

碳质含金物料金回收工艺试验研究

杨明远¹, 沈鑫², 乔瞻¹, 陆东辉³, 隋亭⁴, 白杨², 张世鏢¹

(1. 长春黄金研究院有限公司; 2. 内蒙古太平矿业有限公司;

3. 呼伦贝尔市生态环境保护与发展中心; 4. 中国黄金集团内蒙古矿业有限公司)

摘要:针对碳质含金物料的金回收问题,通过分析化学成分、碳物相和粒度分布,研究了碳质含金物料的特性,为工艺优化提供依据。深入探讨了灰化、除杂及浸出等关键工艺的最佳操作条件。研究表明,采用灰化—硝酸除杂—王水溶金—熔炼工艺流程回收金,直收率可达96.81%,显著提升了金回收率,为碳质含金物料的金回收提供了有效的技术解决方案。研究结果解决了处理过程中的环境问题,实现了资源有效利用,具有经济和环保价值,为类似物料的金回收提供了科学依据和技术支持,有助于推动黄金产业的技术进步和可持续发展。

关键词:碳质含金物料;灰化;除杂;浸出;金回收;熔炼

中图分类号:TD953

文献标志码:A

文章编号:1001-1277(2025)02-0043-06

doi:10.11792/hj20250208

引言

碳质含金物料作为炭浆提金、堆浸提金等活性炭应用工艺的副产品,主要包括含金碎炭、炭泥和粉炭^[1-4]。在金提取过程中,这些物料吸附了重金属离子和氰化物,因此按照严格分类,它们属于危险废物。国内外学者对碳质含金物料的回收技术进行了广泛研究,包括氰化浸出法^[5-7]、焙烧氧化法(高温氧化去除碳质后采用氰化法提金)、生物浸出法^[8-10](利用细菌或真菌代谢产物溶解金)、物理分离法^[11](重选、磁选、静电分离),以及电化学浸出法^[12-13](通过电解或脉冲电流作用改变界面反应动力学特征,提高金的溶解率)等。目前,黄金生产企业处理碳质含金物料主要采用2种方式:一是计价外售,必须售给具有处理资质的单位,整个过程需严格遵守环保政策法规,并受取样代表性和计价系数的影响,难以实现效益最大化;二是自行回收,通常采用焚烧方法去除其中的可

燃碳元素^[14],使金富集于灰分中,然后进一步提纯。然而,常规处置方法中简易粗放的焚烧灰化装置会导致燃烧不充分、灰分板结,烟尘处理不彻底甚至直接排放,从而造成金属随烟尘流失、灰分难以提纯处理、金属回收率低等问题^[15]。因此,本研究旨在通过试验研究,探索碳质含金物料的灰化处理、灰分中金的回收方法及其最佳条件,以提高金回收率,为碳质含金物料金回收工业化应用提供科学依据。

1 碳质含金物料性质

1.1 化学成分

试验所用原料取自内蒙古某矿山企业,经烘箱烘干后混合、缩分,取3个平行样品送检,化学成分分析结果见表1。

由表1可知:碳质含金物料金品位598.23 g/t,银品位528.67 g/t,铜品位1 514.7 g/t,铁品位48 295.3 g/t,镍品位8 813.0 g/t,含碳60.57%。

表1 碳质含金物料化学成分分析结果

Table 1 Chemical composition analysis results of carbonaceous gold-bearing materials

样品编号	$w(\text{Au})/(\text{g}\cdot\text{t}^{-1})$	$w(\text{Ag})/(\text{g}\cdot\text{t}^{-1})$	$w(\text{Cu})/(\text{g}\cdot\text{t}^{-1})$	$w(\text{Fe})/(\text{g}\cdot\text{t}^{-1})$	$w(\text{Ni})/(\text{g}\cdot\text{t}^{-1})$	$w(\text{C})/\%$
1	585.4	521.8	1 500	48 600	8 900	60.54
2	612.1	552.3	1 476	47 550	8 725	59.91
3	597.2	511.9	1 568	48 736	8 815	61.27
平均值	598.23	528.67	1 514.7	48 295.3	8 813.0	60.57

