

甘肃某选冶厂原生金矿全泥氰化浸出实验

陈艳波¹, 李光胜¹, 朱幸福¹, 许青²

(1. 山东黄金矿业科技有限公司选冶实验室分公司, 山东 烟台 261441; 2. 山东省科学技术情报研究院, 山东 济南 250000)

摘要: 这是一篇冶金工程领域的论文。某选冶厂处理原生矿和氧化矿两种金矿石, 原生矿采用常规浮选工艺处理, 浮选精矿金回收率 85% 左右, 外售至省外冶炼企业氰化浸出; 氧化矿采用搅拌氰化浸出-活性炭吸附-载金炭解析电积-金泥熔炼铸锭工艺处理, 产出金锭外售, 金选冶总回收率 90% 左右。目前, 随着开采深度加深, 矿石性质发生变化, 氧化矿矿量逐渐降低, 原生矿矿量逐渐增加, 使浮选系统来矿量过大, 浸出系统处理量不足, 影响企业经济效益。为此, 企业考虑将浮选系统处理不了的原生矿混入现有氧化矿全泥氰化浸出系统, 增加企业金锭产量和经济效益。为使现有全泥氰化浸出系统能够浸出原生矿, 基于现场调研, 针对原生矿开展了磨矿细度、药剂用量、溶氧量条件实验, 并结合生产实际开展了碱浸预处理实验、混合氧化矿浸出实验。基于这些实验研究结果, 给生产现场提出了具体整改要求和措施。

关键词: 冶金工程; 原生矿; 氧化矿; 全泥氰化浸出; 碱浸

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2024.04.021

中图分类号: TD953;TF831 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2024) 04-0139-06

引用格式: 陈艳波, 李光胜, 朱幸福, 等. 甘肃某选冶厂原生金矿全泥氰化浸出实验[J]. 矿产综合利用, 2024, 45(4): 139-144.

CHEN Yanbo, LI Guangsheng, ZHU Xingfu, et al. Full slime cyanidation leaching of the primary gold ore from a metallurgical processing plant in gansu[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2024, 45(4): 139-144.

甘肃某选冶厂处理原生矿和氧化矿两种矿石, 原生矿常规浮选, 日处理矿量约 200 t, 氧化矿全泥氰化, 日处理矿量约 600 t。目前, 随着开采深度加深, 氧化矿产量逐渐降低, 原生矿产量逐渐增加, 出现浮选系统处理量过大与浸出系统处理量不足的结构性矛盾。为解决这一问题, 实验探索原生矿氰化浸出的工艺参数、混合氧化矿浸出的可行性。实验结果表明: 原生矿在磨矿细度为-74 μm 90%、绿金药剂用量 4 kg/t 等条件下, 金浸出率为 80% 左右, 较浮选精矿外售的经济效益更高; 原生矿加入现有氰化浸出系统与氧化矿

混合浸出, 整体浸出指标不受影响, 可将浮选处理不了的原生矿加入氰化浸出系统^[1-3]。另外, 为降低原生矿绿金药剂用量, 开展碱浸预处理实验, 实验结果表明, 原生矿碱浸后矿浆未洗涤直接继续浸出, 不仅会增加药剂消耗, 还会恶化浸金指标。

1 矿物性质

1.1 化学多元素分析

对原生矿样品进行了化学多元素分析, 分析结果见表 1。

表 1 化学主要元素分析结果 /%

Table 1 Chemical main element analysis results

Au*	Ag*	Cu	Pb	Zn	Fe	S	As	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
6.64	2.62	0.013	0.027	0.015	14.47	3.69	1.65	18.99	1.12	0.80	23.45	0.03	0.36

*单位为g/t。

收稿日期: 2021-10-06

作者简介: 陈艳波 (1986-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事金矿选冶工艺和设备的研究

由表 1 可知,唯一达到工业利用品位的元素为金,含量为 6.64 g/t,其他伴生元素(如银、铜、铅、锌等)品位较低,无直接工业回收价值。矿石中砷、硫含量较高,分别达到 1.65% 和 3.69%,属于含砷高硫金矿。

1.2 物相分析

1.2.1 矿物组成

样品矿物组成及相对含量见表 2。
由表 2 可知,此矿样中砷和硫主要赋存在毒砂和黄铁矿中,毒砂和黄铁矿对浸出有不利影响。另外,矿样中还含有 0.68% 的磁黄铁矿,磁黄铁矿容易氧化,在氰化浸出过程中增加氧耗和氰耗,会一定程度影响浸出指标。

