

智慧水利技术在水网工程运行管理中的应用与发展

杨越

重庆市水利电力建筑勘测设计研究院有限公司 重庆 400020

DOI:10.12238/ems.v7i7.14305

[摘要] 在水资源管理日益精细化的背景下，智慧水利技术正逐步成为提升水网工程运行效率与调度能力的关键手段。依托物联网、遥感、云计算与人工智能等现代信息技术，水利系统的感知、分析与响应能力得到显著提升，实现了由粗放管理向智能调度的跨越。本文围绕智慧水利技术在水网运行管理中的应用路径展开分析，探讨其在监测预警、运行调度、资源配置与管理机制中的综合效能。同时指出当前智慧水利建设中仍存在数据融合难、系统碎片化及管理协同薄弱等问题，提出多维度优化建议，以期水利信息化与现代治理能力提升提供理论支持与实践依据。

[关键词] 智慧水利；水网工程；运行管理；信息化调度；数据融合

引言

随着全球水资源压力不断加剧，传统水利工程的运行管理方式难以应对现代城市、水生态及农业发展的复杂需求。特别是在我国多区域、多水源、多用户交织的复杂水网格局下，运行管理面临调度协同难、资源利用低效等问题。智慧水利技术的兴起，为这一局面带来技术性突破。它通过感知设备获取实时数据，借助算法模型实现预测调控，并将结果反馈于运行系统，从而实现水资源的动态、精准与集约管理。本文将从系统构建、调度机制、应用成效与挑战应对四方面，深入剖析智慧水利在水网工程中的实际应用与发展前景。

一、水网工程的运行特点与智慧化转型诉求

1. 复杂水网系统的运行瓶颈

我国区域水资源分布不均，水网工程往往需要实现跨区域、跨区域的水资源调配与管理。传统管理手段依赖人工巡检与静态调度，无法实时掌握管网水位、水质与设备状态，造成水资源浪费与运行滞后。随着城市供水、农业灌溉与生态用水需求的快速增长，水网系统面临运行调度压力显著提升，亟需构建感知全面、响应迅速的智能化运行体系。当前部分地区已暴露出管道老化、输水不均、水质变化反应迟缓等问题，传统手段已难以满足新时代对“安全、高效、绿色”水利管理的要求，尤其是在多水源协调、大口径输水干线调控与区域轮灌模式中问题尤为突出。

此外，水网工程在管理层级上通常存在“多头指挥”的问题，造成调度响应链条长、执行效率低。特别在极端天气与水灾背景下，缺乏统一平台与数据支撑的管理方式难以及时

响应突发事件，暴露出运行模式智能化程度不足、信息协同效率低等短板，进一步加剧了运行风险与治理负担。部分中小型水利单位信息系统孤立、管理机制传统，导致运行过程中的数据“沉睡”与“割裂”现象严重，既无法实现数据共享，也不具备事件驱动的智能联动能力，致使风险预警迟滞、资源调度缺乏科学依据。

2. 智慧水利的系统整合优势

智慧水利系统通过集成物联网传感器、遥感卫星、无线通信网络与决策支持平台，实现了水利工程运行数据的全域采集与实时传输。基于数据驱动的运行调控模式可在多水源、多节点环境下实现统一调度，提高水流路径匹配度，降低水能损耗，提升系统整体能效与可靠性。近年来，基于云计算与边缘处理架构的水利平台逐步落地，实现了大数据与人工智能在水资源配置、事件预测与运行优化中的深度融合，推动水网管理迈入高效、智能的新阶段。

同时，智慧水利强调平台化管理和协同运维。通过数据平台汇聚流域信息、用户用水行为与工程运行状态，为管理者提供综合判断与多方案比选能力，显著增强了水网运行的前瞻性与科学性。在日常调度、干旱预警与洪水防控等场景中，该系统展现出高度的响应效率和决策精准性，为水网工程运行注入智能核心。系统还具备开放性接口，可对接城市气象、应急管理、环保平台，构建“水-气-灾”联动机制，进一步拓展了水利系统的治理边界与功能辐射范围，有效支撑从单点管理向系统治理的转型升级。

二、核心技术在水网运行管理中的协同应用

1. 感知技术的精细化赋能

感知层技术是智慧水利体系的基础，直接关系到数据采集的广度、深度与准确性。在水网工程中，部署水位监测仪、流量计、水质检测探头及管道压力传感器等设备，可以实时掌握输水管网状态，精准捕捉异常情况。遥感技术通过高空图像获取河道变化、植被覆盖和土地水分，为区域水资源调度提供生态参数支持。近年来，新型传感材料与微型化技术的广泛应用，使得感知设备在高温、高湿、高腐蚀等复杂水利环境中仍能保持高效稳定运行，极大提升了信息采集的环境适应性及部署灵活性。

