

doi: 10.3969/j.issn.1005-7854.2020.05.010

某富银铅锌多金属矿选矿试验研究

冯晓燕¹ 姜涛² 赵志强¹ 路亮¹ 白洁¹

(1. 矿冶科技集团有限公司 矿物加工科学与技术国家重点实验室, 北京 102628;

2. 中国国际工程咨询有限公司, 北京 100044)

摘 要: 某富银铅锌多金属矿银、铅、锌的品位分别为 225 g/t、3.26%、1.14%, 所含矿物以硫化矿为主, 另含有少部分氧化矿。为更好地回收细粒嵌布的银矿石, 通过选用 BK809 作为硫化银铅捕收剂, 采用“硫化银铅浮选—锌硫混合浮选再分离—锌硫混浮尾矿再选氧化铅”工艺进行浮选, 并对硫化银铅精矿进行再磨处理, 闭路试验获得的指标为: 铅总精矿中金品位 3.56 g/t、金回收率 49.94%、银品位 3 777 g/t、银回收率 71.22%、铅品位 55.57%、铅回收率 71.73%; 锌精矿中锌品位 53.60%、锌回收率 69.46%; 硫精矿中硫品位 40.90%、硫回收率 45.79%。

关键词: 富银铅锌多金属矿; 选矿工艺; 再磨; 优先浮选

中图分类号: TD952

文献标志码: A

文章编号: 1005-7854(2020)05-0050-07

Experimental study on mineral processing of Ag-rich Pb-Zn polymetallic ore

FENG Xiao-yan¹ JIANG Tao² ZHAO Zhi-qiang¹ LU Liang¹ BAI Jie¹

(1. State Key Laboratory of Mineral Processing, BGRIMM Technology Group, Beijing 102628, China;

(2. China International Engineering Consulting Corporation, Beijing 100044, China)

Abstract: The grade of silver, lead and zinc in a Ag-rich Pb-Zn polymetallic ore are 225 g/t, 3.26% and 1.14%, respectively. The main minerals are sulfide ore and a small part of oxide ore. In order to better recover the fine-grained silver ore, BK809 was selected as the collector of silver lead sulfide, the process of "silver lead flotation-zinc sulfur mixed flotation separation-lead oxide separation from zinc sulfur mixed flotation tailings" is adopted for flotation, and the silver lead sulfide concentrate was reground. The closed-circuit test results show that the gold grade of the total lead concentrate is 3.56 g/t, the recovery rate of gold is 49.94%, silver grade is 3 777 g/t, silver recovery rate is 71.22%, lead grade is 55.57%, lead recovery rate is 71.73%, zinc grade in zinc concentrate is 53.60%, zinc recovery rate is 69.46%, sulfur grade in sulfur concentrate is 40.90% and sulfur recovery rate is 45.79%.

Key words: Ag-rich Pb-Zn polymetallic ore; mineral processing technology; regrind; selective flotation

铅锌矿是重要的战略性资源, 除含有铅、锌有价元素外, 还伴生有金、银等贵金属元素, 综合回收价值高^[1-2]。某富银铅锌矿以硫化矿为主, 另一部分以氧化矿形式存在, 有用矿物为辉银矿、方铅矿、铅矾、闪锌矿等。本文试验采用“硫化银铅浮

选—锌硫混合浮选再分离—锌硫混浮尾矿再选氧化铅”工艺处理该矿石, 并对硫化银铅精矿进行再磨处理, 在此基础上开展了闭路试验研究。

1 矿石性质

原矿主要化学成分分析结果见表 1。原矿中的银矿物主要以辉银矿形式赋存; 铅矿物主要以方铅矿形式赋存, 其次是铅矾和少量的白铅矿、

收稿日期: 2020-08-17

基金项目: 矿冶科技集团科研基金项目(02-1913)

