

湿法冶金金银精炼工艺优化方案实施

姜学利

山东恒邦冶炼股份有限公司, 山东省烟台市, 264100;

摘要: 湿法冶金工艺是金银精炼的一种重要技术途径, 对产品纯度、金属回收率起决定性作用的参数为工艺参数。当前生产实践中普遍存在着溶解效率偏低、杂质去除不彻底、药剂消耗量大的突出问题, 影响了整个工艺的经济性和可持续性。系统改善溶解反应体系、改进净化分离流程、精确控制还原沉淀、完善尾液资源化回收与环保处理, 可以提高金银产品质量、提高资源利用率。工艺优化要兼顾反应动力学条件、设备配置优化、操作规范完善、环境影响控制等诸多方面, 促使技术进步与绿色生产相协调, 给湿法冶金行业赋予可行的工艺改进途径和系统解决办法。

关键词: 湿法冶金; 金银精炼; 工艺优化; 回收率

DOI: 10.69979/3041-0673.26.05.005

湿法冶金技术由于反应条件温和、产品纯度高、环境污染小, 在金银精炼行业得到了广泛的应用。该工艺主要包含化学溶解、溶液净化、贵金属沉淀回收等重要环节, 目的就是复杂原料中高效提取和精制出高纯度的金银产品。但是随着矿产资源品位降低、环保标准越来越高, 传统工艺遇到的挑战也越来越大, 溶解过程中消耗大量酸碱、反应时间长、净化工序杂质分离不稳定、还原沉淀环节贵金属损失大、尾液处理压力增大。技术瓶颈直接关系到企业生产成本控制的好坏、产品质量是否稳定, 也会影响到行业是否可持续发展。因此对工艺系统性优化进行深入研究, 用技术创新、流程再造的方式来提高资源利用率、降低环境负担, 对企业竞争力和行业技术升级有着非常大的现实意义。

1 溶解工序优化策略

1.1 溶解体系选择与配比调整

王水溶解法为金银精炼的主要工艺, 酸比对溶解效果有很大影响。盐酸和硝酸的体积比要根据物料成分来灵活调节, 含金量高的物料可以适当增加盐酸的比例, 含银量高的物料则需要增大硝酸的用量。溶解温度控制在一个合适的区间里可以加快反应速度, 温度过低会导致溶解慢, 温度过高会使酸雾挥发大增、腐蚀设备。物料粒度对溶解效率有直接影响, 细碎物料比表面积大, 与酸液接触充分, 溶解速度明显加快。用分批投料的方式可以保持反应体系的稳定, 防止瞬时反应太剧烈造成酸液飞溅或者贵金属损失。

1.2 溶解过程控制要点

溶解槽材料的选择要考虑耐腐蚀性, 玻璃钢或者衬胶钢槽能够抵御强酸的腐蚀从而延长设备的使用寿命。搅拌装置的转速和叶片形状影响物料和酸液的混合均

匀程度, 合适的搅拌参数可缩短溶解时间、减少酸液用量^[1]。溶解过程中产生的氮氧化物气体要妥善处理, 配套碱液吸收装置可以使得尾气达标排放, 减少环境污染。定期检测溶解液中贵金属浓度, 及时判断溶解反应是否完全, 防止由于溶解不完全而造成后续工序处理困难。建立溶解渣处理规程, 将不能溶解的残渣进行检验分析, 回收残渣中剩余的贵金属, 减少金属损失。

1.3 溶解效率提升措施

预处理工序对提高溶解效率有重要的作用, 含有机物或者碳质的物料应该先进行焙烧氧化, 去除影响溶解的杂质。超声波辅助溶解技术利用空化效应加强传质过程, 可以缩短溶解时间, 减少酸液的消耗。采用循环酸液溶解方式, 上一批次溶解后的废酸经过适当调整后继续使用, 既减少了新鲜酸液的用量, 又保持了溶解能力。溶解设备密闭性能直接影响酸雾逸散程度, 改善密封结构、增设抽风系统可改善作业环境、保护操作人员健康。

2 净化分离工艺改进

2.1 除铜工序优化

溶液中铜离子浓度过高, 将严重影响后续金银分离的效果, 因此除铜工序是保证最终产品质量的重要环节。目前主要用亚硫酸钠还原法, 通过控制还原剂加入量和反应温度, 可以使铜离子转化成硫化铜沉淀并去除。萃取法因为具有较好的选择性和较大的处理量, 通过建立合适的萃取体系, 经多级逆流萃取可以深度脱除溶液中铜离子。高浓度含铜溶液可以通过电除铜技术, 在阴极直接沉积回收金属铜, 同时实现溶液的净化。除铜后的溶液要进行严格的质量检验, 铜含量达到要求后才能进入下一道工序, 本步骤对最终产品的纯度等级起决定性的作用。

