

智慧水利在工程管理中的关键技术与应用效益研究

蔡思远

崇左市左江治旱工程管理中心

DOI:10.32629/hwr.v10i3.6924

[摘要] 新一代信息技术飞速发展,促使水利行业由原来的管理模式向智慧化转变,从根本上改变了水利工程的管理和服务方式。本文以智慧水利在工程管理中的应用为研究对象,对智慧水利的核心内涵、技术体系及发展现状进行了系统的梳理,并着重分析了物联网、大数据、人工智能、数字孪生等技术在建设、运维等各个阶段的应用途径。智慧水利的运用使水利工程进度、质量控制更加精确,安全预警及时、主动,水资源调度效益得到提高,运维成本降低。但目前还存在着数据安全风险分析、缺少标准体系建设、缺乏复合型人才管理等问题。本文在分析现状及问题之后提出相应对策,以期给智慧水利在实际中的应用、工程管理效能的提高给予一定参考。

[关键词] 智慧水利; 工程管理; 物联网; 数字孪生

中图分类号: TL372+.3 **文献标识码:** A

Research on Key Technologies and Application Benefits of Smart Water Conservancy in Engineering Management

Siyuan Cai

Zuojiang Drought Control Project Management Center, Chongzuo City

[Abstract] The rapid development of new generation information technology has prompted the water conservancy industry to shift from the original management mode to intelligence, fundamentally changing the management and service methods of water conservancy projects. This article takes the application of smart water conservancy in engineering management as the research object, systematically sorts out the core connotation, technical system, and development status of smart water conservancy, and focuses on analyzing the application pathways of technologies such as the Internet of Things, big data, artificial intelligence, and digital twins in various stages such as design, construction, and operation and maintenance. The application of smart water conservancy enables more precise progress and quality control of water conservancy projects, timely and proactive safety warnings, improved water resource scheduling efficiency, and reduced operation and maintenance costs. However, there are still problems such as data security risk analysis, lack of standard system construction, and lack of composite talent management. After analyzing the current situation and problems, this article proposes corresponding countermeasures in order to provide some reference for the application of smart water conservancy in practice and the improvement of engineering management efficiency.

[Key words] Smart Water Conservancy; Engineering management; Internet of Things; Digital Twin

近些年来,国家一直重视水利信息化和智慧化建设。2021年水利部发布关于智慧水利的指导意见,提出到2025年基本建成智慧水利体系,将智慧水利列为国家水网建设的重要内容。党的二十大报告提出要统筹水资源、水环境、水生态治理,推进智慧水利建设,给行业提供政策支持。在政策和技术的双重驱动之下,物联网、大数据、人工智能等新一代信息技术飞速发展并迅速渗透到水利领域当中,促使工程管理由原来的“粗放式”管理逐渐向“精细化”的管理模式转变。由于智慧水利在工程管理

中还处在探索阶段,怎样将各种技术手段有机地结合起来,形成一个系统、协同、高效智慧化的管理体系,已成为急需解决的问题。本文以技术应用和管理实践为基础,对智慧水利在工程建设、运营管理中应用模式及实现途径进行系统的探究,以期给相关领域提供一定的参考。

1 智慧水利概述与发展背景

1.1 智慧水利的内涵与特征

智慧水利是以新一代信息技术为驱动力,使水利工程建设

和管理实现全过程数字化、网络化、智能化转型的综合管理体系。核心架构分为四个层次,分别为感知层、传输层、数据层、应用层。感知层用传感器、无人机、遥感设备实时采集水位、流量、地质位移等多方面信息;传输层依靠5G、光纤等网络完成数据的高速、安全传输;数据层利用大数据技术清洗、整合和存储大量的异构数据,创建水利专题数据库;应用层借助人工智能、数字孪生和可视化技术,给工程决策、水资源调配、安全预警等赋予智能支撑^[1]。智慧水利具有全面感知、广泛互联、深度融合、智能决策这四个特点,是水利工程管理由依靠人工经验向数据驱动的智慧决策的根本性变革。

1.2 智慧水利发展现状

国际上荷兰、美国、日本等国较早开展了水利数字化的探索。荷兰的数字三角洲系统依靠实时数据整合和水动力模型联动来达成复杂的水网精确调节,美国的大坝安全监测和数值仿真也紧密结合在一起,从而大大改善了大坝的安全管理。国内自“十二五”开始一直推进水利信息化建设,“数字孪生流域”是智慧水利的核心工程,在长江、黄河等七大流域已经布局。三峡、小浪底等重大工程已经建成智慧管理系统,对洪水预报、调度决策、安全监控起到重要的作用。到2025年全国超80个大型水库建成了智慧化管理平台,建设速度加快。但是区域发展不平衡、核心技术自主化程度低等状况仍然比较严重,影响到整体效能的提高,需要对关键技术攻坚和体系化推进途径做进一步的研究。

