

# 尾砂处理工艺水平衡系统自动化改造实践

黎 钊

安徽开发矿业有限公司 安徽省六安市 237426

**摘要：**本文聚焦尾砂处理工艺水平衡系统自动化改造实践。首先概述尾砂特性、现行处理工艺流程及关键参数对水耗的影响。接着阐述水平衡系统原理与设计，包括基本概念、系统组成及关键控制点。随后提出自动化改造方案，涵盖硬件改造、软件平台搭建、控制策略制定及系统集成。通过实践应用，定量计算节水率、节能率，评估环境效益与经济效益。结果表明，自动化改造显著提升了尾砂处理工艺水平衡系统的效率，实现了节能减排与经济效益的双赢，为矿山智能化发展提供了参考。

**关键词：**尾砂处理工艺；水平衡系统；自动化改造

## 引言

在矿山生产中，尾砂处理是重要环节，其工艺水平直接影响资源利用效率与环境保护效果。当前，尾砂处理面临水资源消耗大、废水排放多等问题，水平衡系统的高效运行至关重要。传统水平衡系统依赖人工操作，存在监测不及时、控制不精准等弊端，导致水资源浪费严重。随着矿山智能化发展，对尾砂处理工艺水平衡系统进行自动化改造成为必然趋势。自动化改造可实现对系统运行状态的实时监测与精准控制，提高水资源循环利用率，降低运营成本，减少环境污染。本文旨在探讨尾砂处理工艺水平衡系统自动化改造的实践方案，评估其效益，为矿山尾砂处理工艺的优化提供理论支持与实践参考。

## 1. 尾砂处理工艺概述

### 1.1 尾砂产生及特性

尾砂是矿山在选矿过程中，经过破碎、磨矿、分选等作业后，排放出的粒度较细的固体废弃物。其产生量与矿石性质、选矿工艺及设备等因素密切相关。不同矿石类型，如金属矿、非金属矿，其尾砂的矿物组成、化学成分和物理性质存在显著差异。从物理性质来看，尾砂粒度分布广泛，通常包含微细颗粒，这使得其比表面积较大，表面能较高，易吸附水分和杂质。在化学性质方面，部分尾砂含有重金属元素、有害化学物质等，若处理不当，会对周边土壤、水体等生态环境造成严重污染。同时，尾砂的堆积密度、孔隙率等物理特性也影响着其在处理过程中的沉降、过滤等行为。

### 1.2 现行工艺流程

现行尾砂处理工艺主要包括沉降、过滤和回收利用等

环节。沉降环节是利用重力作用，使尾砂颗粒在水中逐渐下沉，实现固液初步分离。通常采用浓缩池等设备，通过控制沉降时间和添加絮凝剂等方式，提高沉降效率。浓缩后的尾砂浆液进入过滤环节，常用的过滤设备有板框压滤机、陶瓷过滤机等。这些设备通过施加压力或利用滤材的过滤作用，进一步分离尾砂中的水分，得到含水率较低的尾砂滤饼。回收利用环节则是对处理后的尾砂进行综合利用。一方面，可将部分尾砂作为建筑材料，如生产水泥、砖块等；另一方面，对于一些具有特定性质的尾砂，可经过进一步加工处理后，用于矿山充填、土地复垦等领域，实现资源的再利用，减少尾砂的堆存量。

### 1.3 关键工艺参数及其对水耗的影响

在尾砂处理工艺中，多个关键工艺参数对水耗产生重要影响。沉降环节中，絮凝剂的种类和添加量是关键因素。合适的絮凝剂能够有效促进尾砂颗粒的聚集，加速沉降速度，减少沉降时间，从而降低后续过滤环节的水处理量。若絮凝剂添加量不足，沉降效果不佳，会导致大量尾砂进入过滤环节，增加过滤难度和水耗；反之，添加量过多，不仅会增加成本，还可能影响尾砂的质量。过滤环节中，过滤压力和过滤时间直接影响过滤效果和水耗。较高的过滤压力可在一定程度上提高过滤速度，但过高的压力可能导致滤材损坏，增加设备维护成本，同时也会使部分水分被强制挤出，影响尾砂的含水率。过滤时间过短，尾砂中的水分无法充分分离，导致滤饼含水率过高，增加后续处理的水耗；过滤时间过长，则会降低生产效率，增加能耗。因此，合理控制这些关键工艺参数，对于降低尾砂处理过程中的水耗具有重要意义。

