

智慧水利在水利水电工程管理中的应用研究

李泽洋

菏泽市水利勘测设计院 山东 菏泽 274000

摘要: 本文研究智慧水利在水利水电工程管理中的应用,先阐述智慧水利技术架构与关键技术,再分析传统管理痛点与智慧化需求,接着梳理想能监测、资源调度等核心应用场景,最后提出分阶段实施策略与保障机制。为水利水电工程管理智慧化转型提供路径,助力提升工程管理效率与安全水平,推动水利事业高质量发展。

关键词: 智慧水利; 水利水电工程管理; 智能监测; 资源调度; 实施保障

引言: 全球气候变化加剧与水资源供需矛盾凸显,传统水利水电工程管理面临数据整合难、响应滞后等挑战。智慧水利通过物联网、大数据、人工智能等技术融合,构建覆盖工程全生命周期的智能管理体系。其技术架构实现多源数据实时采集与协同分析,关键技术突破提升灾害预测精度与调度可信度。研究智慧水利应用路径,对破解传统管理局限、实现水资源高效利用与工程安全运行具有重要现实意义。

1 智慧水利技术体系与核心能力

1.1 智慧水利技术架构

感知层聚焦多源异构数据采集技术,涵盖水文、水质、工程结构监测等关键数据类型。水文监测通过水位计、流速仪实时获取流域水流变化信息,水质监测借助传感器分析水体污染物含量与pH值,工程结构监测通过应变计、位移传感器捕捉坝体、渠道微小变形,多类数据协同采集为后续分析提供基础^[1]。传输层构建5G与边缘计算结合的实时传输网络,5G保障大带宽、低延迟传输,满足海量监测数据实时上传;边缘计算在采集端节点初步处理数据,筛选关键信息过滤冗余,减少传输量与云端压力,确保数据传输高效稳定,为实时决策提供支撑。平台层实现云-边-端协同的数据处理与知识图谱构建。云端负责海量数据存储与深度分析,边缘端承接实时数据快速处理,终端完成数据采集与指令接收,三者协同形成数据处理闭环;知识图谱整合水利专业知识与历史数据,梳理数据关联,形成结构化知识体系,为智能决策提供支撑。应用层打造智能决策支持与自动化控制系统,智能决策支持基于平台层数据分析结果,生成水资源调度、灾害应对方案;自动化控制系统根据指令调控水利设施,如开闸调水、启动泵站排水,实现从数据分析到设施操作的自动化衔接,提升水利管理效率。

1.2 关键技术突破

数字孪生技术在水利工程仿真中发挥重要作用,通

过构建与实体工程1:1的虚拟模型,还原工程结构、水文环境等细节。仿真过程中可模拟不同水文条件、自然灾害对工程的影响,如模拟洪水过境时坝体受力情况,预测工程可能出现的风险点,为工程设计优化与应急方案制定提供直观参考。基于深度学习的灾害预测与风险评估模型,利用历史灾害数据与实时监测数据训练算法。模型可识别灾害发生前的异常数据特征,如水位异常上涨、降雨量突变,提前预测洪涝、干旱等灾害发生概率与影响范围;风险评估则结合工程脆弱性分析,量化灾害可能造成的损失,为灾害防控提供精准依据。区块链技术在水资源调度中建立可信机制,通过分布式账本记录水资源调度的每一步操作,确保调度数据不可篡改、可追溯。不同部门在调度过程中可实时共享账本信息,避免数据造假与信息不对称,保障水资源调度过程公开、透明,提升调度决策的可信度与执行效率。

