



江西金尾矿资源的性质与绢云母提取研究

罗立群¹, 张晓雪¹, 林永峰², 贾旭峰², 郑波涛¹, 魏晨曦¹

(1. 武汉理工大学资源与环境工程学院, 矿物资源加工与环境湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430070; 2. 中国黄金集团江西金山矿业有限公司, 江西 德兴 334213)

摘要: 黄金矿山选矿中 95% 以上为尾矿, 实现金尾矿综合利用的前提是充分查明其性质与特征。针对江西某金尾矿, 采用 XRF、XRD 和化学分析手段, 查明了金尾矿的化学成分; 利用岩矿鉴定、EMPA 和 EDS 分析等方法, 研究了该物料的资源性质与矿物学特征, 着重考察了动态分级-浮选工艺流程提取绢云母的效果。结果表明: 该金尾矿中含金 0.495 g/t, 含银 1.70 g/t, 且金以铁等氧化矿物中包裹金存在, 占比 58.18%, 显微镜下未发现残余的金颗粒。金尾矿中 SiO₂、Al₂O₃ 分别为 62.21% 和 13.54%, 残余的矿物主要为石英、绢云母和方解石; 绢云母多为细粒级产出, 片径为 0.01 ~ 0.2 mm, 具有较好的回收前景。该试样筛析 -0.074 mm 41.58%, 残余含金矿物的单体解离度不高, 含金矿物多赋存在比重较高的重矿物或金属矿物中, 仍有部分提金潜力。提取绢云母采用 Φ75 mm、沉砂嘴内径为 6 mm 的动态分级效果较好, 经一粗二精一扫浮选工艺可以获得产率为 11.61%, Al₂O₃ 含量为 23.91%, Al₂O₃ 回收率为 21.19% 的较好指标。

关键词: 金尾矿; 资源性质; 矿物学; 绢云母; 浮选

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2021.03.001

中图分类号: TD951; TD924 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2021) 03-0001-08

黄金因其稀缺性、稳定性和相对完美的自然属性, 很早就被看作是财富的象征, 充当着世界货币; 黄金既是一种货币、资产, 更是一种商品, 活跃在经济流通领域和国际金融市场。2019 年我国黄金产量达 380.23 t, 连续 13 年位居全球第一。因金矿石中有用金属含量低, 含金矿石经破碎、磨矿、分选、提取等工序时产生大量的固体废弃物或浸金尾渣, 统称黄金尾矿, 通常占黄金原矿量的 95%^[1]。一方面, 黄金尾矿占用大量土地、易产生安全隐患, 还存在污染环境的风险, 不利于绿水青山的建设^[2-3]; 另一方面, 我国大部分金矿石品位低, 多为伴生矿, 矿物嵌布粒度细, 多数含有其他可综合回收的有价金属或伴生矿物, 综合利用的潜力较大^[4-5]。

对黄金尾矿的利用, 既可再回收尾矿中残余的

金和伴生银、铜、铅、锌、钨等金属元素^[6], 又有对剩余大量非金属矿物的提取和资源化利用的研究^[7], 如提取绢云母^[8-10]、回收长石和石英^[11]。杜芳芳^[6]对河南某含有部分钨、金元素的金矿尾矿, 确定了重选脱泥-磁选除铁-浮选回收金硫-分级磁选的联合工艺流程。以 Au 品位 0.600 g/t、WO₃ 品位 0.089% 的金尾矿, 得到了含 WO₃ 品位 56.22%、WO₃ 回收率为 74.09% 的钨精矿和 Au 品位 24.25 g/t、Au 回收率为 48.00% 的金硫精矿, 同时兼顾了铁的回收, 实现了尾矿中有价金属资源综合利用。刘江^[9]对含绢云母 50% 左右的浮选金尾矿, 采用磁选+水力旋流器分级工艺回收浮选尾矿中的绢云母, 工业生产获得绢云母精矿 Al₂O₃ 品位 23.27%、回收率 48.18% 的良好指标, 实现了绢云母的回收利用。魏转花^[11]针对含有金和长石等有用矿物的金矿尾矿, 采用摇

收稿日期: 2020-08-06; 改回日期: 2020-10-28

基金项目: 国家自然科学基金项目 (51874219)

作者简介: 罗立群 (1968-), 男, 博士, 博士生导师, 主要从事矿物资源的高效利用与清洁生产研究。

床对金矿尾矿进行分选,可获得金品位 41.15 g/t、回收率 46.84% 的金精矿;摇床尾矿经脱泥-弱磁选-2 段高梯度磁选联合工艺处理,可得到铁杂质(Fe_2O_3)含量 0.23%,产率为 57.39% 的长石精矿,产品达到玻璃 I 级和陶瓷 II 级原料质量标准,既减少了尾矿排放量,又增加了矿山经济效益。针对金尾矿普遍含硅较高及含有部分特征元素的特点,结合其粒度特性,通过匹配部分辅助原料和助剂,将金尾矿制备加气混凝土、蒸压砖或墙体砖^[12-14],制作轻质陶粒、发泡陶瓷、多孔陶瓷^[4, 15-16],以及用于干混砌筑砂浆、发泡水泥和玻璃纤维等建筑材料与产品^[17-19],表明对金尾矿的资源化利用大有可为。

