

解吸电解设备的优化及应用研究

苗腾飞

(内蒙古太平矿业有限公司)

摘要: 氰化浸出是黄金生产中的代表性工艺,其中解吸电解环节至关重要,直接关系到黄金产量。内蒙古太平矿业有限公司采用破碎—堆浸—活性炭吸附—解吸电解—冶炼的选矿工艺,在生产中,解吸电解设备常因粉炭过多导致堵塞,影响生产效率和黄金产量。探讨了内蒙古太平矿业有限公司在黄金生产过程中解吸电解设备的应用及其面临的挑战。通过深入分析温度、压力、氢氧化钠用量等工艺参数对解吸电解效果的影响,结合设备运行中出现的实际问题,提出了一系列针对性的优化措施,包括调整解吸液用量、降低循环流量、扩大炭棒网开孔面积、增加过滤器过滤面积和目数等,有效解决了设备堵塞、生产效率受限等问题。研究结果可为同类型设备的优化提供借鉴。

关键词: 解吸电解;氢氧化钠;过滤器;优化措施;粉炭;堵塞

中图分类号:TF111.5

文献标志码:A

文章编号:1001-1277(2025)02-0030-04

doi:10.11792/hj20250205

引言

内蒙古太平矿业有限公司位于内蒙古巴彦淖尔市乌拉特中旗新忽热苏木东部11 km处,是中国西北地区规模最大的低品位矿石露天开采企业之一,采用破碎—堆浸—活性炭吸附—解吸电解—冶炼的选矿工艺。其中,解吸电解环节设有6个系列,载金炭通过压力输送至解吸柱内,利用解吸液循环泵将配制好的解吸液从解吸液储槽中输送到解吸柱底部,再从顶部排出,解吸液加热后,通过过滤器去除其中的粉炭和细泥,然后返回电解槽进行循环,解吸系统通过持续循环逐渐升温,旨在预热解吸系统并提升解吸液中金浓度;当解吸系统的温度、压力和贵液品位等参数达到标准后,启动电解过程,金离子将沉积于电解槽的阴极,通过持续循环,直至载金炭脱金完全、电解贫液达到预定标准,解吸过程结束;完成一柱载金炭解吸后,电解贫液经冷却器泄压后排放至解吸液储液槽,随后添加解吸剂氢氧化钠进行配液,作为下一柱解吸过程的解吸液继续使用。在实际生产过程中,解吸柱的排水网及管道因粉炭的存在而频繁堵塞,严重妨碍了生产的正常进行^[1-3]。为解决上述问题,内蒙古太平矿业有限公司在解吸柱与电解槽之间增设了一个更大且网目更细的过滤装置,以确保粉炭被有效截留于过滤器中,有效解决了设备堵塞问题,提升了生产效率和金泥品质,同时降低了生产成本。

1 工程背景

内蒙古太平矿业有限公司采用的解吸电解设备由北京市金长城机械制造厂生产,是一种高效节能的高温高压无氰解吸电解设备^[4]。该设备具备每批次处理2 500 kg载金炭的能力。其工作原理为基于氢氧化钠溶液,在150 °C的高温条件下,实现解吸柱内载金炭中金离子的解吸,使之从载金炭中释放并转移到解吸液中。随后,解吸液中的金离子在电解槽内电解,获得电子还原成金原子,并在电解槽的阴极聚集形成金粉颗粒(即金泥)^[5-6]。该过程实现了从载金炭中提取金的目的,设备流程图见图1。

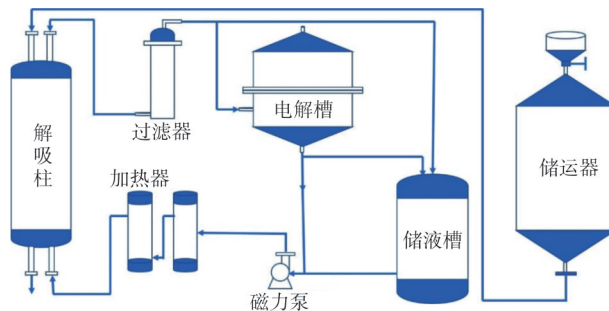


图1 解吸电解设备流程图

Fig. 1 Equipment flowchart for desorption electrolysis

内蒙古太平矿业有限公司采用的解吸电解工艺设备包括储液槽、磁力泵、加热器、解吸柱、过滤器、电解槽等^[2]。其中,解吸柱的上部和下部共安装了4个炭棒网。炭棒网制作方法为:在直径为50 mm的不锈

