

智慧水利背景下工程运行管理数字化转型路径研究

蒋传伟

武义县水务局 321200

DOI:10.32629/ems.v8i6.20538

[摘要] 面对全球水资源紧缺和极端水文事件频发的双重挑战,智慧水利已成为我国水利事业高质量发展的重要方向。本文以数字和人工智能技术为核心支撑,以区域水库群联网建设和水资源精细化调度为研究对象,对智慧水利环境下工程运行管理数字化转型的现实意义、存在的问题进行系统分析,并结合我国实际案例,探索“技术赋能-网络化构建-精准调度-保障支撑”的全链条转型路径,为我国水利水电运行管理数字化和智能化发展提供理论借鉴和实践借鉴。通过数字传感系统构建、人工智能模型应用、区域水库群联网协同和精准调度机制的完善,可以有效提高区域水资源调度效率,降低水库运行风险,实现水利工程由“被动应对”到“主动预判”,由“分散管理”到“协同联动”的根本转变。

[关键词] 智慧水利; 工程运行管理; 数字化转型

引言

水资源是人类赖以生存和社会发展的基础资源,随着工业化和城市化进程的加快,水资源供需矛盾日趋突出,极端旱涝灾害频发,对水利工程调度的科学性、高效性和精准性提出了更高的要求。近几年来,国家对智慧水利的建设给予了高度重视,多个政策文件都明确提出要推动水利设施的数字化、智能化转型,建立“天、地、水”一体化的监测感知系统,实现对水资源的精确调度和高效利用。数字孪生水利系统的构建,为实现工程运行管理的数字化转型打下了坚实的基础。

1 浙江山区县水利水电工程运行管理概况

浙江省的地貌特征为“七山一水两分田”,山地县以丽水、衢州、温州西部和杭州西南部为中心,地形起伏大,山地沟壑纵横,中小水库、山塘、水电站、堰坝分布广泛,是我省水利水电建设的主体,也是山区防洪、供水、生态保护和绿色能源供应的重要载体,具有广阔的发展前景。浙江山区县水利水电具有点多、线长、面广、单体小、管护难度大的显著特征。浙江山地县近年来大力推动数字化转型,遂昌、松阳、龙泉等地在小水库除险加固、农村供水数字化、小水电智能化改造、山洪预警等领域取得了明显成果,形成了“县域统管、数智赋能、网格化覆盖”的山地水利治理新模式,为全国同类地区提供实践借鉴。

2 智慧水利背景下工程运行管理数字化转型问题

2.1 区域发展不均衡,基层转型滞后

我国水利设施运行管理数字化转型在区域上呈现出显著的不平衡性。东部地区有着雄厚的经济实力和充足的技术投

入,在数字化转型方面取得了很大的进展,在技术上的应用也更加成熟,已经形成了一套比较完善的数字化管理系统。但是,受经济条件和技术基础的制约,中西部地区的经济发展速度较慢,技术应用程度不高。与此同时,大中型水利设施向小型水利设施的转型存在着明显的差距,大中型工程的数字化改造更加全面,技术应用也更加深入,但小型项目,特别是边远地区的小型项目,依然沿用着传统的管理模式,数字化改造相对滞后,监测、调度等环节仍然依靠人工,难以满足数字化转型的总体需求。另外,基层水利管理部门缺乏专业技术人才,具有数字化和智能化技术能力的人才短缺,难以满足转型工作的实际需求,进一步制约着基层转型进程。

2.2 数据整合不充分,协同效能不足

虽然全国各地都在积极推进数据共享,但是一些地区仍然存在着数据碎片化、标准不统一和共享不足的问题,严重制约了区域水库群联网和水资源精细化调度的推进。一些部门和项目都是单独建立自己的数据系统,没有进行统一的规划,数据格式不一致,接口也不统一,造成了数据不能有效地互通,造成了“数据孤岛”,影响了调度和决策的效率。同时,由于数据质量参差不齐,部分监测数据还存在遗漏和错误,导致数据可用性下降,不能为精确调度提供可靠支持。另外,区域水库联网建设缺乏统筹规划,不同地区、不同水库联网标准不统一,部分联网平台只能在一个区域内进行协调,不能实现跨地区、跨流域的协调联动,不能充分发挥水库群的整体效能,制约着水资源的统筹配置能力。

2.3 技术应用深度不足,落地效果不佳

一些水利水电项目在数字化转型过程中存在着“重建设

轻应用”现象，技术应用停留在浅层层面，没有深入到项目运行管理实践中去，落地效果并不理想。部分水库已部署物联网监测系统，但主要用于数据收集和展示，缺乏与人工智能技术相结合的数据分析和智能决策，数据利用率不高，无法发挥其核心价值。部分数字孪生系统建成后，由于操作繁琐和维护费用高，不能正常运行，只能在特定场景中使用，不能实现全过程的智能控制。另外，人工智能调度模型适用范围受限，多以大中型水库为对象，小型水库仍以经验为主导，未能充分发挥技术赋能，技术应用与管理实践脱节，难以实现转型目标。