表 2 矿物组成及相对含量			
Table 2 Mineral composition and relative content			
金属矿物	含量/%	非金属矿物	含量/%
黄铁矿	5.41	石英	19.95
磁黄铁矿	0.68	长石	3.43
褐铁矿	4.82	方解石	39.98
菱铁矿	1.51	鲕绿泥石	1.78
磁铁矿	7.56	白云石	6.62
毒砂	3.59	绿帘石	1.41
其他	0.09	整柱石	0.42
		其他	2.75
		合计	100.00

1.2.2 金矿物解离特征

样品磨至-74 μm 90%,金矿物解离特征见表 3。

表 3 样品中金矿物解离特征							
Table 3 Dissociation characteristics of gold minerals in samples							
解离度X	单体X=100%	75%≤X<100%	50%≤X<75%	25%≤X<50%	0<X<25%	包裹X=0	合计
金矿物	6.86	14.12	59.35	2.08	0.66	16.93	100.00

从表 3 可知,样品中 16.93% 的金矿物以包裹形式存在,这部分金理论上不能浸出。由此可推断在磨矿-74 μm 90% 时,金浸出率约 83%。

1.2.3 金矿物粒度分析

样品中金矿物平均粒径为 14.77 mm,矿物嵌布粒度分析见表 4。

表 4 样品中金矿物粒度分析		
Table 4 Particle size analysis of gold minerals in samples		
分级/μm	含量/%	累积量/%
中粒 (-74+37)	0.00	0.00
细粒 (-37+10)	63.11	63.11
微细 (-10+5)	24.57	87.68
-5	12.32	100.00

从表 4 可以看出,样品中金矿物主要呈细粒级存在,微细粒尤其是-5 μm 粒级含量占比较低,平均粒径为 14.77 μm。因此,适度细磨有助于提高浸金指标。

2 实验研究

针对现场氰渣跑高,调研发现全泥氰化浸出系统存在磨矿细度粗、药剂浓度低、溶氧量低等问题。初步判断这些问题影响了金的浸出速率,使矿物浸出不充分,造成氰渣跑高。为提高浸出速率,明确原生矿浸出较佳工艺参数,指导现场优化改造,结合原生矿工艺矿物学分析,系统开

展了原生矿磨矿细度、药剂用量、溶氧量条件实验。并结合生产实际,实验探索了原生矿碱浸预处理以及混合氧化矿浸出的可行性。

实验设备为 RK/XJT 型浸出搅拌机。单次实验矿石重量 0.5 kg,搅拌速度 500 r/min,环境温度 20 ℃。实验用药主要包括某环保浸金试剂、石灰等。实验结束时取固体样洗涤、烘干、送检^[4]。

2.1 条件实验

2.1.1 磨矿细度实验

针对原矿金品位 5.90 g/t 的实验样品,探索原生矿浸出指标与磨矿细度关系,确定较佳磨矿细度,实验流程和条件见图 1,实验结果见表 5。

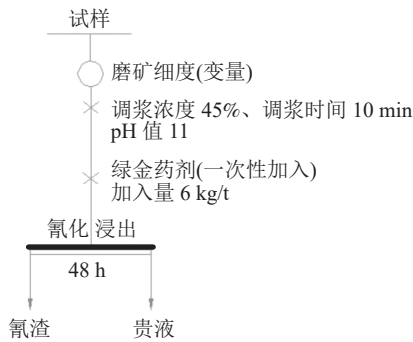


图 1 实验原则流程
Fig.1 Grinding fineness test flow

由表 5 可知,在磨矿细度-74 μm 85%~98% 范围内,随着磨矿细度增加,原生矿浸出率逐渐增加,但增加幅度较小。兼顾浸出率和磨矿成

本，磨矿细度选择-74 μm 90% 为宜。

表 5 磨矿细度实验结果
Table 5 Grinding fineness test results

磨矿细度-74 $\mu\text{m}/\%$	浸渣金品位/ (g/t)	金浸出率/%
85	1.21	79.49
90	1.08	81.69
95	1.05	82.20
98	1.02	82.71

