

水工启闭设备智能化改造实践

樊宏强 张生辉 姬登云 祁斌斌 潘 锋

国网甘肃省电力公司刘家峡水电厂 甘肃 永靖 731600

摘 要:水利工程运行管理对启闭设备提出更高管控要求,本文结合工程现场条件,完成前期基础梳理、硬件升级布设、软件逻辑搭建及实施运维体系构建,形成全流程改造路径。通过状态感知、传输链路、执行部件与控制单元的系统化升级,配合数据归集、流程编程、异常处置、协同调度等软件设计,提升设备运行稳定性与操作安全性,为水利枢纽智能化运行提供可复用的工程实践方案。

关键词:水工启闭设备;智能化改造;硬件布设;控制逻辑;运维体系

引言:水工启闭设备承担水位调控、防洪调度、水量分配等核心功能,传统依赖人工巡检与现场操作的模式,难以匹配现代化水利管理需求。工程现场设备老化、信号缺失、联动不足等问题普遍存在,运行效率与安全保障水平有待提升。以物联网与自动控制技术为支撑,对启闭系统开展全维度智能化升级,可优化作业流程、强化风险防控,推动水利设施向高效、可靠、少人化运行方向转变。

1 改造前期基础梳理

1.1 设备现有运行状态逐项摸排

智能化改造启动前,需对水工启闭设备开展全维度、无死角的运行状态摸排。逐台核查启闭机主机结构、闸门面板、制动组件、传动齿轮、轴承及钢丝绳的实际工况。记录机械磨损程度、连接松动情况、运行异响位置、振动幅度变化。统计设备日常启停次数、连续带载时长、历史故障类型、发生时段及处置方式。对关键限位装置、荷载保护、超速保护、应急停机回路做专项检测,确认动作可靠性与保护精度^[1]。结合历史运行台账与现场实测数据,定位性能衰减点、隐患高发点、安全薄弱点。形成完整设备状态档案,为改造方案提供真实、可追溯的基础依据。

1.2 现场运行环境适配条件整理

现场环境直接决定智能化设备能否稳定落地。对站所开展实地勘测,测量机房空间、设备安装位置、承重结构、布线通道。核对供电容量、电压波动范围、接地电阻、线缆规格与敷设条件。检测现场温湿度、水汽、粉尘、腐蚀气体等环境指标,排查电磁干扰源、信号遮挡、渗水点、强振区域。梳理现有通信网络覆盖、带宽稳定性、接口数量,明确传感器、控制器、控制柜的安

装空间与防护等级要求。整理结果用于判断智能化硬件部署可行性,提前排除环境制约,避免改造中途受阻。

1.3 改造涉及的功能需求分类归集

围绕启闭作业实际场景,对智能化功能需求进行梳理与归类。明确远程监视、远程控制、自动启闭、故障预警、数据存储、报表生成等核心能力。区分日常调度需求、应急操作需求、运维管理需求、安全保障需求。细化操作权限、报警阈值、历史查询、联锁保护、模式切换等具体内容。结合现场管理流程与人员操作习惯,提炼必须实现的基础功能、提升效率的增强功能、保障安全的关键功能。通过分类归集,让需求更聚焦、更实用,避免冗余设计,确保改造目标与实际使用一致。

1.4 改造实施边界范围清晰划定

为保障改造有序推进,必须明确实施边界与工作范围。界定硬件更换、线路改造、控制系统升级、平台对接的具体内容。区分原有设备利旧、部件更新、系统新增的界限。划定施工区域、作业窗口、停电范围、安全防护区域。明确不纳入改造的土建结构、水工建筑、外部管线、非智能设备。确定数据接口范围、系统联动边界、责任划分节点、调试交付标准。边界清晰可减少施工冲突,避免范围无序扩大,让改造推进更可控、更高效,为后续实施打下扎实基础。

2 硬件系统升级布设

2.1 状态感知类器件的选型与安装

状态感知器件是整个智能系统的信息源头,直接决定监测数据的真实可靠。选型围绕水工现场长期运行环境展开,重点考量防潮、防凝露、抗震动、耐候性能。关键监测点位配置专用传感器,覆盖闸门开度、起吊荷

载、机械振动、结构位移、控制柜温湿度等核心指标。器件安装避开水流直接冲击区域和机械强振动位置,采用加固底座与密封处理,保证长期稳定。布线采用独立穿管或铠装线缆,减少外力磨损与信号干扰^[2]。所有器件就位后逐点校准,确保采集数值准确反映设备真实状态,为控制与判断提供可信依据。