## 2. 水平衡系统原理与设计

### 2.1 水平衡的基本概念与计算模型

水平衡是指在一个特定的系统内，水的输入量与输出量之间达到动态平衡的状态。在尾砂处理工艺中，准确把握水平衡对于合理利用水资源、降低水耗以及实现可持续发展至关重要。水平衡的计算模型主要涉及进水量、出水量和循环利用率等关键指标。进水量包括新鲜水的补充量以及系统内循环水的回用量。新鲜水补充是为弥补系统因蒸发、泄漏等造成的水量损失而引入的水量；循环水回用则是将经过处理后符合要求的水重新引入系统进行利用，以提高水资源的利用效率。出水量涵盖产品带走的水量、废水排放量以及系统泄漏损失量等。产品带走水量与尾砂处理产品的特性及产量相关；废水排放量需控制在环保标准范围内，以减少对环境的污染；系统泄漏损失量则应尽量降低，通过加强设备维护和管理来实现。循环利用率是衡量水平衡系统水资源利用效率的重要指标，其计算公式为：循环利用率 = (循环水量 / 总用水量) × 100%。通过提高循环利用率，可有效减少新鲜水的取用量，降低水处理成本。例如，当循环利用率从 60% 提高到 80% 时，在相同生产规模下，新鲜水的取用量将大幅减少。

### 2.2 系统组成

水平衡系统的有效运行依赖于一系列先进设备的协同工作，主要包括传感器、流量计、PLC/DCS 以及 SCADA 系统。传感器是系统的“感知器官”，能够实时监测系统内各种与水相关的参数，如水位、温度、压力、水质等。例如，水位传感器可精确测量水池、水箱等容器内的水位高度，为系统的水量控制提供准确数据；水质传感器能检测水中各种离子的浓度、酸碱度等指标，确保循环水的质量符合工艺要求。流量计用于精确测量水的流量，包括进水量、出水量以及各分支管道的流量。常见的流量计有电磁流量计、涡轮流量计等，它们可根据不同的测量需求和应用场景进行选择。通过准确测量流量，可实现对水量的精确控制和分配。PLC 和 DCS 是系统的“控制核心”。PLC 适用于局部的、相对简单的控制任务，可对单个设备或小型子系统进行精确控制；DCS 则适用于大型、复杂的工业控制系统，能够实现分布式控制、集中管理和信息共享。它们根据传感器和流量计反馈的数据，按照预设的控制策略对系统内的阀门、泵等设备进行自动调节。SCADA 系统是系统的“大脑”，负责对

整个水平衡系统进行实时监控、数据采集和远程操作。通过 SCADA 系统，操作人员可以在控制中心实时查看系统内各设备的运行状态、参数变化等信息，及时发现并处理异常情况，实现对系统的远程控制和优化管理。

