

青海某低品位金矿石选矿试验研究

熊馨¹, 霸慧文², 寇保德³, 应永朋¹, 赵玉卿¹

(1. 青海省地质矿产测试应用中心; 2. 青海省自然资源博物馆; 3. 青海省地质调查院)

摘要:青海某砾岩型低品位金矿石金品位仅0.51 g/t, 矿石氧化程度较高, 金矿物主要为银金矿, 且粒度微细。根据矿石性质, 进行了浮选、摇床重选、尼尔森重选、全泥浸出4种工艺流程探索试验对比。结果表明: 环保浸金剂全泥浸出工艺适宜处理该矿石; 采用浮选、摇床重选、尼尔森重选工艺, 金回收率较低, 最高仅为10.72%。在最佳试验条件下, 采用环保浸金剂全泥浸出工艺, 可获得金浸出率80.94%的较好指标。

关键词:低品位金矿石; 砾岩型金矿; 环保浸金剂; 浮选; 重选

中图分类号: TD953

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

文章编号: 1001-1277(2022)05-0068-04

doi: 10.11792/hj20220513



随着金矿资源的不断开发, 资源禀赋条件好、高品位、易处理金矿越来越少, 低品位、难处理金矿已成为黄金矿产资源开发利用的热点。为解决黄金矿山资源保障程度不足的问题, 从充分利用资源、提高资源开发效益的角度考虑, 亟需开展低品位、难处理金矿资源开发利用研究^[1-2]。青海某砾岩型金矿石金品位仅0.51 g/t, 为查明该矿石可利用性, 本文在对该矿石进行详细工艺矿物学研究的基础上, 进行了选矿试验研究, 以确定适宜的选矿工艺和所能达到的选矿指标, 为砾岩型金矿资源的开发利用提供基础数据及技术依据^[3-5]。

1 矿石性质

1.1 化学成分及矿物组成

青海某砾岩型金矿石化学成分分析结果见表1, 矿石矿物组成分析结果见表2, 金矿物嵌布状态分析结果见表3。

表1 矿石化学成分分析结果

成分	Au ¹⁾	Ag ²⁾	S	As	Sb	TFe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO
w/%	0.51	0.40	0.010	0.069	0.0019	4.01	78.51	10.56	1.1	0.77

注: 1) $w(\text{Au})/(\text{g} \cdot \text{t}^{-1})$; 2) $w(\text{Ag})/(\text{g} \cdot \text{t}^{-1})$ 。

表2 矿石矿物组成分析结果

矿物名称	相对含量/%	矿物名称	相对含量/%
褐铁矿	3.5	石英(玉髓)	70
黄铁矿	0.3	绢(白)云母	15
赤铁矿	0.2	长石	4
银金矿	<0.01	其他	7

表3 金矿物嵌布状态分析结果

嵌布状态	$w(\text{Au})/(\text{g} \cdot \text{t}^{-1})$	分布率/%
裸露及半裸露金	0.42	71.19
碳酸盐矿物包裹金	0.06	10.17
硫化矿物包裹金	0.09	15.25
褐铁矿包裹金	0.02	3.39
合计	0.59	100.00

由表1、表2可知: 矿石中金品位为0.51 g/t, 其他成分含量较低, 无综合回收价值。矿石中金属矿物较为简单, 主要为褐铁矿、黄铁矿、赤铁矿及微量银金矿; 脉石矿物主要为石英(玉髓)、绢(白)云母、长石及少量黏土矿物、角砾、岩屑等。

由表3可知: 矿石中金主要以裸露及半裸露金的形式存在, 分布率为71.19%; 硫化矿物包裹金分布率为15.25%, 碳酸盐矿物包裹金分布率为10.17%, 褐铁矿包裹金分布率为3.39%。

1.2 主要矿物嵌布特征

1) 褐铁矿。褐铁矿相对含量为3.5%, 主要以细脉状分布, 多呈胶体状态聚集。褐铁矿完全交代黄铁矿, 呈黄铁矿晶形的假象, 局部可见交代残留的黄铁矿颗粒, 褐铁矿的存在证明了成矿后存在强烈氧化过程, 而且被氧化矿物主要为黄铁矿^[4]。

