

污水处理厂水处理工艺自动化控制系统优化研究

姜 旭

泸州市兴泸污水处理有限公司 四川 泸州 646000

摘 要：本文以中型城镇污水处理厂为研究对象，结合其A₂O组合工艺现状，分析自动化控制系统在硬件、软件及运行层面存在的模块老化、算法滞后、能耗偏高等问题，探究问题产生的根源，遵循可靠、节能、可扩展原则，从硬件升级、软件优化、工艺控制策略完善三方面设计优化方案，实现工艺参数精准控制、能耗降低及运维效率提升，为污水处理厂自动化控制系统优化提供实践参考与技术支撑。

关键词：污水处理厂；水处理工艺；自动化控制系统；优化

引言：随着城镇污水处理需求提升，自动化控制系统成为保障出水达标、提升运行效率的核心支撑。当前多数污水处理厂控制系统存在设备老化、控制精度不足、响应滞后等问题，导致能耗偏高、运维不便，难以适配水质水量动态变化需求。基于此，本文聚焦污水处理工艺自动化控制系统优化，结合实际工程概况，挖掘现存问题并提出针对性优化策略，对推动污水处理行业智能化、节能化发展具有重要现实意义。

1 污水处理厂水处理工艺及自动化控制系统基础理论

1.1 污水处理厂核心水处理工艺

(1) 预处理工艺：作为污水处理的第一道工序，核心是去除污水中大块杂质和无机砂粒，保护后续设备。格栅拦截污水中的漂浮物、悬浮物，防止堵塞管道和水泵；沉砂池利用重力沉降原理，分离污水中密度大于水的砂粒、砾石等，减少设备磨损，为后续生化处理创造条件。(2) 生化处理工艺：是污水处理的核心环节，通过微生物代谢降解污水中有机污染物。A₂O工艺采用厌氧-缺氧-好氧三段式，同步实现有机物去除、脱氮除磷；MBR工艺结合膜分离与生化反应，出水水质好，占地面积小，运行管理便捷。(3) 深度处理与消毒工艺：用于进一步提升出水水质，满足排放或回用标准。深度处理通过过滤、吸附等去除残留悬浮物和有机物；消毒工艺采用紫外线、二氧化氯等方式，杀灭污水中病原微生物，杜绝水体污染^[1]。

1.2 自动化控制系统核心构成

(1) 感知层：是系统的“眼睛”，负责采集污水处理各环节的关键参数，如pH值、溶解氧、流量、液位等，变送器将传感器信号转换为标准电信号，传输至控制层。(2) 控制层：是系统的“大脑”，PLC控制器接收感知层信号，按照预设程序进行逻辑运算，输出控制指令；变频器调节水泵、风机等设备的转速，实现节能

运行和工艺参数精准控制。(3) 应用层：是系统的“操作终端”，通过监控平台实时显示各环节运行状态，组态软件实现工艺流程可视化，支持参数设置、故障查询和历史数据追溯。

1.3 自动化控制系统工作原理

(1) 数据采集与传输机制：感知层设备实时采集工艺参数，通过工业总线或无线网络传输至控制层，确保数据实时、准确，为控制决策提供依据。(2) 逻辑控制与调节原理：PLC控制器根据采集的数据，对比预设阈值，自动调节设备运行状态，如调节曝气量、回流比，确保工艺参数稳定在合理范围。(3) 监控与报警机制：应用层实时监控设备运行和工艺参数，当参数超标或设备故障时，立即发出声光报警，提醒工作人员及时处

1.4 控制系统相关核心技术

(1) PLC编程技术：是控制层运行的核心，通过梯形图、功能块等编程方式，实现逻辑控制、时序控制等功能，适配污水处理工艺的复杂需求。(2) 工业通信技术：保障各层级设备间的高效通信，ModbusTCP适用于中小型系统，PROFINET传输速率快、稳定性高，适配大型污水处理厂的多设备协同需求。(3) PID控制算法基础：用于工艺参数的精准调节，通过比例、积分、微分运算，自动修正控制偏差，实现溶解氧、液位等关键参数的稳定控制，提升处理效果。

2 污水处理厂自动化控制系统现状及存在问题分析

2.1 污水处理厂工程概况

(1) 厂区规模与处理能力：该污水处理厂为中型城镇污水处理项目，占地面积约181亩，设计日处理污水能力10万吨，服务人口约28万人，主要接纳周边居民生活污水及少量工业废水，处理后出水达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级A标准，保障周边水体环境安

