

## 某金铁氧化矿中矿泥对氰化浸出影响的研究

宋宝旭, 邱显扬, 胡真, 李沛伦, 邹坚坚, 付华  
(广东省资源综合利用研究所 稀有金属分离与综合利用国家重点实验室,  
广东省矿产资源开发和综合利用重点实验室, 广州, 510651)

**摘要:** 考察了高岭土、绿泥石、白云石和褐铁矿4种常见易泥化矿物对氰化浸出过程的影响, 发现褐铁矿和白云石在细磨时形成的次生矿泥比原生矿泥具有更强的吸附已溶金能力, 使浸出率降低。研究了原矿经粗磨-磁选后易泥化矿物的分布, 对云南某金铁氧化矿采用“粗磨-分类磁选-分组氰化浸出”的新工艺, 有效减少了次生矿泥的生成, 与“细磨-氰化浸出-磁选”的传统工艺相比, 金浸出率由85.26%提高到93.05%, 铁精矿回收率由41.20%提高到70.86%。

**关键词:** 有色金属冶金; 矿泥; 磨矿细度; 氰化浸出; 金; 铁; 回收

**中图分类号:** TD953 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0676(2017)01-0053-07

### Study on Influence of Clay Minerals in a Gold-Iron Oxides Ore on Gold Cyanidation

SONG Baoxu, QIU Xianyang, HU Zhen, LI Peilun, ZOU Jianjian, FU Hua

(State Key Laboratory of Rare Metals Separation and Comprehensive Utilization,

Guangdong Provincial Key Laboratory of Development and Comprehensive Utilization of Mineral Resource,

Guangdong Institute of Resources Comprehensive Utilization, Guangzhou 510651, China)

**Abstract:** The influence of four common clay minerals, kaoline, chlorite, dolomite and limonite, on gold cyanidation were investigated. The results indicated that the adsorption contributed to the total loss of gold for the over-grinded limonite and dolomite clays. The distribution of the clay minerals after coarse grinding and magnetic separating process was tested. A novel combination process involving coarse grinding, classifying by magnetic separation, leaching, was proposed to eliminate the adverse effects of secondary slimes. Compared with the traditional process of fine grinding-cyanidation-magnetic separation, this new technique increased the gold extraction rate from 85.26% to 93.05% and the iron recovery rate from 41.20% to 70.86%.

**Key words:** nonferrous metallurgy; clay minerals; grinding fineness; cyanidation; gold; iron; recovery

氰化法是从氧化矿床中提取独立金矿物的传统方法, 具有适应性强、能就地产金等优势<sup>[1]</sup>。矿泥是用处理较粗粒级的方法在工业上难以处理的微细粒矿物, 一般将粒度小于10 μm的矿物混合物可归于矿泥。由于氧化矿床大多位于地表上层, 受长期风化分解作用的影响, 矿石中往往不同程度含有一定量的原生矿泥<sup>[2]</sup>。与此同时, 考虑到金嵌布粒度极微细的矿石特点, 为了最大限度暴露金表面, 氰化厂普遍采用直接细磨工艺, 磨矿细度有时甚至高

达-0.043 mm占80%以上, 也极易造成易泥化矿物过磨形成次生矿泥。上述2种不同类型的矿泥在矿浆中会生成一种极难沉淀的呈胶体状态的微粒, 长时间呈悬浮状态, 极易吸附已溶金, 对氰化浸出过程造成影响<sup>[3]</sup>。

针对矿泥对金氰化浸出过程的影响, 前人的研究焦点大多笼统地将矿浆中的矿泥作为一个整体, 从宏观上研究降低或消除矿泥对氰化浸出过程的影响, 而忽略了对矿泥本身特性的研究<sup>[4]</sup>。而研究矿

泥本身的特性,弄清不同类型矿泥对金氰化浸出过程的影响规律,将有助于采取针对性措施降低矿泥的有害影响,提高金浸出指标。

本文以云南某金铁氧化矿为研究对象,详细考查了高岭土、绿泥石、白云石和褐铁矿 4 种常见易泥化矿物对氰化浸出过程的影响,并提出了解决方案,为此类金铁氧化矿的氰化浸金研究提供借鉴。

