

钼铋硫混合精矿无氰分离新技术研究^①

李振兴¹, 唐雪峰², 马巍¹, 程征², 吴江岳恩¹, 赵洪冬², 李文恒¹

(1.湖南柿竹园有色金属有限责任公司, 湖南 郴州 423000; 2.长沙矿冶研究院有限责任公司, 湖南 长沙 410012)

摘要:以湖南柿竹园钼铋硫混合精矿为研究对象,开发了钼-铋-硫分离的绿色环保高效抑制剂 CYZ-15 与钼-铋-硫无氰分离新技术,流程试验获得了产率 3.02%、Mo 品位 40.36%、Mo 回收率 92.98% 的钼精矿和产率 9.62%、Bi 品位 28.14%、Bi 回收率 95.64% 的铋精矿,实现了钼铋硫混合精矿的无氰高效分离。

关键词:混合精矿; 辉钼矿; 辉铋矿; 黄铁矿; 磁黄铁矿; 抑制剂; 浮选; 钼铋硫化矿; 环保药剂

中图分类号: TD951

文献标志码: A

doi:10.3969/j.issn.0253-6099.2025.03.013

文章编号: 0253-6099(2025)03-0084-04

New Cyanide-Free Separation Technology for Mo-Bi-S Bulk Concentrate

LI Zhenxing¹, TANG Xuefeng², MA Wei¹, CHENG Zheng², WU Jiangyueen¹, ZHAO Hongdong², LI Wenheng¹

(1. Hunan Shizhuyuan Nonferrous Metals Co., Ltd., Chenzhou 423000, Hunan, China; 2. Changsha Research Institute of Mining and Metallurgy Co., Ltd., Changsha 410012, Hunan, China)

Abstract: Aiming at the Mo-Bi-S bulk concentrate from Hunan Shizhuyuan Nonferrous Metals Limited Company, a green, environmentally-friendly and efficient depressant (CYZ-15) and a new cyanide-free processing technique for Mo-Bi-S separation were developed. An experiment with the developed flowsheet produced a molybdenum concentrate grading 40.36% Mo at 92.98% recovery with a yield of 3.02%, and a bismuth concentrate grading 28.14% Bi at 95.64% recovery with a yield of 9.62%. It is shown that cyanide-free and efficient separation of Mo-Bi-S bulk concentrate can be actualized.

Key words: bulk concentrate; molybdenite; bismuthinite; pyrite; pyrrhotite; depressant; flotation; Mo-Bi-S ore; environmentally-friendly reagent

湖南柿竹园钨钼铋多金属矿区钼铋矿产资源丰富,保有资源储量钼 10 万 t、铋 26 万 t,其中铋资源储量为世界第一,钼、铋矿物主要为辉钼矿与辉铋矿,其他金属硫化物以黄铁矿和磁黄铁矿为主。柿竹园多金属选矿厂硫化矿物生产选别流程为:硫化矿全浮-全浮精矿钼铋脱硫-钼铋浮选分离^[1-4]。氰化物对黄铁矿与磁黄铁矿具有良好的选择性抑制能力,柿竹园公司曾使用氰化物作为钼铋硫分离的关键抑制剂。氰化物属剧毒化合物,该药剂的储存及使用存在安全隐患,含氰化物的选矿废水进入尾矿库也会对环境造成影响。针对上述问题,本文以柿竹园多金属选矿厂钼铋硫混合精矿为研究对象,采用新型环保螯合抑制剂 CYZ-15 进行钼铋硫无氰分离新技术研究,取得了良好的试验结果,可为同类型资源的清洁高效开发利用提供借鉴与支撑。

1 矿样性质

试验矿样为柿竹园多金属选矿厂钼铋硫混合精矿,Mo、Bi、S 品位分别为 1.31%、2.83%、29.10%。镜下鉴定、扫描电镜分析和 MLA 分析综合研究结果表明,钼铋硫混合精矿的组成矿物种类较为复杂。钼矿物主要为辉钼矿,微量钼钙矿;铋矿物主要为辉铋矿,少量自然铋和铋华;其他金属矿物主要是黄铁矿,其次为磁黄铁矿,少量黄铜矿、闪锌矿、毒砂和方铅矿;非金属矿物主要为石榴石、萤石、石英、长石和云母,次为方解石、绿泥石、角闪石、透辉石、黄玉和硬玉等。

2 技术路线

目前工业上应用的钼铋硫混合精矿的浮选分离工

① 收稿日期: 2025-01-15

基金项目: 国家重点研发计划(2022YFC2905104)

