

甲玛复杂铜多金属矿石合理配矿的实验研究与生产实践

解钊, 刘明实, 王李鹏, 白丽萍, 李磊

(西藏华泰龙矿业开发有限公司, 西藏 拉萨 850000)

摘要: 针对甲玛矿区铜矿物种类多、分布不匀、各矿井矿石性质差异大等特点, 本文在矿石工艺矿物学研究基础上, 对各矿井矿石进行了可选性实验研究, 并结合各矿井生产实际, 开展了选矿厂入选矿石合理配矿的小型优化实验和生产实践。通过合理配矿方案优化、磨矿中巧妙应用硫化钠、快速浮选等技术措施, 连续27天工业生产实践获得铜精矿中铜品位21.90%、金品位8.04 g/t、银品位447.04 g/t, 铜回收率91.75%, 金回收率67.63%, 银回收率66.12%, 与合理配矿及工艺技术优化前的年技术指标累计相比, 铜金银回收率分别提高1.85、2.27、3.17个百分点, 实现了矿产资源的高效综合利用, 取得显著的经济效益和社会效益。

关键词: 铜矿石浮选; 配矿优化; 应用硫化钠; 快速浮选

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2022.02.011

中图分类号: TD952 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532(2022)02-0061-05

伴随我国矿产资源的不断开采, “贫、细、杂”的特点日益突出, 同一矿体不同平台采取的矿石性质和品位差异较大, 配矿逐渐成为矿山企业的常规性管理措施, 很多矿山企业通过应用精细化采矿技术手段融合, 健全供配矿管理体系, 提升地质供配矿管理, 可稳定选矿厂入选原矿品位及性质, 为生产技术指标稳定提供了良好的基础^[1]。国内外各矿山配矿的目的可归纳为以下几点^[2-5]: ①提高选矿生产技术指标, 对富矿和贫矿进行合理配矿, 稳定原矿入选品位和选矿技术指标, 将难选矿石与易选矿石合理搭配, 借助载体浮选理论, 实现生产技术指标的优化提升; ②提升低品位残矿及低品位围岩的综合利用率, 将高品位原矿与低品位残矿或围岩配矿入选, 提升资源利用率; ③实现不同类型矿产资源的高效综合回收, 将选矿工艺差异较大的不同类型矿石分类分批集中处理, 提升资源综合回收利用效率; ④依据脉石组分差异, 合理配矿优化磨矿分级效率, 提升选厂产能、降低能耗。

甲玛地区铜金银矿石性质复杂多变、出矿矿井较多、铜矿物种类多^[6-7], 为稳定选矿厂入选矿石性质, 提高选矿厂生产技术指标, 解决难选矿石单独处理产品质量不合格、选矿回收率差等突

出问题, 本文开展了矿石性质, 供配矿及选矿技术优化的生产实践, 取得了较好的生产技术指标和社会经济效益, 关键技术具有广泛的推广前景。

1 矿石性质

该矿石主要组分是 SiO_2 、 CaO , 可供回收的元素是 Cu 、 Au 、 Ag , 属于伴生金银硫化铜矿石。铜矿物种类较多, 分布不匀, 粒径呈微细粒状, 部分与脉石不易单体解离; 铜矿物种类有斑铜矿、辉铜矿, 其次为黄铜矿、黝铜矿, 少量蓝辉铜矿、铜蓝、硫铋铜矿等。脉石矿物以石榴子石、硅灰石、方解石、绿帘石、石英为主, 其次有钾长石、斜长石、绢云母、白云母、黑云母、角闪石等。各矿井代表性实验试样的主金属品位分析结果见表1, 铜物相分析结果见表2。

2 小型实验研究

2.1 各矿井矿石可选性实验研究

在矿石性质研究基础上, 分别对A、B、C、D四个矿井所采代表试样进行矿石可选性实验研究。可选性实验在不改变现场生产工艺流程的前提下, 进行了各工艺参数的条件实验、开路实验