1.2 碳物相

碳质含金物料碳物相分析结果见表2。

1.3 粒度分布特征

碳质含金物料粒度分布特征分析结果见表3。

收稿日期:2024-08-05; 修回日期:2024-10-08

基金项目:国家重点研发计划项目(2023YFC2907803)

作者简介:杨明远(1985—),男,高级工程师,从事黄金矿山冶金工艺与环保治理工艺技术开发工作;E-mail:474901328@qq.com

表2 碳质含金物料碳物相分析结果

Table 2 Carbon phase analysis results of carbonaceous gold-bearing materials

相别	w(C)/%
石墨碳	57.61
有机碳	2.71
碳酸盐	0.25
总碳	60.57

表3 碳质含金物料粒度分布特征分析结果

Table 3 Particle size distribution characteristics analysis results of carbonaceous gold-bearing materials

粒级/mm	分布率/%
+6(大粒)	0.01
-6~+3(中粒)	0.03
-3~-1.18(细粒)	78.21
-1.18(微粒)	21.75
合计	100.00

2 试验部分

2.1 试验药剂及设备

主要试验药剂:盐酸(36%~38%)、硝酸(65%~68%)、氢氧化钠、氰化钠、氧化钙、过硫酸钾、过氧化氢(30%)、高锰酸钾、氯酸钠、氧化铅,均为分析纯。

主要试验设备和仪器:灰化试验设备、集热式磁力搅拌器、小型熔炼炉、电子天平、电子秤、pH计、抽

滤装置。

2.2 试验方法

本研究采用灰化试验装置,以内蒙古某矿山企业的碳质含金物料为研究对象,开展金回收工艺探索性研究。在灰化试验中,于供风过量的条件下,进行灰化温度、时间、供风方式条件试验,以考察灰化率、金富集倍数、烟尘产量等指标。同时,基于烟气化学成分分析,开展灰化烟气治理试验,旨在使灰化烟气达到GB 9078—1996《工业炉窑大气污染物排放标准》的要求。在灰分金回收试验方面,以碳质含金物料制备的灰分为原料,在实验室条件下,采用盐酸除杂、硝酸除杂、硝酸除杂—王水溶金、氰化浸出、铅捕收熔炼等方法进行灰分金回收试验研究,重点考察金回收率。

3 试验结果与讨论

3.1 含金物料灰化试验

3.1.1 灰化温度试验

试验条件:料层厚度50 mm,时间4 h,灰化供风量 $6\text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{kg}_{\text{炭}})$,灰化温度分别为500℃、550℃、600℃、650℃,从灰化试验设备的视镜观察燃烧情况,结果见图1。

由图1可知:碳质含金物料在500℃的灰化温度下发生燃烧反应;在550℃~650℃时,火焰呈明亮状态,反应过程较为剧烈。基于此,确定最佳灰化温度为550℃。

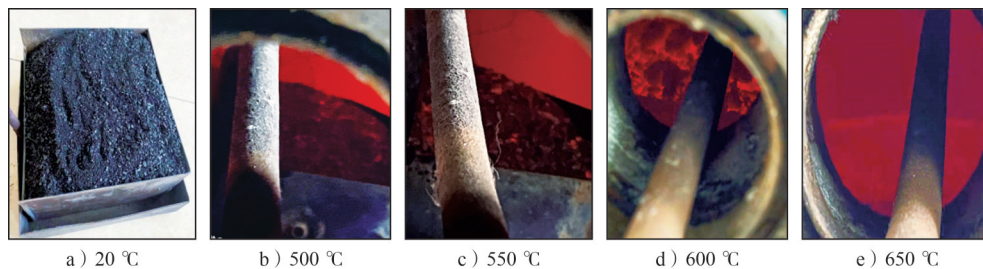


图1 碳质含金物料在不同灰化温度下燃烧情况

Fig. 1 Combustion behavior of carbonaceous gold-bearing materials at different ashing temperatures

