

水利工程信息化调度运行管理

张光磊

新疆兵团第三师图木舒克市水利工程管理服务中心, 新疆 图木舒克 843900

[摘要]伴随着云计算、物联网、人工智能这些新兴信息技术的发展水利工程施工的调度运营管理正在发生着由传统的管理模式转变为信息时代、智能化的时代的转变过程。文章对水利工程信息化调度运行管理系统结构进行了全面解析,并针对其中的物联网、智能感知、大数据、云计算、人工智能、模型仿真、通讯安全等关键技术的应用做了具体说明,同时对实时监控报警、自动调度、应急预案处理及决策辅助、运维管理和效能评价这四大核心部分进行了详细的讲解,在最后针对整体设计、硬件设施、软件系统开发、人才储备等问题提出了解决方法以及保障措施。

[关键词]水利工程; 信息化调度; 数字孪生; 智能感知

DOI: 10.64635/ja.2026.1142

中图分类号: TV697

文献标识码: A

Information-Based Dispatching, Operation, and Management of Water Conservancy Projects

Zhang Guanglei

Water Conservancy Project Management Service Center of the Third Division, Tumxuk City, Xinjiang Production and Construction Corps, Tumxuk 843900, Xinjiang, China

Abstract: With the development of emerging information technologies such as cloud computing, the Internet of Things, and artificial intelligence, the dispatching, operation, and management of water conservancy projects are undergoing a transformation from traditional management models to information-based and intelligent management. This paper provides a comprehensive analysis of the structure of the information-based dispatching and operation management system for water conservancy projects, and gives a detailed explanation of the application of key technologies including the Internet of Things, intelligent sensing, big data, cloud computing, artificial intelligence, model simulation, and communication security. It also elaborates on four core components of the system, namely real-time monitoring and alarm, automatic dispatching, emergency response and decision support, as well as operation, maintenance, and performance evaluation. Finally, the paper proposes corresponding solutions and safeguard measures for issues related to overall system design, hardware facilities, software development, and talent reserve.

Keywords: water conservancy project; information-based dispatching; digital twin; intelligent sensing

引言

随着近些年国家大力发展智慧水利建设,明确提出要建立数字孪生水利系统,实现水利业务同信息科技的高度融合。数字孪生水利系统就是在水利业务上充分应用大数据、云服务、人工智能等数智技术,把江河湖库及水利设施全部搬到虚拟空间进行仿真分析、调度推演来支撑水旱灾害防御、水量调度等水利业务的智慧“大脑”。因此在这样的背景下探讨水利工程信息管理调度运行管理研究就有着重要的理论意义和现实作用。

1 水利工程信息化调度运行管理体系架构

水利工程信息化调度运行管理是个多层面、多方参与

的复合型体系,系统结构要符合“感知—分析—决策—控制”的闭环管理模式。按照不同的层次可以划分为感知层、传送层、支撑层、应用层及交互呈现层五个部分。感知层通过各种传感器、探测器来获取水文、气象、工程的信息,传送层利用以太网、光纤、5G、物联网等通讯手段进行可靠传递,支撑层完成来自不同来源不同类型的数据采集、加工、整合分析等工作,应用层执行具体的调度管理工作任务,交互显示层以图形化的方式给管理者呈现直观的操作窗口。

就横向协同而言,信息化工单管理系统要贯穿整个工程生命过程以及所有的业务流程。一个比较完善的智慧灌

区管理系统包含了水利工程管理、水资源调度、联合巡查、防汛抗旱、测灌量等几方面业务的应用系统,并且把所有的业务应用系统进行高程度上的集成整合,形成灌区信息的一站式展示、管理和导航。这种方式使业务不再相互隔离,实现了“资源共享、调度联运、维护有序”。

从技术集成上看,信息化调度管理机制正朝着数字孪生的方向发展,在数字孪生水网体系中,有数字孪生流域,数字孪生水网和数字孪生水利工程组成,彼此之间互相链接,相互共享信息。数字孪生水利工程是围绕着保障工程项目的安全和效益最大化这个目标进行的,基于整个水利工程项目的全寿命期,对于工程本体状态以及周围的环境等各方面进行深度解析判断,这样的一种虚拟与现实相结合的结构形式能够让实体工程建设与数字化的模型相互通信反馈,并能实时显示出来,从而对调度做出更为合理地指导建议。

