

# 某含碳微细粒金矿石固化成型焙烧试验研究

郭梅<sup>1,2</sup>, 康敏<sup>1,2</sup>, 郭拴全<sup>1,2</sup>, 王勇海<sup>1,2</sup>, 严娜<sup>1,2</sup>, 王祥<sup>1,2</sup>

(1. 西安西北有色地质研究院有限公司; 2. 陕西省矿产资源综合利用工程技术研究中心)

**摘要:**以陕西某含碳微细粒金矿石为研究对象,其金品位为5.55 g/t,自然金被大量碳质、硅质等矿物包裹,无法高效富集。针对该矿石矿物结构复杂导致的金元素提取困难现状,为实现深度脱碳提金的目的,采用“固化成型焙烧—氰化浸出”提金工艺,研究矿石在逐步氧化过程中金元素的富集状态。研究结果表明:将粒度为-2 mm的原矿在15 MPa压力下固化压制成型砖,成型砖在550℃下焙烧16 h,碳脱除率达到87.06%;在磨矿细度-0.074 mm占比75%,某环保提金剂用量2 000 g/t,矿浆浓度40%,矿浆pH值大于11,常温氰化24 h条件下,金浸出率最高达91.68%。研究结果为含碳微细粒金矿石工业化利用提供了技术指导。

**关键词:**微细粒金;提金;固化成型;焙烧;脱碳;氰化;浸出率

中图分类号:TF831

文献标志码:A

文章编号:1001-1277(2025)06-0046-06

doi:10.11792/hj20250610

## 引言

随着金矿资源不断开采,含碳、硫及微细粒等金矿逐渐成为金资源的主要来源<sup>[1-2]</sup>。其中,含碳微细粒金矿石占探明黄金储量的20%以上<sup>[3]</sup>。含碳微细粒金矿石主要分布在陕西、甘肃、四川、广西、贵州等地区,具有金矿物粒度小于0.01 mm,碳质(有机碳和石墨碳)含量高,并且与脉石矿物共生等特点<sup>[4-7]</sup>。该类矿石在氰化浸出过程中碳质吸附金氰络合物<sup>[8]</sup>,从而使尾渣金含量高,影响金浸出率,因此常规氰化法难以将该类矿石中金进行回收。

针对含碳微细粒金矿石中金的回收,其关键在于通过预处理,减少和消除矿石中碳质“劫金”作用。经过多年来国内外学者的大量研究,现有预处理工艺包括:浮选法、生物氧化法、热压氧化法、竞争吸附法、化学氧化法、焙烧氧化法等<sup>[9-12]</sup>。受金与碳关系影响,浮选法对碳含量高的金矿回收率普遍较低<sup>[13]</sup>;生物氧化法成本低、环保,但处理周期较长,在菌种的选择和培育上仍处于研究阶段<sup>[14]</sup>;热压氧化法因设备要求高,生产规模小,在处理原矿中应用较少<sup>[15]</sup>;竞争吸附法与化学氧化法适用于碳含量低的金矿石,且预处理氧化剂成本高、污染严重<sup>[16]</sup>;焙烧氧化法可以获得很高的金浸出率,且操作简单、工艺成熟、对原矿适用性较强,近年来在含碳微细粒金矿石的工业化应用中发挥着重要作用<sup>[17]</sup>。

焙烧氧化过程中,部分金随着飞灰进入收尘装置

中,该部分金回收具有一定困难,现有焙烧设备沸腾焙烧炉和闪速炉<sup>[18]</sup>等可以避免焙烧过程中飞灰产生,但其对原矿磨矿细度要求极高,投资和运行成本较高。基于此,借鉴稀有金属冶炼的焙烧方法,提出固化成型焙烧新思路,通过将含碳微细粒金矿石成型固化,再进行焙烧脱碳,有助于碳质脱除并提高金浸出率,还能够避免产生飞灰,防止金损失、简化生产工艺,为含碳微细粒金矿石的高效开发利用提供技术支撑。

