

选矿回水对西藏某铜钼混合精矿浮选分离影响研究^{*}

刘文宝¹, 张尧², 刘志刚¹, 黄志远³, 王闻单¹

(1. 东北大学 资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110819; 2. 北方重工集团有限公司, 辽宁 沈阳 110819; 3. 安图经济开发区, 吉林 延边 133600)

摘 要:通过浮选试验研究了西藏某铜钼混合精矿的分选条件,同时借助人工配置的模拟回水和不同配比的选矿回水试验考察了回水对铜钼混合精矿分离浮选的影响。浮选条件试验结果表明:在矿浆 pH 值为 7.68 条件下,固定 Na_2S 用量为 5 000 g/t,煤油用量为 100 g/t,经过一步粗选,得到的钼精矿中钼品位为 11.52%,回收率为 61.61%;铜品位为 24.63%,回收率为 10.77%。人工配置的模拟回水试验结果表明:铜钼分离各因素显著性顺序为铜离子浓度、黄药浓度、硫离子浓度。配比使用选厂回水试验结果表明:配比使用选厂回水时,当回水配比 $\leq 60\%$ 时,有利于提高铜钼分离指标;当回水配比 $> 60\%$ 时,不利于铜钼的分离。现场选矿回水的循环回用试验结果表明选矿回水会降低钼精矿中钼的回收率,影响铜钼混合精矿的分离。

关键词:选矿回水;铜精矿;钼精矿;分离浮选;黄药

中图分类号:TD952.1;TD954 文献标识码:B 文章编号:1001-0076(2017)04-0064-05

DOI:10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2017.04.014

Effect of Beneficiation Backwater on Flotation Separation of Copper - molybdenum Bulk Concentrate in Tibet

LIU Wenbao¹, ZHANG Yao², LIU Wengang¹, HUANG Zhiyuan³, WANG Wendan¹

(1. School of Resources and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China; 2. Northern Heavy Industries Group Co. Ltd., Shenyang 110819, China; 3. Antu Economic Development Area, Yanbian 133600, China)

Abstract: The flotation separation conditions of a Cu - Mo bulk concentrate in Tibet were studied by flotation tests. Meanwhile, the effect of backwater on flotation separation of Cu - Mo bulk concentrate was investigated by flotation tests using artificial configured backwater and beneficiation backwater. The results of flotation conditions tests showed that the optimal dosages of Na_2S and kerosene were 5 000 g/t and 100 g/t at pH 7.68. Under these conditions, a molybdenum concentrate was obtained with Mo grade of 11.52%, Mo recovery of 61.61%, Cu grade of 24.63% and Cu recovery of 10.77% by one - step rougher flotation. The results of the artificial configured backwater indicated that the significant influence order of Cu - Mo separation was copper ions concentration, xanthate concentration and sulfur ions concentration. The results of ratio test using beneficiation backwater demonstrated that it was helpful to improve the separation index when the ratio of backwater was less than 60%; while the ratio of backwater was more than 60%, the separation index was deteriorated. The results of practical tests in dressing plant indicated that beneficiation backwa-

^{*} 收稿日期:2016-06-27

基金项目:国家自然科学基金面上项目(51374051);中央高校基本科研业务费项目(N160105001、N160106003)

作者简介:刘文宝(1988-),男,山东临沂人,博士研究生,主要从事新型捕收剂研发。

通讯作者:刘志刚(1981-),男,山东潍坊人,教授,博士生导师,主要从事浮选理论研究及新型浮选药剂的研发。

ter decreased the Mo recovery in concentrate and affected the separation of copper and molybdenum.

Key words: beneficiation backwater; copper concentrate; molybdenum concentrate; flotation separating; xanthate