## 1 实验部分

### 1.1 实验原料

实验原料分为实际矿石样和矿泥样 2 种,均取自于云南某金铁氧化矿。原矿主要化学元素分析结果如表 1 所列。

表 1 主要元素分析结果

Tab.1 Main element contents of the raw ore

Element	Au	Fe	Cu	Pb	Mn	Zn	As	S
$\omega/\%$	1.91 g/t	35.17	0.08	0.05	0.15	0.09	0.034	0.067
Element	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	P	Sn	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
$\omega/\%$	8.36	11.58	3.65	4.16	0.074	0.011	0.022	0.24

表 1 结果显示,该矿石有价元素为金和铁,其中金品位为 1.91 g/t,属低品位金矿石,而铁品位达到了 35.17%,为典型的金铁氧化矿床。

### 1.2 主要仪器设备

主要仪器设备包括自动矿物分析仪(澳大利亚 Jktech Pty Ltd, Quanta 600)、精密 pH 计(上海雷磁仪器厂 pHs-3C)、充气多功能浸出搅拌机(吉林省探矿机械厂 XJT<sub>II</sub>型)、锥形球磨机(武汉探矿机械厂 XMQ- $\Phi$ 240 $\times$ 90)、国产标准套筛(辽阳金星标准筛厂)、实验室用周期式高梯度磁选机(广州粤有研矿物资源科技有限公司 SSS-I 型)、实验用筒式弱磁选机(广州粤有研矿物资源科技有限公司)、恒温鼓风干燥箱(巴姆(上海)测控技术有限公司 KH-55A)、三头研磨机(武汉探矿机械厂 XPM- $\Phi$ 120 $\times$ 3)等。

### 1.3 分析检测方法

采用自动矿物分析仪进行矿物定量检测。金含量采用火试法测定,铁含量采用原子吸收光谱法方法测定,均由广东省工业分析检测中心完成。

### 1.4 实验方法

#### 1.4.1 矿泥对金的吸附

矿泥样的矿物晶体结构均导致它们具有不同程

度的吸附能力。参考该氰化厂氰化浸出液中金的浓度(1~5 mg/L),用载金炭解吸得到的高品位含金溶液配制成金浓度为 5 mg/L 的初始溶液,用于考查金的吸附能力。操作步骤为:分别称取矿泥样 30 g,置于 100 mL 配制好的含金溶液中,搅拌 5 h 后全部过滤,滤液用来测定金含量,并按照下式计算金吸附率( $\epsilon$ ):

$$\epsilon = (\beta_1 - \beta_2) / \beta_1 \times 100\% \quad (1)$$

式中, $\beta_1$ 为含金溶液吸附前的金含量,5 mg/L; $\beta_2$ 为含金溶液吸附后的金含量,mg/L。

值得注意的是,矿泥中会不同程度含有一定量的金,经分析,这部分金含量在 0.4~0.8 g/t 之间,虽然也可能溶解在吸附溶液中,但整体对实验结果的干扰较小,可忽略不计<sup>[5]</sup>。

#### 1.4.2 工艺试验

磨矿试验在锥形球磨机中进行,每次试验取矿样 500 g,球磨机充填率为 33%,磨矿浓度为 50%,记录磨矿时间,磨矿后采用国产标准套筛测定磨矿细度,试样经磨矿后,首先采用筒式弱磁选机获得强磁性矿物,然后非磁产品继续采用周期式高梯度磁选机获得弱磁性矿物和非磁性矿物。

将磁选获得各分组产品,每次取 100 g 样品,采用充气多功能浸出搅拌机,加入石灰调浆至矿浆 pH>11,加入氰化钠,进行氰化浸出试验研究。

将原矿磨至不同细度,测定经不同磁选和氰化浸出处理后的矿样量和金、铁含量,考查不同处理方式对金和铁回收率的影响。

## 2 结果与讨论

### 2.1 矿物组成分析

#### 2.1.1 原矿组成

矿物学特征测定结果表明,矿石中金与铁的嵌布关系十分密切,金主要嵌布于褐铁矿和硬锰矿中,其次嵌布于磁铁矿或磁赤铁矿中。表明铁矿物是金主要载体矿物,金粒一般呈微细粒包裹体成群分布在铁矿物中。

