

海南某金矿尼尔森重选-浮选试验

陈 桥, 杨洪英, 佟琳琳
(东北大学 冶金学院, 辽宁 沈阳 110819)

摘 要: 以海南某石英脉型金矿石为原料, 进行尼尔森重选-浮选试验研究. 通过 GRG 试验得出金矿中重选可回收金质量分数为 80.88%. 通过条件试验确定了该矿石尼尔森重选-浮选的最佳条件为: 磨矿细度-74 μm 占 80%, 相对离心力 60g, 反冲水压 16 kPa, 矿浆质量分数 40%, 戊基黄药用量 200 g/t, 浮选时间 5 min. 原矿石品位 9.8 g/t, 利用尼尔森选矿机一次分选可得品位 230 g/t, 金回收率 80.30% 的重选精矿. 重选尾矿品位 2.0 g/t, 经过一次粗选一次精选三次扫选处理, 可得浮选精矿品位 57.3 g/t, 浮选金作业回收率 75.66%. 经尼尔森重选-浮选流程处理后, 尾矿金品位降至 0.5 g/t, 全流程金总回收率 95.21%.

关 键 词: 金矿; 尼尔森选矿机; GRG 试验; 重选; 浮选

中图分类号: TD 922 文献标志码: A 文章编号: 1005-3026(2020)03-0413-06

Processing a Gold Ore from Hainan Province Using Knelson Gravity Concentration-Flotation

CHEN Qiao, YANG Hong-ying, TONG Lin-lin
(School of Metallurgy, Northeastern University, Shenyang 110819, China. Corresponding author: YANG Hong-ying, E-mail: yanghy@smm.neu.edu.cn)

Abstract: The experimental study of Knelson gravity concentration-flotation technology of a quartz-vein type gold ore in Hainan Province was carried out. The GRG (gravity recoverable gold) test showed that the gold content in the gold ore is 80.88%. The optimal technological conditions of Knelson gravity concentration-flotation for the ore were determined by condition test to be a grinding size of 80% powder below 74 μm, a relative centrifugal force of 60 g, a fluidizing water pressure of 16 kPa, a feed slurry mass fraction of 40%, a dosage of amyl xanthate of 200 g/t and a flotation time of 5 min. A gold concentrate with grade of 230 g/t and recovery of 80.30% can obtained from the raw ore (9.8 g/t) by gravity separation, and a gold concentrate with grade of 57.3 g/t and recovery of 75.66% can be obtained from the gravity separation tailing by a flotation process of one roughing, one cleaning and three scavengings. The gold grade of final tailings is 0.5 g/t and the total gold recovery in the Knelson gravity concentration-flotation process is 95.21%.

Key words: gold ore; Knelson concentrator; GRG (gravity recoverable gold) test; gravity concentration; flotation

石英脉型金矿分布广、数量多,是当前我国黄金生产主要的金矿类型. 该矿石中金矿物多为自然金和银金矿,金矿物粒度分布因矿区而异. 处理石英脉型金矿的方法主要有重选法、浮选法、氰化法重选-浮选以及重选-氰化联合工艺等^[1]. 随着矿产资源开发利用过程中环保要求的逐渐增高以及离心选矿设备的出现,重力选矿在黄金生产中的地位日益突出^[2]. 尼尔森选矿机是一种新型的离心选矿设备,具有体积小、富集比高、生产成本低及环境友好等优点,广泛应用于黄金选矿领域^[3-4]. 尼尔森选矿机不仅能有效回收粗颗粒金,同时对微细粒金也有较好的回收效果^[5-6]. 尼尔森选矿机通常安装在磨矿回路中,在浮选、氰化浸出等工艺之前回收金,可有效提高金回收率^[7-8].

海南某大型石英脉型金矿目前采用跳汰-全泥氰化的生产工艺^[9]. 因氰化物危害巨大,迫于

环保压力,开发绿色工艺,进行技术改革是企业实现可持续发展的必由之路. 本文针对该金矿的矿石特性,提出尼尔森重选-浮选的联合工艺并探究最优选矿条件及技术指标,旨在开发出适合该类型金矿的绿色高效选矿工艺,为企业工艺改造提供依据.

