

云南某铜尾矿中铜和金的选矿回收试验

刘 豹^{1,2}, 郝良影², 张永欣²

(1. 东北大学 资源与土木工程学院, 沈阳 110006; 2. 辽宁工程技术大学 矿业学院, 辽宁 阜新 123000)

摘 要: 云南某铜尾矿主要金属矿物有黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿等, 黄铜矿以原生硫化铜为主, 金以裸露金和黄铜矿包裹金为主。为综合回收其中有价铜、金, 进行了选矿试验。试样在磨矿细度为-200 目占 85%的情况下采用两次粗选、第二次粗选后扫选、两次精选、第二次精选后扫选、混精矿再磨至-325 目占 85%、粗选后扫选精矿再磨至-325 目占 85%、中矿循序返回流程处理。最终获得铜品位 15.51%、回收率 68.34%、产率 1.41%的铜金精矿, 其中的金品位 19.93 g/t、回收率 54.04%, 银品位 231.72 g/t、回收率 41.89%。

关键词: 有色金属冶金; 铜尾矿; 综合回收; 组合药剂; 再磨

中图分类号: TD953 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0676(2016)02-0046-05

Recovery Test of Copper and Gold from a Copper Mine Tailings in Yunnan

LIU Bao^{1,2}, HAO Liangying², ZHANG Yongxin²

(1. College of Resources and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110006, China;

2. College of Mining, Liaoning Technology University, Fuxin 123000, Liaoning, China)

Abstract: The main metal minerals in Yunnan copper mine tailings are chalcopyrite, pyrite and pyrrhotite etc. The chalcopyrite is mainly primary copper sulfide, and gold is mainly bare gold and chalcopyrite coated gold. Mineral processing experiments were carried out for the comprehensive recovery of copper and gold. When 85% of the sample is within a grinding fineness of -200 mesh following grinding, it was subjected to the mineral separation. The process includes: two-time rough selection, one-time sweep selection, two-time selection twice, sweep selection once again. The resulting mixed concentrate was grinded again to such an extent that 85% of the concentrate had a grinding fineness of -325 mesh before the rough selection and then the selection were conducted once more. Copper containing in the final concentrate reached up to 15.51% with a recovery rate of 68.34%, gold 19.93 g/t with a recovery rate of 54.04%, silver 231.72 g/t with a recovery rate of 41.89%.

Key words: nonferrous metallurgy; copper tailings; comprehensive recovery; combined medicament; regrinding

我国铜资源储量丰富, 但人均占有量非常少。随着经济的迅速发展, 我国已发现可利用的铜矿资源不能满足自身的需求, 因此综合回收过去因技术落后和经济限制而在粗放型生产方式下排放的尾矿迫在眉睫^[1]。

云南某铜尾矿中堆放约 700 万吨铜金含量相对较高的尾矿, 在目前的经济、技术环境下该尾矿具有巨大的综合利用价值。探索一种合理的选矿工艺流程充分回收铜金金属很有必要。

1 实验部分

1.1 尾矿工艺矿物学研究

尾矿矿样中主要金属矿物有黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿等，脉石矿物主要有方解石、石英、绿泥石、石榴石等。黄铜矿与黄铁矿、磁黄铁矿等密切共生，嵌布粒度不均匀，以细粒和微细粒嵌布为主，部分粒度极细，且连生体、包裹体较多，难以单体解离。试样化学多元素分析结果见表 1，铜和金物相分析结果列于表 2 和表 3。

表 1 原矿化学多元素分析结果

Tab.1 The chemical element analysis results of the sample /%

元素	Cu	TFe	MFe	S	P	SiO ₂	Au/ (g/t)	Ag/ (g/t)
含量	0.32	11.84	0.43	7.71	<0.005	54.78	0.52	7.8

