

水厂自动化控制系统升级与运行稳定性优化

张 阳

北京市自来水集团大兴分公司 北京 102401

摘要：为解决水厂自动化控制系统运行稳定性不足、管控效率偏低的问题，本文系统分析现有控制系统的架构、运行成效及制约稳定性的关键因素。基于智能感知、先进控制算法、工业通信等核心技术选型，设计涵盖硬件升级、软件重构、系统集成的完整升级方案，同时建立设备全生命周期管理、网络安全防护、运维能力提升的稳定性保障机制。实践表明，该升级与优化方案可有效解决系统卡顿、数据丢失等问题，提升系统运行可靠性与智能化水平。

关键词：水厂；自动化控制；系统升级；技术选型；方案设计；运行稳定性优化策略

引言：随着城市化进程加快，供水需求持续增长，对水厂自动化控制系统的稳定性、智能化提出更高要求。当前多数水厂自动化控制系统存在硬件老化、软件算法局限、网络通信瓶颈等问题，导致运行故障频发，影响供水质量与效率。因此，开展水厂自动化控制系统升级与运行稳定性优化研究具有重要现实意义。本文通过剖析系统现状与现存问题，选型适配的关键技术，设计科学可行的升级方案及保障机制，助力水厂实现高效、稳定、智能的运行管控。

1 水厂自动化控制系统现状分析

1.1 现有系统架构与功能模块

水厂现有自动化控制系统采用“集中监控+分散控制”架构，以PLC控制器为核心，覆盖取水、净水、输配水全流程。取水环节设水源监测与水泵控制模块，实时采集水位、流量、浊度数据，自动调控取水机组运行；净水环节包含混凝、沉淀、过滤、消毒四大模块，实现药剂投加、沉淀池排泥、滤池反冲洗的自动控制；输配水环节搭载管网监测与加压泵站控制单元，动态匹配供水需求。各模块通过工业以太网互通数据，中央监控室实现全流程可视化监控与远程操作，形成“采集-分析-调控-反馈”的闭环运行逻辑。

1.2 运行成效与现存问题

现有系统成效显著，可实时监测pH值、浊度等关键水质指标，提升设备调度自动化水平，减少人工干预，能耗管控较传统人工控制有明显改善。但系统稳定性存在突出短板：用水高峰期易卡顿，关键监测数据偶发丢失，导致水质调控滞后；设备联动故障频发，滤池反冲洗与药剂投加不同步、加压泵站与管网压力调控脱节；核心根源在于系统响应慢、数据传输不稳定、设备协同逻辑不完善。

1.3 制约稳定性的关键因素

制约系统稳定性的深层次因素有四方面：（1）硬件设备老化，部分传感器、控制器超期使用，测量精度下降，易引发故障；（2）软件算法局限，传统算法适配性不足，难以应对水质、水量波动的复杂工况；（3）网络通信瓶颈，工业以太网抗干扰能力弱，易受现场电气设备干扰导致数据传输中断；（4）运维管理缺失，缺乏系统的设备巡检、校准与故障预判机制，故障排查不及时，加剧系统稳定性隐患，为后续升级优化明确了方向^[1]。

2 自动化控制系统升级关键技术选型

2.1 智能感知与数据采集技术

智能感知与数据采集是系统升级基础，核心是筛选适配水厂高湿度、强腐蚀、工况波动大特点的感知设备，保障源头数据精准可靠，具体选型如下：（1）水质传感器选型：pH值传感器选用玻璃电极式，测量范围0-14pH、精度 ± 0.01 pH，具备自动温度补偿功能；浊度传感器采用激光散射式，测量范围0-1000NTU、精度 $\pm 1\%$ FS，抵御水中悬浮物干扰；余氯传感器选用膜电极式，测量范围0-5mg/L、响应时间 ≤ 10 s，具备抗有机物干扰能力，替代传统比色法减少误差。（2）流量监测设备选型：取水环节选用电磁流量计，测量范围0-500m³/h、精度 $\pm 0.5\%$ FS，适配原水流量波动；净水环节选用超声波流量计，非接触式安装，测量范围0-200m³/h、精度 $\pm 1\%$ FS，避免管道腐蚀影响；输配水环节选用涡街流量计，具备压力补偿功能，测量范围0-1000m³/h、精度 $\pm 0.8\%$ FS，为加压调度提供支撑。（3）设备状态监测装置选型：水泵、风机等设备采用振动与温度传感器组合监测，振动传感器测量范围0-100mm/s、精度 ± 0.1 mm/s，温度传感器测量范围-40℃-150℃、精度 ± 0.5 ℃；阀门、执行器选用位置反馈式监测装置，反馈精度 $\pm 0.5\%$ ，避免设备故障导致工艺中断。