3.1.2 灰化供风量试验

试验条件:灰化温度550℃,料层厚度100 mm,灰化供风量分别为 $2\text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{kg}_{\text{炭}})$ 、 $4\text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{kg}_{\text{炭}})$ 、 $6\text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{kg}_{\text{炭}})$ 、 $8\text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{kg}_{\text{炭}})$ 、 $10\text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{kg}_{\text{炭}})$ 。灰化供风量试验结果见图2。

由图2可知:随着灰化供风量的提升,碳质含金物料的完全灰化时间表现出逐渐缩短的趋势。当灰化供风量超过 $6\text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{kg}_{\text{炭}})$ 时,完全灰化时间缩短的幅度不再显著。基于此,确定最佳灰化供风量为 $6\text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{kg}_{\text{炭}})$ 。

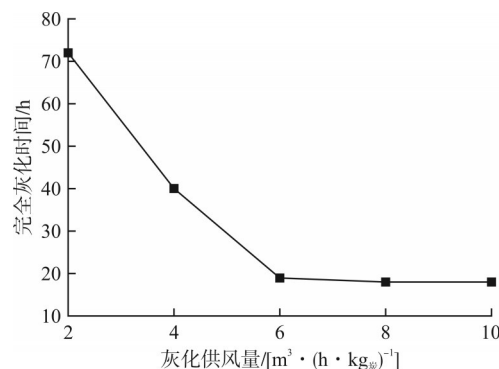


图2 灰化供风量试验结果

Fig. 2 Tests results of air supply for ashing

3. 1. 3 料层厚度试验

试验条件：灰化温度 550 ℃，灰化供风量 $6\text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{kg}_{\text{炭}})$ ，料层厚度分别为 60 mm、80 mm、100 mm、120 mm、140 mm。记录不同料层厚度完全灰化时间，灰化终点为物料灰分中无火星、无炭粒。料层厚度试验结果见图 3。

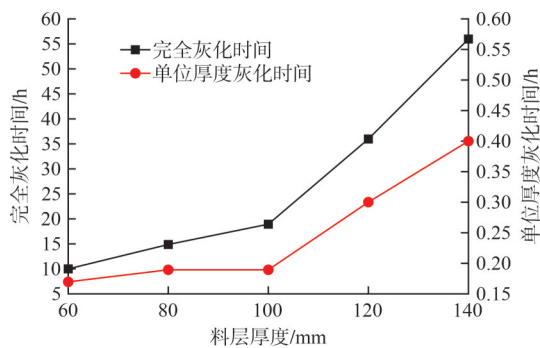


图 3 料层厚度试验结果

Fig. 3 Material layer thickness test results

由图 3 可知：随着料层厚度的增加，完全灰化时间相应延长，单位厚度灰化时间亦随之增加。特别是在料层厚度超过 100 mm 的情况下，灰化效率显著下降。基于此，确定最佳料层厚度为 100 mm。

3. 1. 4 供风方式试验

试验条件：料层厚度 100 mm，灰化温度 550 ℃，灰化供风量 $6\text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{kg}_{\text{炭}})$ 。对比鼓风和引风方式下各试验指标，试验结果见表 4。

由表 4 可知：引风条件下，灰化过程耗时较长，金富集倍数较小，灰化率亦较低，同时产生的烟尘量较低；而在鼓风条件下，空气更易穿透炭层内部，实现更充分的燃烧和更彻底的灰化，但灰分易于被吹出，导致烟尘量及烟尘中金品位偏高。

无论是在鼓风还是引风条件下，碳质含金物料经过灰化处理后，灰化率均超过 99.64%，金品位可富集约 4 倍。鉴于鼓风技术可能导致烟气外逸的问题，因此确定碳质含金物料适宜采用引风技术进行处理。

