

## 氰化尾矿低温焙烧破氰试验研究

陈宇, 吴为荣, 华芳, 陈建福, 余涛, 涂友兵

(江西三和金业有限公司)

**摘要:**某黄金冶炼厂氰化尾矿处理工艺存在成本高,处理后尾矿总氰化合物含量波动较大等问题,试验采用低温焙烧破氰法进行氰化尾矿处理。结果表明:在焙烧温度325℃、焙烧时间40 min条件下,处理后尾矿含总氰化合物低于5 g/t,且可大幅降低氰化尾矿处理成本。该研究结果可为类似氰化尾矿破氰处理提供参考。

**关键词:**氰化尾矿;低温焙烧;破氰;氰化物;焙烧温度

中图分类号:TD926.4

文献标志码:A

文章编号:1001-1277(2024)03-0091-03

doi:10.11792/hj20240318

## 引言

目前,氰化法是处理金矿石的主要方法,约75%金矿选矿厂采用该方法提取金,在黄金冶炼行业中占据主导地位<sup>[1]</sup>。然而,氰化生产过程中产生大量氰化尾矿,干排至尾矿库堆存前需要进行破氰处理<sup>[2]</sup>。某黄金冶炼厂氰化尾矿处理工艺存在成本较高,且处理后尾矿中总氰化合物含量波动较大等现象<sup>[3]</sup>。随着HJ 943—2018《黄金行业氰渣污染控制技术规范》的实施,创新氰化尾矿处置方法势在必行<sup>[4]</sup>。

某黄金冶炼厂为确保长期可持续发展,降低氰化尾矿处理成本,稳定控制氰化尾矿中氰化物含量<sup>[5-9]</sup>,结合HJ 943—2018《黄金行业氰渣污染控制技术规范》要求,对氰化尾矿进行了低温焙烧破氰处理试验研究。

## 1 试验部分

## 1.1 仪器

焙烧炉: SX2-8-13型箱式电阻炉; BK600生物显微镜; 过滤、搅拌、缩分等装置。

## 1.2 氰化尾矿性质

试验样品为某黄金冶炼厂氰化尾矿,细磨至-0.074 mm占90%左右,其组分分析结果见表1,矿物组成分析结果见表2,金矿物嵌连关系见表3,毒性浸出试验结果见表4。

表1 氰化尾矿组分分析结果

Table 1 Analysis results of cyanide tailings component

组分	总氰化合物 <sup>1)</sup>	Au <sup>1)</sup>	Ag <sup>1)</sup>	As	Fe	S	Cu	Pb	Zn	Sb
w/%	285	2.64	1.42	0.27	3.43	3.16	0.11	0.5	0.1	0.31

注:1)w/(g·t<sup>-1</sup>)。

表2 氰化尾矿矿物组成分析结果

Table 2 Analysis results of cyanide tailings mineral composition

矿物名称	相对含量/%
黄铁矿	8.39
毒砂	1.52
方铅矿	0.76
黄铜矿	0.32
其他金属矿物	1.65
石英、长石	46.64
黑云母、硬玉、铁铝榴石等	34.95
金红石、滑石、方解石	5.77
合计	100.00

表3 金矿物嵌连关系

Table 3 Gold mineral dissemination relations

嵌连关系	分布率/%	
单体与连生体金	6.83	
包裹金	金属矿物包裹金	73.47
	脉石矿物包裹金	19.70
合计	100.00	

表4 毒性浸出试验结果

Table 4 Test results of toxicity leaching

样品	$\rho$ (毒性浸出液中总氰化合物)/(mg·L <sup>-1</sup> )
氰化尾矿	28.9
标准 <sup>1)</sup>	<5

注:1)HJ 943—2018《黄金行业氰渣污染控制技术规范》。

从表1、表4可以看出:该氰化尾矿含总氰化合物达285 g/t,毒性浸出液中总氰化合物质量浓度为28.9 mg/L,需进行处理。

## 2 试验结果与讨论

### 2.1 低温焙烧破氰探索试验

试验通过焙烧法降低氰化尾矿中总氰化合物,并进行了低温焙烧破氰探索试验。称取 1 000 g 氰化尾矿(含水率 20.1%),散成小颗粒平铺,控制焙烧温度分别为 25 ℃(仿尾矿库日照风干)、50 ℃、100 ℃、200 ℃、300 ℃、400 ℃,焙烧至恒质量,分别记录时间,并分析化验尾矿中总氰化合物,试验结果见表 5。

表 5 低温焙烧破氰探索试验结果

Table 5 Exploratory test results of cyanide destruction by low-temperature roasting

试验 编号	焙烧温度/ ℃	焙烧时间/ h	w(总氰化合物)/ (g·t <sup>-1</sup> )	脱除率/ %
1	25	36	282.5	0.87
2	50	24	281.25	1.32
3	100	4	81.25	71.49
4	200	3	43.75	84.65
5	300	2	5.63	98.39
6	400	1	1.20	98.72