2 关键技术支撑

2.1 物联网与智能感知技术

物联网技术是水利工程信息化调度的“神经末梢”,它起的作用就是能够全方位、可靠地感知到外界环境以及可靠的控制。现代化水利工程应该建立天地空水工一体化的感知网,采用建设新的水文观测点、降雨量观测台、视频监控点、大坝安全观测点、闸门自动控制系统等方法铺设主干渠光纤网,把整个灌区紧紧相连起来,从而完成水利信息实时监控、控制。这样一个整体性的感知网络,给调度管理工作提供及时、精确的信息支撑。

在实际的应用过程中智能感知技术朝着多元化、一体化的方向发展,例如对水库大坝安全进行监测的时候,在对表面变形监测完全依靠测量机器人自主进行,在边坡位移监测点运用北斗卫星系统,实现了快速准确的获取信息,原来一次观测加数据分析耗时18个小时,现在只需要1小时就可以;而通过引入无人机、无人船等移动式感知手段,又扩大了感知的范围及功能,搭载无人机巡检、无人船探测、GNSS位移监测、渗流渗压监测等多种设备,可以实时精准地捕获到水情、雨情、工情等全方面的信息,构建起全天候、全方位的感知体系。

2.2 大数据与云计算技术

大数据和云计算技术对大规模水利数据进行存储,处理以及分析给予有力支持。水利工程管理中的调度运行会产生大量的数据,这些数据来源于多个源头并且是不同类型的,并且体量巨大、实时性强,常规的数据处理手段无法支持这种需求。而云计算平台具备弹性的计算能力,分

布式的存储,服务化的功能,成为水利信息基础设施的重要组成部分^[1]。建立智算云平台并形成AI中台+数据中台的模式可以很好的整合气象,水文,工程管理及建设等方面的数据,给上面的应用系统提供一个统一的数据服务。

大数据技术主要用于进行数据整合与处理。水利调度要考虑来水预报、需水预测、工程能力限制等多个方面的问题,通过把灌区物理流域全要素以及水资源管理活动都数字化映射出来并进行智能模拟,可以实时监测到水资源供需关系及水利工程和传感设备的状态情况。基于大数据分析得出的各种预测模型可以对水文情势和工程状态变化做出预测。为调度决策提供参考建议。

2.3 人工智能与模型仿真技术

人工智能及仿真建模技术是调度智能化发展的重要推手。水利专业的模型就是机理研究的基础,例如水文模型、水动力模型、结构分析模型等等,在此基础上可以利用物理原理来对水利对象进行模拟。目前通过自主研发的混凝土坝结构分析模型的基础上,开发了大型水电站大坝结构性态实时仿真引擎,相比于国内同类型商业软件具有两个数量级差异,单工况分析耗时由6~7小时降低到0.5小时,达到每天实时跟踪仿真及随时可以进行应急工况演练。

同时,人工智能也在改变着水利调度决策的方式方法。比如南水北调“天河”大模型,建设一个智算云平台,搭建人工智能平台和大数据平台两个平台,创建水网大语言模型、水网视觉大模型以及水利专业知识模型集群三个模型集群,可以理解和预测复杂的水循环过程并且帮助做出决策,实现对复杂水系统的智能感知及认知、精确预测及警报、仿真推演及模拟、智能决策及方案等方面的功能。这种“原理模型+人工智能”的方式,在保持物理规律合理性的基础上,又增加了数据驱动的灵活度,大大提高了复杂调度任务求解的速度。

2.4 通信与网络安全技术

通讯及网络安全技术是信息管理调度系统稳定工作的核心基础设备,在水利工程中由于分布较广且周围环境差异较大,对于通信网络的覆盖面以及稳定性有着较高的需求,光纤通讯、4G&5G、LoRa、卫星通信等各种通讯方式相互配合使用可以满足不同的传送需要,从而构建出“远近结合,有线无线互相支持”的通信网络结构。