第一作者: 冯晓燕, 硕士, 工程师, 主要从事选矿科研管理工作。E-mail: fengxiaoyan@bgrimm.com

铅铁矾及微量的硫铋铅矿、车轮矿；锌矿物主要以闪锌矿形式赋存；此外，尚有黄铁矿、赤铁矿、褐铁矿等其它金属矿物。原矿中主要的非金

属矿物为滑石、石英、白云母、石榴子石、高岭石、绿泥石等。银、铅、锌的化学物相分析结果见表 2~4。

表 1 原矿主要化学成分

Table 1 Main chemical composition of ore

/%

成分	Ag ¹⁾	Au ¹⁾	Cu	Pb	Zn	S	Fe
含量	225	0.32	0.01	3.26	1.14	3.45	12.55
成分	CaO	MgO	K ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Ti	As
含量	17.51	1.96	0.47	44.32	8.53	0.21	0.072

注：1)单位为 g/t，下同

表 2 银的化学物相

Table 2 Chemical phase of silver

相别	裸露硫化银	硫化物包裹银	铅矾包裹银	硅酸盐包裹银	氧化银	合计
含量/(g·t ⁻¹)	100.21	52.55	47.29	24.43	0.95	225.43
分布率/%	44.45	23.31	20.98	10.84	0.42	100.0

表 3 铅的化学物相

Table 3 Chemical phase of lead

/%

相别	硫化铅	硫酸铅	碳酸铅	氧化铁(铅铁矾)	硅酸盐	合计
含量	1.65	0.71	0.09	0.71	0.1	3.26
分布率	50.61	21.78	2.76	21.78	3.07	100.0

表 4 锌的化学物相

Table 4 Chemical phase of zinc

/%

相别	硫化锌	其它锌(主要为硅酸盐)	合计
含量	0.98	0.14	1.12
分布率	87.50	12.50	100.0

由表 1 可知，原矿为铅锌银多金属矿，其中银、铅和锌的品位分别为 220 g/t、3.26%、1.14%。

由表 2 可知，原矿中的银以裸露硫化银和硫化物包裹银为主，分布率分别为 44.45%和 23.31%，其次为铅矾包裹银和硅酸盐中包裹银，分布率分别为 20.98%和 10.84%，其余为氧化银，分布率为 0.42%。

由表 3 可知，原矿中的铅以硫化铅为主，其分布率为 50.61%，氧化铅次之，其中硫酸铅和碳酸铅的分布率分别为 21.78%、2.76%，以氧化铁(铅铁矾)的形式存在的铅占 21.78%，其余 3.07%的铅呈微细粒状包裹于脉石矿物中。

由表 4 可知，锌主要以硫化物的形式存在，分布率为 87.50%，其余 12.5%的锌以其他形式主要

分散于脉石矿物中。

在对该矿物进行系统的工艺矿物学研究时发现，原矿中的银、铅、锌等金属矿物赋存状态非常复杂，彼此之间相互嵌布紧密，且原矿中脉石矿物组成复杂。

2 试验方法

滑石、白云母、伊利石、绿泥石、高岭石等矿物在磨矿过程中易泥化，在浮选过程中可能会对浮选指标造成不利影响。针对该矿矿物组成种类多、赋存状态及嵌布特征复杂、原生及次生矿泥多等特点，根据以往类似矿石实践经验和前期所做探索试验的试验结果，确定了“硫化银铅浮选—锌硫混合浮选再分离—锌硫混合浮选(混浮)尾矿再选氧化铅”流程方案，原则流程见图 1。

