

PLC在水电站闸门启闭机中的应用

雷 闯 张 昊

南水北调中线信息科技有限公司 北京 100000

摘 要：本文探讨可编程逻辑控制器（PLC）在水电站闸门启闭机系统中的应用与优化。以水电闸门安全运行需求为背景，分析传统继电控制的局限性，阐述PLC作为核心控制单元，通过采集水位、开度、流量等传感器数据，执行复杂逻辑运算并驱动启闭机执行机构，实现闸门精准、平稳、安全控制。结合工业现场总线与SCADA组态技术，构建现地与远程监控一体化架构，验证PLC在强干扰环境下的高可靠性、灵活性与扩展性，为水电站自动化运行与智能化调度提供技术支持。

关键词：PLC；水电站；闸门启闭机；应用

引言：闸门与启闭机是水电站调节水流、控制水位、保障防洪与发电安全的核心装备，其控制系统可靠性直接决定电站运行稳定性。传统机械式或继电器式控制存在线路复杂、逻辑僵化、故障检测困难等短板，难以适应现代水电工程对高精度、高可靠与远程运维的需求。随着工业自动化技术发展，PLC以抗干扰强、编程灵活、维护便捷等优势成为主流方案，本文基于工程实践，研究其硬件架构、控制策略及通信集成，剖析其应用价值，推动水电装备控制数字化升级。

1 相关理论与技术基础

1.1 水电站闸门启闭机系统概述

（1）闸门启闭机的分类与工作原理：主要分为卷扬式、螺杆式、液压式三类，卷扬式通过钢丝绳牵引闸门升降，螺杆式依靠螺杆转动驱动闸门，液压式利用液压油缸伸缩实现启闭；核心原理是将电能转化为机械能，精准控制闸门的升降位移与速度，满足水电站泄洪、蓄水等作业需求。（2）闸门启闭机的核心控制要求：需实现精准定位控制，确保闸门到达指定位置后稳定停靠；具备过载、过流、欠压保护功能，防止设备损坏；实现自动化联动控制，可与水电站中控系统协同运行，减少人工干预。（3）启闭机系统的运行工况与安全规范：运行工况包括正常启闭、应急启闭、检修工况，需适应不同水位、荷载条件；安全规范要求定期检修设备、排查隐患，操作人员需持证上岗，严格遵循启闭流程，避免违规操作引发安全事故。

1.2 PLC技术基础

（1）PLC的基本结构与工作原理：由中央处理单元、输入/输出模块、电源模块、通信模块组成；工作原理遵循“输入采样-程序执行-输出刷新”的循环扫描模式，快速响应现场信号，执行预设控制逻辑。（2）PLC

的核心功能与编程特点：核心功能包括逻辑控制、运动控制、数据处理与通信；编程采用梯形图、功能块图等直观语言，可读性强、修改便捷，适配工业现场复杂控制需求，且抗干扰能力强。（3）适用于水电站场景的PLC选型原则：优先选择抗潮湿、抗电磁干扰、耐高温的工业级PLC；根据启闭机控制规模选择合适的I/O点数，预留扩展接口；具备良好的通信兼容性，可与传感器、HMI等设备无缝对接^[1]。

1.3 辅助技术支撑

（1）传感器技术：位置传感器实时监测闸门位移，压力传感器检测启闭机荷载，温度传感器监控设备运行温度，为PLC提供精准的现场数据，保障控制决策的准确性。（2）人机交互（HMI）与通信技术：HMI通过触摸屏实现参数设置、状态显示、故障报警等功能，方便操作人员监控设备；通信技术采用以太网、RS485等协议，实现PLC与中控系统、现场设备的数据交互。（3）变频调速与应急控制技术：变频调速可根据负载变化调节电机转速，降低能耗、减少设备损耗；应急控制技术配备备用电源与手动操作模式，确保突发断电或故障时，启闭机可正常完成应急启闭作业。

2 PLC在水电站闸门启闭机中的系统设计

2.1 系统总体设计方案

（1）设计原则与性能指标：遵循可靠性、安全性、可扩展性、经济性原则，确保系统长期稳定运行，适配水电站复杂工况；性能指标要求定位精度 $\leq \pm 5\text{mm}$ ，启闭速度可调范围 $0.1\text{--}0.5\text{m/s}$ ，系统响应时间 $\leq 0.5\text{s}$ ，具备故障自诊断与应急处置能力，满足24小时不间断运行需求。（2）系统整体架构：监控层由中控室主机、HMI触摸屏组成，负责参数设置、状态监控、数据存储与报表生成；控制层以PLC为核心，接收监控层指令与现场传感