全。(2) 现有水处理工艺配置: 厂区采用“预处理+A₂O生化处理+深度处理+消毒”的组合工艺, 预处理环节配备机械格栅、曝气沉砂池; 生化处理采用A₂O工艺, 设置厌氧池、缺氧池、好氧池及二沉池; 深度处理采用纤维过滤工艺, 消毒环节选用紫外线消毒, 确保出水水质达标。(3) 现有自动化控制系统配置: 系统采用分层架构设计, 感知层配备pH传感器、溶解氧变送器、流量仪表等30余台套; 控制层选用7台PLC控制器, 搭配20余台变频器, 实现关键设备启停及参数调节; 应用层部署工业监控平台及组态软件, 可实时监控各工艺环节运行状态。

2.2 现有自动化控制系统运行现状调研

(1) 调研方法与范围: 采用现场勘查、设备检测、数据统计相结合的调研方法, 调研范围覆盖厂区所有工艺单元的自动化设备、控制系统硬件、软件运行情况, 重点调研PLC控制器、传感器、通信设备及监控平台的运行状态, 调研周期为1个月。(2) 系统运行参数监测结果: 监测显示, 核心工艺参数控制精度不足, 溶解氧波动范围为0.5-4mg/L, 超出最佳控制范围; 部分传感器数据传输存在延迟, 平均延迟时间达15ms, 偶尔出现数据丢失现象^[2]。(3) 系统运行效率评估: 系统整体运行效率一般, 核心设备联动响应不及时, 水泵、风机平均运行负荷偏高; 故障停机率约为3.5%, 主要集中在传感器故障及PLC模块异常; 运维人员日均处理设备故障耗时约2小时, 系统运维效率偏低。

2.3 控制系统存在的核心问题

(1) 硬件层面: 模块老化、I/O点位不足、传感器精度不足。部分PLC模块已运行8年以上, 出现老化现象, 数据处理速度下降; 现有I/O点位已接近饱和, 无法新增监测设备及控制点位; 部分传感器精度较低, 测量误差超过8%, 无法精准反馈工艺参数。(2) 软件层面: 控制算法滞后、组态界面不完善、数据利用率低。采用传统PID算法, 对水质、水量波动的适应性差, 参数调节滞后; 组态界面功能简单, 缺乏能耗统计、趋势分析等模块, 操作便捷性不足; 采集的数据仅用于实时显示, 未进行深度分析, 无法为工艺优化提供支撑。(3) 运行层面: 能耗偏高、响应速度慢、故障排查不便。由于控制策略不合理, 水泵、风机长期处于高负荷运行状态, 能耗偏高; 系统通信链路单一, 响应延迟明显, 工艺参数调节不及时; 缺乏智能故障诊断功能, 故障排查依赖人工, 效率低下。

2.4 问题产生的原因分析

(1) 硬件选型与维护不当: 初期硬件选型未充分考虑厂区长期运行需求, 选用的部分设备性价比低、耐用

性差; 日常维护保养制度不完善, 未定期对传感器进行校准、对PLC模块进行检修, 导致设备老化速度加快、精度下降。(2) 控制策略与工艺适配性不足: 控制系统设计阶段, 未充分结合A₂O工艺的动态运行特点优化控制策略, 控制算法固化, 无法适应污水水质、水量的波动变化, 导致参数调节精度不足、响应滞后。(3) 系统升级与运维管理不到位: 随着污水处理工艺优化, 控制系统未及时进行软硬件升级, 无法适配新的工艺需求; 运维人员专业技能不足, 缺乏自动化控制设备检修、编程调试能力, 且未建立完善的运维管理制度, 导致系统运行隐患无法及时排查和解决。

3 污水处理厂自动化控制系统优化设计

3.1 优化设计原则与目标

(1) 优化设计原则: 可靠性为首要原则, 选用成熟稳定、抗干扰能力强的设备和技术, 确保控制系统连续稳定运行, 避免因系统故障影响污水处理工艺; 节能性原则聚焦设备能耗优化, 通过优化控制策略和设备参数, 降低水泵、风机等核心设备能耗, 实现节能降耗; 可扩展性原则兼顾未来工艺升级需求, 预留充足的I/O点位和通信接口, 便于后续新增监测设备、扩展控制功能, 降低系统升级成本。(2) 优化设计目标: 核心目标是提升工艺参数控制精度, 将溶解氧、pH值等关键参数的控制误差控制在±5%以内, 确保出水水质稳定达标; 降低系统整体能耗, 通过优化控制策略和设备运行状态, 使水泵、风机等设备能耗降低10%以上; 简化运维流程, 通过智能故障诊断、数据可视化等功能, 缩短故障排查时间, 降低运维人员工作强度, 提升运维效率。

