

doi:10.3969/j.issn.1671-9492.2024.09.006

河南某微细粒复杂难选金矿回收金试验研究

卢意恺¹, 陈伟华², 柳林³

- (1. 河南省第五地质勘查院有限公司, 郑州 450000;
2. 河南省第一地质矿产调查院有限公司, 河南 洛阳 471023;
3. 中国地质科学院 郑州矿产综合利用研究所, 郑州 450006)

摘要: 河南某金矿石含金 1.91 g/t, 为主要有价元素, 现场经浮选处理后尾矿中仍含金 0.43 g/t, 有较多损失, 为进一步降低尾矿中金的含量, 提高金的回收率, 对原矿进行了详细的工艺矿物学分析。结果显示, 矿石中含金矿物主要为银金矿, 载体矿物主要为黄铁矿, 脉石矿物主要为石英、长石、云母、白云石等, 金的嵌布粒度整体较细, 绝大部分在 10 μm 以下, 选别难度较大。针对矿石性质, 进行了磨矿细度、矿浆 pH 值、分散剂用量、活化剂用量、捕收剂种类及用量、起泡剂用量等条件试验和金回收的闭路试验。结果表明, 在磨矿细度为 -0.074 mm 占 85%、矿浆 pH 自然状态、分散剂六偏磷酸钠用量为 300 g/t、活化剂组合硫酸铜和 KDH01 用量分别为 100 g/t 和 50 g/t、捕收剂丁基黄药用量为 200 g/t、起泡剂 MIBC 用量为 40 g/t 的条件下, 原矿采用“一次粗选—两次扫选—两次精选”流程, 中矿采用循序返回方式, 扫选药剂用量依次按粗选药剂用量减半添加, 精选不加药, 全流程闭路试验最终可获得金品位 30.63 g/t、回收率 86.28% 的金精矿产品, 尾矿中金品位降至 0.28 g/t, 显著提高了金的回收率, 回收效果较好, 同时, 自研活化剂 KDH01 对该金矿有较好的适用性, 增加了矿物表面活性位点, 增强了浮选效能, 有效指导了实际生产。

关键词: 微细粒难选金矿; 浮选; 提金; 综合回收

中图分类号: TD953

文献标志码: A

文章编号: 1671-9492(2024)09-0049-08

Experimental Study on Gold Recovery from a Fine Complex Refractory Gold Ore in Henan

LU Yikai¹, CHEN Weihua², LIU Lin³

- (1. Henan Fifth Geological Exploration Institute Co., Ltd., Zhengzhou 450000, China;
2. Henan First Geology and Mineral Survey Institute Co., Ltd., Luoyang 471023, Henan, China;
3. Zhengzhou Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, CAGS,
Zhengzhou 450006, China)

Abstract: The gold ore in Henan province contained 1.91 g/t of gold, which was the main valuable element. There was still 0.43 g/t of gold in the tailings after flotation treatment in the mineral dressing plant. In order to reduce the gold content in the tailings and improve the gold recovery, a detailed process mineralogy studied was conducted on the raw ore. The results showed that the gold-bearing minerals were mainly electrum, the gold-carrier minerals were mainly pyrite, and the gangue minerals were mainly quartz, feldspar, mica, dolomite, and so on. The gold disseminated grain size was generally fine, most of which was below 10 μm , making the separation difficult. Based on the properties of the raw ore, the effects of experimental conditions such as grinding fineness, ore pulp pH, dispersant dosage, activator dosage, collector type and dosage, frother dosage were discussed. The results showed that under the conditions of grinding fineness of -0.074 mm accounting for 85%, ore pulp pH of natural state, sodium hexametaphosphate dosage of 300 g/t as dispersant, copper sulfate and KDH01 dosage of 100 g/t and 50 g/t as activator, butyl xanthate dosage of 200 g/t as collector, and MIBC dosage of 40 g/t as frother, the raw ore can obtain a gold concentrate product with gold grade of 30.63 g/t and recovery of 86.28% through the full process locked-cycle test of “one roughing-two scavengings-two cleanings”, and the middlings were returned in a sequential manner with the amount of scavenging reagent halved in proportion

收稿日期: 2023-11-01

基金项目: 国家重点研发计划项目(2020YFC190880); 河南省科技攻关项目(242102320151)

作者简介: 卢意恺(1990—), 女, 河南临颖人, 本科, 工程师, 主要从事地质找矿及资源开发利用工作。

to the amount of roughing reagent, and no chemical reagent were added during the cleaning process. The gold grade in the tailings was reduced to 0.28 g/t, which significantly improved the recovery of gold. At the same time, the self-developed activator KDH01 increased the surface active sites of minerals and enhanced the flotation efficiency, which had a good applicability to this gold ore and effectively guided the actual production.

