

# 自动化水处理设备与供排水电气系统的协同控制研究

沈怿慷 杨波 戴俊慧

南源智慧水务有限公司 浙江 湖州 313219

**摘要:** 在智慧水务转型的背景下, 自动化水处理设备与供排水电气系统的协同控制对提升水处理效率、降低能耗至关重要。本文剖析二者协同控制的核心系统与设备特性, 阐述基础认知要素、核心技术实现路径与关键问题优化方向, 构建包含效率、稳定性、经济性指标的性能评估体系及技术、运维、人员保障措施, 探讨不同工况下参数适配方案与信号传输协议选型, 为提升协同控制精度与水处理系统整体运行效能提供参考。

**关键词:** 自动化水处理设备; 供排水电气系统; 协同控制; 性能评估; 优化路径

引言: 自动化水处理设备与供排水电气系统的协同运行, 是保障水处理效率、降低能源消耗的关键。当前, 二者在协同过程中常面临数据交互滞后、参数适配不足等问题, 影响水质达标与系统稳定。深入研究二者协同控制的原理、技术路径及优化方法, 对解决实际运行中的瓶颈问题、提升整体运行效能具有重要意义, 也能为水处理系统智能化改造提供可行思路, 适应行业对高效、节能、稳定运行的需求。

## 1 协同控制基础认知与核心要素

### 1.1 关键系统与设备特性

自动化水处理设备的运行参数与控制需求各有侧重。格栅机需依据进水杂物含量与过栅流速调整运行速率, 既保证拦截效果又避免过载, 其运行间隔可灵活调节以适配水量变化。沉淀池需精准匹配进水流量与停留时间, 确保泥沙充分沉降<sup>[1]</sup>。过滤器要根据出水浊度实时调节反洗频率与强度, 维持过滤精度。消毒设备需结合处理水量与水质指标控制药剂投加量, 保障杀菌达标。这些设备的稳定运行均需供排水电气系统支撑。供排水电气系统的供电特性与调控能力至关重要。配电设备需稳定输出电压, 满足不同设备功率需求。变频装置可通过调节频率改变水泵转速, 适配流量变化。传感器实时采集水质、水量及电气参数, 为调控提供依据。控制柜整合各类信号, 实现集中控制与状态监测。协同控制核心指标需平衡效率与稳定。水处理量与供电负荷匹配度要求电气系统按实时处理量调整供电分配。

### 1.2 协同控制原理

信号交互原理是协同基础。水处理设备将运行速率、故障警报等信号传输至电气系统, 传输过程需通过抗干扰线路确保信号完整, 电气系统据此制定供电与调控方案并反馈供电状态与指令, 由此构成一个信息闭环, 确保了系统状态的同步, 避免因信息偏差导致协同

失调。能量适配原理注重供需平衡。电气系统实时监测设备工况, 高负荷时如过滤器反洗、大型水泵满负荷运行时, 提升供电功率保障电压稳定; 低负荷时如夜间水量减少, 降低功率避免浪费, 实现能量按需分配, 兼顾效率与节能。时序同步原理保障流程有序。设备启动按先辅助后核心的时序供电, 如先启动加药泵再启动主处理设备; 工况切换时先调电气参数再转设备工况, 避免参数不匹配导致设备故障; 关停时按先核心后辅助顺序断电, 减少设备冲击, 延长使用寿命。

### 1.3 协同控制边界条件

水质波动范围形成约束, 超出预设时如进水COD、浊度超标, 设备需加大处理强度, 电气系统同步提升供电能力, 保障设备满负荷运行; 波动过大超出处理能力时, 则需暂停协同待水质稳定, 避免设备过载损坏。电网电压允许偏差限制调控空间, 电压波动超限时如电压过高或过低, 需优先通过稳压装置调整电压, 待恢复至允许范围后再调整协同参数, 防止电气元件与水处理设备因电压异常受损。设备运行温度阈值影响持续时间, 接近阈值时如电机、变频器温度升高, 降低设备负荷减少供电功率, 通过散热系统辅助降温; 超出阈值则暂停运行, 待温度降至安全范围后重启, 以保护设备核心部件, 延长使用寿命。

## 2 协同控制核心技术与实现路径

### 2.1 数据采集与感知技术

水处理侧数据采集需覆盖全流程关键参数。进水水质监测需实时捕捉浊度、pH值、污染物浓度变化, 处理流量监测需精准记录瞬时与累计水量, 设备运行温度监测需重点关注电机、泵体等易发热部件, 通过布设高精度传感器确保数据采集间隔不超过10秒, 为后续调控提供高频动态数据。电气侧数据采集需聚焦供电稳定性与能耗细节。供电电流、电压监测需实时捕捉波动幅度与

