

# 中心传动刮泥机控制系统架构设计与运行稳定性分析

金锡平

金剑环保集团有限公司 浙江 温州 325000

**【摘要】**：中心传动刮泥机是水处理沉淀核心机电设备，广泛用于市政污水、工业废水处理及净水厂沉淀池，其运行稳定性影响泥水分离效率、出水水质及运维成本。控制系统是其“中枢神经”，承担运行参数调控等核心功能，其架构设计合理性与可靠性是保障设备稳定运行的关键。本文基于自动控制等理论，以理论分析与逻辑推演构建控制系统分层架构，剖析各层级功能、适配及协同机制，探讨影响稳定性的因素与优化路径，建立全流程稳定性保障体系。研究表明，模块化架构、精准传感、自适应调节及完善防控机制可提升系统可靠性与抗干扰能力，保障刮泥机稳定运行。本文为刮泥机控制系统优化及同类设备研发提供理论支撑与参考。

**【关键词】**：中心传动刮泥机；控制系统；架构设计；运行稳定性；故障防控

DOI:10.12417/3083-5526.26.01.023

## 1 引言

在市政污水、工业废水及饮用水处理中，沉淀池是泥水分离核心单元，中心传动刮泥机凭借运行平稳、刮泥效率高等优势成为主流设备，其通过中心驱动装置带动刮泥臂旋转排泥，直接影响出水水质与能耗。传统控制系统采用单一逻辑控制，参数调节滞后，复杂工况下易故障，导致出水不达标；现有研究多聚焦局部优化，缺乏整体架构设计，功能模块协同性不足，与机械结构和水处理工艺适配性差，难以兼顾控制精度与稳定性。本文基于自动控制理论与机电一体化技术，构建分层控制系统架构，明确功能边界与协同机制，分析稳定性影响因素，提出针对性优化策略与保障措施。通过理论推演厘清关联，为控制系统设计提供理论指导，助力水处理系统高效、稳定、智能化运行，提升工程可靠性与经济性。

## 2 中心传动刮泥机的工作原理与控制系统核心需求

### 2.1 中心传动刮泥机的核心结构与工作原理

中心传动刮泥机由机械结构、驱动和控制三系统组成，协同完成污泥刮集、输送与排出。机械结构含中心支座等，中心支座支撑设备，刮泥臂绕其旋转，刮泥板将污泥刮至集泥斗，经排泥管排出。驱动系统由变频电机等部件构成，为刮泥臂提供动力，可精准控制刮泥速度，扭矩传感器监测负载扭矩。控制系统接收传感信号等，实现驱动系统调速等控制，保障设备平稳运行。

其工作流程为：控制系统通过检测元件采集沉淀池中参数，结合控制逻辑调节驱动电机转速，使刮泥效率与污泥沉积速率匹配；同时监测状态参数，异常时触发保护动作。

### 2.2 控制系统的核心功能需求

结合作业特性与工艺要求，控制系统需满足五大核心功能需求。精准控制需动态调节刮泥速度与排泥量，确保刮泥效率与污泥负荷适配。状态监测要求全维度实时采集运行与工艺参数。故障防控需具备故障识别等能力，及时处理常见故障。联

动协同要与其他设备协同运行，融入整体控制网络。智能化运维需具备参数自校准等功能，降低运维成本。

### 2.3 复杂工况对控制系统的性能要求

中心传动刮泥机工况复杂，不同处理场景水质差异大，对控制系统适应性与稳定性要求高。高污泥负荷时需快速调高刮泥转速，低负荷时合理降速节能并防磨损。恶劣环境要求控制系统抗干扰，传感数据准确、控制指令可靠。长期运行设备参数漂移，控制系统需具备自适应调节能力。同时，鉴于工艺对水质要求高，控制系统要有高精度控制能力。刮泥转速调节精度要满足工艺要求，避免控制误差造成污泥残留或二次污染，确保出水水质达标。针对污泥泵故障、沉淀池液位骤升等突发工况，控制系统需具备应急处理能力，快速调整运行状态或触发联动保护，保障系统安全稳定。

## 3 中心传动刮泥机控制系统分层架构设计

### 3.1 架构设计原则与整体框架

架构设计遵循模块化、分层化、高可靠、易扩展、强适配原则。模块化支持功能独立开发与更换，降低成本、提升灵活性；分层化明确层级职责与数据交互，优化逻辑，增强响应与稳定性；高可靠确保硬件抗恶劣工况、软件容错，保障长期运行；易扩展预留接口，便于功能扩展；强适配提升与多设备及工况兼容性。基于此，构建“感知层-控制层-决策层-交互层”四层架构：感知层采集参数，控制层执行指令，决策层优化策略，交互层实现通信，通过标准协议形成闭环体系。

### 3.2 各层级功能设计与技术适配

感知层：部署抗干扰、耐腐蚀高精度传感器（工艺参数：污泥厚度、液位、浓度；设备状态：扭矩、转速、温度、电流），分布式布局于关键位置，配备信号调理模块保障数据准确。

控制层：核心为 PLC 与变频驱动器。PLC 解析数据，闭环调节电机转速；变频驱动器采用矢量控制，实现调速、扭矩控制、过载保护及能量回收，执行元件具备信号隔离功能。

