

新疆难处理铜矿浮选试验研究与应用

潘自维¹, 路良山¹, 张立征², 王彩霞¹, 王路平¹, 官在阳¹, 刘芹彬²

(1. 山东招金集团有限公司技术中心, 山东 招远 265400;
2. 拜城县滴水铜矿开发有限责任公司, 新疆 拜城 842306)

摘要: 本文针对新疆低品位高氧化难选铜矿进行了试验研究, 试验通过筛分和浮选试验, 系统考察了粒度分布、浮选 pH 值、药剂制度等对铜回收率的影响。结果表明碱性环境有利于铜的浮选回收, 采用 HCC、异戊基钾黄药组合及其与异戊基钠黄药三种捕收剂的组合使用, 能实现铜的高效回收。在 pH 值为 10, HCC、异戊基钠黄药和异戊基钾黄药配比为 1:3:2 的条件下, 闭路浮选铜回收率达 81.32%, 现场生产铜浮选回收率达 75.27%。

关键词: 氧化铜矿; 浮选; 组合捕收剂; 协同效应

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2019.03.007

中图分类号: TD953 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532(2019)03-0031-05

新疆某铜矿资源储量巨大, 埋层浅, 但是一种高氧化、高碱性脉石、高含泥的低品位氧化铜矿, 矿物组成复杂、硬度差异大, 具有不均匀细粒嵌布的特点, 此类矿处理难度大^[1-2], 现场生产铜的回收率一直偏低, 由于未能找到切实可行的解决办法, 数万吨开采出来矿石只能堆存搁置在选厂露天料场, 经长达数年的风吹日晒, 该矿氧化和泥化程度进一步加深, 更加剧了该矿的处理难度, 为其有效处理提供切实可行技术方案, 成了企业一直以来的迫切需求。

目前对于氧化铜矿, 根据矿石中所含的氧化铜矿种类与性质, 以及所使用得捕收剂的种类和性质的不同, 常用的浮选方法有直接浮选法、硫化浮选法、氨类浮选法、螯合剂-中性油浮选法。其中直接浮选法和氨类浮选法由于受矿泥的影响较大、选择性差而应用较少; 螯合剂-中性油浮选法, 由于螯合剂价格较高, 限制了其工业化的广泛应用; 硫化浮选法作为氧化铜浮选应用最广的方法, 具有选择性好, 药剂来源广, 价格相对便宜的优势, 但使用过程中需严格控制硫化钠的用

量和硫化时间, 硫化钠过量容易对硫化矿及硫化了的氧化铜矿矿物表面产生抑制作用, 且矿物表面硫化膜稳定性差, 强烈搅拌容易脱落, 影响浮选效果。

本文从企业切身实际情况和条件出发, 结合矿石性质, 采用硫化-黄药浮选法, 以硫化钠为活化剂, 提高浮选 pH 强化硫化过程、消除难免活化离子, 通过组合捕收剂发挥组合药剂的协同效应, 提高对铜矿物的捕收效果及选择性。结合现有生产工艺流程和药剂用量, 进行了探索试验和系统浮选试验, 通过试验获得了较佳工艺条件, 并成功应用于生产实践, 取得了良好的生产指标。

1 试验原料及性质

1.1 矿样性质和浮选药剂

试验所用矿样为堆存6年左右氧硫混合铜矿, 铜品位 0.91%。试验所用捕收剂和硫化剂均为工业级, 有异戊基钠黄药、异戊基钾黄药、氧化铜矿捕收剂 HCC、硫化钠, pH 值调整剂为分析纯氢氧化钠, 其中 HCC 为湖南有院研发的一种新型的氧

收稿日期: 2017-12-21; 改回日期: 2018-02-02

作者简介: 潘自维 (1989-), 男, 工程师, 硕士研究生, 主要从事矿物选冶工艺、研究工作。

通讯作者: 官在阳 (1983-), 男, 高级工程师, 硕士研究生, 主要从事工艺矿物学及选矿研究工作。

化铜矿高效捕收剂，对含泥氧化铜矿有很强的捕收效果和选择性。原矿多元素分析见表 1，铜物相分析结果见表 2。

表 1 原矿多元素分析结果 /%

Table 1 Analysis results of multi-elements of the raw ore

Cu	Pb	Zn	Au*	Fe	S	CaO	MgO
0.91	0.021	0.076	0.2	2.94	0.33	19.73	3.9

* 单位为 g/t。

表 2 原矿铜物相分析结果

Table 2 Analysis results of copper phase of the raw ore

矿物名称	原生硫化铜	次生硫化铜	游离氧化铜	结合氧化铜	总铜
含量 /%	0.01	0.45	0.51	0.06	1.03
分布率 /%	0.97	43.69	49.51	5.83	100.00