## 1 试验部分

### 1.1 原矿性质

陕西某含碳微细粒金矿石金品位为5.55 g/t,为主要回收元素;含碳较高,为5.61%。矿石中金属矿物主要是褐铁矿和钒钛矿,非金属矿物主要是石英、白云石、碳质和石墨、含钒绢云母等,有用矿物主要是自然金和辉银矿。在扫描电镜下观察,矿石中所见自然金全部为微粒金,以0.005~0.01 mm粒级为主,且大多被包裹于碳质及其他矿物中。根据工艺矿物学分析结果,该矿石属于高碳微细粒难处理金矿石。原矿化学成分分析结果如表1所示,主要矿物组成分析结果如表2所示,碳物相及金物相分析结果分别如表3、表4所示。

### 1.2 试验设备

试验设备主要包括:颚式破碎机、对辊破碎机、磨机、全自动恒应力压力试验机、水泥胶砂搅拌机、热

表 1 原矿化学成分分析结果

Table 1 Chemical composition analysis results of raw ores

| 成分  | Au <sup>1)</sup> | Ag <sup>2)</sup> | Cu    | Zn    | TFe  | CaO  | MgO             | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | SiO <sub>2</sub> | Co      | Ni      |
|-----|------------------|------------------|-------|-------|------|------|-----------------|--------------------------------|------------------|-------------------|------------------|---------|---------|
| w/% | 5.55             | 7.5              | 0.022 | 0.019 | 2.36 | 3.69 | 2.65            | 3.93                           | 0.71             | 0.024             | 64.00            | 0.001 8 | 0.007 9 |
| 成分  | S                | Sb               | Mn    | Pb    | Ba   | P    | WO <sub>3</sub> | As                             | Bi               | TC                |                  |         |         |
| w/% | 0.62             | 0.007 8          | 0.036 | 0.016 | 1.32 | 0.50 | 0.089           | 0.024                          | 0.000 1          | 5.61              |                  |         |         |

注:1)w(Au)/(g·t<sup>-1</sup>);2)w(Ag)/(g·t<sup>-1</sup>)。

表 2 原矿主要矿物组成分析结果

Table 2 Major mineral composition analysis results of raw ores

| 矿物     | 白云石  | 方解石  | 褐铁矿   | 黄铁矿  | 碳质及石墨 | 萤石   | 高岭石  | 石英    | 磷灰石  | 重晶石  |
|--------|------|------|-------|------|-------|------|------|-------|------|------|
| 相对含量/% | 9.14 | 4.06 | 2.61  | 0.93 | 5.16  | 0.01 | 2.89 | 63.29 | 1.52 | 3.68 |
| 矿物     | 钒钛矿  | 闪锌矿  | 含钒绢云母 | 孔雀石  | 辉银矿   |      |      |       |      |      |
| 相对含量/% | 0.56 | 0.01 | 6.12  | 0.01 | 0.01  |      |      |       |      |      |

表 3 原矿碳物相分析结果

Table 3 Carbon phase analysis results of raw ores

| 指标     | 无机碳   | 有机碳   | 石墨碳   | 总碳     |
|--------|-------|-------|-------|--------|
| w(C)/% | 0.78  | 1.33  | 3.5   | 5.61   |
| 分布率/%  | 13.90 | 23.71 | 62.39 | 100.00 |

鼓风干燥箱、变频充气浸出搅拌机、多用真空过滤机、马弗炉、电子天平等。

试验试剂主要有:CaO(化学纯)、某环保提金剂。

1.3 试验方法

固化成型试验:将原矿破碎至所需粒度,称取一

表 4 原矿金物相分析结果

Table 4 Gold phase analysis results of raw ores

| 指标                         | 裸露金及半裸露金 | 碳酸盐包裹金 | 赤/褐铁矿包裹金 | 硫化物包裹金 | 硅酸盐包裹金 | 总金     |
|----------------------------|----------|--------|----------|--------|--------|--------|
| w(Au)/(g·t <sup>-1</sup> ) | 2.66     | 0.56   | 0.17     | 1.56   | 0.60   | 5.55   |
| 分布率/%                      | 47.84    | 10.07  | 3.23     | 28.07  | 10.79  | 100.00 |

