

黄金冶炼废水深度软化工艺优化与工业化应用

邵京明,孙仁锋,郭建东*,薛希刚,汪少杰,许金玲,梁志伟

(山东国大黄金股份有限公司)

摘要:针对黄金冶炼废水硬度高造成循环利用时设备结垢、滤布板结、金泥品质低及金颗粒表面被包裹导致金回收效果差等问题,通过工艺优化及系统改造等措施,建设了年处理79.2万m³黄金冶炼废水软化与循环利用系统,并成功实现了工业化应用。与黄金冶炼废水直接循环利用相比,软化净水循环利用后的浸渣金品位平均降低了0.15 g/t,碳酸钠用量降低了3.50 kg/t,氰化钠用量降低了1.50 kg/t。改造后的废水深度软化工艺效果明显,软化净水硬度低于300 mg/L,完全达到循环利用要求,年节资增收达1300余万元,实现了黄金冶炼企业废水高值化、资源化利用。

关键词:黄金冶炼废水;深度软化;二氧化碳软化法;工业化应用;循环利用;资源化利用

中图分类号:TD926.5

文献标志码:A

文章编号:1001-1277(2025)03-0096-06

doi:10.11792/hj20250317

引言

金属矿中多伴生硫,在金属冶炼过程中会产生大量的二氧化硫冶炼烟气,通常采用干法收尘、湿法净化、转化、吸收等工序制取硫酸^[1-3]。其中,冶炼烟气在湿法净化过程中会产生一定量的酸性废水^[4-6]。同时,含铜金精矿经焙烧酸浸工艺产出的酸浸液采用萃取电积工艺回收铜后,也会产生大量的萃铜余液酸性废水。传统酸性废水通常采用价格低廉的石灰石或石灰进行中和处理,处理后的中和水水质硬度高,循环回用于生产系统时,易导致生产设备、管道结垢堵塞,严重影响生产的正常运行^[7-10]。另外,对于黄金冶炼行业,循环利用高硬度废水,金矿物表面极易生成过氧化钙、氧化钙等化合物包裹薄膜,阻碍金的氰化浸出,从而使金浸出率下降,直接影响企业经济效益。

传统黄金冶炼废水软化方法主要有:纳滤膜分离法、离子交换法、电渗析法、加药沉淀法等^[11-16]。其中,纳滤膜分离法对中低浓度的钙离子有一定的截留效果,但对高浓度的钙离子截留效果差,且投资成本、运行费用高;离子交换法主要适用于水质单一、钙含量不高的废水,且对水质要求较高,若遇重金属离子、有机物、悬浮物等都有可能中毒;电渗析法对原水预处理要求高,且能耗大,易结垢,浓缩分离膜寿命短;加药沉淀法主要为石灰+碳酸钠法,对于处理高硬度废水存在自动化程度低、药剂用量大、生产成本低,且

引入大量钠离子等问题,导致处理后废水盐度大,难以处理的新问题^[17-20]。对于黄金冶炼废水的软化处理,诸多国内学者先后研究了化学混凝沉淀法、多效蒸发脱盐法、生物膜法等技术方法,但存在工艺复杂、投资成本及运行成本高、效果不理想、难以满足黄金冶炼废水循环利用的标准要求。因此,研究与开发一种黄金冶炼废水安全、高效、清洁环保、循环利用率高度的软化工艺迫在眉睫。

针对目前黄金冶炼废水处理技术存在的各种缺陷,本文研究了黄金冶炼废水二氧化碳深度软化中的pH关键技术条件,以及软化净水循环利用对氰化浸出金、银的影响,并进行了生产连续跟踪对比试验,以期黄金冶炼废水的深度软化与循环利用及工业化应用提供技术支撑。

1 试验部分

1.1 试验试剂

EDTA,氨水,氢氧化钠,硫酸,碳酸氢钠,均为分析纯;工业石灰。

黄金冶炼废水、含金酸浸渣、氰化贫液样品来自山东某大型黄金冶炼企业,该企业焙烧—氰化生产系统年处理金精矿20万t。黄金冶炼废水产出工艺流程为金精矿硫酸化焙烧—烟气制酸—焙砂酸浸浸铜—含铜酸浸液萃取电积—含金酸浸渣氰化浸出金银,其中,烟气制酸、含铜酸浸液萃取电积工序分别产生净化酸性废水、萃铜余液酸性废水。酸性废水采用