收稿日期: 2020-05-08

作者简介: 解钊(1985-), 男, 高级工程师, 主要从事有色金属矿石选矿技术及管理领域工作。

表 1 各矿井代表性试样的主金属品位分析结果/%
Table 1 Main metal grade analysis results of representative samples in each ore

矿井编号	Cu	Pb	Zn	Au*	Ag*
A	0.78	0.02	0.051	0.47	15.73
B	0.71	0.014	0.057	0.32	19.78
C	0.72	0.0086	0.052	0.31	19.92
D	0.61	0.73	0.4	0.21	21.88

*单位为g/t。

表 2 各矿井代表性试样铜矿石物相分析结果
Table 2 Phase analysis results of copper ores with representative samples in each ore

矿井编号及项目	硫酸铜中Cu	氧化铜中Cu	次生硫化铜中Cu	原生硫化铜中Cu	总Cu	
A	含量%	0.006	0.009	0.454	0.311	0.78
	占有率%	0.80	1.10	58.23	39.87	100.00
B	含量%	0.0043	0.006	0.232	0.468	0.71
	占有率%	0.60	0.80	32.65	65.95	100.00
C	含量%	0.006	0.004	0.310	0.399	0.72
	占有率%	0.80	0.60	43.12	55.48	100.00
D	含量%	0.010	0.025	0.054	0.520	0.61
	占有率%	1.70	4.10	8.90	85.30	100.00

及小型闭路实验，闭路实验研究结果见表 3。

由表 3 可知，甲玛矿区铜金银矿属一般可选性矿石，各矿点可选性难易程度差异较大。A、B、C 三个矿井的试样相对易选，D 矿井试样较难选，且其在综合样中比例过高会影响铜精矿质量，矿石含泥大会造成综合样浮选矿化环境恶化。

2.2 综合样优化实验研究

在各矿点矿石可选性实验研究的基础上，结

合各矿井实际生产能力及资源状况，确定综合样按 A、B、C、D 分别占 43%、21%、26%、10% 的比例配矿，综合样铜品位 0.73%、金品位 0.37 g/t、银品位 17.87 g/t。

针对综合样中铜矿物种类较多，各矿点矿石可浮性差异较大等特点，在探索实验基础上，进行了详细的条件优化实验研究，取得了较好的优化实验研究结果。本节重点介绍调整剂种类优化

表 3 各矿井代表性试样矿石可选性闭路浮选实验结果
Table 3 Closed-circuit flotation test results of ore separability of representative samples of each ore

矿点	产品名称	产率/%	品位/%			回收率/%		
			Cu	Au*	Ag*	Cu	Au	Ag
A	铜精矿	2.37	30.79	14.89	423.3	93.55	75.08	63.78
	尾矿	97.63	0.05	0.12	5.84	6.45	24.92	36.22
	原矿	100.00	0.78	0.47	15.73	100.00	100.00	100.00
B	铜精矿	2.47	26.34	9.89	568.4	91.63	76.34	70.98
	尾矿	97.53	0.06	0.08	5.89	8.37	23.66	29.02
	原矿	100.00	0.71	0.32	19.78	100.00	100.00	100.00
C	铜精矿	2.34	28.34	8.89	573.3	92.11	67.11	67.35
	尾矿	97.66	0.06	0.10	6.66	7.90	32.89	32.65
	原矿	100.00	0.72	0.31	19.92	100.00	100.00	100.00
D	铜精矿	3.89	13.54	1.88	245.5	86.35	40.63	53.89
	尾矿	96.11	0.09	0.11	8.50	13.65	59.37	46.11
	原矿	100.00	0.61	0.18	17.72	100.00	100.00	100.00

*单位为 g/t。

实验和快速浮选优化实验内容。

(1) 调整剂种类优化实验

国内外硫化铜浮选常用弱碱性介质，对于高硫铜矿石采用中碱或强碱介质。采用按图1工艺流程，丁基黄药、丁铵黑药作为捕收剂，2#油作为起泡剂，在磨矿细度均为-0.074 mm 70%的条件下，重点对比了石灰、石灰+六偏磷酸钠、石灰+硫化钠几种调整剂对铜金银矿物浮选指标的影响，实验结果见表4。