因不同金矿的地质成因与地域产出不同,其共伴生金属矿物与透明矿物的赋存与嵌布特征各异,为了更好地综合利用金尾矿资源,做到物尽其用,首先应尽可能查明金尾矿的资源性质与其矿物学特性,然后开拓针对性的利用技术方案。本文对中国黄金集团江西金山选金尾矿开展金尾矿资源的性质与提取绢云母研究,为今后充分利用该金尾矿资源奠定前期技术基础。

1 实验

1.1 实验原料

金尾矿试样取自江西德兴金山金矿,外观颜色为灰色至灰白色,少部分因烘干而结块,经机械轻微压碎成粉后多次混匀,采用四分法对分和割环法缩分,制样后进行分析和测试。肉眼标本观察金尾矿试样为灰白色粉样,以石英、方解石及绢云母等为主,金尾矿试样 X 射线衍射见图 1。

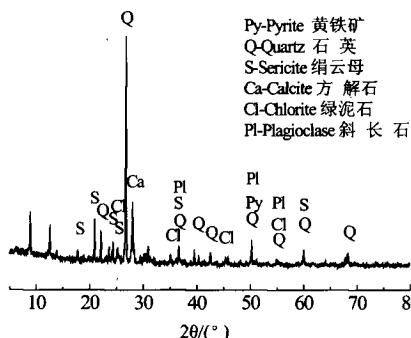


图 1 金尾矿试样 X 射线衍射

Fig. 1 X-ray diffraction pattern for gold tailing samples

显示试样中含有黄铁矿、石英、绢云母、方解石、绿泥石、斜长石等矿物。此外,金尾矿试样的密度为 2.78 g/cm^3 ,堆密度为 1.33 g/cm^3 。

1.2 研究与测试方法

1.2.1 动态分级与浮选实验

绢云母多为鳞片状细粒,且因质软易碎、密度较小,分级时易于与密度较大的金属矿物和粒度较粗的石英等脉石矿物分离。从金尾矿中提取绢云母时,先采用动态分级将绢云母初步富集,再选用浮选工艺将绢云母进一步提纯,以达到相应的产品质量要求。

1.2.2 测试方法与手段

化学成分与矿物组成采用 XRF、XRD 及化学分析获得;显微镜观察在 Nikon Lv100pol 型偏反光显微镜下进行,并统计绢云母的粒度分布;电子探针及 EDS 能谱分析在 JXA-8230/INCA-AX-CT 型电子探针显微分析仪+能谱仪上完成。

2 结果与讨论

2.1 金尾矿化学组成与特点

2.1.1 金尾矿化学成分

金尾矿试样的多元素化学分析结果见表 1。

表 1 金尾矿试样多元素化学分析结果 / %

Table 1 Multi-element chemical analysis results of gold tailing samples

Au*	Ag*	TFe	FeO	S	P	As	SiO ₂	Al ₂ O ₃
0.495	1.70	3.89	3.88	0.28	0.039	0.181	62.21	13.54
Cu	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Mn	TiO ₂	C	LOI
0.0043	3.63	2.27	1.05	2.69	0.081	0.57	0.91	4.44

* 单位为 g/t。

表 1 试样金含量为 0.495 g/t,银含量为 1.70 g/t。试样中主要化学成分以 SiO_2 和 Al_2O_3 为主,两者含量分别为 62.21% 和 13.54%,两者占比超过 75%,有利于后续利用其作为建材原料。

其他可用于建材原料的成分为 CaO 3.63% 和部分铁含量占 3.39%,且 MgO 含量仅为 2.27%,小于 3%,其化学成分含量均对制备建材有利。其 Cu、Pb、Zn、Cr 等常见重金属的含量均很低,预计没有影响。

2.1.2 金尾矿的物相分析

由于金赋存在以黄铁矿为主的硫化矿中，主要考察了金尾矿中金、铁、硫的物相，其物相分析结果见表2。

表2 金尾矿的物相分析与分布率测定结果 /%
Table 2 Phase analysis and element distribution results of gold tailings

项目	相别	含量 /%	分布率 /%
金物相	单体金 + 连生金 *	0.09	18.18
	硫化物中包裹金 *	0.09	18.18
	铁等氧化矿物中包裹金 *	0.288	58.18
	硅酸盐中金 *	0.027	5.46
	总金 (TAu)*	0.495	100.00
铁物相	磁性铁中铁	0.012	0.31
	赤褐铁中铁	0.008	0.2
	碳酸铁中铁	1.01	25.96
	硅酸铁中铁	2.71	69.67
	硫化铁中铁	0.15	3.86
	全铁 (TFe)	3.89	100.00
	硫化物中的硫	0.26	92.86
硫物相	硫酸盐中的硫	0.013	4.64
	自然硫	0.007	2.5
	全硫 (TS)	0.28	100.00