收稿日期:2024-11-19;修回日期:2024-12-08

基金项目:山东省重点研发计划(重大科技创新工程)项目(2023CXGC010903)

作者简介:邵京明(1974—),男,高级工程师,从事多金属矿物浮选及贵金属冶炼加工等研究工作;E-mail:sjm@sdguoda.com

*通信作者:郭建东(1977—),男,高级工程师,从事贵金属选矿及冶炼、金银矿物资源综合利用研究等工作;E-mail:guojiandong08@126.com

石灰中和法处理后产出黄金冶炼废水。对黄金冶炼废水多次取样进行水质分析,其平均硬度为3 147.86 mg/L

(以CaCO₃计)(见表1)。

含金物料为含铜金精矿硫酸化焙烧、酸浸后得到

表 1 黄金冶炼废水水质分析结果

Table 1 Analysis results of gold smelting wastewater quality

组分	Au	Ag	Cu	Pb	As	Zn	Na	Fe	硬度(以CaCO ₃ 计)	pH 值
$\rho/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	0.01	0.02	1.74	1.4	1.16	2.71	3 500.00	0.48	3 147.86	8.52

的含金酸浸渣,其金、银品位分别为52.02 g/t、134.34 g/t (见表2)。

表 2 含金酸浸渣化学组分分析结果

Table 2 Chemical composition analysis results of gold-bearing acid leaching residue

组分	Au ¹⁾	Ag ²⁾	Cu	S	Pb	Zn	Fe	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃
$w/\%$	52.02	134.34	0.12	0.30	0.12	0.22	29.60	41.20	3.22	2.68

注:1) $w(\text{Au})/(\text{g}\cdot\text{t}^{-1})$; 2) $w(\text{Ag})/(\text{g}\cdot\text{t}^{-1})$ 。

氰化贫液为含金酸浸渣氰化浸出工艺处理产生的贵液经锌粉置换提取金、银后产出的贫液。

1.2 试验方法

软化试验:量取1 000 mL黄金冶炼废水,加入氢氧化钠调节pH,通入二氧化碳气体,待反应结束后进行固液分离,测定软化净水的硬度。硬度分析方法采用GB 7477—87《水质 钙和镁总量的测定 EDTA滴定法》。

氰化浸出试验:称取1 000 g含金酸浸渣,分别采用氰化贫液、软化净水+氰化贫液(体积比为1:4)、软化净水作为浸出用水,调浆至浓度65%,磨矿时间20 min,细度-0.037 mm占95%,再调整矿浆浓度至33%,碳酸钠作保护碱,调整矿浆pH值至10,氰化钠用量0.20%~0.25%,氰化浸出36 h;浸渣经洗涤、过滤、烘干后化验分析。金分析方法采用GB/T 20899.1—2019《金矿石化学分析方法 第1部分:金量的测定》;银分析方法采用GB/T 20899.2—2019《金矿石化学分析方法 第2部分:银量的测定 火焰原子吸收光谱法》。

2 结果与讨论

2.1 pH对软化效果的影响

CO₂在水中的溶解度和碳酸饱和浓度取决于多种因素,最主要的影响因素为压力、温度,常温常压下碳酸饱和浓度为0.033 mol/L。此外,还受pH影响。碳酸是一种二元弱酸,分2步电离, K_{a1} 约为 4.3×10^{-7} , K_{a2} 约为 5.6×10^{-11} 。在不同pH下,其可以以碳酸(H₂CO₃)、碳酸氢根离子(HCO₃⁻)和碳酸根离子(CO₃²⁻)3种形式存在。饱和状态下碳酸形态分布见图1。

由图1可知:pH值低于4时,CO₂主要以H₂CO₃形式存在;pH值为7~10时,主要以HCO₃⁻形式存在;