通信作者: 李振兴(1982—),男,湖北利川人,高级工程师,长期从事钨多金属选矿技术及生产管理工。E-mail: hngks@163.com

艺主要有“钼-铋硫分离、铋-硫分离”与“钼铋-硫分离、钼-铋分离”两种。柿竹园多金属选矿厂较长一段时间采用“钼铋等可浮、铋硫混合浮选、钼-铋硫分离、铋-硫分离”的硫化矿浮选工艺,取得了良好的工业应用指标。自2020年7月以来,选矿厂处理的多金属矿石中钼铋品位大幅度降低、磁黄铁矿含量大幅增加,大部分黄铁矿易浮,硫化矿浮选段采用钼铋等可浮流程时,等可浮精矿硫回收率指标大幅度增加,等可浮精矿钼、铋品位大幅度下降,导致钼铋生产技术指标大幅度下滑。为进一步稳定与提高硫化矿回收率指标,硫化矿浮选工艺逐步变革为钼铋硫全浮-钼铋脱硫-钼铋分离工艺^[5]。本次试验亦采用该流程,钼铋硫浮选分离试验流程图见图1。

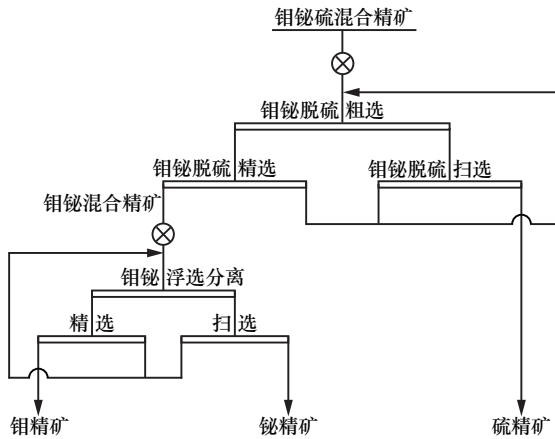


图1 钼铋硫浮选分离试验流程

Fig.1 Flotation flowchart for Mo-Bi-S separation

3 试验结果与讨论

3.1 钼铋-硫分离活性炭用量试验

在有色金属领域,活性炭是一种重要的脱药剂,在浮选过程中适当添加活性炭,以脱除大部分药剂残余,可提高浮选分选效率与选择性。在石灰用量8000 g/t、水玻璃用量14000 g/t、CYZ-15用量8000 g/t条件下,针对钼铋硫混合精矿进行了钼铋-硫分离浮选(一次粗选,下同)活性炭用量试验,结果见图2。CYZ-15为长沙矿冶研究院有限责任公司自主研发的新型环保抑制剂。图2结果显示,随着活性炭用量增加,浮选脱硫所得钼铋粗精矿中钼、铋品位呈明显上升趋势;活性炭用量4000 g/t条件下,脱硫获得的钼铋粗精矿Mo品位5.75%、Bi品位10.60%,Mo回收率98.47%、Bi回收率94.24%;进一步提高活性炭用量,钼、铋回收率下降,钼、铋损失率增加。综合考虑,选择钼铋-硫分离粗选活性炭用量4000 g/t为宜。

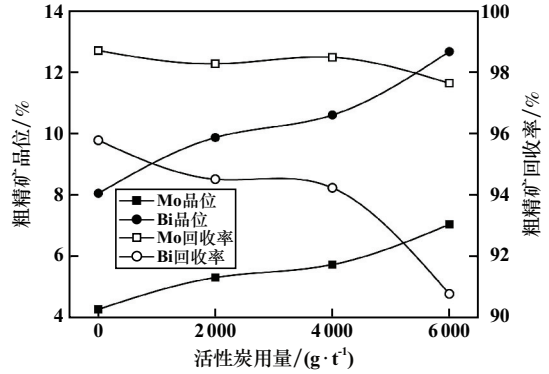


图2 钼铋-硫分离活性炭用量试验结果

Fig.2 Test result of activated carbon dosage for separating sulfur from molybdenum and bismuth

3.2 钼铋-硫分离石灰用量试验

石灰是黄铁矿、磁黄铁矿的有效抑制剂。在活性炭用量4000 g/t、水玻璃用量14000 g/t、CYZ-15用量8000 g/t条件下,针对钼铋硫混合精矿进行了钼铋-硫分离石灰用量试验,结果见图3。图3结果显示,石灰用量由4000 g/t增至8000 g/t时,钼铋粗精矿Mo、Bi品位分别由3.07%、5.98%上升至5.97%、10.88%,粗精矿钼、铋回收率指标变化不大;再进一步提高石灰用量,钼铋粗精矿金属回收率下降幅度较大。综合考虑,钼铋-硫分离石灰用量8000 g/t为宜。