2.1.2 药剂用量实验

探索原生矿磨矿细度-74 μm 90% 时浸出较佳药剂用量，实验流程和条件见图 1，实验结果见表 6。

表 6 药剂用量实验结果
Table 6 Reagent dosage test results

绿金药剂用量/ (kg/t)	品位/ (g/t)	金浸出率/%
2	1.57	73.39
4	1.03	82.54
6	1.03	82.54

由表 6 可知，在磨矿细度-74 μm 90% 条件下，绿金药剂用量为 4 kg/t 较 2 kg/t 时浸出率明显提升，后继续增加药剂用量，浸出率没有变化。因此，在磨矿细度为-74 μm 90% 条件下，绿金药剂加入量选 4 kg/t 为宜。

2.1.3 溶氧量实验

生产现场浸出槽内未充气，检测溶氧量最低值仅为 0.1 mg/L。为考查溶氧量对浸出速率的影响，使用创新组装的低溶氧浸出实验设备和充气浸出实验设备，在磨矿细度-0.074 mm90% 和绿金药剂 4 kg/t 的条件下开展实验。实验流程见图 1，实验结果见表 7。

表 7 溶氧量实验结果
Table 7 Dissolved oxygen test results

溶氧量/ (mg/L)	浸渣金品位/ (g/t)	金浸出率/%
0.1	5.29	10.34
7.0	1.16	80.34

由表 7 可知，在通入空气的条件下（溶氧量 7.0 mg/L），金浸出率明显较高，表明充气增加溶氧量有利于提高此原生矿的浸出速率，生产现场在浸出此原生矿时，应向浸出槽内充气，提高矿浆溶氧量。

2.2 碱浸预处理实验

考查原生矿碱浸预处理后氰化浸出指标与绿

金药剂消耗情况，开展空白（不碱浸预处理）与加入氢氧化钠将 pH 值调至 12、13、14，预处理 6 h（现场单个槽子反应时间为 6 h 左右）后直接（现场不具备洗涤条件）加入绿金药剂继续浸出对比实验。实验流程和参数见图 2，实验结果见表 8 和表 9。

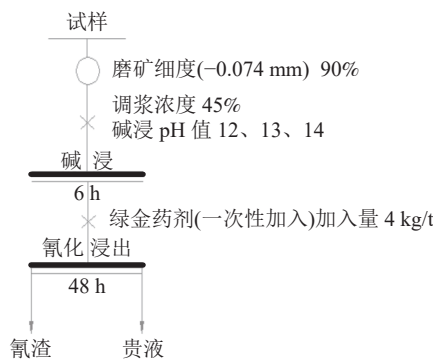


图 2 “碱浸预处理+氰化浸出”实验流程

Fig.2 Test flow of "alkali leaching pretreatment + cyanide leaching"

表 8 “碱浸预处理+氰化浸出”实验结果
Table 8 Test results of "alkali leaching pretreatment + cyanide leaching"

碱浸预处理pH值	金品位/ (g/t)	金浸出率/%
未碱浸	1.21	79.49
12	1.21	79.49
13	1.38	76.61
14	4.33	26.61

表 9 液体样铁与硫氰检测结果
Table 9 Test results of iron and thiocyanate in liquid samples

碱浸预处理pH值	铁/ (mg/L)	硫氰根离子/ (g/L)
未碱浸	56.11	0.61
12	101.80	0.64
13	133.10	0.80
14	530.60	0.49

由表 8 可知，碱浸预处理 pH 值为 12~14 范围内，pH 值越高，氰渣金品位越高，浸出率越低，当 pH 值为 14 时金浸出率仅为 26% 左右。同时，绿金药剂消耗量也随着 pH 值升高而增加。初步分析，磁黄铁矿等矿物在碱浸过程中被氧化生成氢氧化亚铁、氢氧化铁、单质硫、连多硫酸盐、硫代硫酸盐、硫酸盐等，由于未洗涤直接继续浸出，这些铁的氢氧化物会继续与浸金药剂生成铁氰络离子（溶于水，可通过化验液体样中铁

元素含量判断铁氰络离子含量，进而判断铁的氢氧化物耗氰情况，从而判断碱浸预处理后药剂消耗情况），同时未充分氧化的单质硫、硫代硫酸盐、连多硫酸盐等也会与药剂反应生成硫氰酸盐，增加药剂消耗^[5-8]。

由表 9 可知，碱浸预处理矿样的浸出液体样中铁元素含量明显升高，且随着 pH 值升高逐渐升高，同时硫氰根离子也有所升高（pH 值为 14 时由于硫氧化比较充分，硫氰根离子生成量相对较少），证明此矿样在碱浸后（未洗涤）直接浸出，会增加药耗，同时随着碱浸 pH 值的升高，药剂消耗量升高。由于碱浸后矿样药耗增加，药剂浓度降低甚至出现“亏药”，影响了金的浸出指标。