表 4 供风方式试验结果

Table 4 Air supply method test results

供风方式	样品名称	干质量/kg	$w(\text{Au})/(\text{g}\cdot\text{t}^{-1})$	富集倍数	$w(\text{C})/\%$	灰化率/%	烧失率/%	烟尘量/g	烟尘占比/%	灰化时间/h
引风	物料	1.93	585.40		59.61					
	灰分	0.48	2 329.89	3.98	1.46	99.64	74.87	5.254	1.85	20
鼓风	物料	2.19	585.40		59.61					
	灰分	0.54	1 547.60	4.05	1.36	99.72	75.31	5.50	2.06	18

3. 2 灰化烟气治理试验

3. 2. 1 灰化烟气污染物检测

在料层厚度 100 mm、灰化温度 550 ℃、灰化供风量 $6\text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{kg}_{\text{炭}})$ 条件下进行灰化。在炉内温度超过 500 ℃ 时，物料开始燃烧后对灰化烟气中污染物进行检测。检测结果见表 5。

表 5 灰化烟气污染物检测结果

Table 5 Ashing flue gas pollutant detection results

污染物	浓度/ $(\text{mg}\cdot\text{m}^{-3})$	最高允许排放浓 度/ $(\text{mg}\cdot\text{m}^{-3})$
烟(粉)尘	824	200
二氧化硫	93	850
氟及其化合物(HF)	13.6	6
汞及其化合物	0.21	1
铅及其化合物	<0.618	10
烟气黑度(林格曼,级)		1
沥青油烟	511	50
铍及其化合物(以 Be 计)		0.01

由表 5 可知：在碳质含金物料灰化过程产生的烟气中，检测到 3 项污染物浓度超标，烟(粉)尘浓度为 $824\text{ mg}/\text{m}^3$ ，氟及其化合物(HF)浓度达到 $13.6\text{ mg}/\text{m}^3$ ，

沥青油烟浓度高达 $511\text{ mg}/\text{m}^3$ 。

3. 2. 2 灰化烟气净化试验

沥青油烟主要采用燃烧法、电捕法、吸附法、吸收法及等离子法等进行净化。对于灰化烟气中的烟(粉)尘治理，常见的技术手段有布袋除尘、电除尘、重力除尘和洗涤除尘等。至于 HF 的净化，则主要依赖于碱液吸收技术。

该矿山企业生产车间内，设有一个碱液收集池，其主要功能是收集载金炭解吸电解过程中产生的废液，废液中含氢氧化物约 3%。采用碱液洗涤技术，可有效地将灰化烟气中的含金尘粒回收至碱液收集池中，从而防止其排放。基于此，本研究采用“喷淋洗涤—吸收”的净化技术，在料层厚度 100 mm，灰化温度 550 ℃，灰化供风量 $6\text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{kg}_{\text{炭}})$ 条件下对灰化烟气进行净化以达到排放标准。

3. 2. 2. 1 碱液用量试验

物料燃烧释放烟气后，在喷淋液气比 $0.5\text{ L}/\text{m}^3$ ，碱液用量分别为 1%、3%、5%、7%、9% 条件下进行灰化烟气净化试验，试验结果见图 4。