从表 5 可以看出:在不同焙烧温度条件下,处理后尾矿含总氰化合物明显不同。焙烧温度为 25 ℃~200 ℃时,总氰化合物脱除率较低;焙烧温度为 300 ℃时,处理后尾矿含总氰化合物为 5.63 g/t,脱除率达 98.39%。综合考虑,焙烧温度需控制在 300 ℃以上。

### 2.2 微观形貌及组分分析

采用电子显微镜对 -0.074 mm 占 90% 左右氰化尾矿及其不同温度焙烧后的尾矿进行电子显微镜分析,结果见图 1。焙烧前后尾矿组分分析结果见表 6。

从图 1 可以看出:当焙烧温度低于 200 ℃时,矿物的颗粒感较强,金没有明显暴露。当焙烧温度升高至 300 ℃~400 ℃时,矿物包裹明显打开,颗粒变小、变脆、变薄;矿物包裹金在焙烧过程中被打开,有效减少了氰化物残留夹带;这也是尾矿在 25 ℃~200 ℃进行焙烧时,虽然烘干至恒质量,但总氰化合物含量仍偏高的主要原因。

从表 6 可以看出:当焙烧温度低于 300 ℃时,处理后尾矿中杂质元素没有发生明显变化;当焙烧温度为 400 ℃时,尾矿中 As、Fe、S 等元素有一定的降低,且焙烧后尾矿颜色明显偏暗褐色,可能发生复杂反应,造成后期二次环保处置压力。综合考虑,焙烧温度应控制在 300 ℃~400 ℃。

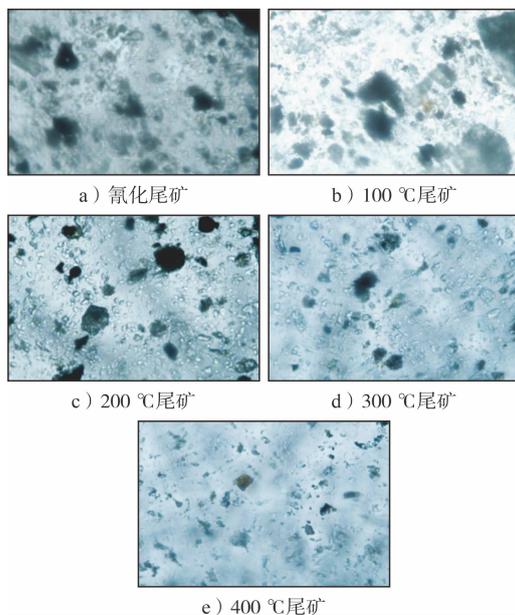


图 1 焙烧前后尾矿微观形貌

Fig. 1 Microscopic morphology of tailings before and after roasting

表 6 焙烧前后尾矿组分分析结果

Table 6 Component analysis results of tailings before and after roasting

样品	Au <sup>1)</sup>	Ag <sup>1)</sup>	As	Fe	S	Cu	Pb	Zn	Sb
氰化尾矿	2.64	1.42	0.27	3.43	3.16	0.109	0.5	0.1	0.31
25 ℃尾矿	2.64	1.46	0.32	3.43	3.16	0.109	0.5	0.1	0.31
50 ℃尾矿	2.63	1.41	0.27	3.42	2.91	0.107	0.5	0.1	0.30
100 ℃尾矿	2.63	1.42	0.27	3.42	2.91	0.107	0.5	0.1	0.30
200 ℃尾矿	2.67	1.32	0.18	3.52	3.10	0.108	0.5	0.1	0.29
300 ℃尾矿	2.41	1.36	0.19	3.47	2.56	0.109	0.5	0.1	0.28
400 ℃尾矿	2.29	1.39	0.15	2.96	2.12	0.104	0.5	0.1	0.22

注:1)w/(g·t<sup>-1</sup>)。

### 2.3 焙烧温度细化条件试验

在低温焙烧破氰探索试验的基础上,为使焙烧后尾矿中总氰化合物含量降至最低,进行焙烧温度细化条件试验。试验取氰化尾矿 1 000 g(含水率 20.1%),控制焙烧温度分别为 300 ℃、325 ℃、350 ℃、375 ℃、400 ℃,焙烧至恒质量,分别记录时间,并分析化验尾矿中总氰化合物含量,结果见表 7。氰化尾矿焙烧前后多元素分析结果见表 8。

表 7 焙烧温度细化条件试验结果

Table 7 Detailed condition test results of roasting temperature

试验 编号	焙烧温度/ ℃	焙烧时间/ h	w(总氰化合物)/ (g·t <sup>-1</sup> )	脱除率/ %
1	300	100	6.90	97.58
2	325	70	4.96	98.26
3	350	65	4.12	98.55
4	375	60	3.20	98.88
5	400	55	1.50	99.47

表8 氰化尾矿焙烧前后多元素分析结果

Table 8 Multi-element analysis results of cyanide tailings before and after roasting

