

doi:10.3969/j.issn.1671-9492.2021.04.014

提高某铜矿伴生金回收率的试验研究

赖桂华

(黑龙江多宝山铜业股份有限公司, 黑龙江 黑河 161416)

摘 要: 黑龙江多宝山铜矿属大型斑岩型铜矿, 日处理量达 85 000 t, 其中伴生组分金的品位为 0.1 g/t 左右, 在大体量下具有回收价值, 年产金可达 2 t。该矿石中伴生组分金的嵌布粒度较细, 绝大部分金的嵌布粒度在 -0.038 mm , -0.038 mm 粒级中的金占 64%, 回收金对磨矿细度要求较高。针对该矿石, 通过磨矿细度、pH 调整剂及捕收剂种类试验, 最终将磨矿细度控制在 -0.074 mm 占 68%~72%, 采用石灰作为调整剂将浮选 pH 控制在 11 左右, 硫化钠为调整剂, Y89+丁基黄药(1:4)为组合捕收剂, 松醇油为起泡剂, 水玻璃作为精选脉石抑制剂, 经一粗三精三扫+粗精矿再磨浮选流程后获得 Cu 品位为 20.96%, Cu 回收率为 90.15%, 其中 Au 品位为 4.37 g/t, Au 回收率为 76.55% 的铜精矿, 与原药剂制度相比, 金回收率提高 5~6 个百分点, 但 Cu 的回收率不受影响。

关键词: 伴生金; Y89; 矿浆 pH; 磨矿细度

中图分类号: TD952

文献标志码: A

文章编号: 1671-9492(2021)04-0083-05

Experimental Study on Improving the Recovery of Associated Gold in a Copper Mine

LAI Guihua

(Heilongjiang Duobaoshan Copper Co., Ltd., Heihe 161416, Heilongjiang, China)

Abstract: Duobaoshan Copper Mine is a large porphyry copper mine in Heilongjiang province. Its daily treatment capacity is up to 85 000 t, in which the grade of associated component gold is about 0.1 g/t. It has recovery value in large quantity, and the annual gold production can reach 2 t. The disseminated particle size of the associated component gold in the ore is fine, most of the disseminated particle size of gold is -0.038 mm , and the gold in the -0.038 mm particle size fraction accounts for 64%. The recovery of gold requires high grinding fineness. According to the ore, the grinding fineness, pH regulator and collector types were tested, and the grinding fineness was finally controlled at 68%—72% of -0.074 mm , the flotation pH value was controlled at about 11 by using lime as regulator, and sodium sulfide as regulator. Y89 + butyl xanthate (1 : 4) as combined collector, pine oil as frother, sodium silicate as gangue depressant. Copper concentrate with Cu grade of 20.96%, Cu recovery of 90.15%, Au grade of 4.37 g/t and Au recovery of 76.55% was obtained by the flowsheet of one roughing, three cleanings and three scavengings, regrinding and flotation of the roughing concentrate. Compared with the original reagent system, gold recovery was increased by 5~6 percentage points, but the recovery of Cu was not affected.

Key words: associated gold; Y89; pH value of pulp; grinding fineness

黄金的储备量和生产量是评价一个国家经济实力的重要标准,我国金矿资源由岩金、砂金及伴生金组成。伴生金在我国所占比重比世界上其他国家的伴生金所占比重要大。破碎带蚀变岩型、石英脉型、细脉浸染型是我国最主要的 3 种金矿工业类型,占

全国储量的 90.07%^[1-4]。多宝山铜矿伴生金为细脉浸染型,品位较低,仅 0.1 g/t,但由于多宝山铜矿体量大,年产铜金属量 10 万 t,富集在铜精矿中的伴生金年产量可达 2 t,因此,提高多宝山铜矿伴生金的回收率具有重要的经济价值和战略意义。

收稿日期:2020-08-14

作者简介:赖桂华(1974-),男,福建上杭人,学士,高级工程师,主要从事矿山技术与管理及规划工作。

1 矿石性质

对多宝山铜矿原矿进行主要组分分析,分析结果见表1,对伴生金进行物相分析,结果见表2,金矿物嵌布粒度分析结果见表3。

表1 原矿多组分分析结果

Table 1 Results of multi-component analysis of raw ore /%

组分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	Fe	Au ¹⁾	Ag ¹⁾	Cu	Mo
含量	60.28	16.30	2.84	5.25	4.00	0.1	1.9	0.39	0.016