为了进一步查明主要矿物存在形式,进行了矿物组成定量检测,测定结果见表 2。结果表明,矿石主体矿物为磁铁矿、磁赤铁矿、褐铁矿等铁矿物,以褐铁矿占绝大多数;脉石矿物以白云石等碳酸盐类矿物为主,其次为绿泥石、高岭土、绢云母等粘土类矿物。

表 2 矿物定量检测结果

Tab.2 Composition of the raw ore

矿物	$\omega/\%$	矿物	$\omega/\%$	矿物	$\omega/\%$	矿物	$\omega/\%$
褐铁矿	38.53	闪锌矿	0.001	长石	1.41	白钛石	0.142
磁赤铁矿	14.874	毒砂	0.003	白云石	15.98	一水硬铝石	0.095
磁铁矿	1.176	滑石	0.071	方解石	1.89	菱铁矿	0.177
黄铜矿	0.001	方铅矿	0.004	绢云母	1.035	直闪石	0.235
辉铜矿	0.003	白铅矿	0.02	黑云母	1.225	钙铝榴石	0.085
铜蓝	0.002	砷铅矿	0.002	绿泥石	5.49	磷灰石	0.041
辰砂	0.002	砷铅铁矿	0.04	高岭土	6.410	独居石	0.001
黄铁矿	0.096	水磷铝铅矿	0.005	楣石	0.767	其他	0.345
磁黄铁矿	0.004	石英	9.83	锆石	0.008	合计	100

### 2.1.2 矿泥的组成

为了制备具有不同矿物含量的矿泥样, 在矿区不同矿段取样 10 份, 每份样品分别在磨矿前和磨矿后(磨矿细度为-0.043 mm 占 80%)抽取-10  $\mu\text{m}$  粒级做为矿泥样。用自动矿物分析仪对获得的 20 份矿泥样进行了高岭土、绿泥石、白云石和褐铁矿的矿物定量分析检测, 结果如表 3。

由表 3 可见, 在原生矿泥中, 高岭土和绿泥石的合计含量在 50%左右, 是形成原生矿泥的主要矿物。在次生矿泥中, 褐铁矿和白云石的含量合计约 61%, 远远大于高岭土和绿泥石的含量。表明矿石在细磨作用下, 大量易磨易泥化的白云石和褐铁矿因过磨不断, 形成次生矿泥。

表 3 矿泥样的矿物定量检测结果

Tab.3 Composition of the clay samples

编号	原生矿泥主要矿物含量/%				编号	次生矿泥主要矿物含量/%			
	高岭土	绿泥石	白云石	褐铁矿		高岭土	绿泥石	白云石	褐铁矿
YS-1	28.20	25.12	3.18	9.25	CS-11	13.25	10.15	20.13	34.25
YS-2	21.30	28.25	1.22	16.22	CS-12	8.13	11.20	18.10	30.12
YS-3	11.25	33.15	0.98	14.25	CS-13	2.25	13.45	28.10	50.22
YS-4	25.23	10.25	1.45	15.15	CS-14	12.25	3.15	21.15	37.15
YS-5	18.20	34.22	3.56	12.21	CS-15	5.31	18.95	15.20	32.24
YS-6	25.20	31.20	2.95	25.28	CS-16	8.25	14.05	24.20	41.22
YS-7	18.15	35.22	4.13	8.33	CS-17	9.52	13.21	20.23	40.15
YS-8	33.25	18.25	2.08	33.25	CS-18	16.22	7.22	23.22	43.16
YS-9	18.25	33.22	3.11	5.15	CS-19	6.15	16.22	25.31	48.12
YS-10	30.21	31.15	4.05	23.12	CS-20	15.12	10.25	24.15	45.25
平均	22.92	28.00	2.67	16.22	平均	9.65	11.79	21.98	40.19

