

# 苏丹某金矿尼尔森重选-氰化浸出试验研究

邱 沙, 郭鹏志, 谢建平  
(天津华北地质勘查局, 天津 300170)

**摘要:** 苏丹某金矿为低品位贫硫石英脉型金矿, 研究表明金主要赋存于石英粒间, 以中、粗粒级嵌布为主。开展了尼尔森重选预先抛尾-中矿氰化浸出试验研究。结果表明: 当采用尼尔森选矿机和摇床进行两次分选, 在二段磨矿细度-0.074 mm75% 的条件下可以直接抛掉产率为 76.73%, 品位为 0.23 g/t, 回收率为 7.12% 的尾矿, 可以有效降低生产成本。重选获得的总中矿在较佳氰化浸出工艺条件: 磨矿细度-0.074 mm 90%, 矿浆浓度 40%, 石灰用量 2.5 kg/t, 氰化钠用量 1.2 kg/t, 浸出时间 28 h 时, 金的作业回收率为 95.15%。采用尼尔森重选-氰化浸出联合流程金的总回收率可以达到 90.18%。

**关键词:** 金矿; 尼尔森选矿; 重选; 氰化浸出

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2017.02.005

中图分类号: TD982 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532(2017)02-0019-06

苏丹哈马迪金矿为石英脉型低品位金矿石, 已经探明地表以下 100 m 深度范围内金资源量 28 t, 平均品位 2.07 g/t, 且远景储量十分可观<sup>[1-2]</sup>。2007 年天津华北地质勘查局与苏丹政府合作共同投资建设了一座年生产能力 10 万 t 的矿山, 采用露天开采和堆浸工艺。但在生产过程中由于苏丹北部地区常年气温高, 风沙大, 水分蒸发很快, 矿堆的渗透性很难保证, 制约了矿山产能和金的回收效果。目前, 随着开采逐渐转入矿体深部, 矿石性质也发生了变化, 因此, 需要结合矿石性质和实际环境条件为矿山开发制定合理的生产流程。尼尔森重选法和全泥氰化

法工艺成熟可靠, 金浸出率高, 回收周期短<sup>[3-4]</sup>, 可以很好的解决当前矿山生产中的实际问题, 本文对该矿石开展了此方面的试验。

## 1 矿石性质

### 1.1 原矿的化学组成

矿石的多元素分析结果见表 1。从表 1 中可以看出, 矿石含硫仅为 0.94%, 属于贫硫金矿石。矿石中可以利用的组分仅有金, 伴生少量银、铜、铅、锌、锑、砷的含量较低。

表 1 矿石的多元素分析结果/%

Table 1 Multi-element analysis results of the ore

Au*	Ag*	Sb	S	K <sub>2</sub> O	As	C	TFe	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	Ti	Cu	Pb	Zn	Sn
2.27	5.00	0.008	0.94	1.16	0.04	1.75	7.36	5.68	12.12	48.54	8.25	0.021	0.006	0.026	0.039	0.001

\* 单位为 g/t。

### 1.2 矿石的矿物组成

利用 X-射线衍射、光学显微镜等对矿石的矿物组成及含量进行了分析, 结果见表 2。从表 2 中可以看出, 矿石中的金属矿物主要有黄铁矿、赤铁矿、

磁铁矿、钛铁矿, 其次为褐铁矿、钛赤铁矿、钛磁铁矿、锐钛矿, 还含有微量黄铜矿、磁黄铁矿、铜蓝; 脉石矿物主要有石英、黑云母、角闪石和碳酸盐矿物, 其次有石榴石、辉石、绿泥石及粘土矿物等。