Key words: fine grained refractory gold ore; flotation; gold extraction; comprehensive recovery

金是贵金属的一种,在自然界中丰度很低,金以其高密度、抗腐蚀、易延展、易铸造、化学性质稳定等被广泛应用在化工、金融、航天等领域,是国家重要战略物资,有着其他金属不可替代的重要地位^[1-4]。我国 2022 年国内黄金产量为 372.048 t,连续 16 年位居全球首位,随着近年来矿山开发利用水平的提高和可利用资源量的减少,同时,部分黄金矿山受自然保护区矿权清退、资源枯竭等因素影响,产量有所下降,这就需要优化现有生产工艺,提高金矿选别效率,实现在现有资源状态下增量的目的^[5-7]。

目前,较为成熟的从矿石中提金的方法主要有重选法、浮选法、氰化法、硫脲法、汞齐法等,一些微细粒复杂难选金矿^[8-10]由于成分复杂或载金矿物嵌布粒度较细,需要结合不同的矿石性质,选用一种或几种工艺、细化选别流程及控制条件回收其中的金^[11-15]。李飞等^[16]以某难选微细粒金矿为试验原料,开展闪速浮选—优先浮选—分支浮选试验,最终获得的金精矿金品位由 28.64 g/t 提高至 38.84 g/t,金回收率提高 5 个百分点,试验指标提升明显。丁辉等^[17]以金品位为 4.58 g/t 的某金矿为试验对象,在磨矿细度为—0.074 mm 占 85%的条件下,重选获得金精矿金品位 865.61 g/t、回收率 45.35%的良好指标。孙腾飞等^[18]以甘肃金品位为 2.82 g/t 的某金矿为研究对象,通过重选获得了金品位 3 643.28 g/t、回收率 38.60%的高品位金精矿,然后

通过浮选获得了金品位 55.55 g/t、回收率 55.91%的浮选金精矿,金的整体回收率达到 94.51%,效果提升显著。

本文中河南某金矿选厂浮选工艺经调整后,尾矿中仍含金 0.43 g/t,含量较高,仍有较大提升空间。为进一步提高金的回收率,通过优化现场浮选工艺条件,对该金矿矿石性质开展研究,查明金的赋存状态,并在此基础上,进行了磨矿细度、矿浆 pH 值、分散剂用量、活化剂用量、捕收剂种类及用量、起泡剂用量等条件试验以及全流程的闭路试验,并在活化剂用量条件试验中加入自研活化剂 KDH01,优化工艺条件,以降低尾矿中金品位,提高金回收率,指导现场生产,为同类型微细粒金矿的回收提供了重要依据。

1 矿石性质

试验矿样为河南某金矿选厂细碎机出口输送皮带样,对该矿样进行化学多元素分析和矿物组成分析,分析结果见表 1、2。由表 1 可知,矿石中含金 1.91 g/t,为主要有价元素,含银 5.85 g/t、硫 1.67%、铁 3.24%,伴生金属元素锌、铜和铅的含量均较低,综合回收价值不大。由表 2 可知,矿石中金属矿物主要为黄铁矿,其次为金红石、闪锌矿,偶见方铅矿、黄铜矿和褐铁矿等,脉石矿物主要为石英、钾长石、白云母,还含有部分白云石、高岭石和方解石等。

表 1 矿石主要化学成分分析结果

Table 1 Results of main chemical composition analysis of the ore

/%

组分	Au ¹⁾	Ag ¹⁾	Fe	Zn	Cu	Pb	S	C	Ti	Mn
含量	1.91	5.85	4.04	0.36	0.026	0.27	1.67	1.41	0.48	0.11
组分	Si	Al	Ca	Mg	K	Na	Zr	Ba	Sr	P
含量	12.28	6.02	4.10	0.94	6.80	0.07	0.09	0.11	0.09	0.10

注:1)单位为 g/t,下同。

表 2 矿物组成及相对含量

Table 2 Mineral composition and relative content of the ore

/%

矿物名称	黄铁矿	闪锌矿	黄铜矿	方铅矿	磁铁矿	褐铁矿	金红石
含量	2.67	0.54	0.076	0.31	0.03	0.05	0.80
矿物名称	石英	钾长石	白云母	白云石	方解石	高岭石	其他
含量	40.63	26.62	11.58	7.48	3.58	5.01	0.63

对矿石进行了镜下鉴定,鉴定结果见图 1。由图 1 可知,矿石中含金矿物主要为银金矿,其次为自然金,偶见碲金矿和碲金银矿,金矿物嵌布粒度整体较细,绝大部分在 10 μm 以下。金的载体矿物主要为黄铁矿,其次为石英、长石等硅酸盐脉石矿物,黄铁矿中

金主要以裂隙金或连生金形式产出,脉石中金主要以包裹金形式产出。黄铁矿以细粒为主,主要嵌布于脉石粒间、裂隙或包裹于脉石中,少量呈单体产出,其粒度范围主要集中于 0.010~0.074 mm。因此,该金矿石由于载金矿物粒度较细,造成选别难度较大。

