

可视化定量加料系统在镍提取沉淀工艺中的应用研究

徐奕臻

浙江升阳再生资源科技有限公司 321075

【摘要】本研究针对镍提取沉淀工艺中溶剂添加繁琐、精度低的问题，设计开发可视化定量加料系统，应用于废酸废物镍产品提取装置。该系统集成定量机构，实现溶剂精确控制与可视化监测，由撑板、沉淀罐等及含排液管、定量罐等部件的定量机构组成。实验表明，其提高溶剂添加准确性与操作便捷性，提升镍提取效率与产品质量，有重要工业应用价值。

【关键词】镍提取；沉淀工艺；定量加料；可视化；废酸处理；资源回收

Study on the application of visual quantitative feeding system in nickel extraction precipitation process

Xu Yizhen

Zhejiang Shengyang Renewable Resources Technology Co., LTD. 321075

【Abstract】This study addresses the issues of complex solvent addition and low precision in nickel extraction precipitation processes by designing and developing a visual quantitative feeding system for waste acid and waste nickel product extraction equipment. The system integrates a quantitative mechanism to achieve precise control and visual monitoring of solvents, consisting of components such as support plates, settling tanks, discharge pipes, and quantitative tanks. Experiments show that this system improves the accuracy and convenience of solvent addition, enhances nickel extraction efficiency and product quality, and has significant industrial application value.

【Key words】nickel extraction; precipitation process; quantitative feeding; visualization; waste acid treatment; resource recovery

引言

随着工业发展，镍资源需求增加，从废酸废物中回收镍成为资源循环利用的重要途径。镍是重要战略金属，应用广泛，但原生镍矿渐趋枯竭，从工业废料中回收镍可作重要补充。在镍湿法冶金工艺中，沉淀法是常用分离纯化手段，然而传统沉淀工艺在溶剂添加环节存在缺陷，操作繁琐且难精确控制，影响沉淀反应效率与产品质量。本研究设计开发集成可视化定量加料系统的镍提取装置，为镍资源高效回收提供新方案。

一、可视化定量加料系统的设计与结构

本研究设计的可视化定量加料系统，是针对镍提取沉淀工艺溶剂添加环节优化的创新装置。它基于模块化设计理念，整合传统分散操作流程，提升工艺操作的便捷性与精确性，核心设计思想是通过可视化监测与机械定量结合，实现溶剂精确控制和实时观察。系统主体结构由撑板、沉淀罐、焙烧箱、浸出罐和定量机构组成。撑板为支撑平台，采用高强度不锈钢，承重与耐腐蚀性好。沉淀罐位于撑板中央，50L圆柱形，底部锥形便于收集沉淀物，双层设计（内层耐酸搪瓷、外层不锈钢）加保温层维持反应温度，罐顶有搅拌装置和 pH 监测探头。焙烧箱和浸出罐分别固定于撑板顶部左右两侧。焙烧箱电加热，温度 200 – 600℃，用于原料预处

理；浸出罐 30L，配备酸液循环系统和过滤装置，溶解焙烧后原料中的镍，二者与沉淀罐通过管道连接，形成完整镍提取工艺流程。定量机构是创新核心，位于沉淀罐顶部，由排液管、定量罐和转板组成。排液管耐腐蚀聚四氟乙烯，内径 25mm，电磁阀控制开闭；定量罐透明，5L，镶嵌高硼硅玻璃观察窗，有精确刻度槽（最小 50mL），可精确量取溶剂；转板由步进电机驱动，精确控制旋转角度，实现不同体积溶剂定量排放。系统工作原理：操作人员通过刻度槽确定溶剂量，在控制面板设定转板旋转角度，启动后定量罐旋转至预定位置，将准确体积溶剂导入沉淀罐，一步完成精确量取和添加，玻璃观察窗可实时监控添加情况，确保工艺可靠与安全。