给生产现场建议在不具备洗涤的情况下，不对原生矿碱浸预处理，且在浸出过程中严格控制 pH 值在 11~12 之间。在此 pH 值范围内，即能起到保护碱的作用，又缓解碱度过高造成磁黄铁矿等矿物氧化生成耗氰杂质，增加浸出系统氧耗和氰耗，同时影响浸出指标。

2.3 混合浸出实验

探索原生矿与氧化矿混合浸出的可行性，实验研究两种矿物分别磨矿混合浸出和混合磨矿浸出的浸出指标。

2.3.1 分别磨矿混合浸出实验

原生矿与氧化矿分别磨至-74 μm 90%，然后混合浸出，考查混合浸出对浸出指标的影响。实验流程与条件见图 3，实验结果见表 10、11。

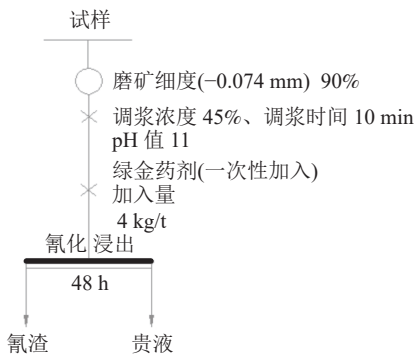


图 3 分别磨矿混合浸出实验流程
Fig.3 Test flow of separate grinding and mixed leaching

由表 10、11 可知，氧化矿与原生矿分别磨矿混合浸出的氰渣金品位、金浸出率与测算结果（依据 1[#]和 4[#]实验结果和配矿比例计算）基本一致。表明，在分别磨矿混合浸出的情况下，原生

矿的加入对氧化矿的浸出指标基本无影响。

表 10 分别磨矿混合浸出实验结果
Table 10 Test results of separate grinding and mixed leaching

氧化矿: 原生矿	原矿金 品位/(g/t)	浸渣金 品位/(g/t)	金浸 出率/%	残余氰根离子 浓度/(mg/L)
1:0	3.35	0.37	88.96	3.6
3:1	3.99	0.58	85.45	3.2
1:1	4.63	0.78	83.14	3.2
0:1	5.90	1.21	79.49	2.8

表 11 实验结果评价
Table 11 Evaluation of test results

氧化矿:原生矿	氰渣金品位/(g/t)		金浸出率/%	
	测算结果	实验结果	测算结果	实验结果
3:1	0.58	0.58	85.45	85.45
1:1	0.79	0.78	82.92	83.14

2.3.2 混合磨矿浸出实验

氧化矿与原生矿按照 1:1 比例混合磨至-74 μm 90%，开展氰化浸出实验（实验编号 5[#]），考查混合磨矿浸出对浸出率的影响。实验流程与条件见图 3，实验结果见表 12。

表 12 混合磨矿浸出实验结果
Table 12 Results of mixed grinding leaching test

氧化矿: 原生矿	原矿金 品位/(g/t)	浸渣金 品位/(g/t)	金浸 出率/%	残余氰根离子 浓度/(mg/L)
1:1	4.63	0.84	81.86	3.2

由表 12 可知，在相同的磨矿细度条件下，对比分别磨矿混合浸出，混合磨矿的浸出率有所降低。由于原生矿较氧化矿难磨，混合磨矿虽然整体磨矿细度达到要求，但原生矿磨矿细度未能达到要求，对浸出率有不利影响。

氧化矿和原生矿混合磨矿，其中氧化矿将很快达到-74 μm 100%(全部通过)，要使其中的原生矿达到-74 μm 90%，测算混合矿整体磨矿细度见表 13。

表 13 混合矿整体磨矿细度测算
Table 13 Calculation of overall grinding fineness of the mixed ore

混合矿中氧化矿含量/%	20	25	35	50	65	75	80	85
磨矿细度测算结果-74 μm/%	92.00	92.50	93.33	95.00	96.67	97.50	98.00	98.33

3 结 论

（1）针对现场调研情况，通过开展磨矿细度、药剂用量以及溶氧量条件实验，给出原生矿

氰化浸出的较佳磨矿细度为-74 μm 90%、绿金用量为 4 kg/t, 并建议现场在浸出原生矿时向浸出槽内充气, 提高矿浆溶氧量。在此条件下, 原生金浸出率为 80% 左右, 较浮选精矿外售(浮选回收率 85% 左右, 返金比 80%, 相当于金浸出率 68%) 的经济效益更高。