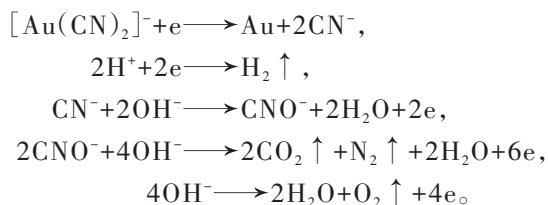
钢管外表面,按照10~15 mm的间距钻孔,孔径为10 mm,用16目筛网紧密包裹,形成炭棒网。其功能在于,将粒径小于16目的不合格活性炭排除,确保解吸液循环系统的畅通无阻,避免频繁堵塞,从而保障工艺指标的稳定。解吸柱上部炭棒网的出口处,安装了一个尺寸为260 mm×900 mm的过滤器,该过滤器是解吸电解系统的核心组件之一,主要作用是净化解吸液。在过滤器内部,同样设置了一层筛网,在未改造前筛网目数为16目。其目的在于防止粒径大于16目的合格活性炭进入工艺循环,确保解吸液的纯净度。

经过多年运行实践,解吸电解设备整体运行稳定,未出现重大故障。然而,在生产过程中,由于活性炭在使用过程中产生大量粉炭,导致设备运行效率受限,生产过程中出现诸多问题。因此,必须针对解吸电解工艺实际运行情况,对相关问题进行完善和解决。

2 解吸电解工艺

解吸过程在氰化浸出工艺中扮演着关键角色^[3],解吸过程又称脱吸过程,即已吸收或吸附的物质从吸收剂或吸附剂中释放的过程,与活性炭吸附工艺中的吸附过程相对立。当载金炭表面的金与解吸液中的金达到动态平衡状态时,向解吸液中引入氢氧根离子,由于这些离子易被载金炭吸附,导致载金炭表面吸附金的平衡状态被打破, $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$ 持续被置换释放,从而完成解吸过程^[7-8]。

电解质(解吸液)中的离子通常处于无序运动状态,当直流电接通后,离子将进行定向移动。阳离子向阴极迁移,在阴极获得电子并被还原;阴离子则向阳极移动,在阳极失去电子并被氧化。这一过程被称为电解^[9]。解吸电解过程化学反应方程式如下:



3 解吸电解效果影响因素

3.1 温度与压力

1)温度是影响金从载金炭上解吸的关键动力学参数。随着温度的升高,活性炭对金的吸附平衡容量常数显著下降,从而导致金的解吸过程更为彻底。吸附量与温度之间的关系见图2。温度的提升不仅增强了电解液的导电性,还加速了金氰络合离子的扩散速率,并降低了氧在电解液中的溶解度,减少了竞争电流反应的发生。因此,温度的增加有助于加快金的沉积速率,并提高金的沉积效率^[10]。

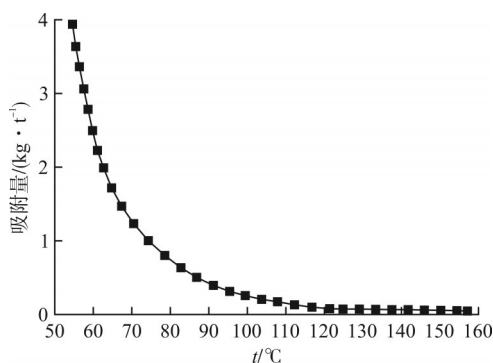


图2 温度对吸附量的影响效果

Fig. 2 Effect of temperature on adsorption capacity

2)高压对解吸电解没有显著影响,解吸电解过程中采用高压主要是为了获得较高的温度。

3.2 氢氧化钠用量

随着氢氧化钠用量的增加,溶液中的 OH^- 浓度相应提高,可更有效置换吸附态的金离子,从而促进金的解吸。然而,过高的碱浓度会加剧设备腐蚀并增加操作难度,因此,通常将氢氧化钠用量维持在5%。在电解液中,氢氧化钠的存在能够提升电解液的电导率,进而增强电解过程效率,尤其是在金氰络合离子浓度较低的条件。此外,电解液中 OH^- 浓度提升,金沉积速率加快,进而提高金的沉积效率^[11-13]。