铜和钼是两种重要的有色金属,因其具有良好的导热、导电性等物理化学性质,广泛应用于电子、能源、机械、冶金等领域^[1-2]。我国铜和钼的资源储量均很丰富,分别位居世界第三位和第二位,但是矿石资源具有“贫矿多,富矿少”的特点,多以伴生矿、共生矿以及复杂矿产出^[3]。黄铜矿是最常见的工业铜矿物之一,而辉钼矿是最有工业价值的含钼矿物,两者具有密切的共生关系,工业生产中一半的钼精矿产品来自铜钼矿石分选的副产品,因此铜钼分离是近年来研究的热点和难点^[4-6]。辉钼矿较黄铜矿具有良好的天然可浮性,常采用抑铜浮钼工艺来实现铜钼的分离^[7]。铜钼分离过程受很多因素的影响,例如矿石的性质、药剂制度、选矿回水等^[8-9]。选矿回水不仅含有浮选过程中的回水,还包括维持选厂正常生产而产生的废水,其组分十分复杂,性质不稳定,因此选矿回水对铜钼分离过程产生重要的影响^[10]。通常选矿回水中含有溶解离子、残留药剂等杂质会对浮选分离过程产生有利或者不利的影响,此外,随着绿色、环保、节能和可持续发展理念的深入人心,选矿回水的综合处理和利用越来越受人们重视^[11]。

本文先通过浮选试验确定了西藏某铜钼混合精矿的最佳分选条件,然后通过人工配置的模拟废水回用试验考察了选矿回水中杂质及其含量对铜钼混合精矿的分离浮选的影响,最后研究了不同配比的选厂回水对铜钼混合精矿的分离浮选的影响,为该铜钼混合精矿的分离浮选提供一定的借鉴和指导。

1 试验材料和方法

1.1 试验材料

本试验所用矿石样品来自西藏某铜钼矿,该矿样经等量配混匀、破碎、磨矿、浮选等作业后,最终得到的铜钼混合精矿产品,过滤、低温烘干后密封封装备用。将制备好的铜钼混合精矿取样进行物相鉴定、化学多元素分析,可知钼矿物主要以辉钼矿的形式存在,铜矿物主要以黄铜矿和斑铜矿的形式存在,

其中铜品位为 25.74%、钼品位为 1.98%,同时进行了混合精矿中残留丁基黄药的吸附量的测定,其值为 0.10 mg/g。

试验所用捕收剂为丁基黄药(工业品)和煤油(工业品),起泡剂为 2[#]油(工业品),抑制剂为硫化钠(工业品),均取自西藏某铜钼矿选厂。试验所用氢氧化钠、盐酸、硫酸铜、硫化钠均为分析纯试剂。

试验所用水样分别为去离子水、人工模拟回水样和选厂回水样。选厂回水样取自铜钼分离试验流程中铜精矿浓缩水,经离心处理后抽取上清液备用,进行后续试验,对选厂回水样进行水质分析,结果见表 1。由表 1 可知,废水中黄药的浓度为 2.74 mg/L,Cu²⁺ 浓度为 2.53 mg/L,S²⁻ 的浓度为 7.01 mg/L,Cu²⁺、Fe³⁺、Ca²⁺ 和 Al³⁺ 等难免离子含量较高,因相关研究较多,因此本文只考虑黄药、Cu²⁺ 和 S²⁻ 作为研究对象。人工模拟回水样使用了丁基黄药、硫酸铜和硫化钠试剂配制而成。

表 1 铜钼分离铜精矿回水水质分析						
成分	Cu ²⁺	Fe ³⁺	Ca ²⁺	Al ³⁺	S ²⁻	黄药
浓度/(mg·L ⁻¹)	2.53	1.94	28.60	1.16	7.01	2.74

1.2 试验方法

参照现场流程和相关药剂制度,进行了铜钼分离粗选试验。每次称取 2.0 g 矿样加入到 XFG₁₁₅ 型挂槽浮选机的浮选槽中(转速为 1 620 r/min),加入所需水样 30 mL,搅拌 2 min 后,用 NaOH 或 HCl 调节溶液的 pH 值,继续搅拌 2 min 后,依次加入硫化钠和捕收剂煤油,时间间隔为 2 min,然后浮选 5 min。

