

# 基于 PLC 的智能水处理系统 电气控制方案设计与优化

薛 权

(南京中电智慧科技有限公司, 江苏 南京 211100)

**摘 要** 本文针对传统水处理系统自动化程度低、控制精度差、能耗较高等问题, 设计并优化了基于 PLC 的智能水处理系统电气控制方案。通过梳理典型水处理工艺流程, 明确电气控制需求与核心控制指标; 完成系统硬件设计, 涵盖 PLC 选型配置、传感器与执行器选型、硬件电路及人机交互与上位机硬件设计; 在此基础上开展软件架构搭建、核心控制程序开发及 HMI 界面; 同时提出能耗优化、控制精度优化及故障诊断与容错优化三类核心策略; 最后通过硬件调试、软件调试及性能验证完成方案验证。结果表明: 该方案可有效提升水处理系统的自动化水平与控制精度, 降低能耗, 具备良好的实用性与可靠性, 能稳定适配实际水处理工况需求。

**关键词** 水处理行业; 水处理系统; PLC; 智能水处理; 电气控制

**中图分类号:** TP3; TP27; X7

**文献标志码:** A

**DOI:** 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.09.012

## 0 引言

在“双碳”目标引领下, 节能减排成为水处理行业转型升级的核心方向, 传统水处理系统的弊端愈发凸显。这类系统多采用人工控制或简单的继电器控制模式, 不仅控制精度低、响应速度慢, 导致出水水质波动较大, 难以稳定满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749-2022) 等最新标准要求, 还存在能耗高、故障排查困难、运维成本居高不下等问题, 严重制约了水处理行业的高效可持续发展。可编程逻辑控制器 (PLC) 具有可靠性高、抗干扰能力强、编程灵活、易于扩展等核心优势, 已广泛应用于工业自动化控制领域, 为水处理系统的智能化升级提供了关键技术支撑。基于此, 本文设计基于 PLC 的智能水处理系统电气控制方案, 通过科学的硬件优化配置、精准的软件控制及针对性的优化策略, 提升水处理系统的运行效率与稳定性, 降低运维成本与能耗, 助力水处理行业实现绿色低碳发展, 为水资源循环利用提供可靠技术保障。

## 1 智能水处理系统工艺流程与控制需求分析

### 1.1 典型水处理工艺流程梳理

典型水处理工艺流程主要包括原水取水、预处理、深度处理、消毒杀菌及清水储存与输送五个核心环节。原水经取水构筑物进入预处理阶段, 通过格栅去除大颗粒杂质, 再经沉淀池实现悬浮杂质的初步沉降; 预

处理后的水进入深度处理阶段, 采用过滤、超滤等工艺去除微小杂质与污染物; 深度处理后的水经消毒杀菌工艺 (紫外线消毒、氯气消毒) 杀灭有害微生物; 最终经清水池储存后, 由加压泵输送至用水点或管网。各环节紧密衔接, 任一环节的运行状态直接影响出水水质与系统整体运行效率<sup>[1]</sup>。

### 1.2 电气控制需求分析

结合工艺流程, 系统电气控制需满足以下核心需求: 一是实现各工艺环节设备的联动控制, 确保流程顺畅衔接, 如格栅除污机与沉淀池进水泵的协同运行; 二是具备精准的参数调节能力, 根据原水水质、水量变化实时调整设备运行参数, 保障出水水质达标; 三是实现系统运行状态的实时监测与数据采集, 包括水质参数、设备运行参数等; 四是具备故障报警与应急处理功能, 当设备故障或参数超标时, 能及时发出报警信号并执行预设应急措施; 五是具备良好的人机交互能力, 方便操作人员进行参数设置、状态监控与故障排查。

### 1.3 控制指标确定

基于水处理工艺要求与水质标准, 确定系统核心控制指标如下: 水质指标包括浊度 ( $\leq 1$  NTU)、pH 值 (6.5 ~ 8.5)、余氯含量 (0.3 ~ 0.5 mg/L); 运行参数指标包括各水泵运行压力 (0.3 ~ 0.5 MPa)、流量 (根据实际工况动态调整)、格栅除污机运行频

**作者简介:** 薛权 (1989-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 工程类电气及其自动化设计。

率(5~15 r/min); 能耗指标包括单位水处理能耗( $\leq 0.5 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ )。这些指标为电气控制方案的设计与优化提供了明确依据。

## 2 基于 PLC 的智能水处理系统硬件设计

### 2.1 PLC 选型与硬件配置

综合考虑系统控制规模、功能需求及可靠性要求, 选用西门子 S7-1200 系列 PLC (型号为 CPU1214C) 作为核心控制器。该型号 PLC 具备 14 个数字量输入点、10 个数字量输出点, 支持 4 个模拟量输入通道与 2 个模拟量输出通道, 可满足系统对各类信号的采集与控制需求; 同时具备良好的扩展能力, 可通过扩展模块

