

智能技术在水利闸门及启闭机中的应用研究

张兴锋

山东红石环保科技有限公司 山东 济南 250061

摘要: 水利闸门及启闭机是水利工程的核心控制设备,直接关系到水资源调度与工程安全。当前我国闸门及启闭机运行存在自动化程度低、监测滞后、运维不便等问题,难以适配现代化水利发展需求。本文结合物联网、人工智能、数字孪生、大数据等智能技术,系统研究其在闸门状态感知、精准调控、安全防护及启闭机启停调速、状态诊断、故障防控、能耗优化中的具体应用,结合实际应用场景明确技术部署与操作流程,为水利闸门及启闭机的智能改造提供实操参考。

关键词: 智能技术;水利闸门;启闭机;具体应用

引言: 随着智慧水利建设不断推进,传统水利闸门及启闭机的运行模式已难以满足防洪、灌溉、供水等多元化需求,智能技术与水利设备的融合成为发展必然。当前多数存量闸门及启闭机仍依赖人工操作,存在调控精度不足、故障预警滞后、能耗较高等痛点,制约水利工程效能发挥。基于此,本文聚焦智能技术在水利闸门及启闭机中的具体应用,梳理设备运行现状与改造需求,详细阐述各类智能技术的实际部署与操作要点,旨在解决传统设备运行短板,为水利设备智能升级提供技术支撑。

1 智能技术在水利闸门及启闭机中的应用概述

1.1 水利闸门及启闭机核心结构与工作原理

水利闸门及启闭机是水利工程的核心控制设备,承担着防洪、灌溉、供水、航运等关键任务。水利闸门核心结构包括闸体、闸槽、止水装置、支撑结构等,闸体作为挡水主体,通过开启与关闭调节水流流量;启闭机作为驱动装置,主要由动力系统、传动机构、控制系统组成,核心功能是驱动闸体完成升降、平移等动作,实现对水流的精准调控。其工作原理围绕水力学特性,通过启闭机传递动力,带动闸体改变过流断面,进而控制水位、调节流量,保障水利工程安全稳定运行,适应不同工况下的水资源调度需求。

1.2 智能技术核心范畴及应用特性

适用于水利闸门及启闭机的智能技术核心范畴包括物联网、人工智能、数字孪生、大数据、智能控制等。物联网技术实现设备状态的实时感知与数据传输,为智能调控提供数据支撑;人工智能技术可完成运行状态诊断、精准调控决策等智能化操作;数字孪生技术构建闸门及启闭机的虚拟模型,实现运行过程的可视化监控与模拟仿真;大数据技术用于分析运行数据,挖掘故障隐患与优化空间。其应用特性体现为智能化、自动化、精

准化、可视化,可减少人工干预,提升设备运行效率,降低运维成本,增强水利工程的智能化管理水平。

1.3 智能技术与水利闸门及启闭机的适配性分析

智能技术与水利闸门及启闭机的适配性主要体现在三个方面:(1)功能适配,智能感知技术可精准捕捉闸门位移、启闭机载荷等关键参数,匹配设备运行状态监测需求;(2)场景适配,针对不同水利工程的工况差异,智能调控技术可灵活调整运行模式,适应复杂水流环境;(3)需求适配,智能预警、远程控制等功能,契合水利工程无人值守、精准调度、安全防护的发展需求,解决传统闸门及启闭机人工操作效率低、监测不及时、调控精度不足等问题,实现设备运行的全流程智能化管理,推动水利工程向智慧化转型^[1]。

2 水利闸门及启闭机运行现状与智能改造需求

2.1 水利闸门及启闭机运行现状与现存问题

当前我国水利闸门及启闭机运行呈现“新旧并存”的格局,部分新建水利工程已配备基础智能设备,但多数存量设备仍以传统模式运行。传统设备普遍存在自动化程度低、监测精度不足等问题,多依赖人工现场操作,易受人为操作误差影响;部分老旧设备运行年限长,出现闸体锈蚀、启闭机传动部件磨损、止水密封老化等问题,运行稳定性下降。同时,现有监测系统多为单一参数监测,缺乏多维度数据联动分析,故障预警滞后,难以实现设备运行状态的精准研判,无法满足现代化水利工程精准调度、高效运维的实际需求。

2.2 水利闸门及启闭机智能改造核心需求

结合实际运行痛点,智能改造核心需求聚焦三大方面:(1)精准监测与故障预警需求,需通过智能技术实现闸体位移、启闭机载荷、运行温度等多参数实时监测,提前识别故障隐患,降低设备故障率;(2)自动化调控