2 智慧水利关键技术体系

2.1 物联网与感知监测技术

物联网是智慧水利感知体系的中心。在水利工程的关键部位设置智能传感器节点,形成覆盖全区域的立体感知网络,对水位、流量、降雨、变形、渗压等要素进行高频、自动、连续的采集,数据精度和时效性比人工监测要高很多。无人机、卫星遥感等技术对工程区域地表沉降、岸坡崩塌、库区淤积等大范围动态监测起着补充的作用,克服了地面传感网络的不足。水下机器人(ROV)可以解决坝基、消力池等水下隐蔽部位检测难以发现的问题,降低了作业的风险。边缘计算节点对多源数据进行初步预处理之后,再通过工业物联网协议传送到云端,从而得到工程全要素、全时域的感知数据流,给上层智能分析和决策提供基础^[2]依据。

2.2 大数据与人工智能技术

大数据和人工智能技术属于智慧水利实行数据驱动决策的主要手段。大数据技术给海量、多源、异构的水利数据(监测、气象、地质、施工、遥感等)赋予了高效的分布式存储以及并行计算能力,很好地克服了传统数据库无法应对的存储及处理难题。人工智能算法被广泛应用到洪水预报、安全评价、设备诊断等各个领域里,其中循环神经网络可以提高中长期径流预测的精度,卷积神经网络可以自动生成大坝裂缝、渗漏等病害图像,具有较高的识别准确率,提高了水库多目标调度的优化效果,实现了防洪安全与综合效益的双提高。数字孪生技术依靠创建高

保真的虚拟模型,达成物理工程同数据之间的动态联系并进行超前预测,成为目前智慧水利的前沿技术形式,给水利工程管理的智能化更新赋予了关键的技术支撑。

3 智慧水利在工程建设管理中的应用

3.1 工程进度与质量管控

工程建设期是水利工程全生命周期中风险最集中的时期,智慧水利技术的使用给进度、质量控制赋予了新的方法。以BIM(建筑信息模型)和GIS为基础,创建出工程建设三维数字化管理平台,施工图纸、工程量清单、施工计划同实体工程之间达成精准的空间联系,管理人员在虚拟环境中可以清楚地了解到工程的推进状况,及时发现设计冲突和施工偏差^[3]。从施工过程角度出发,在施工现场设置智能摄像头、无人机巡检系统以及RFID物料追踪系统,对工程的形象进度、劳动力的分布情况、机械设备的作业状况实施及时采集并加以剖析,再依靠4D-BIM动态进度模型来自动找出关键线路出现滞后现象的风险点,并发出警报,从而促使项目管理人员及时采取纠正措施,进而缩减工期延误的可能。在质量控制上,混凝土浇筑温度实时监控系统在仓面上布设温度传感器,对混凝土水化热温升过程进行实时监测,根据温控措施要求及时调整,大体积混凝土温度裂缝发生率明显下降。原材料质量追溯系统使用二维码、RFID标签技术对钢材、水泥等主要建材从采购入库到工程使用全过程实行可追溯管理,从根本上杜绝不合格建材进入工程项目带来的安全风险,全面提高工程建设质量控制的精细化水平。

3.2 安全监测与风险预警

水利工程施工期安全风险种类繁多,智慧化安全管理体系的创建给减小事故风险赋予了有力支撑。以视频智能分析技术为基础的施工现场安全监管系统,可以实时监测施工人员安全帽佩戴情况、安全带使用情况、违规作业等情况,一旦出现违规行为就会立即发出告警信息到管理终端,使现场安全管理效率比传统的人工现场巡查模式高很多。在高边坡和深基坑工程中,采用全站仪自动化监测系统、倾斜仪阵列和地下水位传感器对边坡变形和地下水动态进行毫米级精度的连续监测,使用阈值告警模型和趋势预测算法来提前判断潜在滑坡风险,给施工作业的安全组织提供量化依据^[4]。对于大型水利枢纽施工期围堰安全监测,采用智慧监测系统把水位、渗压、位移等多种监测数据融合起来,创建起多因素耦合的围堰稳定性评价模型,在出现异常情况的时候,可以自动执行分级响应预案,从而很好地规避围堰溃决等重大安全事故的风险。相比传统定期人工巡查、事后被动处置的模式,智慧化安全预警体系由原来的“事后处置”变为现在的“事前预防”,在保证施工安全的同时也给重大工程建设决策提供更多科学的数据支持,是水利工程建设安全管理的新实践。