注:1)单位为 g/t,下同

表2 金物相分析结果

Table 2 Results of gold phase analysis

金物相	裸露金	硫化矿包裹金	硅酸盐包裹金	其他	合计
含量 ¹⁾	0.014	0.072	0.011	0.004	0.101
占有率/%	13.86	71.29	10.89	3.96	100.0

由表1、2可知,多宝山铜矿的主要脉石组分为SiO₂和Al₂O₃,主要金属元素为Cu、Mo,伴生金品位较低,为0.1 g/t,主要以裸露金和硫化物包裹金的形式存在,其中裸露金占13.86%,包裹金占71.29%,这两部分金可有效回收,硅酸盐包裹金回收难度大,生产中主要金属元素铜的回收率在90%左右,因此,该矿石中伴生金的理论回收率为71.29%×90%+13.86%=78.02%。由表3结果可知,原矿中金的嵌布粒度较细,大部分金分布在-0.074 mm粒级,占原矿中总金的82.69%,回收伴生金对原矿的磨矿细度要求较高。

表3 金的粒度组成分析

Table 3 Particle size analysis of gold minerals

粒级/mm	产率/%	Au品位 ¹⁾	Au分布率/%
+0.15	8.40	0.046	3.72
-0.15+0.074	22.40	0.063	13.59
-0.074+0.038	19.60	0.099	18.69
-0.038	49.60	0.134	64.00
合计	100.0	0.104	100.0

2 选矿试验

2.1 磨矿细度试验

磨矿是选矿作业的必要工序之一,粒度过粗金属矿物无法实现单体解离,粒度过细会出现泥化现象导致脉石矿物进入精矿影响品位。多宝山铜矿伴生金为细脉浸染型,金的嵌布粒度较细,为实现金矿物的充分单体解离,开展了粗选磨矿细度试验。将-1 mm原矿磨至不同粒级,固定石灰用量为1 000 g/t,硫化

钠10 g/t,丁基黄药100 g/t,起泡剂松醇油30 g/t,采用一次粗选作业,考察不同磨矿细度对选别指标的影响。试验流程见图1,试验结果见图2。

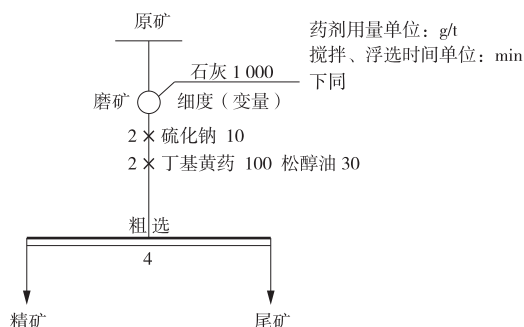


图1 磨矿细度试验流程

Fig. 1 Flowsheet of grinding fineness tests

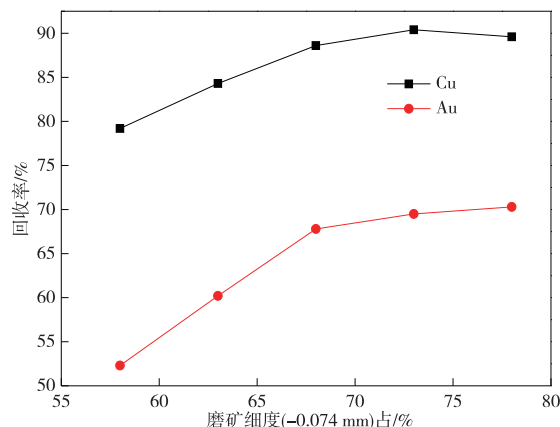


图2 磨矿细度对选别指标的影响

Fig. 2 Effect of grinding fineness on beneficiation separation index

图2结果表明,伴生金回收率随磨矿细度的提高逐渐上升,当磨矿细度超过-0.074 mm占70%后趋向平稳,提升幅度不大;铜回收率随磨矿细度的提高先上升后下降,当磨矿细度为-0.074 mm占73%时达到最大值,根据现场实际情况,磨矿细度应控制在-0.074 mm占68%~72%,此时铜的回收率达到90%左右,伴生金回收率达到70%左右。

