

基于智慧化的污水厂运行调控策略优化

武玲旭

武汉圣禹智慧生态环保股份有限公司 湖北 武汉 430000

【摘要】：智慧化污水厂运行调控策略能够显著提升处理效率和运行稳定性。传统污水厂依赖经验调控，存在能耗高、负荷波动处理不稳定等问题。通过引入智能监控系统 and 数据驱动算法，对流量、浓度及能耗进行实时监测与分析，实现调控参数优化和运行策略调整。实施优化策略后，污水处理效率提升，能耗降低，运行稳定性增强，为污水厂的智能化升级提供有效参考。

【关键词】：智慧化；污水厂；运行调控；策略优化；智能控制

DOI:10.12417/2811-0536.26.08.007

引言

污水处理行业面临处理效率提升和能耗控制的双重压力。传统依赖经验的运行模式难以应对水质波动和负荷变化，导致处理不稳定及能源浪费。智能化监控与优化调控策略可以通过实时数据分析和模型预测，实现调控精度提升和资源优化分配。结合智能算法对污水厂流量、浓度及设备运行状态进行优化，能够有效改善运行效率和水质稳定性，同时降低能耗。对污水厂实施智慧化调控，不仅提高了管理水平，也为可持续发展提供技术支撑。

1 污水厂运行现状与调控需求分析

1.1 传统运行模式的能耗与效率问题

传统污水厂运行依赖固定工艺流程和经验调控，缺乏动态响应能力，导致能源消耗显著偏高。设备负荷在不同运行阶段不均衡，曝气系统与污泥回流的能量利用效率低下，泵、风机和鼓风机等关键设备存在过度运行或低效运行情况。能耗高的同时，处理效率受制于工艺稳定性，难以在水质波动时维持出水标准。污水厂调控策略单一，缺乏多目标优化机制，无法实现能耗、处理效率和运行成本的协调统一。传统模式中运行参数调整依赖经验判断，无法充分利用实时数据进行精细化管理，使运行资源利用率和经济效益均存在提升空间。

1.2 污水水质波动及处理稳定性分析

污水水质随时间、区域和季节变化呈现较大波动，主要体现在流量波动、污染物浓度不稳定以及营养物质负荷变化^[1]。现有调控手段难以实现快速响应和实时调整，导致生物处理单元负荷波动明显，出水水质时有超标风险。水力停留时间、曝气量和污泥浓度等关键指标无法根据水质波动进行动态优化，生物反应效率下降，污泥沉降性能和处理系统稳定性受到影响。水质波动对系统运行的冲击传递到下游工艺环节，造

成整体处理链的不均衡运行，进而增加化学药剂投加和能源消耗，降低系统经济性和环保效益。

1.3 智能化调控的必要性与可行性

智能化调控策略通过实时数据采集、动态模型预测和算法优化，实现对流量、污染物浓度及关键设备运行状态的精准调控。数据驱动的决策机制可对污水厂各工艺单元进行协同调节，提高水质稳定性和能耗效率。智能控制系统能够基于历史和实时数据建立预测模型，动态调整曝气、污泥回流及药剂投加策略，实现负荷波动的快速响应。先进的传感器技术和信息化平台保障了数据采集的准确性与连续性，为智能调控提供可靠基础。应用智慧化策略可以在保障出水水质的前提下，优化能源利用、降低运行成本并提升系统整体运行稳定性，体现技术可行性与经济性兼顾的优势。

2 数据监测与信息采集技术优化

2.1 流量及水质实时监测方法

污水流量和水质参数实时监测是优化调控策略的基础，需通过高精度流量计、在线水质分析仪和自动采样系统实现对污水进出厂流量、悬浮物浓度、化学需氧量、氨氮及磷等关键指标的连续监控。采用多点布局和高频数据采集技术，可准确捕捉水量和污染物浓度的短期波动，支持工艺动态响应。数据处理环节通过边缘计算对采集信号进行实时滤波、去噪和校正，确保监测结果的稳定性和可靠性。结合时序分析和趋势预测方法，可对突发高负荷或异常水质进行预警，为调控策略提供科学依据。高精度实时监测不仅提高了工艺响应灵敏度，也为能耗优化和污泥控制提供关键数据支撑，显著增强污水厂运行的智能化管理能力。

2.2 关键设备运行状态采集

关键设备运行状态的精确采集是实现智慧化调控的核心环节。通过安装电流、电压、振动、温度及压

力传感器，能够对曝气机、泵、回流系统及鼓风机等设备的运行状态进行全面监测。数据采集系统需具备高采样率和低延迟特性，保证动态负荷变化下设备参数的完整性。同时，利用工业通讯协议和物联网接口，将设备运行数据实时传输至监控平台，实现工艺与设备的协同监控。对运行异常的快速识别和记录，为运行参数优化提供依据，并可结合历史运行数据建立设备健康评估模型，实现预测性维护^[2]。关键设备状态采集技术不仅保证调控策略执行的可靠性，还支持动态负荷分配和能耗管理，为优化运行效率提供技术保障。