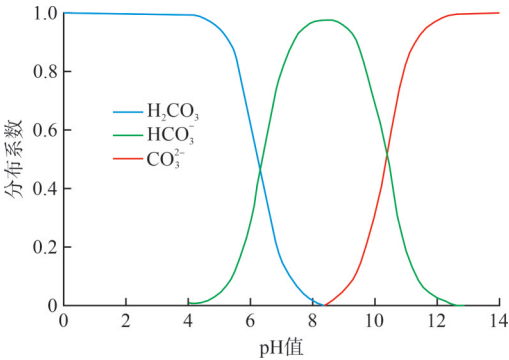


图 1 饱和状态下碳酸形态分布

Fig. 1 Distribution of carbonate forms under saturated conditions

pH值大于12时,主要以CO₃²⁻形式存在。碳酸氢盐一般溶解度较大,使废液中钙及其他杂质离子转化为碳酸盐沉淀,需探究将二氧化碳最大化转化为碳酸根离子的最佳技术条件。

黄金冶炼废水摇匀,分别加入氢氧化钠调整pH值至10.5,11.0,11.5,12.0,12.5,通入CO₂,待反应结束后进行固液分离,测定软化净水的硬度,结果见图2。

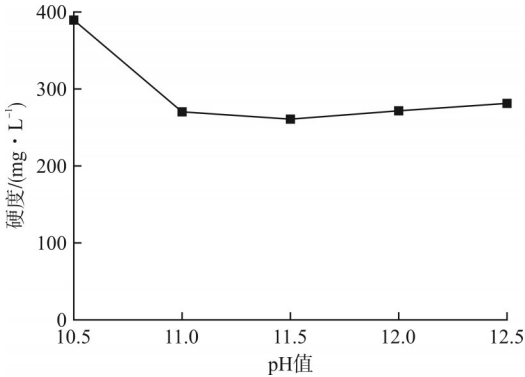


图 2 初始pH对软化效果的影响

Fig. 2 Effect of initial pH on softening efficiency

由形态分布图可知,在pH值低于10时,HCO₃⁻分布系数增加。为去除杂质离子的同时节约碳酸钠用量,通入CO₂后最终pH值控制在9。在综合考虑运行

成本及氰化调浆对水质的需求,水样中总硬度(以CaCO₃计)降低至300 mg/L即可满足需求。由图2可知:pH对CO₂软化黄金冶炼废水的影响较大,软化净水硬度随pH的升高先降低后升高。当pH值控制为11.0~12.0时,软化净水硬度平均值为266.90 mg/L,达到预期目标。综合考虑各种因素,选择CO₂软化黄金冶炼废水的pH值为11.0~12.0。

2.2 软化净水循环利用对氰化浸出的影响

为了考察软化净水对含金酸浸渣中金、银的浸出

效果,进行了一系列氰化浸出试验。含金酸浸渣连续取样30 d,每6 d所取样品混匀合并为一批次样品,共计5批次试验样品,以确保试验样品的代表性。氰化浸出试验分别采用氰化贫液、软化净水+氰化贫液(体积比为1:4)、软化净水作为浸出用水,考察不同用水对氰化浸出金、银的影响。试验结果见表3。

由表3可知:分别采用氰化贫液、软化净水+氰化贫液、软化净水作为氰化生产系统用水,氰化浸渣金平均品位分别为1.55 g/t、1.40 g/t、1.39 g/t,金浸出率