2.2 石灰用量试验

常用的pH调整剂主要有石灰、碳酸钠及无机酸等,现场生产选择石灰作为调整剂,起到调整矿浆pH值,改善沉降环境,同时起到抑制黄铁矿的作用。有关研究表明,铜与金的浮选适宜pH值存在一定差异,铜对碱度的要求更高,铜适宜的浮选pH值范围是11~12,金适宜的浮选pH值范围为9~11,pH值过高会抑制金的上浮^[5]。为确定合适的pH条件,固定磨矿细度为-0.074 mm占70%,硫化钠用

量为 10 g/t, 丁基黄药 100 g/t, 起泡剂松醇油 30 g/t, 进行了调整剂石灰用量试验, 试验流程同图 1, 试验结果见图 3。

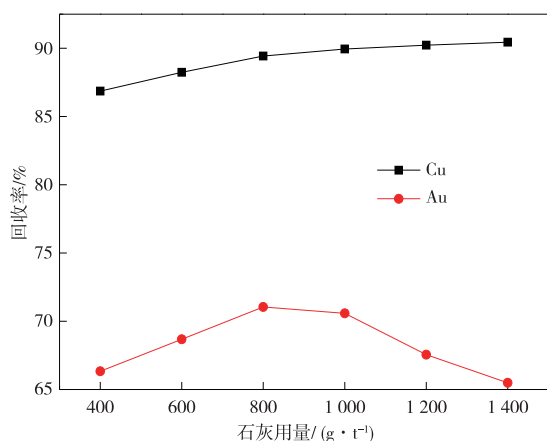


图 3 石灰用量对选别指标的影响

Fig. 3 Effect of lime dosage on beneficiation index

由图 3 结果可知, 铜回收率随着石灰用量增加而增加, 当石灰用量从 400 g/t 增至 1 000 g/t, 铜回收率增加明显, 当石灰用量从 1 000 g/t 增至 1 400 g/t, 铜回收率增加趋势比较平缓; 伴生金回收率随着石灰用量增加先升后降, 当石灰用量为 800 g/t 达到最高, 为 71.05%, 此时铜回收率为 89.43%。综合考虑, 石灰的合适用量确定为 800 g/t, 此时矿浆浮选 pH 值为 11.5。

2.3 捕收剂种类试验

黄药是当前硫化矿选矿的主要捕收剂, 同时也是自然金的主要捕收剂, 常见的黄药主要有丁基黄药、戊基黄药及 Y89 等, 其作用原理是黄药在碱性条件下生成黄原酸酯与硫化矿矿物表面结合, 使其疏水上浮^[6-7]。为考察不同种类的捕收剂对铜、金选别指标的影响, 选取丁基黄药、戊基黄药以及 Y89 三种药剂作为捕收剂, 固定石灰用量为 800 g/t, 硫化钠用量 10 g/t, 起泡剂松醇油用量 30 g/t, 磨矿细度 -0.074 mm 占 70%, 进行了不同种类捕收剂的对比试验, 试验流程同图 1, 试验结果见图 4。

由捕收剂种类试验结果可知, 三种黄药对铜的捕收能力相当, 对金的捕收能力 Y89 > 戊基黄药 > 丁基黄药, 目前现场使用的捕收剂为丁基黄药, 为方便现场调试与应用, 并避免对现有流程造成较大冲击, 考虑改用 Y89 与丁基黄药的组合作为捕收剂。

2.4 捕收剂用量配比试验

为使 Y89 与丁基黄药的组合作用效果发挥至最

佳, 对 Y89 与丁基黄药按照比例 0 : 10、1 : 9、2 : 8、4 : 6、6 : 4、8 : 2、10 : 0 进行了两种捕收剂的配比试验, 试验流程同图 1, 试验结果见图 5。由图 5 结果可知, Y89 与丁基黄药配比达到 2 : 8 时对伴生金的回收率提升效果较为明显, 后续继续增加 Y89 的占比, 伴生金的回收率提升幅度较小, 并且不同用量配比下对铜的回收率几乎无影响。因此, 考虑组合捕收剂中 Y89 与丁基黄药的配比确定为 2 : 8。