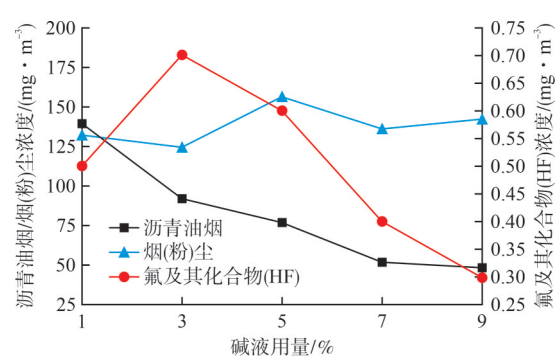


图4 碱液用量试验结果

Fig. 4 Alkaline solution dosage test results

由图4可知:灰化烟气经过碱液喷淋洗涤处理后,烟(粉)尘浓度降低至低于排放标准(200 mg/m^3),同时氟及其化合物(HF)浓度亦降低至低于排放标准(6 mg/m^3)。随着碱液用量的逐步提高,沥青油烟浓度持续下降;当碱液用量达到7%时,沥青油烟浓度降至 48 mg/m^3 ,低于排放标准(50 mg/m^3)。研究结果表明,通过碱液喷淋洗涤技术,可以实现烟(粉)尘、氟及其化合物(HF)、沥青油烟的达标排放。综合考虑经济效益及净化效果,碱液用量以5%为宜。

3.2.2.2 喷淋液气比试验

在碱液用量5%,喷淋液气比分别为 0.25 L/m^3 、 0.5 L/m^3 、 0.75 L/m^3 、 1 L/m^3 、 1.25 L/m^3 条件下对灰化烟气净化,试验结果见图5。

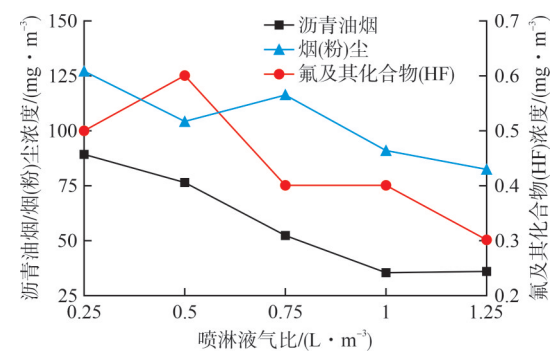


图5 喷淋液气比试验结果

Fig. 5 Spray liquid-gas ratio test results

由图5可知:随着喷淋液气比的提升,灰化烟气中沥青油烟的浓度显著降低。当喷淋液气比达到 1 L/m^3 时,沥青油烟浓度可降至 50 mg/m^3 以下。试验结果显示,在碱液用量为5%、喷淋液气比为 1 L/m^3 的条件

下,烟气中的沥青油烟、烟(粉)尘和氟及其化合物(HF)能够通过喷淋洗涤过程被有效收集至喷淋溶液槽中,从而满足排放标准。

3.3 灰分中金回收试验

灰分化学成分分析结果见表6。

表6 灰分化学成分分析结果

Table 6 Chemical composition analysis results of ashes

成分	Au	Ag	Cu	Fe	Ni	SiO ₂
$w/(g\cdot t^{-1})$	2 331.93	769.7	6 050	190 320	36 230	14 800

3.3.1 盐酸除杂提纯试验

取150 g灰分进行3次平行试验,采用盐酸作浸出剂,在液固比4:1、温度 $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、反应时间2 h的条件下进行杂质去除和纯化处理。试验过程中详细记录滤渣质量及滤液体积,并对滤渣和滤液中的金含量进行分析,结果见表7。

由表7可知:灰分通过盐酸除杂提纯后,滤渣金品位大于 $23\ 000\text{ g/t}$,平均产率8.89%,平均直收率96.35%。

3.3.2 硝酸除杂提纯试验

取150 g灰分进行3次平行试验,采用硝酸作浸出剂,在液固比4:1、温度 $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、反应时间2 h的条件下进行杂质去除和纯化处理,结果见表8。

由表8可知:灰分通过硝酸除杂提纯后,滤渣金品位大于 $10\ 000\text{ g/t}$,平均产率20.67%,平均直收率97.87%。

3.3.3 硝酸除杂—王水溶金除杂提纯试验

取150 g灰分进行3次平行试验,步骤一(硝酸除杂):硝酸作浸出剂,液固比4:1、温度 $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、反应时间2 h;步骤二(王水溶金):王水作浸出剂,液固比4:1、温度 $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、反应时间2 h。试验结果见表9。

