

# 紫金山金矿含金固体废弃物的综合利用

甘永刚

(福建紫金矿冶研究设计院, 福建 上杭 364200)

**摘要:**针对福建省紫金山金矿含金固体废弃物含金量低、含泥量高的特点,进行了深入的实验室试验研究,探讨了不磨矿直接洗矿、粗粒级堆浸、细粒级全泥氰化组合新工艺。试验结果说明该工艺适合此类矿石的再利用,对中国其他地区的大型特大型金矿固体废弃物的利用,也有重要的借鉴推广意义。

**关键词:**含金固体废弃物;综合利用;柱浸;泡浸;全泥氰化

**中图分类号:**TD982 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-6532(2003)05-0043-04

## 1 引言

在矿产资源开发利用过程中,世界上每年新产生数 10 亿 t 固体废弃物,包括采矿剥离岩土及低品位矿石,选矿尾矿及冶炼废渣。大量固体废弃物对生态环境产生巨大影响,是水土流失,植被破坏,耕地减少,泥石流形成的主要因素之一。另一方面,在固体废弃物中,或多或少含有部分有用成份或元素,可供综合利用。因此,努力实现固体废弃物(包括金矿固体废弃物)的资源化、减量化和无害化,是世界各国普遍重视的课题,对可持续发展具有重大意义。

紫金山金矿在几年的开发生产过程中也产生了大量的固体废弃物,其中含金量在 0.3~0.7g/t 的固体废弃物总量约 9300 万 t,含金总量 45.93t。固体废弃物采用高台顺排堆放,易造成水土流失,甚至产生泥石流。根据紫金山金矿固体废弃物含泥量高、有害成分少等矿石性质,进行了大量的实验室试验,采用不碎矿直接洗矿、粗粒级堆浸、细粒级全泥氰化联合工艺,取得了理想的效果。

## 2 矿石性质

紫金山金矿固体废弃物原矿鉴定结果表明,该矿属于氧化性矿石,主要矿物成份为石英和地开石,主要回收对象为金,其他有害杂质甚少。

### 2.1 主要矿物组成

矿物成份及含量为石英:65%±,地开石:31%±,明矾石:1%±,褐铁矿、赤铁矿:2%±,黄铁矿、黄铜矿、金红石、白钛矿、锆石、磷灰石等痕量。

### 2.2 金的赋存状态

矿石中大量的金呈可见的自然金,部分呈次显微状,自然金与褐铁矿紧密共生,主要赋存于孔隙、裂隙中。据大量的光、薄片统计,裂隙金占 77%,晶隙金占 15%,包体金占 8%。自然金以粒状为主,部分为片状、树枝状和不规则状。

### 2.3 原矿化学多项分析

原矿化学多项分析结果见表 1。

### 2.4 原矿筛分分析

原矿粒度分析结果见表 2。

表 1 原矿化学多项分析结果/%

|       |      |      |                  |                  |                   |                                |       |       |       |
|-------|------|------|------------------|------------------|-------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|
| As    | Fe   | S    | SiO <sub>2</sub> | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO   | Au*   |
| 0.007 | 2.61 | 0.16 | 73.19            | 0.77             | 2.04              | 13.94                          | 0.059 | 0.012 | 0.356 |

\* Au 品位为 10<sup>-6</sup>。

表 2 原矿筛分分析结果

| 粒级<br>/mm   | 重量/kg   |         | 产率/%  |        | 平均<br>品位<br>/10 <sup>-6</sup> | 金属量/mg |        | 金分布率/% |        |
|-------------|---------|---------|-------|--------|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|
|             | 个别      | 累计      | 个别    | 累计     |                               | 个别     | 累计     | 个别     | 累计     |
| —600+80     | 165.619 | 165.619 | 27.97 | 27.97  | 0.227                         | 37.60  | 37.60  | 17.86  | 17.86  |
| —80+50      | 58.450  | 224.069 | 9.87  | 37.84  | 0.197                         | 11.51  | 49.11  | 5.47   | 23.33  |
| —50+32      | 42.550  | 266.619 | 7.19  | 45.03  | 0.183                         | 7.79   | 56.90  | 3.70   | 27.03  |
| —32+23      | 32.400  | 299.019 | 5.47  | 50.50  | 0.237                         | 7.68   | 64.58  | 3.65   | 30.68  |
| —23+6       | 84.500  | 383.519 | 14.27 | 64.77  | 0.250                         | 21.13  | 85.71  | 10.04  | 40.72  |
| —6+2        | 63.900  | 447.419 | 10.79 | 75.56  | 0.303                         | 19.36  | 105.07 | 9.20   | 49.92  |
| —2+0.15     | 73.378  | 520.797 | 12.39 | 87.95  | 0.230                         | 16.88  | 121.95 | 8.01   | 57.93  |
| —0.15+0.074 | 17.550  | 538.347 | 2.96  | 90.91  | 0.823                         | 14.44  | 136.39 | 6.86   | 64.79  |
| —0.074      | 53.849  | 592.196 | 9.09  | 100.00 | 1.377                         | 74.15  | 210.54 | 35.21  | 100.00 |