样品	Au <sup>1)</sup>	Ag <sup>1)</sup>	As	Fe	S	Cu	Pb	Zn	Sb
300℃尾矿	2.67	1.32	0.18	3.52	3.10	0.108	0.5	0.1	0.29
325℃尾矿	2.65	1.36	0.15	3.47	3.06	0.109	0.5	0.1	0.28
350℃尾矿	2.59	1.19	0.15	3.39	2.87	0.107	0.5	0.1	0.28
375℃尾矿	2.45	1.16	0.15	3.31	2.56	0.105	0.5	0.1	0.28
400℃尾矿	2.29	1.13	0.15	2.67	2.42	0.104	0.5	0.1	0.28

注:1)w/(g·t<sup>-1</sup>)。

从表7可以看出:随着焙烧温度升高,处理后尾矿中总氰化合物含量降低。当焙烧温度控制在325℃时,处理后尾矿含总氰化合物<5g/t,满足要求。试验过程中发现,焙烧温度升至375℃时,处理后尾矿呈暗红褐色,且杂质元素含量明显下降(见表8),可能造成二次环保处置压力。综合考虑,焙烧温度应控制在325℃。

## 2.4 焙烧时间

通过试验确定最佳焙烧温度为325℃,之后考察了焙烧时间对低温焙烧破氰效果的影响。试验取1000g氰化尾矿(含水率20.1%),焙烧温度为325℃,控制焙烧时间分别为40min、50min、60min、70min、80min、90min,结果见表9。

表9 焙烧时间试验结果

Table 9 Test results of roasting time

试验编号	焙烧时间/min	w(总氰化合物)/(g·t <sup>-1</sup> )	脱除率/%
1	40	4.96	98.26
2	50	4.85	98.30
3	60	4.70	98.35
4	70	4.60	98.39
5	80	4.52	98.41
6	90	4.40	98.46

从表9可以看出:处理后尾矿中总氰化合物含量随焙烧时间增加呈持续下降趋势,但降幅较小。当焙

烧时间为40min时,处理后尾矿中总氰化合物已达到要求。综合考虑,确定焙烧时间40min。

## 2.5 高温废气检测

在试验期间,对烘箱(325℃)内产生的气体进行收集,分析化验二氧化硫、氮氧化物、氰化氢、氨、硫化氢、臭气等浓度,以确定是否会产生二次废气污染。结果表明,各类污染物浓度均低于检测下限,故认为该条件下不会造成二次污染。

## 3 结论

1)该氰化尾矿低温焙烧破氰的最佳条件为:焙烧温度325℃,焙烧时间40min,处理后尾矿含总氰化合物<5g/t,符合要求,且不会发生造成二次环保处置压力。

2)氰化尾矿的矿物组分复杂,低温焙烧破氰能够使矿物包裹金被打开,从而有效减少了氰化物残留夹带,且可为后续黄金冶炼厂有价金属综合回收提供有利条件。

### [参考文献]

- [1] 刘淑杰,代淑娟,张作金,等.国内氰化法浸出金矿中金的研究进展[J].贵金属,2019,40(2):88-94.
- [2] 梁小丽.浅谈尾矿库环境污染隐患及防治对策[J].环境科学导刊,2011,30(3):71-73.
- [3] 袁嘉声,畅永锋,郑春龙,等.氰化尾渣脱氰技术综述[J].中国有色金属学报,2021,31(6):1568-1581.
- [4] 郝美英,李亮,赵冠楠.我国黄金行业绿色矿山建设规范解读[J].中国矿业,2018,27(8):80-84.
- [5] 李育彪,陈坤,郑仁军.氰化尾渣脱氰技术及有价金属回收研究进展[J].矿产保护与利用,2021,41(1):91-101.
- [6] 李云,刘洪晓,杨洪中,等.循环流态化焙烧低硫金精矿的生产实践[J].有色金属(冶炼部分),2015(10):58-61.
- [7] 杨俊奎.某高海拔地区硫精矿沸腾焙烧工业试验研究[J].中国有色冶金,2005,29(4):424-428.
- [8] 陈鑫.金矿尾矿的利用现状及综合利用远景分析[J].世界有色金属,2017(20):32,34.
- [9] 迟崇哲,翟菊彬,兰馨辉,等.黄金尾矿综合利用分析[J].黄金,2022,43(2):100-103.

## Experimental research on low-temperature roasting cyanide destruction of cyanide tailings

Chen Yu, Wu Weirong, Hua Fang, Chen Jianfu, Yu Tao, Tu Youbing  
(Jiangxi Sanhe Gold Industry Co., Ltd.)

**Abstract:** The cyanide tailings treatment process in a gold smelter is costly and the total cyanide compound content in the tailings fluctuates significantly after treatment. In this experiment, a low-temperature roasting cyanide destruction method was used for cyanide tailings treatment. The results show that under the conditions of a roasting temperature of 325℃ and a roasting time of 40min, the total cyanide compound content in the treated tailings is lower than 5g/t, and the cost of cyanide tailings treatment can be significantly reduced. This study provides a reference for cyanide destruction treatment of similar cyanide tailings.

**Keywords:** cyanide tailings; low-temperature roasting; cyanide destruction; cyanide; roasting temperature