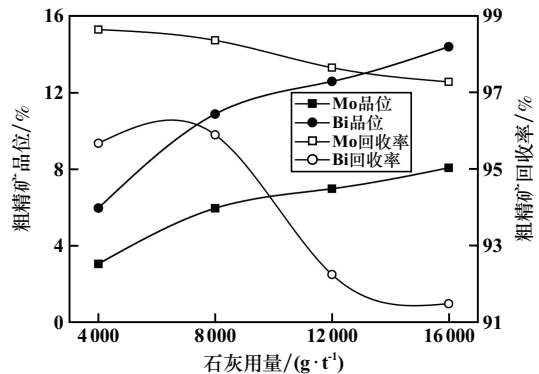


图3 钼铋-硫分离石灰用量试验结果

Fig.3 Test result of lime dosage for separating sulfur from molybdenum and bismuth

3.3 钼铋-硫分离水玻璃用量试验

水玻璃是一种良好的分散剂,也是石英与硅酸盐等脉石矿物的高效抑制剂。在活性炭用量4000 g/t、石灰用量8000 g/t、CYZ-15用量8000 g/t条件下,针对钼铋硫混合精矿进行了钼铋-硫分离水玻璃用量试验,结果见图4。图4结果显示,随着水玻璃用量增加,钼铋粗精矿Mo、Bi品位呈逐步下降趋势,但Mo、Bi回收率呈上升趋势。综合考虑,钼铋-硫分离粗选水玻

璃用量 10 000~14 000 g/t 为宜。

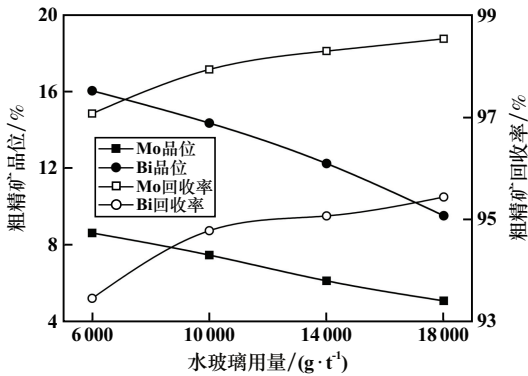


图4 钼铋-硫分离水玻璃用量试验结果

Fig.4 Test result of water glass dosage for separating sulfur from molybdenum and bismuth

3.4 钼铋-硫分离 CYZ-15 用量试验

CYZ-15 是一种双硫氮类有机环保抑制剂,该药剂基于多元螯合抑制机理,突破了硫铁矿定向界面亲水调控瓶颈,对黄铁矿、磁黄铁矿具有高效的选择性抑制作用。在活性炭用量 4 000 g/t、石灰用量 8 000 g/t、水玻璃用量 14 000 g/t 条件下,针对钼铋硫混合精矿进行了钼铋-硫分离粗选 CYZ-15 药剂用量试验,结果见图 5。图 5 结果显示,随着 CYZ-15 用量增加,钼铋粗精矿中 Mo、Bi 品位与钼、铋回收率逐渐增加,CYZ-15 用量 8 000 g/t 条件下获得的钼铋粗精矿中 Mo 品位 6.34%、Bi 品位 11.90%、Mo 回收率 98.45%、Bi 回收率 95.21%,钼铋-硫无氰分离粗选效果良好。CYZ-15 用量 8 000 g/t 以上为宜。

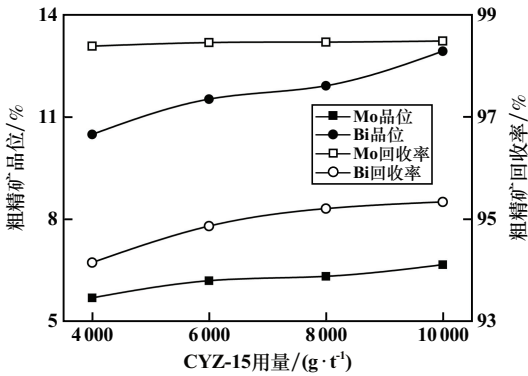


图5 钼铋-硫分离 CYZ-15 用量试验结果

Fig.5 Test result of CYZ-15 dosage for separating sulfur from molybdenum and bismuth