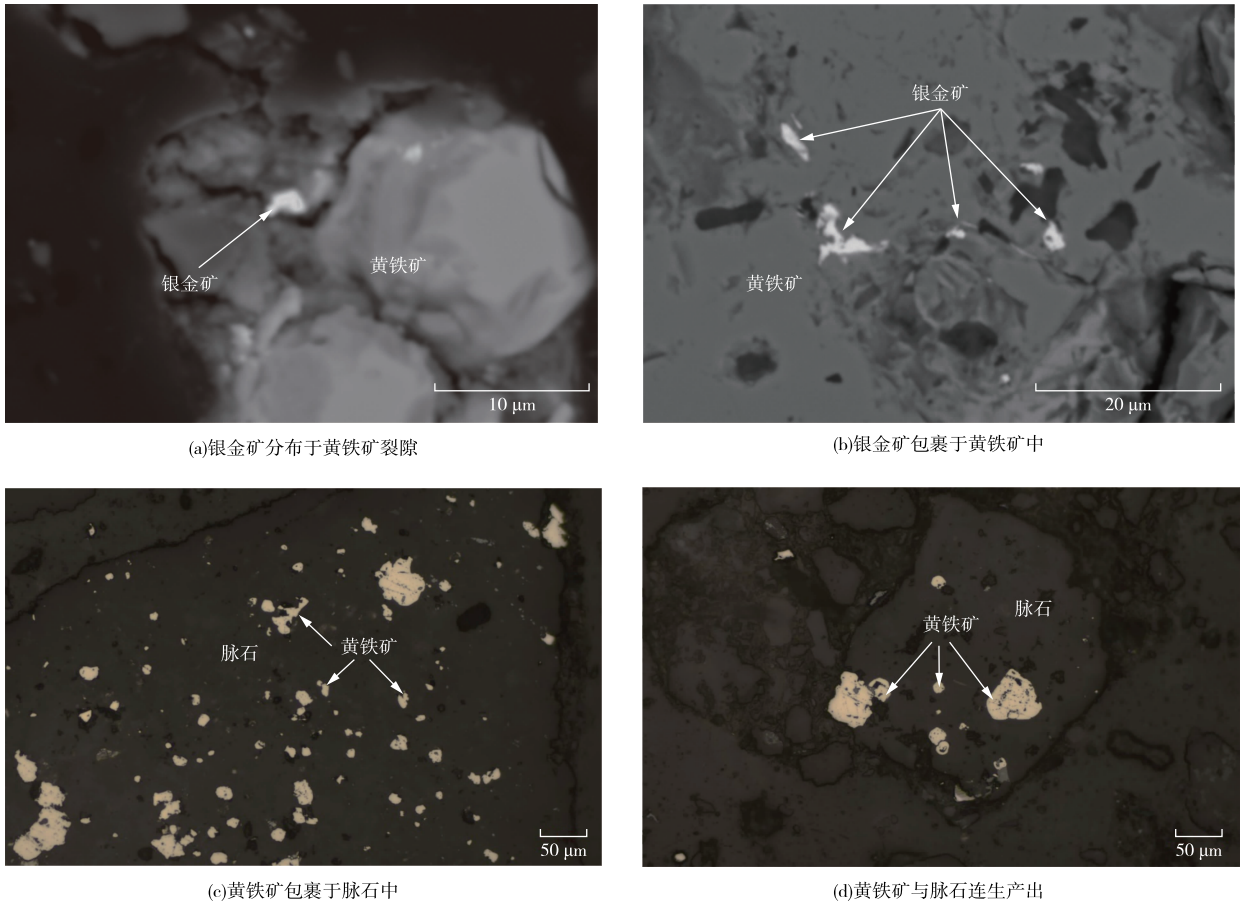


图 1 矿石中金矿物和载金矿物嵌布特征

Fig. 1 The dissemination characteristics of gold minerals and gold-bearing minerals in the ore

2 试验结果及讨论

选取厂皮带样进行后续浮选试验,结合现场实际工艺流程及条件,控制浮选过程矿浆浓度为 66.7%,药剂种类以选厂现用为主,主要考察磨矿细度、矿浆 pH、分散剂、活化剂、捕收剂、起泡剂等浮选药剂制度对金精矿选别指标的影响,试验流程见图 2。

2.1 磨矿细度试验

固定矿浆 pH 为自然状态,分散剂六偏磷酸钠用量为 300 g/t,活化剂硫酸铜用量为 100 g/t,捕收剂丁基黄药用量为 200 g/t,起泡剂 MIBC 用量为 50 g/t,考察不同磨矿细度对金浮选效果的影响,试验结果见图 3。