1 原料分析

本试验所用原料由海南某金矿提供,矿石金

品位为 9.8 g/t,其化学成分如表 1 所示. 通过工艺矿物学研究表明,矿石中矿物组成相对简单,金属矿物主要为黄铁矿和钛铁矿,还有微量辉铋矿和单质铋;脉石矿物主要为石英、白云母、绿泥石和长石. 矿石中金矿物以自然金为主,粒度分布范围较广,有巨粒金、粗粒金、中粒金及微细粒金. 金矿物的赋存状态主要为包裹金、粒间金及裂隙金,其中裂隙金和粒间金质量分数约为 50%,这部分金矿物在磨矿过程中易解离,可利用重选回收.

表 1 原矿石的化学成分(质量分数)

Table 1 Chemical composition of the raw ore(mass fraction)										%
组分	Au *	Ag *	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	MgO	TiO ₂	SO ₃
w	9.8	1.2	62.19	18.25	7.68	6.04	1.97	1.29	0.95	0.69
组分	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	ZrO ₂	PbO	Rb ₂ O	Cl	ZnO	SrO	其他
w	0.52	0.12	0.11	0.04	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.04

* :单位 g/t.

2 GRG 试验

GRG(gravity recoverable gold) 试验是由加拿大麦吉尔大学提出的一种评估金矿石中重选可回收金含量的方法,该试验包括 3 次磨矿和 3 次尼尔森分选过程,是工业生产中预测和分析尼尔森重选效果的主要途径^[10-11].

试验所用原矿石 20 kg, 尼尔森选矿机(MD3)的操作条件为相对离心力 60g,反冲水压 14 kPa,矿浆质量分数 30% ~ 40%,给矿速度 400 ~ 1 000 g/min. 将 20 kg 样品磨至 -2 mm 以下(-74 μm 占 30%),调浆后进行第一次尼尔森分选,所得精矿经淘金盘淘洗后得到淘洗精矿 1 和淘洗尾矿 1. 将一次尼尔森重选尾矿磨矿至 -74 μm 占 53%,重复尼尔森分选及淘洗步骤,得到淘洗精矿 2 和淘洗尾矿 2;将二次重选尾矿再次细磨,至 -74 μm 占 80% 后进行第三次选别,得到淘洗精矿 3、淘洗尾矿 3 及最终尾矿. 分别分析淘洗精矿、淘洗尾矿及最终尾矿品位,计算各步骤金回收率. 试验结果如表 2 所示.

由表 2 可知,在粗磨细度为 -74 μm 占 30% 时,对应的淘洗精矿 1 品位可达 1.23%,淘洗尾矿 1 品位 118.08 g/t. 淘洗精矿 1 中存在较多肉眼可见金,用体视镜观察可发现大量单体金(图 1)及金矿物连生体(图 2). 一次尼尔森分选金回收率为 48.40%,表明接近一半的金矿物在粗碎过程中解离,巨粒、粗粒及中粒金几乎全部回

收. 二次分选获得淘洗精矿 2 品位 4 567.5 g/t,淘洗尾矿 2 品位 88.0 g/t,金回收率为 20.14%. 体视镜下观察淘洗精矿 2 可发现少量颗粒金,如图 3

表 2 原矿石 GRG 试验结果
Table 2 GRG test results of raw ore

w(磨矿细度 - 74 μm) %	产 品	产率 %	金品位 g·t ⁻¹	回收率 %
30	淘洗精矿 1	0.03	123.00	42.67
	淘洗尾矿 1	0.48	118.1	5.73
53	淘洗精矿 2	0.04	4 567.5	16.34
	淘洗尾矿 2	0.42	88.0	3.80
80	淘洗精矿 3	0.04	2 391.3	9.55
	淘洗尾矿 3	0.36	75.7	2.79
	尾矿	98.63	1.9	19.12
	原矿	100	9.8	100.00
总回收率/%				80.88