3.5 钼铋分离硫化钠用量试验

针对钼铋硫混合精矿,进行了钼铋脱硫浮选试验,试验流程为一次粗选两次精选,其中脱硫粗选活性炭用量 4 000 g/t、石灰用量 8 000 g/t、水玻璃用量

14 000 g/t、CYZ-15 用量 8 000 g/t,脱硫精选 1 水玻璃用量 2 000 g/t、精选 2 水玻璃用量 1 000 g/t,钼铋-硫浮选分离所得钼铋混合精矿作为钼-铋分离的浮选给矿。硫化钠在有色金属硫化矿浮选中常作为抑制剂广泛使用,硫化钠用量较大时,可以抑制绝大多数硫化矿,而辉钼矿具有天然可浮性,硫化钠对辉钼矿几乎无抑制作用。针对钼铋混合精矿,在煤油用量 200 g/t 条件下进行了硫化钠用量试验,试验流程为一次粗选,结果见图 6。图 6 结果显示,随着硫化钠用量增加,钼精矿 Mo 品位呈逐步上升趋势,Mo 回收率呈逐步降低趋势,铋精矿回收率呈逐步增加趋势。硫化钠用量 10 000 g/t 条件下可获得钼精矿 Mo 品位 24.70%、钼作业回收率 95.74%,铋精矿 Bi 品位 31.28%、Bi 作业回收率 75.20%。综合考虑,硫化钠用量 10 000 g/t 为宜。

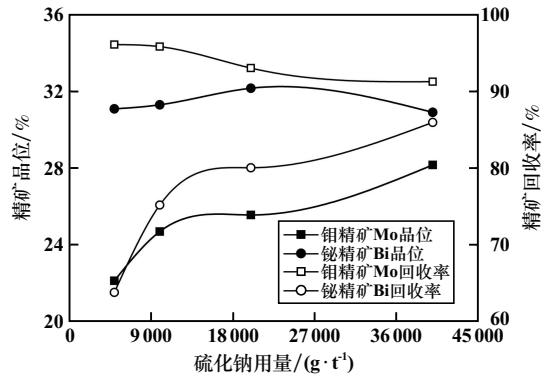


图6 钼-铋分离硫化钠用量试验结果

Fig.6 Test result of sodium sulfide dosage for separating molybdenum from bismuth

3.6 闭路流程试验

考虑到浮选粗选药剂制度对浮选分离分选效果的影响至关重要,在条件试验与开路流程试验基础上,对钼铋硫混合精矿进行了钼-铋-硫浮选分离闭路流程试验,试验结果见表 1,流程见图 7。钼-铋-硫浮选分离闭路试验获得了良好的分离试验指标,其中钼精矿产率 3.02%、Mo 品位 40.36%、Mo 回收率 92.98%,铋精矿产率 9.62%、Bi 品位 28.14%、Bi 回收率 95.64%,硫精矿产率 87.36%、S 品位 30.34%、S 回收率 91.07%。

表1 钼-铋-硫浮选分离闭路试验结果

Table 1 Closed-circuit test results of Mo-Bi-S separation by flotation

| 产品名称 | 产率/% | 品位/% | | | 回收率/% | | |
|------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| | | Mo | Bi | S | Mo | Bi | S |
| 钼精矿 | 3.02 | 40.36 | 1.31 | 28.10 | 92.98 | 1.40 | 2.92 |
| 铋精矿 | 9.62 | 0.73 | 28.14 | 18.19 | 5.35 | 95.64 | 6.01 |
| 硫精矿 | 87.36 | 0.025 | 0.096 | 30.34 | 1.67 | 2.96 | 91.07 |
| 给矿 | 100.00 | 1.31 | 2.83 | 29.10 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

