

缅甸某金矿重选 - 浸出选矿试验研究

张虹, 张雨田, 孙景敏, 李翠芬, 李荣改, 李志伟

(河南省岩石矿物测试中心 矿物加工与生物冶金研究所, 河南 郑州 450012)

摘要: 鉴于缅甸某金矿性质及当地矿山实际情况, 开展了尼尔森重选 - 尾矿氰化浸出试验条件研究。结果表明, 当采用三段不同磨矿细度, 三段尼尔森 GRG 重选流程, 可得到金品位为 292.91 g/t、回收率为 59.86% 的重砂精矿, 以及金品位为 6.45 g/t、回收率为 40.14% 重选尾矿, 同时也节约了磨矿成本。重选尾矿氰化浸出较佳条件为磨矿细度 -0.045 mm 78%、矿浆浓度 40%、石灰用量 1.5 kg/t、氰化钠用量 4.0 kg/t、浸出 20 h, 金作业回收率为 93.18%。采用尼尔森重选 - 尾矿氰化浸出联合流程, 金的总回收率可达到 97.26%。

关键词: 金矿; 尼尔森选矿; 重选; 氰化浸出

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2020.04.017

中图分类号: TD952 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2020) 04-0106-06

根据金属硫化物含量, 可将石英脉型金矿分为贫金属硫化物石英脉型金矿、少金属硫化物石英脉型金、硫化物石英脉型金和多金属硫化物石英脉型金, 其中硫化物石英脉型金为主要矿石类型。石英脉型金矿的矿石成分较简单, 有用矿物主要为自然金和银金矿, 金属硫化矿物多为黄铁矿, 脉石以石英为主。在石英脉型金矿重选方面, 尼尔森选矿机相对传统重选设备具有富集比高, 处理量大, 对环境友好, 占地面积小, 成本低等优势, 通常与浮选、氰化等工艺进行联合使用,

可取得良好的试验指标^[1-2]。

1 原矿性质

1.1 原矿化学组成及矿物组成

该矿石自然类型是硫化物石英脉型金矿石, 围岩主要为热液蚀变岩。原矿多元素分析结果见表 1。矿样中金属矿物主要为黄铁矿、闪锌矿、磁黄铁矿、钛铁矿和黄铜矿, 有少量自然金和微量碲铅矿等; 非金属矿物主要有石英、斜长石、绿泥石、云母、白云石和方解石, 其次含少部分角闪石等。

表 1 原矿多元素分析结果 /%

Table 1 Multi-element analysis results of the ore

Au*	Ag*	Cu	Zn	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	As*	Sb*	SiO ₂	S
14.79	12.70	0.078	0.079	11.47	4.44	7.66	1.78	3.35	0.99	34.23	6.67	63.03	2.36

* 单位为 g/t。

1.2 金矿物赋存状态

表 2 原矿多元素分析结果 /%

Table 2 Multi-element analysis results of the ore

相别	裸露半 裸露金	碳酸 盐	铜铅锌 硫化矿	赤铁 矿	硫铁 矿	石英 硅酸盐	合计
品位 (g·t ⁻¹)	12.76	0.26	0.42	0.17	0.90	0.24	14.75
分布率 /%	86.51	1.76	2.85	1.15	6.1	1.63	100.00

金物相分析结果见表 2。

表 3 矿石中自然金的嵌布粒度统计结果

Table 3 Statistical results of dissemination size of the gold in the ore

粒级	粒度范围 /mm	分布率 /%
巨粒	-0.295	7.68
粗粒	-0.295+0.074	21.28
中粒	-0.074+0.037	26.74
细粒	-0.037+0.010	43.27
微粒	-0.010	1.04

收稿日期: 2019-04-30

作者简介: 张虹 (1984-), 女, 硕士, 助理工程师, 主要从事选矿工艺研究工作。

从表2可知,当矿石细度为-0.074 mm 95%时,裸露半裸露金占86.51%,包裹金占13.49%,包裹金很难与浸金剂接触而损失于尾矿中。金粒度分析结果见表3、4。