表3 不同用水对氰化浸出金、银的影响

Table 3 Effect of different water types on cyanide leaching of gold and silver

序号	产物	品位/(g·t ⁻¹)		浸出率/%		碳酸钠用量/ (kg·t ⁻¹)	氰化钠用量/ (kg·t ⁻¹)	浸出用水
		Au	Ag	Au	Ag			
1	酸浸渣	56.20	100.20					
	浸渣-1	1.60	46.20	97.15	53.89	12.20	4.90	氰化贫液
	浸渣-2	1.45	43.20	97.42	56.89	8.70	3.40	软化净水+氰化贫液
	浸渣-3	1.43	42.80	97.46	57.28	8.50	3.20	软化净水
2	酸浸渣	53.50	120.40					
	浸渣-1	1.50	45.20	97.20	62.46	12.40	4.80	氰化贫液
	浸渣-2	1.35	44.20	97.48	63.29	8.90	3.30	软化净水+氰化贫液
	浸渣-3	1.33	43.80	97.51	63.62	8.60	3.20	软化净水
3	酸浸渣	48.50	123.50					
	浸渣-1	1.55	48.20	96.80	60.97	12.30	5.00	氰化贫液
	浸渣-2	1.40	46.80	97.11	62.11	8.80	3.50	软化净水+氰化贫液
	浸渣-3	1.39	46.30	97.13	62.51	8.80	3.30	软化净水
4	酸浸渣	52.30	152.60					
	浸渣-1	1.52	53.20	97.09	65.14	12.60	4.90	氰化贫液
	浸渣-2	1.37	52.60	97.38	65.53	9.10	3.40	软化净水+氰化贫液
	浸渣-3	1.36	51.90	97.40	65.99	8.90	3.20	软化净水
5	酸浸渣	49.60	175.20					
	浸渣-1	1.59	58.60	96.79	66.55	12.50	5.00	氰化贫液
	浸渣-2	1.44	56.60	97.10	67.69	9.00	3.50	软化净水+氰化贫液
	浸渣-3	1.42	56.20	97.14	67.92	8.80	3.30	软化净水
平均值	酸浸渣	52.02	134.38					
	浸渣-1	1.55	50.28	97.02	62.58	12.40	4.92	氰化贫液
	浸渣-2	1.40	48.68	97.31	63.77	8.90	3.42	软化净水+氰化贫液
	浸渣-3	1.39	48.20	97.33	64.13	8.72	3.24	软化净水

分别为97.02 %、97.31 %、97.33 %。采用软化净水、软化净水+氰化贫液(体积比为1:4)处理的浸渣中金、银品位及回收率均明显优于氰化贫液,同时在碳酸钠用量及氰化钠用量的减量方面也具有优势。采用软化净水+氰化贫液(体积比为1:4)较全部采用氰化贫液,浸渣金品位降低0.15 g/t,银品位降低1.60 g/t,碳酸钠用量降低3.50 kg/t,氰化钠用量降低1.50 kg/t。综合氰化生产系统液体平衡及液体处理成本等多方面因素考虑,采用软化净水+氰化贫液(体积比为1:4)为宜。

2.3 改造方案及实施

依据黄金冶炼废水软化与氰化浸出实验室试验结果,建设了年处理79.2万m³黄金冶炼废水软化与循环利用系统,主要工艺包括:两级二氧化碳软化工段、一体化沉降过滤工段、碳酸钙制备二氧化碳工段、全PLC编程控制系统等,工程系列包括变配电、设备管线装备等,软化净水分别循环利用于焙烧制酸、酸浸浸铜、氰化浸出工序中。改造后的废水处理工艺流程见图3。

2.3.1 两级二氧化碳软化工段

在pH调节槽加入氢氧化钠溶液,调整黄金冶炼

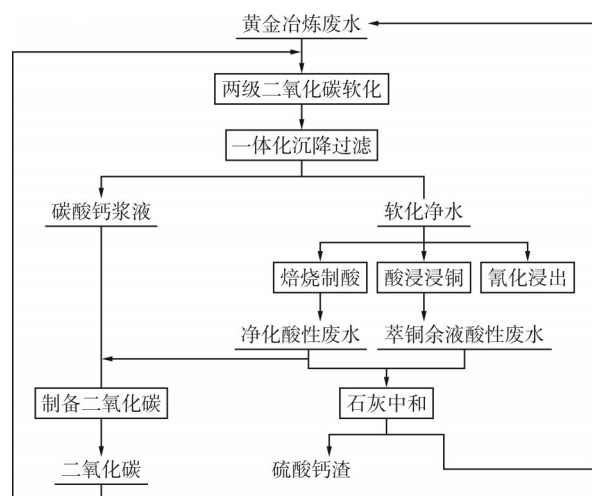


图3 改造后的废水处理工艺流程

Fig. 3 Modified wastewater treatment process

废水pH值至11.0~12.0,溢流至一级软化器;液体二氧化碳经压力储罐、浴化器进行气化产生二氧化碳气体,经稳压装置和工艺控制装置自动通入一级二氧化碳软化器中,反应生成的沉淀物浆液溢流至二级二氧化碳软化器;在二级二氧化碳软化器中,继续通过稳压装置和工艺控制装置自动通入气体二氧化碳,生成含碳酸钙微细颗粒的沉淀物浆液。