4 解吸电解设备存在的问题及解决措施

4.1 存在问题

1)解吸柱上、下炭棒网频繁被粉炭堵塞,导致不锈钢网需频繁更换;更换过程中需停机、降温、泄压,不仅影响解吸电解指标,而且增加了电能、材料、人力等成本。

2)粉炭泥沉积、黏附在加热器内壁、加热管、管道内壁等部位,导致管道频繁堵塞,设备运行指标不稳定;每次提取金泥时都需要清理加热器、管道,清理难度大,不仅会对设备造成损害,而且增加了工人的劳动强度。

3)维修过程中会产生含金物料,需要调度、保安人员共同监护;频繁维修不利于含金物料的管理。

4)电解出的金泥品位低,一般在16%左右,金泥中含有大量炭泥,影响冶炼质量,合质金中金品位平均为88%。

5)由于解吸电解设备运行压力和温度偏高,若降温和泄压不彻底,会增加岗位操作工的职业健康安全风险。

6)加热管外壁黏附1~2 cm厚度的金泥和粉炭,影响加热效果;解吸过程中温度提升慢,造成能源浪费。

4.2 原因分析

1)在解吸电解过程中,粒径小于16目的粉炭含

量较高^[14],原因如下:①在常规的炭串联及输送过程中,由于高压水的作用,炭粒与炭粒之间、炭粒与管道壁之间、炭粒与水之间发生摩擦,导致炭粒磨损,从而产生一定量的粉炭;②在高温高压解吸电解工艺中,活性炭解吸是分批次进行的,每一批次均需经历装柱、解吸、放柱、酸洗、高温再生等工序,在放柱退液及冷却活性炭过程中,由于突然泄压,炭粒表面发生破裂,同时炭粒内部吸附的水分迅速气化,导致炭粒表面部分被剥离,形成粉炭或细粒活性炭;③在活性炭再生过程中,温度可达到600℃~700℃,再生后采用冷水迅速冷却,在冷热交换过程中,活性炭发生裂解,裂解过程中产生粉炭或细粒活性炭;④在吸附工艺中,炭粒在清水中通过水流压力悬浮吸附,炭粒间的摩擦作用产生一定量的粉炭;⑤活性炭本身质量问题,也会产生一定量的粉炭。

2)在每批次活性炭解吸电解过程结束后,解吸液需返回至储液罐以实现循环利用。在返回过程中,由于缺乏过滤装置,解吸过程中产生的粒径小于16目的粉炭会通过炭棒网,大部分积聚于储液罐内。随着多次解吸操作的累积,储液罐内的粉炭逐渐增多,解吸液的浑浊度增加。

3)在解吸电解过程中,由于过滤器的过滤效率欠佳,无法有效过滤和净化解吸液,导致解吸液循环过程中解吸柱上、下炭棒网受到粉炭和结垢的双重影响,逐渐被堵塞。这进一步导致了流量的减少和压力的升高,使得解吸过程中需要中断设备进行维护,显著降低了整个解吸电解过程的效率^[15]。

4)粉炭具有较强的黏附性,其黏附于阴极板表面,导致电解能力减弱和电解效率降低。

5)加热管通电后产生的电磁场效应,以及粉炭作为半导体材料的特性,导致粉炭在加热管表面的附着速率加快,随着时间的推移,粉炭层厚度逐渐增加。

6)解吸液用量维持在6%~7%,显著高于5%的标准。尽管该用量对解吸效果具有积极影响,但与粉炭混合后,溶液黏度增加,导致设备及管道内壁出现挂壁现象。

7)在载金炭解吸过程中,并未采取酸洗预处理步骤,而是选择在解吸后进行酸洗处理(鉴于在酸洗过程中使用盐酸,为避免其与氰化钠反应生成具有剧毒且易挥发的氢氰酸,故采取此措施)。因此,载金炭出现了严重的结钙现象,结钙量达到3%~6%(酸洗后降至1%~2%)。这一现象不仅对解吸效果产生了负面影响,而且在解吸液的循环过程中,导致了严重结钙问题,成为炭棒网堵塞的主要原因之一。

