

船闸多参数联动的 PLC 自动化控制策略创新

马天驰

南京洛普股份有限公司, 江苏南京, 210000;

摘要: 为破解传统船闸控制依赖人工、响应滞后、各系统协同不足的痛点, 推动智慧航道建设进程中的少人值守目标落地, 本文提出航道外场信息化建设、PLC 控制、CCTV 工业电视与故障诊断系统深度融合的全自动化过闸控制方案。聚焦 PLC 多参数联动控制这一核心, 创新构建动态参数响应模型, 实现船舶位置、闸室水位、设备状态等多源数据的实时交互与协同调控; 依托 CCTV 工业电视的可视化监测优势优化控制精度, 通过故障诊断系统的前置预警保障运行安全。以施桥船闸、巢湖船闸等实际场景为参照, 阐述各系统的集成逻辑与控制流程优化路径, 验证该策略在提升过闸效率、降低人工干预、强化安全保障方面的实践价值。研究表明, 多系统联动的 PLC 自动化控制策略可有效突破单一控制模式的局限, 为智慧船闸建设提供可行的技术支撑。

关键词: 智慧船闸; PLC 自动化控制; 多参数联动; 航道外场信息化; CCTV 工业电视; 故障诊断

DOI: 10.64216/3080-1508.26.02.043

引言

内河水运作为综合交通运输体系的重要组成, 其通行效率与安全保障能力直接影响流域经济发展。船闸作为航道关键节点, 传统控制模式多采用单步操作或局部自动化方式, 存在调度流程繁琐、参数响应不及时、设备故障处置滞后等问题。安徽港航船闸联合运行调度中心的实践^[1]显示, 传统模式下船舶过闸需上岸排队、人工问询, 流程冗余导致效率低下。即便部分船闸引入 PLC 控制, 也多局限于单一设备或单一参数的独立调控, 未能实现航道状态、设备运行、船舶动态等多维度参数的深度联动, 与智慧船闸建设的少人值守、全流程自动化要求存在显著差距。

现有研究中, 葛洲坝船闸的动态监测与智能管控技术^[2]实现了设备状态的高精度监测, 三峡船闸的 PLC 控制系统自主改造^[3]优化了参数控制精度, 但在多系统融合的参数联动逻辑与全流程自动化闭环控制方面仍有提升空间。事实上, 智慧船闸的核心要义在于各系统的协同联动, 仅依靠单一技术难以实现全自动化过闸目标。基于此, 本文立足技术员视角, 结合航道外场信息化采集、PLC 核心控制、CCTV 可视化监测、故障诊断预警的技术优势, 创新设计多参数联动的 PLC 自动化控制策略, 探索各系统的集成路径与控制逻辑优化方法, 为船闸全自动化控制与少人值守模式落地提供技术方案。

1 船闸自动化控制相关技术基础

1.1 核心技术原理概述

PLC 作为自动化控制核心, 凭借抗干扰强、响应快、可扩展性好的优势, 为船闸控制提供精准指挥支撑。航道外场信息化建设以传感器、RFID 等设备为核心, 实

时采集船舶身份、航行状态、水文环境等信息, 构成 PLC 控制的数据源基础。CCTV 工业电视系统通过高清摄像与图像识别技术实现闸区可视化监测, 故障诊断系统则通过监测设备运行参数实现早期预警与定位, 二者为控制安全提供双重保障。

1.2 现有技术应用局限

当前各技术在船闸控制中的应用多处于独立运行状态。涪溪船闸的自动化控制系统虽实现了 PLC 的集中监控与现地控制切换, 但未与航道外场信息化数据深度融合, 控制参数的调整缺乏实时航道状态支撑。江阴市冯泾河节制闸的视频监控系统主要用于现场情况记录与事后查询, 未实现与 PLC 控制的联动响应, 无法通过可视化信息优化控制流程。与之相悖的是, 智慧船闸的全自动化控制需求要求各系统打破数据壁垒, 实现参数采集、核心调控、可视化监测、故障预警的全流程闭环协同, 现有技术的碎片化应用状态成为主要瓶颈。

2 船闸多参数联动 PLC 自动化控制策略创新设计

2.1 总体架构设计

本策略构建“感知-调控-监测-预警”四级联动架构, 实现各系统的深度集成与协同运行。感知层由航道外场信息化设备构成, 部署于引航道、闸室、闸门等关键位置, 采集船舶位置、速度、闸室水位、水流速度、闸门开度、设备振动等多维度参数, 通过光纤以太网传输至 PLC 控制核心; 调控层以 PLC 为核心, 构建多参数联动控制模型, 根据感知层传输的数据动态调整控制指令; 监测层依托 CCTV 工业电视系统, 选取长焦防抖激光磁编球机等设备, 实现闸区全域可视化覆盖, 实时反馈控

制指令执行效果；预警层通过故障诊断系统对感知层与调控层的参数进行实时分析，识别设备异常与控制偏差，前置发出预警信号并触发应急调控指令。该架构中，PLC 控制核心承担参数融合、指令生成、系统协同的核心职能，各系统通过标准化接口实现数据互通，为全自动化过闸提供架构支撑。