网络安全更是信息化调度不可逾越的红线。伴随着水利工程由各自封闭转变为互相联接,网络暴露风险面不断加大,信息安全问题更加严重。根据网络安全等级保护规

定,实施信息系统等保测评以及网络安全攻防演习活动,在技术上、制度上、管理上形成完备的安全防护机制,全方位提升信息安全防御、检测和處理的能力已经成为信息化工程的一项重要内容。而对于涉及国家安全的關鍵信息基础设施还需依法依规落实重点防护措施来保障调度控制系统的稳定性。

3 信息化调度运行管理主要功能

3.1 实时监测与预警

实时监控及报警是信息化调度管理系统最基本的功能要求,旨在全方位了解水利工程运行状况,及时发现问题。监测指标包含有水情、雨情、工情、水质、视频图像等各个方面,对水库本身及其周边地区的降雨量、水位、流量、泄洪、水质、坝体安全六个预警指标进行实时动态监测,报警信息精准推送到各个工作岗位上,“不留盲区、有的放矢”。

预警功能实现的基础是合理可行的预警指标以及分析模型,平台使用线性回归分析、均值逼近、可信度区间估算、典型小概率法等统计学方法来制定监测指标并形成由单点异常到整个系统状态的安全预警分析体系^[2]。构建了包含层次分析算法在内的水电站大坝安全综合评定标准以及预警等级划分制度,使水电站大坝的安全判定从“单一判断”发展到“全面量测”,检测频率从“日检”变为“分检”,极大的加快了风险应对速度及准确性。

3.2 智能调度与优化

智能调度与优化是信息化管理的重要作用所在,它的职责是在保证各种约束条件下找到最优的水资源调配策略以及工程建设运行策略,完成它需要把调度规则、预报信息和模型算法融合起来,在渠系水力学模型、水资源调度评价模型的基础上建立起“顺推求导求取调度影响,逆向推理得出调度规划”的水资源调度决策架构,对于耦合模型“来水预报-需水预测-渠系动态配水”产生的水资源分配方案进行动态仿真分析,反复修正调度方案。

3.3 应急指挥与决策支持

应急指挥与决策支持系统针对突发性水事,是为了加强在非常态条件下的应急反应以及正确处理的能力。水利工程建设中遭遇的突发事件主要有:超标洪涝灾害、突发性的水源污染以及工程事故等等,这类事件通常的发展速度快、影响严重、处理复杂,对于应急决策的时间性和准确性要求很高。

信息技术的应用侧重于情景演示及应对预案演练,在建立“监测-仿真”的深度融合预告演功能的基础上,能

实现洪水调度、冲淤减荷、水位陡降等非常态状况下的提前预演仿真以及事后复盘解析;以“正向推演-逆向推理”的双路径方式对待演算洪水的演变情况进行仿真实验,为调度指挥提供直观参考;这种方式,“先模拟再决策”,让调度人员事先了解各种调度方案带来的结果,进而做出最妥善的选择。基于平台决策指导,水库预先发电预泄,留足防洪空间,有效护佑了区域安全。

3.4 运行维护与效能评估

运行维护与绩效考核模块注重对水利工程的全过程健康状况以及运行效率进行分析,在此基础上给出下一步优化管理参考。运行维护就是指日常巡视、定期检查以及维修设备等日常工作,在信息化管理的基础上可以做到运行维护工作的标准化、循环化运转^[3]。现在中心上下已经建立起“调度命令下达接收执行—每日巡查移动端查询—巡查状况即时上报”的整套闭环监管模式,灌区管理正由信息化发展到数字化再迈向智能化的发展趋势中来。

效能评价是从资源消耗的角度来考量水利工程运行状态的好坏,根据效益分析的方式对水利工程项目在运行过程中所消耗的人力物力以及取得的经济效益进行量化分析从而帮助管理者更好的做出科学有效的运营方案,可以有供水保障度、用水效率、工程完整程度、安全度等方面,系统能够一键式完成大坝安全“检查报告”的撰写工作,从感知系统、水雨量以及监测数据等多个方面展开单项评定及整体判断,使得安全评价更为精确及时,为运营管理提供参考数据。