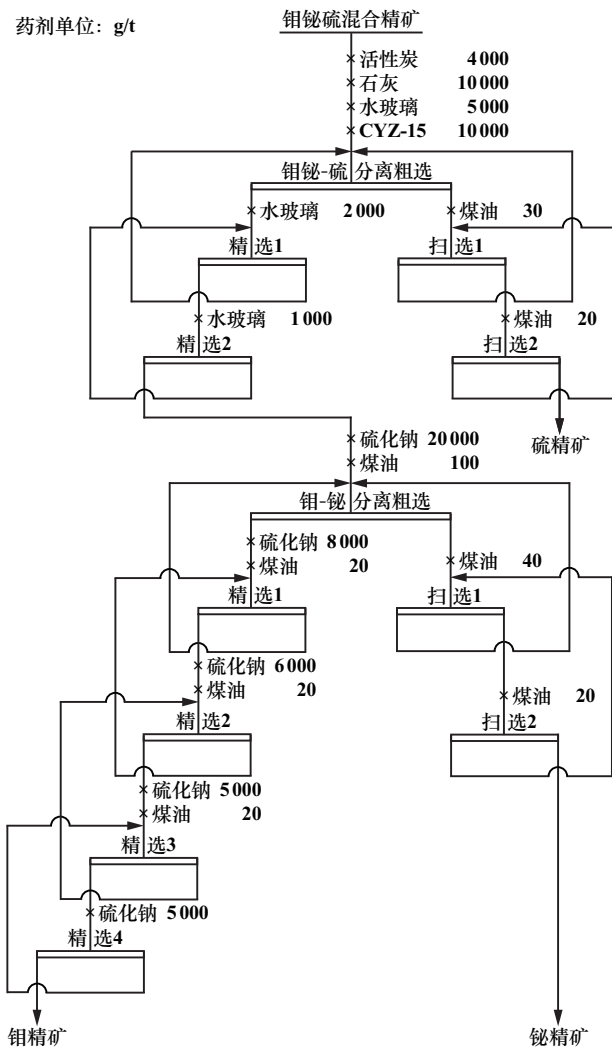


图7 钼-铋-硫浮选分离闭路试验流程及工艺参数

Fig.7 Flowchart with parameters in closed-circuit test of Mo-Bi-S separation by flotation

4 结论

1) 试验矿样为钼铋硫混合精矿,Mo、Bi、S品位分别为1.31%、2.83%、29.10%。钼矿物主要为辉钼矿,铋矿物主要为辉铋矿,其他金属矿物主要为黄铁矿,其次为磁黄铁矿,少量黄铜矿、闪锌矿、毒砂、方铅矿等,非金属矿物主要为石榴石、萤石、石英、长石和云母。

2) CYZ-15是一种有机环保抑制剂,该药剂基于

多元螯合抑制机理,突破了硫铁矿定向界面亲水调控瓶颈,对黄铁矿、磁黄铁矿具有选择性高效抑制作用。

3) 对钼铋硫混合精矿进行钼-铋-硫浮选无氰分离闭路试验,获得了钼精矿产率3.02%、Mo品位40.36%、Mo回收率92.98%,铋精矿产率9.62%、Bi品位28.14%、Bi回收率95.64%的分离指标,实现了钼铋硫混合精矿的无氰高效分离。

参考文献 (References):

[1] 周立晨,陈云,向平,等. 柿竹园钼铋分离新型抑制剂试验研究[J]. 矿冶工程, 2022(5):78-80.
 ZHOU Lichen, CHEN Yun, XIANG Ping, et al. Application of new depressant to Mo/Bi separation in Shizhuyuan Mine[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2022,42(5):78-80.

[2] 李爱民. 福建某钨伴生硫化矿钼铋分离试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2022(5):117-123.
 LI Aimin. Study on separation of associated Mo-Cu-Bi sulfide ore of a tungsten ore in Fujian [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2022(5):117-123.

[3] 别雪祥,彭会清,邵辉. 某钼铋硫混合精矿浮选分离试验[J]. 金属矿山, 2016(7):129-131.
 BIE Xuexiang, PENG Huiqing, SHAO Hui. Separation flotation of molybdenum-bismuth-sulphur mixed concentrate[J]. Metal Mine, 2016(7):129-131.

[4] 李立园,聂庆民,钟建峰,等. 某高品位钼铋硫化矿选矿试验研究[J]. 有色金属科学与工程, 2016(4):85-90.
 LI Liyuan, NIE Qingmin, ZHONG Jianfeng, et al. Experimental study on a high grade molybdenum-bismuth sulfide ore[J]. Nonferrous Metals Science and Engineering, 2016(4):85-90.

[5] 唐雪峰,龙冰,程征,等. 新型钼铋硫化矿捕收剂CYB-06的开发及工业应用[J]. 矿冶工程, 2024(3):62-64.
 TANG Xuefeng, LONG Bing, CHENG Zheng, et al. Development and industrial application of new molybdenum-bismuth sulfide ore collector CYB-06[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2024(3):62-64.

引用本文:李振兴,唐雪峰,马巍,等. 钼铋硫混合精矿无氰分离新技术研究[J]. 矿冶工程, 2025,45(3):84-87.

LI Zhenxing, TANG Xuefeng, MA Wei, et al. New cyanide-free separation technology for Mo-Bi-S bulk concentrate[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2025,45(3):84-87.