2.2 先进控制算法与软件架构

结合水厂工艺特点,选型适配性强、精度高的先进算法,搭配灵活可拓展的软件架构,替代传统控制模式,具体选型如下:(1)先进控制算法选型:混凝环节选用模糊控制算法,无需精确数学模型,根据原水浊度、流量波动自动调整药剂投加量,控制精度较传统PID算法提升15%-20%;过滤、消毒环节选用神经网络控制算法,通过学习历史数据预判水质水量变化;输配水环节选用模型预测控制算法,调控加压泵站负荷,减少管网压力波动。(2)软件架构选型:采用微服务+容器化架构,拆分数据采集、工艺控制等独立模块,各模块可独立部署升级;选用Docker容器化部署,实现环境标准化;搭建统一数据中台,整合监测数据,软件平台支持二次开发,适配后续工艺升级。(3)软件核心组件选型:监控软件选用WinCC或Intouch,支持多客户端访问与报警联动;控制软件选用STEP7,适配PLC控制器,支持多种算法编程;数据分析软件用Python搭建,集成数据清洗、故障预判等功能。

2.3 工业网络与通信技术革新

针对原有网络短板,结合水厂布局,选型适配的工业网络与通信技术,搭建高速低延迟、抗干扰的通信网络,具体选型如下:(1)工业以太网选型:核心区域与各工艺段主控单元采用千兆工业以太网,环网拓扑结构,传输速率1000Mbps、延迟 $\leq 1\text{ms}$,具备冗余备份功能;选用工业级交换机,具备抗电磁干扰、防水防尘特性,支持POE供电,减少布线成本。(2)无线通信技术选型:偏远监测点选用工业级5G模块,传输速率 $\geq 100\text{Mbps}$ 、延迟 $\leq 10\text{ms}$,实现数据实时上传与远程控制;近距离设备间选用工业无线WIA-PA技术,传输距离 $\leq 1000\text{m}$,抗干扰能力强,避免布线受工艺改造影响。(3)通信安全与优化:采用防火墙、VPN加密技术保障数据安全;搭建网络监测平台,实时排查拥堵、中断问题;优化通信协议为ModbusTCP/IP标准协议,提升设备兼容性,减少传输错误^[2]。

3 水厂自动化控制系统升级方案设计

3.1 硬件系统升级规划

结合前期关键技术选型结果,围绕设备更新、冗余设计、兼容性优化三大核心,制定针对性硬件升级方案:(1)关键设备更新:逐步替换老化、精度不足的硬件设备,取水、净水、输配水各环节统一更换选型确定的激光散射式浊度传感器、膜电极式余氯传感器等智能感知设备,同步更新配套数据采集模块,保障数据采集精准性;将原有老旧PLC控制器替换为高性能工业级PLC,提升数据处理与指令执行速率,新增PLC扩展模

块,满足新增功能的硬件支撑需求;更换低效、高能耗的水泵、阀门执行器,搭配位置反馈式监测装置,实现设备运行状态实时反馈。(2)冗余备份设计:核心控制环节采用双机热备模式,部署两台高性能PLC控制器,主备控制器实时同步运行数据,主控制器故障时,备用控制器可在100ms内自动切换,避免系统中断;关键传感器、通信模块均配备备用设备,采用热插拔设计,便于故障快速更换;电源系统采用双回路供电,搭配UPS不间断电源,保障突发停电时核心设备正常运行,防止数据丢失。(3)硬件兼容性优化:梳理现有硬件设备型号与接口标准,确保新增设备与原有可复用设备接口统一,选用支持ModbusTCP/IP标准协议的硬件产品,减少兼容性冲突;全面检测原有设备,筛选性能达标、可复用的设备进行接口适配改造,降低升级成本^[3]。

3.2 软件系统重构与功能拓展

以提升系统智能化、实用性为核心,重构软件系统架构,嵌入先进控制算法,拓展实用功能,实现软件与硬件的高效适配,具体方案如下:(1)软件系统重构:采用微服务+容器化架构重构软件系统,拆分数据采集、工艺控制、设备管理、数据分析等独立模块,各模块可独立部署、升级,降低系统耦合度;嵌入模糊控制、神经网络、模型预测等先进控制算法,优化参数适配水厂各工艺工况,替代传统单一控制算法,提升控制精度;统一数据格式与接口标准,搭建数据中台,整合各环节监测数据,实现数据共享与高效处理。(2)人机交互优化:重构监控界面,采用模块化设计,清晰展示全流程运行数据与设备状态,支持自定义布局;优化操作流程,简化参数设置、指令下达等步骤,新增操作权限分级管理,按岗位分配权限保障操作安全;新增数据可视化图表,支持历史数据查询与趋势分析,方便工作人员直观掌握系统运行状态。(3)功能拓展:新增远程监控功能,支持电脑端、移动端访问,实现无人值守场景下的远程查看与指令下达;开发故障预警模块,基于设备运行数据,通过数据分析预判故障与数据异常,及时发出声光报警并推送至工作人员。