二、系统在镍提取沉淀工艺中的应用

本研究开发的可视化定量加料系统在镍提取沉淀工艺中的应用效果显著，主要体现在操作流程简化、工艺控制精度提升和产品质量改善三个方面。在实际应用中，该系统展现出了明显的技术优势和经济效益。

在操作流程方面，传统镍提取沉淀工艺需要单独称量沉淀剂，然后转移至沉淀罐，过程繁琐且容易引入误差。采用本系统后，操作人员可直接通过定量罐的刻度观察和设定所需溶剂量，通过简单的控制面板操作即可完成精确添加，大大简化了工作流程。实际测试表明，单次溶剂添加操作时间

从原来的 8-10 分钟缩短至 2-3 分钟,效率提高了约 70%。同时,由于减少了物料的转移环节,也降低了交叉污染和操作失误的风险。

在工艺控制精度方面,系统的定量机构实现了 $\pm 2\%$ 的体积控制精度,远高于传统称量方法的 $\pm 5\%$ 精度。这对于镍沉淀反应尤为重要,因为沉淀剂的用量直接影响沉淀物的纯度和收率。对比实验显示,使用本系统后,镍沉淀物的平均纯度从 98.2% 提高到 99.1%,收率从 95.6% 提升至 97.8%。这些指标的改善主要归功于沉淀剂用量的精确控制,使化学反应更加接近理论配比。

在产品质量方面,由于沉淀条件的优化,所得镍产品的物理性能也得到了改善。通过扫描电镜观察发现,使用本系统制备的镍沉淀物颗粒更加均匀,平均粒径分布范围从原来的 5-25 μm 缩小至 8-15 μm 。这种更均匀的颗粒分布有利于后续的过滤、洗涤和干燥操作,最终产品的松装密度从 1.8g/cm³ 提高到 2.1g/cm³,减少了包装和运输成本。

系统在废酸处理中的应用也表现出色。针对电镀行业产生的含镍废酸液(镍浓度 8-12g/L, pH<1),使用本系统控制 NaOH 溶液的添加进行中和沉淀,可实现镍回收率>98%,出水镍浓度<0.1mg/L,达到国家排放标准。与传统方法相比,药剂消耗量减少了 15%,污泥产生量降低了 20%,既节约了成本又减轻了环境负担。

系统的稳定性经过了长期运行验证。在连续 3 个月的生产测试中,设备运行平稳,未出现明显的机械故障或性能衰减。定量机构的重复精度保持在 $\pm 2\%$ 以内,玻璃观察窗的透明度无明显下降,刻度标识清晰可读。这些特点使得系统特别适合工业化连续生产环境。

值得一提的是,系统的操作界面设计人性化,即使是没有专业背景的操作人员经过简单培训也能熟练使用。控制系统具有数据记录功能,可以存储每次操作的参数和结果,为工艺优化和质量追溯提供了便利。这些特点使得系统不仅提高了生产效率,还提升了生产管理的科学化水平。

三、系统的优势与创新点

本研究开发的可视化定量加料系统相较于传统镍提取沉淀工艺设备,具有多方面的显著优势和技术创新。这些特点不仅解决了现有技术中的关键问题,还为镍提取工艺的优化提供了新的思路和方法。

系统的核心优势体现在其精确的定量控制能力上。传统方法依赖人工称量和转移溶剂,不仅效率低下,而且容易引入误差。本系统通过精密的转板机构和刻度设计,实现了 $\pm 2\%$ 的体积控制精度,确保了化学反应的最佳条件。这种精确控制对于镍沉淀反应尤为重要,因为沉淀剂的用量直接影响镍的回收率和产品纯度。实际应用数据表明,系统的定量精度可使镍回收率提高 2-3 个百分点,同时减少药剂消耗 10-15%,经济效益显著。