2) 黄铁矿。黄铁矿相对含量为0.3%, 粒度在0.01~0.07 mm, 呈自形、半自形或他形不规则粒状晶形, 稀疏浸染状分布。该矿石中的黄铁矿已完全被褐铁矿交代, 局部可见少量交代残留的黄铁矿呈针点状分布于褐铁矿中。

收稿日期: 2021-11-22; 修回日期: 2022-03-09

基金项目: 青海省重点研发与转化计划项目(2019-SF-139); 青海学者资助项目(青人社厅函[2019]48号)

作者简介: 熊馨(1990—), 女, 青海西宁人, 工程师, 从事矿产资源综合利用研究工作; 西宁市城中区光宁路, 青海省地质矿产测试应用中心, 810021; E-mail: 494739762@qq.com

3) 银金矿。由于矿石中金品位较低,矿石光片及人工重砂样品砂光片在显微镜下均未发现金矿物。通过对人工重砂样品砂光片进行 BPMA 自动测试,仅找到 1 粒银金矿,且粒度极其细微,仅 3 μm 左右,包裹于石英中(见图 1);说明矿石中的金粒度微细,回收有一定难度。

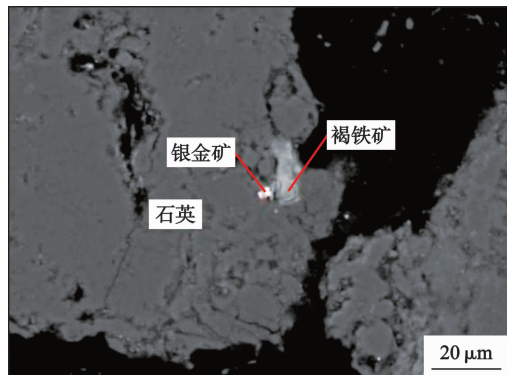


图 1 银金矿呈微粒包裹于石英中(背散射电子图像)

2 试验结果与讨论

2.1 选矿工艺探索试验

为确定适宜该矿石的选矿工艺,分别选择浮选、重选、全泥浸出等方法进行探索试验。

2.1.1 浮选

原矿浮选探索试验流程见图 2,试验结果见表 4。

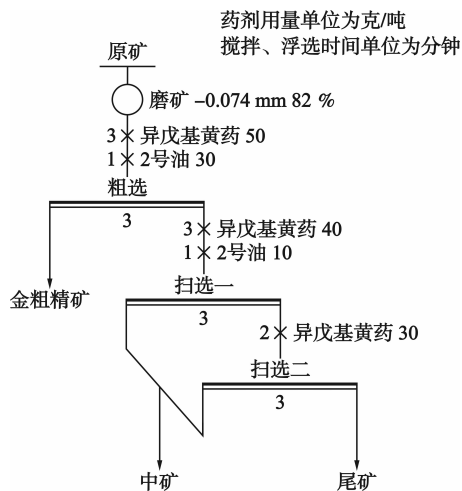


图 2 原矿浮选探索试验流程

表 4 原矿浮选探索试验结果

产物	产率/%	金品位/(g · t ⁻¹)	金回收率/%
金粗精矿	0.58	3.57	4.01
中矿	7.98	1.19	18.31
尾矿	91.44	0.44	77.68
原矿	100.00	0.52	100.00

由表 4 可知:原矿磨矿至 -0.074 mm 占 82%,经一次粗选、两次扫选,所得金粗精矿金品位仅 3.57 g/t,

金回收率仅 4.01%,尾矿中金回收率为 77.68%。由于原矿氧化程度较高,矿石中金品位较低且粒度微细,浮选回收效果较差,因此该矿石不适宜选择浮选工艺回收。

2.1.2 摇床重选

重选较适合处理含金矿物单体解离度较高的金矿石及含金矿物主要为单体自然金、银金矿的金矿石。原矿摇床重选探索试验流程见图 3,试验结果见表 5。

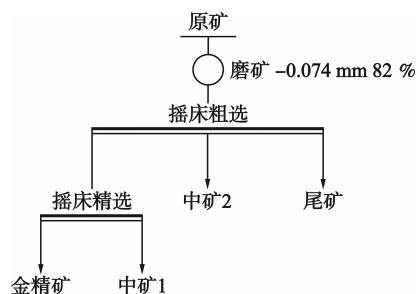


图 3 原矿摇床重选探索试验流程

表 5 原矿摇床重选探索试验结果

产物	产率/%	金品位/(g · t ⁻¹)	金回收率/%
金精矿	1.23	4.28	10.72
中矿 1	15.66	0.63	20.10
中矿 2	26.10	0.34	18.08
尾矿	57.01	0.44	51.10
原矿	100.00	0.49	100.00