由表9可知:通过硝酸除杂—王水溶金后,滤渣平均产率10.8%,平均金品位 12.95 g/t ;以滤液中金质量浓度作为金属量计算,平均直收率96.81%。

3.3.4 铅捕收熔炼除杂提纯试验

在造渣剂碳酸钠15 g、硼砂20 g、石英5 g、面粉3 g,覆盖剂碳酸钠33 g、硼砂17 g,氧化铅分别为50 g、60 g、70 g条件下进行铅捕收熔炼除杂提纯试验,试验结果见表10。

表7 盐酸除杂提纯试验结果

Table 7 Test results of hydrochloric acid impurity removal and purification

滤渣		滤液		直收率/%	备注
质量/g	$w(\text{Au})/(g\cdot t^{-1})$	体积/mL	$\rho(\text{Au})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$		
13.6	25 002.23	1 160	1.57	97.21	滤渣平均产率8.89%,平均直收率96.35%
12.1	27 569.77	1 200	1.48	95.37	
14.3	23 599.78	1 200	1.31	96.48	

表 8 硝酸除杂提纯试验结果

Table 8 Test results of nitric acid impurity removal and purification

滤渣		滤液		直收率/%	备注
质量/g	$w(\text{Au})/(\text{g}\cdot\text{t}^{-1})$	体积/mL	$\rho(\text{Au})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$		
31.6	10 849.00	1 260	1.25	98.01	滤渣平均产率 20.67 %,平均直收率 97.87 %
32.1	10 670.21	1 200	1.41	97.92	
29.3	11 662.44	1 200	1.39	97.69	

表 9 硝酸除杂—王水溶金除杂提纯试验结果

Table 9 Test results of "nitric acid impurity removal-aqua regia gold dissolution" impurity removal and purification

试验步骤	滤渣		滤液		直收率/%	备注
	质量/g	$w(\text{Au})/(\text{g}\cdot\text{t}^{-1})$	体积/mL	$\rho(\text{Au})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$		
步骤一	44.6	7 765.17	1 000	1.31	97.35	滤渣平均产率 10.8 %,平均金品位 12.95 g/t; 以滤液中金质量浓度作为金金属量计算,平均直收率 96.81 %
步骤二	16.2	14.04	500	681.04		
步骤一	43.9	7 880.22	1 050	1.27	96.35	
步骤二	15.8	13.91	550	612.77		
步骤一	44.1	7 827.83	950	1.19	96.72	
步骤二	16.6	10.91	500	676.60		

表 10 铅捕收熔炼除杂提纯试验结果

Table 10 Test results of lead collection smelting impurity removal and purification

PbO用量/g	铅扣质量/g	合金质量/g	硝酸分离金质量/g	熔炼渣质量/g	$w(\text{熔炼渣 Au})/(\text{g}\cdot\text{t}^{-1})$	直收率/%
50	44.80	0.314	0.035	89.60	3.31	99.17
60	53.05	0.310	0.035	93.42	6.22	98.37
70	58.82	0.307	0.035	98.59	9.38	97.41

由表 10 可知:在铅的强烈捕收作用下,试验获得了较高的直收率,当氧化铅用量为 50 g 时,直收率达到了 99.17 %,此时熔炼渣金品位为 3.31 g/t。进一步增加氧化铅用量,直收率不断下降。

3.3.5 氰化浸出试验

取研磨后的灰分样品 200 g 加入至 1 L 搅拌容器中,随后配制一定量氰化钠溶液并加入搅拌容器中进行调浆,同时,添加氧化钙以调节 pH 值至 11.5,启动搅拌和曝气系统,进行 48 h 的浸出搅拌。氰化浸出结束后,过滤矿浆并分析滤液金品位,以考察氰化物用量对灰分浸出率的影响。试验结果见表 11。

