿	0.2	其他	0.3
石英	36.0	合计	100.0

由表 3 中结果可知，尾矿样中的铜矿物主要是黄铜矿，少量铜蓝、辉铜矿等，偶见孔雀石；金属矿物主要是黄铁矿，少量赤铁矿、磁铁矿、褐铁矿等。脉石矿物主要是石英，其次为方解石、白云石、绢云母，少量长石、高岭石等。

2 选矿实验

2.1 浮选柱半工业实验工艺流程

现场采用三台小型浮选柱进行半工业选矿实验，工艺流程见图 1。

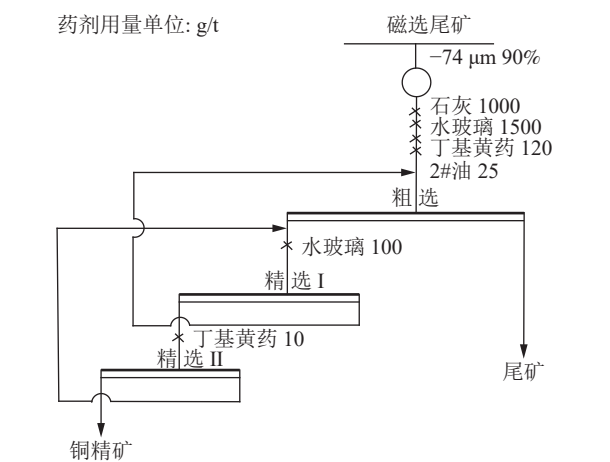


图 1 半工业实验工艺流程
Fig.1 Process flow chart of semi-industrial test

2.2 浮选柱半工业条件实验

2.2.1 粗选给矿量实验

根据浮选柱选型计算结果，本次浮选柱半工业实验粗选给矿量在 (0.6~1.2) t/h 范围内，考查给矿量对选矿指标的影响，确定较佳给矿量，实验结果见图 2。

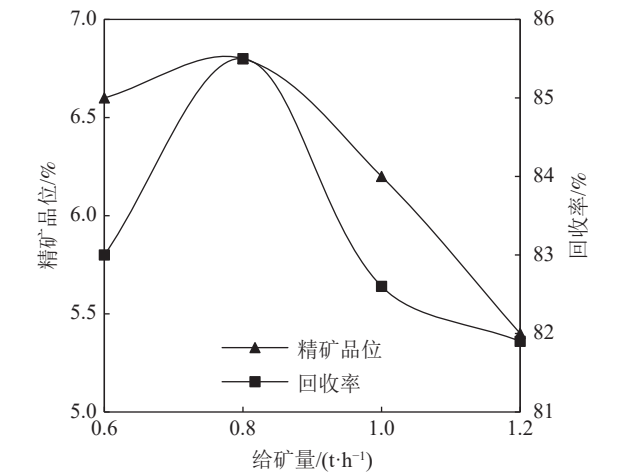


图 2 给矿量实验结果
Fig.2 Results of throughput test

由图 2 可知，在给矿量 (0.6~0.8) t/h 范围内，随着给矿量增大，精矿品位、回收率都呈上升趋势，粗选给矿量为 0.8 t/h 时，粗选浮选柱选铜实验指标达到较优值；当给矿量超过 0.8 t/h 时，选矿指标呈下降趋势，浮选柱分选效果变差。