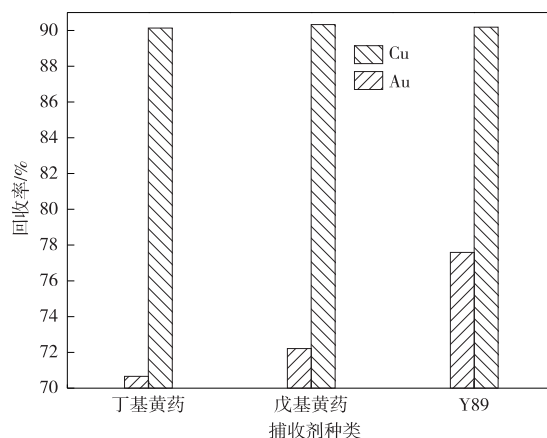


图 4 捕收剂种类试验结果

Fig. 4 Results of collector type tests

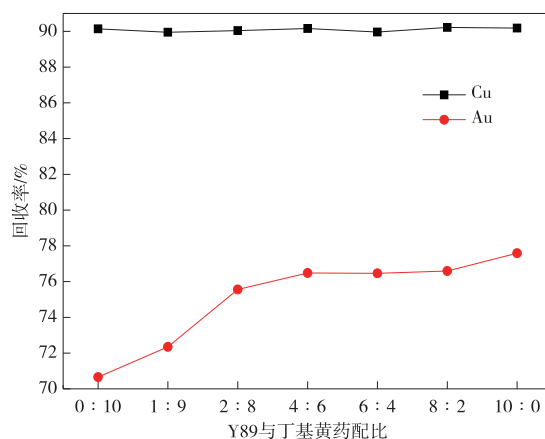


图 5 Y89 与丁基黄药的配比对选别指标的影响

Fig. 5 Effect of the proportion of Y89 and butyl xanthate on beneficiation index

2.5 组合捕收剂用量试验

以 Y89 : 丁基黄药 = 2 : 8 的组合作为捕收剂, 固定石灰用量为 800 g/t, 硫化钠用量 10 g/t, 起泡剂松醇油用量为 30 g/t, 磨矿细度 -0.074 mm 占 70%, 进行了组合捕收剂的用量试验, 试验流程同图 1, 试验结果见图 6。由图 6 结果可知, 铜和伴生金回收率均随组合捕收剂用量的增加而上升, 当组合捕收剂用量达到 100 g/t 后, 趋势基本平稳, 上升幅度较小。综合考虑, 粗选组合捕收剂 Y89 与丁基黄药 (2 : 8) 的合适用量为 100 g/t。

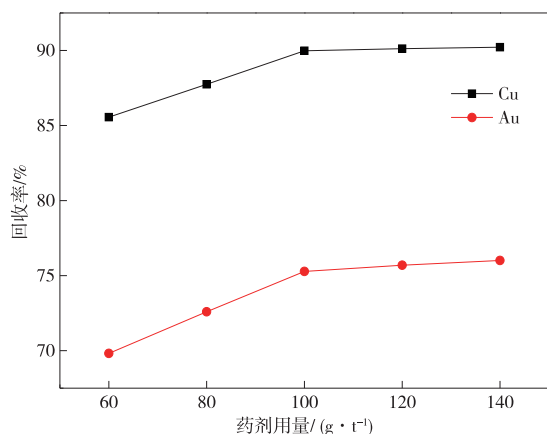


图6 组合捕收剂的用量试验结果

Fig. 6 Results of effect of the proportion of Y89 and butyl xanthate on beneficiation index

2.6 闭路试验

在条件试验基础上,结合现场生产工艺,采用一粗三精三扫+粗精矿再磨的流程进行了全流程浮选闭路试验,试验流程见图7,试验结果见表4。由表4结果可知,通过闭路试验获得了Cu品位为21.15%,Cu回收率为90.12%的铜精矿,其中Au品位为4.567 g/t,Au回收率为75.15%。

表4 闭路试验结果

Table 4 Results of closed-circuit tests /%

产品名称	产率	品位		回收率	
		Cu	Au ¹⁾	Cu	Au
精矿	1.82	21.15	4.567	90.12	75.15
尾矿	98.18	0.043	0.028	9.88	24.85
原矿	100.0	0.427	0.111	100.0	100.0

