

水利工程运行管理的信息化建设研究

杨恒玉

新疆维吾尔自治区金沟河流域水利管理中心 新疆 塔城地区沙湾市 832100

摘要：本文聚焦水利工程运行管理信息化建设，剖析传统管理局限与时代需求，构建感知、网络、数据、平台、应用“五层一体”架构。重点阐述物联网、大数据、数字孪生等技术在安全监测、水资源调度（尤其新疆干旱区灌溉）、设备运维及应急管理中的融合应用。分析标准规范、数据治理、网络安全等现实挑战，提出需求导向、数据核心、安全底线、创新驱动的推进策略。研究指出，信息化是提升国家水治理能力现代化的必由之路。

关键词：水利工程；运行管理；信息化建设；数字孪生；智慧水利

引言

在新疆等干旱半干旱地区，水利工程对农业灌溉与生态维系支撑作用突出。传统人工巡检与经验决策模式难以应对工程规模扩大、系统复杂化及管理精细化挑战，存在信息滞后、预警薄弱、决策主观、效率低下等问题。21世纪以来，物联网、大数据、人工智能等技术迅猛发展，推动水利行业深刻变革。国家政策明确以数字化、网络化、智能化为主线，构建具备“预报、预警、预演、预案”（四预）能力的智慧水利体系。信息化建设已成为高质量发展核心引擎，这不仅是技术升级，更是管理理念、业务流程与组织模式的系统性重塑，旨在打造全面感知、智能分析、科学决策、自动控制的现代化管理体系，推动水利工程从被动响应的“物理实体”进化为主动感知、自我诊断、协同优化的“智慧生命体”。

1 水利工程运行管理信息化建设的内涵与驱动力

1.1 信息化建设的核心内涵

水利工程运行管理信息化，指运用现代信息技术，采集、传输、存储、处理、分析并应用工程全生命周期信息（包括结构、水文气象、险情、设备状态、调度、视频等），实现对运行状态的全面感知、风险智能预警、调度科学决策和运维高效管控。在新疆等复杂地区，其实质是利用数据流打通业务流，以算法辅助决策，提升工程安全性、可靠性和运行效益。

1.2 传统管理模式的局限性

感知层面：依赖人工巡检，频次低、覆盖面窄、主观性强，难发现隐蔽缺陷和早期微小征兆，存在盲区。新疆水利工程多位于戈壁、高山边缘，巡检路途远，问题突出。分析层面：缺乏对监测数据的有效整合与深度挖掘，仅阈值报警，无法揭示关联规律与演化趋势，预警前瞻性不足^[1]。决策层面：调度方案多基于经验和静

态规则，难应对多目标耦合的实时决策（如确保大坝安全时兼顾防洪、供水、发电、生态）。新疆还面临融雪型洪水与农业灌溉需水的矛盾。执行层面：设备操作、闸门启闭多为就地手动或半自动，响应慢，易受人为干扰。知识管理层面：运维经验散落于个人，难以标准化、可复用。

1.3 信息化建设的时代驱动力

国家战略驱动是首要因素，“数字中国”、“新基建”、“智慧水利”等提供了明确方向与政策支持。安全需求驱动是根本动因，极端天气频发，防洪抗旱压力空前，亟需信息化提升风险防控与应急处突能力。新疆融雪洪水突发性强，预警需求迫切。效益提升驱动是内在要求，精细化调度与智能运维可降低能耗、减少损耗、延长寿命，创造经济和社会效益。新疆农业用水占比超90%，信息化对提高灌溉水利用系数意义重大。技术成熟驱动是关键支撑，低成本高可靠传感器、高速通信网络、强大AI算力，使大规模部署成为可行。管理现代化驱动是长远目标，信息化是实现水利工程治理体系和治理能力现代化的技术基石。

2 水利工程运行管理信息化的总体架构设计

借鉴主流的工业互联网和智慧城市架构，水利工程运行管理信息化可采用“五层一体”的分层架构模型。

2.1 感知层：构建全域覆盖的神经末梢

感知层是智慧水利系统的数据源头，负责对水利工程本体及周边环境进行全方位、实时采集。主要包括：

- （1）工程结构安全监测，通过GNSS、静力水准仪、测斜仪、渗压计、应变计等传感器，自动监测大坝、堤防、闸墩等关键部位的变形、渗流与应力应变；
- （2）水文水资源监测，利用水位计、流量计、雨量计、水质分析仪等，实时获取库区、河道及取排水口的水情、雨情、工情与水质信息；
- （3）在新疆高寒地区，增加雪