2.2.2 粗选给矿浓度实验

给矿浓度是影响选矿指标的重要因素之一。本次实验粗选给矿浓度在 20%~40% 范围内进行调试，实验结果见图 3。

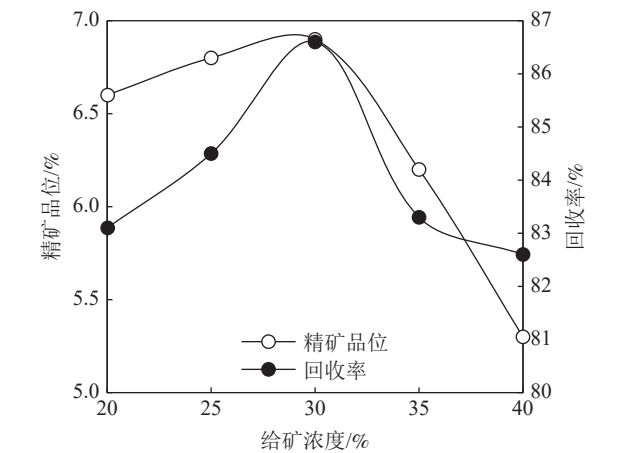


图 3 给矿浓度实验结果
Fig.3 Results of feeding concentration test

由图 3 可知，在给矿浓度 20%~30% 范围内，随着给矿浓度变大，铜精矿品位和回收率均呈现上升趋势；给矿浓度大于 30% 时，铜精矿富集不佳，回收率也呈下降趋势，最终确定浮选浓度为 30%。

2.2.3 泡沫层厚度实验

浮选柱泡沫层高度相较浮选机厚很多，这是

浮选柱精矿富集比优于浮选机的重要原因之一。有用矿物颗粒粘附在微气泡上浮至矿浆液面，在此上浮过程中，微气泡经过多次破裂和兼并，泡沫间夹带的脉石杂质脱落，有用矿物得到进一步富集。本文实验粗选、精选泡沫层厚度分别在 300~500 mm、550~950 mm 范围内进行调试，结果见图 4、5。

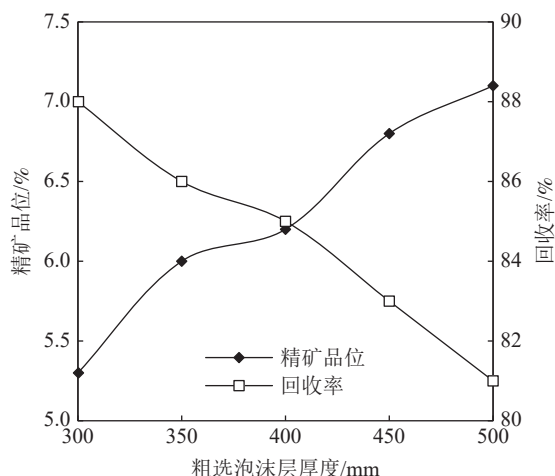


图 4 粗选泡沫层厚度实验结果

Fig.4 Results of rough separation froth depth test

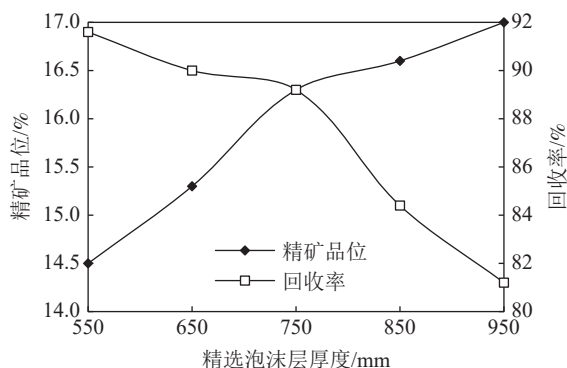


图 5 精选泡沫层厚度实验结果

Fig.5 Results of concentration froth depth test

由图 4、5 可知，随着泡沫层厚度增大，精矿品位呈上升趋势，精矿回收率则呈下降趋势。综合精矿品位和回收率，粗选浮选柱泡沫层厚度为 400 mm，精选浮选柱泡沫层厚度为 750 mm，选矿指标较优。

2.2.4 充气量实验

浮选柱充气量大小对浮选柱浮选矿作业的稳定和选矿指标有很大影响，充气量太小，微泡数量不够，减少与目的矿物碰撞粘附的机会，充气量太大，矿浆翻花，浮选泡沫层不稳，同样影响