2.3.2 一体化沉降过滤工段

沉淀物浆液进入新型沉降过滤装置,大颗粒悬浮物通过机械拦截,小颗粒通过静电吸附沉降。沉降过滤后,悬浮物去除率达到99%以上。软化净水清澈透明,pH值为8.5~9.0,含固量为20 mg/L,硬度 ≤ 300 mg/L,返回系统重复使用;过滤器底流所得碳酸钙浆液进入二氧化碳制备工段。

2.3.3 碳酸钙制备二氧化碳工段

将焙烧制酸工段产出的净化酸性废水经泵输送至二氧化碳制备反应槽,同时碳酸钙浆液泵送至反应槽,控制反应终点pH值为6.5~7.5,制备的二氧化碳气体经抽气泵输送至黄金冶炼废水两级二氧化碳软化工序循环利用,同时实现了焙烧制酸酸性废水的综合利用。

2.3.4 全PLC编程控制系统

1)液态二氧化碳储存、气化、调压、缓存单元,液体二氧化碳储罐压力容器,配套空气浴化器、压力控制设备。液体二氧化碳经空气浴化器换热后转化为二氧化碳气体,通过调压和缓存单元后进入二氧化碳软化器。

2)pH自动调节系统。研究和实践发现,废水硬度与pH相关。二氧化碳软化工段前,利用氢氧化钠调节pH到设定值。自动控制系统根据废水硬度、pH、处理量等,自动调节氢氧化钠加入量。

3)二氧化碳软化器配置气液反应自动反馈系统。根据废水处理量、硬度、pH及二氧化碳气体的流速、流量和压力进行智能分析,精确控制二氧化碳加入量,使其处于反应的临界点。此操作可以使二氧化碳利用率达到最高,且不会出现碳酸钙反溶现象,进一步提高了二氧化碳软化效果。二氧化碳软化器配置完善的压力和流量控制系统,有效防止二氧化碳在投加过程中产生偏流效应,保证了二氧化碳软化器运行的安全性和稳定性。

2.4 改造后主要设备

主要配套设备包括pH调节装置,二氧化碳软化器,新型过滤器和液态二氧化碳储存、气化、调压、缓存单元。

2.4.1 pH调节装置

黄金冶炼废水硬度约为3 000 mg/L,pH值为8~9。因氢氧化钠调整pH具有用量少、pH提升迅速、无沉淀渣生成的优势,故选择氢氧化钠作为pH调节试剂。自动控制系统可根据废水硬度、pH、处理量等,自动调节氢氧化钠加入量。

2.4.2 二氧化碳软化器

二氧化碳软化器的主要作用是使二氧化碳气体与黄金冶炼废水中的钙、镁离子进行化学反应,达到废水软化的目的。二氧化碳软化器配置气液反应自动反馈系统,可进行智能分析,精确控制二氧化碳加入量。针对黄金冶炼废水pH偏高、硬度高且不稳定的特点,研发设计了CZX型小口径气液接触系统,可精确调整二氧化碳加入量,消除二氧化碳加入过量造成沉淀物生成碳酸氢盐反溶,导致软化效果不佳的技术问题。

2.4.3 新型过滤器

针对二氧化碳软化产生的碳酸钙沉淀物黏度大、颗粒细、密度小,难以实现固液分离、过滤的问题,研发了新型过滤器设备。该设备利用机械过滤、絮凝沉降、深层静电吸附、拦截吸附原理,过滤器上部为悬浮过滤介质,大颗粒悬浮物被过滤介质拦截,小颗粒进入滤料内层,被滤料深层静电吸附,一段时间后在滤料表面形成一层滤饼,滤饼同样起到过滤拦截作用,最终颗粒物从底部排出。新型过滤器见图4。

2.5 改造后运行效果

黄金冶炼废水软化工艺优化与工业化应用项目自2023年1月正常生产运行后,生产指标达到预期设计指标,工业生产应用指标数据见表4。由表4可知:软化净水水质符合GB 8978—1996《污水综合排放标准》中一级排放标准,平均硬度从3 110 mg/L降至288.78 mg/L。软化净水用于氰化浸出系统后,显