由表 5 可知:原矿磨矿至 -0.074 mm 占 82%,经摇床重选获得的金精矿金品位仅 4.28 g/t,金回收率仅 10.72%,原矿中的金未能通过摇床重选实现富集,因此该矿石不适合采用摇床重选工艺回收。

2.1.3 尼尔森重选

尼尔森选矿机是基于离心原理的高效离心选矿设备,在离心力产生的强化重力场内,轻重矿物之间的密度差被放大,选别金矿石时,精矿的富集比可达到 1 000 ~ 5 000,并且适用于细粒金的回收^[5-6]。原矿尼尔森重选探索试验流程见图 4,试验结果见表 6。

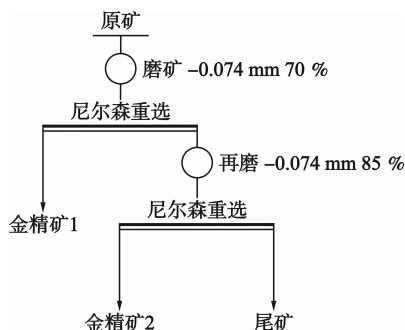


图 4 原矿尼尔森重选探索试验流程

表6 原矿尼尔森重选探索试验结果

产物	产率/%	金品位/(g·t ⁻¹)	金回收率/%
金精矿1	0.21	24.80	10.30
金精矿2	0.51	0.79	0.79
尾矿	99.28	0.46	88.91
原矿	100.00	0.51	100.00

由表6可知:经过尼尔森重选获得的金精矿1金品位24.80 g/t,但金回收率仅10.30%,尾矿金品位0.46 g/t、金回收率88.91%。这说明采用尼尔森选矿机选别,仅能富集少部分金矿物获得金精矿,大部分微细粒金仍然无法得到回收。综合考虑,该矿石不适合选择尼尔森重选工艺回收。

2.1.4 全泥浸出

氰化浸出是金矿石提金的主要方法之一,具有浸金效果突出、工艺成熟等优点,但氰化尾矿属于危险废物,存在极大的安全隐患^[7]。由于该矿山位于高海拔地区,生态环境较为脆弱,因此本次研究采用环保浸金剂替代氰化物进行浸出试验。原矿在磨矿细度-0.074 mm占85%、环保浸金剂用量700 g/t的条件下,进行全泥浸出探索试验。结果表明:金浸出率为80.39%,回收效果较好,该矿石适宜采用全泥浸出工艺处理。

2.2 全泥浸出条件试验

为确定全泥浸出工艺流程最佳条件,进一步开展了全泥浸出条件试验,主要考察磨矿细度、环保浸金剂用量、浸出时间对金浸出率的影响,试验流程见图5。试验条件:入浸矿样100 g,石灰用量5 000 g/t,矿浆pH值11,矿浆浓度40%,浸出温度20℃,洗涤水用量300 mL,水平振荡浸出。

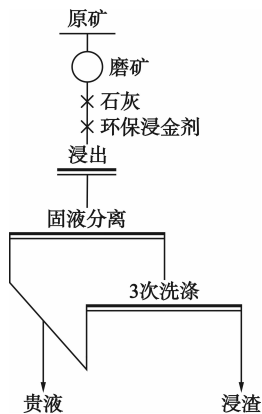


图5 全泥浸出试验流程

2.2.1 磨矿细度

在环保浸金剂用量700 g/t、浸出时间24 h的条件下,进行磨矿细度试验,结果见图6。由图6可知:随着磨矿细度的增大,金浸出率逐渐升高后趋于稳

定;当磨矿细度-0.074 mm占75%时,金浸出率为80.39%;继续增加磨矿细度,金浸出率提升幅度较小;这说明矿石中部分金由于粒度极其微细,即便原矿磨矿细度达到-0.074 mm占95%,仍然因未打开包裹体而无法得到回收。若继续增加磨矿细度,势必造成能源的大量消耗^[8],增加选矿成本。因此,综合考虑,选择磨矿细度-0.074 mm占75%较为适宜。