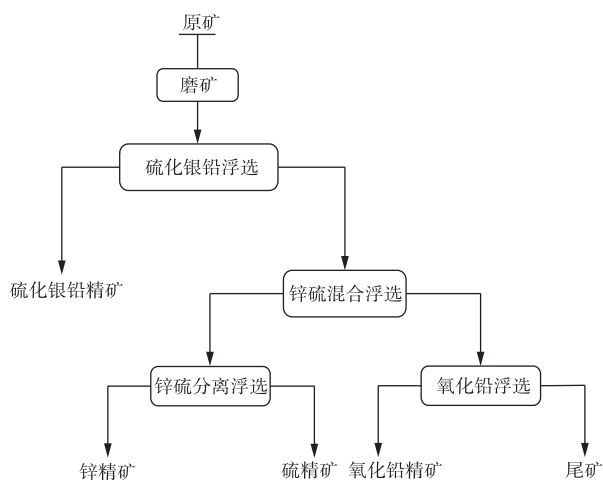


图1 “硫化银铅浮选—锌硫混合浮选再分离—
锌硫混浮尾矿再选氧化铅”原则流程

Fig. 1 Principle flowsheet of “flotation of silver and lead sulfide, Zn/S separation after bulk flotation and lead oxide separation from Zn/S bulk flotation tailings”

3 结果与讨论

3.1 硫化铅矿捕收剂种类及用量试验

硫化铅锌矿的主要选矿方法为浮选法^[3-4]，采用的工艺流程包括铅锌优先浮选、铅锌混合浮选再分离和铅锌等可浮浮选3种^[5-6]。银通常分散于方铅矿中^[7-8]，并通过浮选作业随铅进入到对应的铅产品。为获得选择性及捕收力均较好的铅、银捕收剂，进行了不同铜捕收剂种类试验。在磨矿细度—0.074 mm占65%、石灰做pH值调整剂、碳酸钠、亚硫酸钠和硫酸锌做抑制剂的条件下，分别选择BK809、乙硫氮、乙基黄药、BK901B、25#黑药作为硫化银铅矿的捕收剂，其用量均为40 g/t，试验流程见图2，试验结果如图3所示。

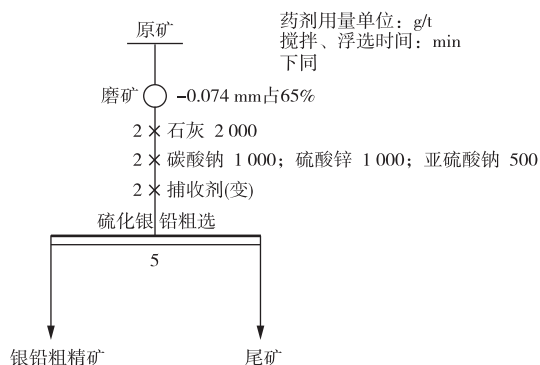


图2 硫化银铅捕收剂种类试验流程

Fig. 2 Results of sulfide ore collector kinds test

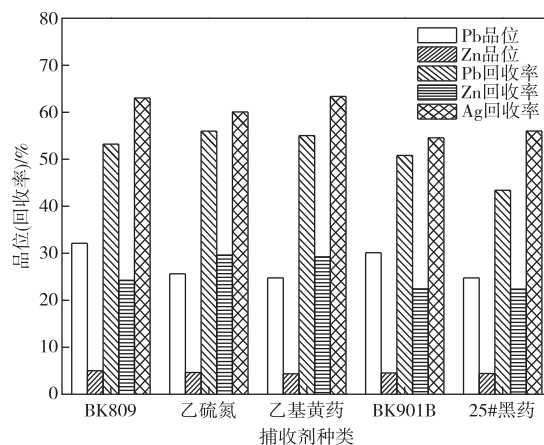


图3 硫化银铅捕收剂种类试验结果

Fig. 3 Results of sulfide ore collector dosage test

从图3可以看出，同等用量条件下，BK809的选择性及对银、铅的捕收效果均较好，铅粗精矿中铅品位较高，有利于后续的精选作业。因此，选择BK809作为铅粗选的捕收剂。