2.2 信号传输链路的搭建与连通

信号传输链路负责把现场感知数据稳定送达控制终端。根据现场距离、空间条件与干扰情况,选择合适的通信方式。线缆敷设路径远离高压动力电缆,降低电磁干扰。无线通信设备布置在信号通透、遮挡少的位置,提升覆盖质量与稳定性。链路铺设完成后开展连续通断测试,检查传输延迟、丢包率与信号强度。对薄弱节点调整位置或增加中继,保证数据传输连续稳定。整套传输链路具备高抗干扰能力,可在复杂工况下保持信息畅通,为远程监控与自动控制提供支撑。

2.3 动力与执行部件的适配更换

动力与执行机构决定启闭动作的精准度与可靠性。对原有电机、减速器、制动器、限位装置逐项检测评估,性能下降或老化严重的执行部件统一更换。新部件参数与闸门负载、运行速度、行程范围保持一致,满足自动控制的响应要求。安装完成后精细调整机械间隙、制动压力、限位触发位置,依次进行空载调试与带载试验。确保设备启停平稳、动作精准、保护有效,可稳定支持自动运行与应急操作介入。执行机构升级后,设备运行精度与安全系数明显提升。

2.4 本地控制单元的配置与接入

本地控制单元是硬件系统的核心处理节点,承担现场逻辑运算与指令输出。选用工业级控制器,适应长时间连续运行与恶劣环境。按照启闭作业流程编写控制程序,设置手动、自动、远程三种工作模式。接入全部传感器信号与执行控制回路,逐项调试输入输出点位。完善过力保护、超行程停机、异常中断等安全连锁逻辑,确保风险出现时快速响应。控制单元接入上层管理平台,完成数据上传与远程指令下发,形成完整的本地智能控制闭环。配置与接入完成后,系统具备独立判断、自主执行、安全保护的基础能力。

3 软件与控制逻辑搭建

3.1 设备运行数据的分类归集规则设定

软件体系构建以数据规则为起点,先对现场采集信息进行分层梳理。运行数据按属性划分维度,机械状态、电气参数、环境指标、动作记录各自独立管理。关

键参数采用高频采集模式,保障变化趋势完整呈现。常规信息按固定周期汇总,降低系统处理压力。数据进入平台前经过预处理,过滤干扰信号,修正突变数值,保证曲线连续可信。存储策略按重要性区分,实时数据驻留缓存,历史数据分区归档。设定查询权限与调用路径,支持按时间、设备、事件类型快速检索^[3]。规则落地后,系统可有序承载多源数据,为状态判断、操作追溯、趋势分析提供稳定支撑。

3.2 基础操作控制流程的程序化编写

基础操作流程转化为标准化程序,是实现自动运行的关键。将启闭动作拆解为条件判断、指令输出、状态反馈、结果确认等环节。上升、下降、定位保持、紧急停机的典型流程逐一编写逻辑,明确启动条件、运行速率、区间限制、到位判定方式。界面操作简化层级,突出关键步骤与安全确认。程序保留手动优先机制,现场可随时切入直接控制。自动模式严格遵循流程链条,不跳过保护节点,不省略校验步骤。编写完成后开展多轮模拟运行,逐项核对响应时间、动作精度、反馈准确性,确保流程连贯可靠。

3.3 异常状态对应处置逻辑的嵌入

系统安全能力依靠异常处置逻辑实现。对超荷载、超行程、电机过热、制动异常、通信丢失等情况制定分级应对方案。轻度异常触发界面提示与声光预警,维持设备运行并记录信息。中度故障启动限制策略,降低运行负荷或暂停动作。严重故障直接触发保护机制,执行紧急停机并锁定回路。故障信息自动生成编码,指向可能原因与检查部位。逻辑嵌入后逐项模拟触发,检验响应速度、执行精度、保护有效性。多类异常叠加时,按安全等级排序,优先执行最高级别处置策略。

3.4 多设备协同运行规则的配置

多台设备联合运行需要明确协同约束。上下游闸门、多组启闭机构之间建立时序关系,确定启动先后、速度匹配、允许偏差范围。联动条件写入配置模块,一台设备状态变化可触发关联设备调整。某一单元出现故障,联动设备自动转入等待状态,避免水流紊乱或结构受力不均。协同规则兼顾调度效率与运行安全,减少人工干预频次。配置完成后开展全流程联调演练,验证时序精度、切换平稳性、故障联动可靠性。规则稳定运行后,设备集群动作更协调,调度响应更及时,整体运行效率显著提升。