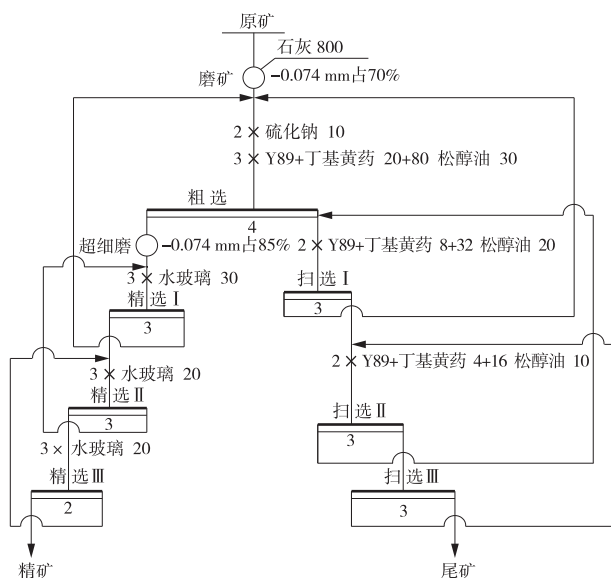


图7 闭路试验流程

Fig. 7 Flowsheet of closed-circuit tests

2.7 工业试验

将现场石灰用量由1 000 g/t降至800 g/t,并以Y89+丁基黄药的组合(2:8)取代单一捕收剂丁基黄药,该药剂制度应用于工业生产2个月,铜精矿中Au品位由3.954 g/t提高至4.369 g/t,Au回收率由69.74%增至75.68%,回收率提高5.84个百分点,精矿Cu品位为20.956%,Cu回收率为90.15%,选别指标良好。

3 结论

1)提高磨矿细度可以提高伴生金的回收率,但需要根据主要组分Cu的回收情况和现场碎磨条件综合考虑,适宜的磨矿细度为-0.074 mm占70%左右。

2)石灰过量会抑制金的上浮,对于多宝山铜矿pH值应控制在11左右,同时兼顾铜和伴生金的回收。

3)Y89对伴生金的捕收能力较强,并且Y89与丁基黄药以2:8的比例组合使用可以有效提高铜矿中伴生金的回收率。在生产现场应用Y89,伴生金回收率由69.74%提高至75.68%,提高5.84个百分点,效果明显。

参考文献

- [1] 吴彩斌. 低金高硫铜矿石回收金选矿试验研究[J]. 黄金科学技术, 2014(5): 74-77.
WU Caibin. Experimental study on gold recovery from low-gold and high-sulfur copper ore[J]. Gold Science and Technology, 2014(5): 74-77.
- [2] 李俊平. 黄金选矿的技术现状及发展趋势[J]. 矿冶, 2008(1): 26-28.
LI Junping. The status quo and development trend of gold beneficiation technology [J]. Mining and Metallurgy, 2008(1): 26-28.
- [3] 周邦国, 张志. 西藏某大型矽卡岩型铜金矿选矿实验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2018(4): 24-28, 34.
ZHOU Bangguo, ZHANG Zhi. Experiment study on a large skarn Cu-Au deposit in Tibet [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2018(4): 24-28, 34.
- [4] 李鸿睿, 史文全, 田向盛. 甘肃某超大型金矿选矿实验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2017(4): 44-47.
LI Hongrui, SHI Wenquan, TIAN Xiangsheng. Experiment study on a super-large gold deposit in Gansu [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2017(4): 44-47.
- [5] 丁大森, 顾愚. 应用Y89提高铜绿山原生矿分选指标的研究[J]. 有色金属(选矿部分), 1999(5): 27-29.
DING Dasen, GU Yu. Application of Y89 to improve