持续时间, 能耗数据采集需按设备类型分项统计, 变频装置状态监测需跟踪频率调节范围与响应速度, 确保及时发现供电异常与能耗异常<sup>[2]</sup>。数据融合处理需提升数据质量。采用卡尔曼滤波算法降低传感器噪声干扰, 通过标准化接口将不同格式数据转换为统一格式, 建立数据校验机制剔除异常值, 确保输出数据的准确性与一致性, 为协同决策提供可靠支撑。

## 2.2 协同控制策略设计

负荷动态匹配策略需实现精准调控。通过建立水处理量与供电负荷的对应模型, 当处理量因进水增加而提升时, 电气系统自动提升对应设备供电功率, 避免功率过剩; 处理量因用水需求减少而下降时, 同步降低供电负荷, 同时保留一定功率冗余应对突发流量变化, 兼顾节能与稳定性。故障联动响应策略需缩短处置时间。水处理设备出现电机故障时, 电气系统在0.5秒内切断该设备供电并发出警报; 电气系统出现电压波动超出正常运行范围时, 水处理设备自动切换至低负荷运行模式, 优先保障核心处理环节, 待电压恢复后逐步回升负荷。时序优化策略需减少设备损耗。设备启动时, 先启动传感器与控制柜, 延迟2秒后启动低压辅助设备, 再延迟5秒启动高压核心设备; 关停时按相反顺序操作, 通过变频器将启动电流控制在额定电流的合理范围内, 避免冲击电流损坏设备。

## 2.3 控制平台搭建

硬件架构需注重兼容性与可靠性。中央控制器宜选用工业级PLC, 支持多协议接入以适配不同设备; 信号传输模块采用冗余设计, 确保单一模块故障时不中断数据传输; 人机交互界面选用防眩光触摸屏, 支持中文操作与故障代码显示, 方便现场人员操作。软件系统开发需强化功能集成。数据监测模块实时展示关键参数曲线与设备状态图标, 协同决策算法自动生成负荷调整与故障处置方案, 参数调控模块支持手动与自动切换, 满足不同工况需求。远程监控功能需提升便捷性与安全性。移动端支持实时查看水质、能耗数据与故障警报, PC端可导出历史数据报表与趋势分析图, 同时采用加密传输技术保护数据安全, 仅授权人员可进行远程调控操作。

## 2.4 协同控制信号传输协议选型

协议选型需结合应用场景适配性。Modbus协议结构简单、成本低, 适合中小型系统中传感器与控制器的短距离数据传输, 但其传输速率较慢, 在大型系统中易出现延迟; Profinet协议传输速率快、实时性强, 支持多设备同步通信, 适合大型水处理厂复杂系统的信号传输, 但对硬件要求较高、成本也相对较高。实际选型需综合

考量系统规模、传输距离与实时性需求, 确保协议能匹配数据传输速率与稳定性要求, 避免因协议不匹配导致协同控制延迟。

## 3 协同控制关键问题与优化方向

### 3.1 当前协同控制存在的技术瓶颈

信号传输延迟严重影响调控时效性。水处理设备与电气系统间多依赖传统有线网络传输数据, 线路变长、节点增多会导致数据交互滞后, 滞后时间常达数百毫秒<sup>[3]</sup>。当设备检测到水质突变需紧急调整时, 电气系统难以及时接收信号并响应, 可能导致短时间内出水水质超标, 或造成设备处于“空转”“参数错配”的无效运行状态, 进而破坏系统协同节奏, 降低整体协同控制精度。水处理设备工况随进水量、水质动态调整, 而电气系统参数依赖预设程序, 缺乏实时适配能力。比如设备因进水负荷增加提升运行功率时, 电气系统供电参数仍维持原有设定, 无法同步匹配需求, 易出现供电不足导致效率下降, 或供电过剩造成能源浪费。抗干扰能力弱威胁系统稳定。电网运行中易出现电压波动、谐波干扰, 导致电气系统输出功率不稳定, 进而影响设备运行参数; 原水水质突变如浊度骤升、污染物浓度异常时, 协同控制体系难快速调整策略, 易引发处理流程紊乱, 甚至造成设备故障。

### 3.2 优化技术路径

引入边缘计算技术可提升响应速度。在设备与电气系统附近部署边缘计算节点, 将数据采集、处理及调控指令生成环节前移, 减少数据向远程云端传输的时间。边缘节点能实时分析运行数据与电气参数, 快速生成调控方案, 使信号响应时间缩短至毫秒级, 解决传输延迟问题。采用自适应算法可实现参数动态优化。构建融合水质、水量、电网状态的多维度模型, 算法实时分析各因素变化趋势, 自动调整电气系统供电功率、电压及设备运行参数。例如电网电压波动时, 算法同步降低设备非核心环节负荷, 保障核心功能稳定, 实现参数精准匹配。增强冗余设计能提升抗干扰能力。在主供电柜、变频器等关键设备处配置备用设备, 主设备故障时备用设备可短时间切换投入; 信号传输线路采用双线路并行设计, 单一线路中断时另一线路继续传输数据, 避免协同控制中断。

