

水利工程中水闸自动化监控技术应用

徐刚

盐城市斗龙港闸管理所

DOI:10.32629/btr.v8i10.5037

[摘要] 水闸属于水利工程里调控水流、防洪排涝、进行水资源分配的核心水工建筑物,它的运行安全性和效率直接关联到区域水安全、生态平衡、经济社会稳定发展。传统水闸监控依靠人工巡检、经验判断,存在响应滞后、数据误差大、运维成本高、安全隐患突出等状况,已经很难适应现代水利工程精细化、智能化管理的需要。伴随物联网、传感器、大数据、自动控制等技术迅速发展,水闸自动化监控技术出现了,经由建立“感知-传输-分析-控制”的闭环模式,达成对水闸运行参数、设备状态、周边环境的实时监测、智能分析、远程调控,极大地提高水闸管理的科学性与高效性。本文结合当下水利工程发展情形,系统说明水闸自动化监控技术的核心构成,具体分析其在防洪调度、水资源调配、设备运维等场景中的应用,为推动水利工程水闸智能化升级、保障水闸安全稳定运行给予理论支撑与实践参考。

[关键词] 水利工程; 水闸; 自动化监控技术; 传感器网络; 智能调度

中图分类号: TV698.1 文献标识码: A

Application of Automated Monitoring Technology for Sluice Gates in Water Conservancy Projects

Gang Xu

Yancheng Doulonggang Sluice Management Office

[Abstract] Sluice gates are key hydraulic structures in water conservancy projects for regulating water flow, flood control and drainage, and water resource allocation. Their operational safety and efficiency are directly related to regional water security, ecological balance, and stable economic and social development. Traditional sluice gate monitoring mainly relies on manual inspections and experience-based judgment, resulting in delayed responses, significant data errors, high operation and maintenance costs, and prominent safety risks. These limitations make it difficult to meet the requirements of refined and intelligent management in modern water conservancy projects. With the rapid development of technologies such as the Internet of Things (IoT), sensors, big data, and automatic control, automated monitoring technology for sluice gates has emerged. By establishing a closed-loop framework of “perception-transmission-analysis-control,” it enables real-time monitoring, intelligent analysis, and remote regulation of operating parameters, equipment conditions, and surrounding environmental factors. This significantly improves the scientific management and operational efficiency of sluice gates. Based on the current development of water conservancy projects, this paper systematically introduces the core components of automated sluice gate monitoring technology and analyzes its applications in flood control scheduling, water resource allocation, and equipment maintenance. The study provides theoretical support and practical references for promoting the intelligent upgrading of sluice gates and ensuring their safe and stable operation.

[Key words] Water Conservancy Project; Sluice Gate; Automated Monitoring Technology; Sensor Network; Intelligent Scheduling.

引言

伴随我国智慧水利建设不断推进,自动化、智能化技术于水利工程里的运用越来越广泛,水闸自动化监控技术身为智慧水

利建设的关键支撑,渐渐替代传统人工管理模式,变成提高水闸管理水平的关键方式。根据水利部《2023年中国智慧水利发展报告》可知,我国大型水利工程自动化覆盖率从2015年的35%提

高到2023年的78%,自动化改造之后平均减灾效益提高40%、水资源利用效率提高25%、运维成本降低了30%。水闸自动化监控技术借助集成传感器、通信网络、数据处理与自动控制等技术,达成对水闸运行整个流程的精确管控,有效化解了传统管理模式的难题,促使水闸管理从“经验驱动”朝着“数据驱动”转变,从“被动应对”朝着“主动防御”转变。

1 水闸自动化监控技术的核心组成

1.1 感知层

感知层在水闸自动化监控系统里就如同“神经末梢”,其职责是收集水闸运行时各种各样的关键参数,以此为后续数据处理、控制决策提供基础性的数据支持,它是整个监控系统得以运行的根基所在。感知层主要是由各类不同的传感器和数据采集模块共同构成的,传感器的选型、布置需要依据水闸的类型、规模、运行所处的环境、监控的具体需求来确定,目的在于保证数据采集能够达到准确、实时、可靠的效果^[1]。通常使用的传感器主要有三类,首先是水流参数传感器,其作用是监测水闸上下游的水位、过闸流量、水流速度等参数,常见的设备有雷达水位计、电磁流量计、超声波流速仪等,其次是设备状态传感器,用于监测闸门开度、启闭机运行状态、电机电流电压、轴承温度、结构振动等参数,常用的设备有闸门开度编码器、振动传感器、温度传感器、电流电压传感器等,最后是环境参数传感器,用于监测降雨量、风速、湿度、水质等参数,常用设备有雨量计、风速传感器、pH值传感器、溶解氧传感器等。而数据采集模块会把传感器采集到的模拟信号或者数字信号进行转换、滤波、放大处理,以此来保证数据的完整性和准确性,进而为传输层提供标准化的数据。

