

云南东川某高锌难选铜锌硫化矿石选矿试验研究

董继发^{1,2}, 方建军^{1,2}, 何海洋^{1,2}, 邱芝莲^{1,2}, 寇青军^{1,2}

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

中图分类号: TD952.1; TD952.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2021)05-0097-08
DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2021.05.013

摘要 云南东川某铜锌硫化矿石 Cu 品位为 0.64%、Zn 品位为 6.21%, 主要脉石矿物有石英、绢云母、方解石等, 且矿石中的矿物多数都构成连生体, 给铜锌分离造成困难。对该矿石采用抑锌浮铜的优先浮选工艺流程。在磨矿细度为 -0.074 mm 占 80% 条件下, 用石灰调节 pH, 铜粗选用硫酸锌和焦亚硫酸钠组合抑制闪锌矿, Z-200 为捕收剂; 锌粗选以硫酸铜为活化剂, 异丁基黄药为捕收剂, 铜和锌均采用“一次粗选一次扫选两次精选”的工艺流程, 其中, 铜粗精矿需再磨至细度为 -0.038 mm 占 90%, 铜第一次精选尾矿需进行扫选。最终, 经闭路流程试验获得 Cu 品位 27.87%、Cu 回收率 75.17% 的铜精矿和 Zn 品位 49.23%、Zn 回收率 94.48% 的锌精矿, 铜精矿含锌 5.41%, 锌精矿含铜 1.03%, 铜锌互含较低, 实现了铜锌分离。

关键词 硫化矿; 铜锌分离; 抑锌浮铜; 再磨; 浮选

铜和锌是与人类生产活动非常密切的有色金属, 在国民经济中的应用十分广泛, 常用于电气、机械制造、轻工、建筑和国防工业等领域, 需求量在逐年增加^[1]。我国铜锌矿石资源储量巨大, 但随着优质矿产资源的大量开发, 矿石品位普遍偏低, 且矿石成分复杂, 共伴生组分多, 给浮选分离和回收利用带来了较大难度^[2]。铜锌硫化矿石是冶炼铜锌的重要来源, 主要以黄铜矿和闪锌矿为主, 常与黄铁矿与磁黄铁矿共生, 铜锌分离是世界选矿领域的难题之一^[3]。浮选仍是处理铜锌硫化矿石最普遍的选矿方法^[4]。选矿实践中, 铜锌难以分离的原因主要有: 铜锌矿物密切共生, 难以单体解离; 铜和铅离子会活化闪锌矿, 致使二者可浮性相近; 氧化、变质及表面污染等因素, 致使多种硫化矿物间可浮性相近; 黄铁矿和磁黄铁矿等伴生矿物及矿泥罩盖、浮选方法和药剂制度等因素的影响; 在磨矿时铜离子进入矿浆中活化闪锌矿^[5-7]。

由于闪锌矿浮选速率比黄铜矿浮选速率要慢, 采用抑锌浮铜的优先浮选流程是合理的, 在生产过程中容易操作, 目前采用这种流程的选矿厂占大多数^[8]。

本试验针对云南东川某铜锌硫化矿石的性质, 即原矿锌品位高、嵌布粒度细、矿物间镶嵌复杂和紧密共生, 开展了选矿试验研究。

1 试验材料及方法

1.1 矿石性质

试验样品取自云南东川某矿区, 矿石中的金属矿物主要有黄铜矿、闪锌矿、黄铁矿及少量偶见的方铅矿及磁黄铁矿, 脉石矿物主要有石英、绢云母、方解石和绿泥石等。原矿化学多元素分析结果见表 1, 铜和锌物相分析结果分别见表 2、表 3。

表 1 原矿化学多元素分析结果

Table 1 Results of chemical multielement analysis of raw ore

成分	SiO ₂	Cu	Zn	Pb	Fe
含量/%	49.14	0.64	6.21	0.0051	8.05
成分	MgO	S	Au ⁺	Ag ⁺	As
含量/%	1.91	5.90	0.0001	13.6	0.01

注: Au 和 Ag 含量单位为 g/t。

收稿日期: 2021-10-10

作者简介: 董继发(1998-), 男, 硕士研究生, 主要从事浮选理论与工艺研究。

通信作者: 方建军(1968-), 男, 博士, 副教授, 主要从事浮选理论与工艺研究。

从表1的分析结果可以看出,该矿石中的可回收有价元素是Cu和Zn,含量分别为0.64%和6.21%,贵金属元素Au含量极低,Ag含量为13.62 g/t,可能伴生于硫化矿物中,对硫化矿物进行捕收,可实现对银的富集。

表2 铜物相分析结果

Table 2 Results of copper phase analysis

元素物相	游离氧化铜	结合氧化铜	次生硫化铜	原生硫化铜	总铜
含量/%	0.0058	0.0058	0.029	0.64	0.68
分布率/%	0.85	0.85	4.26	94.04	100.00

表3 锌物相分析结果

Table 3 Results of zinc phase analysis

元素物相	硫酸锌	氧化锌	硫化锌	锌铁尖晶石及其他	总锌
含量/%	0.079	0.13	6.16	0.10	6.47
分布率/%	1.22	2.02	95.21	1.55	100.00