(2) 通过原生矿碱浸预处理实验, 发现此矿物碱浸后矿浆未洗涤直接继续浸出, 不仅会增加药剂消耗, 还会恶化浸金指标。由此, 建议现场在不具备洗涤的情况下, 不对原生矿碱浸预处理, 且在浸出过程中严格控制 pH 值在 11~12 之间。

(3) 在磨矿细度-74 μm 90% 条件下, 氧化矿与原生矿分别磨矿混合浸出对浸出率基本无影响, 但混合磨矿浸出对浸出率有影响。由于原生矿较氧化矿难磨, 对混入原生矿的氧化矿, 虽然整体磨矿细度达到要求, 但原生矿磨矿细度未能达到要求, 应提高整体磨矿细度(测算混合矿整体磨矿细度详见表 13), 确保混入的原生矿磨矿细度达到-74 μm 90%。

参考文献:

- [1] 陈福林, 杨晓军, 杨道广, 等. 甘肃某低品位钒钛磁铁矿工艺矿物学研究[J]. *矿产综合利用*, 2020(6):64-68.
CHEN F L, YANG X J, YANG D G, et al. Study on process mineralogy of a low grade vanadium titanium magnetite in Gansu[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2020(6):64-68.
- [2] 洪秋阳, 李美荣, 李波, 等. 国外某难选冶钒钛铁矿石工艺矿物学特征[J]. *矿产综合利用*, 2020(6):48-54.
HONG Q Y, LI M R, LI B, et al. Process mineralogical characteristics of a refractory vanadium titanium iron ore abroad[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*,

2020(6):48-54.

- [3] 邓元良, 明平田, 王广伟, 等. 某金精矿焙烧氧化-氰化尾矿工艺矿物学研究[J]. *矿产综合利用*, 2020(4):121-124.

DENG Y L, MING P T, WANG G W, et al. Mineralogical study on roasting oxidation cyanidation tailings of a gold concentrate[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2020(4):121-124.

- [4] 邱沙, 郭鹏志, 谢建平. 苏丹某金矿尼尔森重选-氰化浸出实验研究[J]. *矿产综合利用*, 2017(2):19-23.

QIU S, GUO P Z, XIE J P. Experimental study on Nelson gravity separation cyanidation leaching of a gold mine in Sudan[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2017(2):19-23.

- [5] 孟宇群, 吴敏杰, 宿少玲, 等. 某含砷难浸金精矿常温常压强化碱浸预处理试验研究[J]. *黄金*, 2002(6): 25-31.

MENG Y Q, WU M J, SU S L, et al. Experimental study on enhanced alkali leaching pretreatment of an arsenic containing refractory gold concentrate at room temperature and pressure[J]. *Gold*, 2002(6): 25-31.

- [6] 祁磊, 席欣月, 蔡鑫, 等. 北衙硫化矿选厂尾矿中金银铁综合回收实验研究[J]. *矿产综合利用*, 2021(4): 182-187.

QI L, XI X Y, CAI X, et al. Experimental study on comprehensive recovery of gold, silver and iron from tailings of Beiya sulfide ore concentrator[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2021(4): 182-187.

- [7] 王越, 王婧, 李潇雨, 等. 川西某金矿工艺矿物学研究及对选矿工艺的影响[J]. *矿产综合利用*, 2021(4):206-210.

WANG Y, WANG J, LI X Y, et al. Study on process mineralogy of a gold mine in Western Sichuan and its influence on beneficiation process[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2021(4):206-210.

- [8] 宁阳坤, 赵恒勤, 刘红召, 等. 某白烟尘碱浸实验研究[J]. *矿产综合利用*, 2017(4):90-93.

NING Y K, ZHAO H Q, LIU H Z, et al. Experimental study on alkali leaching of white smoke dust[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2017(4):90-93.