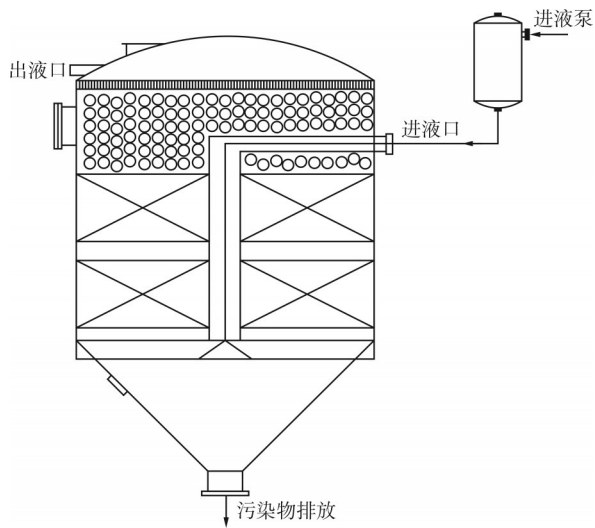


图4 新型过滤器示意图

Fig. 4 Diagram of a new type of filter

表4 工业生产应用指标数据

Table 4 Industrial production application indicator data

日期	黄金冶炼废水 处理量/m ³	废水硬度 (以CaCO ₃ 计)/ (mg·L ⁻¹)	软化前调整 pH值	软化净水硬度 (以CaCO ₃ 计)/ (mg·L ⁻¹)	软化净水 pH值	软化净水 利用率/%	浸渣金品位降低 值/(g·t ⁻¹)
2023-01	66 000	3 210	11.0	288.50	8.5	100.00	0.13
2023-02	66 500	3 010	12.0	289.50	9.0	100.00	0.15
2023-03	67 000	3 160	11.5	286.50	9.0	100.00	0.17
2023-04	66 500	3 190	11.8	288.60	8.5	100.00	0.14
2023-05	66 200	3 060	11.6	289.50	9.0	100.00	0.16
2023-06	65 500	3 030	11.8	289.20	9.0	100.00	0.15
2023-07	66 000	3 070	11.6	290.00	8.5	100.00	0.14
2023-08	66 500	3 120	11.8	289.00	9.0	100.00	0.16
2023-09	64 200	3 170	12.0	288.60	9.0	100.00	0.15
2023-10	65 800	3 150	11.6	289.00	8.5	100.00	0.13
2023-11	65 500	3 050	11.5	288.80	8.5	100.00	0.17
2023-12	66 300	3 070	11.5	288.20	9.0	100.00	0.15
平均值	792 000(合计)	3 110	11.6	288.78	8.8	100.00	0.15

开发了二级二氧化碳软化、一体化沉降过滤、碳酸钙制备二氧化碳闭路回用、软化净水循环利用4项关键技术,黄金冶炼废水硬度从3 147.86 mg/L降至266.90 mg/L。同时,软化净水循环利用于焙烧制酸、酸浸浸铜、氰化浸出3个生产过程,浸渣金品位平均降低了0.15 g/t。该黄金冶炼废水深度软化工艺简单、操作方便、成本低廉、效果显著。

2)通过工艺优化、工艺装备设计与配置、技术改造等措施,建设了年处理79.2万m³黄金冶炼废水软化与循环利用系统,软化净水完全达到循环利用要求,不仅解决了设备结垢、滤布板结、金泥品质低、金浸出效率降低等生产技术难题,而且年可增收黄金24.45 kg,大宗辅材碳酸钠、氰化钠的用量分别降低570 t、240 t,年实现节资增收达1 300余万元,为黄金冶炼企业废水高值化、资源化利用指明了新的技术方

著提高了金浸出效果,浸渣金品位平均降低了0.15 g/t。

黄金冶炼废水深度软化工艺工业应用后,年处理废水达79.2万m³,软化净水达到了循环利用标准,分别应用于焙烧制酸、酸浸浸铜、氰化浸出工序,实现了软化净水的全部利用。该技术应用后,按照企业年处理金精矿20万t,焙烧酸浸总产率为81.5%,年处理酸浸渣16.3万t计算,增收黄金24.45 kg,碳酸钠、氰化钠用量分别降低570 t、240 t,黄金、碳酸钠、氰化钠价格分别以41万元/kg、0.26万元/t、1.02万元/t进行概算,年实现节资增收达1 300余万元。

3 结 论

1)针对传统黄金冶炼废水处理工艺流程复杂、处置后废水硬度高、难以循环利用等诸多技术瓶颈,研究

向。

[参 考 文 献]

[1] 王梅君.某金铜矿2种废水中和回收利用铜试验研究[J].黄金, 2024,45(11):116-120.