表2和表3物相分析结果表明,铜锌矿物主要以硫化物形式存在,该矿石为典型的铜锌硫化矿石,浮选中应具有很好的可浮性,易于回收。

显微镜下观察可知,金属矿物主要有黄铜矿、闪锌矿、黄铁矿及少量偶见的方铅矿及磁黄铁矿,但黄铜矿、闪锌矿和黄铁矿除少数呈单体外,大多数都构成矿物连生体,这将对浮选过程中的铜锌分离带来不利影响

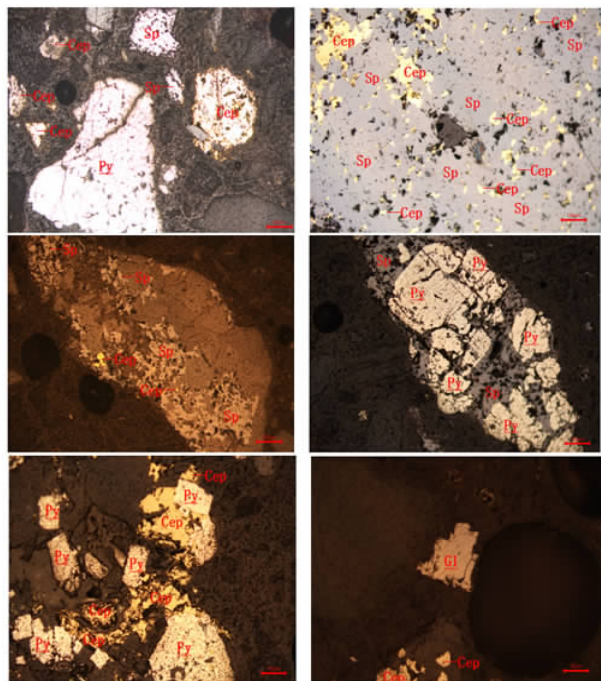


图1 原矿显微镜下观察图

Fig. 1 Observation diagram of raw ore under microscope

响,增加铜锌分离的难度。图1所示的各图标分别代表:黄铜矿(Cep)、闪锌矿(Sp)、黄铁矿(Py)和方铅矿(Gl)。

1.2 试验药剂及设备

试验采用石灰为调整剂,锌抑制剂为硫酸锌和焦亚硫酸钠,铜捕收剂为Z-200(初期探索试验时磨矿细度及石灰用量试验阶段选用丁基黄药),锌活化剂为硫酸铜,锌捕收剂为异丁基黄药,起泡剂为松醇油,药剂均为工业纯药剂。试验所用主要设备和仪器包括:XMQ-240×90锥形球磨机,0.5 L、0.75 L及3 L的XFDⅢ单槽浮选机,1 L的XRF型挂槽式浮选机,ZL-Φ260型盘式真空过滤机和101A-3型恒温干燥箱等。

1.3 试验方法

每组试验称取1 000 g矿样,装入球磨机中磨至所需要的细度,磨矿质量浓度恒定为65%,再将矿浆转移至3 L浮选机中进行粗扫选,铜粗精矿矿浆和锌粗精矿矿浆分别在0.75 L和1 L浮选机中进行第一次精选,第二次精选在0.5 L浮选机中进行。试验用水为自来水。试验结束后对产品进行过滤、烘干及称重,化验分析后处理数据。

铜锌分离常规浮选工艺主要包括优先浮选流程和混合浮选—分离浮选流程,此外还有部分优先浮选—混合浮选—分离浮选流程及等可浮流程^[9]。基于原矿锌品位高,嵌布粒度细,铜锌矿物连生体较多,前期经大量探索试验,混合浮选—分离浮选流程、部分优先浮选—混合浮选—分离浮选流程及等可浮流程等都不能取得较理想的分选指标,且流程长而复杂,试验最终采用“抑锌浮铜、铜粗精矿再磨、优先浮选尾矿选锌”的工艺流程。

为了降低铜粗精矿中的锌含量,使锌损失较小,对铜粗选的捕收剂和抑制剂采用了3因素3水平正交试验,确定了最佳用量。浮选效率公式如下计算^[10]:

$$E = \text{精矿回收率} \times$$

$$\left[1 - \frac{\text{原矿品位} \times (\text{理论品位} - \text{精矿品位})}{\text{精矿品位} \times (\text{理论品位} - \text{原矿品位})} \right] \times 100\% \quad (1)$$

式中:理论品位分别为黄铜矿34.78%、闪锌矿67.01%。

2 试验结果及分析

2.1 铜浮选试验研究

选铜试验主要开展了抑锌浮铜的优先浮选原则流程下的铜粗选条件试验及铜粗精矿再磨细度试验,铜粗选条件试验流程如图2所示,控制变量,逐一探索各个条件的最佳参数。

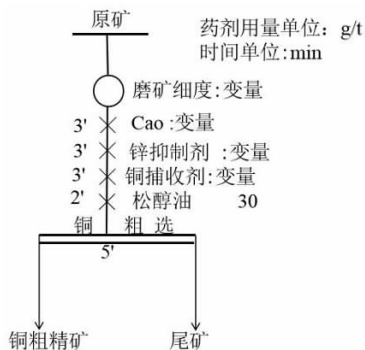


图 2 铜粗选试验流程

Fig. 2 Experimental flowsheet of copper roughing

2.1.1 磨矿细度试验

磨矿细度试验药剂制度为:pH 调整剂 CaO 3 000 g/t,抑制剂 ZnSO₄ 1 000 g/t,捕收剂丁基黄药 50 g/t,松醇油 30 g/t。

试验结果如图 3 所示,随着磨矿细度的增加,铜粗精矿铜和锌品位逐渐上升,当磨矿细度为 -0.074 mm 含量占 80% 时,铜粗精矿 Cu 回收率和品位都达到最佳值,铜粗精矿中 Cu 品位为 6.54%, Zn 品位为 14.88%, Cu 回收率达到 72.61%, 而 Zn 回收率为 18% 以下。当磨矿细度 -0.074 mm 含量超过 80% 时,铜粗精矿铜的回收率和品位逐降,故确定试验适宜的磨矿细度为 -0.074 mm 占 80%。