表4 原矿自然金的嵌布分析结果
Table 4 Analysis results of dissemination characteristics of the gold in the ore

嵌布类别	嵌布状态	占有率 /%	合计 /%
包裹金	脉石矿物中	13.47	61.35
	硫化物中	47.88	
粒间金	脉石矿物粒间	2.24	9.48
	硫化物粒间	1.00	
裂隙金	硫化物与脉石矿物粒间	6.24	29.18
	硫化物裂隙	25.44	
	脉石裂隙	3.74	

由表3可知,矿石中自然金嵌布粒度不均,细粒(0.01~0.037 mm)43.27%,+0.037 mm的中粗粒级55.70%。

由表4可知,金颗粒主要是以包裹金(61.35%)形式存在,其次是裂隙金(占29.18%),粒间金占比较小(占9.48%)。在包裹金形式中,嵌连矿物硫化矿和脉石(13.47%)的分布率依次为47.88%、13.47%;在裂隙金中,主要以硫化矿裂隙为主。

2 选矿试验

尼尔森选矿机属于强化重力的高效离心选矿设备,其分选自动化程度高,回收粒级宽,+0.037 mm为极易回收粒级、0.010~0.037 mm为可回收粒级。其回收效果优于传统的重选设备,适用于条件较差的贵金属选厂[3-5]。

由岩矿鉴定可知,原矿自然金嵌布粒度不均,+0.037 mm的中粗粒级金约占55.70%,嵌布状态为裂隙及粒间金,粒度稍大,较易单体解离,而以细粒、包裹为主的自然金较难回收,所以考虑该矿石性质以及实际环境条件,采用尼尔森GRG

试验回收中粗颗粒金,尾矿使用氰化浸出试验回收细粒金的联合流程工艺。

2.1 原矿 GRG 试验

为了有利于中、粗粒金矿物的回收以及单体解离金的及时分选,采取尼尔森重选阶段磨矿,阶段选别流程[6]。根据KC-MD3尼尔森选矿机厂家推荐使用方法,采用重力倍数为60 G,流态化水量3.5 L/min,给矿速度(400~1000) g/min,进行10 kg原矿石的三段选别GRG试验。试验条件及试验流程图见图1,试验结果见表5。

表5 原矿 GRG 试验结果
Table 5 GRG test results of ore samples

产物名称	产率 /%	Au 品位 / (g·t ⁻¹)	Au 回收率 /%
精矿 ¹	0.31	1201.77	23.94
中矿 ¹	0.74	76.57	3.64
精矿 ²	0.30	733.76	14.15
中矿 ²	0.79	103.65	5.26
精矿 ³	0.26	573.26	9.58
中矿 ³	0.78	65.63	3.29
尾矿	96.82	6.45	40.14
重砂精矿	3.18	292.91	59.86
原矿	100.00	15.56	100.00

