

# 大中型闸站自动化、信息化和 智能化建设的若干思考

徐 青<sup>1</sup>, 陆轶群<sup>2</sup>, 徐 麟<sup>1</sup>, 高杏根<sup>3</sup>, 谈 震<sup>1</sup>, 张雷防<sup>1</sup>

(1. 南京南瑞水利水电科技有限公司, 江苏 南京 211106; 2. 南水北调东线江苏水源有限责任公司, 江苏 南京 210029;  
3. 江苏省水利厅, 江苏 南京 210029)

**摘要:** 分析大中型闸站自动化、信息化和智能化的现状和问题, 对水利工程管理单位开展大中型闸站的自动化、信息化和智能化系统的规划建设、运维管理以及相关技术标准规范制定提出发展对策。

**关键词:** 闸站; 自动化; 信息化; 智能化; 发展对策

**中图分类号:** TV675      **文献标识码:** B      **文章编号:** 1007-7839(2023)05-0035-0005

## Some thoughts on the automation, informationization and intelligent construction of large and medium sized gate stations

XU Qing<sup>1</sup>, LU Yiqun<sup>2</sup>, XU Lin<sup>1</sup>, GAO Xinggen<sup>3</sup>, TAN Zhen<sup>1</sup>, ZHANG Leifang<sup>1</sup>

(1. Nanjing NARI Water Resources Hydropower Technology Company Co., Ltd., Nanjing 211106, China;  
2. The Eastern Route of South-to-North Water Diversion Jiangsu Water Resource Co., Ltd., Nanjing 210029, China;  
3. Water Resources Department of Jiangsu Province, Nanjing 210029, China)

**Abstract:** Based on the analysis of the current situation and problems of automation, informatization and intelligence of large and medium-sized gate stations, the development countermeasures are proposed for water conservancy project management units to carry out the planning and construction, operation and maintenance management of automation, informatization and intelligent systems of large and medium-sized gate stations as well as the formulation of relevant technical standards and specifications.

**Key words:** gate station; automation; informatization; intelligence; development countermeasure

水利是国民经济命脉, 闸站是兴利除害重要的水利基础设施。第一次全国水利普查结果显示, 全国累计建设有大中型水闸 7 192 座, 泵站 4 013 座, 这些水利工程承担着流域性和区域性的防洪、排涝、灌溉、调水等重要功能, 在防汛抗旱、水资源管理中

起着不可替代的作用, 为国内工农业用水和城乡居民生活供水等方面发挥着重要作用。

2000 年以来, 随着计算机和工业控制技术的不断发展, 国内一些大中型闸站工程相继建设了自动化控制系统, 在一定程度上实现了闸站自动化监测

收稿日期: 2023-04-07

基金项目: 江苏水利科技项目(2020031)

作者简介: 徐青(1975—), 男, 高级工程师, 硕士, 研究方向为水利水电工程自动化信息化系统。E-mail: xuqing@sgepri.sgcc.

com.cn

与控制,提高了闸站自动化管理水平,取得了一定的经济效益和社会效益。但由于缺乏统一规划和建设标准,加之缺乏专业维护人员,导致自动化控制系统功能发挥受到限制,网络安全受到威胁,系统难以长期安全可靠运行,上述问题亟待解决<sup>[1]</sup>。

近年来,随着“云大物移智链”等新信息技术的快速进步,水利工程的信息化、智能化建设逐步得到了重视和推动<sup>[2-3]</sup>,也取得了一定的效果,但由于需求与应用场景分析深度不够,新技术应用还存在一定的瓶颈,建设成效较预期目标尚有较大差距。当前,水利部正在部署以“四预”功能为特征的智慧水利建设,应深度剖析大中型闸站自动化、信息化和智能化系统的应用现状,分析规划建设、维修保养、调度控制、监测巡视、资料归档和专业管理等方面存在的问题及成因,提出相应对策,以期深化国内大中型闸站的自动化、信息化和智能化应用,为智慧水利建设提供有力支撑。

## 1 自动化、信息化和智能化现状

### 1.1 闸站自动化建设方面

闸站自动化是充分利用信息采集技术和自动控制技术,实现闸站工程设施设备的自动监视和控制,保证闸站可靠运用和高效稳定运行的一系列技术手段,包括了闸门监控自动化、泵站监控自动化、视频监控、工程安全监测自动化等。