由图 3 可以看出,随着磨矿细度的增加,浮选精

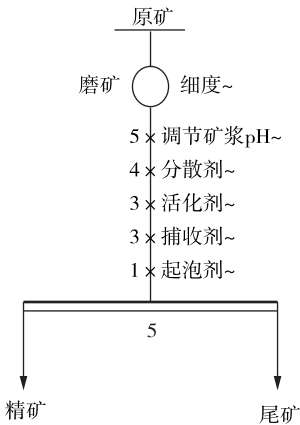


图 2 浮选试验流程

Fig. 2 Flowsheet of flotation tests

矿中金的回收率先迅速增加,后增速逐渐变缓并趋于稳定,金品位也呈现出相似的规律。当磨矿细度

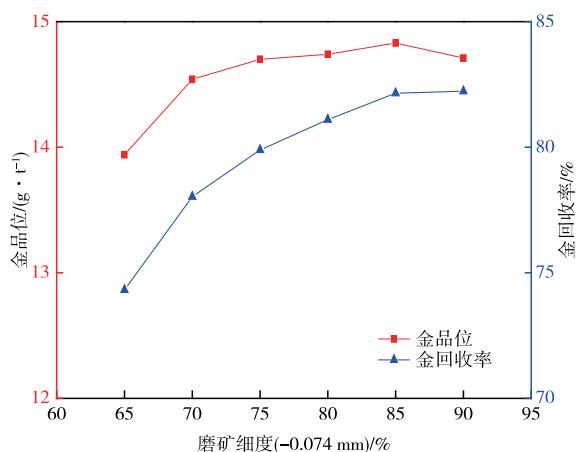


图3 磨矿细度试验结果

Fig. 3 Results of grinding fineness tests

为-0.074 mm 占85%时,可获得金品位14.83 g/t、回收率82.15%的金精矿,技术指标最优;继续增加磨矿细度,金品位和回收率变化均不明显,综合考虑,确定最佳磨矿细度为-0.074 mm 占85%。

需要注意的是,通过磨矿虽然能使金的载体矿物黄铁矿单体解离或变为富连生体,从而可实现进一步浮选回收,但伴生脉石矿物主要为石英,其次为云母及高岭石等黏土矿物,由于石英与黏土矿物的硬度差异大,磨矿过程被石英包裹的金矿物及黄铁矿不易单体解离,且磨矿过程中黏土矿物势必会进一步泥化、吸附药剂,影响浮选作业。因此,通过增加磨矿细度提高金回收率时,应注意磨矿均匀度,在保证金及载体矿物尽量单体解离的同时,防止矿石泥化。

2.2 矿浆 pH 试验

固定磨矿细度为-0.074 mm 占85%,分散剂六偏磷酸钠用量为300 g/t,活化剂硫酸铜用量为100 g/t,捕收剂丁基黄药用量为200 g/t,起泡剂MIBC用量为50 g/t。选用碳酸钠作为pH调整剂,考察不同矿浆pH值对金浮选效果的影响,试验结果见图4。

由图4可以看出,在矿浆pH值从7.5升至9.0的过程中,浮选精矿中金品位虽然逐渐上升,但金的回收率下降严重,当pH值超过8.0后,金的回收率下降幅度加剧。当pH值由8.0增至8.5,金的回收率下降2.27个百分点,随后pH值由8.5增至9.0,金的回收率下降5.46个百分点,表明提高矿浆pH值不利于金的浮选。矿浆pH为自然状态时(pH=7.2),技术指标最佳,此时浮选精矿中金品位为14.85 g/t、金回收率为82.09%。综合考虑,后续浮选试验无需调整矿浆pH值,在自然状态下

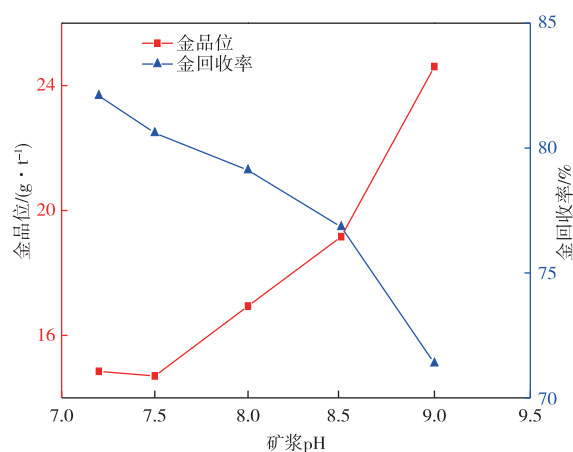


图4 矿浆 pH 试验结果

Fig. 4 Results of the ore pulp pH tests

进行即可。

2.3 分散剂六偏磷酸钠用量试验

固定磨矿细度为-0.074 mm 占85%,矿浆pH为自然状态,活化剂硫酸铜用量100 g/t,捕收剂丁基黄药用量为200 g/t,起泡剂选用MIBC用量50 g/t。分散剂选用现场使用的六偏磷酸钠,考察六偏磷酸钠用量对金浮选效果的影响,试验结果见图5。

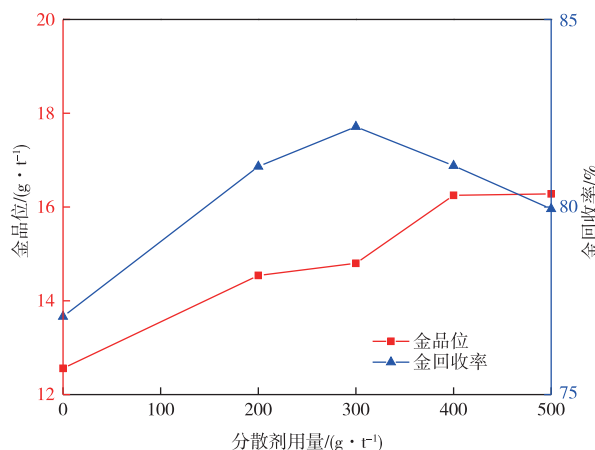


图5 六偏磷酸钠用量试验结果

Fig. 5 Results of the dispersant dosage tests

由图5可以看出,不添加分散剂六偏磷酸钠时,浮选精矿中金品位为12.56 g/t,金回收率只有77.08%,指标相对较差;当添加六偏磷酸钠后,精矿中金品位和回收率均有所升高。随着六偏磷酸钠用量由200 g/t增至500 g/t,浮选精矿中金品位逐渐升高,金回收率先升高,但随着分散剂六偏磷酸钠用量为300 g/t时达到峰值,随后开始下降,金回收率下降可能是因为六偏磷酸钠用量过多抑制了硅酸盐等脉石矿物,导致被脉石包裹的金不能被选别出来。综合考虑,分散剂六偏磷酸钠的最佳用