* 单位为 g/t。

表2结果说明，铁等氧化矿物中包裹金为0.288%，其分布率为58.18%，其次为单体金+连生金、硫化物中包裹金均为0.090%，两者占比则均为18.18%。另外，硅酸盐中金含量较少，仅为0.027%，分布率仅为5.46%。若选矿中加强对含铁

等氧化矿物的浮选回收，预计可以进一步降低金尾矿中的金含量。

尽管金尾矿中的硫主要以硫化物中的硫存在，其含量为0.26%，分布率高达92.86%；但是铁物相中硫化铁中的铁仅为0.15%，占比仅为3.86%，表明若要进一步降低硫化物的含量，其幅度有限、难度较大。

2.2 金尾矿粒度特性与粒级分布

不论是选矿过程，还是尾矿制备建材，物料的粒度及粒级分布都是极其重要的物理参数，需要重点控制和详细考察确定。金尾矿试样的激光粒度分析单个分布与累积结果见图2，其粒度筛析与水析及分布率测定结果见表3。

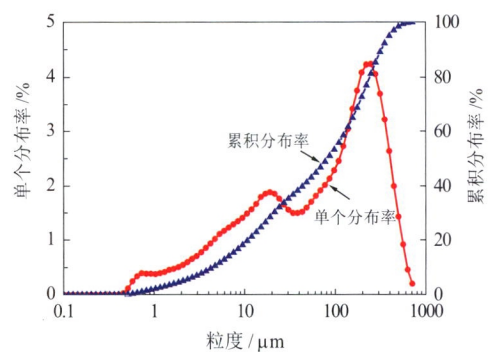


图2 金尾矿试样激光粒度分析与累积分布结果
Fig. 2 Particle size analysis and cumulative distribution of gold tailings by laser

表3 金尾矿试样的粒度筛析与水析及分布率测定结果
Table 3 Results of particle size analysis and element distribution of gold tailing samples

类别	粒级 / mm	产率 / %	品位 / %				分布率 / %			
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	TFe	Au*	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TFe	Au
筛分	+0.30	9.10	69.08	13.01	3.24	0.55	9.62	8.91	7.84	9.15
	-0.30+0.154	28.61	67.22	12.33	3.42	0.74	29.43	26.56	26.02	38.68
	-0.154+0.074	20.71	67.34	12.58	3.40	0.49	21.35	19.62	18.73	18.55
	+0.074	4.17	64.00	12.51	4.62	1.08	4.09	3.93	5.13	8.23
水析	-0.074+0.038	14.48	65.06	12.30	3.69	0.43	14.42	13.41	14.21	11.38
	-0.038+0.019	5.73	63.22	12.72	4.18	0.40	5.55	5.49	6.37	4.19
	-0.019+0.010	4.93	60.44	13.68	4.57	0.32	4.56	5.07	5.99	2.88
	-0.010	12.27	58.53	18.42	4.82	0.31	10.99	17.01	15.72	15.72
	合计	100.00	65.34	13.28	3.76	0.547	100.00	100.00	100.00	100.00

* 单位为 g/t。

从表3可知，金尾矿粗度较粗，筛析时-0.074mm 41.58%；筛析结果表明细粒级颗粒中残余金的含量较低，而粗粒级的颗粒中含金量较高，表明含金矿物的颗粒微细，而粗颗粒的含金颗粒解离度不足，导致金的损失。同时注意两点，一是金尾

矿中-0.30+0.154 mm粒级含量的金含量为0.74 g/t，高于+0.30 mm粒级含量的0.55 g/t；二是水析部分中的+0.074 mm的金含量为1.08 g/t，高于粒级筛分中-0.154+0.074 mm金含量的0.49 g/t，与含金矿物赋存在金属矿物中容易磨矿，且金属矿物比重

大结果一致。

因此，若需降低残余金的含量，可从加强磨矿分级、提高入选细度、改善粒度组成，强化比重大的金属矿物回收等方面考虑。

2.3 金尾矿的矿物组成与绢云母的产出特征

2.3.1 金尾矿的矿物组成与含量

通过前述化学成分分析与 XRF 分析，结合显微镜下鉴定结果，估算出金尾矿试样中矿物组成及含量见表 4。

表 4 金尾矿试样中的主要矿物组成及含量 /%

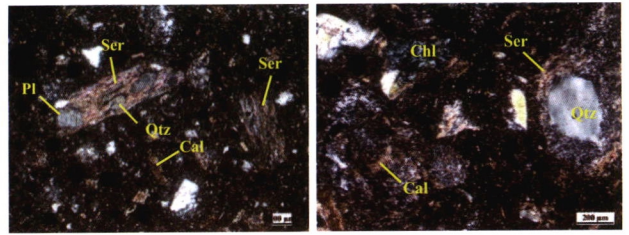
Table 4 Composition and contents of main minerals in gold tailings