可视化设计是系统的另一大创新点。传统设备往往将计量和反应过程分离,操作人员无法直观了解溶剂添加情况。本系统通过在定量罐上镶嵌玻璃观察窗并设置清晰刻度,实现了添加过程的可视化监控。这种设计不仅提高了操作的直观性和便捷性,还便于及时发现和解决可能出现的问题。例如,操作人员可以直观观察溶剂的流动情况和液面位置,确保添加过程的准确性和安全性。实际使用反馈显示,这种可视化设计使操作失误率降低了 80% 以上。

系统的集成化设计也是其重要优势。传统工艺中,焙烧、浸出和沉淀等工序往往分散在不同设备中进行,物料转移频繁,效率低下。本系统将关键工艺单元集成在一个平台上,通过优化布局和管道连接,实现了工艺流程的紧凑化和连续化。这种设计减少了物料转移环节,降低了交叉污染风险,同时节省了约 30% 的占地面积。对于工厂空间有限的应用场景,这一特点尤为重要。

系统的操作简便性也是其突出优点。传统方法需要操作人员具备较高的专业技能,而本系统通过人性化的控制界面和自动化设计,大大降低了操作难度。实际应用表明,新员工只需 2-3 天的培训即可独立操作系统,而传统方法通常需要 1-2 周的培训时间。这种易用性特点使系统特别适合员工流动性较大的生产环境。

在维护保养方面,系统也表现出明显优势。模块化设计使得关键部件可以单独维修或更换,降低了维护成本。定量机构采用耐腐蚀材料制造,使用寿命长,维护间隔可达 6 个月以上。而传统设备往往需要每月进行校准和维护。系统的长寿命和低维护需求显著降低了总体运营成本。

系统的环境友好性也不容忽视。精确的定量控制减少了药剂的过量使用,从而降低了废水处理负担。数据显示,使用本系统后,每吨镍产品的废水产生量减少了 15-20%,重金属排放量降低了 25%,环境效益显著。这对于日益严格的环保要求下的生产企业尤为重要。

系统的创新性还体现在其灵活性和可扩展性上。通过调整定量罐的容积和刻度范围,系统可以适应不同规模 and 要求的镍提取工艺。控制系统的模块化设计也便于与工厂现有的自动化系统集成,实现更高水平的生产管理。这些特点使系统不仅适用于当前的工艺需求,还能适应未来可能的技术升级和产能扩展。

四、应用案例分析

为验证可视化定量加料系统在实际生产环境中的性能表现,本研究选取了三个典型的应用案例进行详细分析。这些案例涵盖了不同规模、不同原料来源的镍提取场景,充分展示了系统的适应性和有效性。

第一个案例是某大型电镀厂的废酸处理线改造项目。该厂每月处理约 500 吨含镍废酸,传统工艺使用人工称量添加 NaOH 溶液进行中和沉淀。引入本系统后,操作人员数量从

原来的每班3人减少到1人,药剂消耗降低了18%,镍回收率从96.2%提高到98.5%。特别值得一提的是,系统的精确控制使得最终出水的镍浓度稳定在0.08mg/L以下,远低于国家1.0mg/L的排放标准。厂方测算显示,系统投资回收期仅为8个月,经济效益显著。

第二个案例是一家专业的镍回收企业,处理各种含镍工业废料。该企业面临的主要问题是原料成分波动大,传统固定配比的加药方式难以获得稳定的产品质量。采用本系统后,操作人员可以根据原料分析结果灵活调整沉淀剂用量,实现了“动态配方”控制。生产数据显示,产品镍含量的标准差从原来的0.45%降低到0.15%,客户投诉率下降了90%。同时,由于系统的高度自动化,企业将生产班次从三班倒调整为两班,大幅降低了人力成本。

第三个案例是某冶炼厂的镍浸出液净化工序。该工序要求严格控制沉淀pH值在8.5-9.0的狭窄范围内,传统方法难以精确控制。使用本系统后,通过定量机构的精确添加和pH实时监测的闭环控制,pH值波动范围缩小到 ± 0.1 ,显著提高了氢氧化镍沉淀的质量。产品中的钴杂质含量从0.15%降低到0.05%,达到了电池级原料的要求,产品售价提高了20%。这个案例特别展示了系统在高品质镍产品生产中的价值。