### 2.2 矿泥对已溶金的吸附行为

不同矿泥类型吸附金的实验结果列于表 4。表 4 结果表明, 原生矿泥和次生矿泥均会吸附已溶金, 但次生矿泥的金吸附率平均值高达 40.27%, 远远高

于原生矿泥的金吸附率, 表明该矿石因过磨形成的次生矿泥更易吸附已溶金, 对氰化浸出过程造成不利影响。

表 4 不同矿泥类型对金的吸附

Tab.4 Gold adsorptions rates by the different clay mineral types

原生矿泥			次生矿泥		
No.	$\beta_2$ /(mg/L)	$\varepsilon$ /%	No.	$\beta_2$ /(mg/L)	$\varepsilon$ /%
YS-1	3.96	20.89	CS-11	3.09	38.13
YS-2	4.11	17.76	CS-12	3.48	30.37
YS-3	4.09	18.28	CS-13	2.66	46.84
YS-4	3.91	21.79	CS-14	3.10	38.05
YS-5	3.99	20.29	CS-15	3.38	32.41
YS-6	3.70	26.01	CS-16	2.87	42.69
YS-7	3.87	22.67	CS-17	3.07	38.57
YS-8	3.94	21.25	CS-18	2.77	44.65
YS-9	4.11	17.76	CS-19	2.67	46.54
YS-10	4.05	19.04	CS-20	2.78	44.48
平均值	3.97	20.57	平均值	2.99	40.27

无论是高岭土、绿泥石等原生矿泥，还是白云石、褐铁矿等次生矿泥，其矿物晶体结构均导致它们具有不同程度的吸附能力<sup>[6]</sup>。为了进一步考查各矿物对金吸附率的影响，根据上述吸附实验结果，按照斯皮尔曼等级相关系数公式<sup>[7]</sup>，分别计算了高岭土、绿泥石、白云石和褐铁矿的等级相关系数( $\gamma$ ):

$$\gamma=1-6\sum\{(X_i-Y_i)^2/[N(N^2-1)]\} \quad (2)$$

式中,  $X_i$  为矿物的含量高低排列序号,  $Y_i$  为金吸附率高低的排列序号,  $N$  为样本容量。计算结果列于表 5。

表 5 不同矿泥的斯皮尔曼等级相关系数( $\gamma$ )Tab.5 Spearman rank correlation coefficient ( $\gamma$ ) of the different clay mineral types

矿泥类别	$\gamma$ (高岭土)	$\gamma$ (绿泥石)	$\gamma$ (白云石)	$\gamma$ (褐铁矿)
原生矿泥	0.12	-0.10	0.09	0.25
次生矿泥	-0.02	0.10	0.90	0.98

表 5 结果表明, 对于原生矿泥, 高岭土、绿泥石和白云石的  $\gamma$  均接近 0, 表明原生矿泥中的高岭

土、绿泥石和白云石与金的吸附率变化并不相关; 而褐铁矿的  $\gamma=0.25$ , 表明原生矿泥中影响金吸附率变化的可能是褐铁矿, 但相关性并不高。对于次生矿泥, 高岭土和绿泥石的  $\gamma$  仍接近 0, 表明次生矿泥中的高岭土和绿泥石与金的吸附率变化仍不相关; 但白云石和褐铁矿的  $\gamma$  却分别高达 0.90 和 0.98, 属高度相关, 即次生矿泥中影响金吸附率高低的主要为过磨的白云石和褐铁矿, 其中以褐铁矿为主。

根据矿物晶体结构可知, 白云石的基本结构单元由钙八面体和钙(镁)八面体沿三次轴做有规律的交替排列组成, 在原生矿泥中, 与金的吸附率并不相关, 但在磨矿后, 由于 Ca-O 和 Mg-O 键发生断裂, 大量的  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  等阳离子进入到溶液中吸附已溶金, 导致次生矿泥中白云石与金吸附率呈高度正相关关系。褐铁矿主要为针铁矿, 为斜方晶系, 具有针状晶体, 基本结构单元是  $\text{FeO}_3(\text{OH})_3$  六配位八面体, 相互间通过共边或共角相连, 形成多孔道的晶体结构, 本身就具有较强的吸附能力, 而在磨矿过程中, 上述结构极易生成类似胶体状态的微粒, 在矿浆中长时间呈悬浮状态, 更易在矿浆中吸附已溶金<sup>[8]</sup>。