黄铁矿	毒砂	石英	绢云母	方解石	绿泥石	斜长石
3.1	2.6	54.2	15.3	14.8	5.1	2.9
白铁矿	金红石	含铜矿物	磁黄铁矿	磁铁矿	褐铁矿	其他
0.15	0.50	0.15	0.10	0.45	0.17	0.48

从表 4 可知，金尾矿中金属矿物主要为黄铁矿、毒砂，少量金红石和磁铁矿等金属矿物，但总体含量均不高，分别为 3.10%、2.60%、0.50% 和 0.45%；但未见残余金颗粒；主要非金属矿物为石英、绢云母、方解石、绿泥石和斜长石，其含量分别为 54.30%、15.30%、14.80%、5.20% 和 2.90%，其四者的矿物量之和高达 92.30%，表明金尾矿中非金属矿物占有比例很高，具有较好的建材资源化利用前景。

2.3.2 金尾矿中绢云母的产出与嵌布

由显微镜鉴定可知，绢云母多呈鳞片状，部分为单晶体，与石英、方解石、绿泥石、斜长石及金红石等连生，金尾矿中绢云母产出的典型显微照片见图 3。



a 鳞片状的绢云母 (Ser) 包裹石英 (Qtz) 等矿物，或与其交生成复杂集合体；b 鳞片状的绢云母 (Ser) 包裹石英 (Qtz)，或与方解石 (Cal) 等共生

图 3 金尾矿中典型绢云母产出的显微镜照片 (正交偏光)
Fig. 3 Microscopy pictures of typical sericite in gold tailings (crossed polars light)

可见鳞片状的绢云母包裹石英、斜长石，或与其交生成复杂集合体，见图 3-a，鳞片状的绢云母包裹石英、或与方解石、绿泥石等矿物共生，见图 3-b，绢云母的片径多为 0.01 ~ 0.2 mm 之间。金尾矿中绢云母含量较高，具有提取与回收的价值。金尾矿试样中绢云母的粒度分布统计见表 5。

表 5 金尾矿试样中绢云母的粒度分布

Table 5 Particle size distribution statistics of sericite in gold tailings

粒径 / mm	-0.20+0.15	-0.15+0.10	-0.10+0.05	-0.05+0.01	合计
含量 / %	6	15	54	25	100

从表 5 中可以看出，绢云母粒度主要分布在 -0.10+0.05 mm 粒级，分布率达到 54%，其次为 -0.05+0.01 mm，分布率达到 25%。因此，后续对绢云母的回收主要需针对 -0.10+0.01 mm 粒级的绢云母。

2.3.3 金尾矿中绢云母的微区特征分析

为了查明鳞片状绢云母的微区元素特征，将图 3 中典型鳞片状绢云母与石英、斜长石集合体进行 EMPA 分析，其 BEI 背散射电子像及部分特征元素的面扫描电子像见图 4。

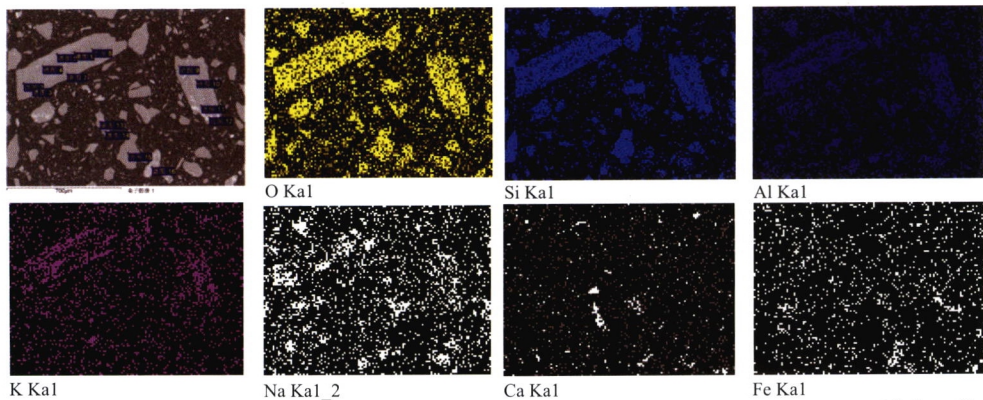


图 4 鳞片状绢云母集合体的 BEI 背散射及 O、Si、Al、K、Na、Ca、Fe 的面扫描电子像

Fig. 4 Back scatter electron image of flaky sericite aggregate and area-scanning of O, Si, Al, K, Na, Ca and Fe