2. 智能调控系统的决策支持功能

在决策层，水利信息平台与调控系统通过人工智能算法和模型预测工具进行数据分析与方案优化。结合历史运行数据与实时环境参数，模型可预测流域来水量、用水高峰与水质变化趋势，实现精细调度与预案制定。当前广泛应用的机器学习方法，如支持向量机、随机森林与神经网络模型，已被集成用于调控系统中，用以识别非线性水文关系与供水行为模式，为调度提供更为精准的数据支撑。

调控系统可自动计算多源供水调配方案，控制泵站启停、水闸开合与压力平衡，确保系统内供需匹配与运行稳定。此外，通过引入数字孪生技术，可构建水网虚拟映射模型，对不同调度策略进行模拟演练，降低实际运行风险，提升管理前瞻性与可靠性。该类系统还能根据实时反馈进行自适应调整，具备“学习—优化—执行”的迭代能力，在面对极端水文变化或突发事件时表现出更强的适应性与鲁棒性，为现代水利管理提供坚实的智能支撑。

三、智慧水利系统应用成效的体现与评估

1. 运行效率与资源利用的显著提升

智慧水利的部署在实践中显著提升了水网系统运行效率。在部分试点区域，调度响应时间由小时级缩短至分钟级，突发事件处置效率提高超过 60%。此外，通过智能预测与调度算法的嵌入，实现了蓄水与放水的精准匹配，有效降低了溢流损失与空转能耗。在日常运行中，系统可自动采集用水需求与水源供给的动态数据，结合历史规律与短期预测结果进行优化配置，从而提升用水计划的科学性与前瞻性，减少突发调度与资源错配现象。

2. 水生态与安全保障能力的同步增强

智慧水利在保障生态环境方面亦展现出重要价值。通过高频水质监测与自动报警系统，可及时发现污染物超标等异常，快速联动关闭闸门或切换供水路径，避免污染事件扩散。同时，系统通过记录历史生态流量与水体温度变化，辅助制定最优生态调度策略，实现生态用水常态化。部分区域还探索构建生态调度模型，通过综合评估生物栖息、湿地保护和水体交换需求，实现生态价值与供水任务的双重满足。

在防灾减灾层面，智慧水利系统可与气象部门及应急管理系统对接，提前获取极端天气预警信息，结合水位变化趋势生成洪水风险图，提前部署调控措施与应急资源，显著提升水网工程的应变能力与安全保障水平。尤其在城市排涝、山洪防御等方面，智慧系统通过实时分析降雨强度、水位涨势与地势分布，快速判断易涝点及风险段落，并自动生成联动响应方案，有效缩短从预警到行动的反应链条，保障人民生命财产安全。

四、系统建设过程中的挑战与应对策略

1. 数据融合与标准化问题的技术障碍

智慧水利系统涉及多个层级的设备制造商与平台开发商，硬件接口、通信协议与数据格式缺乏统一规范，造成系统之间“语言不通”，难以实现数据的无缝对接。这种碎片化结构不仅加大了系统集成难度，也阻碍了数据价值的深度挖掘和共享使用。例如，部分旧有泵站或水闸的监控终端设备无法直接接入新一代平台，需额外开发接口模块或进行设备升级，增加了成本和技术风险。此外，在区域水资源联调和应急响应中，不同平台之间的数据孤岛问题严重制约了指挥调度的时效性和准确性，导致信息延迟和决策偏差。

解决这一问题需加快制定统一的水利信息技术标准体系，明确传感器部署要求、数据传输规范与平台开放接口，同时推动已有工程的软硬件改造。推动“平台+服务”模式，由统一的数据中心提供标准化接口和分析模型，使各类业务系统按需接入并形成信息互联，提高整体智能管理水平。同时，应鼓励平台厂商开放 API 接口，促进互联互通，构建面向多源数据融合与业务协同的智慧水利生态系统，增强其技术拓展性与工程适配能力。