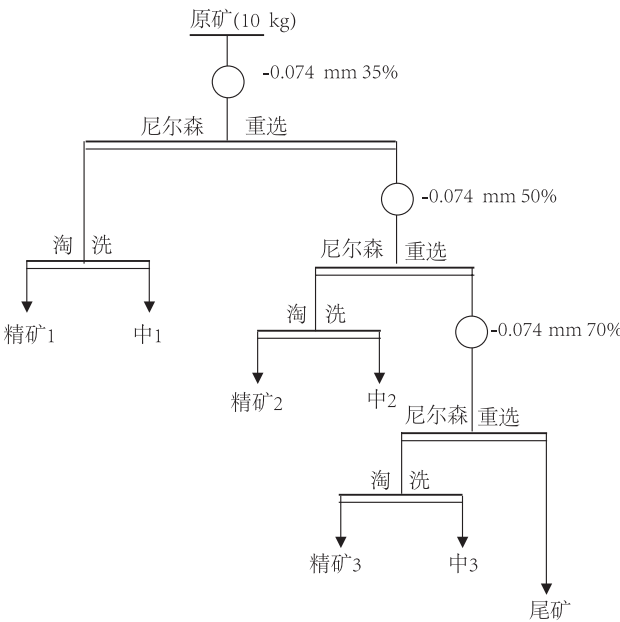


图1 原矿 GRG 试验流程
Fig 1 GRG flowsheet of ore samples

三段 GRG 试验得到的精矿 1、精矿 2、精矿 3、中矿 1、中矿 2、以及中矿 3 合并重砂精矿，其产率为 3.18%，Au 品位 292.91g/t，Au 回收率 59.86%，即 GRG 值为 59.86。三次经过手工淘洗后的精矿 1、精矿 2、精矿 3 合并为尼尔森重砂精矿，其产率为 0.87%，精矿品位为 852.56 g/t，精矿富集比为 54.79 倍，回收率为 47.67%。从试验数据可以看出，尼尔森离心选矿机对矿石中的金有较好的回收效果，且该数据与原矿工艺矿物学的研究结果相对吻合。

2.2 原矿 GRG 试验尾矿粒度筛析

为考察尼尔森选矿机对不同粒级的金的回收效果，对 GRE 试验尾矿进行了粒度分析，筛析结果见表 6。

表 6 GRG 试验尾矿粒度筛析结果
Table 6 Size sieving results of tailings in GRG test

粒级 /mm	产率 /%	Au 品位 / (g·t ⁻¹)	Au 分布率 /%
+0.074	31.85	4.43	22.17
-0.074+0.045	20.25	5.82	18.52
-0.045+0.038	7.96	7.99	9.99
-0.038	39.94	7.86	49.32
合计	100.00	6.37	100.00

从筛析结果可知，+0.074 mm 粒级中金品位为 4.43 g/t，是所有粒级中金含量最低的级别，说明尼尔森选矿机对该级别的金的回收效果较好，-0.038 mm 和 0.045 ~ 0.038 mm 级别中金品位较其他级别要高，分别为 7.99 g/t 和 7.86 g/t，说明尼尔森对这两个级别的金的回收效果较差。

2.3 GRG 试验尾矿氰化浸出试验

原矿通过尼尔森重选对原矿细度 -0.074 mm 70% 条件下的大部分中粗颗粒金进行了回收，重选尾矿中的金为细颗粒金和部分包裹金。为此需对重选尾矿（GRG 试验尾矿）的进行全泥氰化浸出试验，试验流程见图 2。

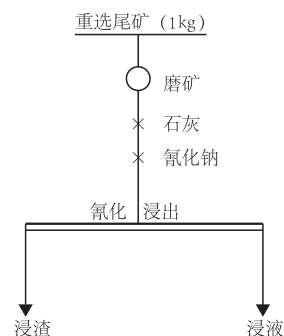


图 2 重选尾矿浸出试验流程

Fig. 2 Leaching flowsheet of gravity separation of tailings

其条件试验主要包括磨矿细度、矿浆浓度、石灰用量、氰化钠用量以及浸出时间。

2.3.1 磨矿细度试验

磨矿细度试验条件：矿浆浓度 40%，添加石灰 1.5 kg/t，调节矿浆 pH 值至 10 ~ 11，氰化钠用量 4.0 kg/t，采用机械搅拌浸出，浸出时间 20 h。磨矿细度条件试验结果见表 7。

表 7 磨矿细度条件试验结果
Table 7 Condition test results of grinding fineness

磨矿细度 /%	浸渣 Au 品位 / (g·t ⁻¹)	Au 浸出率 /%
-0.074mm 70%	0.93	85.58
-0.074mm 90%	0.79	87.75
-0.045mm 78%	0.44	93.18
-0.045mm 85%	0.42	93.49
-0.045mm 90%	0.40	93.80

表 7 试验结果表明，随着磨矿细度的提高，浸渣品位是逐渐降低，浸出率逐渐上升。当重选尾矿不磨矿直接浸出，即 -0.074 mm 70% 时，金的浸出率为 85.58%；当磨矿细度 -0.045 mm 78% 时，金的浸出率达到 93.18%，之后磨矿细度再增加，金的浸出率提高不明显，因此，确定磨矿细度 -0.045 mm 78%。

