

智慧水利在水利工程生产运行中的应用研究

孔颖

菏泽市水务集团自来水有限公司 山东菏泽 274000

DOI: 10.32629/ems.v8i4.19685

[摘要] 信息技术同水利工程深度融合之后,智慧水利成为水利行业转型升级的重要方向。传统水利工程生产运行管理在数据整合、调度决策、风险预警、设备维护等各方面都存在诸多不足,不能满足现代水资源精细化管理、安全运行的要求。本文主要研究智慧水利的理论基础和技术体系,对水利工程生产运行管理现状及存在问题进行分析,并重点研究智慧水利关键技术在水库、泵站、灌区、河道防洪工程中的应用路径。经过研究可知,智慧水利创建起感知、传输、分析、决策、执行一体化的体系,可以明显改善水利工程运行效率和安全保障水平,对推进水利工程高质量发展有着十分重要的现实意义。

[关键词] 智慧水利; 水利工程; 生产运行管理

引言

在全球数字化转型的大环境下,水利行业由原来的工程管理模式向信息化、智能化方向发展。水利工程是保证防洪安全、供水安全、生态安全的重要基础设施,生产运行管理的好坏直接影响到区域经济社会稳定发展。但是长期以来水利工程运行管理依靠人工经验,信息系统分散,数据共享程度低,调度决策缺少科学模型支撑,不能应对极端气候和复杂水资源形势的挑战。智慧水利理念的提出,给上述问题提供新的技术途径。利用物联网、大数据、人工智能、数字孪生等技术,对水利工程全要素进行数字化、全过程智能化管理,是当前水利现代化建设的主要内容。本文从理论和实践两个方面展开研究,对智慧水利在水利工程生产运行中的应用机制和发展方向进行分析。

1. 智慧水利的理论基础与技术体系

1.1 智慧水利的概念内涵

智慧水利是以现代信息技术为依托,以数据为核心资源,以智能决策为目标,构建水利工程全生命周期数字化、网络化、智能化管理体系。本质就是依靠全面感知、实时互联、智能分析、精准调控,实现水利工程运行状态可视化、调度决策科学化、运维管理精细化。与传统的水利信息化相比,智慧水利更加重视数据价值的挖掘和智能决策能力的建设,重视系统之间的互联互通以及业务协同,构建起闭环运行机制。

1.2 智慧水利的技术构成体系

智慧水利技术体系一般包含感知层、网络层、平台层和应用层这四个部分。感知层用传感器、视频监控设备、无人

机等采集水位、流量、雨量、设备状态信息,网络层用光纤通信、4G/5G无线网络传输数据,平台层用云计算、大数据技术完成数据存储与处理,应用层建立调度管理、风险预警、运维管理等业务系统。人工智能算法、数字孪生技术给智慧水利赋予了预测分析、仿真推演的能力,使运行管理由被动应对变为主动预防。

1.3 智慧水利的发展阶段与趋势

智慧水利的发展大致经历了数字化、信息化和智能化三个阶段。数字化阶段主要是解决“有没有数据”的问题,信息化阶段是系统建设、业务整合,通过建立管理平台提高数据共享、业务协同水平,智能化阶段是数据深度挖掘、模型应用,逐步实现预测分析、辅助决策。目前智慧水利正向数字孪生和智能决策深度融合的方向发展,依靠创建虚实同步的工程模型,实现实时仿真和动态优化。未来的发展趋势会在平台一体化建设、数据标准体系统一、算法模型不断优化、系统自主决策能力提高这四个方面展开,而且会越来越看重网络安全保障和跨部门协同管理能力的创建。

2. 水利工程生产运行管理现状与问题分析

2.1 水利工程生产运行管理内容

水利工程生产运行管理包含工程运行全过程的水情监测、调度决策、设备控制和维护保障等各个环节。包括水库蓄泄调度和库容管理、泵站启停控制和能耗管理、灌区配水计划制定和用水计量、河道防洪排涝调度、各类机电设备和金属结构运行维护等内容。另外还要考虑水资源优化配置、水生态保护、水质监测和安全保卫等工作。工程实际运行时,上游水库调度会直接影响下游河道行洪能力及灌区供水稳定

性,所以生产运行管理具有系统性、动态性、复杂性等特点。其主要目的不但是保证工程结构的安全和设备的稳定运行,而且是提高水资源的利用效率,达到防洪减灾、供水保障和生态保护的综合效益。