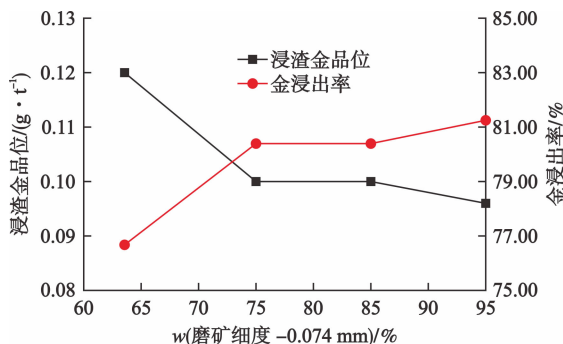


图6 磨矿细度试验结果

2.2.2 环保浸金剂用量

在磨矿细度-0.074 mm占75%、浸出时间24 h的条件下,进行环保浸金剂用量试验,结果见图7。由图7可知:随着环保浸金剂用量的增加,金浸出率逐渐升高后趋于稳定;当环保浸金剂用量为700~900 g/t时,金浸出率均为80.39%。因此,环保浸金剂用量选择700 g/t即可。

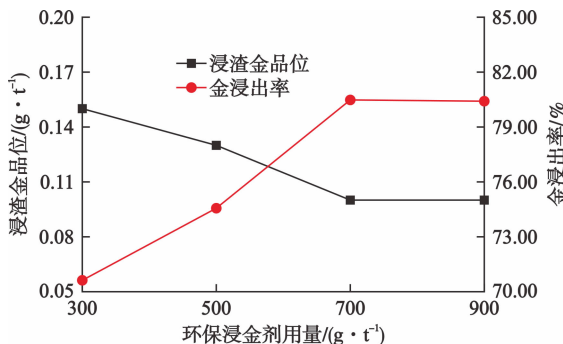


图7 环保浸金剂用量试验结果

2.2.3 浸出时间

在磨矿细度-0.074 mm占75%、环保浸金剂用量700 g/t的条件下,进行浸出时间试验,结果见图8。由图8可知:浸出时间从8 h延长至24 h,金浸出率提升较为明显;但从24 h延长至48 h,金浸出率趋于稳定。因此,选择浸出时间24 h较为适宜。

根据条件试验,确定原矿环保浸金剂全泥浸出最佳工艺条件为:磨矿细度-0.074 mm占75%,环保浸金剂用量700 g/t,浸出时间24 h。在此条件下,可获得金浸出率80.39%,浸渣金品位0.10 g/t的较好指标。

2.2.4 综合条件验证试验

综合上述条件试验所得最佳条件进行验证试验,

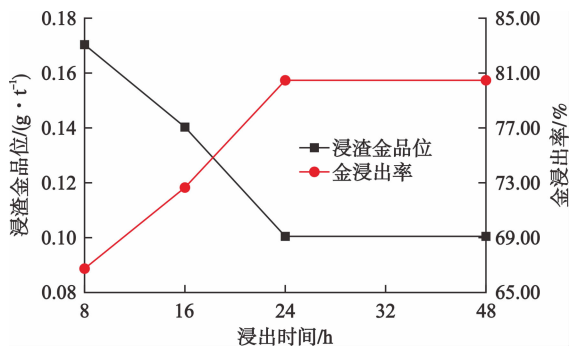


图8 浸出时间试验结果

并在相同条件下进行平行试验^[9-10], 试验流程见图9, 试验结果见表7。

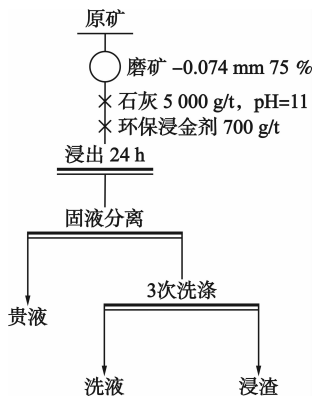


图9 综合条件验证试验流程

表7 综合条件验证试验结果

试验序号	产物	金品位/(g·t ⁻¹)	金浸出率/%
1	贵液	0.26 ^{a)}	58.57
	洗液	0.04 ^{a)}	22.53
	浸渣	0.10	18.90
	原矿	0.53	100.00
2	贵液	0.24 ^{a)}	52.65
	洗液	0.05 ^{a)}	28.14
	浸渣	0.10	19.21
	原矿	0.52	100.00
平均值			80.94 ^{b)}