与远程管控需求,应对偏远水利工程人工值守成本高、操作不便等问题,实现闸门及启闭机远程启停、精准调速,减少人工干预;(3)运维高效化与节能化需求,通过智能数据分析优化运行参数,降低设备能耗,简化运维流程,提升运维效率,同时适配水资源调度的动态化需求,推动水利工程向智慧化、集约化转型,保障设备长期安全稳定运行^[2]。

3 智能技术在水利闸门中的具体应用

3.1 物联网技术在闸门状态感知中的应用

物联网技术在闸门状态感知中的应用,核心是通过各类感知设备采集实时运行数据,实现闸门状态的全方位、全天候监测,具体应用如下:(1)感知设备部署,结合闸门实际运行场景,在闸体、闸槽、止水装置等关键部位,部署位移传感器、压力传感器、水位传感器、温湿度传感器等设备。其中,位移传感器安装于闸体顶部,实时采集闸体升降位移数据,精度控制在 $\pm 0.1\text{mm}$,适配不同规格闸门的监测需求;压力传感器部署于闸体底部及止水部位,监测水流冲击力及止水压力;水位传感器安装于闸门上下游,同步采集实时水位数据,为感知分析提供基础。(2)数据传输与汇聚,感知设备采集的位移、压力、水位等数据,通过无线传输模块(4G/5G、LoRa)实时传输至中控平台,传输延迟控制在100ms以内,避免数据丢失或滞后。同时,在偏远水利工程区域,搭配边缘网关设备,实现数据本地缓存与断点续传,确保极端环境下数据传输的稳定性,为闸门状态研判提供实时数据支撑。(3)感知数据预处理,对采集的原始数据进行去噪、校准处理,剔除因设备故障、环境干扰产生的异常数据,通过数据标准化处理,统一数据格式,便于后续与其他系统的数据联动,确保感知数据的准确性和可用性。

3.2 人工智能技术在闸门精准调控中的应用

人工智能技术在闸门精准调控中的应用,聚焦实际操作环节,摒弃冗余的作用描述,具体应用如下:(1)调控模型训练,结合不同水利工程的工况特点(如水库、河道、灌区),采集历史水位、流量、闸门开度等数据,构建人工智能调控模型,通过样本训练优化模型参数,使其适配不同水流变化场景,无需人工干预即可匹配最优调控逻辑。(2)实时精准调控,中控平台接收物联网感知的实时数据后,人工智能模型快速分析水流变化趋势,自动计算最优闸门开度,向闸门执行机构发送调控指令,实现闸门升降的自动化控制,调控精度可达到 $\pm 0.5\text{cm}$,适配防洪、灌溉等不同场景的调度需求。(3)异常工况自适应,当遇到暴雨、洪水等突发情况时,人工智能模型可快速响应,结合实时水位、流量数据,自动调

整调控策略,避免人工操作的延迟性,保障闸门调控的及时性和准确性^[3]。

3.3 数字孪生技术在闸门可视化中的应用

数字孪生技术在闸门可视化中的应用,核心是构建与实体闸门1:1的虚拟模型,实现运行过程的可视化监控与动态模拟,具体应用如下:(1)虚拟模型构建,基于闸门的设计图纸、结构参数,结合物联网采集的实时数据,构建包含闸体、闸槽、止水装置等全结构的数字孪生模型,还原闸门的物理形态、运行状态及周边水流环境,确保虚拟模型与实体设备的同步性。(2)可视化监控展示,通过数字孪生平台,直观展示闸门的实时开度、位移、受力情况及上下游水位变化,工作人员可通过平台界面查看闸门运行的动态过程,无需现场巡查即可掌握设备运行状态,适配大型水利工程多闸门协同管理需求。(3)运行模拟与预案演练,基于数字孪生模型,模拟不同水流工况、设备故障等场景下的闸门运行状态,提前演练调控预案,优化闸门操作流程,为实际运行中的突发情况处置提供参考,降低现场演练的成本和风险。

3.4 智能监测技术在闸门结构安全防护中的应用

智能监测技术在闸门结构安全防护中的应用,聚焦闸体结构隐患监测与防控,具体应用如下:(1)结构隐患监测,在闸体混凝土结构、焊缝、止水装置等易损坏部位,部署裂缝传感器、振动传感器等设备,实时监测闸体裂缝宽度、振动幅度等参数,当参数超过预警阈值时,自动触发提示,及时发现结构损伤隐患。(2)腐蚀与磨损监测,针对闸体、闸槽的锈蚀、磨损问题,采用超声波监测设备,定期检测结构厚度、表面腐蚀程度,形成监测报告,为维护保养提供精准依据,避免因腐蚀、磨损导致的闸门漏水、结构失效等问题。(3)安全预警联动,智能监测系统与闸门调控系统联动,当监测到结构安全隐患时,自动限制闸门操作权限,同时推送隐患信息至运维人员,指导现场排查维修,保障闸门结构安全稳定运行^[4]。