2. 运维机制与治理能力的现实约束

智慧水利项目建设周期长、投入大，涉及多个行政区域与管理单位，其长期运行效果不仅取决于技术系统本身，还

依赖于科学合理的运维机制与治理模式。目前许多地区仍存在“重建设轻运营”的现象,系统建成后缺乏专业维护队伍与运营资金,导致设备闲置、平台停滞、数据堆积。在实际运行中,基层单位技术力量薄弱,无法独立承担系统维护与升级任务,进而出现平台频繁故障、维护响应不及时等问题。

要破解这一瓶颈,需从治理体系入手,明确责任边界、运维规范与绩效评价机制。建议由水务主管部门牵头,联合财政、环保、农业等部门建立跨行业协同机制,并探索引入第三方专业运维团队与市场化服务模式,提升系统可持续运转能力。同时,加强专业技术人才培养,推动本地水务从业人员的信息化转型,提高运行主体的技术内生力。对于重点区域或关键水利工程,还应设立专项运行保障资金,确保设备与系统的正常运行和定期维护,防止“建而不用”的资源浪费问题反复出现。

五、多元融合背景下智慧水利的演进趋势与发展路径

1. “水-电-数”融合推动系统边界拓展

随着“双碳”战略深入推进,水利工程作为生态文明建设的重要支撑体系,其运行管理开始从单一水资源调控转向多源协同治理。尤其在新能源与数字基础设施大规模部署背景下,“水-电-数”融合成为智慧水利系统未来发展的关键方向。一方面,通过水电联调、雨水发电预测、水泵运行负荷优化等方式,提升水资源调控与电力系统的协同效能,实现动态用能平衡与绿色低碳运转;另一方面,基于5G、北斗与边缘计算等新型数字基础设施,水利系统的数据采集将突破时空限制,增强大范围、多场景的精细化感知能力。

与此同时,边缘智能终端的普及使现场决策能力从中心平台下沉至感知节点,实现“感知-决策-控制”闭环的本地化响应,减少中继传输与集中处理的资源占用。这种演进路径不仅提升系统韧性 with 响应效率,也有助于水网工程在突发事件中形成快速自适应机制,为未来极端天气防御、水资源非均衡调度与城乡统筹治理提供技术保障。

2. 融合治理与生态反馈机制的深化路径

智慧水利的发展不应止步于工程技术优化,更需嵌入区域治理、社会反馈与生态修复等多元因素,构建“工程-管理-人文”一体化协同机制。当前部分地区已探索建立“河湖长+智能监管平台”治理体系,将水利数据、行政管理与公众监

督深度融合,形成精准、高效、共治的运行结构。此类机制强化了对河湖断面水质、水生态结构与排污行为的全过程监管,促进流域治理模式的系统重构。

未来智慧水利的发展路径应进一步打破“工程管理孤岛”,引导多方主体参与水资源保护与水生态修复,如通过建立面向村镇、农业灌区的基层用水反馈系统,形成数据共享、行为可视、绩效可评的社会化治理网络。同时结合AI模拟、虚拟现实与数字孪生等新兴技术,构建面向不同使用者的多维信息服务终端,使智慧水利成为公众参与、数据驱动、生态优先的综合性管理平台,实现从“智能控制”向“智慧治理”的跃升。

结论

智慧水利技术作为现代水资源治理的核心驱动力,正在水网工程的运行管理中发挥愈发关键的作用。通过感知层的实时监测、决策层的智能调度以及平台层的协同指挥,实现了水资源调度的高效性、可靠性与生态友好性,推动水利治理方式从经验驱动向数据驱动、从分散管理向系统协同转变。然而,技术标准碎片化、系统集成难度大与治理机制不健全等问题仍制约其全面落地。未来应聚焦统一标准、完善平台架构、健全运维体系三大方向,在保障工程安全与生态效益的基础上,促进智慧水利与区域发展需求深度融合,为我国现代水利治理体系和治理能力现代化提供有力支撑。

[参考文献]

- [1]刘永强,张钰,孙昊聪.数字孪生三江平原涝区管理平台研究与应用[J/OL].水利水电科技进展,1-10[2025-05-30].
- [2]白东东,丁扬威,田嘉皓,等.国内数字孪生水利研究进展分析[J/OL].人民长江,1-11[2025-05-30].
- [3]李坚.水利工程数字化与智能化发展趋势研究[J].东北水利水电,2024,42(11):64-67.
- [4]方奕舟.基于数字孪生的SW水库数字化平台建设研究[J].中国水运,2024,24(20):33-35.
- [5]李雪梅,钟青祥,胡立春,等.大渡河流域电站智慧运行控制系统设计[J].南水北调与水利科技(中英文),2025,23(01):150-156.