综上所述, 对于此类含金氧化矿石, 减少次生矿泥、降低次生矿泥中白云石和褐铁矿的含量, 有助于解决已溶金易被矿泥吸附的难题。

### 2.3 原矿磨矿细度的影响

由前述研究, 次生矿泥中吸附金的矿物主要为过磨的弱磁性褐铁矿和非磁性白云石, 而矿石中金又主要以铁矿物为载体。采用粗磨-分类磁选的方式可将易泥化的褐铁矿和白云石分别富集至弱磁性矿物和非磁性矿物中, 考查了原矿磨矿细度对分类磁选矿物的浸出效率。

实验中, 首先将原矿磨至不同细度, 测定分类磁选所得不同矿物的产率, 及金和铁的含量。不同分类磁选矿物不再设置细磨, 直接分组氰化, 测定浸出渣的金含量, 计算浸出率。结果列于表 6。

表 6 分类磁选作业和分组氰化作业的结果

Tab.6 The magnetic separation results under different grinding fineness and cyanidation results of each grouped product

原矿磨矿 细度/mm	占比	产品名称	分类磁选				分组氰化			
			产率/%	品位		回收率/%		给矿 Au/(g/t)	浸出渣 Au/(g/t)	浸出率* Au/%
				Au/(g/t)	Fe/%	Au	Fe			
-1.0	100%	强磁性矿物	16.98	1.78	61.83	15.80	30.92	1.78	—	沉槽
		弱磁性矿物	46.20	2.40	40.57	58.00	55.20	2.40	0.55	77.08
		非磁性矿物	36.82	1.36	12.80	26.20	13.88	1.36	0.25	81.62
		原矿	100.00	1.91	33.95	100.00	100.00	—	—	66.09
-0.074	43%	强磁性矿物	17.78	1.65	61.76	15.43	32.44	1.65	—	沉槽
		弱磁性矿物	48.29	2.62	39.97	66.55	57.02	2.62	0.38	85.50
		非磁性矿物	33.93	1.01	10.51	18.02	10.54	1.01	0.12	88.12
		原矿	100.00	1.90	33.85	100.00	100.00	—	—	72.78
-0.074	52%	强磁性矿物	18.45	1.95	60.66	18.47	33.18	1.95	—	沉槽
		弱磁性矿物	47.94	2.71	40.23	66.69	57.17	2.71	0.38	85.98
		非磁性矿物	33.60	0.86	9.69	14.84	9.65	0.86	0.095	88.95
		原矿	100.00	1.95	33.74	100.00	100.00	—	—	70.54
-0.074	61%	强磁性矿物	16.71	2.00	61.87	17.16	30.19	2.00	—	沉槽
		弱磁性矿物	46.69	2.75	41.96	65.93	57.23	2.75	0.36	86.91
		非磁性矿物	36.60	0.90	11.77	16.91	12.58	0.90	0.089	90.11
		原矿	100.00	1.95	34.24	100.00	100.00	—	—	72.54
-0.074	70%	强磁性矿物	16.88	2.01	62.29	17.21	30.23	2.01	0.68	66.17
		弱磁性矿物	44.34	2.65	43.56	59.59	55.51	2.65	0.20	92.45
		非磁性矿物	38.78	1.18	12.80	23.20	14.26	1.18	0.089	92.46
		原矿	100.00	1.97	34.79	100.00	100.00	—	—	87.93
-0.074	81%	强磁性矿物	16.44	1.43	62.45	12.32	30.57	1.43	0.48	66.43
		弱磁性矿物	40.40	2.58	42.14	54.64	50.69	2.58	0.19	92.64
		非磁性矿物	43.16	1.46	14.58	33.04	18.74	1.46	0.089	93.90
		原矿	100.00	1.91	33.58	100.00	100.00	—	—	89.93
-0.074	90%	强磁性矿物	15.59	1.67	62.23	13.63	28.69	1.67	0.45	73.05
		弱磁性矿物	38.14	2.65	43.86	52.93	49.47	2.65	0.19	92.83
		非磁性矿物	46.27	1.38	15.96	33.44	21.84	1.38	0.089	93.55
		原矿	100.00	1.91	33.82	100.00	100.00	—	—	90.37
-0.074	98%	强磁性矿物	11.56	1.75	63.04	10.44	21.90	1.75	0.11	93.71
		弱磁性矿物	33.55	2.75	44.65	47.62	45.02	2.75	0.19	93.09
		非磁性矿物	54.89	1.48	20.05	41.94	33.08	1.48	0.08	94.59
		原矿	100.00	1.94	33.27	100.00	100.00	—	—	93.78