2.2 PLC 多参数联动控制逻辑创新

2.2.1 动态参数响应模型构建

突破传统单一参数控制模式，构建基于多源数据融合的动态参数响应模型，将船舶动态参数、闸室水文参数、设备运行参数纳入统一调控框架。船舶动态参数通过航道外场信息化设备的 RFID 识别与雷达检测获取，包括船舶吨位、长度、实时位置、航行速度等；闸室水文参数通过水位传感器、流速传感器采集，涵盖闸室上下游水位差、水位变化速率、水流波动幅度等；设备运行参数包括闸门开度、启闭机运行电流、电机振动频率、液压系统压力等。该模型的数学基础扎根于典型相关性分析（CCA）与分段线性化状态空间方程，通过 CCA 方法挖掘不同参数集间的全局关联结构，生成代表性复合变量以降低高维数据冗余，再引入时变增益矩阵构建状态空间方程，将船舶密度、水文复杂度、设备运行阈值等场景特征转化为可量化的权重系数，形成动态参数响应的核心数学表达。创新引入参数动态权重分配机制，通航繁忙时段将船舶位置与密度参数权重提升，水文条件复杂时强化水位与流速参数的调控占比，设备运行临近阈值时加大设备参数的监测权重，实现不同场景下的精准适配。多参数融合算法原理上采用“分层级联融合”原创设计，底层通过分批估计算法完成同类型传感器数据的预处理与特征提取，剔除环境干扰导致的无效信息；中层依托改进型 pSNN 神经网络实现异构参数（如船舶位置的空间参数与闸门开度的设备参数）的语义映射与尺度统一；顶层基于贝叶斯估计完成融合结果的概率校验，输出可信度最高的参数组合供 PLC 调用。PLC 控制系统通过自主编写的算法对多源数据进行实时融合分析，动态生成最优控制策略，例如根据船舶位置调整

通航信号时序，结合水位变化速率优化闸门启闭速度，依据设备振动参数修正运行指令。三峡船闸的改造实践表明，多参数融合调控可大幅提升控制精度，将闸门运行误差缩小至毫米级，本模型在此基础上进一步纳入航道与船舶动态参数，强化控制策略的适应性。值得注意的是，针对船闸控制中参数兼具线性与非线性的特性，算法中嵌入了自适应阈值判断机制，线性区间采用经典控制理论的传递函数求解，非线性区间则通过分段拟合实现平滑过渡，从数学层面保障了不同工况下控制指令的连续性与稳定性。

2.2.2 联动控制流程优化

以船舶上行、下行过闸全流程为脉络，优化 PLC 联动控制流程，实现各环节的无缝衔接与自动化运行。船舶下行流程中，航道外场信息化设备识别船舶进入引航道后，自动触发 CCTV 工业电视系统聚焦跟踪，实时传输船舶位置数据；PLC 控制系统根据船舶位置与闸室水位数据，自动启动下行上闸首开闸流程，同步监测启闭机运行参数与闸室水位变化；闸门开启到位后，发出通航信号引导船舶进入闸室，通过 RFID 与图像识别技术确认船舶停靠位置准确后，启动关闸流程；关闸完成后，根据上下游水位差动态调整输水门开度，控制水位下降速率，待水位平齐后启动下闸首开闸流程，引导船舶驶出。船舶上行流程则针对性优化水流适配逻辑，通过流速传感器实时捕捉闸室进水速率，PLC 同步调节输水门开启节奏，避免水流冲击导致船舶停靠偏移。整个流程中，PLC 实时联动各系统参数，无需人工干预，仅在故障诊断系统发出预警时触发人工确认机制。值得注意的是，流程设计中嵌入多环节互锁保护逻辑，如闸门开启与水位状态的联锁、船舶位置与通航信号的联锁，任何非安全操作均会被系统闭锁并触发语音报警，确保控制安全。

2.3 各系统集成优化策略

2.3.1 航道外场信息化与 PLC 的协同机制

构建标准化数据传输接口，实现航道外场信息化设备与 PLC 控制系统的实时数据交互。采用光纤以太网作为主要传输链路，保障大数据量传输的稳定性与时效性；针对传感器、RFID 等终端设备，采用统一的通信规约，避免数据格式不兼容导致的响应延迟。多参数融合算法的落地在此环节尤为关键，传输链路中嵌入了轻量级数据预处理模块，通过滑动窗口滤波算法实时平滑传感器采集的原始数据，降低传输延迟对融合精度的影响。在施桥船闸的信息化改造场景中，通过该协同机制实现船舶信息自动上传与控制指令精准下发，大幅缩短调度时间。本策略进一步优化数据过滤算法，结合船闸

运行的时序特性设计了时序相关性过滤规则,剔除与历史趋势偏差过大的异常数据与干扰信息,提升 PLC 控制的响应效率,确保多参数联动的及时性与准确性。事实上,算法与传输接口的协同设计形成了完整逻辑闭环,接口的标准化保障了融合算法输入数据的一致性,算法的分层设计则降低了接口传输的数据量压力,二者相互支撑实现多参数联动的高效运行。