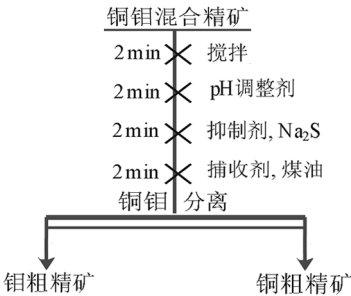


图 1 铜钼分离粗选试验流程图

泡沫产品和槽内产品分别烘干、称重,化验,然后计算浮选回收率和分离选择性指数,进行浮选效果评价。浮选流程图见图1所示。

2 结果与讨论

2.1 铜钼分离试验

固定抑制剂 Na_2S 用量为 5 000 g/t,捕收剂煤油的用量为 750 g/t,考察了矿浆 pH 值对铜钼分离浮选试验的影响,结果如图2所示。从图2中可以看出,随着矿浆 pH 值的增加,钼精矿中钼回收率呈现先增加后减少的趋势,在矿浆 pH 值为 7.50~8.00 范围内达到最大,此时回收率为 64.77%;钼精矿中钼品位在 pH 范围内变化不大,其值在 10.00% 左右波动。同时,随着矿浆 pH 值的增加,钼精矿中铜品位先逐渐减少后缓慢增加,在 pH 值为 6.50~8.00 时,钼精矿中铜品位处在一个较低值,其回收率变化不明显,其值在 10.00% 左右波动。综合考虑,确定最佳 pH 值为 7.68,此时钼精矿中钼品位为 11.87%,回收率为 64.77%;铜品位为 24.16%,回收率为 9.98%。

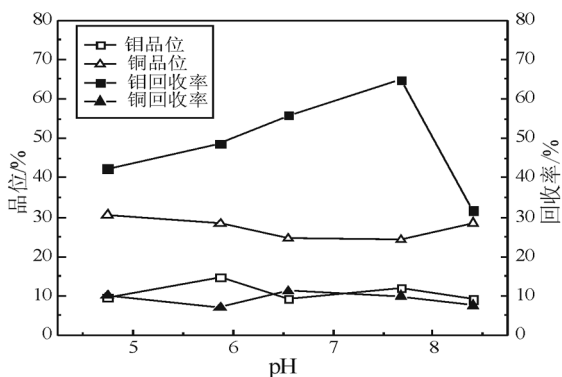


图2 pH值对铜钼分离浮选试验的影响

固定抑制剂 Na_2S 用量为 5 000 g/t,在矿浆 pH 值为 7.68 条件下,考察了捕收剂煤油的用量对铜钼分离浮选试验的影响,结果见图3所示。从图3中可以看出,钼精矿中钼品位随煤油用量增加而缓慢减少,钼回收率随煤油用量的增加而逐渐增加。当煤油用量达 100 g/t 后,钼回收率基本稳定在 61% 左右。钼精矿中铜回收率随煤油用量增加而缓慢增加,铜品位随煤油用量增加呈现先减少后增加的趋势。当煤油用量为 75 g/t 时,铜品位最低,但此时钼回收率也较低。综合考虑,确定最佳煤油用量为

100 g/t,此时钼精矿中钼品位为 11.52%,回收率为 61.61%;铜品位为 24.63%,回收率为 10.77%。

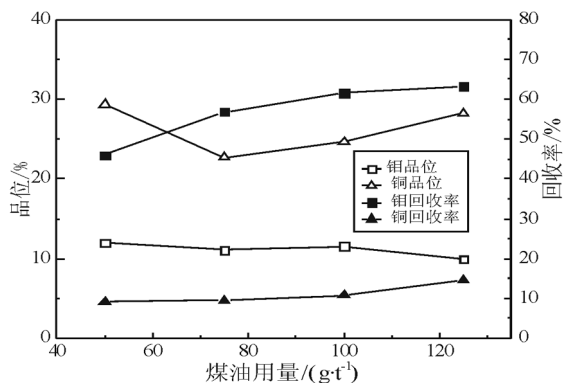


图3 捕收剂煤油的用量对铜钼分离浮选试验的影响

2.2 模拟人工回水对铜钼分离效果的影响

人工配制一定浓度的黄药、 Cu^{2+} 、 S^{2-} 模拟回水,固定矿浆 pH 值为 7.68,抑制剂 Na_2S 用量为 5 000 g/t,捕收剂煤油的用量为 100 g/t,考察人工废水对铜钼分离的影响规律。为了确定黄药、 Cu^{2+} 、 S^{2-} 的主次影响顺序引入正交试验进行分析,选用试验表为 $L_{16}(4^3)$,采用三因素四水平正交表进行试验设计,根据前期研究结果,确定各影响因素和水平,具体的正交设计表如表2所示。根据表2的正交设计表,设计 16 组试验,分别配置相应的模拟回水,进行铜钼分离浮选试验,试验结果见表3。