确定BK809做铅粗选的捕收剂后，对其进行用量条件试验。BK809用量分别为30、40、50、60 g/t，其他试验条件同上，试验结果如图4所示。

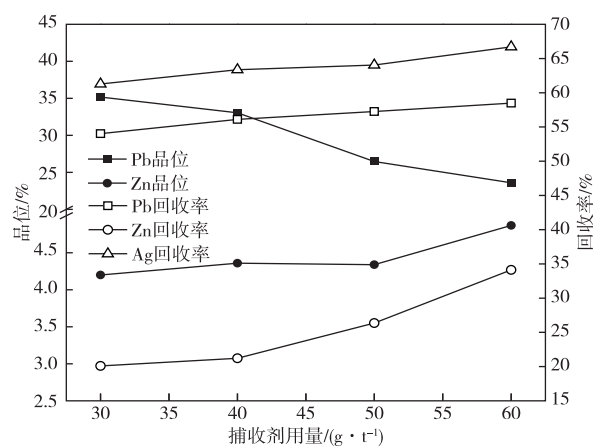


图4 BK809用量试验结果

Fig. 4 Results of BK809 dosage test

从图4可以看出，铅粗精矿中银、铅回收率随BK809用量增加而提高，但其用量增加到50 g/t以后，精矿铅品位下降。综合考虑，BK809用量以40 g/t为宜。

3.2 磨矿细度试验

在石灰做pH值调整剂、碳酸钠、亚硫酸钠和硫酸锌做抑制剂、BK809做捕收剂的条件下，磨矿细度—0.074 mm分别占55%、60%、65%、

70%和80%，试验结果如图5所示。

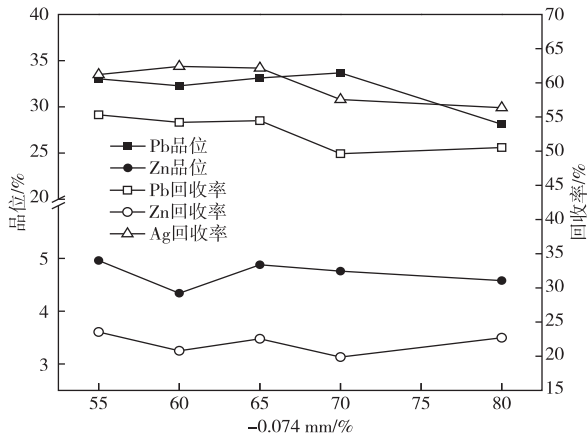


图5 磨矿细度试验结果

Fig. 5 Results of grinding fineness test

从图5可以看出，当磨矿细度增加到-0.074 mm占65%以后，铅粗精矿中银和铅的回收率呈逐渐下降趋势。综合考虑，铅粗选磨矿细度以-0.074 mm占60%左右为宜。

显微镜下观察发现，当磨矿细度在-0.074 mm占60%时，方铅矿解离比较充分，解离度接近90%，而铅矾、闪锌矿的解离程度均不高，小于75%。方铅矿与铅矾连生，嵌布关系紧密，其中一部分铅矾会随方铅矿进入到银铅精矿，闪锌矿与黄铁矿需进行细磨才能解离。

3.3 硫化银铅精选再磨试验

原矿中铅、锌嵌布粒度较粗，但银的嵌布粒度很细。为提高银、铅品位进行了精选再磨试验。采用的再磨细度分别为-0.038 mm占62.5%（未再磨）、76.7%、83.5%、90.0%、94.8%，试验结果如图6所示。