2.3.2 矿浆浓度条件试验

对 GRG 试验尾矿进行不同矿浆浓度条件下的的氰化浸出试验研究，矿浆浓度分别为 30%、35%、40% 和 45%。试验条件：磨矿细度为 -0.045 mm

78%，矿浆 pH 值保持在 10 至 11 之间，氰化钠用量 4.0 kg/t，浸出时间为 20 h。矿浆浓度条件试验结果见表 8。

表 8 矿浆浓度条件试验结果
Table 8 Condition test results of pulp density

矿浆浓度 /%	浸渣 Au 品位 /(g·t ⁻¹)	Au 浸出率 /%
30	0.41	93.64
35	0.42	93.49
40	0.44	93.18
45	0.46	92.87

从表 8 结果可以看出，矿浆浓度越低浸出率越高，矿浆浓度越高浸出率越低，虽然低矿浆浓度能够得到更高的浸出率，但是工业生产上对设备的投入会更高，而且氰化钠的消耗量也会增加，综合考虑，建议生产上选择矿浆浓度为 40%。

2.3.3 石灰用量

为保证矿浆溶液合适的碱度，使氰化浸出反应顺利进行，考察了石灰用量，其试验条件为：磨矿细度为 -0.045 mm 78%，矿浆浓度 40%，氰化钠用量 4.0 kg/t，浸出时间为 20 h。石灰用量试验结果见表 9。

表 9 石灰用量条件试验结果
Table 9 Condition test results of lime dosage

石灰用量 /(kg·t ⁻¹)	浸渣 Au 品位 /(g·t ⁻¹)	Au 浸出率 /%
0.5	1.26	80.47
1.0	0.79	87.75
1.5	0.44	93.18
2.0	0.53	91.78
2.5	0.61	90.54

表 9 试验结果表明，随着石灰用量的增加，金的浸出率随之升高，当石灰量 1.5 kg/t 时，金的浸出率为 93.18%，达到最高，之后随着石灰用量增加，金的浸出率反而下降，说明石灰过量不利于金的浸出。因此石灰用量选用 1.5 kg/t，此时矿浆 pH 值保持在 11 左右。

2.3.4 氰化钠用量试验

金的氰化浸出反应是颗粒金溶解于氰化物溶

液的电化学反应^[7]，其综合反应式： $2\text{Au}+8\text{CN}^-+\text{O}_2+2\text{H}_2\text{O}=4\text{Au}(\text{CN})_2^-+4\text{OH}^-$

氰化钠用量试验条件：磨矿细度为 -0.045 mm 78%，矿浆浓度为 40%，添加石灰 1.5 kg/t 使矿浆 pH 值保持在 10 至 11 之间，浸出时间为 20 h。氰化钠用量条件结果见表 10。

表 10 氰化钠用量条件试验结果
Table 10 Condition test results of sodium cyanide dosage

氰化钠用量 /(kg·t ⁻¹)	浸渣 Au 品位 /(g·t ⁻¹)	Au 浸出率 /%
0.9	2.28	64.65
2.0	0.88	86.36
3.5	0.76	88.22
4.0	0.44	93.18
4.5	0.44	93.18

从表 10 结果可以看出，随着氰化钠用量加大，金的浸出率也随之提升，当氰化钠用量达到 4.0 kg/t，金的浸出率为 93.18%，再增加氰化钠用量，金的浸出率并未得到提升，因而确定氰化钠用量为 4.0 kg/t。

2.3.5 浸出时间试验

试验条件为磨矿细度为 -0.045 mm 78%，矿浆浓度为 40%，添加石灰 1.5 kg/t 使矿浆 pH 值 10 至 11 之间，氰化钠用量 4.0 kg/t。浸出时间条件结果见表 11。