表2 正交设计表

因素 水平	A	B	C
	Cu^{2+} 浓度 /($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	黄药浓度 /($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	S^{2-} 浓度 /($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
1	5	5	2
2	10	15	10
3	30	30	30
4	60	60	60

从表3中的结果可以看出,相对于制备的铜钼混合精矿的指标,经过 7、10、14 号试验处理得到的钼精矿,其中钼品位明显较低,甚至低于入选矿样的品位,回收率也均在 6% 以下,说明模拟回水对于钼的回收具有明显抑制作用;而经过 1、12、13 号试验处理得到的钼精矿,其中铜回收率明显较高,品位也均在 34% 以上,说明模拟回水时铜矿物在钼精矿中富集,严重影响铜钼精矿的浮选分离。

为进一步确定黄药、 Cu^{2+} 、 S^{2-} 的对铜钼分离的

表3 正交试验结果							
试验 序号	A 黄药 浓度	B S ²⁻ 浓度	C Cu ²⁺ 浓度	品位 /%		回收率 /%	
				Cu	Mo	Cu	Mo
混合精矿	-	-	-	25.74	1.98	-	-
分离试验	-	-	-	24.63	11.52	10.77	61.61
试验1	1	1	1	35.12	8.30	16.28	54.07
试验2	1	2	2	31.15	8.94	10.72	43.28
试验3	1	3	3	31.37	5.99	8.04	21.60
试验4	1	4	4	29.64	4.18	9.35	18.57
试验5	2	1	2	25.47	4.45	7.89	19.39
试验6	2	2	1	33.21	7.13	14.34	43.33
试验7	2	3	4	34.99	1.49	9.18	5.49
试验8	2	4	3	38.39	4.27	12.72	19.90
试验9	3	1	3	27.17	4.03	7.93	16.54
试验10	3	2	4	37.65	0.75	14.47	4.04
试验11	3	3	1	34.72	5.39	12.48	27.26
试验12	3	4	2	34.44	7.43	15.64	47.43
试验13	4	1	4	34.02	5.14	20.50	43.57
试验14	4	2	3	34.62	1.89	7.19	5.52
试验15	4	3	2	21.82	7.91	8.23	41.92
试验16	4	4	1	26.40	6.20	10.14	33.48

影响规律,对正交试验结果进行极差分析,结果见表4所示。从表4中的结果分析得出,对铜钼分离各因素显著性顺序为Cu²⁺浓度、S²⁻浓度、黄药浓度。

表4 钼精矿浮选指标极差分析				
指标	项目	A	B	C
		黄药浓度	S ²⁻ 浓度	Cu ²⁺ 浓度
钼回收率/%	极差R	12.35	9.35	23.65
铜回收率/%	极差R	1.60	3.67	4.41
钼品位/%	极差R	2.51	0.80	4.29
铜品位/%	极差R	4.28	3.71	5.86

2.3 选矿回水对铜钼分离效果的影响

选厂回水样取自铜钼分离试验流程中铜精矿浓缩水,经离心处理后抽取上清液备用,固定矿浆pH值为7.68,抑制剂Na₂S用量为5 000 g/t,捕收剂煤油用量为100 g/t,按照图1的流程,进行铜钼分离粗选试验,研究选矿回水对铜钼分离粗选效果的影响。试验结果见表5。

从表5中的结果可以看出,与去离子水试验相比,在相同的药剂制度条件下,使用选厂回水样进行试验,会导致钼粗精矿的产率和钼回收率显著减少,铜的品位和回收率也同时减少,但钼的品位有所增加。对比选厂回水样与不同模拟回水的试验结果可

表5 选矿回水试验结果							
水样	原矿		钼粗精矿				
	品位/%		产率 /%	品位/%		回收率/%	
	Cu	Mo		Cu	Mo	Cu	Mo
去离子水	25.74	1.98	10.58	24.63	11.52	10.77	61.61
选厂回水样	25.74	1.98	7.73	20.49	11.59	6.15	45.24
模拟Cu ²⁺ 回水(2 mg/L)	25.74	1.98	11.71	21.97	8.01	9.99	47.38
模拟黄药回水(5 mg/L)	25.74	1.98	11.95	29.13	6.08	13.52	36.67
模拟S ²⁻ 回水(5 mg/L)	25.74	1.98	7.40	22.38	9.83	8.40	47.99