表 2 铜物相分析结果

Tab.2 Phase analysis results of copper in the sample /%

铜相别	含量	比例
原生硫化铜	0.161	50.31
次生硫化铜	0.056	17.50
自由氧化铜	0.011	3.44
结合氧化铜	0.092	28.75
总铜	0.320	100.0

表 3 金物相分析结果

Tab.3 gold phase analysis in the sample

金相别	含量/(g/t)	比例/%
裸露金	0.253	48.65
硫化物包裹金	0.064	12.31
氧化铁包裹金	0.131	25.19
其他矿物包裹金	0.072	13.85
总金	0.520	100.00

由表 1 知，该铜尾矿矿样所含主要矿物元素为铜、金、银和硫，主要对铜、金进行回收。由表 2 知，矿样中铜的存在形式以原生硫化铜为主，其次是结合氧化铜和次生氧化铜，含量最少的是自由氧化铜。由表 3 知，从金的赋存状态来看，金主要为裸露金和包裹金，且主要存在形式为裸露金，其次为包裹金。

1.2 主要设备和药剂

条件实验和开路实验部分矿样的用量为每次

500 g，产品品位以化学滴定法测定。实验主要设备有 XMQ-240×90 型球磨机、XFD-2L 型充气单槽浮选机、标准检验筛 ISO、DHG-9140A 型恒温干燥箱和电子天平等，药剂中 CaO、异戊基黄药和丁基黄药为分析纯，2[#]油为工业纯，试验用水为自来水。

2 结果与讨论

2.1 粗选条件实验

粗选条件试验流程见图 1。

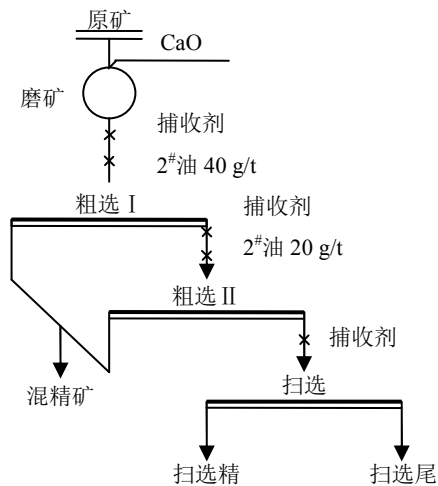


图 1 粗选条件试验流程

Fig.1 The test process of roughing condition

2.1.1 磨矿细度试验

矿物单体解离程度和泥化程度对浮选指标有较大影响，通过确定最佳磨矿细度来反应矿物单体解离程度和泥化程度，从而达到最高的浮选指标^[2]。磨矿细度试验的 CaO 用量为 2500 g/t、异戊基黄药 120 g/t、2[#]油为 40 g/t。试验流程见图 1，试验结果见表 4。

表 4 磨矿细度试验混精矿指标

Tab.4 Grinding fineness test of mixed concentrate index

磨矿细度 (-200 目比例)/%	品位		回收率	
	Cu/%	Au/(g/t)	Cu/%	Au/%
75	1.21	1.11	62.63	41.29
80	1.18	1.13	65.28	45.43
85	1.17	1.15	69.61	52.89
90	1.09	1.12	64.45	51.57

由表 4 可知,随着磨矿细度的提高混合精矿中铜、金品位及回收率先增加后降低,即铜金单体解离程度越来越完全,当磨矿细度-200 目占 85%以上时矿物的泥化程度加剧,从而降低了铜金的品位和回收率。综合考虑,确定磨矿细度-200 目占 85%。

2.1.2 捕收剂条件试验

在 CaO 用量为 2500 g/t、磨矿细度为-200 目占 85%、2[#]油为 40 g/t 的条件下,考察不同捕收剂方案对铜金粗选的影响。试验流程见图 1,结果见表 5。