选矿指标。结合以往经验，本次实验以粗选气压 0.45 MPa、精选气压 0.3 MPa 为固定条件，粗选充气量在 (30~60) m³/h 的范围、精选充气量在 (5~20) m³/h 范围做条件实验。实验结果见图 6、7。

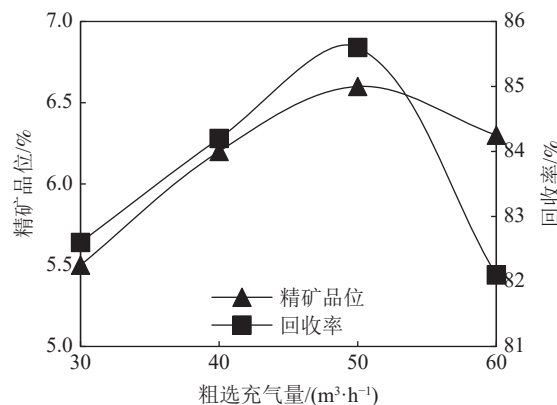


图 6 粗选充气量实验结果

Fig.6 Results of rough separation gas filling volume test

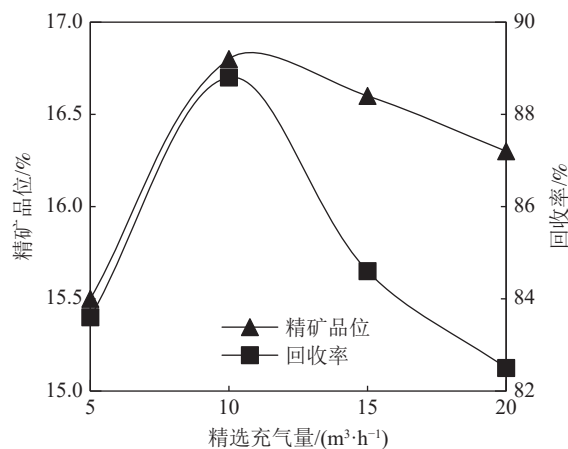


图 7 精选充气量实验结果

Fig.7 Results of concentration gas filling volume test

由图 6、7 可知，粗选浮选柱充气量在 (30~50) m³/h 的范围内时，选矿指标随充气量变大呈上升趋势，当粗选浮选柱充气量为 50 m³/h 时，粗选浮选柱选矿指标达到较佳值，超过 50 m³/h 时，选别指标变坏；精选浮选柱充气量 (5~10) m³/h 的范围内时，选矿指标随着充气量呈上升趋势，在 10 m³/h 时，达到较佳值，超过 10 m³/h 后，精选浮选柱选矿指标变差。因此粗选精选浮选柱较佳充气量分别为 50 m³/h、10 m³/h。

2.2.5 较佳工艺参数条件及实验结果

半工业实验浮选柱较佳工艺参数条件见表 4，在此条件下实验指标见表 5。

表 4 半工业实验浮选柱较佳工艺参数

Table 4 Process parameters of semi-industrial test					
处理量/ (t·h ⁻¹)	作业 名称	给矿 浓度/%	泡沫层 厚度/mm	充气量/ (m ³ ·h ⁻¹)	充气 压力/MPa
0.8	粗选	30	400	50	0.45
	精选		750	10	0.30

表 5 半工业条件实验结果

Table 5 Results of semi-industrial condition test			
产品名称	产率/%	Cu品位/%	回收率/%
精矿	1.70	16.80	77.19
尾矿给矿	98.30100.00	0.090.37	23.91100.00

2.3 连续实验

连续实验是验证实验指标可靠性的主要手段，以条件实验探索的较佳工艺条件进行 72 h 9 个班次连续实验的结果见表 6。

表 6 连续实验结果

Table 6 Results of continuous test				
班次	给矿/%	精矿/%	尾矿/%	回收率/%
1	0.380	16.420	0.081	79.07
2	0.377	16.360	0.076	80.21
3	0.382	16.690	0.088	77.37
4	0.379	16.540	0.086	77.71
5	0.369	16.330	0.086	77.10
6	0.388	16.870	0.092	76.71
7	0.376	16.660	0.098	74.37
8	0.385	16.600	0.102	73.96
9	0.386	16.690	0.095	75.82
平均	0.380	16.573	0.089	76.92