知,钼回收率的减少主要与废水中的黄药、Cu²⁺、S²⁻有关,铜回收率和铜品位的下降主要与Cu²⁺、S²⁻有关,而选厂回水试验中钼品位的增加可能是废水中残留煤油、黄药、Cu²⁺、S²⁻、起泡剂等共同作用的结果。可能的原因是残留药剂(主要是黄药)容易造成铜矿物的上浮,不利于铜钼分离;然后铜离子和硫离子的存在容易在矿物表面形成亲水性的硫化铜物质,造成钼矿物的抑制,也不利于铜钼分离。

为进一步研究选厂回水的影响,固定矿浆pH值为7.68,抑制剂Na₂S用量为5 000 g/t,捕收剂煤油用量为100 g/t,进行选厂回水配比使用试验,结果如图4所示。

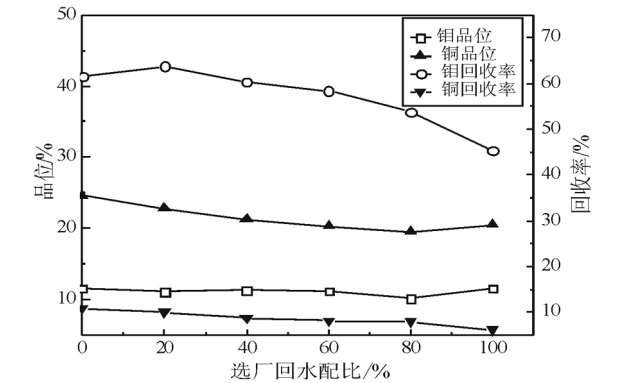


图4 不同配比回水对钼精矿浮选指标的影响

由图4可以看出,随着选厂回水配比的增加,钼精矿中钼回收率、铜品位和回收率均呈减少趋势,钼回收率略呈增加趋势。当回水配比增加到60%时,钼品位增加至11.27%,钼回收率虽有所减少,但仍维持在较高值,为58.35%;此时钼精矿中铜回收率和品位分别减少到8.15%、20.32%。在选矿回水配比≤60%范围内,虽然钼回收率有所减少,但是钼品位的增加以及铜回收率和品位的降低有利于铜钼的

分离。当回水配比 > 60% 时, 钼的回收率减少趋势更加明显, 而钼品位、铜品位和回收率的变化趋势变化较小, 不利于铜钼分离。综上所述, 由于废水中残留药剂及离子等的综合作用, 选厂回水返回使用时, 当选厂回水配比 ≤ 60% 时, 对铜钼分离有益; 当回水配比 > 60% 时, 不利于铜钼分离。

根据实验室条件下的研究结果, 在西藏某铜钼矿生产现场进行了选矿回水的循环回用试验, 针对现场的铜精矿选矿回水, 将其澄清后进行闭路试验。试验流程见图 5, 试验结果列于表 6。

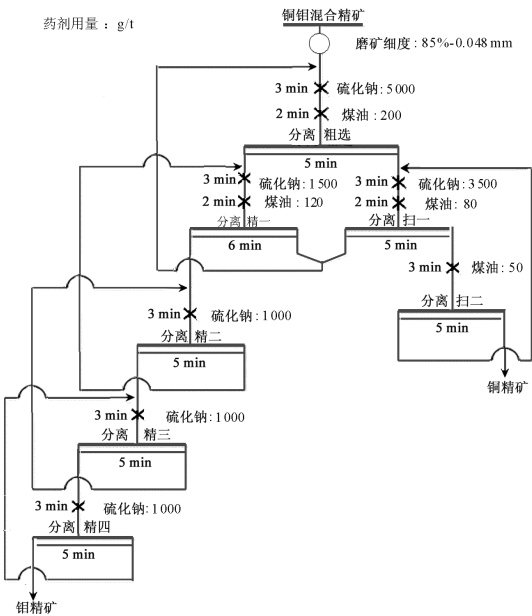


图 5 现场铜钼分离闭路试验流程

表 6 铜钼分离作业试验结果

水样	产品名称	作业产率/%	品位/%		作业回收率/%	
			Cu	Mo	Cu	Mo
清水	钼精矿	1.04	1.08	46.85	0.05	84.01
	铜精矿	98.96	22.87	0.09	99.95	15.99
	铜钼精矿	100.00	22.64	0.58	100.00	100.00
选厂回水	钼精矿	0.88	0.77	46.93	0.03	71.42
	铜精矿	99.12	22.83	0.17	99.97	28.58
	铜钼精矿	100.00	22.64	0.58	100.00	100.00