由表4可知，在磨矿过程中，加入石灰调整矿浆介质为弱碱性，同时加入少量硫化钠，铜粗精矿中铜品位明显升高，且铜、金回收率均有明显提升，有效改善了高次生硫化铜和高泥化矿浆体系中的浮选矿化环境。

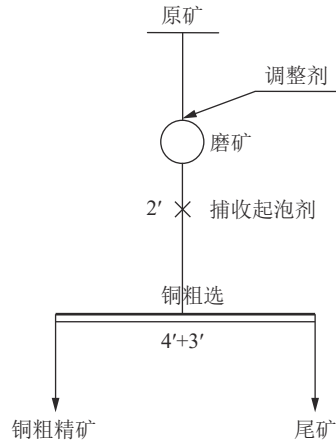


图1 综合样调整剂种类试验工艺流程
Fig.1 Process flow of comprehensive sample adjuster type test

表4 综合样调整剂种类实验结果
Table 4 Test results of comprehensive sample adjuster types

调整剂种类及用量/(g·t ⁻¹)	产品名称	产率/%	品位/%			回收率/%		
			Cu	Au*	Ag*	Cu	Au	Ag
石灰: 1000 (pH=8.5~9)	铜粗精矿	7.41	9.02	3.11	143.50	91.56	62.28	59.50
	尾矿	92.59	0.067	0.15	7.82	8.44	37.72	40.50
	原矿	100.00	0.73	0.37	17.87	100.00	100.00	100.00
石灰: 1000六偏磷酸钠: 200 (pH=8.5~9)	铜粗精矿	3.96	16.58	5.23	218.50	89.94	55.98	48.42
	尾矿	96.04	0.076	0.17	9.60	10.06	44.02	51.58
	原矿	100.00	0.73	0.37	17.87	100.00	100.00	100.00
石灰: 1000硫化钠: 200 (pH=8.5~9)	铜粗精矿	4.68	14.48	5.43	251.54	92.83	68.68	65.88
	尾矿	95.32	0.055	0.12	6.40	7.17	31.32	34.12
	原矿	100.00	0.73	0.37	17.87	100.00	100.00	100.00

*单位为g/t。

(2) 浮选工艺闭路优化实验

在条件实验和全流程开路实验基础上，进行了原生产工艺和快速浮选工艺小型优化对比实验，原生产工艺和快速浮选流程分别见图2、3，实验结果见表5。

由表5可知，采用快速浮选工艺较原生产工艺，铜金银回收率分别提高1.85%、1.92%、2.28%，获得了合格铜精矿，避免了中矿循环造成的金属损失。

3 工业生产实践

在综合样优化实验基础上，采用“石灰+硫化钠”作为矿浆介质调整剂、前两槽泡沫直接作为铜精矿的快速浮选工艺，进行了甲玛矿区铜金银矿

合理配矿的工业生产实践。。工业生产连续27天，A、B、C、D矿井矿石供矿比例为34.92%、

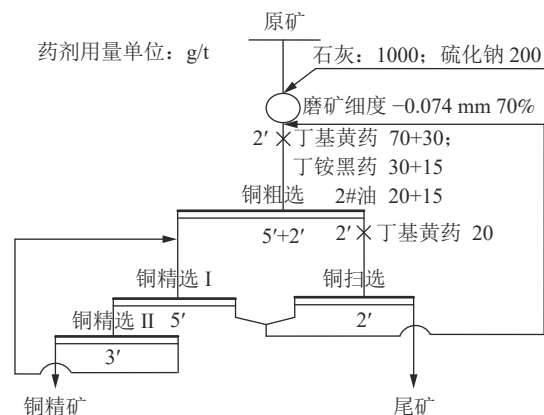


图2 原生产工艺闭路浮选试验流程及条件
Fig.2 Closed-circuit flotation test flow and conditions of the original production process