由表 6 可知，连续 9 个班次实验平均精矿品位 16.573 %，平均回收率 76.92 %，平均给矿品位 0.380 %。浮选柱再选尾矿中铜的半工业连续实验指标连续稳定，验证了本次实验指标的可靠性。

3 结 论

(1) 湖北某磁选尾矿中含铜量 0.38%，主要赋存于原生硫化铜中，分布率为 74.08%，其他以次生硫化铜和氧化铜的形式存在，分布率分别为 15.45%、10.47%。铜矿物主要是黄铜矿，少量铜蓝、辉铜矿等，偶见孔雀石；金属矿物主要是黄铁矿，少量赤铁矿、磁铁矿、褐铁矿等；脉石矿物主要是石英，其次为方解石、白云石、绢云母，少量长石、高岭石等。

(2) 浮选柱选铜半工业实验，采用一次粗选

两次精选选矿工艺。经过条件实验确定较佳选矿工艺参数为，粗选给矿量 0.8 t/h，给矿浓度 30%，粗选、精选泡沫层厚度分别为 400 mm、750 mm，粗选气压 0.4 5 MPa、充气量 50 m³/h，精选气压 0.30 MPa、充气量 10 m³/h。

(3) CCF 浮选柱再选回收铜半工业选矿实验结果为：给矿品位 0.37%，铜精矿品位 16.80%，回收率 77.19%；连续 9 个班的实验指标为：给矿品位平均值 0.38%，精矿品位平均值 16.573%，回收率平均值 76.92%。选矿指标较好，实现矿产资源综合回收利用。

参考文献：

[1] 程雄伟, 王怀法. 新型射流浮选柱充气性能试验研究[J]. [矿产综合利用](#), 2019(4):38-41.

CHENG X W, WANG H F. Experimental study on the aeration performance of a new type of jet flotation column[J]. [Multipurpose Utilization of Mineral Resources](#), 2019(4):38-41.

[2] 王选毅, 吴铁生, 薛明向, 等. 浮选柱用于白钨精选的工业试验研究[J]. [有色金属 \(选矿部分\)](#), 2012(6):60-64.

WANG X Y, WU T S, XUE M X, et al. Flotation column used in industrial test research of scheelite concentration[J]. [Non-ferrous metals \(mineral processing part\)](#), 2012(6):60-64.

[3] 梁冰, 韩苗苗, 韩继康, 等. 一种新型浮选柱发泡器生成气泡特性研究[J]. [矿产综合利用](#), 2020(3):190-196.

LIANG B, HAN M M, HAN J K, et al. Bubble generation characteristics of a new type of flotation column[J]. [Multipurpose Utilization of Mineral Resources](#), 2020(3):190-196.

[4] 卿林江. CCF 浮选柱在钼和钨浮选的应用[J]. [矿业工程](#), 2018, 16(2):42-44.

QING L J. Application of CCF flotation column in flotation of molybdenum and tungsten[J]. [Mining Engineering](#), 2018, 16(2):42-44.

[5] 黄建芬, 余江鸿. 某铜尾矿选矿试验研究[J]. [世界有色金属](#), 2018, 513(21):49-51.

HUANG J F, YU J H. Experimental research on the beneficiation of a copper tailings[J]. [World Nonferrous Metals](#), 2018, 513(21):49-51.

[6] 欧乐明, 王立军, 冯其明, 等. 利用微泡浮选柱分选中低品位铝土矿的试验研究[J]. [矿冶工程](#), 2011, 31(3):40-43.

OU L M, WANG L J, FENG Q M, et al. Experimental research on sorting low-grade bauxite using micro-bubble flotation column[J]. [Mining and Metallurgical Engineering](#), 2011, 31(3):40-43.