1.2 传输层

传输层作为连接感知层和平台层的纽带,承担着把感知层采集的各种数据及时且可靠地传送到监控平台的任务,同时还会将平台层下达的控制指令传递给执行机构,以此保障监控系统能够进行双向通信。传输层的通信方式主要有有线传输和无线传输这两种,在实际运用中一般采用“有线+无线”的混合组网模式,这样既能兼顾传输的稳定性又能具备灵活性^[2]。有线传输比较适合距离近且环境相对稳定的场景,常见的方式有光纤通信、工业以太网等,它有着传输速率高、抗干扰能力强、数据传输稳定等优点,能够实现海量数据的快速传输,是大型水闸自动化监控系统的主要传输方式;无线传输主要适用于距离远、地形复杂并且布线困难的场景,常见的方式有LoRa、NB-IoT、4G/5G等,具有布线灵活、成本低、部署便捷等优势,可以实现偏远地区水闸的远程监控。

1.3 平台层

平台层作为水闸自动化监控系统的关键部分,起到如同“核心大脑”的作用。它负责处理传输层传来的数据,进行存储、分析、挖掘等操作,进而生成控制指

令并传至执行机构,以此达成对水闸运行状态的精准判断与智能调控^[3]。平台层主要由数据存储模块、数据处理模块、智

能分析模块、控制决策模块构成。数据存储模块运用时序数据库(InfluxDB/TDengine)和关系型数据库(PostgreSQL+时空扩展)相结合的办法,对实时监测数据、历史数据、设备档案数据、控制指令数据等进行分类存储,能够支持百万级测点的并发接入、PB级历史数据的治理工作,数据处理模块会对采集到的数据执行清洗操作,去除重复项,降低噪声并进行标准化处理,把无效数据剔除掉,从而使数据质量得到提高,智能分析模块借助大数据分析、机器学习等技术手段,建立水位-流量预测模型、设备故障诊断模型、安全风险预警模型等,实现对水闸运行状态的实时判断、故障预测、风险预警,像采用LSTM神经网络对启闭机电机温度、电流等参数做时序分析,能够提前72小时预测轴承磨损情况,控制决策模块依据智能分析得出的结果,结合水闸运行规则与调度需求,自动生成闸门启闭、设备启停等控制指令,同时也支持人工进行远程干预操作。

1.4 应用层

应用层作为水闸自动化监控技术的最终展现形态,它面向水闸管理工作者,给予多种应用功能,以此来满足不同场景下的管理要求,其主要涵盖实时监控、远程控制、故障预警、数据分析、报表统计、权限管理等功能。应用层的呈现途径主要有监控中心大屏、计算机客户端、移动APP等,工作人员能够借助多种终端实时查看水闸的运行参数与设备状态,远程发送控制指令,接收故障预警消息,查询历史数据和报表,达成水闸的精细化与便捷化管理。举例来讲,移动APP能够让工作人员在任何时间地点查看水闸运行状况,接收水位超警、设备故障等预警信息,并及时采取处置举措,提高管理效率。

2 水利工程中水闸自动化监控技术的具体应用

2.1 防洪排涝中的应用

防洪排涝属于水闸的关键功能范畴,在以往传统的防洪排涝工作进程里,相关工作人员要对水位、降雨量等参数进行人工监测操作,依据自身所积累的经验去判定闸门开启与关闭的时机、开度大小,这样的方式容易产生响应滞后、调度不合理之类的问题,进而有可能引发洪水漫溢、城市内涝等灾害情况^[4]。水闸自动化监控技术投入使用后,达成了防洪排涝朝着智能化、精准化方向的调度目标,极大程度上增强了防洪减灾的能力。在防洪调度工作当中,感知层的水位传感器、雨量计、流量传感器等相关设备能够实时采集水闸上下游的水位、降雨量、过闸流量等参数,其采样周期被缩短到了1秒,能够捕捉到洪水流量的突变情况,比如在1小时之内流量增幅超过200m³/s,采集到的数据会经过传输层实时传送到监控平台。平台层借助智能分析模块,把历史洪水数据、流域防洪标准、下游河道承泄能力等信息整合起来,以此建立洪水预测模型,能提前6小时对洪水风险发出预警,还会自动生成闸门启闭调度方案,清晰确定闸门启闭的时机、开度还有速度,执行机构依据平台下达的指令,自动完成闸门启闭操作,PLC控制下闸门启闭时间由人工操作的1小时缩减至1分钟,多闸联动同步精度达到±1cm,防止因水流冲击致使闸体损坏。比如,2018年长江流域防洪调度系统建成,涉及12座大

型水闸、8座泵站,通过光纤通信达成数据实时共享,多闸联动响应时间小于30秒,在2020年长江特大洪水中,该系统使下游淹没面积减少180万亩,体现出自动化监控技术在防洪排涝里的重要作用。监控系统能够实时对闸门运行状态予以监测,一旦出现闸门卡阻或者启闭异常这类问题,便会立刻发出预警信息,以此提醒工作人员及时进行处理,防止因设备故障而影响防洪调度工作。