Full Slime Cyanidation Leaching of the Primary Gold Ore from a Metallurgical Processing Plant in Gansu

CHEN Yanbo¹, LI Guangsheng¹, ZHU Xingfu¹, XU Qing²

(1. Selection and Metallurgy Laboratory of Shandong Gold Mining Technology Co., Ltd., Yantai 261441, Shandong, China; 2. Shandong Academy of Science and Technology Information, Jinan 250000, Shandong, China)

Abstract: This is an article in the field of metallurgical engineering. A beneficiation and smelting plant processes two kinds of gold ores: primary ore and oxidized ore. The primary ore is treated by conventional flotation process. The gold recovery rate of flotation concentrate is about 85%, which is sold to smelting enterprises outside the province for cyanide leaching. The oxidized ore is treated by stirring cyanidation leaching activated carbon adsorption gold loaded carbon analytical electrodeposition gold slime smelting

ingot casting process. The output gold ingot is sold outside, and the total recovery rate of gold dressing and metallurgy is about 90%. At present, with the deepening of mining depth, the ore properties change, the amount of oxidized ore gradually decreases, and the amount of primary ore gradually increases, resulting in excessive ore treatment in flotation system and insufficient ore treatment in leaching system, affecting the economic benefits of enterprises. Therefore, the enterprise considers adding the primary ore that cannot be treated by the flotation system to the existing oxidized ore all slime cyanidation leaching system to increase the gold ingot output and economic benefits of the enterprise. In order to enable the existing full slime cyanidation leaching system to leach the primary ore, based on the field investigation, the grinding fineness, reagent dosage and dissolved oxygen condition tests were carried out for the primary ore, and the alkali leaching pretreatment test and mixed oxidation ore leaching test were carried out in combination with the actual production. Based on these test and research results, specific rectification requirements and measures are put forward for the production site.

Keywords: Metallurgical engineering; Primary ore; Oxidized ore; Full slime cyanidation leaching; Alkali leaching

(上接第 138 页)

[5] 李亚, 初静波, 王英凯, 等. 黑龙江某晶质石墨风化石分选实验研究[J]. *矿产综合利用*, 2021(3):39-42.

LI Y, CHU J B, WANG Y K, et al. Experimental study on separation of weathering flake graphite ore in Heilongjiang province[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2021(3):39-42.

[6] 陆燕海, 谢培轩, 忻良, 等. 人工海水制剂-海水晶[J]. *化学教育*, 2008, 29(4):1-2.

LU Y H, XIE P X, XIN L, et al. Artificial seawater preparation-sea crystal[J]. *Chemical Education*, 2008, 29(4):1-2.

[7] 赵红星, 王闻, 单文姬, 等. 浮选废水循环利用工艺研究[J]. *有色金属设计*, 2021, 48(1):31-34.

ZHAO H X, WANG W, SHAN W Y, et al. Research on recycling process of flotation wastewater[J]. *Nonferrous Metal Design*, 2021, 48(1):31-34.

[8] 周李蕾. 选矿厂废水的清洁生产技术研究——以四川某铅锌矿选矿厂为例[J]. *四川有色金属*. 2020(4): 50-55.

ZHOU L L. Research on cleaner production technology of wastewater in ore dressing plant--taking a lead-zinc ore dressing plant in Sichuan as an example[J]. *Sichuan Nonferrous Metals*. 2020(4): 50-55.

[9] 赵连兵, 先永骏, 文书明, 等. 铅锌选矿废水净化处理研究概述[J]. *矿产综合利用*, 2022(3):100-106.

ZHAO L B, XIAN Y J, WEN S M, et al. Brief introduction of lead and zinc beneficiation wastewater treatment[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2022(3):100-106.

[10] 张瑾. 非洲水问题及其治理[J]. *现代国际关系*, 2018(12):52-58.

ZHANG J. Africa's water problems and its governance[J]. *Modern International Relations*, 2018(12):52-58.

Feasibility Study on Flotation of Flake Graphite by Seawater Instead of Freshwater

YANG Li^{1,2}, ZHONG Na^{1,2}, WANG Ning^{1,2}, XIA Yanqing^{1,2,3}

(1.Jiahua Specialty Cement Co., Ltd., Leshan 614003, Sichuan, China; 2.China National Building Materials Group Corporation, Beijing 100036, China; 3.Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, Sichuan, China)

Abstract: This is an article in the field of mineral processing engineering. In this article, the effect of main ions in seawater on graphite flotation is explored by flotation test of graphite pure minerals. The results show that five main metal ions in seawater can promote graphite flotation to a certain extent, with the action intensity of $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^{+} > \text{K}^{+} > \text{Sr}^{2+}$. Only F^{-} and SO_4^{2-} anions have an influence on graphite flotation, in which SO_4^{2-} has a strong inhibiting effect, and F^{-} is relatively weak, which almost can be negligible.

Keywords: Mineral processing engineering; Seawater; Flotation; Pure minerals; Graphite