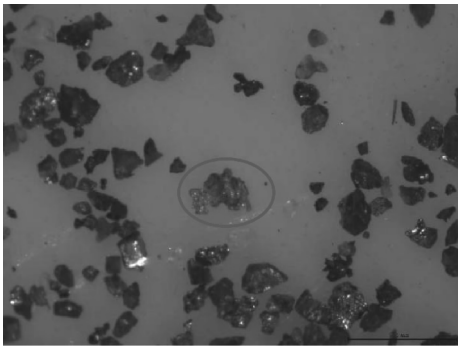


图 1 淘洗精矿 1 中单体金
Fig. 1 Free gold in elutriation concentrate 1

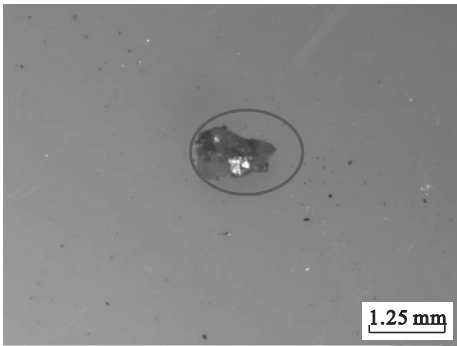


图 2 淘洗精矿 1 中金-石英连生体
Fig. 2 Intergrowth of quartz and gold in elutriation concentrate 1

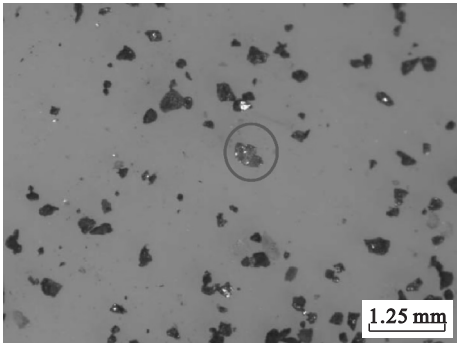


图 3 淘洗精矿 2 中单体金
Fig. 3 Free gold in elutriation concentrate 2

所示。三次分选获得淘洗精矿 3 品位 2 391.3 g/t, 淘洗尾矿 3 品位 75.7 g/t, 金回收率为 12.34%, 淘洗精矿 3 中未发现肉眼可见金, 利用扫描电子显微镜可观察到微细粒金(图 4), 说明尼尔森选矿机对细粒金也有较好的回收效果。GRG 试验尼尔森重选尾矿品位为 1.9 g/t, 金总回收率为 80.88%, 表明该金矿中重选可回收金含量较高, 适合尼尔森重选工艺。

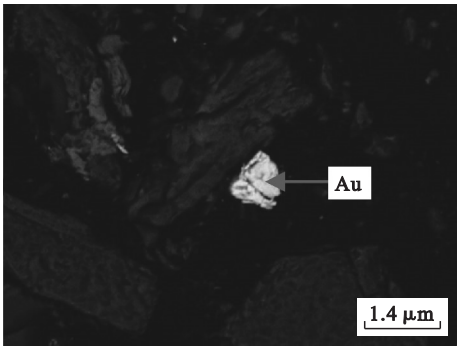


图 4 淘洗精矿 3 中金矿物扫描电镜照片
Fig. 4 SEM photomicrograph of gold in elutriation concentrate 3

3 重选条件试验

3.1 磨矿细度

磨矿细度直接决定金矿物的解离度, 同时磨

矿过程也会产生很高的成本, 合适的磨矿细度对选矿生产至关重要。因此, 首先探究磨矿细度对尼尔森重选的影响。设定试验条件为: 相对离心力 60 g, 矿浆质量分数 40%, 反冲水压 14 kPa, 给矿速度 500 g/min, 以金精矿品位及金回收率为考察指标, 磨矿细度试验结果如图 5 所示。

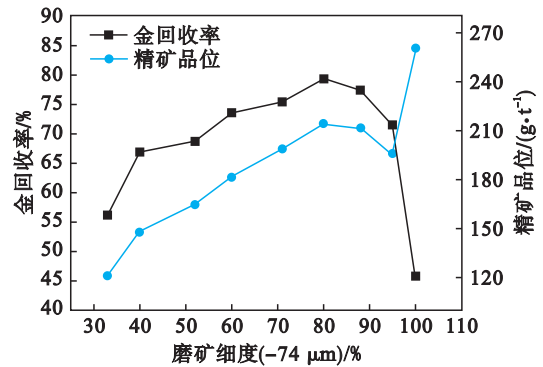


图 5 磨矿细度对重选指标的影响
Fig. 5 Influence of particle size on gravity concentration indexes