定量原矿置于容器中,加入 10 %的水,在水泥胶砂搅拌机上搅拌均匀后倒入 40 mm×40 mm×40 mm 不锈钢模具中,在全自动恒应力压力试验机下压制成型,根据 GB/T 2542—2012 《砌墙砖试验方法》中测试方法,利用 NB-300S 抗压抗折试验机对压制的砖块进行抗压强度检测。

焙烧脱碳试验:将压好的砖在热鼓风干燥箱中烘干,然后送入马弗炉中升至所需温度焙烧一定时间,焙烧完成后取出,冷却完全后破碎、混匀、取样。

氰化浸出试验:焙砂磨矿至所需粒度,称取 300 g 焙砂放置烧杯中,加水调节矿浆浓度,加入氧化钙调节矿浆 pH 值大于 11,再加入某环保提金剂浸金。浸金结束后,对样品进行过滤洗涤,烘干、称量、取样、送检。固化成型焙烧—氰化浸出工艺流程如图 1 所示。

1.4 焙烧原理

采用焙烧氧化法的目的有 2 个:一是脱除矿石中的碳质及硫等有害物质,减少或消除其在氰化过程中的“劫金”作用;二是将包裹微细粒金的黄铁矿、石英等晶体结构破坏,使矿石内部变得疏松多孔,有利于后续金

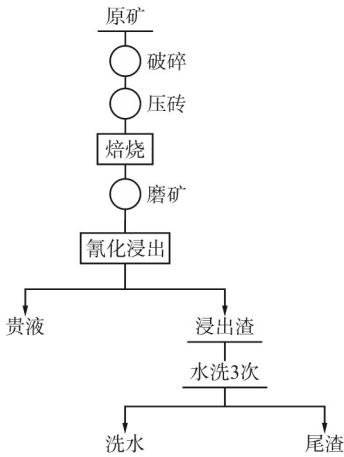
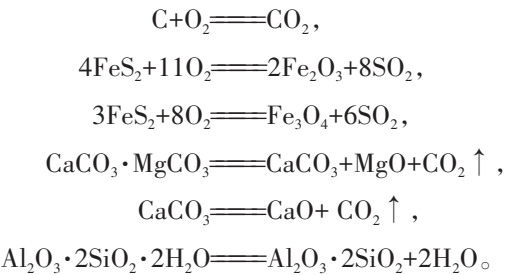


图 1 固化成型焙烧—氰化浸出工艺流程

Fig. 1 Flowchart of curing roasting-cyanidation leaching process

浸出<sup>[19]</sup>。在焙烧过程中,主要发生的化学反应如下:



## 2 试验结果与讨论

### 2.1 固化成型试验

#### 2.1.1 成型压力试验

原矿破碎至2 mm以下,加入10 %的水搅拌均匀后,在不同压力下制成成型砖,对成型砖进行抗压强度检测及金浸出率分析,试验结果如图2所示。

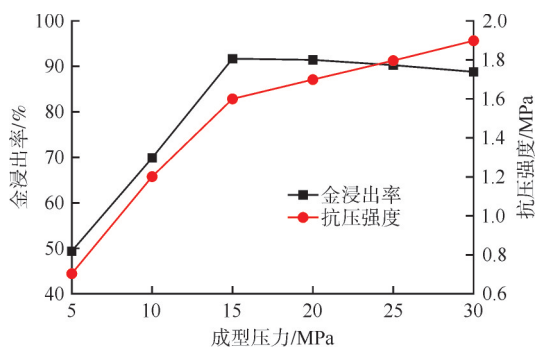


图2 成型压力试验结果

Fig. 2 Curing pressure test results

由图2可知:成型压力越大,成型砖抗压强度越大。当成型压力为15 MPa时,成型砖完整性较好,此时其抗压强度为1.6 MPa,金浸出率为91.65 %;在该强度下,成型砖抗压强度可以满足工业生产中码垛要求。成型压力过大,成型砖抗压强度太高会使物料过于紧密,焙烧过程中氧气扩散速率降低,物料与氧气接触不充分,导致氰化过程中浸出剂与物料反应不完全,使金浸出率降低,因此确定成型压力为15 MPa。