表 2 矿石中主要矿物相对含量结果

Table 2 Relative content of the main minerals in the ore

矿物名称	含量/%	矿物名称	含量/%	矿物名称	含量/%	矿物名称	含量/%
黄铁矿	1.58	钛磁铁矿	0.22	石英	32.66	磷灰石	0.47
赤铁矿	4.52	锐钛矿	0.23	绿泥石	0.28	粘土矿物	3.91
磁铁矿	1.45	黑云母	15.66	绢云母	2.33	磁黄铁矿	
钛铁矿	0.68	角闪石	14.46	辉石	1.87	铜蓝	微量
钛赤铁矿	0.33	碳酸盐	10.73	长石	1.62	自然金	
褐铁矿	0.55	石榴石	3.60	白云母	0.93	黄铜矿	

### 1.3 金的赋成状态

#### 1.3.1 金矿物的产出特征

矿石中的金矿物主要是自然金,多以粒状、圆粒状、麦粒状产出,主要分布在脉石中,一部分包裹在黄铁矿中及嵌布在黄铁矿与脉石矿物的粒间,还有少量嵌布在钛铁矿物与脉石粒间。此外,镜下观察发现有的粗粒自然金中包裹有细粒的钛铁矿。

#### 1.3.2 金矿物的形态

对矿石中自然金颗粒的形态进行了统计分析,结果见表 3。由表 3 可见,矿石中的自然金主要以粒状产出,分布率占 80.65%;麦粒状次之,分布率占 19.35%;未见有叶片状和针线状金颗粒。

表 3 矿石中自然金的形态统计结果

Table 3 Statistical results of the gold shape in the ore

自然金形态	粒状	麦粒状	叶片状	针线状	合计
长宽比	1~1.5	1.5~3	3~5	>5	
分布率/%	80.65	19.35	0.00	0.00	100.00

#### 1.3.3 金矿物的嵌布特征

镜下观察表明矿石中的自然金主要分布在脉石中,部分与黄铁矿有嵌布关系,少量与钛铁矿物有嵌布关系,分析结果见表 4。从表 4 中可以看出,57.60%的自然金分布在脉石中;13.42%的自然金包裹在黄铁矿中,24.22%的自然金嵌布在黄铁矿与其他矿物的粒间,另外还有 4.76%的自然金嵌布在铁矿物与脉石矿物粒间。

表 4 矿石中自然金的嵌布特征分析结果

Table 4 Analysis results of dissemination characteristics of the gold in the ore

名称	分布在脉石中	黄铁矿包裹金	黄铁矿与脉石粒间金	黄铁矿与钛磁铁矿粒间金	钛赤铁矿与脉石粒间金	黄铁矿、钛铁矿与脉石粒间金	总计
相对含量/%	57.60	13.42	22.02	2.20	3.39	1.37	100.00

#### 1.3.4 金矿物的嵌布粒度

对自然金的嵌布粒度进行了统计分析,结果见表 5。由表 5 中结果可见矿石中自然金嵌布粒度不均匀,以粗、中粒嵌布为主。其中 0.295~0.074 mm

含量占 45.32%,0.074~0.037 mm 38.88%,两者含量总计达到 84.20%;其次为细粒金,含量为 13.34%;微粒及次显微金含量较少,含量仅为 2.46%。

表 5 矿石中自然金的嵌布粒度统计结果

Table 5 Statistical results of dissemination size of the gold in the ore

粒度/mm	粗粒	中粒	细粒	微粒	次显微	合计
	0.295~0.074	0.074~0.037	0.037~0.01	0.01~0.001	<0.001	
相对含量/%	45.32	38.88	13.34	2.44	0.02	100.00

## 2 结果与讨论

### 2.1 尼尔森重选试验

尼尔森选矿机是一种高效的离心选矿设备,是许多新建和改建的各种规模的黄金及有贵金属伴生的选矿厂选用的设备,目前在国内外应用较为广泛<sup>[5-7]</sup>。尼尔森选矿机分选过程自动化程度高,且

处理量大,占地面积小、富集比高,日常维护和管理成本低<sup>[8-9]</sup>,尤其适合外在条件较差的黄金矿山使用。考虑到哈马迪金矿石中有 57.60%的自然金分布在脉石中,22.02%的自然金嵌布在黄铁矿与脉石粒间,且其中粗、中粒级含量达到 84.20%,比较容易解离,因此,先采用尼尔森重选优先回收部分大颗粒金。由于矿石中自然金嵌布粒度不均匀,宜采用