4 落地实施与后续运维体系搭建

4.1 改造工序的分步推进安排

智能化改造落地,依靠清晰有序的工序安排。整体施工按照先准备后实施、先硬件后软件、先单点后联调的节奏推进。前期完成现场清场、工具就位、安全交底,划定作业区与警示范围。硬件施工按感知器件、传输线路、执行部件、控制单元依次进场。每一类设备安装结束后,先做外观与接线检查,再开展单部件通电测试。软件部署在硬件验收合格后启动,避免交叉干扰。关键工序设置节点验收,上一步未确认合格,不进入下一环节^[4]。老旧站所改造需兼顾原有设备运行,分段分区域施工,减少对日常调度的影响。工序清单明确到人、到点、到时,现场执行有据可依。施工过程保留影像与记录,每一步改动形成可追溯资料。分步推进让复杂改造过程可控、可查、可纠,降低现场风险,保障实施质量。

4.2 各环节衔接调试工作的开展

系统能否稳定运行,取决于环节之间的衔接与调试。硬件安装完成后,先做单点通电,确认传感器、控制器、执行机构无短路、无错接。信号链路逐点测试,检查采集精度与传输稳定性。本地控制单元接入全部信号,逐项核对输入输出状态,修正点位与逻辑偏差。软件功能逐条验证,数据展示、操作响应、报警提示、权限切换全部实测。单体设备调试结束后,进入联调阶段。模拟启闭全流程,检验启停、调速、定位、保护等动作是否连贯。异常场景逐项触发,确认预警、停机、锁定等保护逻辑可靠触发。多设备联动时,校验时序配合、状态互锁、故障联动效果。调试过程记录问题清单,现场整改并复测。所有环节打通、无遗漏、无缺陷后,系统具备投运条件。

4.3 日常操作使用流程的梳理制定

系统交付使用前,需梳理清晰的日常操作流程。结合现场人员习惯与管理要求,把开机检查、模式切换、指令下发、状态监视、数据查看、停机确认等步骤固化为标准动作。远程控制与现场手动操作分别制定路径,明确权限与触发条件。重要操作增加二次确认,防止误触误碰。交接班内容清单化,重点记录设备状态、报警信息、未处理事项。流程文本简洁易懂,关键步骤配图说明,便于一线人员快速掌握。使用前组织实操培训,

让操作人员独立完成全流程演练。常见疑问与易错点整理成快速指南,贴放于控制室与操作界面。流程落地后,人机配合更顺畅,操作风险明显降低。

4.4 长期运维保障机制的建立

系统稳定运行,离不开长效运维机制。首先明确运维责任,划分硬件巡检、软件检查、数据维护、故障处置责任人。制定巡检周期与内容,定期检查传感器固定、线路磨损、端子紧固、控制柜温湿度。建立备件台账,对易损件、关键模块提前储备,缩短抢修时间。故障处理实行分级响应,一般异常由现场人员按指南处置,复杂问题快速对接技术支持。定期开展系统健康检查,优化参数、清理数据、校验精度,保持系统处于最佳状态。运维记录电子化,巡检结果、故障原因、处理措施、更换部件全部留存。建立学习更新机制,随着运行经验积累,不断完善流程与策略^[5]。长效机制落地,可延长设备寿命,降低故障率,保障智能化系统长期可靠发挥作用。

结束语

水工启闭设备智能化改造完成硬件与软件的深度融合,打通感知、传输、控制、运维全链条,设备响应速度、监测精度、安全冗余均得到实质提升。标准化实施流程与长效运维机制,保障系统稳定落地并持续发挥效能。改造经验可为同类型水利工程提供直接参考,助力行业整体提升设施管控能力与运行管理水平。

参考文献

- [1] 马丛科,王国花,陈钢.悬挂式启闭机在水工钢闸门上的应用[J].云南水力发电,2026,42(5):120-121.
- [2] 徐罗军,谢学武,徐超,等.水工门式启闭机金属结构应力测试与分析[J].中国设备工程,2022(10):156-158.
- [3] 耿红磊,方超群,李昆.水利工程启闭设备试验平台液压加载系统的研究[J].水电站机电技术,2024,47(5):78-80.
- [4] 徐罗军,徐超,余桥芳,等.水工门式启闭机安全评估系统及流程[J].起重运输机械,2022(19):55-60.
- [5] 胡浩.水电站钢闸门及启闭机安全检测与分析[J].水电站机电技术,2026,49(3):80-83,114.