图4中蓝色谱点右上角为能谱点微区，典型 绢云母颗粒能谱微区成分分析结果见表6。

表6 典型绢云母颗粒中的能谱微区成分分析结果 / %

Table 6 Results of energy dispersive spectrum composition in typical sericite particles

谱图	O	Si	Al	K	Na	Ca	Fe	Mg	Ti	Cr	Mn
谱图2	27.97	48.48	13.57		9.84	0.14					
谱图3	27.55	49.13	13.43		9.89						
谱图7	28.21	48.19	13.65		9.81	0.14					
谱图8	27.51	48.93	13.79		9.65	0.12					
谱图4	31.10	48.07	12.40	5.43	1.81		0.79	0.40			
谱图5	27.82	34.64	19.04	10.25	1.43		5.43	1.40			
谱图6	29.16	52.65	9.95	6.30			1.41	0.54			
谱图10	24.35	35.54	20.39	12.15			6.23	1.33			
谱图11	22.27	46.73	21.79	4.96	2.49		1.09			0.66	
谱图12	23.36	18.54	16.24				35.56	6.30			
谱图13	33.30	56.40	1.61		1.16	1.51	1.43	0.99	3.61		
谱图14	16.39	22.42	7.09		2.28	44.54	3.58				3.70
谱图16	24.11	8.15	6.15			14.90	24.99	14.94	2.10		1.82
谱图9	31.16	68.84									
谱图15	31.35	68.65									
最大	33.30	68.84	21.79	12.15	9.89	44.54	35.56	14.94	3.61	0.66	3.70
最小	16.39	8.15	1.61	2.06	1.16	0.12	0.79	0.40	0.42	0.66	1.82

从图4中可知，鳞片状绢云母集合体中各主要元素的面扫描电子像中除硅、氧之外，铝和钾的面扫描特征也比较明显，钠也具有一定的特征，而铁等元素扫描特征不明显，但是能谱微区成分分析中显示绢云母中均含量一定量的铁，可能影响绢云母的质量。

典型绢云母的EDS能谱成分见图5。

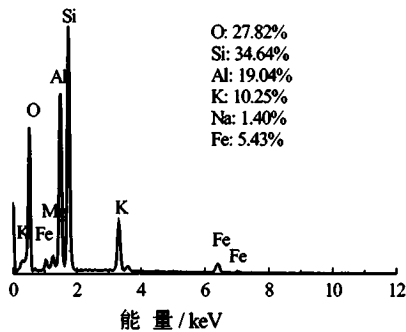


图5 金尾矿中典型绢云母的EDS

Fig. 5 EDS spectrum of typical sericite in gold tailings

其定量数据为(%)：O 27.82、Si 34.64、Al 19.04、K 10.25、Na 1.40、Fe 5.43，表明绢云母中还含有少量的铁和钠等元素，将导致绢云母的纯度不高。由于绢云母具有较好的可浮性，易于与

石英分离；但与长石、方解石等矿物可浮性相近，且绢云母质软易碎、多为细粒矿物颗粒，易于长石、方解石混杂，也需要防止与易泥化的绿泥石等矿物混杂。提取绢云母时，需要加强分级作业和防止浮选时细粒易泥化物的混杂，避免影响绢云母产品的质量。

2.4 金尾矿中绢云母的提取研究

虽然绢云母具有较好的可浮性，但多为鳞片状细粒，易与共生脉石矿物混杂，提取时采取先分级预富集而后再浮选处理的原则工艺流程。

2.4.1 金尾矿提取绢云母的动态分级研究

探索实验表明，鉴于水力旋流器的分级效果较螺旋分级机好，占地面积较高频细筛小等优点，故确定动态分级设备选择水力旋流器，实验使用Φ75 mm规格的旋流器。根据前期条件实验后确定给矿浓度分别为40%±，选择沉砂嘴内径为5 mm、6 mm和7 mm进行优化实验，经多次实验取平均值后，不同沉砂嘴的动态分级实验结果见图6。

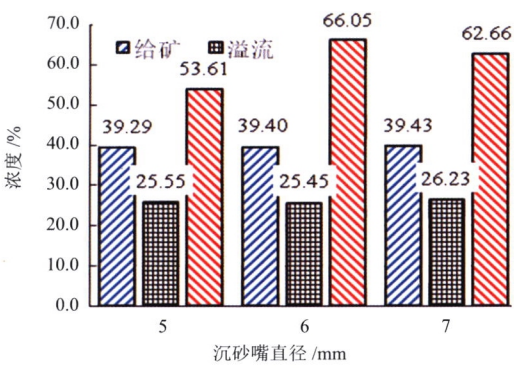


图 6 金尾矿不同沉砂嘴的水力旋流器动态分级

Fig. 6 Bar chart of dynamic classification with different underflow mouths in gold tailings by hydrocyclone

