

强磁选—浮选分离某铜铅混合精矿

朱恩领,何爱婷,李敏,罗文成,王丞

青海鸿鑫矿业有限公司,青海 格尔木 816099

中图分类号:TD952.1; TD952.2 文献标识码:A 文章编号:1001-0076(2021)05-0105-06
DOI:10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2021.05.014

摘要 青海某铜铅锌选矿厂产出的铜铅混合精矿含 Cu 1.96%、Pb 56.39%,但该混合精矿中方铅矿粒度微细,采用传统的铜铅浮选药剂存在着分离效果差、产品金属互含高等问题。为了提高铜铅分离效率,基于黄铜矿具有弱磁性的特点,采用强磁选—浮选工艺对该混合精矿进行处理。在背景磁场强度 1.5 T、脉冲冲次 25 Hz 的参数条件下,磁选扩大试验获得了含 Cu 0.53%、Pb 59.32% 的磁选尾矿,可作为铅精矿产品直接销售,以及含 Cu 3.32%、Pb 49.40% 的磁选精矿,可进一步通过浮选工艺可得到合格的铜精矿和铅精矿。最终获得含 Cu 17.63%、Pb 9.31%、Cu 回收率 71.48% 的铜精矿和含 Cu 0.61%、Pb 59.72%、Pb 回收率 98.67% 的铅精矿,相比于直接浮选工艺,采用磁浮联合工艺可明显降低铜铅分离的难度,提高了分离效率,为下一步开展现场改造提供了依据。

关键词 铜铅分离;磁选;黄铜矿;细粒方铅矿;浮选

引言

浮选法是当前处理硫化铜铅混合精矿的主要方法^[1]。由于硫化铜铅混合精矿中的铅矿物主要为方铅矿,而硫化铜矿物除原生黄铜矿外,还有种类繁多、含量不一的次生硫化铜矿物如辉铜矿、斑铜矿、黝砷铜矿等,根据浮选分离“浮易抑难”的原则,采用单一抑制方铅矿的方式较抑制多种铜矿物的方式难度更小,所以当前铜铅混合精矿多采用“浮铜抑铅”的处理工艺。当前该工艺的研究重点主要集中在方铅矿抑制剂的研发及应用上^[2],如 Bulatovic S^[3]通过使用重铬酸络合物在实现取代原有的重铬酸盐获得较好的铜铅分离指标的同时,还实现了尾矿废水中 Cr^{6+} 离子浓度的大幅度降低;Qin Wenqing^[4]、Jan Drzymala^[5]、Peng Huang^[6]等分别开发了以壳聚糖、马铃薯淀粉等对方铅矿具有较明显的选择性吸附作用的多糖类聚合有机物,这也是当前铜铅分离药剂研发的主攻方向,此外某些小分子抑制剂^[7]及无铬组合抑制剂如 $\text{CMC} + \text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{水玻璃}$ ^[8]、 CHP ^[9]等抑制剂也可用于不同性质、不同产地的铜铅混合精矿的分离中。

为消除传统铜铅混合浮选分离工艺药剂成本高、生产过程中浮选工艺操作难度大、选矿废水重金属离子污染大等不利影响,引入磁选作为铜铅分离的重要手段愈引起我国选矿科技工作者的重视。由于黄铜矿具有微弱的磁性,比磁化系数为 $67.53 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{kg}$,而方铅矿的比磁化系数为 $0.62 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{kg}$,二者具有强磁选分离的天然可能性,早在 20 世纪 90 年代,中南大学杨鹏等人^[10]率先引入振动脉动高梯度磁选试验装置用于分离湖南某铜铅混合精矿,磁选尾矿中铜脱除率达到 93% 左右;湖南有色金属研究院薛伟等人^[11]通过对铜铅混合精矿进行超声波分散后进行强磁处理可分别得到铜精矿及铅精矿产品,但较少有文献对强磁处理对铜铅混合精矿各矿物的可浮性变化进行论证,所以本文以青海某铜铅锌选厂产出的铜铅混合精矿为对象,通过样品性质分析混合精矿中黄铜矿、方铅矿的嵌布粒度及共生关系,并对比了常规分离方法与高梯度磁选—浮选分离方法对该混合精矿中铜铅矿物的分离效果,通过试验条件的优化得到高梯度磁选—浮选分离工艺的最佳指标,为下一步开展现场生产改造提供依据。