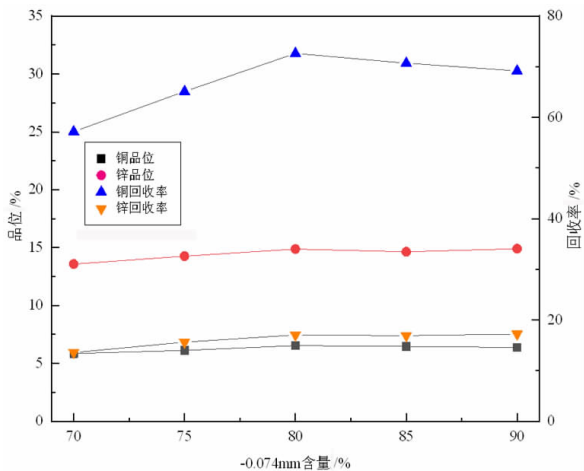


图 3 磨矿细度试验结果

Fig. 3 Results of grinding fineness tests

2.1.2 石灰用量试验

石灰用量试验中固定磨矿细度 -0.074 mm 占 80%、丁基黄药用量 40 g/t、抑制剂硫酸锌用量为 1 000 g/t、松醇油为 30 g/t,改变石灰用量。

由图 4 中的试验结果可知,随着石灰用量的增加,铜粗精矿中 Cu 品位和回收率先逐步升高再降低,铜粗

精矿中 Zn 趋势变化稍有波动。但当石灰用量增加到 4 000 g/t 时,此时铜粗精矿中 Cu 品位达到 6.84%, Cu 回收率达到最大值 74.79%, 且 Zn 抑制效果最佳, Zn 品位为 12.92%, Zn 回收率为 15.01%。继续增加石灰用量,铜粗精矿 Cu 品位变化不大,回收率下降。因此当石灰用量为 4 000 g/t 时,矿浆 pH 12,此时可获得较佳指标的铜粗精矿,且石灰用量过大会导致矿浆黏稠,泡沫黏度大,容易堵塞管道,综合考虑确定石灰最佳用量为 4 000 g/t。

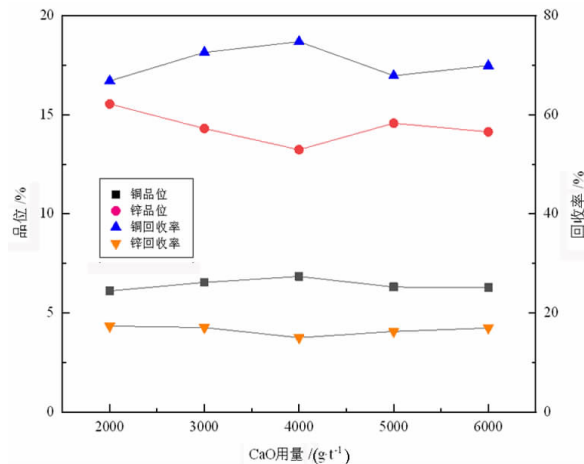


图 4 石灰用量试验结果

Fig. 4 Results of CaO dosage tests

2.1.3 铜粗选抑制剂种类试验

ZnSO₄是目前应用最广泛的闪锌矿抑制剂,在碱性条件下才有抑制作用,但对含重金属含量高及已活化的闪锌矿抑制能力较弱,通常需与其他药剂组合使用^[12]。本试验固定磨矿细度为 -0.074 mm 占 80%,石灰用量用量为 4000 g/t,捕收剂 Z-200 30 g/t,起泡剂松醇油为 30 g/t,抑制剂为变量。考察了单独使用 ZnSO₄,以及 ZnSO₄ 分别与 Na₂SO₃、Na₂S₂O₅ 和 DMDC (二甲基二硫代氨基甲酸钠)组合抑制的效果,其用量分别为 1 500 g/t、1 000 + 500 g/t、1 000 + 500 g/t、1 400 + 100 g/t,试验结果见图 5。

由图 5 可知,单独使用 ZnSO₄抑制闪锌矿的效果最差,剩余三组中的铜粗精矿中的 Zn 品位差别不大, ZnSO₄ + Na₂SO₃ 组合抑制获得的铜粗精矿品位最佳,但采用 ZnSO₄ + Na₂S₂O₅ 组合抑制时,铜粗精矿中的 Cu 回收率可达 87.70%。可见, ZnSO₄ + Na₂S₂O₅ 组合抑制的抑制效果最好,在有效抑制闪锌矿的前提下,对黄铜矿的回收率影响较小。