决策层：由工业控制计算机与嵌入式处理器构成，集成数据解析（识别异常）、状态评估、策略优化（动态调整参数）及故障诊断模块，输出故障等级与处理建议，并存储运行数据供分析。

交互层：人机界面含触摸屏与按钮，操作直观；通信采用工业以太网（高速上位机交互）与RS485总线（近距离传输）双模式，支持标准协议，确保双向联动与兼容性。

### 3.3 架构协同机制与控制流程

各层级形成闭环协同：感知层实时上传参数，控制层执行调节并反馈，决策层优化策略，交互层显示状态并传递指令。控制流程分三阶段：

启动初始化：系统上电自检，无异常则电机低速运转，确认正常后进入运行阶段；

运行调节：感知层持续采集数据，决策层动态优化设定值，控制层实时调节转速并修正偏差，适应工况波动；

故障处理：感知层检测异常，决策层诊断故障等级，控制层分级响应（轻微故障报警优化，严重故障紧急停机），排除后自检重启。

该架构通过层级协同与闭环控制，显著提升系统精度、稳定性与工况适应性。

## 4 控制系统运行稳定性的影响因素分析

### 4.1 硬件层面的影响因素

硬件设备性能与可靠性是控制系统运行稳定性的基础，影响体现在传感设备、控制核心、执行元件及通信模块四个方面。传感设备精度与稳定性影响控制决策准确性，存在漂移等问题会导致采集数据失真，长期处于恶劣环境会降低数据采集可靠性。控制核心运算能力与稳定性影响系统响应速度与控制逻辑执行效率，运算能力不足、硬件老化等会引发故障。执行元件可靠性影响控制指令执行效果，出现问题会引发电路故障。通信模块传输稳定性与抗干扰能力影响数据交互与指令传递，线路老化、电磁干扰等会导致数据丢失、指令误码等，且硬件模块适配性不足也会使控制系统运行异常。

### 4.2 软件层面的影响因素

软件算法合理性与鲁棒性是保障控制系统运行稳定性的核心，影响体现在控制算法、故障诊断算法、数据处理算法及逻辑设计四个方面。控制算法适配性与精度影响刮泥速度调节效果，参数固定、整定不合理会影响运行稳定性。故障诊断算法准确性与快速性影响故障处理及时性与有效性，存在误判、漏判或逻辑复杂会导致不良后果。数据处理算法滤波、校准能力影响原始数据可靠性，滤波算法不完善、缺失自校准算法会影响控制决策。控制逻辑设计合理性影响各功能模块协同运行，存在漏洞、冲突或冗余不足会导致系统运行混乱或停机，

且软件程序存在问题也会影响控制系统稳定性。

### 4.3 外部环境 with 工况的影响因素

外部运行环境与工况波动显著影响控制系统稳定性。工业现场高温、高湿、腐蚀性气体、粉尘及强电磁干扰会降低硬件性能，引发故障。工况波动如污泥负荷剧变，若控制系统自适应不足，会导致电机扭矩骤升、转速异常；沉淀池液位骤变改变刮泥间隙，加剧机械磨损；供电异常则损坏核心元件。水处理系统联动运行中，与上位机、污泥泵通信中断或数据交互异常，会致联动失效；上位机指令频繁变更增加调节压力，引发运行波动。运维管理不当是关键内因：日常维护缺失引发异常；未及时更换老化部件提高故障率；参数设置不规范降低控制精度；传感器校准偏差导致决策错误；故障处理不及时扩大影响。操作人员专业能力不足，易误操作且响应迟缓；缺乏运维记录与数据分析，无法预判设备老化趋势，影响长期稳定。科学运维、规范参数校准及人员培训是提升系统可靠性的核心保障。

## 5 提升控制系统运行稳定性的优化策略

### 5.1 硬件系统的优化配置

硬件系统优化围绕提升可靠性、抗干扰性与适配性，从选型、布局、防护三方面开展。传感设备选型结合工况，选精度高、响应快等的工业级传感器，如污泥厚度传感器选超声波或雷达式，关键传感器冗余配置保障数据采集连续。控制核心与执行元件选型匹配控制需求，可编程逻辑控制器、工业控制计算机、变频驱动器、继电器等选合适产品确保性能。硬件布局与防护优化提升抗干扰与环境适应能力，控制箱密封设计、分区布局，传输线路用屏蔽线，同时配备电源稳压器与浪涌保护器。

### 5.2 软件算法的优化设计

软件算法优化聚焦提升控制精度、鲁棒性与故障处理能力。控制算法用自适应比例积分微分控制算法和模糊控制算法，提升控制精度与自适应能力。故障诊断算法采用多特征融合诊断策略，引入容错控制算法，优化故障分级处理逻辑。数据处理算法强化滤波与自校准能力，建立数据异常判断机制，同时优化控制逻辑设计。