1 样品性质

1.1 样品化学成分及矿物组成分析

本研究所用铜铅混合精矿样品取自青海某铜铅锌矿山选矿厂铅精矿缓存槽,其现场生产原矿含 Cu 0.09% ~ 0.14%、Pb 1.25% ~ 1.30%、Zn 2.80% ~ 3.25%,采用铜铅混合浮选工艺将伴生铜富集于铅精矿中^[12]形成铜铅混合精矿矿浆产品,矿浆产品的质量浓度为 45%,经充分搅拌均匀后取代表性的矿浆经过滤、烘干后制得分析样品,其化学多元素分析结果如表 1 所示。

表 1 铜铅混合精矿样品化学多元素分析结果
Table 1 Chemical multi-element analysis results of copper-lead mixed concentrate sample

成分	Cu	Pb	Zn	Fe	S	As	Au	Ag
含量/%	1.96	56.39	4.15	5.13	27.98	0.12	0.41	293.90
成分	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Sb	
含量/%	0.13	0.34	<0.01	<0.01	1.31	0.94	0.12	

注: Au、Ag 含量单位为 g/t。

表 2 铜锌混合精矿样品中主要矿物组成及相对含量 / %
Table 2 Main mineral composition and relative content in copper-lead mixed concentrate samples

矿物	方铅矿	闪锌矿	黄铜矿	磁黄铁矿、 黄铁矿	赤铁矿、 褐铁矿	石英	长石	其他
含量	78.27	6.43	2.48	8.18	1.19	2.17	0.23	1.05

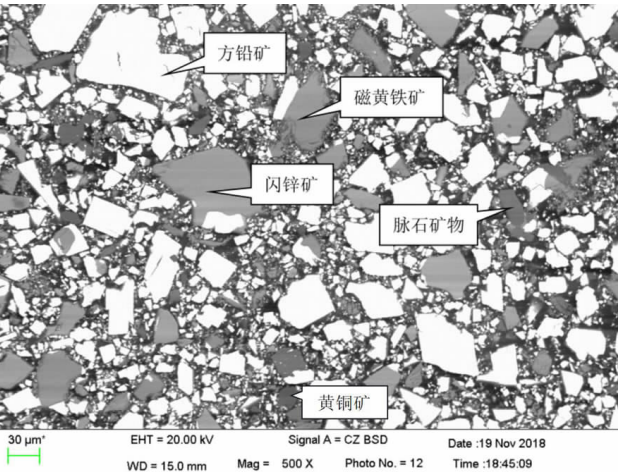


图 1 铜铅混合精矿微观形貌
Fig. 1 Micro morphology of copper lead mixed concentrate

使用扫描电镜对代表性样品进行扫描识别分析,可得该铜铅混合精矿镜下典型形貌如图 1 所示。由图 1 可看出,该铜铅混合精矿矿物组成较为简单,主要的组成矿物为方铅矿、闪锌矿、磁黄铁矿及黄铜矿,脉石矿物含量极少,同时含有少量的赤铁矿、褐铁矿等铁质矿物,该铜铅混合精矿中各矿物组成及相对含量如表 2 所示。

由表 1 可知,铜铅混合精矿主要的金属元素为 Pb、Zn、Cu,含量分别为 Pb 56.39%、Zn 4.15%、Cu 1.96%;非金属元素为 S,含量为 27.98%。样品中除硫化铜、铅、锌矿物含硫外,还有部分硫以磁黄铁矿、黄铁矿等矿物形态赋存。混合精矿中银含量为 293.90 g/t,其主要赋存矿物为硫锑铜银矿及螺状硫银矿。

由表 2 及图 1 可看出,铜铅混合精矿中方铅矿为含量最多的矿物,占总矿物含量的 78.27%,其次为闪锌矿、磁黄铁矿及黄铁矿,黄铜矿含量较少,仅占总矿物含量的 2.48%。

1.2 混合精矿中各粒级铜、铅矿物分布情况及连生关系

对该铜铅混合精矿进行筛析,并对各分级产品进行化学分析、制备砂光片及镜下检测,该混合精矿筛析结果如表 3 所示,采用横截面测法^[13]镜下统计得到该铜铅混合精矿中不同粒级的铜、铅矿物矿物的单体率及连生关系如表 4 所示。