由图 5 可知, 在磨矿细度 -74 μm 占 95% 以内, 随着磨矿细度增加, 精矿品位和金回收率均为先增加后降低, 并在磨矿细度为 -74 μm 占 80% 时达到最大值, 分别为 214.4 g/t 和 79.35%。当 -74 μm 质量分数达到 100% 时, 由于矿石粒度过细, 分选床层遭到破坏。虽然此时留在富集锥中的少量精矿品位较高, 但由于金精矿产率过少, 大量金在尾矿中流失, 导致金回收率急剧降低。综合以上分析, 确定最佳磨矿细度为 -74 μm 占 80%。

3.2 相对离心力

尼尔森选矿机分选过程是在高倍的重力场下, 通过扩大不同密度矿物之间所受的重力差来实现轻重矿物分离的, 因此相对离心力(g)值是影响矿物分选效果的重要参数。磨矿细度取 -74 μm 占 80%, 设置矿浆质量分数 40%, 反冲水压 14 kPa, 给矿速度 500 g/min, 探究相对离心力对精矿品位和金回收率的影响。试验结果如图 6 所示。

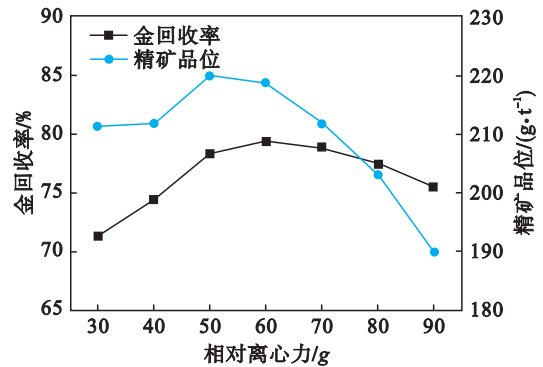


图 6 相对离心力对重选指标的影响
Fig. 6 Influence of relative centrifugal force on gravity concentrate indexes

由图 6 可以看出,随着相对离心力增大,精矿品位和金回收率均为先增加后降低. 精矿品位在 50 g 时达到最大值 219.9 g/t,金回收率在 60g 时达到最大值 79.33%,此时精矿品位为 218.7 g/t,与 50 g 时相差不多;同时考虑到重选精矿还需利用摇床进一步精选,因此本试验优先选择最大金回收率. 综合以上分析,确定最佳相对离心力为 60g.

3.3 反冲水压

尼尔森选矿机富集床层在反冲水作用下保持适度的流态化是实现金矿物连续富集的保证,选择合适的反冲水压对提高尼尔森重选效果意义重大. 确定磨矿细度(−74 μm)为 80%,相对离心力 60 g,设置矿浆质量分数 40%,给矿速度 500 g/min. 探究反冲水压对精矿品位和金回收率的影响. 试验结果如图 7 所示.

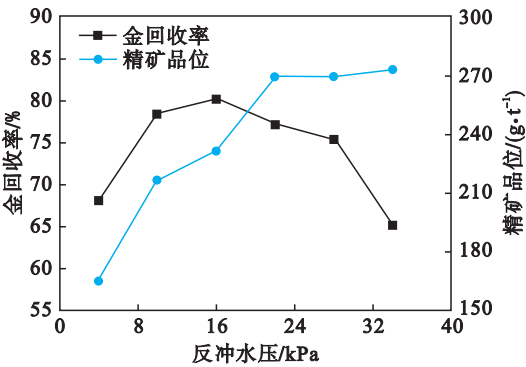


图 7 反冲水压对重选指标的影响

Fig. 7 Influence of fluidizing water pressure on gravity concentrate indexes

由图 7 可知,随着反冲水压不断增大,精矿品位先迅速增大,在反冲水压为 22 kPa 时达到最大值后基本不变. 金回收率随着反冲水压增加先升高后降低,在 16 kPa 时达到最大值为 80.29%,此时精矿品位为 231.5 g/t. 反冲水压较小时分选床层出现压死现象,分选效果较差,精矿品位和金回收率均较低;反冲水压过大会导致精矿产率过低,部分金随尾矿流失,金回收率降低. 综合分析,确定最佳反冲水压为 16 kPa.

3.4 矿浆质量分数

矿浆质量分数是选矿工艺中一个重要参数,不仅影响选矿指标,同时还关系到整个选矿流程中的水平衡. 确定磨矿细度(−74 μm)占 80%,相对离心力 60 g,反冲水压为 16 kPa,给矿速度 500 g/min. 探究矿浆质量分数对精矿品位和金回收率的影响. 试验结果如图 8 所示.