#### 2.1.2 成型粒度试验

将原矿破碎至一定粒度,加入10 %的水搅拌均匀后,在成型压力为15 MPa下压制成型砖,成型粒度试验结果如表5所示。

表5 成型粒度试验结果

Table 5 Particle size test results of cured bricks

| 成型粒度/mm | 抗压强度/MPa | 金浸出率/% |
|---------|----------|--------|
| -6      | 0.5      | 62.68  |
| -5      | 0.6      | 70.52  |
| -3      | 0.8      | 83.48  |
| -2      | 1.6      | 91.54  |
| -1.25   | 1.6      | 91.96  |
| -0.85   | 1.7      | 91.70  |
| -0.45   | 1.7      | 91.56  |
| -0.15   | 1.8      | 91.49  |

由表2可知:当成型粒度较大时,成型砖抗压强度和金浸出率均偏低;这是因为成型粒度大,成型砖的成型状态较差,抗压强度较低,焙烧过程中物料与氧气接触面积变小,反应速率降低,金浸出率较低。随着成型粒度减小,成型砖抗压强度和金浸出率逐渐增加;当成型粒度小于2 mm时,金浸出率逐渐稳定。

成型粒度越小,工业实施难度越大、成本越高,因此确定成型粒度为-2 mm。

### 2.2 焙烧脱碳试验

#### 2.2.1 焙烧温度试验

焙烧温度过低会导致碳质脱除不充分,而焙烧温度过高则会造成矿物烧结,进而影响金浸出率。为了确定合适的焙烧温度,在焙烧时间16 h,磨矿细度-0.074 mm占比75 %,某环保提金剂用量2 000 g/t,矿浆浓度40 %,矿浆pH值大于11,常温氰化24 h的条件下进行焙烧温度试验,研究焙烧温度对金浸出率及碳脱除率的影响,结果如图3所示。

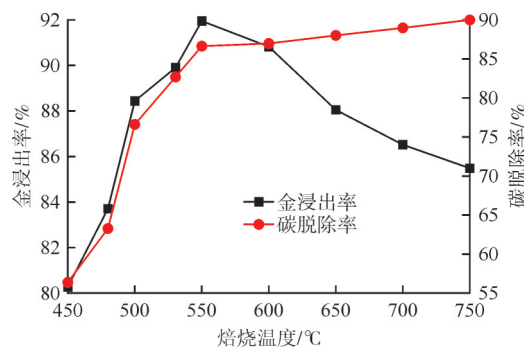


图3 焙烧温度试验结果

Fig. 3 Roasting temperature test results

由图3可知:焙烧温度对金浸出率和碳脱除率影响较大。随着焙烧温度升高,碳脱除率逐渐增加,金浸出率呈先上升后降低的趋势,焙烧过程中可以将有机碳和石墨去除,无机碳对金浸出影响不大。当焙烧温度为550 °C时,金浸出率为91.96 %,碳脱除率为86.64 %。焙烧温度过高,矿石中部分化合物熔化,各组分间反应生成新液相,将未熔的矿物粘连,形成包裹体,造成金浸出率降低,因此确定焙烧温度为550 °C。

#### 2.2.2 焙烧时间试验

在焙烧温度550 °C,磨矿细度-0.074 mm占比75 %,某环保提金剂用量2 000 g/t,矿浆浓度40 %,矿浆pH值大于11,常温氰化24 h的条件下,考察焙烧时间对金浸出率及碳脱除率的影响,结果如图4所示。

