

自动化监测技术在智慧水利工程中的应用分析

韦记安¹, 李宝国²

1. 桂林市青龙潭水利建设投资有限公司, 广西 桂林 541800

2. 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司, 陕西 西安 710000

DOI:10.61369/EPTSM.2026070001

摘 要 : 智慧水利工程的不同监测场景在监测目标、环境条件和数据精度等方面存在明显差异, 而自动化监测技术的全链路运行逻辑因其灵活性和可配置性, 能够有效匹配多类场景的监测要求。需要结合不同场景的参数要求, 明确前端感知设备的选型与布设规则, 还需根据不同使用主体的具体诉求, 开发对应的数据管理、分析预警及业务应用平台功能。针对技术应用价值的充分释放, 必须建立涵盖经济、社会、生态及管理效能的多维度效益评估体系, 从而持续推动自动化监测技术与水利核心业务的深度融合。

关 键 词 : 自动化监测技术; 智慧水利工程; 监测场景适配; 效益评估

Analysis of the Application of Automatic Monitoring Technology in Smart Water Management Projects

Wei Ji'an¹, Li Baoguo²

1. Guilin Qinglongtan Water Conservancy Construction Investment Co., Ltd. Guilin, Guangxi 541800

2. China Electric Power Construction Group Northwest Survey and Design Research Institute Co., Ltd. Xi'an, Shanxi 710000

Abstract : Different monitoring scenarios in smart water conservancy projects exhibit significant differences in terms of monitoring objectives, environmental conditions, and data accuracy. The end-to-end operational logic of automated monitoring technology, due to its flexibility and configurability, can effectively meet the requirements of various scenarios. It is essential to define the selection criteria and deployment guidelines for front-end sensing devices based on specific parameter requirements of each scenario, and to develop corresponding functions for data management, analysis, early warning systems, and business application platforms tailored to the needs of different users. To fully realize the technical application value, a multi-dimensional benefit evaluation system encompassing economic, social, ecological, and management efficiency aspects must be established, thereby continuously advancing the deep integration of automated monitoring technology with core water conservancy operations.

Keywords : automation monitoring technology; smart water conservancy projects; monitoring scenario adaptation; benefit evaluation

引言

智慧水利是水利行业数字化转型的核心载体, 其运行效能直接关系到水利工程安全管控、水资源调配、灾害预警等核心业务的落地成效。传统人工监测模式受巡检频次、环境条件、人员能力等多重因素约束, 难以覆盖全场景全时段的监测需求, 无法适配当前智慧水利建设的精细化管控要求。自动化监测技术具备连续采集、实时传输、智能分析等技术优势, 已成为破解智慧水利监测痛点的核心技术路径。现有研究多聚焦技术的单点应用, 未结合不同类型智慧水利监测场景的差异化需求, 形成标准化的落地实施框架与效益评估体系。梳理自动化监测技术与智慧水利工程的适配特征, 明确分层落地的实施路径, 提出可复制的效益测算方法与长期优化方向, 可为同类智慧水利项目的技术应用提供可参考的实操框架, 推动水利行业数字化管控水平的提升。

一、自动化监测技术在智慧水利工程中的应用适配性特征

（一）自动化监测技术的核心运行逻辑

自动化监测技术的全链路运行，依次覆盖前端感知采集、中间数据传输以及后端分析预警三个核心环节。前端感知环节会运用不同类型的监测设备，针对对应监测指标开展原始监测数据的采集工作，工作人员会提前针对设备的测量量程、误差范围、环境适应性等性能参数进行配置，确保设备运行状态契合对应场景的基础采集要求^[1]。

（二）智慧水利工程的监测场景需求

当前智慧水利工程的核心监测场景可划分为四个主要类别，不同场景的监测要求与核心目标存在较为清晰的差异。坝体安全监测侧重坝体形变、渗漏量等指标的采集，对监测数据的精度要求较高，响应时效需满足异常状态的及时预警要求，其核心目标是保障坝体的整体运行安全。库区水位监测侧重水位实时动态的连续采集，对数据的更新频率以及稳定性有明确要求，其核心目标是为库区的水量调度、防洪预案制定提供可靠的参考依据。