深监测传感器以支撑融雪径流预报；（4）设备状态监测，在水泵、电机、闸门启闭机等核心机电设备上部署振动、温度、电流等传感器，实现健康状态在线诊断；

（5）视频监控与智能识别，通过高清摄像头结合AI算法，自动识别人员入侵、漂浮物、水位异常等事件；

（6）环境与气象监测，依托小型气象站采集风速、气温、湿度等参数，为安全评估提供外部支撑。

2.2 网络层：打造高速可靠的传输通道

网络层负责将感知层采集的海量数据安全、稳定、低延时地传输至数据中心。需要构建一个融合有线与无线、公网与专网的多层次通信网络。对于关键工程和核心数据，应优先采用光纤专网，确保高带宽和高可靠性；对于偏远、分散的监测点，则可灵活运用4G/5G、NB-IoT、LoRa等无线通信技术，实现广域覆盖和低成本接入^[2]。新疆地广人稀，偏远站点还需借助北斗短报文或卫星通信。同时，必须高度重视网络安全，部署防火墙、入侵检测、数据加密等安全防护措施，构筑坚固的网络防线。

2.3 数据层：建立统一融合的数据湖仓

数据层是系统的“心脏”，负责对来自不同来源、不同格式的异构数据进行汇聚、清洗、融合、存储和管理。应打破“数据孤岛”，建立统一的数据标准和编码体系，将工程BIM模型数据、实时监测数据、历史档案数据、业务管理数据、地理空间数据等全部纳入一个逻辑集中、物理分布的数据湖或数据仓库中。在新疆，尤其需整合冰川积雪数据和灌区土壤墒情数据。通过数据治理，确保数据的完整性、一致性、准确性和时效性，为上层应用提供高质量的数据服务。

2.4 平台层：提供共性赋能的智能中枢

平台层是系统的核心能力支撑，为上层各类应用提供共性的技术组件和服务。主要包括：（1）物联网平台：负责海量终端设备的接入、管理和指令下发。（2）大数据平台：提供数据存储、计算、分析和可视化能力。（3）GIS平台：集成地理空间信息，实现所有数据和业务在“一张图”上的可视化展示与空间分析。（4）数字孪生平台：构建水利工程的高保真虚拟映射，实现物理世界与数字世界的实时交互与双向驱动。（5）AI算法平台：集成机器学习、深度学习等算法模型，提供预测、预警、诊断、优化等智能服务。例如，开发适用于新疆的融雪洪水预报模型。（6）应用支撑平台：提供统一身份认证、工作流引擎、消息推送、API网关等基础服务，支撑快速应用开发。

2.5 应用层：面向业务场景的价值输出

应用层是信息化建设成果的最终体现，直接服务于具体的运营业务。典型的应用包括：（1）工程安全智能监控与预警系统：基于多源数据融合分析，对工程结构安全、防洪安全等进行实时评估和分级预警。（2）水资源智能调度系统：利用优化算法，生成多目标、多约束的联合调度方案，并支持方案的在线仿真与比选。针对新疆灌区，可生成精准的配水计划。（3）设备智能运维管理系统：实现设备全生命周期管理，从状态监测、故障诊断到维修派单、备件管理的闭环^[3]。（4）应急指挥与决策支持系统：在突发事件下，快速调集资源、模拟灾情演变、生成应急预案，辅助指挥决策。如新疆融雪型洪水应急调度。（5）综合运行管理门户：为各级管理人员提供统一的工作台，集成各类应用入口和关键指标看板。

3 新一代信息技术在水利工程运行管理中的深度融合

3.1 物联网（IoT）与全面感知

物联网技术是实现“万物互联”的基础。通过在水利工程的关键部位广泛部署低成本、低功耗、高精度的智能传感器，可以构建起一张覆盖全域、感知敏锐的“神经网络”。在新疆，传感器需具备抗高寒、防风沙能力。这使得管理者能够7x24小时不间断地“触摸”到工程的脉搏，从宏观的水位变化到微观的混凝土裂缝，都能被精准捕捉，彻底改变了过去“看不见、摸不着”的被动局面。

3.2 大数据与智能分析

水利工程运行过程中产生的数据具有典型的“5V”特征（Volume, Velocity, Variety, Veracity, Value）。大数据技术提供了处理和分析这些海量、高速、多源异构数据的能力。通过对历史数据的深度挖掘，可以发现工程性能退化的规律、设备故障的先兆、调度方案的优劣；通过对实时数据的流式计算，可以实现秒级的风险识别和预警。利用新疆多年的水文气象记录，可以优化融雪径流预测模型。大数据分析将经验驱动的管理转变为数据驱动的管理。