焦亚硫酸钠 (Na₂S₂O₅) 溶于水,水溶液呈酸性,能与硫酸锌反应生成亚硫酸锌吸附在闪锌矿表面,增强其亲水性,从而抑制闪锌矿,也能代替亚硫酸盐与硫酸

锌组合抑制闪锌矿,因为焦亚硫酸钠溶于水也能形成亚硫酸根与亚硫酸氢根,与酸反应放出具有还原性的SO₂气体,其抑制闪锌矿效果要优于亚硫酸钠^[13]。

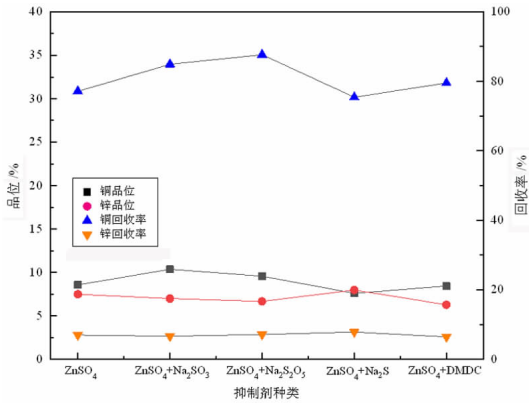


图5 锌抑制剂种类试验结果
Fig. 5 Results of zinc depressant types tests

2.1.4 铜粗选捕收剂种类试验

铜粗选要尽可能地浮出铜矿物和抑制锌硫矿物,需要选择性好的捕收剂。本试验固定石灰用量为4 000 g/t,磨矿细度为-0.074 mm占80%,组合抑制剂ZnSO₄+Na₂S₂O₅用量为2 000+1 000 g/t,起泡剂2[#]油为30 g/t,捕收剂为变量。选择Z-200、异丁基黄药、Z-200+异丁基黄药、Z-200+MBTNa(巯基苯骈噻唑钠)作捕收剂种类试验,用量分别为40、50、30+20和30+20 g/t,结果见图6。

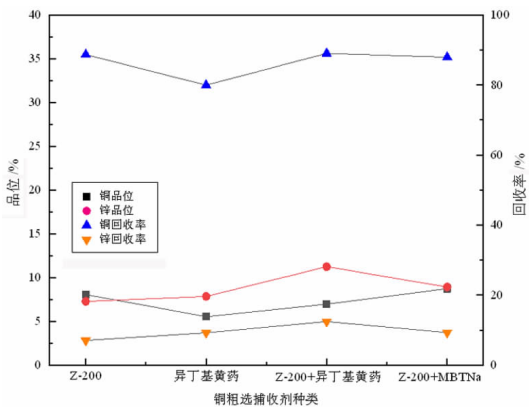


图6 铜粗选捕收剂种类试验结果
Fig. 6 Results of copper roughing collector types tests

由图6结果可知,采用Z-200+异丁基黄药作为黄铜矿的组合捕收剂时,获得的铜粗精矿中的Cu回收率最高,达到89.04%,但Zn品位也高,达11.25%,说明具有强捕收性的异丁基黄药的加入,使组合捕收剂

的选择性变差,造成铜粗精矿中锌品位偏高。而与之相比,单独使用Z-200作捕收剂时,Cu回收率可达88.71%,Zn品位仅7.28%,且锌损失较小,锌回收率仅为7.05%,可见,Z-200对该铜锌矿具有较好的选择性,综合考虑铜精矿的选别指标,选定Z-200为捕收剂。

2.1.5 铜粗选抑制剂与捕收剂用量正交试验

在确定铜粗选抑制剂与捕收剂种类之后,为了进一步优化铜粗选药剂制度,对铜粗选抑制剂与捕收剂的用量进行了3因素3水平的正交试验。采用L₉(3³)的正交设计,3个因素的水平选定均在合理用量内,试验安排见表4,试验结果见表5。

选效率较低,分别为12.79%和5.64%。说明在该药剂条件下,在对铜矿物高效捕收的同时,实现了对闪锌矿的有效抑制。

表4 正交试验条件

Table 4 Arrangement of orthogonal test conditions

编号	A	B	C
	ZnSO ₄ /(g·t ⁻¹)	Na ₂ S ₂ O ₅ /(g·t ⁻¹)	Z-200/(g·t ⁻¹)
1	1000	500	50
2	1000	1000	70
3	1000	1500	60
4	1500	500	70
5	1500	1000	60
6	1500	1500	50
7	2000	500	60
8	2000	1000	50
9	2000	1500	70

从表5的正交试验结果可知,在铜粗选作业阶段,抑制剂与捕收剂的最佳药剂条件为:硫酸锌用量2000 g/t,焦亚硫酸钠用量1 000 g/t,Z-200用量50 g/t,此时铜的回收率和浮选效率最高,分别为90.22%和85.09%,锌的回收率和浮

2.1.6 铜粗精矿再磨细度试验

经一次粗选两次精选的开路流程,最终能得到Cu品位24.86%,Cu回收率72.14%,Zn品位11.37%,Zn回收率2.78%的铜精矿,若经闭路试验,在闭路大循环条件下,加上铜扫选中矿返回,铜精矿中的Zn品位会逐渐上升,部分闪锌矿随铜锌连生体进入铜精矿中。考虑是一段磨矿解离度不够的原因,因此在铜粗选后

表 5 铜粗选抑制剂与捕收剂用量正交试验结果

Table 5 Results of orthogonal tests on the dosage of inhibitor and collector in copper flotation roughing