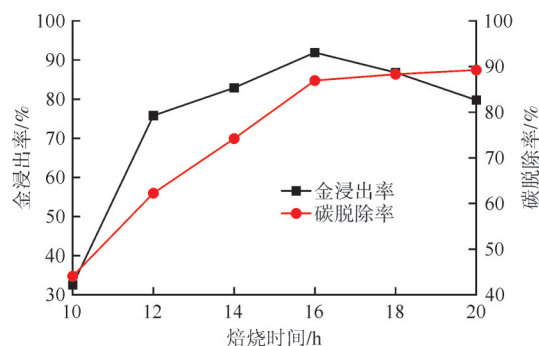


图4 焙烧时间试验结果

Fig. 4 Roasting time test results

由图4可知:焙烧时间较短,矿石中碳质氧化不

充分,碳脱除率较低,碳质“劫金”作用导致金浸出率较低;随着焙烧时间延长,碳脱除率逐渐增加,金浸出率逐渐增加。当焙烧时间为16 h时,碳脱除率为87.06%,金浸出率为91.85%;继续延长焙烧时间,金浸出率逐渐减小,说明焙烧时间过长不适宜金浸出,因此确定焙烧时间为16 h。

## 2.3 氰化浸金试验

### 2.3.1 磨矿细度试验

磨矿细度是影响金浸出率关键因素之一,磨矿细度越细,物料与浸出剂接触的比表面积越大,加快体系反应速率,减少反应时间。为了选择合适的磨矿细度,在某环保提金剂用量2 000 g/t,矿浆浓度40%,矿浆pH值大于11,常温氰化24 h的条件下,考察磨矿细度对金浸出率的影响,结果如图5所示。

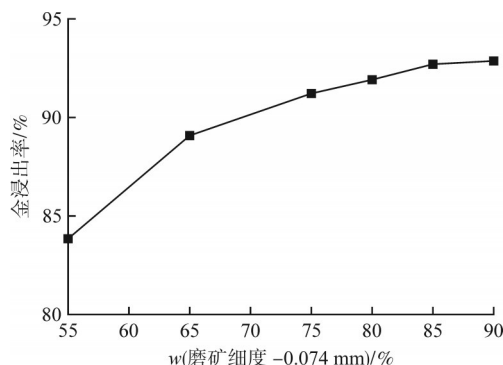


图5 磨矿细度试验结果

Fig. 5 Grinding fineness test results

由图5可知:随着磨矿细度增加,反应物之间接触概率增大,加快了反应的正向进行,金浸出率随之增加。在磨矿细度-0.074 mm占比为75%时,金浸出率为91.18%,继续增大磨矿细度,金浸出率变化不大。磨矿细度越大,工业上磨矿成本越高,而且增加了后续浸出过程中固液分离的难度,综合考虑磨矿效果和经济成本,确定磨矿细度-0.074 mm占比为75%。

### 2.3.2 某环保提金剂用量试验

在磨矿细度-0.074 mm占比75%,矿浆pH值大于11,矿浆浓度40%,常温氰化24 h的条件下,考察某环保提金剂用量对金浸出率的影响,结果如图6所示。

由图6可知:某环保提金剂用量从500 g/t提高至2 000 g/t,金浸出率从81.21%提高至91.51%,说明矿浆中环保提金剂浓度较低时,金浸出率受其影响较大。当某环保提金剂用量大于2 000 g/t时,金浸出率逐渐降低;这是因为在碱性环境中,随着环保提金剂浓度增加,其主要成分硫脲的氧化速度逐渐增加,降低了金浸出率<sup>[20]</sup>。因此,确定某环保提金剂用量为2 000 g/t。