3.3 云计算与弹性资源

云计算以其按需分配、弹性伸缩、成本低廉的优势，为水利工程信息化系统提供了理想的IT基础设施。复杂的水文预报模型、大规模的数字孪生仿真、海量的视频分析等计算密集型任务，都可以在云端强大的算力支持下高效完成^[4]。这不仅降低了各单位自建机房的成本和运维难度，也确保了系统在面对突发高负载（如新疆春汛期）时的稳定性和可靠性。

3.4 人工智能（AI）与认知决策

人工智能,特别是机器学习和深度学习,正在赋予水利工程系统“思考”和“学习”的能力。AI模型可以从过往的成功调度案例中学习最优策略,可以在海量监测数据中自动识别出人眼难以察觉的异常模式,可以对未来的洪水过程、设备故障概率进行精准预测。在新疆,AI可用于识别融雪型洪水的早期征兆。AI的应用,使得系统从一个被动的信息展示平台,进化为主动的认知决策助手,极大地提升了管理的智能化水平。

3.5 数字孪生(DigitalTwin)与虚实互动

数字孪生技术是信息化建设的高级形态。它通过在数字空间构建一个与物理水利工程完全对应的、动态更新的虚拟模型,实现了物理世界与数字世界的深度融合。管理者可以在数字孪生体上进行各种“假设分析”(What-ifAnalysis),例如模拟不同泄洪方案对下游的影响,预演极端暴雨下的工程响应,从而在真实世界行动之前,就在虚拟世界中找到最优解。新疆可利用数字孪生技术模拟融雪洪水对下游绿洲的冲击。数字孪生为水利工程的规划、建设、运行、维护提供了全生命周期的沉浸式、交互式决策环境。

4 信息化建设面临的挑战与对策

4.1 标准规范体系不健全

目前,水利行业在数据接口、通信协议、模型标准等方面缺乏统一、权威的规范,导致不同厂商、不同项目之间的系统难以互联互通,形成了新的“信息烟囱”。新疆特殊环境(高寒、风沙)对传感器和通信设备的要求尚无统一标准。对策是加快制定并强制推行覆盖感知、传输、数据、平台、应用各环节的全栈式标准体系,从源头上确保系统的开放性和兼容性。

4.2 数据质量与治理难题

“垃圾进,垃圾出”是信息化系统的铁律。许多水利工程的历史数据缺失、错误、格式混乱,而新建监测站点的数据也可能因设备故障、校准不准等原因失真。偏远站点受风沙、低温影响,数据中断风险更高。对策是建立贯穿数据全生命周期的治理体系,包括严格的数据采集规范、自动化的数据质量校验规则、常态化的数据清洗与修复机制,确保数据资产的真实可信。

4.3 网络安全风险日益突出

水利工程是国家关键信息基础设施,其信息化系统一旦遭受网络攻击,后果不堪设想。对策是坚持“安全与发展并重”的原则,构建纵深防御的网络安全体系。从物理安全、网络安全、主机安全、应用安全到数据安全,实施全方位、多层次的防护,并定期开展攻防演练和风险评估。

4.4 体制机制与观念障碍

信息化建设往往涉及业务流程再造和组织架构调整,会触动部分部门的利益,遭遇“不愿用、不敢用、不会用”的阻力。新疆基层水管单位技术人员相对匮乏,运维能力不足。对策是强化顶层设计和组织领导,将信息化建设成效纳入单位绩效考核。同时,通过试点示范、宣传引导等方式,逐步转变管理者的思维观念,营造全员拥抱数字化的良好氛围。

5 结语

水利工程运行管理的信息化建设是一场深刻的管理与技术革命,既是应对当前安全与效益挑战的迫切需求,更是构建现代化水治理体系的战略选择。本文系统论证了以“全面感知、智能分析、科学决策、自动控制”为核心的现代化管理体系的必要性与可行性。未来智慧水利将超越简单业务线上化,依托数字孪生、人工智能等技术,催生全新管理范式与价值模式。尤其对于新疆这样的干旱区,信息化是实现水资源精准调配的关键。推进过程中,必须坚持业务需求导向,夯实数据基础,筑牢网络安全底线,并着力突破体制机制障碍。唯有如此,才能充分释放信息化潜能,让传统水利工程在数字时代焕发新生,为国家水安全 and 高质量发展提供坚实、智慧、韧性的支撑。

参考文献

- [1]朱珂.水利工程运行管理信息化平台的建设与应用研究[J].水上安全,2026,(04):163-165.
- [2]夏炎.中小水利工程运行管理信息化建设现状与提升对策研究[J].水上安全,2025,(22):76-78.
- [3]周叶平,韦少华,余俊强.信息化技术在水利工程运行管理中的应用分析[J].中国战略新兴产业,2026,(11):40-42.
- [4]邓艾武.信息化技术在水利工程运行管理中的应用[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(26):196-198.