将试样水力旋流器的动态分级溢流经水析后，考察各粒级产率及 SiO_2 、 Al_2O_3 分布情况，其结果见表 7。

表 7 金尾矿水力旋流器溢流水析及 SiO_2 、 Al_2O_3 分布
Table 7 Hydraulic analysis on hydrocyclone overflow and SiO_2 and Al_2O_3 distribution in gold tailings

粒级 / mm	产率 / %	品位 / %		分布率 / %	
		SiO_2	Al_2O_3	SiO_2	Al_2O_3
+0.074	较少	/	/	/	/
-0.074+0.038	4.17	66.94	11.79	4.85	2.83
-0.038+0.019	20.68	64.51	12.83	23.17	15.26
-0.019+0.010	34.67	59.78	13.74	35.98	27.40
-0.010	40.48	51.20	23.40	36.00	54.51
合计	100.00	57.58	17.38	100.00	100.00

* 注：水力旋流器溢流中 +0.074 mm 筛分的产物较少，故此粒级未计算。

从图 6 可以看出，当给矿浓度为 39.29%、沉砂嘴内径为 5 mm 时，溢流浓度为 25.55%，沉砂浓度为 53.61%；当给矿浓度为 39.40%、沉砂嘴内径为 6 mm 时，溢流浓度在 25.45%，沉砂浓度达到 66.05%；当给矿浓度为 39.43%、沉砂嘴内径为 7 mm 时，溢流浓度在 26.23%，沉砂浓度为 62.66%。表明三者分级效果均比较理想，且以沉砂嘴内径为 6 mm 时的效果较好。

由表 7 结果可知，细粒级溢流样品中 Al_2O_3 的含量较高，表明其绢云母含量较高，金尾矿经分级后其粒度 -0.074 mm 由 66.47% 提高到 97.22% 以上，试样中 SiO_2 和 Al_2O_3 含量由 65.34%、13.28% 变化至 57.58%、17.38%，将有利于后续绢云母的浮选提取。

2.4.2 金尾矿提取绢云母的浮选研究

根据探索实验和条件实验优化操作参数后，确定控制浮选矿浆的 pH 值为 3.0 ~ 3.5，以水玻璃为抑制剂，混合胺为捕收剂，金尾矿提取绢云母的浮选原则流程为一粗二精一扫的闭路选别流程见图 7，提取绢云母的浮选操作条件和药剂添加量参见图 7，金尾矿提取绢云母动态分级 - 浮选闭路实验结果见表 8。

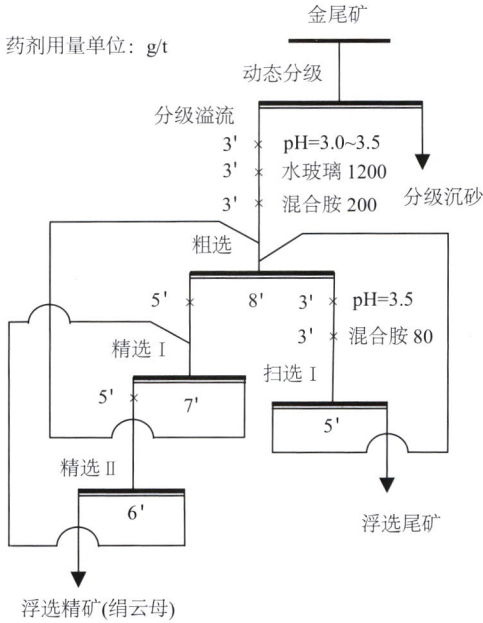


图 7 金尾矿提取绢云母原则流程

Fig. 7 Flowsheet of extracting sericite from gold tailings

表 8 金尾矿提取绢云母动态分级 - 浮选闭路实验结果

Table 8 Dynamic classification-flotation closed circuit results of sericite extracted from gold tailings

产品名称	产率 / %	Al_2O_3	
		含量 / %	分布率 / %
浮选精矿 (绢云母)	11.61	23.91	21.19
浮选尾矿	28.39	13.43	29.11
分级沉砂	60.00	10.85	49.70
合计	100.00	13.10	100.00

闭路实验可获得绢云母精矿的产率为 11.61%， Al_2O_3 含量为 23.91%，回收率为 21.19%。表明金尾矿通过动态分级 - 浮选提升过程后，能得到 Al_2O_3 含量符合 YS/T 467-2004 标准的绢云母粉产品，其质量等级可以达到标准中 MCA-1 级别中要求 Al_2O_3 的含量不小于 23.00%。