量为 300 g/t,此时浮选精矿金品位为 14.80 g/t、金回收率为 82.14%。

2.4 活化剂 KDH01 用量试验

固定磨矿细度为-0.074 mm 占 85%,矿浆 pH 为自然状态,分散剂六偏磷酸钠用量为 300 g/t,捕收剂丁基黄药用量为 200 g/t,起泡剂 MIBC 用量为 50 g/t。活化剂选用选厂使用的硫酸铜作为基础活化剂,用量为 100 g/t,然后添加用量分别为 0、25、50、75 和 100 g/t 的自研活化剂 KDH01 组成复合活化剂,考察 KDH01 添加量对金浮选效果的影响,试验结果见图 6。

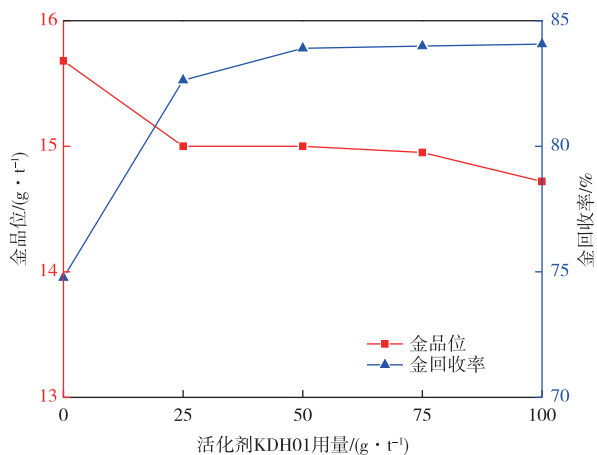


图 6 活化剂 KDH01 用量试验结果

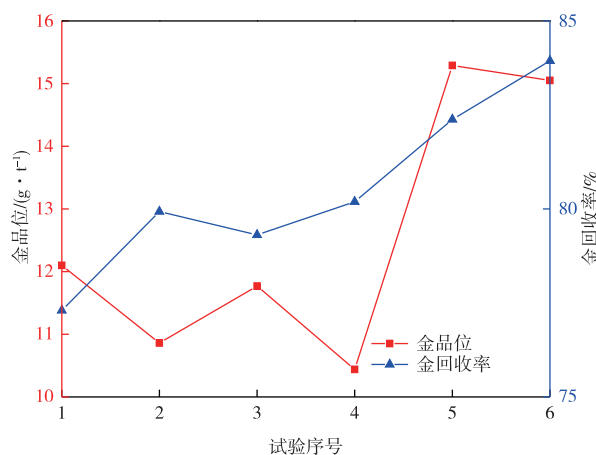
Fig. 6 Results of the activator KDH01 dosage tests

由图 6 可以看出,不添加活化剂时,虽然浮选精矿中金品位达到 15.68 g/t,但金回收率仅有 74.77%,表明不添加活化剂难以取得较好的浮选指标。添加组合活化剂后,浮选指标改善效果明显,随着活化剂 KDH01 用量的增加,精矿金品位稍有下降,金回收率迅速增加,当 KDH01 用量超过 50 g/t 时,金品位和金回收率随着活化剂用量的增加变化趋势变缓,基本趋于稳定。自研活化剂 KDH01 为螯合类活化剂,可在矿浆中形成螯合分子结构,减少矿浆中水分子对铜离子的水化作用,增加矿物表面的活性点位,促进浮选药剂在矿物表面的吸附,增强浮选效果。综合考虑,活化剂选用硫酸铜和 KDH01 的复合活化剂,用量分别为 100 g/t 和 50 g/t,此时可获得金品位 15 g/t、回收率 83.90% 的金精矿产品。

2.5 捕收剂种类试验

固定磨矿细度为-0.074 mm 占 85%,矿浆 pH 为自然状态,分散剂六偏磷酸钠用量为 300 g/t,活化剂硫酸铜和 KDH01 用量分别为 100 g/t 和 50 g/t,

起泡剂 MIBC 用量为 50 g/t。选用丁铵黑药、丁基黄药以及二者组合作捕收剂,考察不同捕收剂种类及用量对金浮选效果的影响,试验结果见图 7。



注:1—丁铵黑药 150;2—丁铵黑药 200;3—丁铵黑药+丁基黄药 75+75;4—丁铵黑药+丁基黄药 100+100;5—丁基黄药 150;6—丁基黄药 200。