编号	产率		原矿品位		铜粗精矿品位		尾矿品位		铜粗精矿回收率		浮选效率	
	铜粗精矿	尾矿	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn
1	7.83	92.17	0.65	6.22	6.24	13.22	0.18	5.62	74.65	16.66	68.15	9.72
2	8.86	91.14	0.64	6.25	6.11	14.37	0.11	5.46	84.37	20.37	76.95	12.69
3	8.10	91.90	0.66	6.24	6.55	12.67	0.14	5.67	80.48	16.45	73.77	9.21
4	8.83	91.17	0.63	6.21	6.25	14.58	0.09	5.40	87.06	20.73	75.66	13.12
5	8.22	91.78	0.65	6.19	7.05	12.34	0.08	5.64	88.75	16.35	82.10	8.98
6	7.88	92.12	0.64	6.22	7.27	11.35	0.07	5.78	89.88	14.38	83.50	7.16
7	9.31	91.69	0.66	6.20	6.89	12.56	0.09	5.62	87.40	16.78	80.56	9.36
8	7.68	92.32	0.63	6.21	7.49	10.35	0.06	5.87	91.22	12.79	85.09	5.64
9	8.33	91.67	0.64	6.23	6.97	10.47	0.07	5.84	90.43	14.01	83.67	6.26

对铜粗精矿进行再磨,并加石灰控制 pH 12,再磨细度试验结果见图 7。

由图 7 可知,铜粗精矿经再磨后浮选,铜精矿回收率虽有所下降,但铜精矿品位有大幅度提高,且锌含量降低,说明再磨作业对铜锌分离产生了正效应,有利于铜精矿产品质量的提高。当再磨磨矿细度为 -0.038 mm 占 90% 时,经两次精选,能够获得 Cu 品位 30.18%、Cu 回收率 64.60%、Zn 品位 4.82%、Zn 回收率 1.06% 的铜精矿,在球磨机里加入组合抑制剂 $ZnSO_4 + Na_2S_2O_5$ 能更好抑制闪锌矿,达到最佳的铜锌分离效果,因此控制再磨细度为 -0.038 mm 占 90%, pH 调整为 12,进行精选试验。

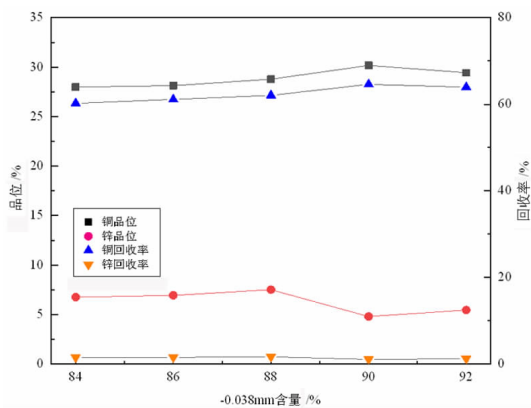


图 7 再磨细度试验结果
Fig. 7 Results of regrinding fineness test

2.2 锌浮选试验研究

浮选锌试验中继续加入石灰维持矿浆 pH,加入活化剂活化优先浮选铜时被抑制的闪锌矿,再加入捕收性能较强的捕收剂进行捕收。本试验选定常用的硫酸铜为闪锌矿的活化剂,对锌粗选硫酸铜的用量和捕收剂的种类及用量进行探索,确定最佳工艺参数,锌粗选试验流程如图 8 所示。

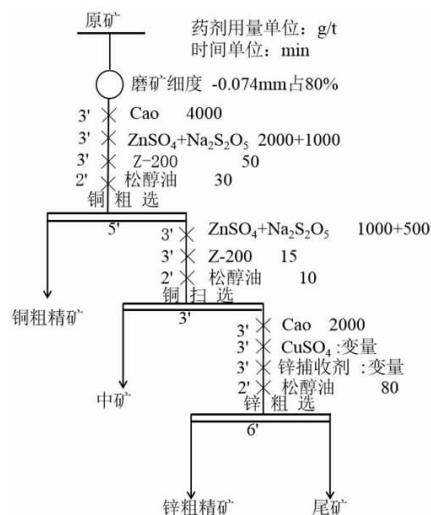


图 8 锌粗选试验流程
Fig. 8 Experimental flowsheet of zinc flotation roughing

2.2.1 锌粗选硫酸铜用量试验

$CuSO_4$ 是使用最广泛的闪锌矿活化剂,用量对闪锌矿的品位和回收率有直接影响。在选铜试验基础上,固定石灰用量 2 000 g/t、异丁基黄药、用量 80 g/t,进行 $CuSO_4$ 用量试验,试验结果如图 9 所示。

由图 9 可见,随着 $CuSO_4$ 用量的增加,锌粗精矿中 Zn 回收率先升高后波动幅度不大,而 Zn 品位呈下降的趋势;当 $CuSO_4$ 用量达到 300 g/t 时,此时锌矿物已基本完全活化,继续增大 $CuSO_4$ 用量 Zn 回收率不再升高,用量过大也会活化黄铁矿和石英等脉石矿物,降低锌精矿产品质量。综合考虑 Zn 品位和回收率指标,确定硫酸铜的最佳用量为 300 g/t,锌粗精矿中 Zn 品位和回收率分别为 35.65% 和 86.02%。

闪锌矿表面吸附了胶体颗粒状的 $Cu(OH)_2$,且 $Cu(OH)_2$ 溶度积大于 CuS ,会继续生成 CuS 。在某些特定条件下 CuS 则又会继续生成更稳定的 Cu_2S 和多硫化物等形式,使闪锌矿表面疏水,增加了闪锌矿的可浮性^[14-16]。