4.3 解决措施

为应对上述问题,本研究通过对解吸电解工艺设

备运行状态的深入分析,提出从解吸液和过滤器2方面着手,以实现过滤器的过滤和净化功能。

1)调整解吸液用量,将其从6%~7%降至约5%。解吸液用量的降低显著减少了粉炭的附着力及挂壁现象,实际应用效果显著。

2)将解吸液循环流量从8~10 m³/h降至约6.5 m³/h,从而降低电解槽内解吸液的流量和流速。一方面,为粉炭提供了沉淀和沉降的时间;另一方面,降低了金属离子浓度,确保金属离子能被彻底电解,进而提升电解效率。

3)扩大上、下炭棒网的开孔面积,将炭棒上孔直径由10 mm调整为20 mm,孔距缩短至6 mm,面积增加1倍,提高了透水性和速率,实际使用效果良好。

4)根据储液罐的容积,将储液罐的沉淀高度从200 cm提升至400 cm,并将清洗沉淀层的管路从200 cm降至储液罐最低处。每周更换一次解吸液,以清除储液罐内沉淀的粉炭。

5)增加过滤器的过滤网目数和过滤面积,过滤器剖面图见图3。新过滤器解吸量为每批次5 t(原设备为每批次2.5 t),尺寸为400 mm×900 mm,过滤面积是原设备的2.2倍,过滤网目数从16目提升至100目。尽管解吸液仍存在浑浊现象,但相较于以往已显著改善,炭棒网堵塞现象减少了80%。

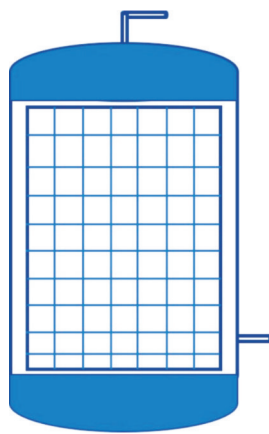


图3 过滤器剖面图

Fig. 3 Cross-section of the filter

6)在退液管路中串联一个与解吸电解环节中规格型号一致、筛网目数相同的过滤器。鉴于退液环节不具备高压特性,不属于压力容器范畴,因此自制过滤器,具体见图4。尽管筛网目数的提升会导致过滤器筛网偶尔出现堵塞现象,但这为正常现象。其目的在于确保过滤器筛网而非炭棒网发生堵塞,从而在维修时仅需更换过滤器筛网,此举显著节约了人力与时间成本。后续在过滤器的出口侧增设反吹风管,对于压力升高的批次,在解吸完成后利用风管对过滤器筛网进行约3 min的反吹,以清除黏附于筛网表面的粉

炭,使其落入过滤器底部空间储存。在提取金泥时进行清理,直至流量和压力完全无法满足指标要求时,再自行拆卸过滤器及管路。

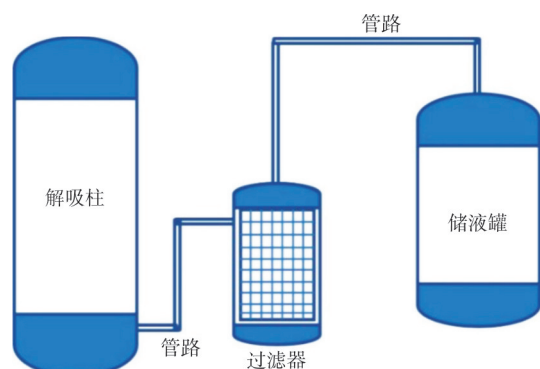


图4 自制过滤器

Fig. 4 Self-made filter

5 应用效果

5.1 技术指标

经过净化处理的解吸液,其工艺管路堵塞显著降低,从而确保了工艺设备的稳定运行。通过定期(如在金泥提取期间)对过滤器和管路进行清理,解吸效率和相关指标得到了显著提升。贫炭品位从原先的约60 g/t降低至约40 g/t,下降了约25%。同时,金泥品位及合质金质量均有所提高。根据化验数据,金泥平均品位从之前的16%提升至约20%,而合质金中金平均品位则从88%提升至约92%,这一改进显著提升了电解效率和产品质量。