表 3 混合精矿筛析结果
Table 3 Sieve analysis results of mixed concentrate

产品名称	产率/%	品位/%		金属分布率/%	
		Cu	Pb	Cu	Pb
+0.150 mm	1.31	3.21	36.32	2.17	0.85
-0.150 + 0.074 mm	10.40	2.73	51.71	14.54	9.54
-0.074 + 0.038 mm	7.85	1.60	54.17	6.45	7.54
-0.039 + 0.026 mm	18.81	1.72	55.12	16.64	18.39
-0.026 mm	61.63	1.90	58.27	60.20	63.68
混合精矿	100.00	1.95	56.39	100.00	100.00

由表 3 结果可看出,该铜铅混合精矿整体粒径较细,铜、铅矿物在细粒级(-0.026 mm)部分集中度较高。结合表 4 结果可知,不同粒级产品中铜、铅矿物的单体率较高,黄铜矿、方铅矿的整体单体率达到了 90% 左右,在细粒矿物中单体率更高,所以不需要采用再磨工艺对该混合精矿进行处理。

表 4 不同粒级中各矿物的单体率及不同矿物的连生关系

粒级	黄铜矿				方铅矿			
	单体率/%	连生体率/%			单体率/%	连生体率/%		
		与方铅矿	与闪锌矿	与磁黄铁矿及脉石		与黄铜矿	与闪锌矿	与磁黄铁矿及脉石
+ 0.150 mm	62	11	18	9	65	13	27	10
		主要为方铅矿 - 铜矿物 - 闪锌矿 - 脉石矿物等多矿物复杂连生;少量与磁黄铁矿毗连连生				主要为方铅矿 - 铜矿物 - 闪锌矿 - 脉石矿物等多矿物复杂连生;少量与磁黄铁矿毗连连生		
- 0.150 mm + 0.074 mm	71	8	9	12	73	5	7	16
		主要为被黄铁矿包裹半包裹复杂连生,少量与闪锌矿、方铅矿毗连连生				主要为被磁黄铁矿包裹半包裹复杂连生;其次为与闪锌矿毗连连生;少量与铜矿物连生		
- 0.074 mm + 0.039 mm	82	9	6	3	85	4	3	8
		主要与方铅矿毗连连生;其次为被闪锌矿半包裹连生				主要与磁黄铁矿毗连连生;其次为被黄铁矿包裹半包裹连生		
- 0.039 mm + 0.019 mm	88	4	7	1	90	4	5	1
		主要为与与闪锌矿毗连连生或复杂连生,少量与方铅矿形成复杂连生体				主要为与闪锌矿的毗连连生,少量与铜矿物毗连连生或复杂连生		
- 0.019 mm	94	4	1	1	95	5	< 1	< 1
		主要与方铅矿毗连连生,少量为被黄铁矿包裹半包裹连生				主要与黄铁矿毗连连生		
合计	89.12		10.88		90.59		9.41	

2 试验结果及讨论

由铜铅混合精矿样品性质分析结果可知,该铜铅混合精矿中主要的矿物成分为方铅矿,且方铅矿含量占混合精矿矿物总含量的 78% 左右;其次为闪锌矿和黄铜矿。根据“抑多浮少”的浮选分离原则,采用浮铜抑铅工艺是处理该铜铅混合精矿的常见工艺,由于该铜铅混合精矿中方铅矿嵌布粒度较细, - 0.026 mm 部分接近 60%。由文献可知^[14-15],当单体方铅矿粒径过小时,由于其流变行为的变化导致方铅矿难以被常规抑制剂抑制,进而增大了铜铅分离的难度。采用常规的铜铅分离浮选工艺处理该铜铅混合精矿试验流程如图 2 所示,所得结果见表 5。

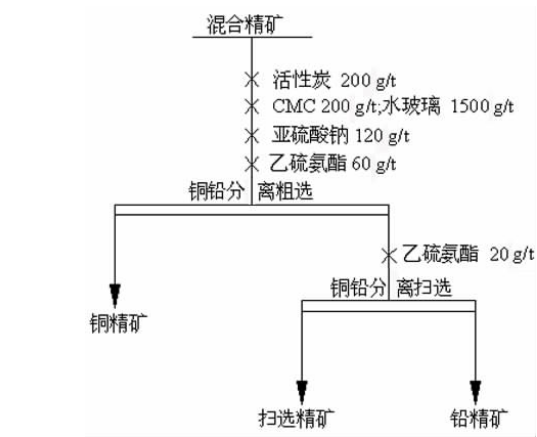


图 2 铜铅分离试验流程
Fig. 2 Test process of copper - lead separation

表 5 铜铅分离试验流程结果 /%

产品名称	产率	品位		回收率	
		Cu	Pb	Cu	Pb
铜精矿	4.48	12.33	21.21	28.00	1.69
扫选精矿	4.37	5.21	46.22	11.53	3.59
铅精矿	91.13	1.31	58.53	60.47	94.72
混浮尾矿	100.00	1.97	56.32	100.00	100.00