增加 I/O 点数, 适应后续系统升级。硬件配置还包括电源模块、信号隔离模块、通信模块等, 电源模块为 PLC 及其他硬件设备提供稳定供电, 信号隔离模块用于隔离外部干扰信号, 保障信号传输的准确性, 通信模块实现 PLC 与上位机、HMI 的双向通信<sup>[2]</sup>。

### 2.2 传感器与执行器选型

根据控制指标与工艺需求, 精准选型传感器与执行器, 具体参数如表 1 所示。传感器负责采集各类水质与运行参数, 为控制决策提供数据支撑; 执行器根据 PLC 发出的控制指令调整运行状态, 实现对工艺参数的精准调控。

表 1 传感器与执行器选型参数表

设备类型	设备名称	型号规格	测量 / 控制范围	精度等级
传感器	浊度传感器	WTWTurb430T	0 ~ 10 NTU	±0.01 NTU
传感器	pH 传感器	E+HCPS11D	0 ~ 14 pH	±0.01 pH
传感器	压力传感器	SICKPHT-RB	0 ~ 1 MPa	±0.5%
执行器	变频水泵	格兰富 CR32-6	0 ~ 50 m <sup>3</sup> /h	±1%
执行器	电动调节阀	西门子 VAF51.1	0 ~ 100% 开度	±1%

### 2.3 硬件电路设计

硬件电路设计主要包括主电路、控制电路与信号采集电路。主电路采用三相四线制供电, 为水泵、格栅除污机等大功率设备提供动力电源, 电路中配置断路器、接触器、热继电器等保护元件, 实现过载、短路保护; 控制电路以 PLC 为核心, 连接各类按钮、指示灯、继电器等, 实现对设备的启停控制与状态指示; 信号采集电路将传感器输出的模拟信号(4~20 mA 电流信号)经信号隔离模块处理后传输至 PLC 模拟量输入通道, 同时将 PLC 输出的控制信号经放大后传输至执行器, 确保信号传输的稳定性与可靠性。在电路设计过程中, 严格遵循电气设计规范, 合理布局线路, 减少电磁干扰。

### 2.4 人机交互 (HMI) 与上位机硬件设计

选用威纶通 MT8102iE 触摸屏作为 HMI 设备, 该触摸屏具备 10.1 英寸高清显示界面, 支持多点触控, 可实现参数设置、运行状态实时显示、故障报警提示等功能, 通过 RS485 通信接口与 PLC 实现数据交互。上位机选用工业控制计算机, 配置高性能处理器与大容量存储设备, 安装组态王组态软件, 实现对整个水处理系统的集中监控、数据存储、报表生成与远程管理。上位机通过以太网与 PLC 通信模块连接, 构建稳定的通信网络, 确保数据传输的实时性与完整性。

## 3 基于 PLC 的智能水处理系统软件设计

### 3.1 PLC 程序总体架构设计

采取模块化设计思路, 将 PLC 程序拆成主程序、初始化模块、数据采集模块、逻辑控制模块、参数调节模块、故障处理模块及通信模块, 主程序统筹调用各功能模块, 维持程序有序运行; 初始化模块在系统启动时完成 PLC 内部寄存器、I/O 端口的初始配置; 数据采集模块实时收集传感器输出的水质和运行参数, 完成滤波、校准工序; 逻辑控制模块依据工艺要求实现各设备联动控制; 参数调节模块按照采集参数与设定值的偏差, 用 PID 算法调节执行器运行参数; 故障处理模块实时监控设备运行状态, 检测到故障的瞬间, 触发报警信号启动应急处理程序; 通信模块实现 PLC 和 HMI、上位机的数据传输交互。

### 3.2 核心控制程序开发

采用梯形图语言编写核心控制程序, 利于操作人员理解和维护, 聚焦开发 PID 调节程序与联动控制程序, 针对浊度、pH 值、压力等关键参数, PID 调节程序实施精准调节, 调整 PID 参数, 缩减参数超调量和调节时间, 优化控制精度; 联动控制程序统筹各工艺环节设备同步运行, 譬如原水浊度超标, 自动开启格栅除污机高频运行, 加大沉淀池进水泵流量, 强化预处理

成效,为程序配置联锁保护逻辑,当水泵运行压力超标,自动停止运行并打开泄压阀,保障设备安全运转。

### 3.3 HMI 界面设计

HMI 界面采取分层设计逻辑,涉及主界面、参数设置界面、状态监控界面、故障报警界面、历史数据查询界面,主界面清晰呈现系统整体运行状态,囊括各设备启停状态、关键参数实时值;借助参数设置界面,操作人员可设置各类控制参数的上下限、PID 参数等;状态监控界面按环节呈现设备运行参数和水质参数,可实时显示参数曲线;故障报警界面用红色弹窗展示故障设备、故障类型及故障发生时间,同步触发声光报警,给出故障处理方案;历史数据查询界面支持按时间范围检索历史运行数据和故障记录,方便操作人员剖析系统运行规律<sup>[3]</sup>。