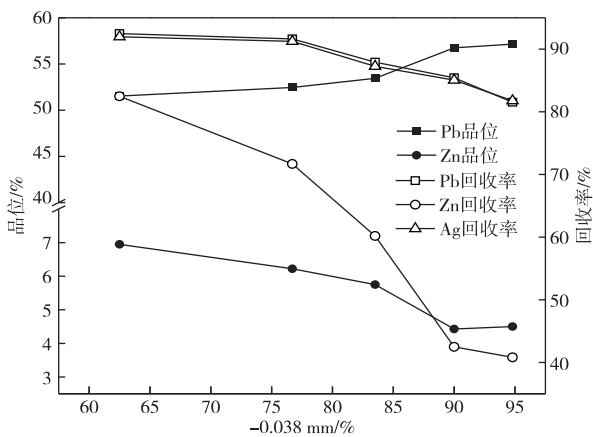


图6 再磨细度试验结果

Fig. 6 Results of regrinding fineness test

从图6可以看出，对铅粗精矿再磨后，虽然银、铅作业回收率有所降低，但铅精矿中锌的损失却大幅度降低。综合考虑，再磨细度以-0.038 mm占90.0%为宜。

3.4 锌硫粗选丁基黄药用量试验

在硫酸铜用量为100 g/t条件下，丁基黄药用量分别为40、60、80、100、120 g/t时的试验结果见图7。

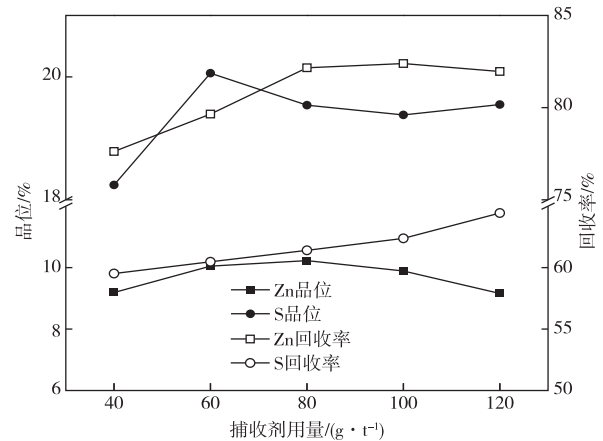


图7 丁基黄药用量试验结果

Fig. 7 Results of butyl xanthate dosage test

从图7可以看出，锌、硫回收率随丁基黄药用量增加而提高。综合考虑，丁基黄药用量以80 g/t左右为宜。

3.5 锌硫分离再磨细度试验

为进一步提高锌、硫精矿的品位，对锌硫混合精矿进行了再磨细度试验。试验条件：磨矿细度分别为-0.074 mm占64.1%（未再磨）、72.7%、80.5%、89.8%，试验结果如图8所示。

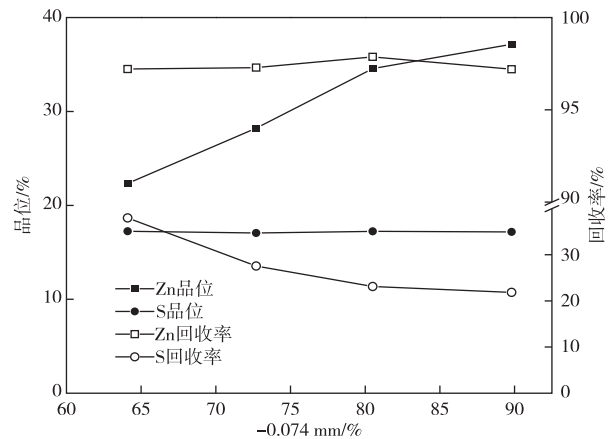


图8 锌硫分离再磨细度试验结果

Fig. 8 Results of zinc-sulphur separation regrinding fineness test

从图8可以看出, 锌精矿品位及作业回收率随再磨细度的提高而增加趋势。综合考虑, 再磨细度以 -0.074 mm 占80.5%为宜。

3.6 氧化铅浮选硫化钠用量试验

氧化矿最常采用的浮选方法是“硫化浮选法”, 即先将氧化矿硫化后, 用硫化矿捕收剂进行浮选。试验对氧化铅矿进行了回收, 采用六偏磷酸钠做调整剂、丁基黄药做捕收剂, 硫化钠用量分别为1 000、1 500、2 000、2 500 g/t时的试验结果如图9所示。