4 实施路径与保障机制

4.1 顶层设计与标准规范

水利信息化调度管理系统建设是一个大型的系统项目,需要做到谋划在前,标准化为先。顶层设计要求清晰地规定出建设目的、主要框架、主要任务及实施方法以保证各个阶段环环相扣、稳步推进。水利信息化项目建设应按基本建设或者预算管理相关规定完成前期准备工作,并办理好相关审批手续。涉及“水利业务信息化”、“水利工程信息化”两类建设项目,“水利业务信息化”作为单独项目进行方案设计,“水利工程信息化”可以与主体工程同时设计也可以作为一个单独工程进行建设。

标准规范体系是信息技术应用的前提条件。以灌区标准化管埋为目标,健全内控机制,在信息化规划设计、运行维护管理以及安全保障等方面建立标准,整理出工作程序和技术图表,保证整个信息化系统的建设和运行全过程稳定可靠;标准规范应该包括对信息的采集、传输、保存、

计算、共享等各方面的规定,保证各类信息系统之间可以互相连接。

4.2 基础设施建设与整合

基础设施是信息化调度运行的物质基座,有感知设备、通讯系统、计算与存储资源等等。基础设施的建设应该遵循集约化发展、提前部署的原则,防止各自为战、浪费资源的现象发生,在感知端,充分利用好续建配套及现代化改造专项资金,全力推进信息化、智能化、自动化建设,达到软硬件一体化更新换代的目的^[4]。对于通信网络端面,建设骨干网光缆,把整个灌区紧紧“串接”起来,给灌溉管理区的信息传递、数据互通互享、应急指挥、视频会议等工作提供稳定可靠的信息化环境依托。

资源统筹利用是提高投资效益的重要抓手。新建水利信息化工程项目要积极做好与其他系统的衔接工作,与同级水利信息化系统平台中的数据、功能衔接,做到互联互通;对现有系统进行升级改造或者数据迁移等方法逐步实现融合,打破“信息壁垒”,建立覆盖全省、全领域一体化的信息技术服务平台。

4.3 平台开发与业务融合

业务应用平台是信息化成果的应用展示,平台设计应以业务为主导,以人为本。平台开发绝不是简单的拼凑组合,而是一个重新设计业务流、建立新的管理模式的过程。围绕灌区管理主要业务工作内容进行设计开发,构建包含工程建设管理、水资源调配、综合巡查、防汛抗旱、量测水、灌区一张图等在内的综合管理系统平台,满足所有主营业务的工作要求。

业务融合的根本就是让信息技术充分融入到日常的工作流程中去。通过对于灌区各个业务应用系统的集成,

把灌区的信息集成在一个平台上进行展示、管理和导航。使得信息化成为管理人员必不可少的一个利器,数字孪生平台动态场景实时刷新,引水枢纽、水库、主干渠等重要部位的地理环境以及闸门开启程度、水位流量都一目了然,这种直接的可视化展示大大降低了信息获取的学习成本,实现了业务和技术的良好融合。

5 结束语

水利信息化调控运行管理是智慧水利的重要组成部分,也是提高治水能力现代化水平的重要抓手,目前基于物联网、大数据、人工智能、数字孪生为代表的新一代科技正在对工程调度管理模式进行革新改造,使得管理由经验主义转向科学依据,由被动反应转向积极防范,由各自为政转向相互协作,今后要加强核心技术攻关,建立标准规范体系,改革管理体制,融合信息科技与水利业务。

[参考文献]

- [1]肖宏宇,陈石磊,王帅,等.数字孪生灌区水资源调度管理平台设计与实现[J].长江科学院院报,2025,42(08):170-178.
- [2]孙政安.加快推进茨淮新河管理现代化建设步伐的思考[J].江淮水利科技,2021(02):43-45.
- [3]张盼.加强水利信息化系统建设提高水库运行管理水平[J].珠江水运,2024(02):137-139.
- [4]孙浩,赵迪,赵浩鹏.智慧水利信息化系统在水利工程中的应用研究[J].水上安全,2025(16):19-21.

作者简介:张光磊(1990.06—),毕业院校:塔里木大学,所学专业:农业水利工程,当前就职单位名称:新疆兵团第三师图木舒克市水利工程管理服务中心,就职单位职务:水利工程管理服务中心 供水科 调度岗位,职称级别:助理工程师。