### 2.3.3 浸出时间试验

在磨矿细度-0.074 mm占比75%,某环保提金剂

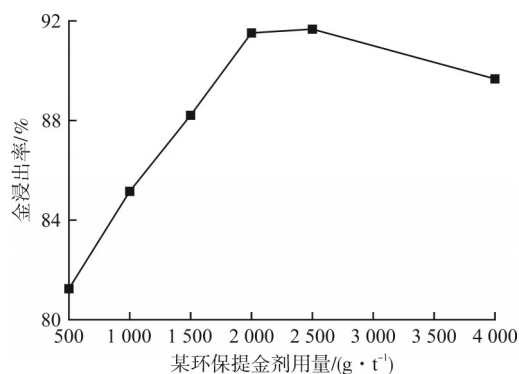


图6 某环保提金剂用量试验结果

Fig. 6 Some eco-friendly gold leaching agent dosage test results

用量2 000 g/t,矿浆浓度40%,矿浆pH值大于11,常温氰化的条件下,考察浸出时间对金浸出率的影响,结果如图7所示。

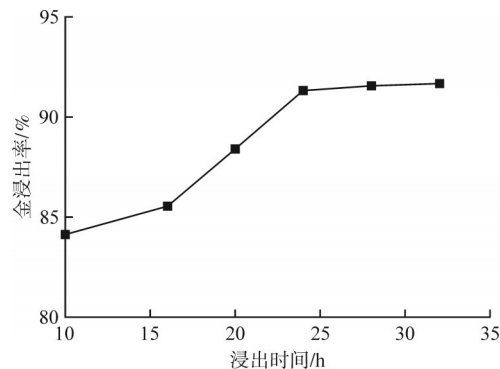


图7 浸出时间试验结果

Fig. 7 Leaching time test results

由图7可知:随着浸出时间增加,金浸出率增加。金浸出率从10 h的84.12%提高到24 h的91.30%,表明适当延长浸出时间可以提高金浸出率。当浸出时间超过24 h后,金浸出率增幅减缓,表明在24 h时反应体系已经处于平衡状态。综合考虑,确定浸出时间为24 h。

### 2.3.4 矿浆浓度试验

在磨矿细度-0.074 mm占比75%,某环保提金剂用量2 000 g/t,矿浆pH值大于11,常温氰化24 h的条件下,考察矿浆浓度对金浸出率的影响,结果如图8所示。

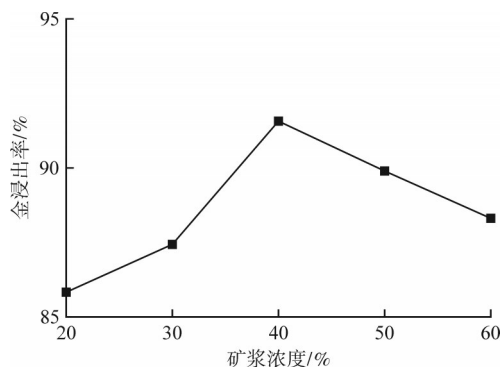


图8 矿浆浓度试验结果

Fig. 8 Slurry concentration test results

由图8可知:在矿浆浓度较低时,反应物之间阻力较小,反应速率较快;随着矿浆浓度增加,金浸出率也增加。在矿浆浓度40%时,金浸出率为91.49%;继续增大矿浆浓度,反应物之间的阻力增加,使扩散速度降低,导致金浸出率降低,因此确定矿浆浓度为40%。

2.4 综合试验

在上述最佳单因素条件下进行综合试验,最佳单因素条件为:原矿粒度-2 mm,成型压力15 MPa,550℃焙烧16 h,磨矿细度-0.074 mm占比75%,矿浆pH值大于11,某环保提金剂用量2 000 g/t,常温氰化24 h,矿浆浓度40%。在该条件下开展3组综合试

验,结果如表6所示。由表6可知:金浸出率均大于91%,最高可达91.68%,综合试验指标稳定可靠,技术可行。

表6 综合试验结果

| Table 6 Comprehensive test results |        |                            |        |
|------------------------------------|--------|----------------------------|--------|
| 试验序号                               | 尾渣产率/% | 尾渣金品位/(g·t <sup>-1</sup> ) | 金浸出率/% |
| 1                                  | 98.91  | 0.51                       | 91.53  |
| 2                                  | 99.40  | 0.50                       | 91.68  |
| 3                                  | 99.65  | 0.52                       | 91.32  |