2.3.2 CCTV 工业电视的辅助控制作用

突破传统视频监控仅用于事后追溯的局限,将 CCTV 工业电视系统与 PLC 控制深度联动,实现可视化辅助调控。通过全域全天候监测捕捉船舶位置偏差、闸门运行异常等信息,为 PLC 参数调整提供辅助依据;PLC 发出控制指令后,CCTV 系统同步聚焦反馈执行效果,形成“控制-反馈-修正”闭环逻辑。冯泾河节制闸的改造实践表明,该联动模式可有效规避传感器单一故障导致的控制偏差,提升系统可靠性。

2.3.3 故障诊断系统的前置保障设计

构建多维度故障诊断模型,实现设备故障、参数偏差、通信异常等问题的早期识别与前置处置^[4]。采集 PLC 控制模块、信息化采集设备、闸门启闭机、输水系统等关键组件的运行参数,建立正常运行参数阈值库,通过对比分析识别异常数据;针对齿轮磨损、电机故障、传感器失灵等常见问题,构建基于历史故障数据的预测模型,实现故障的提前预警^[5]。当故障诊断系统识别异常后,立即向 PLC 控制系统发送预警信号,PLC 自动启动冗余备份机制,切换至备用控制模块或执行应急控制流程,此过程中控制指令的衔接采用平滑过渡算法,避免参数突变引发设备二次损伤,同时通过 CCTV 系统聚焦故障部位,实时回传画面至控制中心,为可能的人工干预提供可视化支撑。三峡船闸的自主可控改造已验证该模式的有效性,其故障定位时间大幅缩短,保障了运行安全。

3 策略实践适配性分析

3.1 典型场景应用适配

以安徽港航船闸联合运行调度中心覆盖的巢湖船闸为适配场景,该场景船舶流量大、跨流域调度复杂度高。部署本策略后,通过多系统协同实现船舶信息自动审核、调度方案动态生成与运行状态集中监控,船舶过闸无需上岸缴费,申报流程线上完成,调度效率显著提升,契合少人值守的智慧船闸建设目标。

在施桥船闸这一长江与苏北运河交汇的关键枢纽场景中,本策略可有效适配其繁忙的通航需求。通过多参数联动控制,实现不同吨位船舶的精准调度与闸室资

源的高效利用,CCTV 系统的全域覆盖解决了船舶流量大导致的监测盲区问题,故障诊断系统的前置预警避免了设备故障引发的航道拥堵,全面提升通航效率与安全保障能力。

3.2 关键技术保障

硬件层面,选用具备冗余热备功能的 PLC 控制器,确保主控制系统宕机时备用系统可无扰过渡,保障控制连续性;部署高精度传感器与高清摄像设备,提升参数采集与可视化监测的精度。软件层面,开发自主可控的多参数融合算法与故障诊断模型,优化系统响应速度;构建权限分级管理机制,对操作人员、管理人员的权限进行精准划分,实现操作过程的全程追溯。通信层面,采用工业级模块化以太网交换机,构建稳定的网络传输链路,预留远程调度接口,为跨流域船闸联合控制提供支撑,契合安徽港航调度中心的“一体化”运行模式需求。

4 结束语

本文提出的航道外场信息化建设、PLC 控制、CCTV 工业电视与故障诊断系统融合的多参数联动控制策略,有效突破传统船闸控制的单一化、碎片化局限。通过 PLC 核心控制逻辑的创新优化,实现多源参数的实时联动与精准调控;依托各系统的深度集成,构建全流程自动化过闸闭环,为智慧船闸的少人值守目标提供技术支撑。典型场景的适配性分析表明,该策略可显著提升过闸效率、强化安全保障能力,具备良好的实践价值。

局限之处在于,该策略的实践效果仍需结合具体船闸的水文条件、通航规模进行针对性调试,不同流域船闸的参数阈值设定需进一步优化。未来可引入数字孪生技术,构建船闸虚拟仿真平台,实现控制策略的线上预演与参数优化;结合 AI 智能调度算法,提升多船闸联合运行的调度效率,推动智慧航道建设向更高水平发展。

参考文献

- [1] 吴春英. 船闸自动控制系统技术及运用[J]. 数字通信世界, 2023(8): 124-126.
- [2] 陆英. 长江数字航道建设成果及展望[J]. 水运工程, 2016(1): 12-14.
- [3] 杨建华, 王永兵, 贺炳元. 国产化 PLC 在宿迁大柳巷船闸自动控制系统中应用[J]. 工程施工新技术, 2024(5): 36-40.
- [4] 叶映家. 基于卷积神经网络模型的水利水电机组故障诊断[J]. 云南水力发电, 2025(6): 153-156.
- [5] 李凯旋. 基于多传感器信息融合的水工弧形闸门故障诊断方法研究[D]. 郑州大学, 2023.