从图9可以看出, 硫化钠用量变化对浮选指标影响较大。综合考虑, 硫化钠用量以1 500 g/t左右为宜。

3.7 闭路试验

在条件试验研究基础上制定了合理的磨矿细度及药剂制度, 为确定最终的工艺流程及工艺指标,

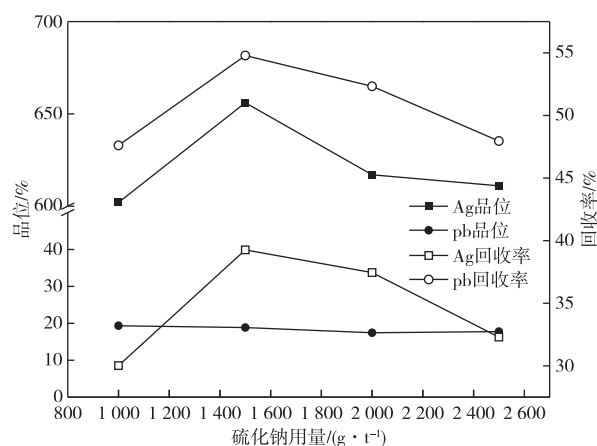


图9 硫化钠用量试验结果

Fig. 9 Results of sodium sulphide dosage test

进行了闭路试验。闭路试验流程见图10, 试验结果见表5。

表5 闭路试验结果

Table 5 Results of closed-circuit test

产物	产率	品位					回收率					/%
		Au ¹⁾	Ag ¹⁾	Pb	Zn	S	Au	Ag	Pb	Zn	S	
硫化银铅精矿	2.54	4.53	5 220	61.76	4.92	14.21	38.42	59.52	48.21	11.17	10.44	
氧化铅精矿	1.66	2.08	1 570	46.11	0.4	17.2	11.53	11.70	23.52	0.59	8.26	
银铅总精矿	4.20	3.56	3 777	55.57	3.13	15.39	49.94	71.22	71.73	11.76	18.70	
锌精矿	1.45	0.59	160	0.5	53.6	32.7	2.86	1.04	0.22	69.46	13.72	
硫精矿	3.87	0.57	55	1.3	0.77	40.9	7.36	0.96	1.55	2.66	45.79	
尾矿2	5.64	0.16	140	1.6	0.49	1.62	3.01	3.54	2.77	2.47	2.64	
尾矿1	84.84	0.13	61	0.91	0.18	0.78	36.82	23.23	23.73	13.65	19.14	
尾矿	90.48	0.13	65.92	0.95	0.20	0.83	39.84	26.78	26.50	16.12	21.79	
原矿	100.0	0.30	223	3.25	1.12	3.46	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	

4 结论

1) 某富银铅锌多金属矿为富银铅锌矿, 有价元素主要为银、铅和锌, 其中银、铅和锌的品位分别为225 g/t、3.26%和1.14%, 原矿中银品位高, 回收价值大。

2) 原矿中银矿物主要以辉银矿形式赋存; 铅矿物主要以方铅矿形式赋存, 其次是铅矾和少量的白铅矿、铅铁矾及微量的硫铋铅矿、车轮矿; 锌矿物主要以闪锌矿形式赋存; 以外, 尚有黄铁矿、赤铁矿、褐铁矿等其它金属矿物; 原矿中主要的非金属矿物为滑石、石英、白云母、石榴子石、高岭石、绿泥石等。矿中主要金属矿物嵌布关系复杂, 属复杂难选多金属矿。

3) 推荐选用对银、铅有较好捕收效果的BK809做为硫化铅矿的捕收剂, 采用“硫化铅矿浮选—锌硫混合浮选再分离—锌硫混浮尾矿再选氧化铅矿”的选矿工艺流程, 实验室闭路可获得金品位3.56 g/t、金回收率49.94%、银品位3 777 g/t、银回收率71.22%、铅品位55.57%、铅回收率71.73%的铅精矿, 其中硫化银铅精矿金品位4.53 g/t、金回收率38.42%、银品位5 220 g/t、银回收率59.52%、铅品位61.76%、铅回收率48.21%, 氧化铅精矿金品位2.08 g/t、金回收率11.53%、银品位1 570 g/t、银回收率11.70%、铅品位46.11%、铅回收率23.52%; 锌品位53.60%、锌回收率69.46%的锌精矿; 硫品位40.90%、硫回收率45.79%的硫精矿。