2.5 尾渣金物相分析

对最佳条件下浸出的尾渣进行金物相分析,结果如表7所示。

表7 尾渣金物相分析结果

| Table 7 Gold phase analysis results of tailings |          |        |          |        |        |        |
|-------------------------------------------------|----------|--------|----------|--------|--------|--------|
| 指标                                              | 裸露金及半裸露金 | 碳酸盐包裹金 | 赤/褐铁矿包裹金 | 硫化物包裹金 | 硅酸盐包裹金 | 总金     |
| w(Au)/(g·t <sup>-1</sup> )                      | 0.07     | 0.084  | 0.14     | 0.056  | 0.16   | 0.51   |
| 分布率/%                                           | 13.73    | 16.47  | 27.45    | 10.98  | 31.37  | 100.00 |

由表7可知:尾渣中裸露金及半裸露金品位为0.07 g/t,分布率为13.73%,说明该工艺对裸露金及半裸露金的回收比较彻底;硅酸盐矿物中金粒度较细,难以浸出,导致金回收率较低。

3 结 论

1)某含碳微细粒金矿石金品位为5.55 g/t,自然金以0.005~0.01 mm粒级为主,含碳为5.61%,属于高碳微细粒难处理金矿石。

2)采用“固化成型焙烧—氰化浸出”提金工艺,可将矿石中碳质逐步脱除,碳脱除率达到87%。在该过程中,金逐步被分离富集,为难处理金矿石中金的提取提供了技术指导。

3)通过条件试验,确定最佳工艺参数为:原矿粒度-2 mm,成型压力15 MPa,550℃焙烧16 h,磨矿细度-0.074 mm占比75%,矿浆pH值大于11,某环保提金剂用量2 000 g/t,常温氰化24 h,矿浆浓度40%。在最佳工艺参数下,金浸出率最高达91.68%,满足提取富集要求。

【参 考 文 献】

[1] 俞海平,刘菁.难处理金矿石浸出工艺研究现状[J].广州化工,2011,39(17):25-27.  
[2] 王学刚,刘金辉,李学礼,等.低品位铀矿石细菌浸出试验研究[J].金属矿山,2009(11):179-182.  
[3] 张永涛.中国黄金矿产资源开发及矿产品供需形势分析[J].中

国矿业,2009,18(2):8-11.  
[4] 薛光,于永江,李先恩.含砷碳金矿石全泥氰化浸金试验研究[J].黄金科学技术,2012,20(6):56-57.  
[5] 田庆华,王浩,辛云涛,等.难处理金矿预处理方法研究现状[J].有色金属科学与工程,2017,8(2):83-89.  
[6] 彭晓.某含碳高砷微细粒金矿提金工艺研究[D].昆明:昆明理工大学,2016.  
[7] 乔江晖,宋翔宇,李翠芬,等.某碳质氧化金矿石性质及可选性试验研究[J].矿冶工程,2010,30(5):49-51.  
[8] 黄军荣,李江,郭勤,等.低品位铀矿渣微生物间歇喷淋浸出工艺[J].有色金属(冶炼部分),2013(10):42-44.  
[9] 陈艳波,李光胜,朱幸福.某高硫微细粒金矿选冶试验研究[J].贵金属,2023,44(2):75-80,87.  
[10] 朱军,刘苏宁.难处理金矿浸出技术的现状与研究[J].矿业工程,2010,8(1):35-37.  
[11] 李卫,焦芬,王旭,等.赞比亚某金矿选矿工艺试验研究[J].贵金属,2019,40(1):30-36.  
[12] 许晓阳.碳质难处理金矿浸出工艺研究进展[J].黄金科学技术,2013,21(1):82-88.  
[13] 邓立佳,代淑娟,宿少玲,等.某低品位微细粒金矿石浮选试验研究[J].矿冶工程,2017,37(1):31-33,38.  
[14] 李骞,齐伟,张雁,等.碳质金矿物预氧化研究进展[J].贵金属,2018,39(3):72-78.  
[15] 许晓阳.难处理金矿石加压氧化—氰化提金技术研究[J].黄金,2020,41(4):50-53.  
[16] 陈红波,封国宁,李铁球.含碳金矿的次氯酸盐预处理氰化浸出研究[J].铀矿冶,1993,12(4):252-255.