### 5.3 外部干扰与工况适配的优化

针对外部环境干扰，采取综合抗干扰措施提升环境适应性。电磁干扰防控采用屏蔽、接地、滤波三重防护，温度、湿度干扰防控通过智能控制和选用合适硬件模块。工况适配优化构建工况识别模型，精准预判与自适应调节工况参数波动，实时采集参数调整控制策略。针对低负荷、液位骤变等特殊工况预设专项控制方案，工况触发对应条件时自动启动，快速响应变化。此外，优化与水处理系统其他设备联动逻辑，采用标准化通信协议与数据交互格式，确保联动稳定，具备通信中断时独立运行能力，提升系统可靠性。

## 5.4 运维管理体系的完善

建立完善运维管理体系，通过规范化、智能化运维维持控制系统长期稳定运行。制定日常维护规程，明确周期与内容，定期清理、检查、清洁、测试，排查隐患；建立部件更换周期表，提前更换易老化部件，避免故障。

规范参数设置与校准流程，操作人员依工况与工艺要求合理设置参数，调整后试运行验证；定期用标准设备对传感器等校准，记录存档校准数据。建立故障管理体系，记录故障信息，分析数据，总结规律，优化防控与维护重点；开展操作人员培训，提升其相关能力，减少误操作。

引入智能化运维技术，通过决策层数据存储与分析，实时监测设备状态、预判趋势，预警部件老化与故障；设置维护周期提醒功能，达到周期自动提醒；通过上位机远程监控与管理运维数据，便于运维人员掌握状态、排查简单故障，提升效率。

## 6 理论案例参考与稳定性验证分析

### 6.1 理论案例设计与应用场景

选取某市政污水处理厂二沉池中心传动刮泥机为案例，该场景处理水量大、污泥负荷波动频繁，运行环境恶劣，传统控制系统存在调节滞后等问题，导致刮泥效率不稳等。基于本文设计的分层控制系统架构与优化策略对其进行升级改造，验证架构合理性与稳定性提升效果。

改造方案采用“感知层-控制层-决策层-交互层”四层架构。感知层配置多种传感器，关键传感器双冗余，传输线做防腐处理；控制层选用工业级设备，集成相关算法；决策层配置工业控制计算机，集成故障诊断与工况识别模型；交互层配置触摸屏与人机界面，采用双通信模式，与中控系统联动。

同时实施硬件防护优化、软件算法升级与运维体系完善，控制箱加装装置，软件融入控制逻辑，建立管理体系，实现全

面升级。

### 6.2 运行稳定性效果分析

控制系统升级后在该厂二沉池连续运行一年，经评估稳定性与运行效果显著提升。控制精度上，刮泥转速调节精度提高，污泥厚度可控，出水水质达标率提升，刮泥效率稳定适配负荷波动。

抗干扰能力方面，在恶劣环境与电网电压波动时，系统运行稳定，传感数据准确，通信可靠，硬件设备正常。故障处理能力上，误报率大幅降低，轻微故障时系统维持运行，严重故障时快速保护，定位准确，处理时间缩短。

运维成本与设备寿命上，运维体系降低成本，部件故障与磨损减少，运行寿命延长，能耗降低。该案例表明本文设计的架构与策略可提升刮泥机控制系统性能，满足复杂工况需求，有良好工程应用价值。

## 7 结论

本文通过理论分析与逻辑推演，设计中心传动刮泥机控制系统“感知层-控制层-决策层-交互层”四层架构，分析稳定性影响因素，构建保障体系。研究表明，系统稳定性受硬件、软件、外部环境及运维管理多因素协同影响，传统架构设计不合理，难以适配复杂水理工况。新架构实现功能模块化与层级协同：感知层精准采集参数，控制层高效执行指令，决策层智能优化策略，交互层便捷人机联动，形成闭环控制体系，显著提升控制精度、响应速度与可靠性。全方位保障策略涵盖硬件优化、软件升级、干扰防控及运维体系完善。理论案例验证，该架构与策略可有效提升系统性能，适配多变工况。研究成果为工程应用提供理论支撑，后续需结合实际案例优化适配性，开发智能诊断功能，推动设备向高精度、高稳定性、全流程智能化发展，提升水处理系统整体效能。

## 参考文献：

- [1] 黄亚球,王鹏,彭彩霞,等. 基于 PLC 的矩形二沉池链板式刮泥机控制系统设计[J]. 机电工程技术,2025,54(17):180-186.
- [2] 熊烈.基于仿真的链板刮泥机故障原因分析与对策[J].设备管理与维修.2024,(5).
- [3] 肖杰.矩形二沉池非金属链板刮泥机系统的故障分析[J].净水技术.2018,(4).
- [4] 张帆,程暘,孙玉亮. 中心传动刮泥机运行自动控制和过载保护的设计[J]. 城市建设理论研究(电子版),2013(11).
- [5] 刘和岗. 基于深度学习的机电设备智能控制系统设计[J]. 煤矿现代化,2025,34(2):128-131.