由表 5 可知,使用无铬组合抑制剂 CMC + 水玻璃 + 亚硫酸钠对该铜铅混合精矿进行铜铅分离,所得铜精矿含 Cu 12.33%、Pb 21.21%,但铜精矿中 Cu 回收率低,含 Pb 较高,分离效果较差,所以拟采用高梯度磁选工艺对该铜铅混合精矿进行预处理,磁选分离后的精矿用于下一步的铜铅浮选分离。

2.1 磁选试验

2.1.1 铜磁选背景磁场强度条件试验

由于黄铜矿为顺磁性矿物,具有弱磁性,而方铅矿为非磁性矿物,可考虑采用高梯度磁选对该铜铅混浮精矿进行预处理,并对磁选所得的精矿、尾矿进行分析及再处理。本文使用赣州金环公司所生产的 SLon - 100 试验型立环脉动高梯度磁选机为试验设备,在入选物料质量浓度为 20%、设定脉冲冲次为 15 Hz 条件下,通过条件激磁电流强度条件磁选背景强度,背景磁

场强度条件试验流程如图 3 所示,所得结果见图 4。

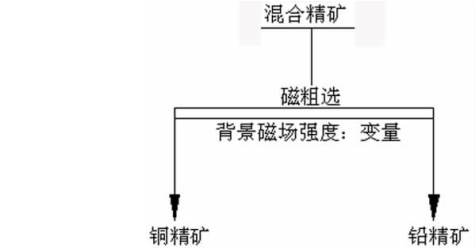


图 3 铜铅分离磁选强度条件试验流程
Fig. 3 Test flow of magnetic field strength condition for copper - lead separation

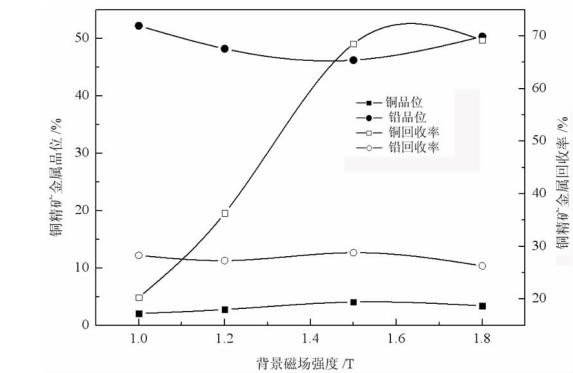


图 4 背景磁场强度对铜精矿金属品位及回收率的影响
Fig. 4 Effect of magnetic field intensity on metal grade and recovery of copper concentrate

由图 4 结果可看出,在设定脉冲冲次为 15 Hz 条件下,随着背景磁场强度的增大,铜精矿中 Cu 回收率可明显提高,而铜精矿中 Pb 回收率维持在较低的水平,表明采用高梯度磁选是分离该铜铅混合精矿铜、铅矿物有效的分离方法,当磁场强度为 1.5 T 的条件下,铜精矿中 Cu 回收率达到 68.51%,再增大磁场强度时,铜精矿中 Cu 回收率增长幅度较小,同时铜精矿中 Cu 品位有小幅降低,所以采用高梯度磁选工艺处理青海某铜铅混合精矿的最佳背景磁场强度为 1.5 T。

2.1.2 脉冲冲次条件试验

在使用高梯度磁选机处理物料时,可以通过调节脉冲冲次的大小促进处理器中混合精矿中各矿物的有效分散,减少夹杂现象的发生^[16],为考察脉冲冲次对本铜铅混浮精矿磁选分离的影响,进行了脉冲冲次试验,试验流程如图 3 所示,固定背景磁场强度为 1.5 T,以脉冲冲次为变量,所得结果如图 5 所示。