3 结 论

(1) 江西金尾矿试样中含金 0.495 g/t, 含银为 1.70 g/t, 且金多残留于铁等氧化矿物中的包裹金。铁等氧化矿物中包裹金为 0.288%, 占 58.18%; 其次为单体金+连生金、硫化物中包裹金均为 0.09%, 两者占比均为 18.18%; 显微镜下金尾矿中未发现残余金颗粒的存在。金尾矿中 SiO_2 、 Al_2O_3 分别为 62.21% 和 13.54%; 残余的矿物主要为石英、绢云母和方解石, 其矿物量分别为 54.2%、15.3%、14.8%, 其中绢云母具有较好的回收前景。

(2) 粒度分析表明, 该试样粒度较粗, 筛析 -0.074 mm 41.58%, 残余含金矿物的单体解离度不高, 含金矿物多赋存在比重较高的重矿物或金属矿物中。若适当提高试样的入选粒度, 加强对金尾中重矿物的回收, 仍有部分提金潜力。绢云母多为细粒级产出, 其 -0.10+0.05 mm 粒级占比为 79%, 片径多为 0.01~0.2 mm 之间。

(3) 绢云母具有较好的可浮性, 多为鳞片状细粒产出, 宜采用动态分级预富集、后浮选提质工艺流程。动态分级用 $\Phi 75$ mm、沉砂嘴内径为 6 mm 的效果为好, 经一粗二精一扫浮选工艺可以获得产率为 11.61%, Al_2O_3 含量为 23.91%, Al_2O_3 回收率为 21.19% 的较好指标, 达到绢云母粉中 MCA-1 级别标准。

参考文献:

- [1] 赵楠, 吕宪俊, 梁志强. 黄金矿山尾矿综合回收技术进步[J]. 黄金, 2015, 36(3): 71-75.
ZHAO N, LV X J, LIANG Z Q. Progress of comprehensive recovery techniques of gold tailings[J]. Gold, 2015, 36(3): 71-75.
- [2] 赵英良, 邢军, 孙晓刚, 等. 黄金尾矿资源化利用研究现状与进展[J]. 有色金属(矿山部分), 2016, 68(3): 1-4, 8.
ZHAO Y L, XING J, SUN X G, et al. Research status and progress of resource utilization of gold tailings[J]. Nonferrous Metals(Mine Section), 2016, 68(3): 1-4+8.
- [3] Glotov Vladimir E., Jiri Chlachula, Ludmila P. Glotova, Edward Little. Causes and environmental impact of the gold tailings dam failure at Karamken, the Russian Far East [J]. Engineering Geology, 2018, 245: 236-247.
- [4] 周明凯, 王亚婕, 王怀德. 金尾矿高硫选冶尾渣制备发泡陶瓷[J]. 中国陶瓷, 2016, 52(3): 77-81.
ZHOU M K, WANG Y J, WANG H D. Study of foam ceramic prepared by high-sulfur gold ore tailings[J]. China Ceramics, 2016, 52(3): 77-81.
- [5] LU D F, HU Y H, LI Q, et al. Improving the recovery of fine auriferous pyrite using iso-amylxanthate and its isomeride [J]. Minerals Engineering, 2016, 92: 57-62.
- [6] 杜芳芳. 某金矿尾矿综合回收金钨试验研究[J]. 矿山机械, 2018, 46(5): 51-55.
DU F F. Test study on comprehensive recovery of tungsten and gold from a gold tailings[J]. Mining & Processing Equipment, 2018, 46(5): 51-55.
- [7] 孙旭东, 刘晓敏, 龚裕, 等. 黄金尾矿建材化利用的研究现状及展望[J]. 金属矿山, 2020 (3): 12-22.
SUN X D, LIU X M, GONG Y, et al. Research status and prospects for the utilization of gold tailings as building materials[J]. Metal Mine, 2020 (3): 12-22.
- [8] 刘海龙. 某金矿尾矿中绢云母回收实验研究[J]. 中国矿山工程, 2016, 45(6): 51-53.
LIU H L. Experimental study of recovering of sericite from the tailings of a gold mine[J]. China Mine Engineering, 2016, 45(6): 51-53.
- [9] 刘江, 梁永生, 孙述翔, 等. 太阳坪金矿浮选尾矿回收绢云母实验研究及生产实践[J]. 黄金, 2019, 40(3): 76-79.
LIU J, LIANG Y S, SUN S X, et al. Experimental study on sericite recovery from flotation tailings in Taiyangping Gold Mine and production practice[J]. Gold, 2019, 40(3): 76-79.
- [10] 刘洪兴, 王仁生, 潘咏梅, 等. 从选金尾矿中提取绢云母微粉新材料[J]. 黄金, 2011, 32(1): 61-63.
LIU H X, WANG R S, PAN Y M, et al. Extracting new material of sericite micro powder from gold tailings[J]. Gold, 2011, 32 (1): 61-63.
- [11] 魏转花, 赖伟强, 黄思捷. 某金尾矿综合回收长石试验研究[J]. 非金属矿, 2014, 37(2): 69-71.
WEI Z H, LAI W Q, HUANG S J. Research on comprehensive recovery of feldspar from gold tailings[J]. Non-Metallic Mines, 2014, 37 (2): 69-71.
- [12] 崔瑞, 冯海强, 张舰, 等. 河南灵宝金尾矿制砖的实验研究[J]. 矿业研究与开发, 2019, 39(2): 116-121.
CUI R, FENG H Q, ZHANG J, et al. Experimental study on brick-making by Lingbao gold tailings in Henan[J]. Mining Research and Development, 2019, 39(2): 116-121.