国内大中型闸站工程基本建成自动化控制系统,实现泵站和水闸的集中监视与控制,有效提升了闸站远程运用能力。基本建成视频监控,实现了闸站主要部位的实时图像监视,提高了工程安全防护水平。工程安全监测系统建设发展不均衡,“人工观测+人工数据录入”是主要的数据采集手段。东深供水、江都水利枢纽等大型水利工程建成集中控制系统,实现所属多个闸站工程的远程集中控制和调度管理,提高了工程安全高效运行水平。自动化建设方面,由于经费投入和技术力量配置不同,存在地区发展的不均衡。东部地区的闸站普遍优于中、西部地区的闸站,省管闸站显著优于市县管闸站。

### 1.2 闸站信息化建设方面

闸站信息化是指充分利用现代信息技术,与闸站业务相融合,深入开发和广泛利用闸站信息资源,实现对信息的采集、存储、处理和服务等一系列的技术手段,重点在于整合信息资源、优化资源配置、强化业务融合、深化信息共享机制,实现闸站运行管理的标准化、精细化、现代化。由信息共享而

实现运行管理全程的可见性,由可见性而至运管服务全程的可控性,由可控性而至运管系统的适应性,由适应性而至运管系统输出的一致性和服务的可得性,以致运行管理成效达标。

国内大中型闸站工程信息化方兴未艾,多个应用实践丰富了闸站信息化的外延。江都水利枢纽等闸站建成了精细化管理信息系统,规范操作流程,强化内部考核,提升工程运行管理水平。江苏水源公司所属的闸站建成了基于二维码、RFID、移动通信等物联网技术的手持移动终端巡检系统,实现巡检流程化的业务管理、规范化的数据存储。

### 1.3 闸站智能化建设方面

闸站智能化是以自动化、信息化为基础,合理利用“云大物移智链”等新信息技术,开展数据计算及分析应用,实现自感知、自学习、自决策、自执行、自适应等目标的一系列技术手段,闸站智能化实现了更广泛的感知、更精准的分析、更周全的决策和更自主的行动等。典型应用场景包括了系统运行分析及预测预警、智能图像识别、语音交互、声纹识别、设备状态评估等。

国内大中型闸站工程智能化仍处于起步阶段,应用场景有待拓展。江苏水源公司所属的洪泽泵站建成了新型计算机监控系统,基于IEC 61850信息模型、MMS通信技术以及边缘计算技术,提升了自动化系统安全性和智能化水平,部分闸站建成了智能视频监控,可实现人员入侵、车辆、船只等安防检测和坝前水草、河道油污、水尺读数等的监测;引江济淮西淝河北站工程建成了基于智能语音控制的运行监盘系统,构建了面向水利专用语库的语音识别、语义理解、语音合成等核心引擎,实现了画面呼出、控制发令、告警播报、视频查看、地图操作等语音交互控制,增强了运行监盘的操控性、灵活性、易用性;杭州八堡排水泵站工程探索利用数字孪生技术构建了水文-水动力-水质耦合模型,通过对杭嘉湖东部平原河网的水循环仿真,拟实现防汛保障预测预报和平原水环境分析,指导八堡泵站和周边泵站工程联合优化调度,提高流域和区域防洪排涝和水资源配置能力。

## 2 存在的主要问题及原因

### 2.1 规划建设方面

(1)自动化设施规划建设存在标准单一现象。功能特点和规模不同的闸站,却采用相同的规格进行自动化设施规划建设,难免导致过度建设或建设

不足。如部分分洪闸或排涝泵站运用概率不高,自动化设施使用频率低,后期维修养护不到位,易导致出现控制安全和信息安全隐患。另一部分挡潮闸兼有航运功能,调度控制频繁,却依靠人工监视闸上、闸下水位差,以此确定闸门启闭时机,导致运行人员劳动强度大。

(2)关键自动化元件可靠性有待提高。如大多数水泵机组定子测温仍采用热电阻温度传感元件,在强电磁场使用环境下存在信号回路抗干扰能力弱、布线复杂、维修时无法更换等难题。而多数机组冷却水示流信号器仍采用机械式流量开关,受冷却水杂质的影响,存在误动作导致水泵强迫停运的风险。