由图 8 可知,随着矿浆质量分数增加,金回收率先增大后降低,但变化幅度较小,在矿浆质量分

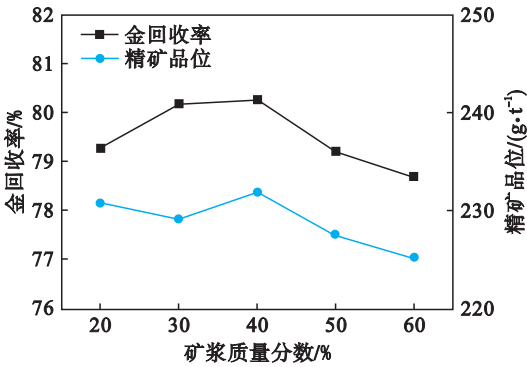


图 8 矿浆质量分数对重选指标的影响

Fig. 8 Influence of slurry mass fraction on gravity concentrate indexes

数为 30% 和 40% 时金回收率几乎相同. 精矿品位随着矿浆质量分数的变化出现微小波动,在矿浆质量分数为 40% 时精矿品位最高. 总体来看,矿浆质量分数对尼尔森重选指标影响不大,实际生产中应根据流程中矿浆质量分数合理调整. 本试验确定最佳矿浆质量分数为 40%.

根据以上试验,确定出该矿石尼尔森选矿机重选的最佳操作为磨矿细度(−74 μm)占 80%,相对离心力 60 g,反冲水压 16 kPa,矿浆质量分数 40%. 在此条件下,利用尼尔森选矿机处理原矿石可得品位 230 g/t、回收率 80.30% 的重选精矿,所得尾矿金品位 2.0 g/t.

4 浮选试验

以尼尔森选矿机重选所得尾矿为浮选原矿,进行浮选试验研究. 浮选原矿金品位为 2.0 g/t,粒度为 −74 μm 占 80%. 利用一次粗选流程分别考察捕收剂用量及浮选时间对浮选效果的影响,得出最佳浮选条件,并在此基础上进行闭路浮选试验.

4.1 捕收剂用量

经过浮选药剂对比试验,选择出戊基黄药为最佳捕收剂. 在 pH 中性,水玻璃用量 200 g/t,硫酸铜用量 100 g/t,11 号油用量 20 g/t,浮选时间 4 min 的条件下进行捕收剂用量试验,考察戊基黄药用量对浮选效果的影响. 试验结果图 9 所示.

由图 9 可知,随着戊基黄药用量的增加,精矿品位逐渐下降,金回收率逐渐上升,当戊基黄药用量超过 200 g/t 时,金回收率增加幅度减小并趋于不变,说明戊基黄药用量为 200 g/t 时即可满足浮选要求,此时精矿品位为 20.0 g/t,金回收率为 60.05%.

4.2 浮选时间

浮选时间的长短直接影响精矿产率及金回收

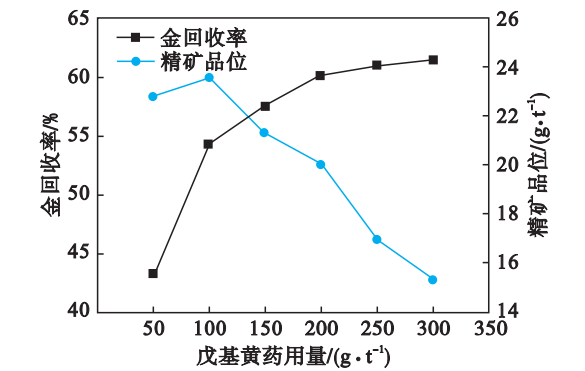


图 9 戊基黄药用量对浮选结果的影响
Fig. 9 Influence of collector dosage on flotation concentrate index

率,浮选时间过短,目标矿物未能与气泡充分接触,精矿回收率较低;浮选时间过长则会降低设备处理效率,增加成本.在捕收剂用量为 200 g/t 条件下,考察浮选时间对浮选结果的影响.试验结果如图 10 所示.