2.2 除铁除锌处理

溶解过程中铁、锌等贱金属同时被浸出,必须采用系统的方法来进行分离。通过精确控制溶液 pH 值,使铁离子生成氢氧化铁沉淀,经过充分沉降之后进行固液分离。氨水沉淀法可以将锌离子以氢氧化锌的形式选择性地分离出来,得到的沉淀物经适当处理后可以成为有价值的副产品进行回收利用。对复杂的溶液体系可以采用分步沉淀的方法,根据不同金属离子的沉淀特性的差异,依次分离出各种杂质。固液分离设备选择的好坏直接影响分离效率和金属回收率,板框压滤机、真空过滤机可获得含水率低的滤饼,从而最大程度地减少贵金属夹带损失。

2.3 深度净化技术应用

在主要杂质除去以后,还要用深度净化技术来提高溶液品质。活性炭吸附法可以除去溶液中的有机杂质和微量金属离子,明显改善溶液的性能。离子交换树脂技术依靠其对某些离子的选择性吸附特性,经过改善树脂的选择性以及操作条件之后,可以达到富集目标金属、去除杂质的目的。电渗析技术依据电场下离子定向移动的原理来实现溶液的净化,能耗小、无二次污染。深度净化处理过的溶液,需要做全面的、精确的成分分析,保证各项杂质指标完全符合后续沉淀工序的严格要求,为得到高纯度的贵金属产品提供可靠保证。

3 还原沉淀工艺强化

3.1 金的沉淀回收

金的沉淀回收主要采用亚硫酸钠还原法,该工艺技术比较成熟。还原剂用量要根据溶液中金离子浓度准确计算,适当过量可以保证沉淀反应完全。反应过程中的温度控制和搅拌强度会直接影响沉淀产物的颗粒特性,温和的反应条件可以产生粒度均匀、容易分离的沉淀物。草酸还原法得到的金粉产品纯度高,但是反应速率慢,适合于对产品纯度有特殊要求的应用场合。沉淀反应完成后需要对母液中的残余金含量进行检测,若不符合标准,则需要采取补充还原剂或者延长反应时间等措施来保证金的高效回收^[2]。沉淀得到的金粉需要用去离子水充分洗涤,去除夹带的盐分和杂质,洗涤液应集中处理回收其中含有的微量金。

3.2 银的分离提纯

银的分离提纯常用氯化银沉淀法,即向含银溶液中加入氯离子供体,使银离子形成氯化银沉淀。沉淀过程中酸度控制十分重要,酸度过高会抑制沉淀的生成,酸度过低又会使杂质金属一起沉淀。沉淀出的氯化银要经

过充分的洗涤来去除杂质,洗涤液一般用稀盐酸和纯水。还原熔炼是把氯化银转化为金属银的重要过程,在高温下与还原剂反应生成银锭。为了进一步提高银的纯度,可以采用电解精炼工艺,以粗银为阳极、纯银片为阴极,在硝酸银电解液体系中进行电解提纯,最终在阴极得到高纯度银产品。

3.3 共沉淀现象控制

当溶液净化不彻底的时候,还原沉淀过程就容易出现共沉淀现象,对产品纯度造成严重影响。避免共沉淀的根本办法就是严格控制前段净化工艺参数,使杂质金属浓度降到最低。选择对金银有高选择性的专用还原剂,可以有效地抑制其他金属离子的同时还原。用分段沉淀策略,先沉淀大部分的金银,然后再处理含有微量贵金属的母液。定时对沉淀产物做化学成分分析,及时发现共沉淀现象,根据检测结果逆向调整净化工艺参数,形成从净化到沉淀的闭环质量控制体系,保证最终产品纯度满足要求。

4 尾液回收与环保处理

4.1 贵金属尾液综合利用

沉淀后的母液中仍有微量的金银,如果直接排放会浪费资源且会造成污染。离子交换法可以从低浓度溶液中富集贵金属,将尾液通过装填树脂的交换柱,金银离子被吸附在树脂上,洗脱后得到浓缩液再进行沉淀回收。活性炭吸附法也适用于尾液中贵金属的回收,吸附饱和的活性炭经过焙烧处理后,金银富集在灰渣中,可以返回溶解工序处理。电积法是利用电化学原理直接从稀溶液中回收金属,虽然能耗高但是回收效果好。多种尾液可以集中处理,增大单批处理量,降低回收成本。

4.2 废液达标排放处理

经贵金属回收后的废液要进行无害化处理才能排放。中和法是最基本的处理方法,用碱液调节废液 pH 值到中性范围,使重金属离子形成氢氧化物沉淀。化学沉淀法根据不同的污染物选择不同的沉淀剂,达到去除目标污染物的目的^[3]。生化处理技术对有机物废液效果较好,用微生物的代谢作用将有机物降解。深度处理可以采用膜分离、高级氧化等技术,使出水水质更优。建立废液处理设施的运行管理制度,定时检测排放水质,保证各项指标达到环保标准要求。