注:a)单位为 mg/L; b)2组平行试验贵液+洗液金浸出率平均值。

由表7可知:在原矿磨矿至-0.074 mm占75%、环保浸金剂用量700 g/t、浸出时间24 h的最佳试验条件下,可获得金浸出率80.94%的浸出指标。

3 结论

1)青海某砾岩型低品位金矿石氧化程度较高,主要金属矿物为褐铁矿、黄铁矿、赤铁矿和微量银金矿,主要脉石矿物为石英(玉髓)、绢(白)云母、长石。矿石中可回收有价金属元素为金,其他成分含量较低,无综合回收价值。矿石中金主要以裸露及半裸露金形式嵌布,金矿物类型主要为银金矿,且粒度微细,对回收指标有一定影响。

2)通过选矿工艺探索试验表明:该矿石采用浮选和重选工艺均不能获得理想指标,金回收率最高仅为10.72%;采用环保浸金剂进行全泥浸出,金浸出指标较好。

3)通过全泥浸出条件试验,确定最佳工艺条件为:磨矿细度-0.074 mm占75%,环保浸金剂用量700 g/t,浸出时间24 h。在此条件下,可获得金浸出率80.94%的较好指标。研究结果可为该类低品位金矿资源的开发利用提供参考依据。

[参考文献]

- [1] 姜文杰,童雄,谢贤,等. 某低品位金矿综合回收试验研究[J]. 矿冶, 2020, 29(6): 32-39.
- [2] 高起方,罗思岗,赵志强. 某低品位金矿的氰化浸出试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2015(3): 48-51.
- [3] 熊馨,陈攀,孙晓华,等. 青海某难选含金铁矿石选矿工艺试验研究[J]. 黄金, 2020, 41(7): 57-61.
- [4] 常征,熊馨,孙晓华. 青海某含砷含碳微细浸染型难处理金矿石选矿试验研究[J]. 黄金, 2021, 42(1): 55-58, 63.
- [5] 元传铎. 某金矿氧化矿石可选性试验研究[J]. 黄金, 2021, 42(9): 90-94.
- [6] 印万忠,马英强. 黄金选矿技术[M]. 北京:化工工业出版社, 2016.
- [7] 何美丽. 福建某低品位金矿新型浸金剂浸金试验[J]. 矿冶, 2020, 29(6): 62-66.
- [8] 翁兴媛,关智浩,高野,等. 吉林某金矿选矿工艺对比实验研究[J]. 贵金属, 2021, 42(1): 16-21.
- [9] 霍明春,程晓霞,岳辉,等. 某贫硫化物石英脉型金矿石选矿工艺研究[J]. 黄金, 2018, 39(4): 63-67.
- [10] 张文平,蔡明明,李光胜,等. 贵州某金矿石可选性试验研究[J]. 黄金, 2021, 42(7): 78-81.

Study of beneficiation test on a low-grade gold ore from Qinghai

Xiong Xin¹, Ba Huiwen², Kou Baode³, Ying Yongpeng¹, Zhao Yuqing¹

(1. Geology Ore Testing and Application Center of Qinghai Province;

2. Museum of Natural Resources of Qinghai Province; 3. Qinghai Geological Survey Institute)

Abstract: The gold grade of a low-grade conglomerate gold ore from Qinghai is only 0.51 g/t, and the oxidation degree of the ore is high. The gold minerals in the ore are mainly electrum and the particle size is micro-fine. According to the ore properties, 4 kinds of flowsheets are explored and compared including flotation, table gravity separation, Nelson gravity separation, all-sliming leaching. The results showed that the all-sliming leaching with environmental gold leaching agent is suitable for the ore treatment; flotation, table gravity separation, Nelson gravity separation all have low gold recovery rate, the highest of which is 10.72%. Under the optimal experimental conditions, the gold leaching rate can be as good as 80.94% by all-sliming leaching with environmental gold leaching agent.

Keywords: low-grade gold ore; conglomerate gold ore; environmental gold leaching agent; flotation; gravity separation