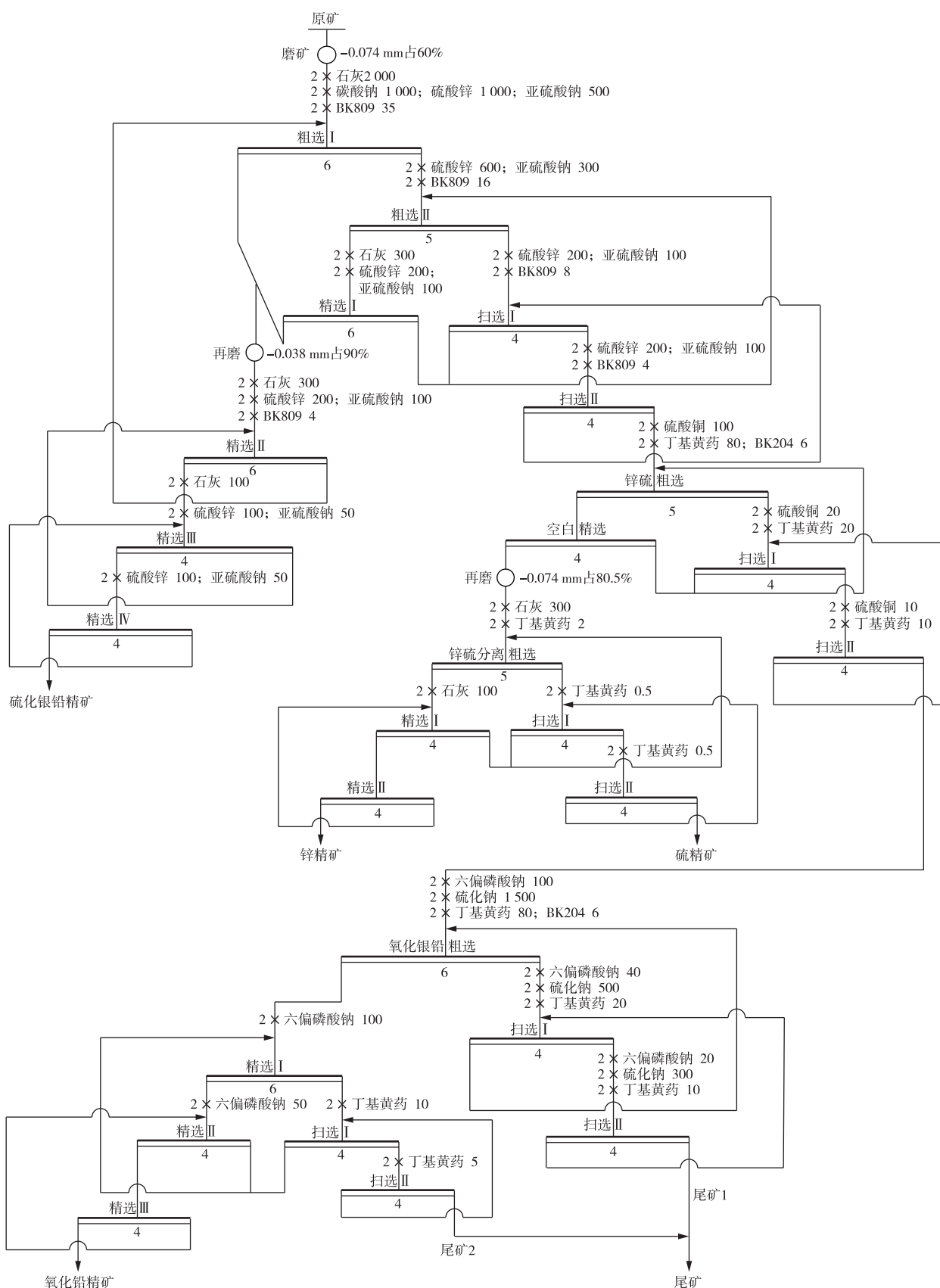


图 10 闭路试验流程

Fig. 10 Flowsheet of closed-circuit test

参考文献

- [1] 罗仙平, 陈晓明, 钱有军. 江西某铅锌银多金属硫化矿石选矿工艺研究[J]. 金属矿山, 2012, 41(12): 57-61.
LUO X P, CHEN X M, QIAN Y J, et al. Study on beneficiation process of a Pb-Zn-Ag polymetallic sulfide ore in Jiangxi [J]. Metal Mine, 2012, 41(12): 57-61.
- [2] 王强. 新疆某伴生银硫化铅矿石选矿试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2020(1): 38-41.
WANG Q. Experimental research of mineral processing on lead sulphide with associated silver ore from Xinjiang province [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2020(1): 38-41.
- [3] 苏建芳, 孙伟, 黄红军, 等. 云南某复杂铅锌银硫化矿综合回收试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2011(6): 8-12.
SU J F, SUN W, HUANG H J, et al. Experimental study on comprehensive recovery for a complex lead-zinc-silver sulfide ore in Yunnan [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2011(6): 8-12.
- [4] 杨合营. 康家湾铅锌金银矿浮选工艺研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2008(5): 25-29.
YANG H Y. Study on flotation technology for Pb-Zn-Au-Ag polymetallic ore of kangjiawan mine [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2008(5): 25-29.
- [5] 王淀佐. 硫化矿浮选与矿浆电位 [M]. 北京: 高等教育出版社. 2008: 5-6.
WANG D Z. Flotation of sulfide ore and pulp potential [M]. Beijing: Higher Education Press, 2008: 5-6.
- [6] 罗仙平, 严群, 谢明辉, 等. 某氧化铅锌矿浮选工艺试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2005(1): 7-10, 6.
LUO X P, YAN Q, XIE M H, et al. Experiment study of flotation process of lead-zinc oxide ore [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2005(1): 7-10, 6.
- [7] 侯俊富, 赵志强, 付强, 等. 西藏某银铅多金属矿石工艺矿物学研究[J]. 矿产综合利用, 2018(2): 70-76.