4.3 固废资源化利用

精炼过程产生的各种渣料含有一定的贵金属,属于有价值的二次资源。溶解渣经过破碎、磨细之后可以重新溶解,提取出残留的金银。净化渣根据主要成分确

定利用方向,含铜渣送铜冶炼厂处理,含铁渣可用于炼钢原料。滤布和活性炭等含金银的物料应该集中焙烧,回收其中的贵金属。建立固废台账制度,对各种固废的产生量、成分、去向做详细的记录,实现固废全过程的管理。同专业的回收企业合作,对暂时不能自行处理的固废委托给专业机构进行处理,防止贵金属流失以及环境危害。

5 过程控制与工艺优化集成体系

5.1 智能监控与过程控制系统的构建

创建智能监控系统,给工艺优化提供重要的技术支持。采用在重要工序上安装在线分析仪表、传感器网络的办法,对温度、压力、pH值、离子浓度等各种主要参数进行实时采集,形成全面数据采集监测系统。创建以数据为基础的过程可视化平台,从而达到对生产运行进行动态监督的目的。建立开发工艺参数优化模型,依据实际情况进行实时变动而调整操作条件。设置智能预警,参数超限时报警并给出调整建议。对整个过程物料进行平衡跟踪,随时掌握贵金属的去向。创建数字化控制平台,实现原料到产品的全过程精细管理,给工艺优化提供数据支持和决策依据。

5.2 工艺参数优化与协同控制策略

工艺优化要创建起多参数协同控制策略。用实验设计和响应面分析来研究各个工序关键参数之间的交互作用,找到最佳的操作窗口。建立酸浓度、温度、固液比等各个因素间的影响关系模型,考虑效率和经济性。净化阶段制定出动态工艺组合方案,根据杂质的性质来改变处理流程。在沉淀环节创建依靠实时监测的还原剂精确投加控制,改善效率并缩减耗费。创建工序之间参数联动机制,保证上下工序之间可以协调运行。开发工艺专家系统,把操作经验、规范融合起来,给调整决策赋予智能支撑^[4]。创建持续改进机制,定时对工艺参数设定进行评价并加以改善。

5.3 质量控制与工艺验证体系的完善

创建完备的质量控制体系,这是保证工艺改进效果的关键所在。制订包含原料、中间品和成品的全过程质量标准及检测规程。健全样品采集与分析制度,保证各个环节的质量受控。开发快速分析方法,提高检测的时效性,可以对生产工艺实施实时调控。利用应用统计过程控制工具对工艺稳定性和能力进行控制。建立系统的工艺验证程序,即小试、中试和生产验证,确定验证指标及方案。制定工艺变更管理程序,保证优化方案有条不紊地开展。定时对工艺执行审计并做回顾分析,保证

不断改进的落实。建立质量管理信息系统,实现质量数据的数字化管理以及全过程追溯,给工艺优化提供可靠的品质保证和改进依据。

6 结论与展望

6.1 结论

湿法冶金金银精炼工艺优化属于系统工程,它包含溶解、净化、沉淀以及回收等诸多技术环节的综合改善。改善溶解体系的反应条件及工艺参数,可以提高反应效率,减少药剂消耗;净化分离工序的精细控制,可以去除杂质元素,保证产品的纯度;加强还原沉淀过程的精确控制,有利于提高贵金属的回收率,减少金属的损失;完善尾液资源化回收和环保处理体系,可以达到资源循环和环境保护的双重目的。系统化的工艺优化可以提高产品质量,也可以提高资源利用率,进而改善生产过程的经济效益和环境友好性。

6.2 展望

今后湿法冶金工艺要朝着智能化和绿色化发展。利用在线监测系统、自动化控制技术、人工智能算法来达到对工艺参数的实时优化和精确控制。研发新的环保药剂以及高效的分离材料,从而提高杂质的去除效率以及贵金属的选择性回收。加大对低品位资源高效提取技术、废水深度净化技术以及有价金属循环利用技术的研究力度。推进全流程清洁生产、循环经济模式创新,创建起资源节约、环境友好的现代湿法冶金技术体系,给行业可持续发展提供科技支撑。

参考文献

- [1]曹顺. 基于冶金工艺的高性能材料制备分析[J]. 中国金属通报,2025,(09):26-28.
- [2]彭贵熊,王江飞,王震,等. 优化湿法冶金工艺回收电子废物中硫酸盐[J]. 冶金与材料,2024,44(10):77-79.
- [3]刘春艳,贾景谱. 基于深度学习的湿法冶金工艺参数预测与优化模型的设计及数值仿真研究[J]. 湿法冶金,2025,44(02):264-270.
- [4]王明双. 高银合质金快速提取金的工艺研究[J]. 矿产综合利用,2021,(04):150-153.

作者简介:姜学利,出生年月:1989年3月,性别:男,民族:汉,籍贯:山东省烟台市,学历:大学本科,职称:助理工程师,研究方向:湿法冶金、银精炼或者湿法冶金安全生产方面。