表 11 氰化浸出试验结果

Table 11 Test results of cyanide leaching

氰化钠用量/%	$\rho(\text{Au})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	浸出率/%
0.2	338.91	21.8
0.4	348.23	22.4
0.6	365.34	23.5
0.8	432.18	27.8
1.0	399.54	25.7

由表 11 可知:氰化钠用量为 0.2 % ~ 1.0 % 时,灰分浸出率为 21.8 % ~ 27.8 %,氰化浸出率不理想。

为强化氰化浸出效果,在 pH=11.5,充气搅拌浸出 48 h 条件下,加入过氧化氢、高锰酸钾等氧化剂进

行氰化浸出试验。试验结果见表 12。

表 12 添加氧化剂的氰化浸出试验结果

Table 12 Test results of cyanide leaching with oxidant addition

氧化剂及添加量	$\rho(\text{Au})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	浸出率/%
	432.18	27.8
过硫酸钾 1%	576.76	37.1
高锰酸钾 1%	596.97	38.4
氯酸钠 1%	567.44	36.5
过氧化氢 1%	656.05	42.2

由表 12 可知:添加氧化剂可显著提升灰分的浸出率,其中,过氧化氢作氧化剂时浸出率效果最为显著,浸出率可提升至 42.2 %。

若后续工艺采用活性炭吸附—解吸电解—冶炼流程回收浸出液中的金,假设该流程的金回收率为 98 %,在浸出率为 42.2 % 的情况下,实际金回收率仅为 41.36 %。

4 碳质含金物料金回收工艺应用效果分析

依据试验数据及实际生产状况,本研究对比分析了 5 种工艺的特点,结果见表 13。

由表 13 可知:综合考虑前期试验结果,该碳质含金物料金回收的最佳工艺为灰化—硝酸除杂—王水溶金—熔炼。

表 13 碳质含金物料金回收工艺对比分析

Table 13 Comparative analysis of gold recovery processes for carbonaceous gold-bearing materials

工艺	特点
灰化—盐酸除杂—硝酸除杂—熔炼	工艺流程简易;设备投资相对较低,操作简便;在盐酸除杂过程中,可能产生氯离子残留,随后采用硝酸进行除杂,与硝酸形成王水,导致微量金溶解,进而进入废液,降低金属回收率
灰化—硝酸除杂—熔炼	合金纯度偏高,可达90 %左右;工艺技术成熟度高,流程简单,大多数企业能够利用现有的冶炼工艺和设备,实现最小化投资;必须配备能够稳定达到氮氧化物排放标准的烟气处理装置
灰化—硝酸除杂—王水溶金—熔炼	合金的纯度最高,可达99% 以上;灰分富集比率最大;设备投资较多,必须配备氮氧化物烟气处理以确保稳定达标;操作相对复杂,王水溶金过程中金进入液相,容易导致金损失
灰化—氰化浸出—炭吸附—解吸电 解—金泥熔炼	低浸出率导致整体回收率降低,并不适宜含碳质金物料的金回收过程;该过程需借助氰化钠作为浸出药剂,会产生氰化尾渣,这与绿色环保理念相悖
灰化—铅捕收熔炼	金回收率较高,流程较为简单;设备投资相对较大;在氧化铅的捕收过程中存在职业健康与环境风险

5 结 论

1)物料性质分析结果显示,该碳质含金物料金品位598.23 g/t,银品位528.67 g/t,铜品位1 514.7 g/t,铁品位48 295.3 g/t,镍品位8 813.0 g/t,含碳60.57 %。

2)研究通过深入探讨灰化、除杂及浸出等关键工艺的最佳操作条件,提出了采用灰化—硝酸除杂—王水溶金—熔炼的工艺流程,该工艺的平均直收率96.81 %,显著提升了金回收效果,为碳质含金物料中金回收提供了有效的技术解决方案。

3)研究结果不仅解决了处理过程中的环境问题,而且实现了资源有效利用,具有经济和环保价值,为类似物料的金回收提供了科学依据和技术支持。综上所述,本研究成果有助于推动黄金产业的技术进步和可持续发展,对于提高碳质含金物料的金回收率、降低生产成本、保护生态环境具有重要意义。

[参 考 文 献]

[1] 杨明远,李哲浩,张微,等.解吸电解工艺流程考察与优化[J].黄金,2018,39(12):63-66.