由图 5 可知,脉冲冲次对铜铅分离的效果有显著的影响,当脉冲冲次为 25 Hz 时,铜精矿中 Cu 回收率

达到最大,为 86.74%,铜铅分离效果最好,综合考虑,高梯度磁选处理该铜铅混合精矿磁选分离的脉冲冲次为 25 Hz。

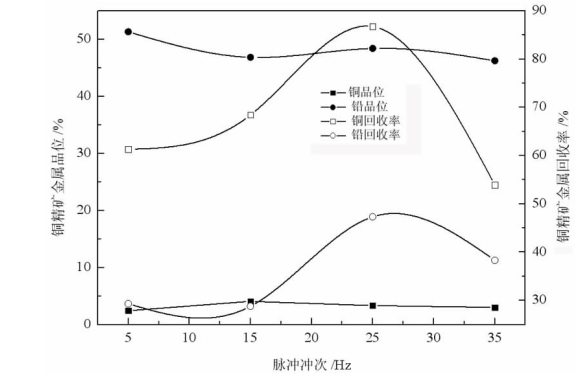


图 5 脉冲冲次对铜精矿金属品位及回收率的影响
Fig. 5 Effect of pulse times on metal grade and recovery of copper concentrate

2.1.3 磁选扩大试验

根据已有的磁选条件和使用 SLon - 100 型磁选机得到的磁选参数,进行了磁选扩大试验,扩大试验采用 SLon - 500 型立环脉动高梯度磁选机,参数为:处理量为 0.125 t/h,入选矿浆质量浓度为 20%,同时控制磁场强度为 1.5 T,脉冲冲次为 25 Hz,以青海某铜铅锌选厂产出的含 Cu 1.96%、Pb 56.39% 的铜铅混合精矿为试验对象,得到磁选扩大试验指标如表 6 所示。

表 6 磁选扩大试验结果				/%	
Table 6 Expansion test results of magnetic separation					
产品名称	产率	品位		回收率	
		Cu	Pb	Cu	Pb
磁精矿	51.29	3.32	49.40	86.84	46.72
磁尾矿	48.71	0.53	59.32	13.16	53.28
混合精矿	100.00	1.96	54.23	100.00	100.00

由表 6 可知,使用高梯度强磁选机在推荐参数条件下,磁选精矿含 Cu 3.32%、Pb 49.40%,磁选尾矿含 Cu 0.53%、Pb 59.32%,磁尾矿可直接作为铅精矿产品进行销售,磁精矿中 Cu 回收率达到 86.84%,可用于下一步的铜铅浮选分离。

2.2 磁精矿铜铅浮选分离试验

以磁选扩大试验产出的磁精矿为浮选分离对象进行了磁精选铜铅分离试验,试验流程及药剂制度如图 2 所示,试验指标如表 7 所示。

表 7 磁选精矿铜铅分离试验结果 /%

Table 7 Test results of copper – lead separation process for the magnetic separation concentrate

产品名称	作业 产率	品位		作业回收率	
		Cu	Pb	Cu	Pb
铜精矿	11.40	19.21	11.21	65.72	2.59
扫选精矿	4.05	9.21	36.22	11.20	2.97
铅精矿	84.55	0.91	55.16	23.08	94.44
磁精矿	100.00	3.33	49.38	100.00	100.00

对比表 5 和表 7 结果可看出,在相同的浮选药剂制度条件下,磁选处理后的磁选精矿浮选所得铜精矿中 Cu 的产率及作业回收率明显提高,同时铜精矿中 Pb 品位降低,分离后的铅精矿中 Cu 品位降低至 1.00% 以下,且磁选分离效果明显优于未磁选处理的铜铅混合精矿,所以采用高梯度强磁处理可明显降低该铜铅混合精矿浮选分离的难度。