表 5 捕收剂选择试验混精矿指标

捕收剂		品位		回收率	
种类	用量/(g/t)	Cu/%	Au/(g/t)	Cu/%	Au/%
异戊基黄药	120	1.22	1.13	69.42	53.40
丁基黄药+ 异戊基黄药	90+30	1.48	1.57	73.84	68.91
丁基黄药+ 异戊基黄药	30+90	1.11	1.47	80.36	59.23
丁基黄药	120	1.18	1.16	69.57	52.87

由表 5 可知,相同药量的情况下,丁基黄药与异戊基黄药质量比为 3:1 时铜粗精矿中铜、金品位和回收率均相对较高。综合考虑,选取配比为 3:1 的丁基黄药和异戊基黄药混合药剂作为捕收剂。在该配比下经过捕收剂用量探索,确定丁基黄药用量为 60 g/t,异戊基黄药为 20 g/t。

2.1.3 调整剂条件试验

CaO 不仅对黄铁矿具有较好的抑制效果^[3],且本身是一种絮凝剂,能使矿浆中微细颗粒凝结,用量适当时,泡沫能保持一定黏度,利于浮选,因此选择 CaO 作为抑制剂。在丁基黄药+异戊基黄药为 80 g/t,磨矿细度为-200 目占 85%、2[#]油为 40 g/t 的条件下,考察不同 CaO 用量对铜金粗选的影响。试验流程见图 1,试验结果见表 6。

表 6 CaO 用量试验粗精矿指标

CaO 用量/(g/t)	品位		回收率	
	Cu/%	Au/(g/t)	Cu/%	Au/%
1500	1.25	1.51	64.70	67.41
2000	1.33	1.47	65.84	64.09
2500	1.55	1.58	70.88	63.69
3000	1.29	1.29	68.32	53.85

由表 6 可知,随着 CaO 用量的增加混合精矿铜、金品位和回收率先增加后降低,CaO 过量时。促使微细矿粒凝结而使泡沫黏结膨胀,影响了浮选过程的正常进行。综合考虑,确定 CaO 用量为 2500 g/t。

2.2 再磨细度试验

2.2.1 混精矿再磨细度试验

对混精矿直接进行两次精选试验,所得铜金精矿中铜品位为 11.05%、金品位为 17.56 g/t,铜回收率为 42.67%、金回收率为 39.56%。进一步分析表明,混精矿中黄铜矿的单体解离度仅为 69.1%。因此,要进一步提高铜金精矿指标,必须对混精矿再磨^[4]。试验流程见图 2,试验结果见表 7。

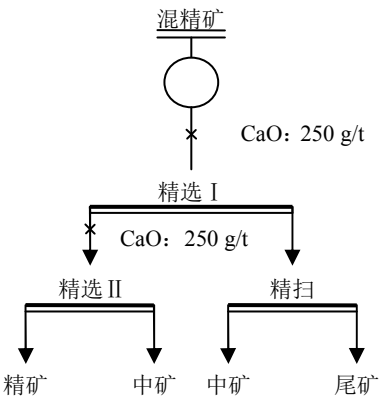


图 2 混精矿再磨选别条件试验流程图

Fig.2 Flow chart of the mixed fine grinding and conditions

表 7 混精矿再磨细度试验精矿指标

再磨细度 (-325 目含量)/%	品位		回收率	
	Cu/%	Au/(g/t)	Cu/%	Au/%
75	11.83	16.98	53.11	43.06
85	14.73	19.14	58.76	44.08
90	10.87	15.76	56.86	41.91

由表 7 知,随着磨矿细度的提高,铜、金的品位和回收率呈先增加后降低的趋势。综合考虑,选定混精矿再磨细度为-325 目占 85%。

2.2.2 扫选精矿再磨细度试验

扫选试验表明,扫选精矿中存在较多的黄铜矿连生体矿物,因其不能有效利用直接导致铜、金资源的浪费。因此,为提高铜、金回收率,必须对扫选精矿再磨^[5]。试验流程见图 3,试验结果见表 8。