2.2 当前运行管理存在的主要问题

目前水利工程运行管理在技术、机制上还存在着一些不足。信息系统建设没有统一规划,各个工程或者部门分别建设独立的平台,造成信息孤岛,数据接口标准不统一,不能实现跨区域、跨层级的数据共享和协同应用。各类监测数据分散存储,不能形成统一的数据资源中心,数据价值没有得到充分的挖掘。调度决策上大部分工程仍采用人工经验判断的方式,模型分析以及智能算法应用较少,调度方案的优化能力也较差。遇到极端降雨或者突发水情的时候,响应机制不灵活,预判能力弱,存在一定的安全风险。就设备管理而言,大多数工程依然采取定期检修或者故障之后维修的方式,缺少依靠运行数据开展状态评价和预测性维护的机制。一旦关键设备出现突发故障,就会造成整体运行效率下降或者产生安全隐患。风险控制上部分工程预警体系不能和应急处理联动,监测预警与应急处置之间没有形成一个高效运转的流程,信息传递层次过多,响应速度慢。

2.3 智慧化转型的现实需求

随着气候变化日趋严重、极端天气事件不断增多、区域水资源供需矛盾越来越突出,传统的运行管理方式已经不能满足高标准安全运行、精细化管理的要求。水利工程运行管理急需更为精准、实时、智能的数据支撑体系来提高对复杂水情变化的分析和预测能力。工程规模越来越大,运行成本不断上升,也促使人们用技术手段改善调度方案、设备运行方式,达到节能降耗、成本控制的目的。

3. 智慧水利在水利工程生产运行中的关键技术应用

3.1 感知层建设:智能监测系统

感知层是智慧水利系统的基础,也是实现精细化管理、智能决策的前提。在水库大坝、河道控制断面、泵站枢纽、灌区关键节点等处布置水位计、流量计、雨量计、渗压计、位移与变形监测设备等,可以实现水情、工情和设备运行状态的连续采集和动态监控。一些重点工程可以采用振动监测、温度监测、结构健康监测系统对关键部位进行全方位的感知。利用高清视频监控、无人机巡检、物联网终端、自动报警装置等,可以建立点、线、面的全天候、全方位的监测网络。

该体系不但可以大大提高巡检效率和数据获取精度,而且可以减少人工现场巡查的频次,提高异常事件的响应速度,为之后的数据分析、风险评价和调度决策提供稳定的、可靠的资料来源。

3.2 数据平台构建与信息融合

在感知层数据采集的基础上,建立统一的数据管理与应用平台是智慧水利系统运行的支撑。平台要完成多源异构数据的集中接入、标准化处理、分级存储,水文数据、气象数据、设备运行数据、历史调度记录等都要纳入其中。经过数据清洗、整合和结构化建模之后,统一数据标准与编码规则,打破部门和系统之间的信息壁垒,创建共享数据库。依托大数据分析、云计算、可视化技术可以对历史和实时数据进行趋势分析、关联挖掘、异常识别,建立水情预测模型、运行评估模型、风险预警模型。利用图形化界面来展示主要指标和运行状况,使管理人员可以对工程的全部运行情况有一个直观的认识,从而提高调度决策的科学性与时效性。

3.3 数字孪生水利工程应用

数字孪生技术依靠创建和实体工程对应的三维数字模型,并且把实时监测数据进行动态同步的方式,从而达到虚实结合的运行管理模式。对水库库区地形、水工建筑物结构和河道演变情况做精细化建模,在虚拟空间中可以重现工程运行的场景。管理人员可以模拟洪水演进过程、库容变化趋势、设备运行状态,对不同的调度方案进行比选、推演,分析可能产生的影响和风险。该技术不但可以提高运行预判能力,还可以为应急演练、方案优化提供技术支持。虚实联动的管理模式可以提高工程调控的精确性、安全性,由事后处理向事前预防转变。

3.4 智能调度与决策支持系统

智能调度系统依靠水文预测模型、优化算法和实时数据分析技术,对水库蓄泄、水泵启停和闸门控制方案进行动态计算和优化。系统根据降雨预报、来水预测和下游防洪标准,自动生成多套调度方案,并对各个方案的安全性、经济性进行综合评价。采用人工智能算法,对历史水情和运行数据进行深度学习训练,可以不断提高洪水预报精度和调度效率。决策支持系统可以把生态流量控制需求、用水需求结合起来,达成多目标协调优化的目的,在复杂的环境下帮助管理人员做出更科学合理的决策。