分段磨矿选别的流程<sup>[10]</sup>。

使用的设备为 KC-MD3 型尼尔森选矿机。单次试验矿样粒度 0~12 mm, 矿样重量 20 kg, 采用两段磨矿两段选别的流程。相关尼尔森重选试验研究结果<sup>[11-13]</sup>及哈马迪金矿尼尔森选矿探索试验表明, 磨矿粒度对尼尔森选别的效果影响最为显著。因此, 试验过程中控制一段给矿粒度为-1 mm 100%, 主要考察了二段磨矿-0.074 mm 含量的变化对金回收效果的影响。

试验条件: 设备重力值 60G, 流态化水流量 3.6 L/min, 矿样浓度 40%, 给矿速度 0.7~0.8 kg/min。试验流程见图 1, 试验获得的精矿 I 和精矿 II 合并为总精矿; 中矿 I 和中矿 II 合并为总中矿。试验结果见表 6。

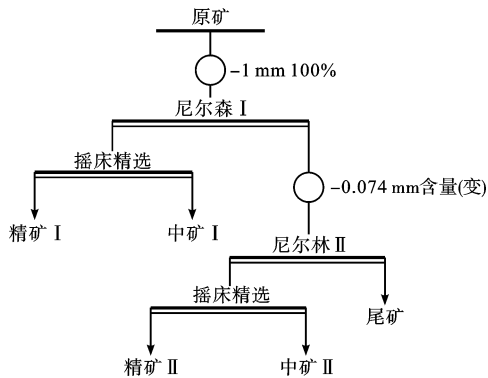


图 1 尼尔森重选工艺流程

Fig. 1 Knelson re-election process flow diagram

表 6 尼尔森选矿试验结果

Table 6 Test results of the Knelson beneficiation

-0.074 mm 含量/%	产品名称	产率 /%	品位 /(g·t <sup>-1</sup> )	回收率 /%
65	总精矿	0.21	569.87	51.34
	总中矿	23.55	3.88	39.17
	尾矿	76.24	0.29	9.49
	原矿	100.00	2.33	100.00
75	总精矿	0.31	443.85	55.48
	总中矿	23.55	3.92	37.22
	尾矿	76.14	0.24	7.30
	原矿	100.00	2.48	100.00
85	总精矿	0.26	421.91	45.82
	总中矿	22.55	4.45	41.93
	尾矿	77.19	0.38	12.25
	原矿	100.00	2.39	100.00

注: 表 6 中总精矿 = 精矿 I + 精矿 II, 总中矿 = 中矿 I +

中矿 II。

从表 6 中试验结果可以看出, 随着磨矿细度的提高, 总精矿的品位逐渐降低, 而回收率先升高后降低。在磨矿细度-0.074 mm 75% 时, 金精矿的回收率最大为 55.48%, 尾矿的损失率最小, 为 7.30%, 因此, 确定二段磨矿-0.074 mm 75%。

可见, 经过两段尼尔森重选+摇床精选, 在二段磨矿细度-0.074 mm 75% 时, 得到的总精矿产率为 0.31%, 品位为 443.85 g/t, 回收率为 55.48%; 总中矿产率 23.55%, 品位为 3.92 g/t, 回收率为 37.22%; 尾矿产率为 76.14%, 品位为 0.24 g/t, 回收率为 7.30%。尾矿由于回收率较低, 可以直接抛掉, 从而简化工艺流程并降低成本。获得的精矿可以再富集以后直接出售或者进一步精炼加工。获得的中矿进一步进行氰化搅拌浸出试验研究。