由表 1 可以看出，原矿 Cu 含量为 0.91%，是试验主要回收对象，其余元素暂不具有综合回收价值。矿石中钙、镁碱性脉石含量较高，MgO+CaO 达到 23.63%。

表 2 结果表明，该铜矿为氧硫混合铜矿，矿石氧化程度较高，铜主要以氧化铜形式存在，占 55.34%，其中结合氧化铜占 5.83%，其次为次生硫化铜，占为 43.69%。

1.2 浮选原矿筛分试验

现场取样经试验室破碎，2 mm 标准筛筛分、混匀、磨矿，对细度 -74 μm 90.20% 的浮选原矿矿样进行了筛分分析，结果见表 3。

表 3 浮选矿样各粒级筛析结果

Table 3 Sieve analysis results of each particle size of flotation samples

粒度组成 / μm	产率 /%	铜品位 /%	铜分布率 /%
+74	9.80	1.26	13.03
-74 +48	16.80	1.08	19.15
-48+38	4.91	1.05	5.44
-38+25	9.00	0.95	9.02
-25	59.49	0.85	53.36
合计	100.00	0.95	100.00

由表 3 可知，原矿泥化严重，铜在细泥中的分布高。在磨矿细度 -74 μm 90.20% 时，-25 μm 粒级细泥占比 59.49%，铜分布率为 53.36%，而 -74 μm 铜分布率仅为 86.97%，此外有 13.03% 高品位 (1.26%) 铜分布于 +74 μm 粗颗粒中。

2 结果与讨论

试验参照生产现场现有二粗三扫浮选工艺流程，从调整剂、药剂制度和药剂配比方面进行了开路系统条件试验，并在较佳工艺条件下进行了闭路系统试验及工业生产。试验过程中始终保持总药剂用量：硫化钠用量 1.38 kg/t、捕收剂用量 2.18 kg/t 不变。

2.1 硫酸铵的使用效果

用硫化钠进行硫化 - 黄药浮选时，常加入硫酸铵防止硫化钠的过量造成对硫化矿的抑制^[3]，促进氧化铜矿硫化浮选。邢春燕^[4]研究表明硫酸铵在提高矿物表面活性促进硫化的同时，能显著加快硫化钠的氧化分解，从而消除过量硫化钠对氧化铜矿的抑制作用^[5]。试验在组合捕收剂配比 HCC: 异戊基钾黄药 = 1:5 条件下，考察了硫酸铵对浮选指标的影响。试验流程见图 1，试验结果见表 4。

由表 4 可知，不添加硫酸铵比加入与硫化钠等量 (1380 g/t) 硫酸铵的浮选效果好。该矿样铜的氧化率高，在硫化钠 1380 g/t 用量下，硫酸铵的加入对试验效果起到一定不良作用，后续试验不再添加硫酸铵。

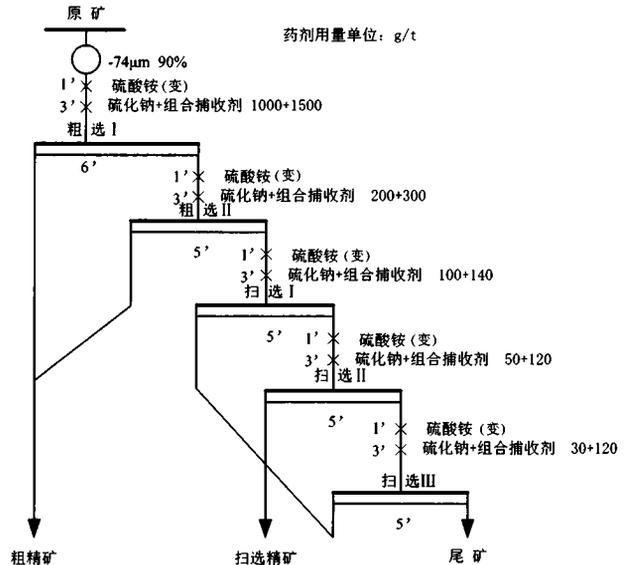


图 1 浮选试验流程

Fig .1 Flowsheet of flotation test

表4 硫酸铵的使用对试验结果的影响

Table 4 Effect of ammonium sulfate on test results

硫酸铵 用量/(g·t ⁻¹)	产品 名称	产率 /%	铜品位 /%	铜回收率 /%
1380	粗精矿	15.58	3.78	64.66
	扫选精矿	9.47	1.81	18.86
	尾矿	74.95	0.20	16.48
	原矿	100.00	0.91	100.00
0	粗精矿	23.60	3.06	76.84
	扫选精矿	9.21	1.05	10.28
	尾矿	67.18	0.18	12.88
		100.00	0.91	100.00