2.3 全流程闭路试验

在已有的磁选指标和磁选精矿铜铅分离开路试验的基础上进行了高梯度磁选—磁选精矿铜铅浮选分离的全流程闭路试验,试验流程如图 6 所示,所得指标如表 8 所示。

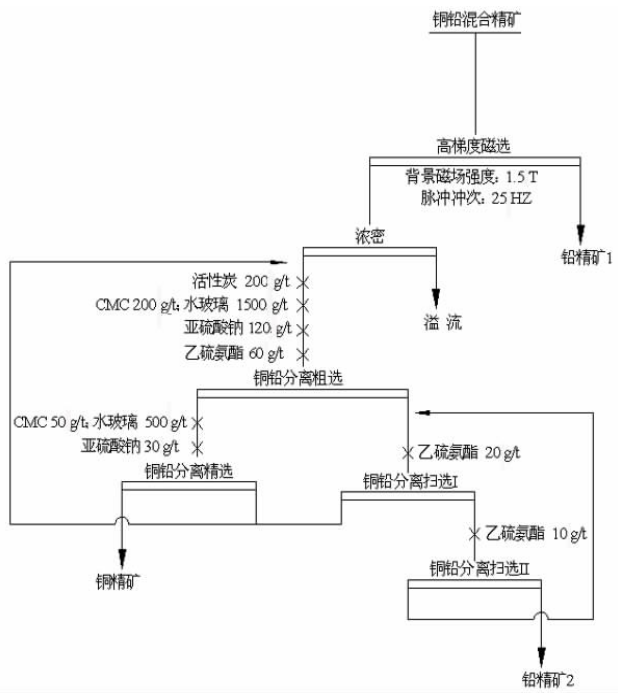


图 6 全流程闭路试验流程

Fig. 6 Whole process closed circuit test

表 8 全流程闭路试验指标 /%

Table 8 Closed – circuit test results of the whole – process

产品名称	产率	品位		回收率	
		Cu	Pb	Cu	Pb
铜精矿	7.98	17.63	9.31	71.48	1.33
铅精矿 1	48.71	0.53	59.32	13.12	51.88
铅精矿 2	43.31	0.70	60.16	15.40	46.78
混合精矿	100.00	1.97	55.69	100.00	100.00

由图 6 可看出,经上述流程处理青海某铜铅混合精矿可产出一个铜精矿和两个铅精矿,其中铜精矿含 Cu 17.63%、Pb 9.31%,铜精矿中 Cu 回收率 71.48%,铜精矿含 Cu > 15%,满足铜精矿的销售要求,同时由于部分微细粒铜铅连生体矿物的存在致使铜精矿铅含量偏高。铅精矿 1 含 Cu 0.53%、Pb 59.32%,铅精矿 2 含 Cu 0.70%、Pb 60.16%。综合铅精矿 1 和铅精矿 2,总铅精矿平均含 Cu 0.61%、Pb 59.72%;总铅精矿中 Pb 平均回收率为 98.67%。

3 结论

(1)青海某铜铅混合精矿为该选厂铜铅混浮作业产出的产品,含 Cu 1.96%、Pb 56.39%,混合精矿中主要的组成矿物为方铅矿、闪锌矿、磁黄铁矿及黄铜矿,经筛析及单体解离度分析可知,该混合精矿中的各硫化矿物整体粒径细小,单体解离度高。

(2)由于该混合精矿中的方铅矿粒径微细,增大了铜铅浮选分离的难度,所以采用高梯度磁选的方式对该铜铅混合精矿进行处理,在背景磁场强度为 1.5 T、脉冲冲次 25 Hz 条件下,一次粗选可得到含 Cu 3.32%、Pb 49.40%,Cu 回收率 86.84% 的磁选精矿,用于下一步铜铅浮选分离。磁选尾矿含 Cu 0.53%,可直接作为合格的铅精矿产品。

(3)经对比试验可知,在相同药剂制度条件下,高梯度强磁得到的磁选精矿再进行铜铅分离浮选效果比直接铜铅浮选分离效果更好。磁—浮联合工艺流程处理青海某铜铅混合精矿可得到含 Cu 17.63%、Pb 9.31%、Cu 回收率 71.48% 的铜精矿和含 Cu 0.61%、Pb 59.72%、Pb 回收率 98.67% 的铅精矿,分离指标理想。

参考文献:

[1] BOLIN N J, LASKOWSKI J S. Polysaccharides in flotation of sulphides. Part II. Copper/lead separation with dextrin and sodium hydroxide[J]. International Journal of Mineral Processing, 1991, 33 (1/2/3/4): 235 – 241.