## 2.2 重选中矿氰化浸出试验

对重选获得的总中矿开展了详细的氰化浸出条件试验, 主要包括磨矿细度、石灰用量、氰化钠用量、矿浆浓度、浸出时间。采用的设备为 RK/XJT 型浸出搅拌机。单次试验矿石重量 0.5 kg, 浸出搅拌速度 400 r/min, 环境温度 21℃, 湿度 25%。试验过程中先加入石灰进行碱处理 2 h 以后再加入氰化钠开始浸出。试验结束后过滤得到浸渣, 烘干后制样分析品位, 计算浸出率。

### 2.2.1 磨矿细度试验

试验条件: 矿浆浓度 40%, 石灰用量 2 kg/t, 氰化钠用量 1.2 kg/t, 浸出时间 24 h, 进行磨矿细度试验, 试验结果见图 2。

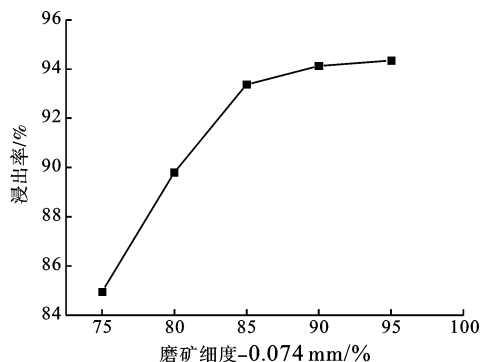


图 2 磨矿细度试验结果

Fig. 2 Results of grind fineness

从图 2 中试验结果可以看出, 随着磨矿细度的提高, 金的浸出率不断提高。当重选中矿不磨矿直

接浸出,即-0.074 mm 75% 时,金的浸出率为 84.95%;当磨矿细度-0.074 mm 90% 时,金的浸出率达到 94.13%,之后磨矿细度再增加,金的浸出率提高不明显,因此,确定磨矿细度-0.074 mm 90%。

### 2.2.2 石灰用量

试验条件:磨矿细度-0.074 mm 90%,矿浆浓度 40%,氰化钠用量 1.2 kg/t,浸出时间 24 h,进行石灰用量试验试验结果见图 3。

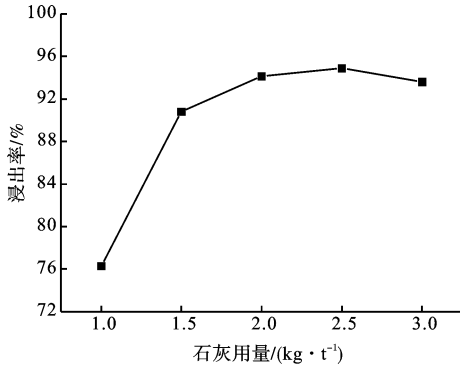


图 3 石灰用量试验结果

Fig. 3 Results of lime dosage

从图 3 中可以看出,随着石灰用量的增加,金的浸出率逐渐提高。当石灰用量为 1.0 kg/t 时,金的浸出率仅为 76.28%;当石灰用量提高到 2.5 kg/t 时,金的浸出率达到 94.90%。之后石灰用量再增加时金的浸出率呈现出下降的趋势,说明过量的石灰不利于金的浸出,因此,石灰用量选用 2.5 kg/t。