4 智能技术在水利启闭机中的具体应用

4.1 智能控制技术在启闭机启停与调速中的应用

智能控制技术在启闭机启停与调速中的应用,聚焦实际操作环节,具体如下:(1)启停控制实现,采用PLC控制器搭配变频调速模块,接入启闭机动力系统,预设不同工况下的启停参数,通过接收中控平台指令,自动完成启闭机的启动、停止操作,无需人工现场触发,可实现远程启停控制,适配偏远水利工程无人值守场景。同时增设启停缓冲程序,启动时先以额定转速的30%低

速运转3-5秒,避免电机启动冲击;停止时逐步降低转速至停机,防止制动系统瞬时受力过大导致部件损坏。(2)调速精准控制,根据闸门调控需求,通过变频调速技术调节启闭机电机转速,实现调速无级可调,调速精度控制在 $\pm 1r/min$,同时结合位移传感器反馈数据,实时修正转速,确保闸体升降速度与水流变化精准匹配,避免因调速过快导致的设备冲击。针对大吨位启闭机,额外加装转速反馈编码器,形成闭环控制,进一步提升调速稳定性。

4.2 大数据技术在启闭机运行状态诊断中的应用

大数据技术在启闭机运行状态诊断中的应用,以实际运行数据为核心,具体如下:(1)数据采集部署,在启闭机电机、传动机构、制动系统等关键部位,部署电流传感器、温度传感器、振动传感器,实时采集电机电流、轴承温度、振动频率等运行数据,通过物联网模块汇聚至大数据分析平台。同步采集启闭机运行时长、维护记录等辅助数据,丰富诊断数据维度,提升诊断准确性。(2)状态诊断实现,通过大数据算法对采集的数据进行筛选、分析,建立启闭机正常运行数据模型,对比实时数据与标准模型的偏差,精准识别传动部件磨损、电机过载、制动系统异常等问题,生成诊断报告,明确隐患部位及磨损程度,为维护提供精准依据。

4.3 智能预警技术在启闭机故障防控中的应用

智能预警技术在启闭机故障防控中的应用,聚焦隐患提前识别,具体如下:(1)预警阈值设定,结合启闭机设计参数与运行经验,设定电机电流、轴承温度、振动幅度等关键参数的预警阈值,分为一级、二级预警,明确不同预警等级的处置优先级。一级预警针对轻微异常,二级预警针对严重隐患,避免预警混乱。(2)预警触发与推送,当监测数据超过预警阈值时,预警系统自动触发提示,通过短信、中控平台弹窗等方式,将隐患信息推送至运维人员,明确隐患类型、位置及初步处置建议,实现故障早发现、早处置。同时联动启闭机控制

模块,二级预警时自动锁定操作权限,防止故障扩大。

4.4 节能型智能技术在启闭机能耗优化中的应用

节能型智能技术在启闭机能耗优化中的应用,贴合实际运维需求,具体如下:(1)节能控制模块部署,在启闭机电机回路中加装节能变频器,根据启闭机负载变化,自动调节输出功率,避免电机空载、轻载时的能耗浪费,适配不同负载工况的能耗调节需求。同时加装能耗监测仪表,实时采集能耗数据,便于精准掌握节能效果。(2)能耗优化调控,通过智能算法分析启闭机运行负荷与能耗数据,优化启停时机与运行参数,减少不必要的动力消耗;同时采用无功补偿技术,降低电机无功损耗,提升能源利用效率,适配水利工程节能运维要求,兼顾节能效果与设备运行稳定性。

结束语:本文围绕智能技术在水利闸门及启闭机中的应用展开系统研究,明确了物联网、人工智能等技术在设备感知、调控、诊断、节能等环节的具体应用方式,解决了传统设备运行中的核心痛点。通过各类智能技术的合理部署,实现了闸门及启闭机运行的自动化、精准化与高效化,为设备智能改造提供了可落地的实操方案。未来可进一步优化智能技术适配性,完善系统联动机制,推动智能技术与水利设备深度融合,持续提升水利工程的智能化管理水平,助力智慧水利体系构建。

参考文献:

- [1]李建慧.水利智能信息化技术在农业灌区节水灌溉工程中的应用研究[J].南方农机,2026,57(2):114-117.
- [2]王景博,于琦.基于BIM+GIS技术的智能建造系统在水利工程项目群中的应用研究[J].水利建设与管理,2025,45(9):47-55.
- [3]文武,杨宏建.智能测控一体化闸门在灌区的应用[J].价值工程,2026,45(8):101-103.
- [4]田鸿芝,王福,郑振磊.灌区农田水利工程闸门自动控制技术研究[J].北方水稻,2026,56(1):31-36.