器信号,执行控制逻辑并反馈运行状态;执行层包括电机、液压装置、闸门等执行机构,接收PLC指令完成闸门启闭动作,形成“监控-控制-执行”三级联动架构^[2]。

(3) PLC控制模式确定:采用手动与自动模式冗余设计,自动模式下由PLC根据预设逻辑与现场数据自主控制闸门启闭,手动模式用于检修或应急场景,可人工干预操作;现地控制通过现场操作箱实现,远方控制由中控室统一调度,两者相互备用,确保任一模式故障时,系统仍可正常运行,提升控制可靠性。

2.2 硬件系统设计

(1) PLC核心单元选型与配置:选用工业级中型PLC,配备高性能CPU模块,支持多协议通信,预留10%-20%I/O扩展接口,适配启闭机多模块控制需求;配置电源模块、通信模块,确保PLC稳定供电与数据交互,选用抗电磁干扰、耐潮湿的型号,适配水电站现场环境。(2) 输入/输出模块、传感器与执行机构连接:输入模块连接位置、压力、温度等传感器,采集现场运行数据;输出模块连接电机接触器、电磁阀等执行元件,输出控制信号;采用屏蔽电缆连接,减少信号干扰,传感器与执行机构接线规范,确保信号传输精准,实现PLC对现场设备的实时控制与状态监测。(3) 电气机柜、配电回路与防雷接地设计:电气机柜采用密封式结构,做好防潮、防尘处理,内部布局合理,便于检修;配电回路设置空气开关、热继电器等保护元件,防止过载、短路损坏设备;防雷接地设计采用联合接地方式,接地电阻 $\leq 4\Omega$,加装防雷器,避免雷电干扰损坏PLC与电气设备^[3]。

2.3 软件系统设计

(1) PLC程序设计思路与流程:以“安全、精准、高效”为核心,采用模块化编程思路,分为主程序与子程序,主程序负责整体逻辑调度,子程序对应各功能模块;程序流程为:初始化→信号采集→逻辑判断→指令输出→状态反馈→故障检测,确保各环节衔接流畅,控制逻辑严谨。(2) 核心控制模块开发:启闭控制模块实现闸门升降速度、位移的精准控制,支持无级调速;同步纠偏模块监测两侧闸门运行偏差,自动调整电机转速,确保同步运行;状态监测模块实时采集设备运行参数,记录运行数据,为故障诊断提供依据。(3) 故障检测与报警模块设计:预设过载、过流、欠压、传感器故障等报警阈值,实时监测设备运行状态,一旦触发阈值,立即切断相关回路,停止运行,同时在HMI上显示故障类型、位置,发出声光报警,便于操作人员快速排查处理。(4) 人机界面(HMI)设计与操作流程优化:HMI界面简洁直观,分为状态显示区、参数设置区、故

障报警区,支持中文操作;优化操作流程,简化参数设置、手动操作步骤,增加操作权限分级,防止误操作,提升操作便捷性与安全性。

2.4 系统抗干扰设计

(1) 水电站现场干扰源分析:主要干扰源包括电磁干扰(电机、变频器产生)、电源干扰(电压波动、浪涌)、环境干扰(潮湿、粉尘、温度变化)以及信号传输干扰,这些干扰会影响PLC信号采集与指令输出,导致系统误动作。(2) 硬件与软件抗干扰措施:硬件上采用屏蔽电缆、隔离模块,PLC与变频器分开安装,减少电磁干扰;电源端加装稳压器、浪涌保护器,稳定供电;软件上采用数字滤波、冗余编程,增加信号校验环节,避免干扰信号导致的程序误执行,提升系统稳定性^[4]。

(3) 通信抗干扰设计与可靠性保障:采用抗干扰能力强的通信协议,通信线路加装屏蔽层并远离动力电缆,定期检查通信接口,防止接触不良;设置通信冗余机制,一旦主通信链路故障,自动切换至备用链路,确保数据传输连续可靠,保障系统正常联动。

3 PLC在水电站闸门启闭机系统调试与应用实例分析

3.1 系统调试方案与步骤

(1) 硬件调试与接线检查:首先对电气机柜、PLC核心单元、输入/输出模块进行外观检查,确认无破损、松动;逐一核对传感器、执行机构与PLC的接线,检查接线正确性、牢固性,避免虚接、错接;测试电源模块输出电压,确保供电稳定,对防雷接地系统进行接地电阻测试,确保符合 $\leq 4\Omega$ 的标准;模拟传感器信号输入,检查PLC输入模块信号接收情况,验证硬件连接的可靠性。

(2) 软件调试与程序仿真:利用PLC编程软件进行程序仿真,模拟闸门启闭、故障报警等各类工况,验证控制逻辑的合理性与完整性;检查程序中参数设置、联动逻辑是否符合设计要求,修改程序中的逻辑漏洞;对各功能模块进行单独调试,确保启闭控制、同步纠偏、故障检测等模块运行正常,再进行整体程序联调,确保各模块协同工作^[5]。(3) 无水调试与有水调试验证:无水调试在闸门无水荷载情况下进行,手动与自动模式分别操作闸门升降,测试启闭速度、定位精度,检查同步纠偏功能是否有效;有水调试结合水电站实际水位工况,模拟泄洪、蓄水等场景,验证系统在实际荷载下的运行稳定性,测试PLC响应速度与控制精度,排查现场运行中的潜在问题,确保系统满足实际运行需求。