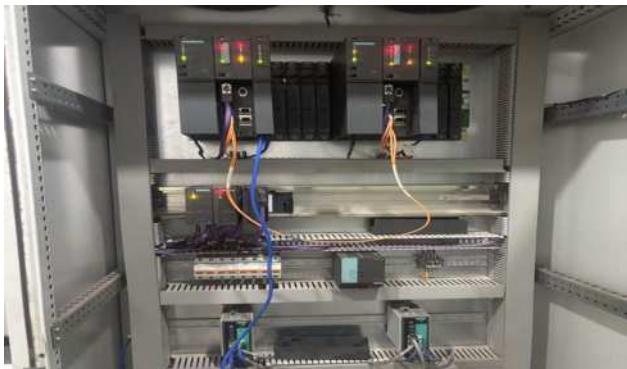
### 2.3 关键控制点的选取与容差设定。

在水平衡系统中，合理选取关键控制点并设定容差是确保系统稳定运行和实现预期控制目标的关键。关键控制点的选取应综合考虑工艺流程的特点、对水平衡影响的大小以及控制的难易程度等因素。例如，在尾砂处理的沉降环节，浓缩池的进水量和出料浓度是关键控制点。进水量过大可能导致浓缩效果不佳，出料浓度过低；进水量过小则会影响生产效率。出料浓度过高或过低都会对后续的过滤和回收利用环节产生不利影响。容差设定是为关键控制点确定一个允许的波动范围。容差过大，会导致系统运行不稳定，无法达到预期的控制效果；容差过小，则会使控制系统过于敏感，频繁调整设备运行状态，增加设备的磨损和能耗。例如，对于浓缩池出料浓度，可根据工艺要求和设备性能设定一个合理的容差范围，如 ±2%。当出料浓度超出该容差范围时，控制系统自动调整进水量或添加絮凝剂的量，使出料浓度恢复到正常范围内。通过科学选取关键控制点和合理设定容差，可有效提高水平衡系统的稳定性和可靠性，实现水资源的高效利用和尾砂处理工艺的优化。

## 3. 自动化改造方案

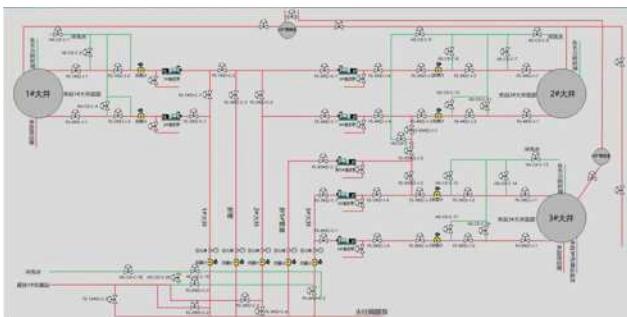
### 3.1 硬件改造

在尾砂处理工艺水平衡系统硬件改造中，针对传统阀门控制精度低、响应慢的问题，引入智能阀门。其采用先进电动执行机构，与控制系统相连，能依据实时监测的水量、压力等参数，精准调节阀门开度，实现水流量精准控制，如在尾砂输送管道中保障输送稳定均匀。在线监测仪表是获取系统运行数据的关键，系统中安装流量计、液位计、水质分析仪等。流量计测管道水流量，液位计监测容器液位，水质分析仪实时监测水中多项指标，它们高精度、高可靠，实时传数据至控制系统，为自动化控制提供支持。原有 PLC 系统处理能力和功能扩展受限，升级后的 PLC 采用先进处理器和大内存，数据处理和运算能力更强、速度更快，能协同控制多种设备，还支持多种通信协议，方便数据交换集成，可实时获取系统状态并自动调整设备参数，实现自动化控制。



### 3.2 软件平台

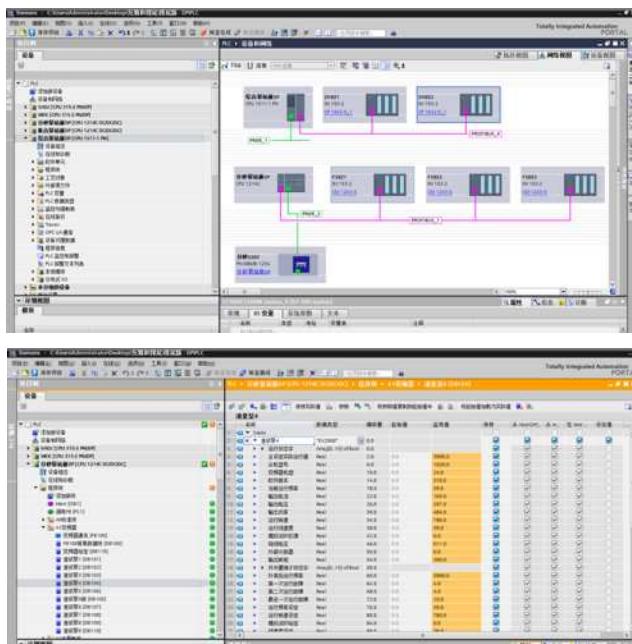
软件平台的数据采集模块通过与 PLC、在线监测仪表等设备通信，按设定时间间隔定期采集水流量、液位、水质等数据，具有高精度与实时性，能准确反映系统运行状态，且具备数据存储功能，将数据存于数据库供后续分析处理。实时监控模块是核心功能之一，以图形化界面直观展示系统实时运行状态，如设备工作状态、水流量变化曲线等。操作人员可借此随时了解情况，异常时系统自动警报。此外，该模块支持历史数据查询与回放，便于分析总结运行历史。报警逻辑模块依据预设报警规则，对采集数据实时分析判断。报警规则可灵活设置，数据超限自动触发报警，通过声光、短信等方式通知相关人员，并记录报警时间、位置和原因等信息，为故障排查处理提供依据。