### 2.2.3 氰化钠用量试验

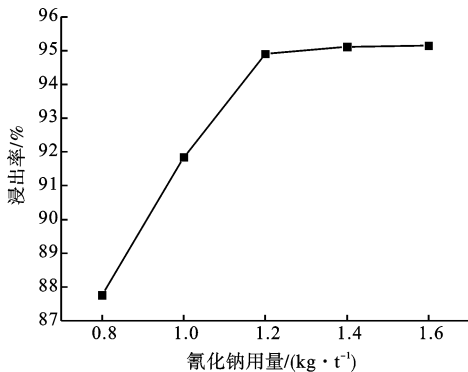


图 4 氰化钠用量试验结果

Fig. 4 Results of sodium cyanide dosage

试验条件:磨矿细度-0.074 mm 90%,矿浆浓度 40%,石灰用量 2.5 kg/t,浸出时间 24 h 进行氰化钠用量试验,试验结果见图 4。

由图 4 试验结果可知,随着氰化钠用量从 0.8 kg/t 增加到 1.6 kg/t,金的浸出率逐步提高。当氰化钠用量为 0.8 kg/t 时,金的浸出率为 87.76%;当氰化钠用量为 1.2 kg/t 时,金的浸出率达到 94.90%;之后再增加氰化钠用量时金的浸出率提高不明显,因此,氰化钠用量选用 1.2 kg/t。

### 2.2.4 矿浆浓度试验

试验条件:磨矿细度-0.074 mm 90%,石灰用量 2.5 kg/t,氰化钠用量 1.2 kg/t,浸出时间 24 h,进行矿浆浓度试验,试验结果见图 5。

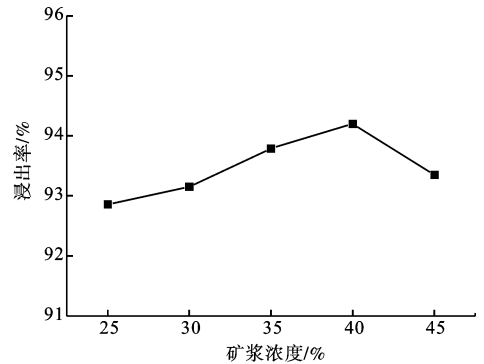


图 5 矿浆浓度试验结果

Fig. 5 Results of pulp density

从图 5 可以看出,矿浆浓度从 30% 增加到 40% 时,金的浸出率逐渐提高,之后再提高矿浆浓度金的浸出率开始下降,说明较高的矿浆浓度不利于金的浸出,因此,选用矿浆浓度为 40%。

### 2.2.5 浸出时间试验

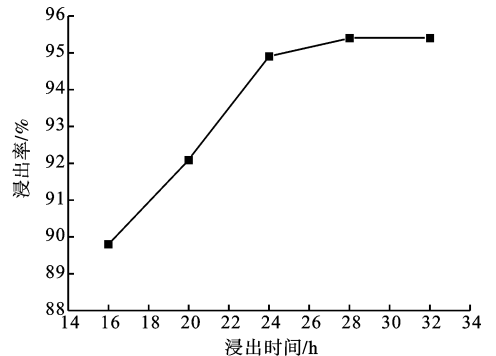


图 6 浸出时间试验结果

Fig. 6 Results of leaching time

试验条件:磨矿细度-0.074 mm 90%,矿浆浓度 40%,石灰用量 2.5 kg/t,氰化钠用量 1.2 kg/t,进行浸出时间试验,试验结果见图 6。

从图 6 可以看出,当浸出时间从 16 h 增加到 32

h时,金的浸出率逐渐增加,但达到28 h以后再延长浸出时间时金的浸出率没有明显提高,因此,浸出时间选用28 h,金的浸出率可以达到95.40%。

### 2.3 全流程综合条件验证试验

开展了尼尔森重选-中矿氰化浸出全流程验证试验。尼尔森重选试验流程同图1,其中二段磨矿细度-0.074 mm75%。重选获得的中矿氰化浸出条件:磨矿细度-0.074 mm90%,矿浆浓度40%,石灰用量2.5 kg/t,氰化钠用量1.2 kg/t,浸出时间28 h。试验结果见表7。

表7 综合条件试验

Table 7 Verification test results of comprehensive conditions

产品名称	产率 /%	品位 /(g·t <sup>-1</sup> )	回收率 /%
尼尔森总精矿	0.32	445.63	57.50
尼尔森总中矿	22.95	3.71	34.35
尼尔森尾矿	76.73	0.23	7.12
中矿氰化浸液作业回收率	无	无	95.15
中矿氰化尾渣作业回收率	100.00	0.18	4.85
全流程金总回收率	无	无	90.18
原矿	100.00	2.45	100.00