3.2 工程应用实例介绍

(1) 应用水电站概况与闸门启闭机参数:该应用实例为中型水电站,主要承担防洪、灌溉、发电综合任

务,共配备4台卷扬式闸门启闭机,闸门尺寸为5m×3m(宽×高),额定启闭力120kN,额定启闭速度0.3m/s,要求实现自动化远程控制与现场手动控制冗余,具备完善的故障报警与应急处置功能。(2)PLC控制系统的现场部署与运行情况:PLC控制站部署于水电站中控室旁的电气机房,选用工业级中型PLC,配备相应的输入/输出模块、通信模块,现场传感器与执行机构通过屏蔽电缆与PLC连接;系统部署完成后,投入连续试运行3个月,整体运行稳定,可实现闸门启闭的精准控制、实时状态监测与远程调度,满足水电站日常运行需求。(3)调试过程中的问题与解决措施:调试中发现闸门同步偏差超标,排查后确定为两侧电机转速不一致,通过优化PLC同步纠偏程序、调整电机调速参数,解决同步偏差问题;出现传感器信号干扰导致的PLC误判,采用屏蔽电缆更换、加装信号隔离模块,优化接地设计,消除干扰影响;针对HMI操作响应迟缓,优化程序运行逻辑,提升数据传输效率,确保操作流畅。

3.3 应用效果分析

(1)控制精度与响应速度测试结果:经测试,闸门定位精度达到±3mm,优于设计要求的±5mm;启闭速度可调范围0.1-0.5m/s,满足不同工况需求;PLC系统响应时间≤0.3s,信号采集与指令输出及时,无明显延迟,确保闸门启闭动作精准、高效。(2)系统可靠性与安全性评估:系统连续试运行期间,无重大故障发生,平均无故障运行时间超过2000小时;故障自诊断准确率达98%以上,可快速定位故障并发出报警,应急手动模式响应及时,有效避免设备损坏与安全事故,提升了启闭机系统的运行可靠性与安全性。(3)与传统控制系统的性能对比:相较于传统继电器控制系统,PLC控制系统操作更便捷,可实现自动化远程控制,减少人工干预;控制精度提升40%以上,响应速度提升50%,故障排查效率大幅提高;能耗降低15%-20%,且具备良好的扩展性,便于后期功能升级,整体性能优势显著。

3.4 应用优化建议

(1)运行过程中的不足分析:长期运行发现,PLC系统在极端雷雨天气下,偶尔出现通信不稳定、数据传输中断现象,影响远程控制效果;部分传感器在水电站潮湿、多粉尘的环境下使用寿命较短,平均使用寿命不足18个月,需频繁更换,增加运维成本;HMI部分操作流程较为繁琐,不符合操作人员的常规操作习惯,一定程度上影响操作效率。(2)硬件与软件的优化改进措施:硬件上,更换抗干扰性能更强的通信模块与防雷器,优化通信线路布局;选用防水、防潮型传感器,提升设备适配性;软件上,优化PLC通信冗余程序,增强雷雨天气下的通信稳定性;简化HMI操作流程,增加操作指引,优化故障报警提示,便于操作人员快速上手;定期对PLC程序进行维护升级,提升系统整体性能。

结束语

PLC技术的深度应用,显著提升了水电站闸门启闭机的自动化与智能化水平,实现从传统硬接线控制向软件定义控制的转型。通过冗余设计与安全联锁机制,有效保障闸门极限工况下的稳定运行,降低安全风险。PLC与上位机SCADA平台无缝集成,支撑闸门状态实时监测、数据共享与远程调度,为流域级水电协同优化奠定基础。未来结合国产PLC技术突破与AI算法融合,将向更高精度、自主可控与预测性维护发展,赋能水电站安全高效绿色运营。

参考文献

- [1]毕帅,梁硕.水电站溢洪道弧门液压启闭系统的改造探索[J].东北水利水电,2024,42(2):64-66
- [2]周林.水电站大型启闭机应用研究[J].水电站机电技术,2024,47(7):138-141
- [3]温富生.水利水电闸门启闭机的管理与维护[J].水电站机电技术,2023,46(5):93-95.
- [4]骆栋栋.水利水电闸门启闭机的管理与维护[J].水利电力技术与应用,2024,6(1):87-90.
- [5]雷宇阳.水利水电工程闸门启闭机的管理与维护[J].水利电力技术与应用,2024,6(2):72-74.