5.2 经济效益

随着解吸液浓度的降低,氢氧化钠用量亦相应减少。每个系列的首批次氢氧化钠用量从原先的12袋(每袋25 kg)减至10袋,而每月每个系列的换液次数亦从4次减至2次。由此,每月换液过程中的氢氧化钠用量可节约700 kg(相当于28袋),6个系列总计节约4 200 kg。在解吸周期方面,每16 h完成1批次解吸,每月平均解吸42批次,除首批次外,其余批次的氢氧化钠用量从6袋减少至5袋。综合计算,6个系列每月可节约氢氧化钠用量252袋,以每吨氢氧化钠成本4 000元计算,年节约成本可达504 000元。此外,粉炭被有效拦截于过滤器及储液罐内,避免了其循环,从而可直接回收粉炭。据估算,每年可拦截约5 t粉炭,其平均金品位为500 g/t,若金价按400元/g计算,则可增加效益约100万元。设备运行稳定性提升,加热管、电动机等设备的电能损耗降低约3%。每台加热器功率为126 kW,每个系列配置2台,共计12台。每批次运行16 h,每月每个系列42批次,电费按0.5元/(kW·h)计算,年节约电费约

11.43万元。通过减少清理管道和过滤器的次数,节约了大量人力资源,机修人员减少4人,年节约工资约40万元。加热管外壁黏附的金泥和粉炭厚度降低至0.3~0.8 cm,解吸过程中温度提升速度加快,与以往相比,加热至150℃的时间缩短了10 min。金泥和粉炭的减少缩短了酸洗时间,既减轻了冶炼酸洗过程的工作量,也减少了硝酸用量。

5.3 社会效益

经过改造,解吸电解过程的运行压力保持稳定,显著降低了维护频率,同时减少了职业健康安全方面的风险。此外,该措施有效防止了含金物料的流失,确保了物料的安全管理。设备运行的稳定性得到了提升,从而便于操作管理。

6 结 语

本文探讨了内蒙古太平矿业有限公司在氰化浸出生产黄金过程中解吸电解设备的应用及其面临的挑战。通过深入分析温度、压力、氢氧化钠用量等工艺参数对解吸电解效果的影响,结合设备运行中出现的实际问题,提出了一系列针对性的优化措施,包括调整解吸液浓度、降低循环流量、扩大炭棒网开孔面积、增加过滤器过滤面积和目数等,有效解决了设备堵塞、生产效率受限等问题。实践证明,改造后的解吸电解设备运行稳定,工艺指标显著提升,不仅提高了金泥品质和合质金品位,还显著降低了生产成本,实现了良好的经济效益和社会效益。同时,该优化方案可为同行业其他企业提供有益的参考和借鉴。

〔参 考 文 献〕

- [1] 赵鲁国.载金炭解吸电解工艺优化及生产实践[J].黄金, 2024, 45(5): 96-98.
- [2] 胡诗彤.炭浆提金工艺粉炭的控制与高效回收[J].现代矿业, 2022, 38(10): 193-195, 198.
- [3] 余忠智,尚朝表,蒋照宽,等.载金炭解吸电解系统结垢物的综合回收试验[J].云南冶金, 2021, 50(1): 40-43.
- [4] 和少龙,马强,梁佑贵,等.高银铜铁钙载金炭高温高压解吸电解试验与实践[J].有色金属(冶炼部分), 2020(5): 66-70.
- [5] 王祥,冯玉怀,李海涛,等.载金炭常压解吸化学提金工艺及其应用[J].黄金, 2009, 30(11): 43-45.
- [6] 朱峰.载金炭热压解吸工艺中活性炭性能的研究[D].昆明:昆明理工大学, 2014.
- [7] 吴振祥,罗中兴.载金炭解吸和电积技术的发展[J].中国矿山工程, 2011, 40(6): 37-40.
- [8] 周清涛.高温高压无氰解吸电解工艺在夏家店金矿的应用及改进[J].黄金, 2011, 32(8): 45-48.
- [9] 高大明.载金炭加压无氰解吸同温电解设备的开发[J].黄金, 2001, 22(1): 39-41.
- [10] 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.

(下转第39页)