- [13] 梁国海, 齐志超, 吴健, 等. 黄金尾矿用于生产烧结墙体砖试验研究 [J]. 有色金属 (矿山部分), 2018, 70(6): 16-19.
LIANG G H, QI Z C, WU J, et al. Experimental study on producing sintered wall brick with gold tailings[J]. Nonferrous Metals(Mine Section), 2018, 70(6): 16-19.
- [14] 夏荣华, 朱敏聪, 朱申红, 等. 利用金矿尾矿生产加气混凝土的试验研究 [J]. 新型建筑材料, 2008 (1): 22-25.
XIA R H, ZHU M C, ZHU S H, et al. Experimental study on making aerated concrete by tailings of gold mine[J]. New Building Materials, 2008 (1): 22-25.
- [15] 赵威, 王竹, 黄惠宁, 等. 金尾矿基轻质高强陶粒的制备及性能研究 [J]. 人工晶体学报, 2018, 47(6): 1266-1271.
ZHAO W, WANG Z, HUANG H N, et al. Research on preparation and properties of lightweight high-intensity ceramics based on gold tailings[J]. Journal of Synthetic Crystals, 2018, 47(6): 1266-1271.
- [16] WANG Z M, LV X J, YAO G, et al. Preparation of Ca-Si-Al-Mg porous ceramics by Co-operation of Ca&Mg-contained soda residue and altered rock gold tailings [J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 262: 121345.
- [17] 郭家林, 王之宇. 金尾矿发泡水泥制备及性能研究 [J]. 矿产综合利用, 2017 (2): 105-108.
GUO J L, WANG Z Y. Preparation and study of gold tailings foam cement[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2017, (2): 105-108.
- [18] 许辉. 黄金尾矿在干混砌筑砂浆和泡沫混凝土中的资源化应用 [D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2017.
XU H. Resource utilization of gold mine tailing on dry-mixed mortar and foamed concrete [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2017.
- [19] Kim Youngjae, Minseuk Kim, Jungsoo Sohn, Hyunsik Park. Applicability of gold tailings, waste limestone, red mud, and ferronickel slag for producing glass fibers [J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 203: 957-965.

Properties of Gold Tailing and Sericite Separation from Gold Tailing in Jiangxi Province

Luo Liquan¹, Zhang Xiaoxue¹, Lin Yongfeng², Jia Xufeng², Zheng Botao¹, Wei Chenxi¹

(1. School of Resources and Environmental Engineering, Wuhan University of Technology, Key Laboratory of Mineral Resources Processing and Environment in Hubei Province, Wuhan, Hubei, China;

2. National Gold Group Jiangxi Jinshan Mining Co., Ltd., Dexing, Jiangxi, China)

Abstract: More than 95% of the products are tailings in the process of gold mine beneficiation. The prerequisite for the comprehensive utilization of gold tailings is detailedly ascertaining its properties and characteristics. Aimed at the chemical composition of the gold tailing obtained from Jiangxi province, XRD, XRF and chemical analysis methods were used in sequence. After the resource properties and mineralogical characteristics of the gold tailing were studied by mineralogical identification, EMPA and EDS analysis, the effect of the dynamic classification-flotation process on the extraction of sericite was emphatically investigated. The results showed that the gold tailing contained 0.495 g/t of gold and 1.70 g/t of silver, and 58.18% of the gold was inclusion gold together with iron and other oxide minerals. No residual gold particles were found under the microscope. The SiO₂ and Al₂O₃ in the gold tailings were 62.21% and 13.54%, respectively. The remaining minerals are mainly quartz, sericite and calcite. Moreover, sericite is mostly produced in fine-grained grades with a flake diameter of 0.01 to 0.2 mm, which have a good prospect of recycling. As 41.58% of the sample was less than -0.074 mm in particle size, the monomer dissociation degree of the residual gold-bearing minerals was not high, which might be caused by the distribution of gold in heavy minerals or metal minerals. Therefore, owing to the dynamic classification of sericite with Φ75 mm hydroclone and the inner diameter of underflow mouth of 6 mm, a sericite product with a yield of 11.61%, an Al₂O₃ content of 23.91% and a Al₂O₃ recovery of 21.19% was achieved by flotation of one roughing, two scavenging and one cleaning.

Keywords: Gold tailing; Resources properties; Mineralogical characteristics; Sericite; Flotation