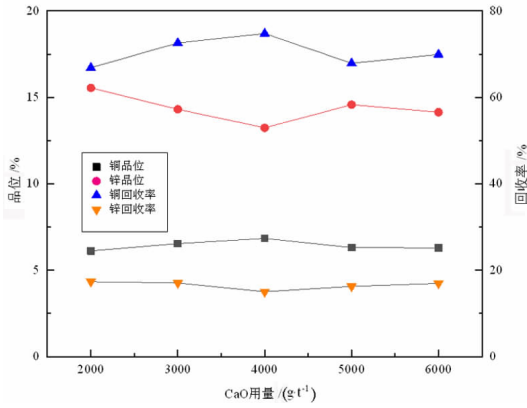


图9 CuSO₄ 用量试验结果
Fig. 9 Results of CuSO₄ dosage tests

2.2.2 锌粗选捕收剂试验

本试验分别选用异丁基黄药、Z-200 和乙硫氮进行锌粗选捕收剂种类试验,固定石灰用量 2 000 g/t,活化剂 CuSO₄ 用量 300 g/t,捕收剂用量分别为 100、90 和 120 g/t,进行捕收剂种类试验,其试验结果如图 10 所示。收率 86.35% 的锌粗精矿,此时锌粗精矿指标最好,因此选择异丁基黄药最佳用量为 160 g/t。

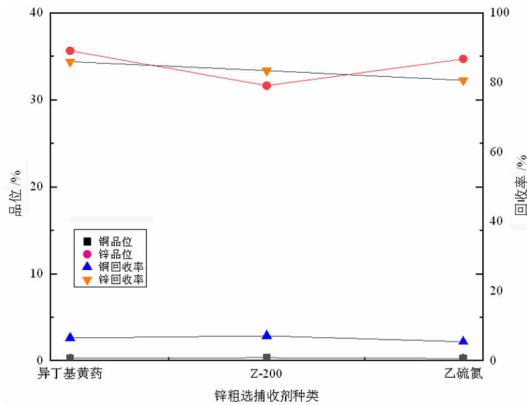


图10 锌粗选捕收剂种类试验
Fig. 10 Results of zinc roughing collector types tests

由图 10 结果比较可知,使用乙硫氮为捕收剂时,锌粗精矿中的 Zn 指标最差,使用 Z-200 和异丁基黄药这两种捕收剂时,锌粗精矿中 Zn 的品位相差不多,但使用异丁基黄药时,锌精矿中 Zn 的回收率较高,说明异丁基黄药捕收能力较强。因此选用异丁基黄药作为锌粗选的捕收剂,进行异丁基黄药用量试验,试验结果见图 11。

由图 11 可知,随着异丁基黄药用量的增加,锌粗精矿中 Zn 品位逐渐升高后下降,而 Zn 回收率则先上升后保持不变,在达到 160 g/t 时,Zn 回收率不再增加,此时 Zn 品位也较高。在异丁基黄药用量为 160 g/t 时,获得了 Zn 品位 31.54%、回收率 86.35% 的锌粗精矿,此时锌粗精矿指标最好,因此选择异丁基黄药最佳用量为 160 g/t。

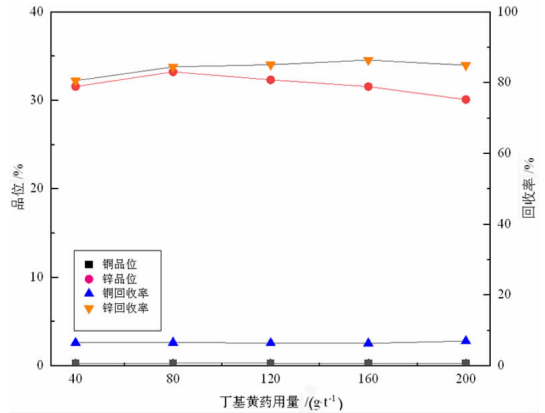


图11 丁基黄药用量试验结果
Fig. 11 Results of Isobutyl xanthate dosage tests

2.3 全流程闭路试验

根据开路试验结果,确定将铜精选 2 的尾矿和铜精扫选的中矿合并返回到铜精选 1,铜扫选的中矿返回至铜粗选;铜精扫选的尾矿、锌精选 1 的尾矿和锌扫选的中矿一起返至锌粗选,锌精选 2 的中矿返至锌精选 1,避免过多闪锌矿随闭路循环进入至铜回路中。全流程闭路试验流程见图 12,结果见表 6。最终获得了 Cu 品位 27.87%、Zn 品位 5.41%,Cu 回收率 75.17%、Zn 回收率 1.53% 的铜精矿,Zn 品位 49.23%、Cu 品位 1.03%、Zn 回收率 94.48%、Cu 回收率 18.88% 的锌精矿。同时铜精矿中含银 356 g/t,在铜锌分离的同时,使该矿石中的银金属得到了回收利用。

表6 全流程闭路试验结果

Table 6 Results of the whole process closed circuit tests

产品	产率/%	品位/%		回收率/%	
		Cu	Zn	Cu	Zn
铜精矿	1.76	27.87	5.41	75.17	1.53
锌精矿	11.96	1.03	49.23	18.88	94.48
尾矿	86.28	0.04	0.28	5.95	3.99
原矿	100.00	0.64	6.22	100.00	100.00