表 8 扫选精矿再磨细度试验精矿指标

再磨细度 (-325 目含量)/%	品位		回收率	
	Cu/%	Au/(g/t)	Cu/%	Au/%
75	14.76	19.23	66.38	52.45
85	15.46	19.92	67.79	53.13
90	14.98	19.63	66.71	52.68

由表 8 可知，随着扫选精矿再磨细度提高，精矿中铜、金的品位和回收率呈现先增加、后降低的趋势。综合考虑，选定扫选精矿再磨细度为-325 目占 85%。

2.3 闭路试验

以条件试验和开路流程试验为前提进行闭路流程试验^[6-7]。试验流程见图 3，试验结果列于表 9。

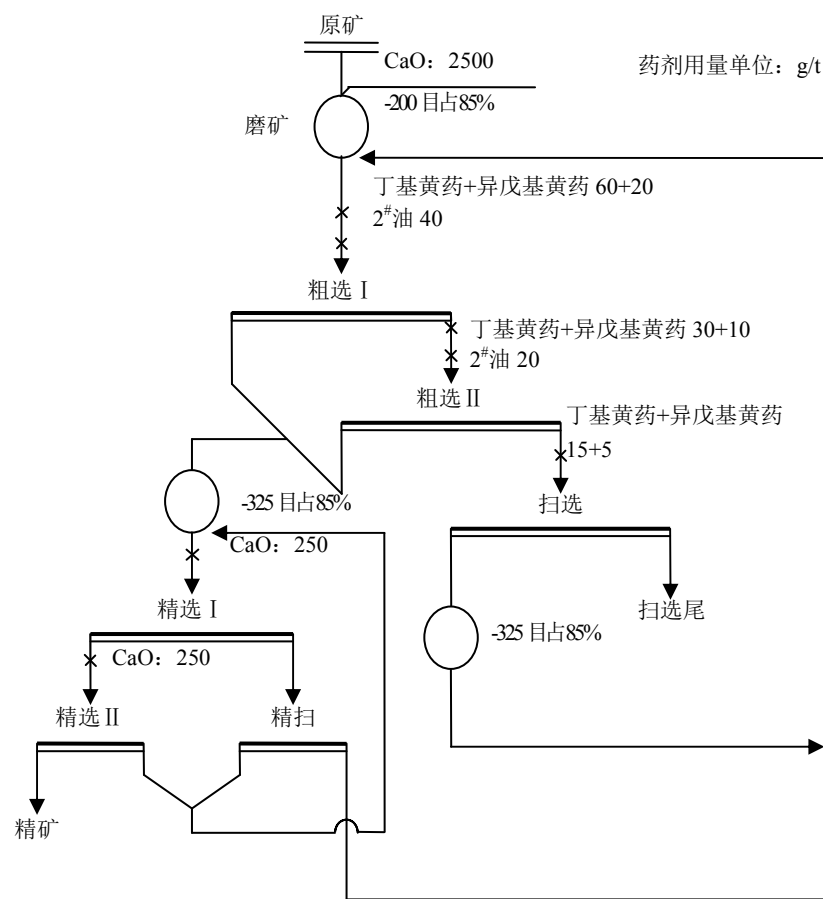


图 3 闭路流程试验

Fig.3 Closed-circuit test

表 9 闭路试验结果

产品	产率	品位			回收率/%		
		Cu/%	Au/(g/t)	Ag/(g/t)	Cu	Au	Ag
铜金精矿	1.41	15.51	19.93	231.72	68.34	54.04	41.89
尾矿	98.59	0.10	0.24	4.60	31.66	45.96	58.11
原矿	100.00	0.32	0.52	7.8	100	100	100

由表 9 可知，最终可获得产率 1.41%的铜金精矿，铜品位 15.51%、回收率 68.34%，金品位 19.93

g/t、回收率 54.04%，银品位 231.72 g/t、回收率 41.89%。

3 结论

云南某铜尾矿矿样中主要金属矿物有黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿等，脉石矿物主要有方解石、石英、绿泥石、石榴石等。黄铜矿与黄铁矿、磁黄铁矿等密切共生，嵌布粒度不均匀，以细粒和微细粒嵌布为主，部分粒度极细，且连生体、包裹体较多，