3 选冶试验方案的选择

紫金山金矿固体废弃物系露采矿石,其中的原生矿泥和加工过程(如采矿、放矿等)产生的次生矿泥对矿堆的渗透性有重大影响,矿石中的地开石、粘土等矿物遇水膨胀的特性也直接降低矿堆的渗透性,有可能造成堆浸周期长、浸出率低等问题,因此工艺的选择必须要考虑适合矿石特点,有利于避免或减轻矿石含泥的负面影响。紫金山金矿固体废弃物综合利用的可能方案主要有:(1)露采矿石直接堆浸;(2)破碎—制粒堆浸;(3)全泥氰化—炭浆法或全泥氰化—逆流洗涤法;(4)破碎—分级—粗粒堆浸—细泥搅拌氰化;(5)不破碎—洗矿分级—粗粒堆浸—细泥搅拌氰化等方法。在前述的几种方法中,露采矿石直接堆浸,由于含泥的影响,其金回收率将难以达到较高指标。破碎—制粒堆浸尽管可以缓解粗粒难浸及含泥的负面影响,但应用于大规模生产,应该说存在一些具体困难,例如制粒设备系统的大型化;工艺环节的控制要求;在潮湿多雨的紫金山矿区制粒物料的固化问题及增加破碎成本等等。原矿全泥氰化工艺

技术指标高,可以实现工厂化生产,但成本高昂。综合考虑,不破碎—洗矿分级—粗粒堆浸—细泥搅拌氰化能够很好地适应矿石性质,如脱除细泥的粗粒堆浸渗透性好,细泥金属占有率高,搅拌氰化回收率高,浸出时间快等等。因此,本次试验研究以该方案为重点,同时为了进行比较分析,对露采矿石直接堆浸方案也开展必要的试验研究。

4 试验结果与分析讨论

4.1 大粒级(—600+80mm)泡浸试验  
由于原矿中有部分大粒级矿石,此部分矿石如进行柱浸实验室试验不易操作,因此手选大块矿石(>80mm)进行泡浸,泡浸采用 1500mm×1000mm×1000mmPVC 槽浸泡,泡浸结果见表 3。

表 3 泡浸试验结果

| NaCN<br>/g·t <sup>-1</sup> | 泡浸时间<br>/d | Ca(OH) <sub>2</sub><br>/g·t <sup>-1</sup> | 浸出率<br>/% |
|----------------------------|------------|-------------------------------------------|-----------|
| 100                        | 25         | 1000                                      | 23.51     |

从表 3 结果可知:对于粗粒级矿石的泡浸,浸出 25d 浸出率 23.51%,由于矿石的粒

度大,氰化液不能充分与矿石的金反应,泡浸效果较差。

4.2 洗矿脱泥柱浸与不洗矿柱浸试验结果对比

原矿(—80mm)经过 100 目筛子洗矿后,粗粒级(—80+0.15mm)装柱两柱及不洗矿直接装柱两柱分别柱浸,试验采用 200mm×2000mm 有机玻璃柱。试验条件见表 4,试验结果见表 5。

表 4 柱浸试验条件

| 项 目                                      | 洗矿脱泥  | 不洗矿脱泥  |
|------------------------------------------|-------|--------|
| 重量/kg                                    | 70.35 | 70.8   |
| 金属量/mg                                   | 16.72 | 28.674 |
| Ca(OH) <sub>2</sub> 用量/g·t <sup>-1</sup> | 1000  | 1000   |
| pH 值                                     | 10~11 | 10~11  |
| 滴淋强度/L(m <sup>2</sup> ·h) <sup>-1</sup>  | 12    | 12     |
| 滴淋方式                                     | 连续滴淋  | 连续滴淋   |
| NaCN 原始添加量/g·t <sup>-1</sup>             | 85.3  | 63.57  |
| NaOH 耗量/g·t <sup>-1</sup>                | 110   | 78     |
| 浸出时间/d                                   | 20    | 20     |

表 5 柱浸试验结果表

| 浸出时间/d | 洗矿脱泥渣液<br>累计浸出率/% | 不洗矿渣液<br>累计浸出率/% |
|--------|-------------------|------------------|
| 1      | 30.22             | 7.02             |
| 2      | 65.38             | 42.71            |
| 3      | 72.12             | 66.21            |
| 4      | 76.54             | 70.22            |
| 5      | 76.54             | 71.50            |
| 6      | 76.54             | 72.00            |
| 7      | 76.54             | 72.54            |
| 8      | 76.54             | 72.54            |
| 16     | 76.54             | 72.89            |
| 20     | 76.54             | 72.95            |

试验结果对比表明:原矿洗矿筛析与不洗矿筛析柱浸浸出速率不同,经过筛洗的矿石浸出速率较快,浸出 4d 已达浸出率 76.54%;而不经洗矿,柱浸浸出速率相对较慢,浸出 7d 才达 72.54%;且洗矿后最终浸出率高 3.59%。同时经测定,洗矿后矿柱渗透速度由不洗矿的 11.07L/(m<sup>2</sup>·h)提高