由图 10 可知,当浮选时间为 5 min 时,精矿品位和金回收率较高,进一步增加浮选时间,精矿品位急剧降低,金回收率几乎不变,故确定浮选时

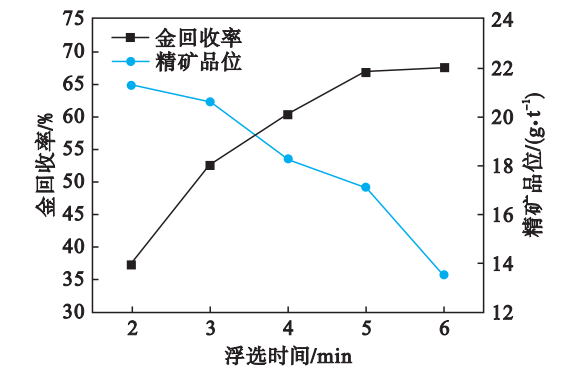


图 10 浮选时间对浮选结果的影响
Fig. 10 Influence of flotation time on flotation concentrate index

间为 5 min,此时精矿品位为 17.1 g/t,金回收率为 66.80% .

4.3 闭路实验

经过精选试验和扫选试验,确定出合理的浮选流程为一次粗选、一次精选及三次扫选流程,在此基础上进行闭路浮选试验,浮选原矿为尼尔森重选矿机重选尾矿,浮选流程如图 11 所示,试验结果如表 3 所示.

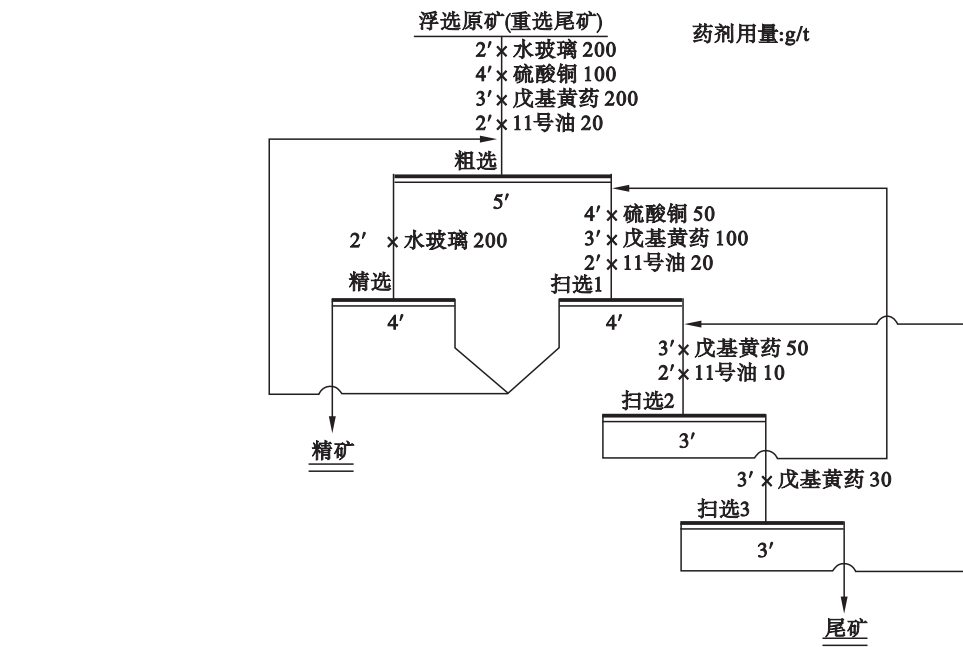


图 11 闭路浮选试验流程
Fig. 11 Flowsheet of closed-circle flotation

表 3 闭路浮选试验结果			
Table 3 Test results of closed-circuit flotation			
产品	产率/%	品位/(g·t ⁻¹)	作业回收率/%
金精矿	2.64	57.3	75.66
尾矿	97.36	0.5	24.34
浮选原矿	100.00	2.0	100.00

由表 3 可知,采用一次粗选一次精选三次扫选闭路流程可获得品位为 57.3 g/t、作业回收率为 75.66% 的浮选精矿.

综合重选－浮选试验结果可知,该矿石原矿品位 9.8 g/t,经过一次尼尔森重选以及一次粗选一次精选三次扫选浮选工艺,最终尾矿金品位降低至 0.5 g/t,全流程金总回收率为 95.21% .