3智慧水利背景下工程运行管理数字化转型路径

3.1 构建一体化数字化感知体系，夯实转型基础

3.1.1 优化监测点布局，实现全面覆盖

结合区域水利工程布局和水资源状况，对“天空地水工”

一体化监测传感网络进行优化，实现水库、闸坝、灌区、河道等水利工程的综合监测。针对中、小水库监测能力较弱的现状，加大对偏远地区小型水库监测设备的投资力度，提高监测覆盖面；在流域重点节点和关键水库布设雷达水位仪、流速仪、水质在线监测仪等高精度监测设备，精确获取水位、流量、水质、坝体位移等关键参数，保证监测数据准确可靠。同时，推广无人机巡检技术，以区域为单位，对无人机设备进行统一配置，代替人工巡检，降低人力成本，提高巡检效率，对偏远地区和复杂地形下的工程隐患进行重点排查，保证项目的安全运营，为实现数字化转型打下坚实的基础。浙江各山地乡镇可在小流域、高海拔及地质灾害多发地区加密测雨雷达，配备适配山区电力和通讯环境的简易智能监测终端和低能耗感知装置，实现小水库、山塘及山洪险情点的全部覆盖。

表 1 “天空地水工”一体化监测传感网络优化实施详情表

优化方向	具体实施内容	所用设备/技术	核心作用
监测网络整体优化	结合区域水利工程布局和水资源状况，优化“天空地水工”一体化监测传感网络，实现水库、闸坝、灌区、河道等各类水利工程的全面综合监测	一体化监测传感网络体系	打破监测壁垒，实现各类水利工程监测全覆盖、一体化，为数字化转型筑牢基础
中小水库监测能力提升	针对中小水库监测能力薄弱问题，加大偏远地区小型水库监测设备投资，同时在流域重点节点和关键水库布设高精度监测设备，精准获取各类关键监测参数	雷达水位仪、流速仪、水质在线监测仪等高精度监测设备	扩大监测覆盖面，提升中小水库监测水平，确保水位、流量、水质、坝体位移等参数监测准确可靠
巡检模式优化升级	推广无人机巡检技术，以区域为单位统一配置无人机设备，替代传统人工巡检，重点排查偏远地区和复杂地形下的工程隐患	无人机巡检设备及配套技术	降低人工巡检成本，大幅提升巡检效率，及时发现工程安全隐患，保障项目安全稳定运营

3.1.2 统一数据标准，提升数据质量

在严格遵守国家和行业标准的基础上，实现跨部门、跨项目、跨地域的数据融合，解决数据“碎片化”和“不兼容”的问题^[1]。建立数据质量控制机制，建立专业数据管控小组，及时清理、校验和完善收集到的数据，降低数据丢失和错误，提高数据质量；建立数据质量评估体系，定期开展数据质量评价，并将评价结果与基层管理部门的绩效考核相结合，促进数据质量的提高。在此基础上，将对数据的存储、传输过程进行标准化规范，利用专业的加密传输技术，构筑多道安全防线，对数据泄露、丢失等风险进行有效的防范。浙江各山区县可以参考“浙水好喝”平台，统一农村供水、小水电和山塘监测数据的标准化，达到“一站一码”、“全域图”、“数据同源”的目标。

3.2 推进区域水库联网建设，强化协同联动

3.2.1 统筹规划联网布局，打破管理壁垒

将流域水资源分布和水利设施布局相结合，对区域水库联网建设进行统筹规划，建立“流域-区域-工程”三级联网系统，打破单一水库和单一部门的管理壁垒。流域联网平台侧重于流域库闸灌区信息互通和协同调度，区域联网平台侧重于区域水库群的统筹管理，工程级联网平台实现对单个项目的精细管控。加快中西部地区网络建设，实现东西部地区联网平台的覆盖；将各类水利水电工程纳入区域联网系统，提高各水库群的协同调度能力，实现区域水资源的统筹调配。浙江山地县可以根据山区的分布特征，建立“县级政府管理平台+区域协作节点+小规模项目终端”的三级结构，优先打通小流域水库和小水电梯级调度的渠道。