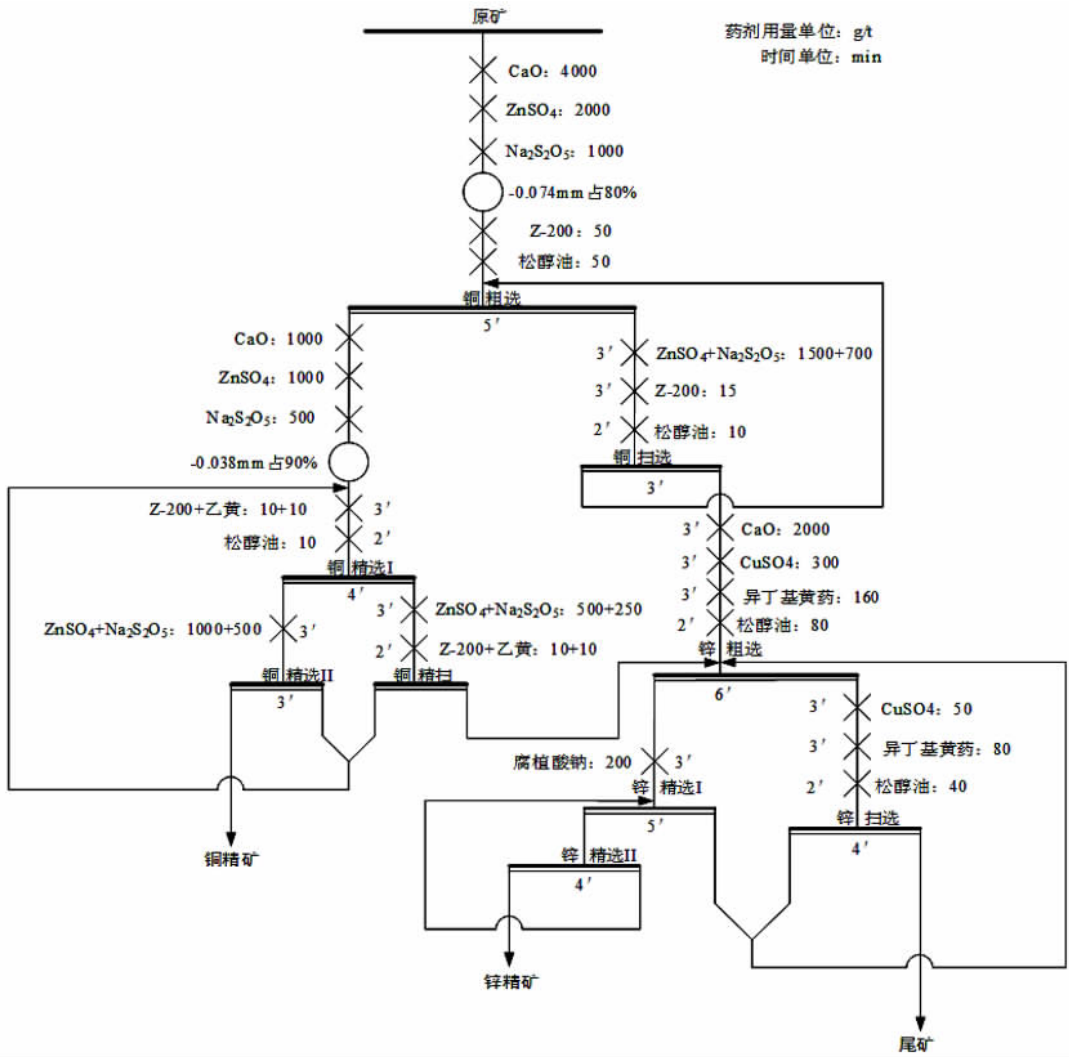


图 12 全流程闭路试验流程
Fig. 12 Whole process closed flow chart of tests

3 结论

(1) 东川某高锌硫化铜锌矿石原矿 Cu 和 Zn 品位分别为 0.64% 和 6.21% ;铜和锌矿物主要以硫化物形式存在(黄铜矿和闪锌矿),脉石主要为石英、绢云母和方解石等;铜锌矿物连生体占绝大多数,铜锌分离困难;伴生贵金属元素银具有综合回收价值。

(2) 根据原矿性质,采用抑锌浮铜的优先浮选的原则流程,确定最佳工艺参数;在磨矿细度为 -0.074 mm 占 80% 条件下,石灰用量 4 000 g/t 调节 pH,铜粗选用硫酸锌和焦亚硫酸钠组合抑制闪锌矿,其最佳用量为 2 000 和 1 000 g/t,Z-200 最佳用量为 50 g/t。锌粗选以硫酸铜为闪锌矿的活化剂,用量 300 g/t,异丁基黄药为闪锌矿的捕收剂,用量 160 g/t,铜和锌矿物浮选均采用“一次粗选一次扫选两次精选”的工艺流程,其中,铜粗精矿需再磨至细度为 -0.038 mm 占 90.24% ,铜第一次精选尾矿需进行扫选。

(3) 全流程闭路试验最终获得了 Cu 和 Zn 品位分别为 27.87% 和 5.41%、Cu 和 Zn 回收率分别为 75.17% 和 1.53% 的铜精矿,Zn 和 Cu 品位分别为 49.43% 和 1.03%、Zn 和 Cu 回收率分别为 94.48% 和 18.88% 的锌精矿,同时铜精矿中含银 356 g/t,在铜锌分离的同时,使该矿石中的银金属得到了回收利用。

参考文献:

- [1] 易晓剑. 国内外主要有色金属资源储量及其特点[J]. 世界有色金属, 2005, 4(12): 42-43.
- [2] 焦芬. 复杂铜锌硫化矿浮选分离的基础研究[D]. 长沙: 中南大学, 2013.
- [3] 李俊旺, 张红华, 洪建华. 铜锌硫化矿浮选分离研究进展[J]. 铜业工程, 2016, 4(4): 56-58.
- [4] 张渊, 刘韬, 张俊辉. 天宝山铜铅锌多金属矿石性质及选矿工艺研究[J]. 金属矿山, 2008(5): 70-72.
- [5] DENG JIUSHUAI, MAO YINGBO, WEN SHUMING, et al. New influence factor inducing difficulty in selective flotation separation of Cu-Zn mixed sulfide minerals [J]. International Journal of Minerals Metallurgy

and Materials, 2015(2): 111 – 115.