(3)自动化与信息化方面的行业及地方技术标准体系有待建立。设计阶段可借鉴的标准较缺乏,很多情况下依赖设计人员以往经验和习惯传承。建设过程及验收阶段也缺乏标准,部分功能未充分试验验证,导致系统移交后问题逐步暴露,有的还存在较大的控制安全隐患。维修养护阶段无标准可依,人力资源及经费投入不足,系统维护水平较难满足工程运行管理的要求。

## 2.2 维修养护方面

自动化设施的维修养护存在瓶颈。一部分闸站运行管理单位受维修经费投入不足和技术力量薄弱的限制,自动化设施的日常养护和维修无法规范实施,闸站自动化设备在建成初期运行状况较好,而运行几年后设备故障率明显上升,影响了建设效益发挥。另有一些闸站采用设备供应商模式进行设备维护<sup>[4]</sup>,由于维修养护资金限制,导致设备供应商参与设备维护积极性不高。还有一些闸站采用代维公司模式,存在专业力量不足、经费投入缺乏等问题,系统运维水平参差不齐。

## 2.3 调度控制方面

闸站群调度运用协同性不足。部分有联合调控需求的闸站(如城市防洪工程管理处所属闸站)受管理体制和自动化手段限制,仍采用专人值守、单独控制的运行方式,调度协同难,极端情况下存在上下游水流失调的风险。

## 2.4 监测巡视方面

安全监测和巡视检查自动化手段不足。安全监测和巡视检查是保障闸站安全运行的重要措施,由于缺少安全监测自动化设备,多数闸站的安全监测以人工观测为主,存在监测项目遗漏、观测频次不足、故障发现不及时等问题。巡视检查方面,水

泵机组在一段时间停用后,启动前需做全面检查,多数泵站电机绝缘检测、碳刷与滑环检查、漂浮物检查等重要检查项目仍靠人工,对巡视检查人员技能和责任心较为依赖,难以有效防范不规范操作带来的设备损坏和安全生产风险。

## 2.5 资料归档和专业管理方面

资料归档和专业管理信息化手段不足。闸站需要投入大量人力来保证技术档案的分类、整理和归档满足规范要求,现实工作中多数为兼职档案管理人员,时间和精力难以保障。同时,在综合事务、生产运行、检查观测、设备设施、安全管理、项目管理等专业管理方面,多数闸站仍采用纸质文档记录,无法实时跟踪实时反馈。

## 2.6 智能化技术应用方面

智能化技术应用仍处于初级阶段。“云大物移智链”等新信息技术与业务应用场景融合深度不够,实践成效尚未达到预期。如在巡视检查方面,有闸站试点采用巡检机器人取代人员进行巡检,但巡检覆盖范围不全、异常识别对象有限。而设备设施管理方面,有泵站试点机电设备故障诊断应用,但诊断准确率有待提高。当前部分闸站正开展数字孪生应用建设,取得了一定效果,但针对闸站运行管理的深度融合应用还处于探索过程中。

# 3 发展对策

## 3.1 进一步提升自动化信息化规划建设水平

(1)因地制宜开展自动化系统规划建设,实现自动化设施与闸站运用特点和规模的适配。如接入区域级集控中心的中型闸站在保证现地控制可靠性的前提下可简化站控级设备,采用扩大厂站模式实现远程监控。对水文数据实时性要求不高的闸站可简化自动化系统配置,由临近水文站定时获取闸站上游水位、下游水位、流量等数据。操作频繁的挡潮闸站应有针对性地加强自动水位控制功能建设。

(2)持续提升关键自动化元件可靠性,提高泵组、水闸操作成功率及减少强迫停运。应兼顾环境温度、防护条件、现场震动与冲击、机械性能、电气匹配、测量精度、设备造价等要求,合理安排设备选型、安装和日常定检。如在油污环境下平板门的闸门控制系统,宜选用基于静磁栅绝对编码器的开度测量方案。宜采用光纤光栅测温技术实现水泵机组定子等关键部件测温,以更好适应强电磁场干扰和高电压环境,充分发挥其绝缘性好、抗干扰性强、