3.2.2 搭建智能联网调度平台，实现数据共享

建立区域水库联网智能调度平台，实现对各水库的监测、

生产、用水、气象等信息的实时共享和统一管理^[2]。该平台具有数据显示，数据分析，调度模拟，应急处理等功能，能实时显示水库的运行状况，水资源供需情况，为调度决策提供可视化支持；在此基础上，结合大数据，深入挖掘数据中蕴含的关联关系，分析流域水资源时空分布规律，为水库群协同调度提供数据支撑。同时，建立跨部门协作机制，促进水利、气象、农牧等部门之间的数据共享，实现水资源调度和用水需求的准确匹配，打破部门之间的数据壁垒，提高协同调度的效能，保证水资源能够按照不同地区、不同行业的需求合理配置。浙江各山区县可以通过县级水利信息系统，将小流域内的山洪、供水和小水电等数据进行集成，达到一屏统管、一键调度的目的。

3.3 深化人工智能技术应用，实现精准调度

3.3.1 构建人工智能预测模型，提升预测精度

融合历史、气象、用水、工程调度等数据，构建基于人工智能算法的降雨、径流量、需水量、工程失效等预报模型。根据不同地区水资源特征，对模型参数进行优化，提高预报的针对性和精度，实现对降水、径流量、需水量的预测，为实现精准水资源调度提供前瞻性预测支撑。建立模型动态更

新机制，对模型参数进行定期更新，并与实时数据相结合，对模型进行优化，保证模型的稳定性；在此基础上，进一步完善我国各流域和重点水库的预报模型，提高调度决策的前瞻性和科学性^[4]。针对山区汇流快、预警时间短的特点，浙江山区县域可着重对小流域山洪、短时降雨和小型水库汛限水位动态调节模式进行优化

3.3.2 构建智能运维体系，降低运行风险

将人工智能技术和物联网技术相结合，建立水利水电工程智能运行管理系统，实现对工程缺陷的早期预警、精确诊断和快速处置^[5]。利用深度学习算法对监测数据进行分析，识别出大坝渗漏、闸门失效、管线破损等隐患，并将预警信息发送到相关管理人员的手机终端上，保证隐患能被及时发现；建立故障排除智能导航系统，指导维修人员迅速定位故障点，缩短查找周期，提高查找效率；建立一套维护档案数字化管理系统，对项目的运行状态、故障处理过程等进行记录，使其能够对维护工作进行标准化和精细化的管理，从而降低工程失效的数量。浙江山区县可以通过“县管+手机 APP”的方式来实现小水库小水电的集中监控，少人值班，适配山区分散运营的现实。

表 2 智能运维体系

智能运维模块	核心技术支持	具体实施内容	实施成效
工程缺陷早期预警与诊断模块	人工智能+物联网技术、深度学习算法	分析监测数据，识别大坝渗漏、闸门失效、管线破损等隐患，将预警信息推送至管理人员手机终端	及时发现工程隐患，避免隐患扩大，降低工程失效风险
故障快速定位与处置模块	人工智能技术、故障排除智能导航系统	搭建智能导航系统，指导维修人员快速定位故障点，规范故障处置流程	缩短故障查找周期，提升处置效率，减少工程停运时间
维护档案数字化管理模块	物联网技术、数字化管理系统	记录工程运行状态、故障处理过程，实现维护工作标准化、精细化管理	规范维护流程，降低工程失效数量，缩短修复周期，保障工程安全稳定运行

结束语

在智慧水利建设背景下，推进水利事业高质量发展，打破传统管理瓶颈，提高水资源利用率，是实现区域水库群联网协同，实现水资源精细化调度的核心途径。目前，我国水利水电工程运行管理数字化转型还存在着地区发展不平衡、数据集成不够、技术应用深度不够、保障机制不健全等突出问题，亟待持续努力，久久为功。为此，需要进一步加强政策引导，增加技术研发和投资，深化数字和人工智能技术与水利业务的深度结合，健全区域水库联网系统，对水资源的精准调度机制进行优化，完善保障机制，促进水利工程运行管理的数字化和智能化水平不断提高，为保障国家水安全和社会经济的可持续发展提供强有力的支持。

[参考文献]

[1]王海群,王纳纳. 智能化技术在水利工程运行管理中的应用研究[J]. 科技创新与应用, 2025, 15(30):183-186.

[2]孙才智. 城郊小学家校社协同育人的价值与实践[J]. 教学与管理, 2025, (26):20-23.

[3]胡玉平. 数字孪生技术在水利工程运行管理中的应用[J]. 中国科技纵横, 2025, (15):53-55.

[4]王富建. 水利工程运行管理中远程监控技术的应用[J]. 大众标准化, 2025, (14):151-153.

[5]刘启俊,侯军,肖文忠. 智能化技术在水利工程运行管理中的应用研究[J]. 水上安全, 2025, (14):73-75.