### 3.3 不同工况下协同控制参数适配方案

针对高浊度进水工况, 需强化处理与供电协同。此时要提升格栅机运行速率与过滤器反洗频率, 电气系统需同步增加对应设备供电功率, 确保设备满负荷运行以增强拦截与过滤效果; 适当降低消毒设备初始功率, 待

水质浊度下降后再逐步提升，避免因前期处理不彻底造成消毒药剂浪费。针对电网高峰期工况，需优化负荷分配<sup>[4]</sup>。优先保障沉淀池、消毒系统等水处理核心设备的稳定供电，适当降低冲洗水泵等辅助设备运行功率；通过变频装置将电气系统输出频率控制在合理范围，减轻电网高峰期负荷压力，同时调整水处理设备运行节奏，避免在电网负荷峰值时段启动大功率设备，实现系统运行与电网状态的适配。

#### 4 协同控制性能评估与保障体系

##### 4.1 性能评估指标

效率指标是衡量协同控制成效的核心。水处理达标率需关注处理后COD、浊度、余氯等参数是否稳定符合相关标准，反映对水质净化效果的保障能力；电气系统能耗降低幅度需对比协同前后单位水处理能耗，体现能源利用效率提升；设备运行故障率统计因协同失调导致的故障次数，故障越少说明可靠性越高。稳定性指标聚焦持续运行能力。协同控制响应时间指工况变化到系统调整的间隔，越短越能及时应对变化；参数波动范围监测水处理流量、供电电压等波动幅度，越小说明调控精度越高；连续运行无故障时长记录无人工干预下的稳定运行时间，越长反映稳定性越强。经济性指标体现实际应用价值。单位水处理量能耗成本通过总能耗与总处理水量比值计算，降低可直接提升效益；设备维护成本统计因协同优化减少的维修次数与费用；电气系统运维费用涵盖变频器、控制柜等巡检保养开支，协同控制可减少这类投入。

##### 4.2 保障措施

技术保障为协同稳定运行提供支撑。定期优化控制算法需结合实际数据，调整负荷匹配、故障响应参数，提升复杂工况适配能力；设备与电气系统校准按周期开展，包括传感器精度、电压电流检测设备校准，确保数据准确；更新数据采集精度需升级老旧设备，引入高精度传感器与仪表，夯实协同决策基础。运维保障构建日常管理体系。建立协同运行巡检制度需明确频次与内容，每日检查协同状态，每周排查信号线路，每月评估参数匹配度；记录协同状态需建专项台账，详细记参数、故障及处理措施，为优化提供参考；发现轻微偏差

及时微调，避免问题扩大。人员保障提升运维能力。对运维人员培训需覆盖理论与实操，理论包括协同原理、传输协议，实操侧重平台操作与故障排查；通过模拟故障场景练习应急处理，提升应对能力；定期组织考核，确保人员熟练掌握技术，保障系统故障快速处置。

##### 4.3 协同控制性能测试方法

协同性能测试需模拟实际复杂场景开展动态测试。模拟水质突变时，向进水端加污染物调整浊度或有机物浓度，观察系统是否快速调整水处理设备状态、联动电气适配负荷，记录水质达标时间与参数调整过程，评估应对能力<sup>[5]</sup>。模拟电网波动时，调节供电电压制造偏高或偏低情况，监测系统是否及时感知波动、调整稳压装置，控制设备降负荷或变运行模式，记录响应时间与参数稳定时长，判断抗干扰能力。测试中需持续采集水质、设备参数、能耗等数据，通过分析评估效率、稳定性与经济性，形成报告为后续优化提供依据，确保结果反映实际应用性能。

##### 结束语

自动化水处理设备与给排水电气系统的协同控制研究，需兼顾技术突破与实际应用。从基础认知到核心技术落地，从问题优化到性能保障，各环节的完善能有效提升协同控制水平。未来，可进一步融合人工智能、数字孪生等技术，深化不同复杂工况下的参数适配能力，推动协同控制向更智能、更高效的方向发展，为水处理行业高质量发展注入更强动力，更好满足水质保障与能源节约的双重需求。

##### 参考文献

- [1]和俊程,李永芬,侯郊.水处理自动化加药设备选型及自动加药技术[J].世界有色金属,2025(6):217-219.
- [2]卢永凯.机械设备及自动化技术在农村污水处理中的应用[J].江西农业,2025(15):23-25.
- [3]马灵洁.工业污水处理中机械设备及自动化技术的障碍和解决措施分析[J].中国设备工程,2024(24):191-193.
- [4]李胜利,曲涛,王磊.水处理设备自动化维护系统的设计与应用[J].石油石化物资采购,2024(10):233-235.
- [5]唐猛.智慧污水处理设备自动化控制系统研究[J].中国厨卫,2024,23(7):339-341.