响应速度快、耐高温、布线简单、安全可靠等优势<sup>[5]</sup>。又如冷却水含杂质较多时,宜采用热导式流量开关实现机组冷却水示流信号采集,具有无可动部件、使用寿命长、可靠且保养方便的优点<sup>[6]</sup>。

(3)统筹建设区域级闸站群集控中心,实现有联合调控条件的闸站群的联合优化调度运用、统一的设施设备的全生命周期管理和技术人才聚合。基于专有实时网络和先进的国产加密认证技术构建集控中心与闸站之间的控制传输网络。通过闸站传感器数字化、测控装置的网络化和信息建模以及无线通信技术应用,实现过程层、单元层设备的数字化网络化,显著减少传统信号电缆,提升设备自诊断能力,降低系统整体集成成本和运维成本。逐步建成完善可靠的区域级集控系统,为部分大中型闸站关门运行创造条件。

(4)加强监测巡视相关自动化系统建设,为机电设备及工程监测、数据分析、预测性维护提供完整的基础性数据。借鉴其他行业成熟的成功经验,实现闸站关键监测巡视数据的准确可靠的测量。如可在现有人工观测设施基础上安装安全监测自动化设备,宜采用振弦式仪器实施扬压力自动化监测,采用静力水准法实施垂直位移自动化监测,采用引张线法实施水平位移自动化监测,采用振弦式测缝计实施伸缩缝变形自动化监测。机电设备监测方面,可采用电机离线绝缘监测仪开展泵站电机绝缘检测,实现电机停机时自动对电机绕组进行绝缘监测,大幅提高检测频次、降低检测劳动强度、节省人工检测成本<sup>[7]</sup>。可采用红外热成像技术实现泵站电机碳刷与滑环检查,具有响应速度快、测量范围广、不受光线粉尘影响等优点<sup>[8]</sup>。

(5)加强闸站自动化与信息化方面的技术标准体系建设,指导水利工程建设和维护实践。标准体系横向涵盖自动化设施与信息化系统的技术条件、配置导则、安装及验收技术规范、维修养护及检修试验规程等,纵向涵盖过程层、单元层、应用层等。同时,要注重强化标准的执行力度,更有针对性做好闸站自动化与信息化建设、验收与维护工作。

(6)加强资料归档和专业管理信息化建设,为水利工程的精细化管理与考核制度提供强有力的技术支撑和考核依据<sup>[9]</sup>。以构建现代水利工程管理模式为目标,结合水利工程管理标准化、精细化、现代化的需求,紧扣水利工程管理的事项、标准、流程、制度、考核、成效等重点管理环节,建设水利工程综合管理平台,力求实现管理事项清单化、管理

要求标准化、管理流程闭环化、成果展示可视化、管理档案数字化、管理审核网络化,不仅满足运行管理、日常业务管理要求,而且覆盖工程管理考核、安全生产标准建设、精细化和标准化管理、行业监管等评价考核标准中的要素。

### 3.2 健全自动化信息化维修养护体系

针对闸站站点分散、自动化信息化方面的人才不足等特点,宜有效整合区域技术人才资源和维修养护需求,将地理位置相近或类型相似的闸站自动化信息化维修养护项目合并统一管理。对于自身有专业人才储备的工程管理单位,可采取自身力量为主、社会服务为辅的维修养护模式,日常维护由本单位相关机构承担,部分专业性强的维修养护依托设备厂商及社会力量开展;而对于自身专业人才不足的工程管理单位,宜采取自身力量监管、社会服务为主的维修养护模式,工程管理单位发挥监督考核、总结改进的主导作用,社会化运维公司发挥专业队伍的优势,通过制定闸站自动化信息化维修养护规范,落实合理的维修养护经费投入,严把服务外包质量关和过程管控,为维修养护工作提供有力保障。

### 3.3 积极拓展智能化应用

在自动化、信息化建设的基础上,应积极在运行监控、优化调控、设备健康管理、安全管理、数字孪生闸站等方面开展智能化研究和应用,持续提升现代化管理水平。

#### 3.3.1 运行监控方面

运用智能传感、物联网、云计算等新技术,融合工业互联网理念,将传统的集中式控制架构,逐步向基于云边协同的分布式全网络化架构转变。利用边缘计算技术,在现地设备层实现运行规律统计分析、预测预警、故障自动处置、测量异常辨识等功能,加快信息处理和传输速度,提升效率和设备自主运行能力;中心层协调多设备、多系统有机联动,专家系统可主动推送设备故障成因分析结果,给出排查方案,指导运行人员处置,有效提升运行监控的整体智能化水平。