## 4 智能水处理系统控制方案优化策略

### 4.1 能耗优化设计

以变频调速技术削减能耗,按原水水量、水质变动调整水泵、风机等设备的运行频率,杜绝设备长期维持额定转速运行引发能耗浪费,清水池水位偏高,降低加压泵运转频率,降低供水量;原水浊度偏低时,减少格栅除污机运行次数,构建能耗监测与分析模型,依托上位机软件统计各设备能耗数据,探究能耗变化规律,为推进能耗优化提供数据依托<sup>[4]</sup>。

### 4.2 控制精度优化

针对传统控制方式中参数调节滞后、精度低的问题,用模糊 PID 控制算法提升控制精度,模糊 PID 算法融合模糊控制和 PID 控制的长处,借助模糊控制器,结合参数偏差和偏差变化率实时调整 PID 参数,适配原水水质、水量的动态变化,降低参数波动,对传感器采集数据做二次滤波,结合使用均值滤波和中值滤波,去除随机干扰信号对控制精度的影响。

### 4.3 故障诊断与容错优化

构建多层次故障诊断体系,借助 PLC 程序实时检测设备运行的电流、电压、温度等参数,凭借传感器采集的工艺参数,判定设备有无故障;用上位机软件分析历史故障数据,提前诊断潜在故障,制定容错控制策略,任一传感器出现故障,依托其他相关传感器数据测算,维持系统正常运转;任一执行器出现故障,自动切换至备用设备,降低故障对系统运行的干扰。

## 5 系统调试与性能验证

### 5.1 硬件调试

硬件调试分单元调试和联机调试,单元调试重点核验各硬件设备的电气性能,确认 PLC 电源输出是否平稳、传感器输出信号是否精准、执行器动作是否迅捷;

联机调试排查各设备连接状态,信号传输有无阻碍,确认 PLC 与 HMI、上位机的通信是否正常,传感器信号能否精准传至 PLC,PLC 控制指令能否有效带动执行器动作,调试开展阶段,及时排查线路接触不良、信号干扰等故障,维持硬件系统正常运转。

### 5.2 软件调试

软件调试采用分步调试加整体调试的方式,分阶段调试:针对各功能模块程序分别调试,检查调试数据采集模块能否精准采集参数,逻辑控制模块能否实现设备的正确联动;整合各模块程序开展整体调试,还原实际运行场景,检查程序运行的稳定性和逻辑性,侧重调试 PID 调节程序控制效果,调校 PID 参数,调试开展阶段,依托 PLC 编程软件的监控功能,实时掌握程序运行状态,检查程序缺陷。

### 5.3 性能验证

在真实水处理场景开展系统性能验证,测试周期定为 72 小时,优先验证系统的控制精度、运行稳定性和能耗指标,验证结论证明:系统出水浊度稳定维持 0.5~0.8 NTU,pH 值稳定维持 6.8~8.2,余氯含量稳定维持 0.35~0.45 mg/L,全部符合控制指标要求;设备运转平稳,未出现重大故障,故障报警响应时间 $\leq 2$  s;处理每立方米水能耗 0.42 kW·h,比传统控制系统少 16%,性能测试结果证实,该系统控制效果出色,节能效益突出<sup>[5]</sup>。

## 6 结束语

本文提出的 PLC 智能水处理系统电气控制方案,依靠科学选型配置硬件、模块化设计软件及针对性优化策略,切实增强水处理系统的自动化水平和控制精准度,减少能耗和运维成本。系统调试与性能验证的结果证明,该方案运行状态稳定可靠,出水水质合格,具备较强实用性和推广潜力。未来,可进一步引入物联网、人工智能技术,实现系统远程智能诊断和自适应控制,提高系统智能水平。

### 参考文献:

- [1] 李权.基于 PLC 的电气自动化控制水处理系统初探[J].数字通信世界,2020(05):136,180.
- [2] 刘远会.基于 PLC 的化工污水处理自动化控制系统设计[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(11):178-180.
- [3] 唐娜娜.基于 PLC 的污水处理控制系统设计[J].南方农机,2022,53(23):185-188.
- [4] 许莹莹,张剑.基于 PLC 的电气自动化模块化控制水处理系统探讨[J].化工管理,2019(01):112.
- [5] 李书操.PLC 在水处理自动化控制系统的应用[J].电子技术,2020,49(01):100-101.