2.2 浮选 pH 值和捕收剂配比探索试验

在不添加硫酸铵条件下进行了 HCC 和异戊基钾黄药配比、不同 pH 值探索试验，试验中 pH 值用氢氧化钠调节。试验结果见表 5。

由表 5 可知，在 pH=7.5 条件下，组合捕收剂 HCC 和异戊基钾黄药配比 1:5 结果好于 1:10；在配比 1:10 条件下，pH=10 结果好于 pH=7.5。因此后续试验对 pH 和组合捕收剂 HCC: 异戊基钾黄药配比做进一步试验研究。

表5 浮选 pH 值和捕收剂配比探索试验结果

Table 5 Exploring test results of flotation pH value and collector ratio

试验 条件	产品 名称	产率 /%	铜品位 /%	铜回收率 /%
HCC: 异戊基钾黄药 =1:5; pH=7.5	粗精矿	23.60	3.06	76.84
	扫选精矿	9.21	1.05	10.28
	尾矿	67.18	0.18	12.88
	原矿	100.00	0.94	100.00
HCC: 异戊基钾黄药 =1:10; pH=7.5	粗精矿	20.97	3.30	74.62
	扫选精矿	10.19	1.03	11.28
	尾矿	68.84	0.19	14.09
	原矿	100.00	0.93	100.00
HCC: 异戊基钾黄药 =1:10; pH=10	粗精矿	30.92	2.52	80.91
	扫选精矿	18.27	0.51	9.60
	尾矿	50.81	0.16	9.49
	原矿	100.00	0.93	100.00

2.3 pH 值条件试验

由于硫化钠和黄药在酸性环境易分解，在碱性环境下较稳定^[6]，因此采用组合捕收剂 HCC 和异戊基钾黄药在 1:5 配比条件下，考察了碱性环境下浮选指标情况，试验用氢氧化钠调节 pH 值，试验结果见表 6。

由表 6 可知，铜回收率随 pH 值的提高大幅提高，到 pH 值 12.5 时变化缓慢，原因为碱性环境能避免硫化钠的氧化分解，有利于硫化钠对氧化铜矿的充分硫化，同时能抑制脉石、去除矿浆中 Fe²⁺

等活性杂质离子，但碱性太高会增加碱用量同时降低硫化速度，所以后续试验在 pH=10 下进行。

表6 pH 值条件试验结果

Table 6 PH value condition test results

pH 值	产品 名称	产率 /%	铜品位 /%	铜回收率 /%
7.5	粗精矿	23.60	3.06	76.84
	扫选精矿	9.21	1.05	10.28
	尾矿	67.18	0.18	12.88
	原矿	100.00	0.94	100.00
10.0	粗精矿	42.90	1.87	88.12
	扫选精矿	5.95	0.53	3.45
	尾矿	51.14	0.15	8.44
	原矿	100.00	0.91	100.00
12.5	粗精矿	38.05	1.97	85.72
	扫选精矿	7.73	0.63	5.57
	尾矿	54.22	0.14	8.70
	原矿	100.00	0.87	100.00

2.4 组合捕收剂配比条件试验

2.4.1 HCC 和异戊基钾黄药组合捕收剂

在 pH=10 条件下，进一步考察了组合捕收剂 HCC 和异戊基钾黄药不同配比的影响，试验结果见表 7。

由表 7 可知，铜回收率随组合捕收剂配降低比呈先升高、后下降的趋势。配比为 1:1 时指标最好，粗选铜精矿回收率为 88.58%、尾矿品位降至 0.15%、尾矿回收率为 7.69%。

2.4.2 HCC、异戊基钠黄药和异戊基钾黄药组合捕收剂

表7 HCC 和异戊基钾黄药配比条件试验结果

Table 7 Condition test results of the ration of HCC, potassium isopentyl xanthate and isopentyl xanthate