\*注：原矿浸出率根据强磁性、弱磁性和非磁性矿物结果计算得到，强磁性矿物沉槽部分未计入浸出率。

表 6 结果表明，磨矿细度为-0.074 mm 占 50% 左右时，铁的总回收率最高，金在强磁性矿物中回收率达到最高值。在不设置再磨作业的情况下，强磁性矿物中金浸出率一直不足 70%。但弱磁性矿物和非磁性矿物在磨矿细度为-0.074 mm 占 70%时，

金浸出率即可达到 90%以上。出于简化流程、易于工程化实施的考虑，最终确定原矿磨矿细度为-0.074 mm 占 70%，此时弱磁性矿物和非磁性矿物均无需细磨，只需对强磁性矿物进行再磨。

为了进一步验证已确定的磨矿细度是否合理，

在磨矿细度为-0.074 mm 占 70%的情况下, 对各分组产品的磁铁矿、白云石和褐铁矿 3 种主要矿物含量进行了测定, 结果如表 7 所列。

表 7 主要矿物在分组磁选过程中的走向( $R_{0.74\text{mm}}=70\%$ )

Tab.7 The classification of major minerals by magnetic separation ( $R_{0.74\text{mm}}=70\%$ )

产品名称	产率/%	矿物含量/%			矿物回收率/%		
		磁铁矿	褐铁矿	白云石	磁铁矿	褐铁矿	白云石
强磁性矿物	16.62	70.25	26.12	0.64	72.75	11.27	0.66
弱磁性矿物	44.45	9.53	60.12	0.50	26.39	69.37	1.39
非磁性矿物	38.93	0.35	19.16	40.20	0.86	19.37	97.95
原矿	100.0	16.05	38.53	15.98	100.00	100.00	100.00

表 7 结果表明, 在确定的原矿粗磨磨矿细度下, 只有 11.27%的褐铁矿和 0.66%的白云石进入到需要细磨的强磁性矿物中, 而接近 90%的褐铁矿和 99%

的白云石被分组至无需细磨的弱磁性矿物和非磁性矿物中, 降低了上述 2 种矿物过磨形成的矿泥吸附已溶金的风险, 可减少次生矿泥对氰化浸出的影响。

2.4 粗磨-分类磁选-分组氰化浸出工艺条件

对实际矿石样, 基于金嵌布粒度极微细的矿石特点, 国内外普遍采用“细磨-氰化浸出-磁选”的工艺流程回收金和铁, 但极易导致矿石在进入氰化浸出作业前形成大量原生矿泥和次生矿泥, 严重干扰了氰化浸出过程。

基于前述研究, 本文提出“粗磨-分类磁选-分组氰化浸出”的技术路线。在粗磨条件下, 对矿石中金载体矿物进行分类磁选, 使易泥化的褐铁矿和白云石分别富集至弱磁性矿物和非磁性矿物中, 对强磁性矿物进行针对性细磨, 分组进行氰化浸出作业, 从而最大限度地减少次生矿泥的生成。在确定原矿粗磨的磨矿细度后, 分别进行了分组磁选作业和分组产品氰化浸出作业的详细条件试验, 工艺流程如图 1 所示。