图 7 捕收剂种类及用量试验结果

Fig. 7 Results of collector type and dosage tests

由图 7 可以看出,丁铵黑药捕收性较强,但选择性一般,两种药剂用量下的浮选精矿中金的品位和回收率均较低。而丁基黄药的捕收性和选择性均较强,两种药剂用量下金品位均超过 15 g/t,金回收率均超过 82%;且在 200 g/t 的药剂用量条件下,金的回收率达到 83.94%。但二者组合使用时,浮选精矿中金的品位较低,不如使用丁基黄药作为单一捕收剂时的效果,同时,金的回收率也不理想。因此确定选用丁基黄药作为捕收剂。

2.6 捕收剂丁基黄药用量试验

固定磨矿细度为-0.074 mm 占 85%,矿浆 pH 为自然状态,分散剂六偏磷酸钠用量为 300 g/t,活化剂硫酸铜和 KDH01 用量分别为 100 g/t 和 50 g/t,起泡剂 MIBC 用量为 50 g/t。选用丁基黄药作为捕收剂,考察丁基黄药用量对金浮选效果的影响,试验结果见图 8。

由图 8 可以看出,随着丁基黄药用量的增加,浮选精矿中金的回收率先迅速增加,后逐渐稳定,金的品位则呈现先大幅降低后降幅逐渐减缓的趋势,因为随着捕收剂用量的增加,会将部分脉石矿物一并浮选进入精矿,导致精矿品位大幅下降。综合考虑,捕收剂丁基黄药最佳用量为 200 g/t,此时可获得金品位 15.09 g/t、回收率 84.00% 的金精矿产品。

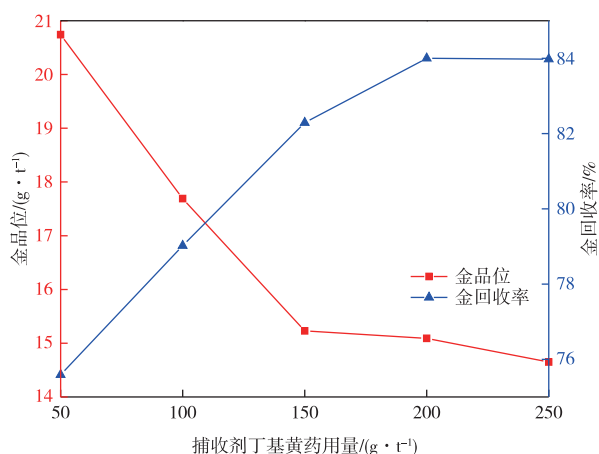


图8 捕收剂丁基黄药用量试验结果

Fig. 8 Results of collector butyl xanthate dosage tests

2.7 起泡剂 MIBC 用量试验

固定磨矿细度为 -0.074 mm 占85%,矿浆pH为自然状态,分散剂六偏磷酸钠用量为 300 g/t ,活化剂硫酸铜和KDH01用量分别为 100 g/t 和 50 g/t ,捕收剂丁基黄药用量为 200 g/t ,起泡剂选用现场使用的MIBC,考察起泡剂MIBC用量对金浮选效果的影响,试验结果见图9。

由图9可以看出,随着起泡剂MIBC用量的增加,浮选精矿中金品位逐渐降低,金回收率逐渐增加,当MIBC用量为 40 g/t 时指标基本趋于稳定,此

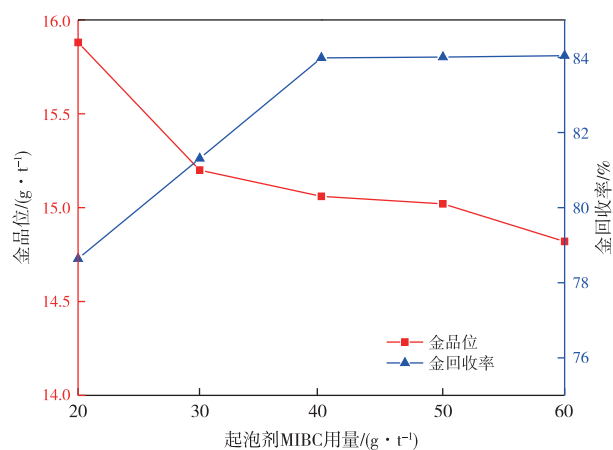


图9 起泡剂 MIBC 用量试验结果

Fig. 9 Results of the frother MIBC dosage tests

时金品位为 15.06 g/t ,金回收率为83.99%。继续增加MIBC用量,金的回收率没有明显变化,金的品位略有降低,且药剂成本增加。综合考虑,确定起泡剂MIBC最佳用量为 40 g/t 。

2.8 闭路试验

在最优浮选工艺条件试验参数的基础上,进行了全流程浮选闭路试验,试验中所有中矿均采用循序返回的方式,扫选药剂用量依次按粗选药剂用量减半添加,精选不加药。试验流程见图10,试验结果见表3。由表3可以看出,针对金品位 1.91 g/t 的