HCC: 异戊基钾黄药	产品 名称	产率 /%	铜品位 /%	铜回收率 /%
1:10	粗精矿	30.92	2.52	80.91
	扫选精矿	18.27	0.51	9.60
	尾矿	50.81	0.18	9.49
	原矿	100.00	0.96	100.00
1:5	粗精矿	42.90	1.87	88.12
	扫选精矿	5.95	0.53	3.45
	尾矿	51.14	0.15	8.44
	原矿	100.00	0.91	100.00
1:1	粗精矿	48.81	1.59	88.58
	扫选精矿	6.37	0.51	3.72
	尾矿	44.81	0.15	7.69
	原矿	100.00	0.87	100.00
1:0	粗精矿	17.99	3.09	61.39
	扫选精矿	25.17	0.87	24.17
	尾矿	56.84	0.23	14.43
	原矿	100.00	0.91	100.00

考虑到捕收剂药剂市场价格：异戊基钾黄药 > HCC > 异戊基钠黄药，为进一步降低钾黄药用量，降低药剂成本，提高粗精矿铜品位，考察了总捕收剂用量 2.18 kg/t 不变、pH=10 条件下，HCC、异戊基钠黄药和异戊基钾黄药剂配比分别为 1:6:4 和 1:3:2 三种组合捕收试验效果，并与生产现场药剂制度 HCC：异戊基钠黄药=1:4 结果进行对比，试验结果见表 8。

表 8 组合捕收剂配比条件试验结果

Table 8 Test results of the ratio of combined collectors

HCC: 异戊基钠黄药: 异戊基钾黄药	产品名称	产率 /%	铜品位 /%	铜回收率 /%
1:6:4	粗精矿	35.28	2.24	86.20
	扫选精矿	6.86	0.58	4.35
	尾矿	57.85	0.15	9.46
	原矿	100	0.92	100.00
1: 3:2	粗精矿	33.24	2.38	85.00
	扫选精矿	6.53	0.67	4.67
	尾矿	60.24	0.16	10.34
1: 4:0	粗精矿	17.64	2.88	55.22
	扫选精矿	7.46	2.31	18.73
	尾矿	74.9	0.32	26.05
	原矿	100	0.92	100.00

由表 8 可知，在三种组合捕收剂、两种配比的条件下，浮选指标基本相同，但显著好于采用 HCC 和异戊基钠黄药两种组合捕收剂的效果。三种捕收剂的组合使用，能发挥药剂的协同效应，提高对不同类型铜矿物的选择性和捕收效果，在降低粗精矿产率的同时提高铜的品位。综合考虑药剂成本，推荐 HCC：异戊基钠黄药：异戊基钾黄药为 1:3:2 配比作为生产条件。

2.5 闭路浮选试验

在 HCC: 异戊基钠黄药: 异戊基钾黄药为 1:3:2 配比的条件下进行了闭路浮选试验，HCC、异戊基钠黄药、异戊基钾黄药用量分别为 363.3 g/t、1089.9 g/t、726.6 g/t。闭路试验流程见图 2。

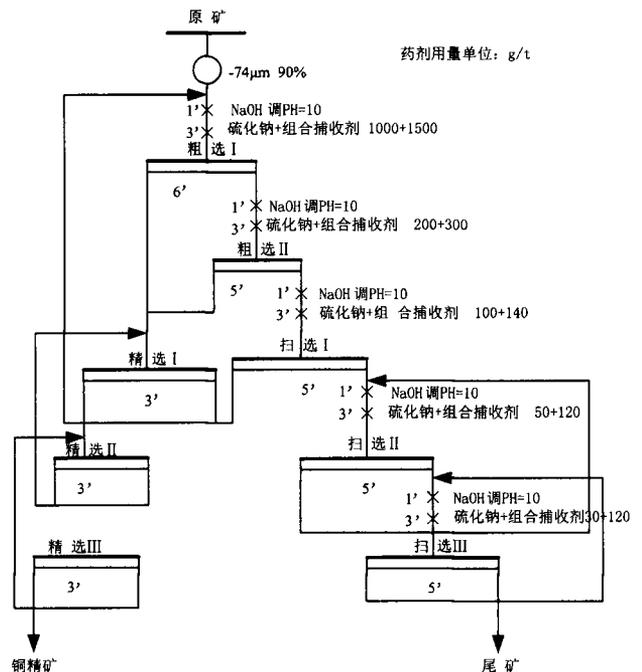


图 2 闭路试验流程

Fig. 2 Flowsheet of closed-circuit test

试验获得了精矿铜品位 16.5%、铜回收率 81.32%、尾矿铜品位 0.18% 的闭路浮选指标。

2.6 现场生产指标

在捕收剂 HCC、异戊基钠黄药和异戊基钾黄药剂配比为 1:3:2、浮选 pH=10、磨矿细度 -74 µm 占 88.5% 的条件下，进行了现场工业生产，流程图参见图 2。生产获得了精矿铜品位 17.90%、铜回收率 75.27%、尾矿铜品位 0.21% 的浮选指标。