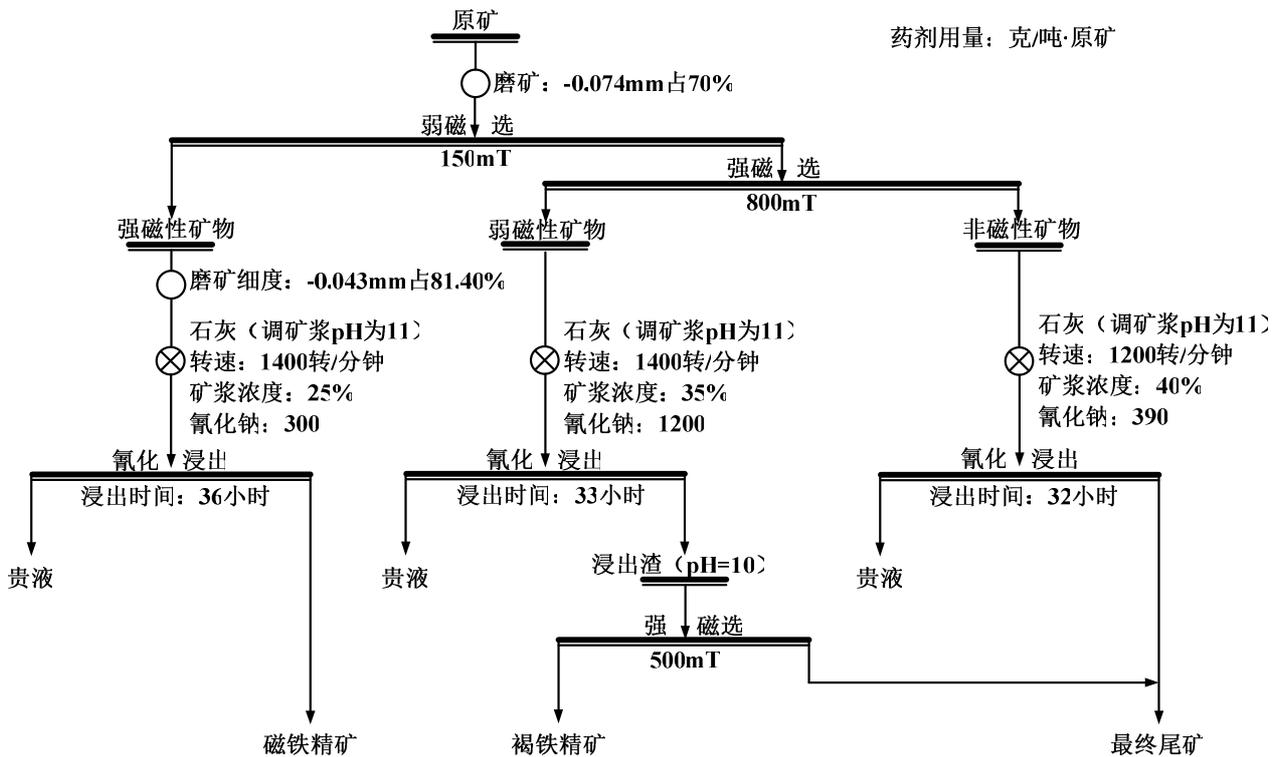


图 1 粗磨-分类磁选-分组氰化浸出的工艺流程图

Fig.1 The whole process of coarse grinding-classified by magnetic separation-leaching separately

在本工艺中, 原矿经粗磨后进行分类磁选, 易泥化的褐铁矿和白云石分别富集至弱磁性矿物和非磁性矿物中, 然后对强磁性矿物进行针对性细磨, 将 3 类磁选矿物分组给入氰化浸出。这一工艺最大

限度地减少了次生矿泥的生成。采用“粗磨-分类磁选-分组氰化浸出”的工艺流程和“细磨-氰化浸出-磁选”传统工艺流程对云南某金铁氧化矿的综合试验指标对比见表 8。

表 8 新工艺与传统工艺试验指标对比

Tab.8 The test index comparison between the new process and traditional process

类别	产品名称	产率/%	品位		回收率/%		
			Au/(g/t)	Fe/%	Au	Fe	
新 工 艺	强磁性 贵液	—	—	—	16.58	0.00	
	矿物 磁铁精矿	16.62	0.098	62.40	0.85	29.49	
	弱磁性 贵液	—	—	—	55.81	0.00	
	矿物 褐铁精矿	27.39	0.250	53.12	3.59	41.37	
	尾矿 1	17.06	0.064	38.59	0.44	14.34	
	非磁性 贵液	—	—	—	20.74	0.00	
	矿物 尾矿 2	38.93	0.098	13.37	2.00	14.80	
	原矿	100.00	1.91	35.17	100.00	100.00	
	有效回收率/%					93.05	70.86
	传 统 工 艺	贵液	—	—	—	85.26	0.00
磁铁精矿		4.69	—	62.20	0.22	8.31	
褐铁精矿		22.62	0.28	51.05	3.33	32.89	
最终尾矿		72.69	—	28.40	11.18	58.80	
原矿		100.00	1.90	35.11	100.00	100.00	
有效回收率/%					85.26	41.20	