通过对这三个案例的分析,可以发现可视化定量加料系统在不同应用场景下都表现出显著优势。无论是提高回收率、降低生产成本,还是提升产品质量,系统都展现出了卓越的性能。特别值得注意的是,系统在应对原料波动和工艺条件变化时表现出的灵活性,这对于成分复杂的工业废料处理尤为重要。

案例中还反映出一些意外的收获。例如,多家用户报告称,系统的可视化特点使得工艺过程更加“透明”,增强了操作人员的信心和理解,间接提高了工作积极性和责任心。此外,系统的数据记录功能为生产工艺的持续优化提供了宝贵的数据基础,这是传统方法难以实现的。

当然,在系统应用过程中也遇到了一些挑战。例如,有用户反映在处理高粘度溶剂时,定量罐的排放速度会受到影响。针对这个问题,研究团队开发了加热保温附件,通过适当提高温度降低粘度,有效解决了这一操作难题。这类问题

的发现和解决过程,也为系统的进一步完善提供了方向。

五、结论

本研究设计开发的可视化定量加料系统为镍提取沉淀工艺提供了一种高效、精确、可靠的解决方案。通过系统的结构设计创新和应用实践验证,可以得出以下主要结论:

可视化定量加料系统成功解决了传统镍提取工艺中溶剂添加过程繁琐、精度不足的关键问题。系统的定量机构设计实现了 $\pm 2\%$ 的体积控制精度,显著提高了沉淀反应的效率和产品质量。实际应用数据显示,镍回收率可提高2-3个百分点,产品纯度达到99%以上,同时药剂消耗减少10-15%,经济效益显著。

系统的可视化设计带来了工艺操作的革命性改进。通过玻璃观察窗和精确刻度,操作人员可以直观监控溶剂添加过程,大大降低了操作难度和失误率。这种设计不仅提高了生产效率,还增强了工艺过程的可控性和安全性,为生产管理提供了新的手段。

模块化集成设计使系统具有广泛的适应性和灵活性。应用案例表明,系统能够适应不同规模、不同原料来源的镍提取需求,特别是在处理成分复杂的工业废料时表现出明显优势。系统的可扩展性也为未来工艺升级预留了空间。

系统的环境效益同样突出。精确的定量控制减少了药剂过量使用,降低了废水处理负担。实际运行数据显示,每吨镍产品的废水产生量减少15-20%,重金属排放量降低25%,符合日益严格的环保要求。

从产业发展角度看,本研究的成果为镍资源回收行业提供了一种可靠的技术装备选择。系统的高效、精确特点特别适合我国工业废料成分复杂、环保要求高的应用场景,对推动资源循环利用和清洁生产具有积极意义。

总之,本研究开发的可视化定量加料系统通过技术创新提取沉淀工艺中的,提高了生产效率,降低了生产成本,改善了产品质量,具有重要的工程推广前景理念和方法也可为其他类似工艺的优化提供参考。

参考文献

- [1]张超,钟宏,王帅. 镍、钴分离与回收技术研究进展[J]. 铜业工程, 2011(5): 29-32. DOI: 10.3969/j.issn.1009-3842.2011.05.009.
- [2]王蕾. 工业智能监控软件中的可视化技术应用与研究[D]. 湖北: 武汉理工大学, 2005. DOI: 10.7666/d.y812750.
- [3]袁明杰. 层状双金属氢氧化物的制备及其对电镀含镍废水中典型污染物的回收研究[D]. 重庆工商大学, 2023.
- [4]戎馨亚. 化学镀镍废液的处理及资源回收利用[D]. 江苏: 苏州大学, 2005. DOI: 10.7666/d.y956797.
- [5]饶富, 马恩, 郑晓洪, 等. 硫化镍矿中镍提取技术研究进展[J]. 化工学报, 2021, 72(1): 495-507. DOI: 10.11949/0438-1157.20201091.