2.3 数据完整性与准确性保障措施

数据完整性与准确性是实现智能调控策略有效性的前提。需建立多层数据验证机制，包括传感器标定、数据冗余采集、异常值检测和自动纠错算法，确保采集数据无遗漏且具备高精度。通过时空关联分析可发现数据偏差和传感器故障，及时修正异常数据，保障调控模型输入的可靠性。数据存储与传输环节采用加密和校验技术，防止信号丢失或信息干扰，同时保证历史数据的可追溯性。结合机器学习算法对监测数据进行趋势预测和异常检测，可进一步提升数据质量和决策精度。高完整性与高准确性的监测数据为污水厂优化调控策略提供可靠支撑，提升系统运行稳定性和处理效率，为智能化调控提供坚实基础。

3 智能调控策略设计与优化方法

3.1 基于数据驱动的运行模型建立

数据驱动的运行模型建立以污水厂实时监测数据为核心，通过多维度参数的统计分析与机器学习方法构建动态响应模型。模型输入包括水流量、污染物浓度、溶解氧、温度及关键设备运行参数，输出为工艺单元负荷、出水水质指标和能耗水平。通过数据预处理、异常值剔除及特征提取，提高模型对复杂非线性关系的识别能力。利用时间序列分析与回归模型可实现对水质波动的短期预测，为曝气系统、污泥回流和药剂投加提供精准控制参考。模型训练阶段采用历史数据与实时数据融合方法，提升模型在不同运行条件下的适应性与泛化能力，同时结合自适应权重调整优化预测精度。运行模型能够动态反馈运行偏差，实现参数优化闭环，提高水质稳定性和系统能效，为智能调控策略提供科学、量化的决策基础。模型结构设计兼顾实时性和计算效率，使其在高频数据采集条件下保持快速响应能力，确保对污水厂动态负荷和突发水质变化的及时控制，实现智慧化运行的核心技术支撑。

3.2 参数优化算法在调控中的应用

参数优化算法通过构建多目标优化框架，综合考虑出水水质、能耗和设备运行效率，实现污水厂调控参数的智能匹配。优化算法以运行模型为基础，通过遗传算法、粒子群算法或强化学习等方法搜索最优参数组合，对曝气强度、污泥回流比、流量分配和药剂投加量进行动态调整。算法在每个运行周期内对目标函数进行迭代优化，通过约束条件确保水质指标满足排放标准，同时控制能耗和设备负荷。多目标优化能够处理水质波动、负荷变化及非线性工艺响应的复杂关系，提高系统整体运行效率^[3]。优化策略结合实时数据和预测模型，可在短时间内快速响应流量变化和污染物浓度波动，实现动态参数更新。参数优化算法还支持敏感性分析和参数稳定性评估，为运行策略提供可靠性验证，确保调控方案在不同负荷工况下均能保持稳定执行，提高智能化控制效果和系统经济性。

3.3 运行策略动态调整与控制流程

运行策略动态调整通过建立连续闭环控制流程，实现对污水厂各工艺单元的实时协调调控。控制流程以实时监测数据和运行模型输出为输入，通过调度算法自动计算各设备运行参数，实现曝气量、污泥回流、泵送流量和药剂投加的动态调整。动态调整流程包括数据采集、信号处理、模型预测、参数优化、执行指令下发及反馈监测六个环节，保证每一环节数据准确传递并及时响应负荷波动。控制策略通过优先级管理和约束条件优化，实现出水水质稳定、能耗最小化和设备负荷均衡。异常状态识别机制结合模型预测与实时监测，能够快速调整控制策略，避免工艺紊乱或能耗浪费。动态调整流程实现了调控策略的自动闭环执行，能够应对短期水质波动和负荷波动，同时支持多目标优化，确保污水厂在不同运行条件下维持高效、稳定和节能运行，为智慧化污水厂提供可靠技术路径和实践依据。

4 智慧化运行效果评估与实践应用

(1) 污水处理效率提升分析：智慧化调控系统通过实时数据监测与动态模型预测，实现对污水流量、污染物浓度和关键工艺参数的精细控制。优化后的曝气系统和污泥回流策略能够在水质波动条件下维持生物反应效率稳定，提高污染物去除率。污水处理单元负荷得到均衡分配，出水水质指标如化学需氧量、氨氮和总磷的达标率显著提升。动态调整策略通过短周期响应控制，减少水力停留时间和生物反应不均匀造成的处理效率下降。结合数据驱动的运行模型和参数