二、自动化监测技术在智慧水利工程中的落地实施路径

（一）前端感知层的点位布设方法

开展前端感知设备布设工作时，首先结合坝体安全监测、库区水位监测、河流水质监测以及流域水文监测等不同场景的精度要求，明确渗压计、水位计、GNSS监测站、水质传感器等不同设备的适用场景，渗压计主要运用于坝体渗流监测，水位计主要运用于库区以及河道水位监测，GNSS监测站主要运用于坝体形变监测，水质传感器主要运用于河流水质断面监测^[2]。再明确不同场景下的点位布设密度、安装固定方式的标准规范，坝体监测点位要沿坝轴线均匀布设，高风险区域适当提升布设密度，设备安装时要做好防水、防撞防护，契合水利工程自动化系统设计规范中的相关要求。南方某山区小型水库除险加固项目开展布设工作时，针对坝体位移、渗流监测需求，在坝顶、上下游坝坡的关键位置布设GNSS监测站，沿坝高分层布设渗压计，提前对所有设备的测量量程、误差范围、环境适应性等参数进行配置，适配山区潮湿、多暴雨的运行环境，布设完成后还要开展为期一周的试运行调试，对采集数据的准确性进行校验，及时调整布设位置不合适的设备，保障布设方案的可行性与监测数据的准确性，为整个自动化监测系统的搭建打好前端基础。

（二）数据传输层的组网运维方案

开展数据传输层的组网运维工作时，首先对比有线传输、无线4G/5G传输、LoRa传输等不同传输方式的优劣势与适用场景，有线传输稳定性较高，适宜点位密集、供电条件充足的坝体监测场景，无线4G/5G传输覆盖范围更广，适宜库区、流域等分散式监测点位，LoRa传输功耗较低，适宜点位数量多、供电受限的平原河网监测场景。再梳理传输链路的日常运维、故障排查的标准

化流程，定期开展传输信号强度检测、链路稳定性测试工作，运维人员还要定期对传输设备的供电状态、运行状态进行巡检，提前消除潜在的故障隐患，同时结合实际运维需求，搭建异常数据传输预警机制，当出现数据丢包、传输延迟超标的情况时，马上向运维人员推送预警信息，第一时间开展故障修复工作。长三角平原河网智慧监测项目开展组网工作时，针对河网分散点位供电条件有限的特征，选用低功耗LoRa组网方案，把所有点位的监测数据统一汇总到边缘网关后再上传至管控平台，运行阶段的数据传输稳定性较高，完全契合河网水文、水质监测的时效性要求^[3]。

（三）决策应用层的功能开发逻辑

开展决策应用层的功能开发工作时，首先梳理智慧水利工程运维人员、管理人员以及社会公众等不同参与主体的功能需求，运维人员侧重设备运行状态监控、异常预警信息接收的需求，管理人员侧重水情研判、调度决策支撑的需求，社会公众侧重水情信息公开查询的需求，再按照需求的紧急程度明确水情预警、安全研判、调度决策等核心功能的开发优先级。再说明监测数据与智慧水利管控平台的对接标准，保证不同类型、不同来源的监测数据能统一接入平台，提出数据可视化呈现的具体要求，把各类监测指标、分析结果以直观的形式呈现给使用人员，平台开发过程中还要充分考虑不同使用人员的操作习惯，优化交互界面，降低功能使用的门槛，契合智慧水利建设顶层设计的相关要求。

三、自动化监测技术在智慧水利工程中的应用价值提升方向

前面已经明确了自动化监测技术在智慧水利工程中的适配特性以及分层落地的实施路径，而技术应用的最终价值需要通过实效效益测算来量化呈现，同时还要结合现行的水利建设要求梳理长期迭代方向，才能充分释放技术在安全管控、成本管控以及长效运行层面的核心价值，为后续同类智慧水利项目的技术应用提供可参考的效益评估框架与长期优化思路，进一步推动自动化监测技术与智慧水利业务的深度融合。

（一）安全管控维度的应用效益测算

首先开展效益量化评估指标体系的构建工作，把隐患预警准确率、应急响应时长缩短比例、事故发生率下降比例当作核心评估指标。构建过程中，结合不同监测场景的安全管控目标，把隐患预警准确率的测算维度细分到坝体形变、渗漏、水质异常、水位超阈值等不同隐患类型，每个类型按照监测数据的误差允许范围划定准确率的核算标准；应急响应时长缩短比例的测算要对接应急处置的全流程，从隐患识别、预警推送、人员到场、处置落地四个节点分别统计两种模式下的耗时差值；事故发生率下降比例的测算要统计同一项目应用技术前后三年的同类安全事故发生次数以及造成的损失规模。再对比传统人工监测模式与自动化监测模式下的安全管控效果差异，传统人工监测受巡检频次、人员专业能力、环境条件约束，很多隐蔽性隐患无法及时识别，极端天气下还无法开展现场巡检，预警滞后性较强；自动化监测可以实现24小时连续采集，数据实时上传分析，隐患识别的时效