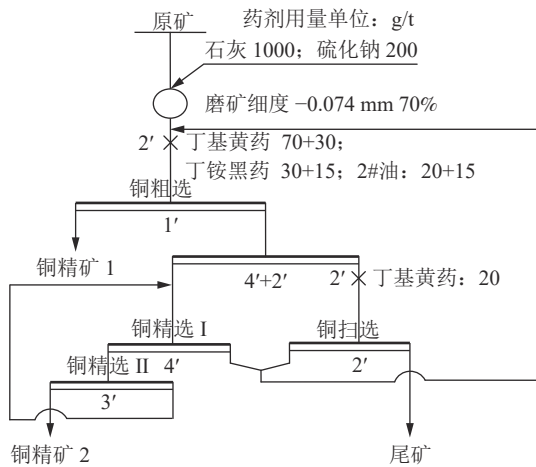


图 3 快速浮选工艺闭路浮选流程及条件

Fig.3 Closed-circuit flotation process and conditions of rapid flotation process

27.36%、14.48%、23.08% (D 矿井难选矿石占比

大于小型优化实验), 获得累计技术指标见表 6。

生产实践表明, 在 D 矿井难选矿石比例较小型优化实验增加的条件, 工业生产连选 27 天累计获得的铜精矿中铜品位 21.90%、金品位 8.04 g/t、银品位 447.04 g/t, 铜回收率 91.75%, 金回收率 67.63%, 银回收率 66.12%, 与合理配矿及工艺技术优化前的年技术指标累计相比, 铜金银回收率分别提高 1.85、2.27、3.17 个百分点。

4 结论

(1) 该矿石属伴生金银硫化铜矿石, 铜矿物种类较多, 分布不均, 铜矿物有斑铜矿、辉铜矿, 其次为黄铜矿、黝铜矿, 少量蓝辉铜矿、铜蓝、硫铋铜矿等; 脉石矿物以石榴子石、硅灰石、方解石、绿帘石、石英为主。

表 5 原生产工艺与快速浮选工艺实验结果

Table 5 Closed-circuit optimized flotation test results of original production process and rapid flotation process

工艺流程	产品名称	产率/%	品位/%			回收率/%		
			Cu	Au*	Ag*	Cu	Au	Ag
原生产工艺	铜精矿	2.66	25.32	9.56	455.70	92.26	68.73	67.83
	尾矿	97.34	0.058	0.12	5.91	7.74	31.27	32.17
	原矿	100.00	0.73	0.37	17.87	100.00	100.00	100.00
快速浮选工艺	铜精矿 1	1.33	21.42	7.65	376.5	39.03	27.50	28.02
	铜精矿 2	1.77	22.72	9.02	424.9	55.09	43.15	42.09
	尾矿	96.90	0.044	0.11	5.51	5.89	29.35	29.89
	原矿	100.00	0.73	0.37	17.87	100.00	100.00	100.00

*单位为 g/t。

表 6 工业生产技术指标累计结果

Table 6 Accumulated results of technical indexes consecutive days of industrial production selection

产品名称	产量/t	品位/%			回收率/%		
		Cu	Au*	Ag*	Cu	Au	Ag
铜精矿	4972.83	21.897	8.036	447.040	91.75	67.63	66.12
尾矿	170811.17	0.061	0.119	7.120	8.25	32.37	33.88
原矿	175784.00	0.718	0.357	20.351	100.00	100.00	100.00

*单位为 g/t。

(2) 矿石可选性实验表明, A、B、C 三个矿井的试样相对易选, D 矿井试样较难选, 且 D 矿井矿石在综合样中比例过高会影响铜精矿质量, 矿石含泥大会造成综合样浮选矿化环境恶化。综合样小型优化实验结果表明, 通过合理配矿方案优化、磨矿中添加“石灰+硫化钠”的组合调整剂、快速浮选工艺等技术措施, 可有效提高铜金银的

选矿技术指标。

(3) 工业生产实践表明, 连续 27 天的生产累计获得铜精矿中铜品位 21.90%、金品位 8.04 g/t、银品位 447.04 g/t, 铜回收率 91.75%, 金回收率 67.63%, 银回收率 66.12%, 与合理配矿及工艺技术优化前的年技术指标累计相比, 铜金银回收率分别提高 1.85、2.27、3.17 个百分点, 取得了显著