到 160.526L/(m<sup>2</sup>·h)。

4.3 洗矿脱泥细粒级(—0.15mm)浸出试验

细粒级矿石平均品位 1.24g/t,金分布率 42.07%,其浸出指标高低将直接影响组合工艺效果。因矿石品位较低,考虑磨矿后氰化成本高,可能亏本。因而对细粒级矿石直接进行全泥氰化。试验详细考察了浸出浓度、浸出时间、氰化钠用量、pH 值等因素对金浸出率的影响,并根据条件试验结果进行了综合条件试验,其结果见表 6。

表 6 全泥氰化综合条件试验结果

| 试验<br>编号 | NaCN<br>/g·t <sup>-1</sup> | 浓度<br>/% | 浸出时间<br>/h | pH 值 | 渣计浸出<br>率/% |
|----------|----------------------------|----------|------------|------|-------------|
| 1        | 100                        | 40       | 24         | 9~10 | 97.58       |
| 2        | 100                        | 40       | 24         | 9~10 | 91.94       |
| 3        | 100                        | 40       | 24         | 9~10 | 97.58       |
| 平均       | 100                        | 40       | 24         | 9~10 | 95.70       |

从表 6 结果可知,细粒级矿石在综合条件下易浸出,能得到较理想的浸出指标,浸出氰化钠用量仅为 100g/t,且浸出率达 95.70%。因而,细泥不磨矿直接进行全泥氰化是可行的。

4.4 洗矿脱泥组合工艺与不洗矿直接柱浸工艺指标比较

洗矿脱泥组合工艺与不洗矿直接柱浸工艺实验室试验结果比较见表 7。

从表 7 结果可知,利用洗矿组合工艺,金的浸出率可达到 73.85%;而不洗矿直接氰化组合工艺,金的浸出率仅 64.25%。综合比较两种组合工艺,洗矿组合工艺较不洗矿组合工艺浸出率高 10%左右,因此大规模工业生产宜采用洗矿组合工艺。

5 结 语

对于含泥量高的紫金山含金固体废弃物,采用不磨矿直接洗矿、粗粒级堆浸、细粒级全泥氰化组合工艺是可行的,能在不破碎、不磨矿、不制粒的条件下解决矿堆的渗透性问题,并大大缩短堆浸时间,提高浸出率,为

表 7 不同组合工艺金的技术指标比较

| 粒级<br>/mm | 洗矿组合工艺  |          | 不洗矿工艺   |          | 备注   |
|-----------|---------|----------|---------|----------|------|
|           | 作业浸出率/% | 对原矿浸出率/% | 作业浸出率/% | 对原矿浸出率/% |      |
| —600+80   | 24.32   | 4.33     | 24.23   | 4.33     | 泡浸   |
| —80+0.15  | 76.54   | 30.67    | 72.95   | 59.92    | 柱浸   |
| —0.15     | 92.34   | 38.85    | —       | —        | 全泥氰化 |
| 合 计       | —       | 73.85    | —       | 64.25    | 组合工艺 |

原来大量堆积的含金固体废弃物变废为宝提供了一定的技术依据,对中国其他地区的大型特大型金矿固体废弃物的利用,也有重要的借鉴作用。

参考文献:

[1]蔡殿忱. 含金矿石的化学选矿[M]. 沈阳:东北大学出版社,1996.

[2]李文宣. 高泥质低品位氧化金矿提金方法研究[J]. 广西地质,1996(9):52~57.

Comprehensive Utilization of Gold-bearing  
Solid Waste from Zijinshan Gold Mine

GAN Yong-gang

(Fujian Zijin Research and Engineering Institute of  
Mining and Metallurgy,Shanghang,Fujian,China)

**Abstract:** According to the characteristics of solid waste containing low-grade gold and high-content clay in Zijinshan Gold Mine, Fujian, a new technology composing of no-grinding, direct washing, coarse fraction be sent to leaching and fine fraction to all sliming cyanidation was proposed to treat the waste. The results indicated that the permeability of ore heap can be increased, the time for heap leaching can be reduced and leaching rate can be increased.

**Key words:** Solid waste containing gold; Comprehensive utilization; Column leaching; Vat leaching; All sliming cyanidation

《中国资源综合利用》杂志 2004 年征订启事

《中国资源综合利用》系由国家发展和改革委员会环境和资源综合利用司指导,中国物资再生协会和物资再生利用研究所共同主办,固体废弃物资源化国家工程研究中心联办,系指导类综合性科技期刊,是全国资源综合利用新闻媒体唯一的月刊,国内外公开发行。国外总发行:中国出版对外贸易总公司;国外邮发代号:DK32014,国内邮发代号:28—174。

本刊为中国期刊全文数据库全文收录期刊;中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊,具有理论指导性强、信息量多、报道全面、实用性强等特点。

本刊 2004 年定价 75 元/年(含邮资),全年 12 期。

邮局汇款:221006,江苏省徐州市黄河南路 65 号《中国资源综合利用》杂志社收

开户行:徐州工商银行淮西办 帐号:1106020609200057015 户名:《中国资源综合利用》杂志社

电话:0516—5736600 传真:0516—5736119 E-mail:rcrcu@pub. xz. jsinfo. net