由表 8 结果可见, 针对此类金铁氧化矿石, 与“细磨-氰化浸出-磁选”的传统工艺相比, 采用“粗磨-分类磁选-分组氰化浸出”的工艺, 较好解决了褐铁矿和白云石等次生矿泥的影响, 金浸出率由 85.26% 提高到 93.05%。粗磨磁选工艺解决了铁矿物过磨, 但铁精矿品位未降低, 铁回收率由 41.20% 提高到 70.86%, 有利于铁矿物的回收。

### 3 结论

1) 高岭土和绿泥石是形成原生矿泥的主要矿物; 矿石经细磨后, 白云石和褐铁矿因过磨成为次生矿泥的主要组成部分。

2) 次生矿泥中褐铁矿和白云石具有更强的吸附已溶金能力, 是导致氰化浸出率降低的主要原因。

3) 原矿石粗磨至-0.074 mm 占 70% 后进行磁选, 分组浸出弱磁性和非磁性的矿物, 强磁性矿物经细磨后进行浸出, 可减少矿泥吸附对浸出的影响。

4) 采用“粗磨-分类磁选-分组氰化浸出”工艺处理云南某金铁氧化矿, 与传统工艺“细磨-氰化浸出-磁选”相比, 本工艺较好地解决了矿泥对已溶金的吸附, 提高了金、铁资源的综合回收效率。

### 参考文献:

- [1] 吴晓峰, 汪云华, 范兴祥, 等. 贵金属提取冶金技术现状及发展趋势[J]. 贵金属, 2007, 28(4): 63-68.  
WU X F, WANG Y H, FAN X X, et al. Present research status and development in extractive metallurgy of precious metals[J]. Precious metals, 2007, 28(4): 63-68.
- [2] 孙晓, 汪景岐. 矿泥对氰化浸出影响的试验研究[J]. 黄金, 1999, 19(1): 37-40.  
SUN X, WANG J Q. Experimental study on influence of mud mineral on cyanide leaching[J]. Gold, 1999, 19(1): 37-40.
- [3] 张新岗, 吕超飞, 贾佳林, 等. 氰化金泥处理过程产生的银渣中金、银的回收[J]. 贵金属, 2015, 36(3): 63-68.  
ZHANG X G, LÜ C F, JIA J L, et al. Recovery of Au and Ag from silver slag produced in the treatment of cyanide gold mud[J]. Precious metals, 2015, 36(3): 63-68.
- [4] 孙晓. 利用选择性絮凝脱泥提高金精矿氰化浸出率的生产实践[J]. 黄金, 2001, 22(4): 34-36.  
SUN X. Operation practice of improving cyanide leaching rate of gold concentrate by means of selective flocculation to remove slime[J]. Gold, 2001, 22(4): 34-36.
- [5] TREMOLADA J, DZIOBA R, BERNARDO-SÁNCHEZ A, et al. The preg-robbing of gold and silver by clays during cyanidation under agitation and heap leaching conditions[J]. International journal of mineral processing, 2010, 94(1/2): 67-71.
- [6] 王燕, 谭凯旋, 刘顺生, 等. 矿物吸附金的实验研究及其在红土型金矿形成中的意义[J]. 地球科学, 2003(1): 26-30.  
WANG Y, TAN K X, LIU S S, et al. Experimental study of gold adsorption by minerals and its signification in forming of lateritic gold deposits[J]. Earth science, 2003(1): 26-30.
- [7] 王晓燕, 李美洲. 浅谈等级相关系数与斯皮尔曼等级相关系数[J]. 广东轻工职业技术学院学报, 2006, 4(4): 26-27.  
WANG X Y, LI M Z. The relationship of rank correlation coefficient and Spearman rank correlation coefficient[J]. Journal of Guangdong industry technical college, 2006, 4(4): 26-27.
- [8] VUUREN C P J V, SNYMAN C P, BOSHOFF A J. Gold losses from cyanide solutions Part I: The influence of the silicate minerals[J]. Minerals engineering, 2000, 13(8/9): 823-830.