经济效益和社会效益。

参考文献:

- [1] 松建军, 舒怀俊. 配矿管理技术在选矿厂矿石品位稳定性中应用 [J]. 世界有色金属 (14): 152-153.
SONG J J, SHU H J. Application of ore blending management technology in the stability of ore grade in concentrator [J]. World Nonferrous Metals (14): 152-153.
- [2] 吕旭龙, 袁水平, 印万忠, 等. 某铜冶炼企业冶炼炉渣配矿浮选试验研究 [J]. 矿产综合利用, 2019(1):114-118.
LV X L, ZHONG S P, YIN W Z, et al. Experimental study on flotation of different proportion smelter slag in a copper smelting enterprise[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2019(1):114-118.
- [3] 韩西鹏, 房启家, 张伟, 等. 金岭铁矿选矿厂配矿生产研究与实践 [J]. 现代矿业, 2013, 29(2):143-144.
HAN X P, FANG Q J, ZHANG W, et al. Research and practice on ore blending production in Jinling Iron Mine Concentrator[J]. Modern Mining, 2013, 29(2):143-144.
- [4] 金晓云, 张林友, 惠世和. 配矿在提高某铅锌矿山选矿回

收率中的作用 [J] 资源再生, 2010, (1): 45-47.

JIN X Y, ZHANG L Y, HUI S H. The role of ore blending in improving the recovery rate of a lead-zinc mine[J]. Resources Recycling, 2010, (1): 45-47.

[5] 王漪靖, 朱永安. 金堆城不同类型矿石选矿工艺及选别方法探讨 [J]. 中国铝业, 2002(2).

WANG Y J, ZHU Y A. Discussion on beneficiation technology and separation methods of different types of ores in Jinduicheng [J]. China Molybdenum Industry, 2002(2).

[6] 杜海青. 高原缺氧地区多金属矿的开发思考—以西藏甲玛特大型铜多金属矿开发为例 [J]. 黄金, 2011, 32(12):1-4.

DU H Q. Thinking about the development of polymetallic deposit in high altitude hypoxia areas- with the development of Jiama oversize copper polymetallic deposit as example [J]. Gold, 2011, 32(12):1-4.

[7] 刘明实, 刘璇遥, 赵艳宾, 等. 基于高海拔地区选矿废水零排放的铜铅锌选矿试验研究 [J]. 甘肃冶金, 2012, 36(6): 4-8.

LIU M S, LIU X Y, ZHAO Y B, et al. Experimental study on copper, lead and zinc beneficiation based on zero discharge of mineral processing wastewater in high altitude area [J]. Gansu Metallurgy, 2012, 36(6): 4-8.

Experimental Research and Production Practice of Reasonable Ore Blending of Jiama Complex Copper-Polymetallic Ore

Xie Zhao, Liu Mingshi, Wang Lipeng, Bai Liping, Li Lei
(Tibet Huatailong Mining Development Co., Ltd., Lhasa, Tibet, China)

Abstract: Aiming at the characteristics of the variety and uneven distribution of copper minerals in Jiama mining area, and the large differences in the properties of various mines, this paper conducts a test study on the selectability of various mines based on the study of ore technological mineralogy. Combining the various mines in actual production, a small-scale optimization test and production practice of reasonable ore blending of the selected ore from the concentrator have been carried out. Through the optimization of reasonable ore blending schemes, the clever use of sodium sulfide in grinding, and rapid flotation and other technical measures, the industrial production practice for 27 consecutive days has obtained copper grades of 21.90%, gold grades of 8.04 g/t, and silver grades of 447.04 g/t, the copper recovery rate is 91.75%, the gold recovery rate is 67.63%, and the silver recovery rate is 66.12%. Compared with the cumulative annual technical indicators before reasonable ore blending and process technology optimization, the copper, gold and silver recovery rates are increased by 1.85%, 2.27%, 3.17%, respectively Percentage points. The efficient and comprehensive utilization of mineral resources has been realized, and significant economic and social benefits have been achieved.

Keywords: Copper ore flotation; Ore blending optimization; Application of sodium sulfide; Rapid flotation