难以单体解离。其中铜、金具有很高的回收价值,本文对该尾矿进行了选矿试验。

1) 磨矿试验表明,提高磨矿细度有利于提高铜金精矿的品位和回收率,但当磨矿细度达预定粒度 85%以上时矿物泥化程度加剧,从而降低了铜金的品位和回收率。试验确定磨矿细度以 85%为宜。

2) 根据试验结果选定最佳条件进行闭路试验。试样在磨矿细度为-200 目占 85%的情况下采用两次粗选、第二次粗选后扫选、两次精选、第二次精选后扫选、混精矿再磨至-325 目占 85%、粗选后扫选精矿再磨至-325 目占 85%、中矿循序返回流程处理。最终获得产率 1.41%的铜金精矿,铜品位 15.51%、回收率 68.34%,金品位 19.93 g/t、回收率 54.04%,银品位 231.72 g/t、回收率 41.89%。

参考文献:

- [1] 田锋,张锦柱,师伟红,等.氧化铜矿浮选研究现状与前景[J].甘肃冶金,2006(4): 9-12.
TIAN F, ZHANG J Z, SHI W H, et al. Research status and prospects oxide copper ore flotation[J]. Gansu metallurgy, 2006(4): 9-12.
- [2] 刘豹,孙乾予,刘淼,等.云南某低品位铜镍硫化矿浮选试验[J].金属矿山,2014(3): 80-83.
LIU B, SUN Q Y, LIU M, et al. Flotation experiment on a low grade Cu-Ni sulfide ore from Yunnan province[J]. Metal mine, 2014(3): 80-83.
- [3] 冯其明,陈建华.硫化矿浮选分离有机抑制剂研究进

展[J].国外金属矿选矿,1998(4): 12-15.

FENG Q M, CHEN J H. Progress in organic inhibitors sulfide ore flotation separation[J]. Metallic ore dressing abroad, 1998(4): 12-15.

- [4] 刘豹,王梓,孙乾予,等.贵州某铜尾矿铜金回收试验[J].金属矿山,2015(1): 157-160.
LIU B, WANG Z, SUN Q Y, et al. Experiment on a copper tailings recovery of copper gold from Guizhou Province[J]. Metal mine, 2015(1): 157-160.
- [5] 胡海洋.中矿选择性分级再磨新技术磨-浮新工艺机理及应用研究[D].武汉:武汉理工大学,2011.
HU H Y. A new process of flotation mechanism and application of new technology of middlings selective classification and regrinding mill[D]. Wuhan: Wuhan University of Science and Technology, 2011.
- [6] 郭玉武,张宇,朱恩领,等.提高湖南某白钨矿选矿指标的试验研究与工业实践[J].有色金属:选矿部分,2015(3): 65-68.
GUO Y W, ZHANG Y, ZHU E L, et al. To improve the experimental research and industrial practice of Hunan scheelite beneficiation indexes[J]. Nonferrous metals: mineral processing section, 2015(3): 65-68.
- [7] 蔡明亮,武俊杰,杨柳,等.云南某氧化银矿选矿试验研究[J].贵金属,2014,35(4): 54-59.
GOU M L, WU J J, YANG L, et al. Experimental study on mineral processing technology for silver ore in Yunnan[J]. Precious metals, 2014, 35(4): 54-59.

本刊声明

凡本刊登载的文章,将同时被中国知网、万方数据-数字化期刊群及维普中文科技期刊数据库等全文收录,并供本刊授权和合作媒体使用,本刊支付的稿酬已包含作者著作使用费。作者向本刊投稿,即视为同意将文章编入以上数据库。

《贵金属》编辑部
2016 年 5 月