[2] 刘亚建.黄金冶炼废水综合处理工艺研究及应用[J].黄金, 2013,34(11):65-67.

[3] 方荣茂.黄金冶炼废水处理工艺优化及系统改造[J].工业用水与废水,2015,46(2):58-60.

[4] 赵麒,王海洋,李锡童,等.酸性矿山废水去除重金属试验研究[J].黄金,2023,44(8):105-107.

[5] 翟继武,陈宏宇,王良,等.有色金属冶炼废水处理现状和发展趋势[J].有色金属设计,2021,48(4):31-33.

[6] 兰馨辉,边艳爱,付勇,等.某酸性矿山废水综合治理试验研究[J].黄金,2024,45(4):91-95.

[7] 杨砾淞.有色金属冶炼主要工艺设备及用途[J].化学工程与装备,2023(3):158-159,174.

[8] 赵鑫,李瑶.金属冶炼工艺重大危险因素分析及预防措施[J].中

- 国金属通报,2022(7):7-9.
- [9] 潘岩,鄢锋,郭徽,等.有色金属冶炼自动控制研究现状与展望[J].中国有色金属学报,2021,31(1):96-105.
- [10] 陈云峰,宋宏儒,赵燕,等.贵金属冶炼的三废治理[J].世界有色金属,2021(9):3-4.
- [11] 任建文.有色金属冶炼主要工艺设备与用途分析[J].现代工业经济和信息化,2021,11(7):146-148.
- [12] 唐美静.有色金属冶炼主要工艺设备及用途研究[J].世界有色金属,2021(12):19-20.
- [13] 陈伟文.一种利用铁做还原剂的金属冶炼压料装置[J].有色金属材料与工程,2021,42(4):61.
- [14] 杜再娟,刘燕龙.煤化工行业高硬度污水对污水处理装置运行的影响[J].神华科技,2013,11(3):94-96.
- [15] 郭青鹏,陈文清,代海波,等.生物膜法在一体化污水处理装置中的应用[J].四川化工,2020,23(1):18-20.
- [16] 冯芝勇,邱远鹏,曹汝俊,等.硫化沉砷-石膏中和工艺处理铜冶炼废酸污水的生产实践[J].中国有色冶金,2021,50(3):75-78.
- [17] 郭小芳,郭乐乐.含砷锡金精矿冶炼过程中水污染源及治理措施简析[J].甘肃冶金,2022,44(1):32-35.
- [18] 刘鹏程,阳海棠,陈艺锋,等.预氧化-钙盐法处理含砷废水试验研究[J].湿法冶金,2017,36(6):493-497.
- [19] 韦岩松,车月燕.用石灰-混凝剂法从冶炼制酸废水中脱氟的试验研究[J].湿法冶金,2017,36(2):128-132.
- [20] 石绍渊,王军强,王永春,等.复杂黄金废水深度净化与脱盐回用技术研究与实践[J].黄金科学技术,2018,26(4):535-542.

Process optimization and industrial application of advanced softening technology for gold smelting wastewater

Shao Jingming, Sun Renfeng, Guo Jiandong, Xue Xigang, Wang Shaojie, Xu Jinling, Liang Zhiwei
(Shandong Guoda Gold Co., Ltd.)

Abstract: To address issues such as equipment scaling, filter cloth hardening, low-quality gold mud, and poor gold recovery due to high hardness in gold smelting wastewater during recycling, this study optimized processes and modified systems to establish an annual treatment capacity of 792 000 m³ of gold smelting wastewater softening and circular utilization. The system has been successfully industrialized. Compared to direct recycling of untreated wastewater, the softened and purified water reduced the average gold grade in cyanidation tailings by 0.15 g/t, decreased sodium carbonate consumption by 3.50 kg/t, and lowered sodium cyanide usage by 1.50 kg/t. The upgraded advanced softening process demonstrated significant effectiveness, achieving softened water hardness below 300 mg/L, fully meeting recycling requirements. Annual cost savings and revenue increased by over 13 million yuan, realizing high-value and resource-based utilization of wastewater in gold smelting enterprises.

Keywords: gold smelting wastewater; advanced softening; carbon dioxide softening method; industrialized application; recycling; resource-based utilization