- [17] 谢洪珍,陈淑萍,蔡创开,等.贵州某难浸金矿原矿焙烧—氰化提金工艺试验研究[J].矿产综合利用,2006(4):10-12.
- [18] 雷军.原矿焙烧—焙砂氰化工艺处理鹿峰金矿矿石研究与实践[J].黄金,2003,24(2):38-42.
- [19] 王静,赵国惠,赵俊蔚,等.含砷碳金精矿焙烧预氧化—氰化提金工艺试验研究[J].黄金,2013,34(4):49-53.
- [20] 王云燕,柴立元.硫脲在碱性介质中的电化学行为[J].中国有色金属学报,2008,18(4):733-737.

## Experimental study on curing roasting of a carbonaceous fine-grained gold ore

Guo Mei<sup>1,2</sup>, Kang Min<sup>1,2</sup>, Guo Shuanquan<sup>1,2</sup>, Wang Yonghai<sup>1,2</sup>, Yan Na<sup>1,2</sup>, Wang Xiang<sup>1,2</sup>

(1. Xi'an Northwest Geological Nonferrous Metals Institute Co., Ltd.;

2. Engineering & Technology Center for Comprehensive Utilization of Mineral Resources of Shaanxi Province)

**Abstract:** This study focuses on a carbonaceous fine-grained gold ore from Shaanxi Province, with a gold grade of 5.55 g/t, where native gold is extensively encapsulated by carbonaceous and siliceous minerals, hindering efficient enrichment. To address the challenges in gold extraction caused by the complex mineral structure and achieve deep carbon removal and gold recovery, a "curing roasting—cyanidation leaching" process was employed to investigate gold enrichment during progressive oxidation. Key findings include: raw ore (particle size of  $-2$  mm) cures into bricks under 15 MPa pressure; roasting the bricks at 550 °C for 16 h achieved a carbon removal rate of 87.06 %; under optimized conditions (grinding fineness of  $-0.074$  mm accounting for 75 %, eco-friendly gold leaching agent dosage of 2 000 g/t, pulp density of 40 %, pH > 11, and 24 h cyanidation at room temperature), the maximum gold leaching rate reached 91.68 %. This research provides technical guidance for the industrial utilization of carbonaceous fine-grained gold ores.

**Keywords:** fine-grained gold; gold extraction; curing; roasting; carbon removal; cyanidation; leaching rate

(上接第 45 页)

## Experimental study on deep calcium removal from large-scale heap leaching circulating solution

Bai Yang

(Inner Mongolia Pacific Mining Co., Ltd.)

**Abstract:** In response to the accumulation of base metal cations such as calcium and magnesium during long-term heap leaching operations at a gold mine, which negatively affects production efficiency and quality, a combined technical scheme was proposed involving preliminary calcium removal from barren solution using carbon dioxide and deep calcium removal from pregnant solution using a scale inhibitor. Experimental results determined the optimal process parameters: adjusting the pH of the barren solution to 11.5–12.0, maintaining the carbon dioxide injection pressure at 0.25 MPa, and setting the reaction time to 1.5 h. Under these conditions, the preliminary calcium removal efficiency from the barren solution can stably exceed 90 %. By adding the optimized DN3 scale inhibitor to the pregnant solution at a dosage of 900 mg/L, the calcium adsorption on gold-loaded carbon was reduced by 1.76 percentage points, while the gold adsorption rate increased by 13.38 percentage points, and the cost of acid washing regeneration was significantly reduced. Continuous testing demonstrated that this combined technique effectively reduces the impact of calcium and magnesium ions, enhances gold adsorption, and plays a significant role in improving the production process.

**Keywords:** heap leaching circulating solution; calcium removal by carbon dioxide; scale inhibitor; adsorption enhancement; gold metallurgy; activated carbon