4 智慧水利在工程运营管理中的应用

4.1 水资源调度与优化管理

水资源调度属于水利工程运营管理的关键部分,它同防洪、发电、供水、生态等诸多目标综合效益的达成有着联系。传统

的依靠经验的调度方式,对于复杂的水情以及多工程联合调度来说,决策速度会受到限制。智慧水利调度系统把实时水文监测、气象预报和水库特征参数融合起来,创建出细致化的水文预报和调度决策模型,明显提升了决策的科学性以及及时性。用人工智能的洪水预报系统把黄河防洪调度的72小时流量预报精度从原来的不足80%,提高到了90%以上,给小浪底等水库群联合调度留出了更多的响应时间。智慧调度平台创建多水源耦合模型,把地表水、地下水、再生水等各方面的时空分布情况纳入考量范围,借助优化算法及时求出最佳的供水方案,在保证用水安全的基础上进一步提高水资源的利用效率。生态流量控制模块对生态敏感断面下泄流量进行实时监测,及时对水库调度命令做出相应的调整,保证重要河段生态基流保障率达标,有效地解决水利工程运行与河流生态保护的矛盾,使水利工程效益得到全方位的扩展,同时也使生态效益和社会效益得到提高。

4.2 工程设施运维管理

智慧化运维管理给水利工程设施规模大、检测难、成本高的运维难题找到了一条有效的解决之道。依靠工程全生命周期数字孪生平台,管理人员可以及时掌握构筑物的健康状况,将设计原始数据同历史监测基准加以对比,迅速找到异常和劣化趋向,从而给维修决定赋予准确参照^[5]。在水闸、泵站等机电设备上,把振动信号分析同运行大数据挖掘融合起来,达成对水泵叶片磨损、轴承疲劳等早期故障的预测性诊断,把运维模式由“故障之后维修”变更为“预测性维护”,使得设备故障停机时间和年度维护费用得以缩减。无人机自动巡检系统用规划航线、搭载双光相机在水库大坝、输水渠道等线性工程日常巡检中取代人工,单次巡检效率提高,有效地发现裂缝、渗漏等隐患。根据巡检影像进行AI自动判读,可以在30分钟内完成隐患的自动标注和分级处理建议的提出,大大提高运维管理效率以及智能化水平,给水利工程的安全稳定运行提供保障。

5 智慧水利工程管理面临的挑战与对策

5.1 主要挑战分析

智慧水利工程管理存在着诸多的现实问题。一是网络安全风险属于首要的隐患,水利数据牵涉到防洪调度、大坝安全这些重要的敏感信息,目前网络安全防护体系跟不上数字化建设的速度,存在数据泄露和被攻击的风险,对公共安全造成威胁。二是数据壁垒和信息孤岛问题比较突出,水文、气象、环保等各方面的数据标准不一样,共享机制不健全,造成跨部门整合困难,严重影响综合应用的效能。三是技术标准和规范建设滞后,缺少统一的顶层架构和基础标准,造成各地系统“烟囱林立”,互相

不兼容。四是复合型人才缺乏,具有水利专业和信息技术双重技能的人才严重短缺,尤其是基层单位人才匮乏更加突出,影响工程项目开展及长久运转。

5.2 对策与建议

为有效应对智慧水利工程管理面临的安全挑战,需构建体系化、常态化的安全防护机制。在技术防护层面,应严格依据国家网络安全等级保护2.0标准构建分级防护体系,对核心生产控制系统与关键信息基础设施实施严格的物理或逻辑隔离与数据备份,并定期组织常态化的网络安全攻防演练,以持续检验和提升系统的实际防护与应急响应能力。加快建立统一共享交换平台,制定标准规范,以流域为单位推进跨部门数据的汇聚。建议水利部统一制定水利工程建设标准总体框架和专项技术标准,实现系统之间互相连接。高校要改善课程安排,培养复合型人才,管理单位应当创建在职培训体系,提高从业人员的数字化水平。

6 结论与展望

智慧水利成为新时代水利工程高质量发展的重要驱动力。经过研究发现,以物联网、大数据、人工智能、数字孪生为代表的技术体系,在工程建设进度质量控制、安全预警、运营期水资源优化调度和智慧运维等重要方面,具有传统管理模式所不能比拟的优势,推动工程管理由知识密集型、数据驱动型发生深刻转变。从长远来看,由于数字孪生可以实现全生命周期的精确映射、人工智能大模型提高了自主决策能力、天空地一体化监测网络不断延伸、安全标准和人才队伍建设不断完善,智慧水利将成为提高水安全保障水平、提升工程管理水平的重要力量。

[参考文献]

- [1]张棋.智慧水利工程管理模式的创建与实施优势[J].智能建筑与智慧城市,2025,(12):192-194.
- [2]李保华.智慧水利技术在农田水利工程管理中的应用研究[J].当代农机,2025,(10):70-71.
- [3]苏轼醒,钟原.数字孪生技术在智慧水利工程中的应用研究[J].智慧中国,2025,(09):110-111.
- [4]李长青,马宏元.智慧水利在水利水电工程管理中的应用研究[J].水上安全,2025,(09):13-15.
- [5]胡汛训,胡婷婷.智慧水利在工程风险管理中的应用探析[J].水电与新能源,2023,37(08):38-41.

作者简介:

蔡思远(1992--),男,壮族,广西崇左人,本科,助理工程师,研究方向:水利方面。