3 结论

(1) 该难处理铜矿氧化程度高、碱性脉石含量高，磨矿细度位 -74 µm 90.20% 时，矿样中 -25 µm 细泥产率高达 59.49%，磨矿易泥化；

(2) 浮选试验表明，现有硫化钠用量下可以不添加硫酸铵，碱性环境有利于铜的浮选回收；采用 HCC：异戊基钠黄药：异戊基钾黄药三种组合捕收剂，能有效增加铜的选择性和捕收性，提高铜的浮选指标。闭路试验较佳工艺条件为 pH=10、磨矿细度 -74 µm 90.20%、组合捕收剂配比 1:3:2，铜精矿回收率为 81.32%；

(3) 现场生产在磨矿细度 -74 μm 88.5%、pH=10、组合捕收剂配比 1:3:2 的条件下, 采用两次粗选、三次扫选、三次精选浮选工艺, 获得了精矿铜品位 17.90%、铜回收率 75.27% 的浮选指标。

参考文献:

[1] 程琼, 章晓林, 刘殿文, 等. 某高碱性氧化铜矿常温常压氨浸试验研究 [J]. 湿法冶金, 2006, 25 (2): 74-77
[2] 李荣改, 宋翔宇, 乔江晖, 等. 含泥难选氧化铜矿石选矿工艺研究 [J]. 矿冶工程, 2008, 28 (1): 46-50.

[3] 张建文, 覃文庆, 张雁生, 等. 某低品位难选氧化铜矿浮选试验研究 [J]. 矿冶工程, 2009, 4(29): 39-43.
[4] 邢春燕, 贾瑞强. 氧化铜矿浮选中硫酸铵对 S₂- 消耗的影响试验 [J]. 现代矿业, 2012, 28 (4): 57-58
[5] 蒋太国, 方建军, 毛莹博, 等. 铵(胺)盐在氧化铜矿强化硫化浮选中的应用进展 [J]. 矿产保护与利用, 2015(3): 65-70.
[6] 郭艳, 钟宏, 李梅. 黄药及其衍生物的合成与浮选研究进展. 铜业工程, 2009 (3): 21-24

Experimental Study and Application of Flotation of Complex Refractory Copper Ore in Sin Kiang

Pan Ziwei¹, Lu Liangshan¹, Zhang Lizheng², Wang Luping¹, Wang Caixia¹, Gong Zaiyang¹, Liu Qinbin²

(1. Shandong Zhaojin Group Co., Ltd Technology Center, Zhaoyuan, Shandong, China;

(2. Dishui Copper Development Co Ltd in Baicheng County, Baicheng, Xinjiang, China)

Abstract: In this paper, a low grade and high oxidized refractory copper ore in Xinjiang was studied experimentally, and the influence of particle size distribution, flotation pH value and medicament system on copper recovery was investigated through screening and flotation tests. The results showed that high alkaline environment was favorable for flotation recovery of copper, and the effective recovery of copper could be achieved by using two kinds of or three kinds of combination collector, such as HCC, potassium isopentyl xanthate or isopentyl xanthate. Under the condition of pH 10 and HCC, potassium isopentyl xanthate or isopentyl xanthate ratio of 1:3:2, the recovery of closed circuit copper coarse in laboratory flotation reached 81.32%, and the recovery rate of closed circuit copper in the field was 75.27%.

Keywords: Oxide copper ore; Combined collector; Synergistic effect

////////////////////////////////////
(上接 25 页)

Industrial Application Status of Hang and Vibrate of Cone Concentrator

ZHhang Song¹, Yang Bo¹, Sun Huan^{1,2}, Yao Dong¹, Qiu Kai¹, Xiao Ripeng³

(1. Faculty of Land Resource Engineering of Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan, China; 2. State Key Laboratory of Complex Nonferrous Metal Resources Clean Utilization, Kunming, Yunnan, China; 3. Kunming KGS Limited Company of Science and Technology, Kunming, Yunnan, China)

Abstract: The paper introduces the industrial application status of hang and vibrate of cone concentrator - a kind of new gravity concentration equipment on which pulp will form the spreadingflowing film of conical surface. Its unique advantages in the sorting of fine particle mineral are well highlighted by summarizing its application situation in the industrial production, which provides a technical reference for the recovery of micro-fine minerals.

Keywords: The spreadingflowing film of conical surface; Hang and vibrate of cone concentrator; Micro-fine grained minerals