HOU J F, ZHAO Z Q, FU Q, et al. Study on process mineralogy for a silver-lead polymetallic ore deposit in Tibet [J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2018(2): 70-76.
- [8] 周灵芝. 西藏某低品位铅锌矿石工艺矿物学研究[J]. 世界有色金属, 2017(13): 147-148.
ZHOU L Z. Process mineralogy of a low grade lead zinc ore in Tibet [J]. World Nonferrous Metal, 2017(13): 147-148.
- [6] 孙林, 吴满路, 张超, 等. 金川龙首矿西二采地应力状态分析[J]. 金属矿山, 2019, 48(4): 15-19.
SUN L, WU M L, ZHANG C, et al. In-situ stress state analysis in the secondary west mining area of Jinchuan Longshou mine [J]. Metal Mine, 2019, 48(4): 15-19.
- [7] 张重远, 吴满路, 廖椿庭. 金川三矿地应力测量及应力状态特征研究[J]. 岩土力学, 2013, 34(11): 3254-3260.
ZHANG C Y, WU M L, LIAO C T. In-situ stress measurement and study of stress state characteristics of Jinchuan No.3 mine [J]. Rock and Soil Mechanics, 2013, 34(11): 3254-3260.
- [8] 袁海平, 曹平, 周正义. 金川矿岩亚临界裂纹扩展试验研究[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2006, 37(2): 381-384.
YUAN H P, CAO P, ZHOU Z Y. Testing study of subcritical crack growth of ore in Jinchuan mine [J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2006, 37(2): 381-384.
- [9] 邱君. 空心包体应力解除法室内标定实验研究 [D]. 北京: 中国地质科学院, 2017.
QIU J. The laboratory calibration experiment of the overcoring of hollow inclusion gauge [D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 2017.
- [10] 杨志强, 高谦, 翟淑花, 等. 复杂工程地质体地应力场智能反演[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2016, 48(4): 154-160.
YANG Z Q, GAO Q, ZHAI S H, et al. Intelligent inversion method of in-situ stress field for a complicated engineering geological body [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2016, 48(4): 154-160.

(上接第 20 页)