从表 6 中可以看出, 采用图 5 所示的浮选流程进行浮选分离试验, 可获得回收率为 99.95% 的铜精矿。当使用选厂回水时, 可获得钼品位为 46.93%、回收率为 71.42% 的钼精矿; 铜品位为 22.83%、回收率为 99.97% 的铜精矿。可以看出选矿回水会降低钼精矿中钼的回收率, 影响铜钼混合精矿的分离。

3 结论

(1) 西藏缺水地区某铜钼混合精矿中铜品位为 25.74%, 钼品位为 1.98%。通过浮选条件试验, 确定了铜钼分离最佳条件: 矿浆 pH 值为 7.68, Na₂S 用量为 5 000 g/t, 煤油用量为 100 g/t。在此条件下, 钼精矿中钼品位为 11.52%、回收率为 61.61%; 铜品位为 24.63%、回收率为 10.77%。

(2) 人工配置的模拟回水试验结果表明: 回水中的黄药、Cu²⁺、S²⁻ 对铜钼分离各因素显著性顺序为铜离子浓度、黄药浓度、硫离子浓度。

(3) 由于废水中残留药剂、金属离子的综合作用, 选厂回水全部返回使用时, 钼粗精矿的产率、钼回收率、铜品位和回收率明显减少, 但钼的品位有所增加; 配比使用选厂回水时, 当选厂回水配比 ≤ 60% 时, 对铜钼分离有益; 当回水配比 > 60% 时, 不利于铜钼分离; 生产现场选矿回水的循环回用试验结果表明, 选矿回水会降低钼精矿中钼的回收率, 影响铜钼混合精矿的分离。

参考文献:

[1] 刘磊, 吕良, 马瑛, 等. 含铜钼精矿超导磁分离试验研究[J]. 矿产保护与利用, 2017(1): 55-58.

[2] 王振, 徐龙华, 肖军辉, 等. 某硫化铜钼矿石的浮选试验研究[J]. 矿冶工程, 2017(2): 54-56.

[3] 李跃林, 韩聪, 翟庆祥, 等. 铜钼分离浮选新型抑制剂 CMSD 的作用机理[J]. 金属矿山, 2016, 45(3): 77-79.

[4] Hirajima T, Mori M, Ichikawa O, et al. Selective flotation of chalcopyrite and molybdenite with plasma pre-treatment[J]. Minerals Engineering, 2014, 66-68(11): 102-111.

[5] 孟奇, 崔毅琦, 童雄, 等. 铜钼分离技术现状与趋势[J]. 矿冶, 2014, 23(2): 19-22.

[6] 李冬. 低品位铜钼矿选矿技术及应用[J]. 矿冶, 2014, 23(4): 35-38.

[7] Li Mingyang, Wei Dezhou, Cui Baoyu, et al. Flotation behavior of chalcopyrite and molybdenite in the presence of 2,3-disulfanylbutedioic acid[J]. Journal of Northeastern University Natural Science, 2015, 25: 3126-3132.

[8] 王闻单. 选矿回水对铜钼分离的影响及机理研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2014.

[9] 胡立嵩, 罗廉明. 选矿废水中悬浮物对磨矿和浮选影响的研究[J]. 云南冶金, 2005(3): 17-19.

[10] 吕晓兵, 张家会. 回水对选矿过程影响的研究[J]. 江西冶金, 2001, 21(2): 39-45.