3.5 智慧运维与预测性维护

智慧运维是以设备在线监测数据为依托, 创建设备健康评价模型和故障诊断算法, 对重要机电设备的运行状况展开连续分析。系统可以识别出振动异常、温度异常或者运行效率下降等趋势性变化, 提前发出预警信息, 预测潜在故障风险。与传统的定期检修或者故障后维修方式相比, 预测性维护可以提前安排检修计划, 减少因突发停机而造成的工程运行受到影响的情况, 减少维修成本以及备件库存的压力。另外, 通过建立设备全生命周期管理档案, 可以对运行数据进行长期跟踪分析, 给设备更新改造提供决策依据, 从而进一步提高水利工程整体运行管理水平。

4. 智慧水利在不同类型水利工程中的应用实践

4.1 水库工程中的应用

智慧水利技术在水库工程运行管理中体现为智能防洪调度、水资源优化配置、大坝安全监测等。以集水情监测、气象预报、调度模型为依托的综合平台, 可以实时采集入库流量、库水位、下游水位、降雨数据, 系统可以自动分析当前的运行工况及未来变化趋势, 给出多方案的调度建议, 达到动态蓄泄平衡的目的。汛期根据洪水预报提前预泄库容提高防洪安全保障能力, 非汛期根据供水、发电需求优化蓄水策略。在线监测大坝渗流、变形等安全指标可以及时发现异常情况, 提高工程安全管理水平, 从而达到防洪、供水、发电、生态调节等多目标协调统一的目的。

4.2 泵站工程中的应用

泵站工程的智慧化应用主要是自动控制、集中监控和能效优化管理。依靠自动化控制系统和远程监控平台, 可以对泵站的运行状况实施实时监测, 进而达成水泵的启停、运行频率调节以及闸门控制的自动化管理。系统按照前池和后池水位的变化来自动调节最优的运行组合, 防止频繁启停造成的设备损耗。同时用能耗监测和运行数据的分析来优化机组运行工况, 降低单位输水能耗。远程诊断和故障预警功能可以提前发现异常振动或者温升问题, 减少人工巡检的工作量, 提高运行的稳定性以及管理效率。

4.3 灌区工程中的应用

灌区工程管理中智慧水利给精准配水和节水管理提供技术支持。在渠首和分水节点安装智能计量设备, 对用水数据进行实时采集和传输。结合气象信息、土壤墒情监测和作物需水模型, 可以科学制定分阶段供水计划, 动态调整输水量,

减少过量灌溉。信息化平台可以实现用水统计分析、费用结算、远程控制, 提高管理透明度、执行效率。另外利用移动终端应用可以实现灌区运行情况的实时掌握, 达到精细化、可视化管理的目的, 促进农业节水、可持续发展。

4.4 河道与防洪工程中的应用

智慧水利在河道和防洪工程中主要用到水情监测、风险预警、应急调度管理。在重要的断面处设置水位、流量、雨量监测设备, 形成流域内覆盖的实时监测网络, 并将气象预测系统与之结合, 建立洪水预报模型。当监测数据接近或者超过预警阈值的时候, 系统会自动发出分级预警信息, 并将调度建议推送给相关单位, 从而达到快速响应的目的。视频监控、无人机巡查技术可以配合使用对隐患开展检查, 进而提升应急反应速度。依靠多部门信息共享和联动机制建设来提高防灾减灾能力, 增强区域防洪体系的综合韧性。

结束语

智慧水利属于水利行业数字化转型的主要方向, 给水利工程生产运行管理赋予了系统的智能化技术支撑。经由搭建完善的感知体系, 塑造统一的数据平台, 创建数字孪生模型并推动智能调度与运维系统的形成, 可以明显改善工程运作的状况, 改进调度的科学性, 提升管理的精细程度。在极端气候、水资源供需矛盾、工程规模不断扩大的情况下, 智慧化手段成了保证水利工程高效运行的重要途径。未来要继续加强关键核心技术研发与标准体系建设, 推进数据共享和跨部门协同, 健全网络安全保障机制, 促使智慧水利由示范应用向全面推广转变, 为水利工程高质量发展和水安全保障体系建设筑牢根基。

[参考文献]

- [1] 孙姝娅. 水资源管理中的智慧水利信息化系统应用探究[J]. 中国设备工程, 2025 (1): 26-28.
- [2] 龚振. 智慧水利信息化系统在水利工程的应用研究[J]. 水上安全, 2024 (23): 85-87.
- [3] 吴亮. 南大水库智慧水利预测预警信息化系统建设[J]. 云南水力发电, 2024, 40 (11): 193-198.
- [4] 孙凤鹏. 水利工程中智慧水利信息化系统的运用分析[J]. 中国战略新兴产业, 2024 (21): 68-70.
- [5] 郑毅. 智慧水利的发展及应用探讨[J]. 现代农业科技, 2024 (19): 162-164.