表 11 浸出时间条件试验结果
Table 11 Condition test results of leaching time

浸出时间 /h	浸渣 Au 品位 /(g·t ⁻¹)	Au 浸出率 /%
2	2.25	65.12
4	0.91	85.89
8	0.83	87.13
20	0.44	93.18
24	0.44	93.18

从表 11 结果可知，随着浸出时间的延长，金的浸出率逐渐提升，当浸出时间为 20 h 时，金的浸出率为 93.18，再继续延长浸出时间，金的浸出率并未得到提升，所以确定浸出时间为 20 h。

表 12 全流程综合试验结果
Table 12 Test results of the whole process

工艺名称	产品名称	产率 /%	Au 品位 / (g·t ⁻¹)	Au 回收率 /% 作业	对原矿
重选	重砂精矿	3.18	292.91	-	59.86
	重选尾矿	96.82	6.45	-	40.14
氰化	浸渣	-	0.44	93.18	37.40
重选 - 氰化	-	-	-	-	97.26
	原矿	100.00	15.56	-	100.00

从试验结果表 12 可知, 在三段不同磨矿细度的条件下, 进行三段尼尔森重选得到的总重砂精矿产率为 3.18%, 品位为 292.91 g/t, 回收率为 59.86%。重砂精矿已合格产品可进行出售或者进一步精加工。在较佳浸出条件下, 重选尾矿中的金浸出效果非常稳定, 浸渣品位为 0.44 g/t, 作业回收率为 93.18%。尼尔森重选 - 氰化浸出联合工艺流程工艺金的总回收率为可达到 97.26%

3 结 论

(1) 该矿属于石英脉型金矿石, 矿样中金属矿物主要为黄铁矿, 非金属矿物主为有石英。金银矿物以自然金为主, 其金品位为 14.79 g/t, 银品位为 12.70 g/t。该矿中自然金呈不均匀嵌布, 对于 +0.037 mm 的中粗粒级金采用尼尔森重选方法回收, 对于细粒包裹体金采用全泥氰化浸出工艺回收。

(2) 重选试验采用三段不同磨矿细度、三段选别的尼尔森 GRG 工艺流程, 获得的重砂精矿中金品位为 292.91 g/t, 回收率为 59.86%; 重选尾矿中金品位为 6.45 g/t, 回收率为 40.14%。

(3) 重选尾矿氰化浸出较佳条件为: 磨矿细度为 -0.045 mm 78%, 矿浆浓度为 40%, 添加石灰 1.5 kg/t 使矿浆 pH 值保持在 10 至 11 之间, 氰化钠用量 4.0 kg/t, 浸出 20 h, 可得到浸渣金品位为 0.44 g/t, 作业回收率为 93.18% 的指标。

(4) 根据该矿石性质以及矿山自身条件, 采用尼尔森重选 - 氰化浸出联合工艺流程, 获得了金总回收率为 97.26% 的良好指标。

参考文献:

- [1] 肖骏, 房朝军, 陈代雄, 等. 河南某石英脉型金矿选矿技术 [J]. 矿产综合利用, 2015(4):73-77.
- Xiao J, Fang C J, Chen D X, et al. Mineral Processing Technology for a Quartz Vein Type Gold Deposit in Henan Province [J]. Mineral Comprehensive Utilization, 2015 (4):73-77.
- [2] 陈桥, 杨洪英, 陈贵民, 等. 尼尔森重选在我国石英脉型金矿选矿工艺中的应用 [J]. 黄金科学技术, 2017,25(5):73-79.
- Chen Q, Yang H Y, Chen G M, et al. Application of Nelson Reconcentration in Quartz Vein Type Gold Ore Dressing Process in China [J]. Gold Science and Technology, 2017,25 (5) : 73-79.
- [3] 邱沙, 郭鹏志, 谢建平. 苏丹某金矿尼尔森重选 - 氰化浸出试验研究 [J]. 矿产综合利用, 2017(2):19-23, 18.
- Qiu S, Guo Peng Z, Xie J P. Experimental Study on Nelson Reconcentration and Cyanidation Leaching in a Gold Mine in Sudan [J]. Mineral Comprehensive Utilization, 2017 (2):19-23, 18.
- [4] 陈小辉, 宋洪旺. 尼尔森选矿机在某金选厂重选改造中的应用 [J]. 现代矿业, 2018,34(4):137-139, 141.
- Chen X H, Song H W. Application of nelson concentrator in the reconstruction of a gold concentrator [J]. Modern mining, 2008,34 (4) : 137-139 , 141.
- [5] 张金钟, 姜良友, 吴振祥, 等. 尼尔森选矿机及其应用 [J]. 有色矿山, 2003(3):28-31, 37.
- Zhang J Z, Jiang L Y, Wu Z X, et al. Nelson cConcentrator and Its Application [J]. Nonferrous Mine, 2003 (3) : 28-31 , 37.
- [6] 戴新宇, 王昌良, 董小骥, 等. 尼尔森选矿机回收金铜矿中的金 [J]. 有色金属: 选矿部分, 2011(S1):143-145
- Dai X Y, Wang C L, Dong X J, et al. Recovery of Gold from Gold and Copper by Nelson Concentrator [J]. Nonferrous metals: Mineral Processing , 2011 (S1) : 143-145.
- [7] 江涛. 提金化学 [M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1998.
- Jiang Tao. Chemistry of Gold Extraction [M]. Changsha: Hunan Science and Technology Press, 1998.

(下转 99 页)

Experimental Study on Ore Dressing of Lean Magnetite in Anshan Area

Li Boqi, Xie Xian, Ji Cuicui, Zhu Hui, Li Jie, Kang Bowen

(Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, State Key Laboratory of Complex Nonferrous Metal Resources Clean, Utilization, Yunnan Province Engineering Research Center for Reutilization of Metal Tailings Resources, Kunming, Yunnan, China)

Abstract: With the rapid development of China's economy, the demand for iron ore is increasing. In recent years, the import volume of iron ore has raised with year by year, and the dependence on foreign countries has reached 75%. Although Chinese iron ore reserves are large, but the grade is low and the endowment is poor, the development and utilization of refractory ores lean magnetite is of great significance for solving the current situation of iron ore resource shortage in China. The poor magnetite ore sample used in the experiment is from Anshan area, Liaoning Province. The raw ore has a TFe grade of 15.85%. The main metal minerals are magnetite, a small amount of hematite and limonite, while gangue minerals are mainly quartz and buried. The granularity is fine. The test uses a process of "high pressure roll mill ultrafine crushing - dry preselection - stage grinding - single magnetic separation" to sort the lean magnetite. Finally, the iron concentrate grade is 67.24%, the iron recovery rate is 60.88%, and the yield is 14.75%.

Keywords: Poor magnetite; High pressure roller mill; Ultrafine crushing; Single magnetic separation

////////////////////////////////////
(上接 110 页)

Experimental Study on a Gold Ore with Gravity Separation-cyanidation for Gravity Tailings Process

Zhang Hong, Zhang Yutian, Sun Jingmin, Li Cuifen, Li Rongchang, Li Zhiwei

(Mineral Processing and Biometallurgy Institute, Rock and Mineral Testing Center of Henan Province, Zhengzhou, Henan, China)

Abstract: According to the characteristics of a gold ore in Myanmar and the actual requirements of the local mines, the conditions for the Knelson gravity separation-cyanidation for gravity tailings process were carried out, and the results show that after three-stages of different grinding and three-stage GRG process, gravity concentrate sand gravity tailings can be obtained, and the gold grade is 6.45 g/t, and the grades and recovery rates are 292.91 g/t, 6.45 g/t, 59.86% and 40.14% respectively. The best conditions for cyanidation for gravity tailings are grinding fineness -0.045mm, 78%, pulp concentration 40%, lime dosage 1.5kg/t, sodium cyanide dosage 4.0 kg/t, leaching time 20 hours, the gold operating rate is 95.15%. The Gold total recovery rate of the whole joint process could reach 97.26%.

Keywords: Gold ore; Knelson beneficiation; Gravity separation; Cyanide leaching