- the sorting index of Tonglushan primary ore [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 1999(5): 27-29.
- [6] 吕兵超. 某金矿资源高效回收试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2019(6): 58-61.
- LYU Bingchao. Experimental research on high-efficiency recovery of resources in a gold mine [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2019(6): 58-61.
- [7] 穆国红. 低品位铜矿选矿工艺研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2008(3): 16-19.
- MU Guohong. Study on beneficiation technology of low-grade copper ore [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2008(3): 16-19.
- [8] 张泾生, 阙煊兰. 矿用药剂[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2008: 118, 624.
- ZHANG Jingsheng, QUE Xuanlan. Reagents in minerals [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2008: 118, 624.
- [9] 谢雪飞. 凡口铅锌银资源综合利用研究与实践[D]. 长沙: 中南大学, 2004.
- XIE Xuefei. Comprehensive utilization study and practice on lead-zinc-silver resources in Fankou [D]. Changsha: Central South University, 2004.
- [10] 罗仙平, 周贺鹏, 周跃, 等. 提高某复杂铅锌矿伴生银选矿指标新工艺研究[J]. 矿冶工程, 2011, 31(3): 35-39.
- LUO Xianping, ZHOU Hepeng, ZHOU Yue, et al. New technique to improve dressing indexes of associated silver in complex lead-zinc ore [J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2011, 31(3): 35-39.
- [11] 黎维中. 难处理铅锌银硫化矿物资源综合回收的研究与实践[D]. 长沙: 中南大学, 2007.
- LI Weizhong. Study and practice on comprehensive recovery refractory lead-zinc-silver sulfides mineral resources [D]. Changsha: Central South University, 2007.
- [12] 王艳, 石磊, 李兵容, 等. 四川某铅锌矿浮选试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2017(1): 30-34.
- WANG Yan, SHI Lei, LI Bingrong, et al. Experimental study on flotation of a lead zinc ore in Sichuan [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2017(1): 30-34.
- [13] 袁来敏. 某低品位铅锌硫化矿浮选试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2014(3): 14-17, 66.
- YUAN Laimin. The experiment study on the flotation of a low grade lead-zinc sulfide ore [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2014(3): 14-17, 66.
- [14] 罗良士, 周加和, 刘侦德. 高碱度分离高硫铅锌矿石工艺的研究与实践[J]. 有色金属, 1998, 50(增刊1): 3-5.
- LUO Liangshi, ZHOU Jiahe, LIU Zhende. The study and practice of technology on high lead zinc sulfide ore with high alkalinity separation [J]. Nonferrous Metals, 1998, 50(S1): 3-5.
- [15] 张爱萍, 王仁东, 谭兵. 西南某高铁银铅锌氧化矿浮选试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2013(2): 30-32.
- ZHANG Aiping, WANG Rendong, TAN Bing. Study on the beneficiation test of a high-sulfur Ag-Au-Zn oxide ore of Southwest China [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2013(2): 30-32.
- [16] 何晓娟, 徐晓萍, 付广钦. 云南某难选氧化铅锌矿浮选试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2010(6): 16-20.
- HE Xiaojuan, XU Xiaoping, FU Guangqin. Experimental study on flotation technology of some complex lead-zinc oxide ore in Yunnan [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2010(6): 16-20.

(上接第 76 页)

- [3] 何凤文. 云南某铜铅锌多金属硫化矿在铜铅分离浮选中应用组合抑制剂的试验研究[J]. 中国金属通报, 2017(10): 66-67.
- HE Fengwen. Experimental study on application of combined depressants in copper-lead separation flotation of a copper-lead-zinc polymetallic sulfide ore in Yunnan [J]. China Metal Bulletin, 2017(10): 66-67.
- [4] 万宏民, 王重阳, 靳建平. 含金高硫铜锌多金属硫化矿浮选分离试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2019(3): 46-50.
- WAN Hongmin, WANG Chongyang, JIN Jianping. Research on the flotation separation experiment of the gold containing high-sulfur copper-zinc polymetallic sulfide ore [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2019(3): 46-50.
- [5] 陈建华, 李宁钧, 曾冬丽. 铜锌混合精矿浮选分离试验研究[J]. 中国矿业, 2011, 20(11): 78-82, 86.
- CHEN Jianhua, LI Ningjun, ZENG Dongli. Experimental study on mixed concentrate of copper-zinc flotation separation [J]. China Mining Magazine, 2011, 20(11): 78-82, 86.
- [6] LIU J, WANG Y, LUO D Q, et al. Use of $ZnSO_4$ and SDD mixture as sphalerite depressant in copper flotation [J]. Minerals Engineering, 2018, 121: 31-38.
- [7] RAO S R, NESSET J E, FINCH J A. Activation of sphalerite by Cu ions produced by cyanide action on chalcopryrite [J]. Minerals Engineering, 2011, 24(9): 1025-1027.