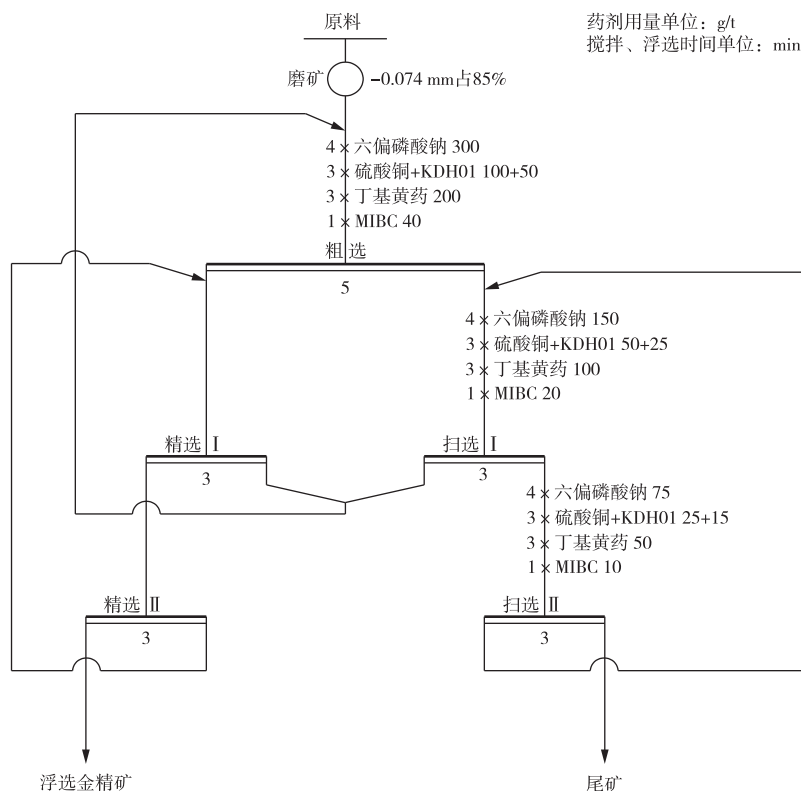


图10 闭路试验流程

Fig. 10 Flowsheet of the locked-cycle tests

表 3 闭路试验结果

Table3 Results of of the locked-cycle tests

/%

产品名称	产率	金品位 ¹⁾	金回收率
精矿	5.38	30.63	86.28
尾矿	94.62	0.28	13.72
原矿	100.0	1.91	100.0

原矿,通过“一次粗选—两次扫选—两次精选”的闭路试验流程,最终可获得产率 5.38%、金品位 30.63 g/t、回收率 86.28%的浮选金精矿,同时尾矿中金品位降至 0.28 g/t,相比于目前现场产出的尾矿含金 0.43 g/t 大幅降低,提高了该金矿的回收效果。

3 结论

1)河南某金矿原矿含金 1.91 g/t,为主要有价元素。矿石中含金矿物主要为银金矿,金的载体矿物主要为黄铁矿,脉石矿物主要为石英、钾长石、白云母等。金矿物嵌布粒度整体较细,绝大部分在 10 μm 以下,黄铁矿以细粒为主,主要嵌布于脉石粒间、裂隙、或包裹于脉石中,少量呈单体产出,其粒度主要集中于 0.010~0.074 mm,选别难度较大。

2)通过浮选条件试验,确定最佳参数为磨矿细度—0.074 mm 占 85%,矿浆 pH 自然状态,分散剂六偏磷酸钠用量为 300 g/t,活化剂硫酸铜和自研活化剂 KDH01 用量分别为 100 g/t 和 50 g/t,捕收剂丁基黄药用量为 200 g/t,起泡剂 MIBC 用量为 40 g/t,在此条件下初步获得良好指标,并且验证了自研活化剂 KDH01 可以增加矿物表面活性点位,与硫酸铜组合成复合活化剂可有效增强浮选效果,对该金矿的适用性较好。

3)在条件试验确定的最佳浮选工艺参数基础上,原矿采用“一次粗选—两次扫选—两次精选”的工艺流程,中矿循序返回,扫选药剂用量依次按粗选药剂用量减半添加,精选不加药,全流程闭路试验最终获得浮选金精矿产率 5.38%、金品位 30.63 g/t、回收率 86.28%的良好指标,尾矿中的金品位由 0.43 g/t 降至 0.28 g/t,提高了金的回收率。研究结果优化了选厂现有浮选药剂制度,指导了现场生产,也给相关微细粒难选金矿进一步提高选别指标提供了技术积累和相关经验借鉴。

参考文献

[1] 邢晴晴,明平田,徐晓萍.某微细粒难选金矿浮选尾矿无氰提金工艺及流程诊断[J].有色金属(选矿部分),2018(1):48-54.

XING Qingqing, MING Pingtian, XU Xiaoping. Non-cyanide glod extraction process and process diagnosis on flotation tailings of micro-fine refractory glod ore[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2018(1):48-54.

[2] 闫军宁.提升贵州水银洞金矿浮选工艺指标生产实践[J].矿产综合利用,2022(1):164-167.

YAN Junning. Production practice to improve the flotation process index of Shuiyindong gold mine in Guizhou province [J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources,2022(1):164-167.

[3] 石玉臣,常耀超.某含砷金矿的工艺矿物学研究[J].有色金属工程,2011(3):41-44.

SHI Yuchen, CHANG Yaochao. Study on process mineralogy of a gold ore containing arsenic [J]. Nonferrous Metals Engineering,2011(3):41-44.