性大幅提升。结合某大型灌区2022-2024年的监测数据统计结果,2022年灌区还未全面应用自动化监测技术,全年共发生渠道渗漏、边坡滑坡隐患17起,其中有3起隐患未及时发现造成渠段冲毁,直接经济损失超过120万元,应急响应平均时长为2.7小时;2023年全面部署自动化监测系统后,隐患预警准确率达到96.2%,应急响应平均时长缩短至45分钟,较传统模式下降72.2%,全年仅发生2起小型渗漏隐患,未造成大规模工程损毁,直接经济损失降至8万元以内,间接经济效益还包括避免灌区灌溉期停水造成的农业生产损失,累计测算安全管控层面的年综合效益超过240万元,充分凸显自动化监测技术在安全风险防控层面的核心应用价值^[4]。

（二）运维成本维度的应用效益测算

首先开展自动化监测系统全生命周期的成本梳理工作,将设备采购、安装调试、年度运维三个部分纳入成本构成的核算范围。设备采购成本按照不同监测场景的点位布设数量、设备类型进行核算,安装调试成本包含点位施工、设备校准、试运行三个环节的人力、物料成本,年度运维成本包含设备巡检、故障更换、链路维护的相关支出。再把自动化监测的总成本与传统人工监测的人力、时间成本做横向对比,传统人工监测的成本主要由巡检人员薪酬、差旅成本、监测工具损耗、数据整理人工成本四个部分构成,尤其是分散式的流域、河网监测场景,巡检路线长、点位分散,人工成本的占比会大幅提升。再明确不同规模智慧水利项目的成本回收周期测算方法,把自动化监测系统的初始投入总额除以每年较传统模式节约的运维成本,就能得出对应的成本回收周期,不同规模的项目可以根据点位数量、运维复杂度调整测算系数,小型水库类项目的测算系数可以适当下调,大型流域、灌区类项目的测算系数可以适当上调。结合北方某县域智慧水务建设项目的成本统计数据,该项目共布设前端监测点位127个,覆盖县域内所有小型水库、重点河道断面以及供水主干渠,自动化监测系统的全生命周期总成本测算为328万元,按照10年

的使用周期计算,年均成本为32.8万元;而应用技术之前,该区域的水利监测共配备21名专职巡检人员,加上差旅、工具损耗等成本,年均运维成本达到76.4万元,应用自动化监测技术后,仅需要配备4名运维人员负责设备的定期巡检与故障处置,年均运维成本降至19.2万元,年均节约成本57.2万元,成本回收周期仅为5.7年,同时还能减少故障处置不及时造成的额外损耗,为同类县域级智慧水利项目的成本管控提供了可参照的核算标准。

（三）长期迭代的优化方向梳理

首先结合当前技术应用过程中暴露的实际问题明确技术迭代的核心方向,当前应用阶段暴露的问题主要包括极端低温、强降雨、强电磁干扰等极端环境下,部分前端感知设备的采集误差会超出允许范围,多源监测数据的融合度不足,不同类型、不同厂商的设备采集的数据格式不统一,无法实现跨场景的数据关联分析,这些问题都制约了技术应用价值的进一步释放。技术迭代的首要方向是优化前端感知设备的环境适应性,针对高海拔、极寒、强降雨等特殊运行场景,对设备的防护等级、耐温范围、抗干扰能力进行针对性升级,降低极端环境下的数据采集误差,同时要统一不同设备的数据传输格式,制定标准化的数据接入规则,提升多源数据的融合度^[5]。

四、结语

自动化监测技术在智慧水利工程领域的应用,是补齐传统监测模式短板、提升水利工程管控效能的重要举措。技术落地实施过程中需充分匹配不同监测场景的差异化需求,从前端布设、传输组网、平台开发三个层面形成标准化的实施流程,保障监测系统的运行稳定性与数据可靠性。后续需持续完善技术应用的效益评估体系,结合实际运行反馈不断迭代技术适配性,推动技术与水利核心业务的深度融合,为智慧水利建设的高质量推进提供坚实的技术支撑。

参考文献

- [1] 肖晶, 陈明文. 智能化技术在水利工程施工中的应用研究 [J]. 水上安全, 2024, (24): 37-39.
- [2] 黄鹏. 自动化技术在水利水电大坝维护中的应用研究 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2024, (36): 216-218.
- [3] 马成花. 水利工程节水灌溉中自动化控制系统的设计与实现 [J]. 科技与创新, 2024, (23): 64-66.
- [4] 苏航. 水利工程自动化控制系统故障排除方式研究 [J]. 水上安全, 2024, (24): 82-84.
- [5] 罗志辉. 自动化安全监测技术在智能矿山中的应用研究 [J]. 自动化应用, 2025, 66(22): 251-254.