表7中验证试验结果表明,在二段磨矿细度-0.074 mm 75%的条件下,采用尼尔森重选得到的总精矿产率为0.32%,品位为445.63 g/t,回收率为57.50%。总精矿可以再富集以后直接出售或者进一步精炼加工。重选尾矿产率为76.73%,品位为0.23 g/t,回收率为7.12%。由于尾渣品位较低,可以直接抛弃从而降低后续生产负荷及成本。尼尔森重选获得的中矿在最佳浸出条件下金的浸出效果非常稳定,尾渣品位为0.18g/t,作业回收率可以达到95.15%。尼尔森重选-中矿氰化浸出联合流程金的总回收率可以达到90.18%。

## 3 结 论

(1)矿石金品位为2.27 g/t,含硫仅为0.94%,属于贫硫金矿石,铜、铅、锌、锑、砷的含量较低。金主要嵌布在脉石矿物中,少部分嵌布在黄铁矿与其它矿物的粒间,多以粗、中粒嵌布为主,比较容易解离,因此,应采用重选工艺优先回收部分大颗粒金。

(2)采用尼尔森选矿机和摇床进行两次分选,二段最佳磨矿细度为-0.074 mm 75%,可以获得产

率0.32%,品位为445.63 g/t,回收率为57.50%的金精矿,并可以直接抛掉产率为76.73%,品位为0.23g/t,回收率为7.12%的尾矿,有效降低生产负荷。

(3)尼尔森重选获得的中矿的最佳浸出条件为:磨矿细度-0.074 mm90%,矿浆浓度40%,石灰用量2.5 kg/t,氰化钠用量1.2 kg/t,浸出时间28 h时,金的作业回收率为95.40%。

(4)采用尼尔森重选-中矿氰化浸出联合流程总回收率可以达到90.18%,可以优先抛尾从而降低生产成本。因此,推荐在实际生产中采用该工艺流程。

### 参考文献:

- [1]杨士道,刘萍.苏丹哈马迪剪切带型金矿地质特征[J].中国科技信息,2009(13):29-31.
- [2]胡金才,智铎强,胡建勇.苏丹哈马迪金矿南矿段地质、矿化特征及采矿意义[J].地质调查与研究,2013,36(4):295-298.
- [3]刘亮,吴师金,周瑜.江西遂川某高品位金矿石重-浮-浸工艺试验[J].矿产综合利用,2015(4):24-26,34.
- [4]张晓平,崔长征.加纳某氧化金矿的全泥氰化炭浆工艺研究[J].矿产综合利用,2013(5):27-30.
- [5]张金钟,姜良友,吴振祥,等.尼尔森选矿机及其应用[J].有色矿山,2003,32(3):28-31,37.
- [6]廖德华.某低品位金铜混合矿石联合选别工艺研究[J].矿产综合利用,2015(2):47-51.
- [7]刘汉钊,石仑雷.尼尔森选矿机及其在我国应用的前景[J].国外金属选矿,2008,45(7):8-12.
- [8]吴双桥.四川甘孜某金矿石选矿试验研究[J].有色金属:选矿部分,2015(5):30-33.
- [9]武俊杰.陕西省某金矿尼尔森选金试验研究[J].贵金属,2013,34(3):28-31.
- [10]徐飞飞,于雪,陈新林,等.某金矿尼尔森重选试验研究[J].有色矿冶,2015,31(3):27-29,32.
- [11]徐其红,何小民,鲁军,等.某金矿选矿工艺研究[J].有色金属:选矿部分,2015(3):40-43.
- [12]赵立智,胡树伟,李红欣.尼尔森选矿机在重选工艺流程中的应用与探讨[J].有色矿冶,2013,29(2):25-27.
- [13]武俊杰,蔡明亮,陈文科,等.陕西某金矿尼尔森重选-浮选工艺研究[J].矿业研究与开发,2013,33(4):52-54,61.