表4 二段逆流浸出试验结果

浸出循环次数	原矿 Na/%	一段浸出液 Na/(g L ⁻¹)	浸出终渣		浸出率 /%
			质量/g	Na/%	
1	10.97	67.20	322.69	0.27	98.41
2	11.42	82.90	321.50	0.26	98.53
3	11.17	85.20	321.80	0.38	97.81
4	11.74	84.70	329.84	0.37	97.92
5	11.10	85.00	317.84	0.33	98.11
6	10.91	86.60	319.49	0.41	97.60
7	10.95	84.70	320.39	0.26	98.48

从表4来看,二段逆流循环浸出试验结果稳定,7次循环试验的平均浸出率为98.12%;浸出终渣中钠含量最低为0.26%,最高为0.41%,平均为0.33%;浸出液中Na浓度显著提高,由67.20 g/L增加到84.85 g/L(平均值),相应的硫酸钠浓度由207 g/L提高至262 g/L,提高幅度为26%,可以直接进入制硝系统。

表5 浸出渣的化学组成

成分	Na	K	Ca	Mg	TFe
含量	0.26	0.20	18.32	1.88	1.26
成分	SO ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaSO ₄ ·2H ₂ O	
含量	32.72	20.76	4.41	70.34	

由表5结果可知,浸出渣中含70.34%的CaSO₄·2H₂O,Na、K含量分别为0.26%和0.20%,碱含量(Na₂O+0.658 K₂O)为0.51%,满足标准《GB 175—2007 通用硅酸盐水泥》对碱含量不大于0.60%的要求。因而,浸出渣可应用于水泥行业。关于该浸出渣应用于水泥的可行性已经通过了试验验证,并且已应用于水泥厂,本文不再细述。

3 结论

(1)对于四川硃室水溶法开采钙芒硝矿过程中

外排的矿石,研究确定了最优的浸出工艺参数:矿石粒度为-0.9 mm,液固比为1.5:1,浸出温度为50℃,浸出时间为1 h。在此条件下,浸出率约98.5%,浸出液中Na₂SO₄浓度约200 g/L。

(2)提出了适合于处理该矿石的二段逆流浸出工艺,显著提高浸出液中Na₂SO₄浓度至262 g/L,提高幅度为26%,浸出液可以直接进入制硝系统生产元明粉;浸出渣含70.34%的CaSO₄·2H₂O,Na、K含量分别为0.26%和0.20%,碱含量(Na₂O+0.658 K₂O)为0.51%,满足标准《GB 175—2007 通用硅酸盐水泥》对碱含量不大于0.60%的要求,经试验验证,浸出渣可作为水泥的原料。

(3)研究提出的高效浸出工艺回收了硫酸钠,也综合利用了浸出渣于水泥行业,整体消化了硃室水溶法外排的钙芒硝矿石,解决了外排矿石压覆土地、水土污染以及次生地质灾害等矿山环境问题,已经在四川企业得到应用。

参考文献:

[1] 汪维恭. 国内外硫酸钠矿产及其开发利用现状[J]. 矿产保护与利用,1999(2):44-47.

[2] 魏东岩. 论中国钙芒硝矿床[J]. 化工矿产地质,2001,23(2):75-82.

[3] 申军. 我国芒硝矿产资源及其加工业的现状与发展[J]. 化工矿物与加工,2003,32(2):1-4.

[4] 戎宽伟,徐素国. 钙芒硝矿溶浸开采技术进展与展望[J]. 矿业研究与开发,2014(3):1-3.

[5] 刘民生,张丰述,钟东,等. 四川钙芒硝矿地质环境保护与治理恢复建议[J]. 四川地质学报,2015(1):95-98.

[6] 刘庆忠. 钙芒硝矿露天堆浸溶工艺[J]. 化工矿物与加工,1998(1):52-55.

[7] 徐素国,梁卫国,赵阳升. 钙芒硝盐岩溶解的温度效应[J]. 矿业研究与开发,2010(3):42-44.

引用格式:张秀峰,谭秀民,张利珍. 钙芒硝矿石的水浸工艺研究[J]. 矿产保护与利用,2017(4):69-72.

ZHANG X F, TAN X M, ZHANG L Z, et al. Research on water leaching process of glauberite ore[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2017(4): 69-72.

(上接第68页)

[11] 李彩. 科研与实践同行争创铜钼分离前沿技术[J]. 世界有色金属,2015(s1):121-123.

引用格式:刘文宝,张尧,刘文刚,等. 选矿回水对西藏某铜钼混合精矿浮选分离影响研究[J]. 矿产保护与利用,2017(4):64-68.

LIU W B, ZHANG Y, LIU W G, et al. Effect of beneficiation backwater on flotation separation of copper-molybdenum bulk concentrate in Tibet[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2017(4): 64-68.