- [6] CHANDRA AP, GERSON AR. A review of the fundamental studies of the copper activation mechanisms for selective flotation of the sulfide minerals, sphalerite and pyrite [J]. Advances in Colloid & Interface Science, 2009(1/2): 97 – 100.
- [7] LIU J, WEN S, DENG J, et al. Contribution of fluid inclusions to variations in solution composition for sphalerite quartz samples from the Yunnan Province, PRC [J]. Colloids & Surfaces A: Physicochemical & Engineering Aspects, 2013(35): 287 – 293.
- [8] 余新阳, 王强强, 刘诚, 等. 河南某高硫难选铜锌矿选矿试验研究 [J]. 有色金属工程, 2016, 6(4): 53 – 57.
- [9] 张磊, 戴惠新, 杜五星. 铜锌硫化矿分离工艺现状 [J]. 矿产综合利用, 2019(1): 1 – 5.
- [10] 许时, 刘金华, 孟书青, 等. 矿石可选性研究 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1981.

- [11] 李宁. 铜锌硫化矿浮选分离研究 [C]. 长沙: 中南大学, 2012.
- [12] 尧章伟, 方建军, 代宗, 等. 闪锌矿抑制剂的作用机理及研究进展 [J]. 矿冶, 2018(4): 16 – 21.
- [13] 王衡嵩, 魏志聪, 曾明, 等. 铜锌矿物分离中闪锌矿抑制剂的作用机理研究进展 [J]. 矿产保护与利用, 2019, 39(2): 124 – 130.
- [14] GERSON A R, LANGE A G, PRINCE K E, et al. The mechanism of copper activation of sphalerite [J]. Appl. Surf. Sci., 1999, 137(1/4): 207 – 223.
- [15] PRESTIDGE C A, THIEL A G, RALSTON J, et al. The interaction of ethyl xanthate with copper(II) – activated zinc sulphide; kinetic effects [J]. Colloids Surf., A, 1994, 85(1): 51 – 68.
- [16] 李佳磊, 宋凯伟, 刘殿文, 等. 闪锌矿浮选的活化与去活化研究进展 [J]. 过程工程学报, 2018(1): 11 – 19.

Experimental Study on Beneficiation of a High Zinc Refractory Copper – Zinc Sulfide Ore from Dongchuan County of Yunnan Province

DONG Jifa^{1,2}, FANG Jianjun^{1,2}, HE Haiyang^{1,2}, QIU Zhilian^{1,2}, KOU Qingjun^{1,2}

1. Faculty of Land Resources Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;

2. State Key Laboratory of Complex Nonferrous Metal Resources Clean Utilization, Kunming 650093, China

Abstract: In a copper – zinc sulfide ore in Dongchuan, Yunnan Province, the Cu grade is 0.64% and the Zn grade is 6.21%. The main gangue minerals include quartz, sericite and calcite. Most of the minerals in the ore are composed of intergrowth. The low degree of monomer dissociation is unfavorable, causing difficulty in the separation copper and zinc. The selective flotation process of zinc suppression and copper flotation is adopted for the ore. Under the condition that the grinding fineness is –0.074 mm, accounting for 80%, adjust the pH with lime, select the combination of zinc sulfate and sodium pyrosulfite to inhibit sphalerite for copper roughing, Z – 200 as the collector, copper sulfate as the activator for zinc roughing, isobutyl xanthate as the collector, and adopt the process of "one roughing, one scavenging and two cleaning" for copper and zinc. Among them, the copper roughing concentrate needs to be regrinded to a fineness of –0.038 mm, accounting for 90%. The tailings of the first copper cleaning shall be scavenging. Finally, through the closed – circuit process tests, the copper concentrate with Cu grade of 27.87% and Cu recovery of 75.17% and the zinc concentrate with Zn grade of 49.23% and Zn recovery of 94.48% were obtained. The copper concentrate contains 5.41% zinc, the zinc concentrate contains 1.03% copper, and the mutual content of copper and zinc in the concentrate was low, and the separation of copper and zinc was realized.

Key words: sulfide ore; copper/zinc separation; zinc suppression and floating copper; regrinding; flotation

引用格式: 董继发, 方建军, 何海洋, 邱芝莲, 寇青军. 云南东川某高锌难选铜锌硫化矿石选矿试验研究 [J]. 矿产保护与利用, 2021, 41(5): 97 – 104.

DONG Jifa, FANG Jianjun, HE Haiyang, QIU Zhilian, KOU Qingjun. Experimental study on beneficiation of a high zinc refractory copper – zinc sulfide ore from Dongchuan county of Yunnan province [J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2021, 41(5): 97 – 104.