2.2 水资源调配中的应用

水资源短缺问题越来越明显,此背景下水闸作为水资源调配关键设施,合理调配水资源便成为水利工程一项重要任务。在传统水资源调配模式里,依靠人工监测与操作,难以做到精准调配水资源,从而容易出现“大水漫灌”、“水资源浪费”之类的问题,当时灌溉水利用系数仅0.56,相比之下,远低于发达国家0.7-0.8的水平。而水闸自动化监控技术投入使用后,达成了水资源的精细化调配,提高水资源利用效率,能够满足农业灌溉、城市供水、生态补水等多种不同需求。农业灌溉领域里,感知层有土壤墒情传感器、水位传感器和流量传感器等装置,这些装置会实时采集土壤含水量、灌溉渠道水位、过闸流量等参数。数据传输到监控平台后,平台层会依据农作物生长需求、气象条件等诸多信息,对灌溉需求展开智能分析,然后自动调节闸门开度,控制灌溉水量和灌溉时间,实现“按需灌溉”,防止出现水资源浪费现象。比如,某水利枢纽泵站改造时,用西门子S7-300 PLC控制水泵机组,通过压力传感器与流量传感器实现了“恒压供水”,灌溉水利用系数提高到0.62。城市供水领域,监控系统会对供水管网压力、流量等参数展开实时监测,依据城市用水需求状况,自动调控闸门开度,以此保障供水压力处于稳定状态,防止供水管网出现破裂、漏水等情况。

2.3 设备运维中的应用

水闸当中的各类设备,像闸门、启闭机、电机等,它们能够稳定运行是水闸正常发挥其功能的根基所在。以往传统模式下的设备运维是采用定期检修的方式,然而这种方式存在诸多问题,检修有时不及时,有时又会过度检修,甚至还会出现漏检情况。这不但会让运维成本有所增加,同时也有可能因为设备发生故障而对水闸运行产生影响。水闸自动化监控技术开始应用之后,达成了设备运维的智能化与精细化管理。借助实时监测设备的运行状态,能够提前对故障隐患发出预警,进而制定出科学合理的检修计划,如此一来可以降低运维成本,还能够延长设备的使用期限。在感知层当中,振动传感器、温度传感器、电流电压传感器等各种各样的设备,会对启闭机、电机、闸门等设备的运行参数进行实时采集,例如电机的电流、电压,轴承的温度,闸门

的振动幅度等。当这些数据被传输到监控平台之后,平台层会依靠智能分析模块来建立设备故障诊断模型,通过这个模型来识别设备在运行过程里的异常状况,并且能够提前30天对轴承磨损、绕组过热等故障进行预测,故障检出率能够达到98%。举例来说,广东某船闸启闭机运用振动分析技术后,发现电机轴承在服役多年后呈现出故障特征,系统提前7天发出预警,从而避免了轴承断裂而引发的闸门卡阻事故。

2.4 生态保护中的应用

在生态文明建设的大背景之下,水利工程所具备的生态保护功能越来越受到人们的关注。水闸作为对河道生态环境有着关键影响的重要设施,它的运行状态会直接对河道水质、水生生物的生存环境等方面产生作用。在以往传统的水闸管理工作当中,没有对生态环境参数展开实时监测,如此一来,便容易出现因为闸门启闭操作不恰当而引发的水体富营养化、生态断流等各类问题。而水闸自动化监控技术得以应用之后,达成了生态环境的实时监测、保护这一目标,能够推动水利工程和生态环境实现协调发展。感知层的水质传感器,比如说pH值传感器、溶解氧传感器、氨氮传感器等,会对过闸水体质量进行实时监测。当数据被传输至监控平台以后,平台层会针对水质数据展开分析。一旦检测到污染物质超出标准范围,就会立刻发出预警信息,并且自动关闭闸门,以此来阻止污染扩散。还会联动上游水库放水来稀释污染。

3 结语

水闸自动化监控技术是智慧水利建设的关键支撑部分,在水利工程的防洪排涝、水资源调配、设备运维、生态保护等诸多场景里有着重要意义,切实提高水闸管理的科学性、高效性、安全性,为水利工程安全稳定运行给予了有力保障。伴随物联网、大数据、人工智能、数字孪生等技术持续进步,水闸自动化监控技术正朝着更智能、精准、高效、协同的方向迈进,会逐渐达成水闸的全生命周期智能化管理。

[参考文献]

- [1]黄桂平,霍瑜斌,邹雪琰.水利工程中堤坝渗漏自动化检测技术研究[J].水上安全,2025(5):37-39.
- [2]王富建.水利工程运行管理中远程监控技术的应用[J].大众标准化,2025(14):151-153.
- [3]陈功,杨帆,钱玉超.水利工程监理中自动化检测技术的实现与优化研究[J].水上安全,2025(19):127-129.
- [4]季雪.水利工程中电气自动化技术的运用研究[J].水上安全,2025(19):136-138.