3.2 硬件系统优化设计

(1) 传感器与变送器选型升级: 淘汰精度不足、老化严重的传感器, 选用高精度、抗干扰、稳定性强的产品, 溶解氧传感器选用荧光法传感器, 测量精度提升至±0.1mg/L, pH传感器选用防腐型, 确保在复杂污水环境下稳定工作; 变送器统一选用标准4-20mA信号输出, 提升信号传输的稳定性和兼容性, 同时新增浊度、COD等关键监测传感器, 完善感知层监测体系。(2) PLC控制器扩容与模块更新: 更换运行老化的PLC控制器, 选用高性能工业级PLC, 提升数据处理速度和逻辑运算能力; 对PLC模块进行全面更新, 新增数字量、模拟量I/O模块, 扩容I/O点位至原有数量的1.5倍, 满足新增监测点和控制设备的需求; 新增PLC冗余模块, 实现主备切换功能, 避免因单一PLC故障导致系统瘫痪, 提升系统可靠性^[3]。(3) 工业通信网络优化: 摒弃原有单一通信链路, 搭建工业以太网冗余环网, 采用PROFINET通信协

议,提升数据传输速率和稳定性,传输延迟控制在10ms以内;在关键设备和控制节点处设置冗余通信接口,确保当某一条通信链路出现故障时,系统能自动切换至备用链路,保障数据传输不中断;优化网络拓扑结构,减少通信干扰,提升整个通信网络的抗干扰能力和可靠性。

3.3 软件系统优化设计

(1) 控制算法优化:取代原有滞后的传统PID算法,采用模糊PID算法,结合污水处理工艺的动态变化特点,通过模糊控制规则自动调整PID参数,实现对溶解氧、液位等关键参数的精准调节,减少参数波动,提升控制精度;针对污水水质、水量波动较大的问题,加入自适应调节功能,使算法能根据实时工况自动优化,增强系统的适应性。(2) 组态软件升级与界面重构:升级现有组态软件,选用功能更完善、操作更便捷的工业组态软件,重构监控界面,实现工艺流程可视化、参数实时显示、历史曲线查询等功能;新增工艺参数趋势分析、能耗统计、故障报警记录等模块,提升界面的实用性和操作便捷性;优化界面操作逻辑,简化运维人员操作步骤,降低操作难度。(3) 数据采集与分析系统优化:完善数据采集机制,扩大数据采集范围,实现对各工艺单元、设备运行参数的全面采集,确保数据的完整性和实时性;搭建数据存储与分析平台,对采集的运行数据进行深度分析,挖掘数据背后的工艺规律,为工艺优化、设备维护提供数据支撑;新增数据异常预警功能,当参数出现异常时,提前发出预警,便于工作人员及时处理^[4]。

3.4 各工艺单元控制策略优化

(1) 预处理单元自动化控制优化:优化格栅、沉砂池的控制逻辑,根据污水流量自动调节格栅运行频率和沉砂池搅拌速度,避免能源浪费;新增格栅堵塞监测功能,当格栅出现堵塞时,自动发出报警并启动清洗装置,确保预处理环节稳定运行;实现预处理单元设备的联动控制,提升预处理效率,为后续生化处理提供良好的进水条件。(2) 生化处理单元溶解氧(DO)控制优

化:基于模糊PID算法,优化好氧池溶解氧控制策略,根据进水水质、水量及微生物代谢情况,自动调节曝气量,使溶解氧浓度稳定在1.5-2.5mg/L的最佳范围,提升生化处理效果;实现厌氧池、缺氧池、好氧池的联动控制,优化回流比调节逻辑,减少能耗的同时,提升脱氮除磷效率^[5]。(3) 消毒与深度处理单元加药控制优化:优化消毒环节紫外线灯管的运行控制,根据污水流量和水质自动调节灯管开启数量,避免过度消毒造成的能源浪费;在深度处理加药环节,采用流量配比加药控制策略,根据过滤后污水的浊度、COD等参数,自动调节加药量,确保加药精准,提升深度处理效果,同时减少药剂消耗,降低运行成本。

结束语

本文围绕污水处理厂水处理工艺自动化控制系统优化展开全面研究,明确了系统现存核心问题及成因,完成了硬件、软件及各工艺单元控制策略的优化设计。该优化方案可有效解决原有系统短板,提升参数控制精度与系统运行稳定性,降低能耗和运维成本。后续可结合智能化技术进一步完善系统,推动污水处理自动化控制向更高效、更智能的方向发展,助力生态环境保护与绿色发展。

参考文献

- [1]葛玉菁.污水处理工程的网络通讯系统设计[J].智能建筑,2021,9(5):57-59.
- [2]沈森尧,刘忆非.基于自动化控制水处理系统探讨[J].河南建材,2023,18(11):206-209.
- [3]汤军.城市污水处理厂提升泵站自动化控制系统[J].现代工业经济和信息化,2021,11(1):57-59.
- [4]杨丛富.城市污水处理厂污水提升泵自动化控制系统[J].科技传播,2024,20(7):124-126.
- [5]董跃衍.关于城市污水处理厂污水提升泵站自动控制系统的探究[J].中国科技投资,2023,26(29):304-307.