[2] 刘豹,梁国海,于海龙.高温高压解吸电解工艺中粉炭金的回收[J].辽宁科技大学学报,2008,31(2):132-134.
[3] 刘立新.高温高压解吸电解工艺中生成粉炭的研究[J].黄金,2005,26(11):40-42.
[4] 王俊,张全祯.炭浆提金工艺与实践[M].北京:冶金工业出版社,2000.
[5] 康健,姚泽钰,胡良训,等.湖北某低品位含碳质金矿碱性加压预氧化—氰化浸出试验研究[J].黄金,2024,45(6):37-40.
[6] 张亮,宋永辉,张辛未,等.碳质金精矿与氧化尾渣协同焙烧—磁选富集分离金铁研究[J].黄金,2024,45(4):32-39,56.
[7] 张辛未,曹玉萍,武甜甜,等.碳质金矿真空焙烧预处理过程的动力学研究[J].黄金,2023,44(10):50-54.
[8] 杨宝军,刘洋,刘红昌,等.生物冶金技术的研究现状及发展趋势[J].生物学杂志,2024,41(3):1-10.
[9] 王晔,赵爱春,高旭.利用生物浸出技术从固废中回收稀有金属的研究进展[J].中国有色冶金,2024,53(3):111-122.
[10] 杨风云.某碳质金精矿富氧焙烧—氰化浸出试验研究[J].黄金,2020,41(2):57-61.
[11] 周岩松,张永忠,杨志宏.碳质含金物料生物浸出技术的研究进展[J].冶金与材料,2017,37(4):63-67.
[12] 万宏民,王重阳,李英.碳质微细粒金矿石选冶工艺研究[J].黄金,2018,39(3):54-58.
[13] 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.
[14] 崔学奇,张耀军,吕宪俊.某高碳质金矿石重选试验研究[J].有色矿冶,2006(增刊1):14-15.
[15] 王成功,周世杰,张淑敏,等.碳质金矿石富氧焙烧堆浸提金试验研究[J].金属矿山,2003(12):34-36,67.

Experimental study on gold recovery process for carbonaceous gold-bearing materials

Yang Mingyuan¹, Shen Xin², Qiao Zhan¹, Lu Donghui³, Sui Ting⁴, Bai Yang², Zhang Shibiao¹
(1. Changchun Gold Research Institute Co., Ltd.; 2. Inner Mongolia Pacific Mining Co., Ltd.;
3. Hulunbuir Ecological Environment Protection and Development Center;
4. Inner Mongolia Mining Co., Ltd., China National Gold Group Co., Ltd.)

Abstract:To address the challenge of gold recovery from carbonaceous gold-bearing materials, by analyzing the chemical composition, carbon phases, and particle size distribution, the characteristics of the carbonaceous gold-bearing materials were investigated, providing a basis for process optimization. This study explored the optimal operating conditions for key processes such as ashing, impurity removal, and leaching. The results showed that employing the ashing-nitric acid impurity removal-aqua regia gold dissolution-smelting gold recovery process achieved a direct recovery rate of 96.81 %, significantly enhancing gold recovery rate. The process acts as an effective technical solution for the gold recovery from carbonaceous gold-bearing materials. The findings solved environmental issues during the treatment process, realizing effective resource utilization. This approach has both economic and environmental benefits, offering scientific basis and technical support for gold recovery from similar materials and contributing to the technological progress and sustainable development of the gold industry.

Keywords:carbonaceous gold-bearing materials; ashing; impurity removal; leaching; gold recovery; smelting