- [2] 路亮,梁爽,张行荣,等. 方铅矿抑制剂在铜铅分离中的研究进展[J]. 矿产保护与利用,2020,40(2):105-111.
- [3] BULATOVIC S, WYSOUZIL DM, BERMEJO FC. Development and introduction of a new copper/lead separation method in the raura plant (Peru)[J]. Minerals Engineering, 2001, 14(11): 1483-1491.
- [4] QIN WQ, WEI Q, JIAO F, et al. Utilization of polysaccharides as depressants for the flotation separation of copper/lead concentrate[J]. International Journal of Mining Science and Technology, 2013, 23(2): 179-186.
- [5] DRZYMALA J, KAPUSNIAK J, TOMASIK P. Removal of lead minerals from copper industrial flotation concentrates by xanthate flotation in the presence of dextrin[J]. Mineral Processing, 2003, 70(1/2/3/4): 147-155.
- [6] HUANG P, CAO M. L, LIU Q. Using chitosan as a selective depressant in the differential flotation of Cu-Pb sulfides[J]. International Journal of Mineral Processing, 2012, 106-109(10): 8-15.
- [7] 朴正杰,魏德洲,刘智林. 小分子有机抑制剂对黄铜矿和方铅矿浮选行为的影响[J]. 东北大学学报:自然科学版,2013,34(6):884-888.
- [8] 米丽平,孙春宝,李青,等. 用组合抑制剂实现铜铅高效分离的试验研究[J]. 金属矿山,2009(8):60-63.
- [9] YE Z, RQLA B, WEI S, et al. Electrochemical mechanism and flotation of chalcopyrite and galena in the presence of sodium silicate and sodium sulfite[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2020, 30(4):1091-1101.
- [10] 杨鹏,刘树贻,陈苾. 复合振动加脉动高梯度磁选分离铜铅混合精矿的研究[J]. 有色金属(选矿部分),1994(3):21-24+12.
- [11] 薛伟,江锋,李晓东,等. 用于铜铅硫化矿分离的磁浮联合选矿工艺:CN106423535A[P].2017-02-22.
- [12] 赵强,丁士瑞,周南,等. 西藏某富银难选铜铅锌硫化矿选矿试验研究[J]. 矿产保护与利用,2017,37(2):39-46.
- [13] 顾枫. 矿物解离度的评价及预测[J]. 金属矿山,1990(1):55-58.
- [14] PRESTIDGE C A. Rheological investigations of galena particle interactions[J]. Colloids & Surfaces A Physicochemical & Engineering Aspects, 1997, 126(2-3): 75-83.
- [15] PRESTIDGE C A. Rheological investigations of ultrafine galena particle slurries under flotation-related conditions[J]. International Journal of Mineral Processing, 1997, 51(1):241-254.
- [16] 卢涛,袁致涛,宋坤,等. 铜铅混合精矿磁浮联合工艺分离试验研究[J]. 金属矿山,2021(9):85-90.

Separation of a Copper – lead Mixed Concentrate by High – intensity Magnetic – flotation

ZHU Enling, HE Ailing LI Min, LUO Wencheng, WANG Cheng

Qinghai Hongxin Mining Co., Ltd., Ge Ermu 816099, Qinghai, China

Abstract: The copper lead mixed concentrate produced by a copper lead zinc ore concentrator in Qinghai contains Cu 1.96% and Pb 56.39%, but the particle size of galena in the mixed concentrate is fine. Using traditional copper lead flotation reagent, there are some problems such as poor separation effect and high mutual content of product metals. In order to improve the separation efficiency of copper and lead, based on the weak magnetic characteristics of chalcopyrite, the mixed concentrate was treated by strong magnetic separation flotation process. In this paper, under the conditions of background magnetic field strength of 1.5 T and pulse impulse of 25 Hz, the magnetic separation tailings containing 0.53% Cu and 59.32% Pb are obtained in the expanded magnetic separation test, which can be sold directly as lead concentrate products, and the magnetic separation concentrate containing 3.32% Cu and 49.40% Pb. Qualified copper concentrate and lead concentrate can be obtained through flotation process. Finally, the copper concentrate containing 17.63% Cu, 9.31% Pb and 71.48% Cu recovery and the lead concentrate containing 0.61% Cu, 59.72% Pb and 98.67% Pb recovery are obtained. Compared with the direct flotation process, the combined maglev process can significantly reduce the difficulty of copper lead separation and improve the separation efficiency, which provides a basis for on-site transformation in the next step.

Key words: copper – lead separation; magnetic separation; chalcopyrite; fine grained galena; flotation

引用格式:朱恩领,何爱婷,李敏,罗文成,王丞. 强磁选—浮选分离某铜铅混合精矿[J]. 矿产保护与利用,2021,41(5):105-110.

ZHU Enling, HE Ailing LI Min, LUO Wencheng, WANG Cheng. Separation of a copper – lead mixed concentrate by high – intensity magnetic – flotation[J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2021, 41(5): 105-110.