### 3.3 控制策略

PID 调节是尾砂处理工艺水平衡系统中常用的经典控制策略。它对系统实际输出与设定值的偏差进行比例、积分和微分运算，调整控制量，让输出尽快接近设定值，可用于控制水泵转速、阀门开度等，如控制水泵转速可精准调节水流量，具有结构简单、调节方便、稳定性好等优点，能满足多数工业控制需求。基于模型的预测控制是先进策略，通过建立系统数学模型预测未来输出，优化控制量。在水平衡系统中，它能综合考虑动态特性、干扰因素等，提前调整策略，

提高控制精度与稳定性，如根据尾砂产量预测水量需求并调整水泵参数。异常诊断是控制策略重要部分，通过实时分析系统运行数据检测异常，方法有基于统计、模型和知识的等。在水平衡系统中，它能及时发现设备故障、管道泄漏等问题，检测到异常会自动报警并采取停机检修、调整策略等措施，避免事故发生。



### 3.4 系统集成与人机界面设计



系统集成旨在将尾砂处理工艺水平衡系统中的硬件设备、软件平台与控制策略有机结合，构建完整自动化控制系统。改造中，要确保各子系统通信顺畅、数据共享且协同作业，采用统一通信协议与数据格式，实现 PLC、在线监测仪表、软件平台等无缝连接。同时，需兼顾系统可扩展性与兼容性，便于后续升级。人机界面是操作人员与系统交互的窗口，采用简洁图形化设计，直观展示运行状态与控制参数。

操作人员可借此设置参数、查看历史数据、诊断故障，且具备权限管理功能，保障不同级别人员操作权限，提升系统安全性与可靠性，实现系统自动化、智能化运行。

#### 4. 效益评估与节能减排

在尾砂处理工艺水平衡系统自动化改造后，效益评估与节能减排成效显著。节水率方面，改造前月均新鲜水取用量为 5000 立方米，改造后降至 3500 立方米，经计算节水率达 30%；节能率上，改造前月均水泵耗电量 8000 度，改造后为 6000 度，节能率为 25%。环境效益突出，改造使月废水排放量从 2000 立方米降至 800 立方米，减少 60%，同时尾砂堆存体积降低约 20%，有效减轻了对水体、土壤的污染，节约土地资源并降低地质灾害风险。经济效益亦十分可观，节水节能使运营成本中水电费及维修费下降，且因尾砂产品质量与产量提升，月产值较改造前提高约 15%，增强了企业市场竞争力，实现了环境与经济的双赢。

#### 5. 结论

本文聚焦尾砂处理工艺水平衡系统自动化改造，通过

硬件升级、软件优化、策略改进等举措，构建起高效稳定的自动化体系。在效益评估与节能减排层面，成果斐然，节水节能效果显著，有效降低了废水排放与尾砂堆存体积，切实减轻了环境负担。同时，运营成本下降与产值提升，彰显出强大的经济优势。此改造不仅为尾砂处理行业提供了可借鉴的范例，更推动了行业向绿色、智能、高效方向迈进，具有深远的实践意义与推广价值。

#### 参考文献：

- [1] 李彦科, 王征, 张义坤, 等. 压滤机在尾砂处理中的工艺优化 [J]. 现代矿业 ,2022,38(09):172–174+183.
- [2] 于志伟. 刚果（金）某浮选尾砂与矿石联合处理湿法冶炼工艺应用与优化 [J]. 有色矿冶 ,2024,40(06):41–44.
- [3] 朱琳, 汪大林, 王伟伟. 加拿大小型油砂处理装置工艺方案设计 [J]. 山东化工 ,2025,54(04):214–216.

**作者简介：**黎钊，1987 年 7 月，男，汉族，湖南湘阴，高级工程师，大学本科硕士，研究方向：矿山智能化、矿山装备状态监测与系统管理