#### 3.3.2 优化调控方面

采用水利机理模型及数理分析模型,以流域/梯级场景下的泵站群最优调控为目标,通过调度指令实时给出泵站群最优运行方案,在满足泵站效率及能源单耗为控制目标的前提下给出机组最优化开机方案,并实现自主调控功能,调控执行期间能够提供必要的安全闭锁和告警功能。

### 3.3.3 设备健康管理方面

采用新技术加强设备监测诊断能力。在旋转机械部件加强振动、摆度、声纹监测与预警能力;在主机碳刷、水泵填料函、变压器接线桩头、高压电缆、励磁电缆、开关柜母排等部位采用热成像监测温度,提升预警能力;在机组、变压器等关键设备建立多维度设备安全评价模型,动态给出评价结果;借助专家经验建立基于运行故障库的设备故障诊断分析系统,用于指导应急处置工作,支撑设备状态评价分析、预测性维护和状态检修工作的实施。

### 3.3.4 安全管理方面

采用技术先进、稳定可行的精密监测手段,实现闸站建筑物变形、渗流、应力应变、环境量等监测数据和巡视检查信息的融合处理,基于神经网络、支持向量机等模型实现安全评估分析,基于有限元计算等实现仿真分析,基于概率计算等实现风险分析,实现安全评估报告智能整编。安全管理方面,开展两票智能化管理,实现典型票管理、自动开票、冲突检测、移动查询;利用物联网RFID技术实现安全用具的数字化管理等。

### 3.3.5 数字孪生闸站方面

开展设备统一信息模型、统一设备编码、与数字化模型的标准化衔接、多维多时空数据整合共享等技术攻关,建立可满足建设、运维等不同时期的建筑物和设备三维可视化模型及数据底板;建立智能调控、建筑物安全监测分析预警、机电设备健康评价、关键部件劣化预测等专业模型,实现水资源调度及防汛决策、工程、设备及部件的运行状态和故障实时仿真、不利工况的预演及应急预案演练、人员培训等场景下的三维可视化交互应用。

## 4 结 语

在国家推进数字中国建设、水利部及各省推行智慧水利建设等宏观政策背景下,通过对国内大中型闸站规划建设、维修养护、调度控制、监测巡视、资料归档和专业管理等方面存在问题的分析,提出进一步提升自动化信息化规划建设水平、健全自动化信息化维修养护体系和积极拓展智能化应用等对策,为推动国内大中型闸站的自动化、信息化和智能化建设提供借鉴。

### 参考文献:

- [1] 周治刚,叶文武,左保静. 关于江苏水利工程自动化控制系统建设的认识与思考[J]. 江苏水利,2013(12): 14-15.
- [2] 曹帅,司存友,丁玉鹏,等. 江苏省水利“一张图”技术架构与标准解析[J]. 江苏水利,2019(3):65-68.
- [3] 李扬,颜蔚,汤炜. 精细化智慧水利信息平台的应用实践[J]. 水资源开发与管理,2021(4):55-58,38.
- [4] 潘贵山. 水闸自动化控制设施维修养护探讨[J]. 低碳世界,2016(5):60-61.
- [5] 宗和刚,金鹏林,杨祥. 光纤测温技术在发电机定子温度测量中的应用[J]. 水电站机电技术,2021,44(7): 49-53.
- [6] 闫文峰,许海洋. 一种解决水轮发电机组热导式流量开关频繁误动作的方法[J]. 红水河,2019,38(6):90-92.
- [7] 周新刚,封园,刘英雷,等. 发电机局部放电在线绝缘监测系统海上平台的应用研究[J]. 油气田地面工程,2019,38(1):80-83.
- [8] 沈琦,刘刚,季学友,等. 红外热成像技术在发电机碳刷滑环中的应用[J]. 仪器仪表用户,2021,6(28):101-103.
- [9] 周灿华,郭宁,魏强林,等. 水利工程精细化管理模式及实践研究[J]. 水利发展研究,2019(11):39-44,65.