优化算法,可实现各工艺单元协同作用,使污水处理效率在高峰负荷和低负荷条件下均保持优良水平,从而提升整个污水厂的处理能力和环境效益。

(2) 能耗降低与经济性评估:智能调控策略通过优化曝气量、泵送流量和污泥回流比,显著降低运行能耗。高精度传感器和实时数据分析使能源消耗与水质负荷实现匹配,减少设备过度运行和低效工况^[4]。多目标优化算法兼顾水质指标和能耗控制,对设备运行时间和负荷分配进行精细调度,降低电力消耗并提升运行经济性。结合动态调控流程,可根据负荷波动调整曝气和回流策略,实现能源利用效率最大化。经济性评估显示,在维持出水水质标准的同时,整体运营成本下降,设备磨损减少,维护频率降低,为污水厂智能化运行提供可量化的经济效益支撑。

(3) 运行稳定性与异常情况处理:智慧化控制系统通过连续闭环监控,实现运行参数的动态调整,确保工艺单元负荷均衡和出水水质稳定。实时监测数据与预测模型结合,可快速识别异常水质波动、设备故障或突发高负荷情况,并自动调整曝气、回流和药剂投加策略。异常状态处理机制包括数据验证、预警触发和调控优化,确保系统在不同负荷工况下保持稳定运行。策略优化与动态调整相结合,使污水厂能够在连续运行条件下应对不确定性负荷,减少处理效率下降和能耗浪费,提升整体系统稳定性和安全性,为长期智能化运行提供可靠保障。

5 综合优化策略总结与运行改进

(1) 多指标综合优化评价体系:多指标综合优化评价体系以出水水质、能耗、设备负荷及系统稳定性为核心,通过建立定量化评价模型对污水厂运行效果进行全方位分析。指标体系涵盖污染物去除率、能耗效率、运行成本和设备健康状态,通过权重分配实现不同目标的平衡,确保评价结果科学合理。采用实时数据与历史运行数据结合的方式,动态更新评价指标,

实现对工艺单元及整体系统的多维度评估。系统能够通过分析各指标之间的相关性与约束关系,优化调控策略,实现水质达标与能耗控制的双重目标。

(2) 优化策略对运行管理的提升:优化策略在运行管理中实现了调控精度和响应速度的显著提升。通过智能控制与参数优化结合,可实时调整曝气量、污泥回流比及药剂投加量,使工艺单元负荷保持均衡,出水水质波动显著减少^[5]。策略优化通过多目标约束条件和实时数据反馈,实现能源消耗最小化与处理效率最大化的平衡。管理系统能够在异常负荷和水质变化时,自动调整控制方案,减少人工干预,提高调度效率与管理科学性。优化策略还支持设备运行状态监控与预测性维护,为长周期稳定运行提供保障,增强运行管理的精细化和系统化水平。

(3) 实践应用经验与调整策略:实践应用表明,智慧化调控策略在长期运行中能够有效应对水质波动、负荷变化及设备运行差异。策略实施过程中通过动态模型和参数优化持续调整运行方案,使曝气系统、污泥回流及药剂投加保持高效匹配。运行数据反馈与异常监控机制能够及时识别潜在问题并进行调整,保证工艺单元协调运行。长期实践中积累的数据和调控经验为优化算法迭代提供支持,提升调控策略适应性和精度。通过持续分析运行效果与策略执行情况,可实现多指标目标的动态优化,确保污水厂在高效、稳定和经济运行条件下持续提升整体性能,体现智慧化运行的技术优势和应用价值。

6 结语

智慧化污水厂运行调控策略优化提升了污水处理效率与能耗控制精度,构建了数据驱动的动态调控体系。通过实时监测、参数优化与闭环控制流程,实现了系统负荷均衡与水质稳定达标,增强了运行稳定性与经济性,为提升污水处理系统运行质量与资源利用效率奠定了坚实基础。

参考文献:

- [1] 马兴冠,马踊扬,刘娇,马欢.基于数字孪生技术的智慧污水厂元宇宙平台框架设计[J].环境工程,2025,43(8):270-279.
- [2] 李钢.基于智慧水务的污水厂自控系统研究[J].印染助剂,2025,42(9):37-41.
- [3] 薛冰峰,张希,刘陈峰.水利工程智慧化运行管理方式的探索与分析[J].中国科技期刊数据库工业 A,2025(9):068-071.
- [4] 王宁.污水厂节能降耗的设备选型与运行调控[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2025(5):047-050.
- [5] 严兴,李碧清,王楚佳,廖茂荫,雷芳,黄梓晴.广州某典型分期建设污水厂的高效调试和运行调控技术[J].净水技术,2024,43(7):111-118+140.