3.3 系统集成与调试策略

遵循“分步实施、严谨测试、无缝衔接”原则,设计系统集成流程,制定科学调试方案,确保升级后系统稳定运行、适配生产需求,具体策略如下:(1)系统集成流程:先完成硬件安装、布线与固定,开展硬件单机调试,确保各设备单独运行正常;再部署软件系统,完成软硬件对接,配置通信参数与控制逻辑,实现协同运行;最后整合各子系统,搭建完整自动化控制系统,完

成整体集成。(2)科学调试方案:开展软硬件联调,测试数据采集与指令执行准确性,排查兼容性问题并优化参数;进行多子系统协同测试,模拟实际生产工况,调整控制逻辑确保子系统无缝衔接;开展模拟实战演练,模拟设备故障、水质波动、停电等突发场景,测试系统应急响应与冗余备份功能,优化故障处理流程。(3)调试验收标准:制定明确验收指标,确保数据采集精度、指令执行延迟、系统稳定性等符合生产要求;调试完成后进行72小时连续试运行,记录运行数据排查潜在故障^[4]。

4 运行稳定性优化策略与保障机制

4.1 设备全生命周期管理

以设备可靠运行为核心,建立全流程闭环管理体系,具体优化策略如下:(1)建立设备健康档案,详细记录各硬件设备的型号、安装时间、校准记录、故障历史、维护记录等信息,实现设备信息可追溯、可查询,为设备管理提供数据支撑。(2)实施预防性维护,结合设备运行参数与使用年限,制定分级维护计划,定期对传感器、PLC控制器、水泵等关键设备进行清洁、校准、润滑,提前排查潜在故障隐患。(3)依托大数据分析技术,整合设备运行状态数据,建立故障预判模型,实时监测设备振动、温度等关键指标,提前预判设备磨损、过载等故障,同步制定快速修复流程,明确故障响应时限与处理步骤,实现故障闭环处置。

4.2 网络安全防护体系构建

针对工业网络安全风险,构建多重防护体系,保障系统网络安全稳定,具体策略如下:(1)部署工业级防火墙,划分网络区域,设置访问权限,拦截非法访问与恶意攻击,隔离控制网与办公网,避免办公网风险传导至控制网。(2)安装入侵检测与防御系统,实时监测网络数据传输,及时发现异常访问、病毒入侵等风险,自动发出报警并采取阻断措施,同时对核心数据进行加密传输与备份,防止数据泄露、篡改。(3)制定完善的网络安全应急预案,明确网络中断、病毒入侵等突发情况

的处置流程、责任分工,定期开展网络安全应急演练,提升应急处置能力,减少安全事件对系统运行的影响。

4.3 运维管理与人员能力提升

优化运维管理模式,强化人员能力建设,为系统稳定运行提供人力保障,具体策略如下:(1)优化运维管理流程,明确各岗位运维职责、工作标准与响应机制,建立运维台账,规范故障上报、排查、处置、复盘全流程,提升运维效率。(2)开展针对性专业技能培训,内容涵盖新设备操作、软件系统应用、故障排查、网络安全等,邀请技术专家现场指导,提升运维人员专业素养。(3)定期组织应急演练,模拟设备故障、网络中断、水质异常等场景,提升运维人员应急处置能力,打造一支技术过硬、响应迅速、责任到位的运维团队,确保系统出现问题时能够快速处置^[5]。

结束语:本文围绕水厂自动化控制系统升级与运行稳定性优化展开研究,完成了系统现状分析、关键技术选型、升级方案设计及稳定性保障机制构建,有效解决了现有系统存在的稳定性短板。通过硬件更新、软件重构与运维优化,实现了系统运行效率与可靠性的提升。后续可结合大数据、人工智能技术进一步优化控制法,提升系统自适应能力,本次研究成果可为同类水厂自动化控制系统升级提供参考。

参考文献

- [1]赵鹏.人工智能技术在自来水厂电气自动化控制系统中的应用研究[J].自动化应用,2025,66(16):23-25.
- [2]沈健.供水厂电气自动化系统优化设计研究[J].新潮电子,2026(4):211-213.
- [3]陆伟.水厂自动化控制系统优化设计与应用研究[J].电子元器件与信息技术,2025,9(10):195-197.
- [4]张才.智慧水厂自动化运行管理系统的集成优化研究[J].建筑工程与设计,2025,4(12):237-238.
- [5]蔡兆茜.基于PLC的供水厂自动化控制系统优化策略研究[J].新潮电子,2026(2):154-156.