[4] 廖德华.国外某低品位贫硫型金矿选冶试验研究与工业应用[J].有色金属(选矿部分),2023(1):71-77.

LIAO Dehua. Experimental study and industrial application of beneficiation and metallurgy of a low-grade and poor sulfur gold ore abroad[J]. Nonferrous Metals(Mineral Processing Section),2023(1):71-77.

[5] 高起方.某复杂难选金矿高效浮选新技术及工业应用实践研究[J].中国矿业,2014,23(2):252-254.

GAO Qifang. New efficient flotaion technology and industrial application practice for a refractory complex fine-grained gold ore[J]. China Mining Magazine,2014, 23(2):252-254.

[6] 孙晓华,霸慧文,熊馨,等.某难选金矿的选矿试验研究[J].矿产综合利用,2016(4):39-42.

SUN Xiaohua, BA Huiwen, XIONG Xin, et al. Experimental study on mineral processing of a refractory gold ore [J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources,2016(4):39-42.

[7] 赵晖,金自钦.某金矿工艺矿物学研究[J].有色金属(选矿部分),2023(1):10-15.

ZHAO Hui, JIN Ziqin. Process mineralogy study on a gold ore [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section),2023(1):10-15.

[8] 杜淑华,潘邦龙,夏亮,等.某高硫含砷碳低品位难处理金矿选矿试验研究[J].金属矿山,2020,49(11):90-94.

DU Shuhua, PAN Banglong, XIA Liang, et al. Experimental study on beneficiation of arsenic/carbon-

- bearing refractory of low-grade gold ore containing high sulfur[J]. Metal Mine, 2020, 49(11): 90-94.
- [9] 周光浪, 周冬云. 含碳微细粒难处理复杂金矿中金的回收[J]. 矿冶, 2022, 31(4): 48-55.
ZHOU Guanglang, ZHOU Dongyun. Gold recovery from refractory complex gold ores containing carbon fine particles[J]. Mining and Metallurgy, 2022, 31(4): 48-55.
- [10] 汤亦婧, 罗思岗, 陆红羽. 辽宁某金矿选矿试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2022(4): 105-110.
TANG Yijing, LUO Sigang, LU Hongyu. Experimental study on mineral processing of a gold ore in Liaoning[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2022(4): 105-110.
- [11] 田润青, 刘云华, 田民民, 等. 陕西某微细粒浸染型金矿选矿试验研究[J]. 黄金科学技术, 2016(6): 102-106.
TIAN Runqing, LIU Yunhua, TIAN Minmin, et al. Mineral processing experiments on fine-disseminated gold ore from Shaanxi province[J]. Gold Science and Technology, 2016(6): 102-106.
- [12] 郭玉武, 张宇, 朱恩领, 等. 内蒙古某微细粒浸染型金矿选矿工艺研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2015(4): 46-50.
GUO Yuwu, ZHANG Yu, ZHU Enling, et al. Research on mineral processing technology of micrograined-disseminated gold ore in Inner Mongolia[J]. Nonferrous Metals(Mineral Processing Section), 2015(4): 46-50.
- [13] 吴天骄, 曹欢, 牛芳银, 等. 某含碳微细粒难处理金矿浮选提金工艺研究[J]. 黄金科学技术, 2021, 29(5): 767-770.
WU Tianjiao, CAO Huan, NIU Fangyin, et al. Study on gold extraction from a carbon-bearing fine-grained refractory gold ore by flotation process[J]. Gold Science and Technology, 2021, 29(5): 767-770.
- [14] 张立征, 王彩霞, 赵福财. 甘肃某微细粒浸染型难处理金矿选矿试验研究[J]. 矿冶工程, 2011, 31(4): 45-47.
ZHANG Lizheng, WANG Caixia, ZHAO Fucui. Mineral processing experiments on fine-disseminated refractory gold ore from Gansu [J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2011, 31(4): 45-47.
- [15] 孙亚峰, 王小钊, 白新悦. 某细粒贫硫金矿石选矿工艺研究[J]. 现代矿业, 2020, 36(5): 103-105.
SUN Yafeng, WANG Xiaozhao, BAI Xinyue. Separation beneficiation technology research of a fine grained and lean sulfur gold ore[J]. Modern Mining, 2020, 36(5): 103-105.
- [16] 李飞, 明平田. 某难选金矿高效浮选工艺可行性研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2019(6): 50-57.
LI Fei, MING Pingtian. Feasibility study of high efficiency flotation process for a refractory gold ore[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2019(6): 50-57.
- [17] 丁辉, 涂宾, 张馨爻, 等. 国外某金矿矿石选矿试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2023(1): 46-50.
DING Hui, TU Bin, ZHANG Xinyao, et al. Experimental study on beneficiation of a foreign gold ore [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2023(1): 46-50.
- [18] 孙腾飞, 范喜杰, 孔汇贤, 等. 甘肃某低硫化物金矿选矿试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2022(6): 72-76.
SUN Tengfei, FAN Xijie, KONG Huixian, et al. Experimental study on beneficiation of a low sulfide gold mine in Gansu [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2022(6): 72-76.

(本文编辑 刘水红)