2 水利水电工程管理的痛点与智慧化需求

2.1 传统管理模式的局限性

传统管理中数据孤岛现象普遍存在,水文监测、工程结构监测、设备运行等数据分别存储于不同系统,各系统间缺乏数据互通机制,导致数据无法高效整合分析。决策过程需人工跨系统调取数据,再进行汇总研判,延长决策周期,尤其在应对水流变化、设备异常等需快速响应的场景时,决策滞后性凸显,可能错过最佳处置时机^[2]。人工巡检模式存在明显效率与覆盖范围短板,水利水电工程多涉及广阔流域与复杂地形,部分区域如偏远渠道、高坝坝体等难以通过人工频繁巡检覆盖。人工巡检依赖人员经验判断,易受天气、体力等因素影响,不仅巡检效率低,还可能遗漏隐蔽性问题,如坝体内部微小裂缝、水下设备故障等,为工程安全埋下隐患。应急响应机制多处于被动状态,传统模式下需等待灾害发生或故障显现后,再通过人工上报启动响应流程。从问题发现到制定方案、调配资源,整个过程耗时

较长,且应对方案多基于过往经验制定,缺乏实时数据支撑,难以精准匹配突发情况需求,如洪水突袭时无法快速调整调度策略,可能加剧灾害影响。

2.2 智慧化转型需求分析

工程全生命周期管理需求贯穿规划、建设、运维、退役各阶段。规划阶段需整合多源数据优化选址与设计方案,建设阶段需实时监控施工进度与质量,运维阶段需持续监测设备与结构状态,退役阶段需评估工程残值与生态影响。传统管理难以实现各阶段数据衔接,智慧化转型需构建全周期数据贯通体系,保障各阶段管理连贯性与科学性。多目标协同优化需求日益突出,水利水电工程需同时满足防洪、供水、生态、发电等多重目标,传统管理易出现目标间冲突,如发电调度可能影响下游供水或生态流量。智慧化转型需通过智能算法平衡各目标优先级,结合实时水文、气象数据动态调整运行参数,实现多目标协同优化,提升工程综合效益。动态风险感知与自适应调控需求迫切,工程运行中面临水文变化、设备老化、自然灾害等多重风险,传统管理难以实时捕捉风险动态。智慧化转型需建立动态风险感知系统,通过实时监测数据识别风险征兆,再依托自动化控制技术实现自适应调控,如水位异常时自动调整闸门开度,设备异常时触发预警并启动检修流程,提升工程风险防控能力。

3 智慧水利在工程管理中的核心应用场景

3.1 智能监测与预警系统

智能监测与预警系统以多参数传感器网络为感知基础,传感器根据工程关键区域特点合理布设,可实时采集水文流量、降雨量、工程结构应力应变、水位变化等各类数据,形成覆盖工程全域且无监测盲区的感知网络,确保数据采集的全面性与及时性。异常数据识别算法依托大数据处理能力,对采集到的海量实时数据进行快速分析,通过构建正常数据模型作为比对基准,精准筛选出偏离常规范围的异常信息,自动过滤冗余数据与干扰信号,避免无效数据对后续判断造成影响^[3]。阈值动态调整功能可根据工程建设、运行、维护等不同阶段需求,结合季节更替带来的水文气象变化、环境条件波动等因素,自动更新预警判断标准,使预警阈值始终与实际工况保持高度匹配,提升预警准确性。多级预警机制按照异常数据偏离程度、可能引发风险的严重等级,划分不同预警层级,每个层级对应明确的响应措施,轻微异常仅触发基础提醒并通知相关人员关注,严重异常则立即启动紧急处置流程,快速联动相关部门采取干预措施,为工程安全运行提供及时且精准的预警支持。

3.2 资源优化配置与调度

资源优化配置与调度环节中,基于强化学习的水库群联合调度模型通过持续学习历史水文数据、区域用水需求变化规律及工程长期运行记录,不断调整调度策略参数。学习过程中会结合实时水文变化动态修正模型参数,如汛期来临前提前调整水库蓄水阈值,确保模型输出的水量分配方案更贴合实际需求,自主优化多水库之间的水量分配方案,实现水库群水量互补利用,提升水资源在农业灌溉、工业用水、居民生活用水等不同领域的调配灵活性,减少水资源浪费。水电能源与生态流量的协同优化充分兼顾发电效益与生态保护双重需求,在制定水电站运行计划时,先明确河流生态基流的最低保障标准,在此前提下合理调整水电站发电时段、发电流量等运行参数,同时会根据流域内生态监测数据如鱼类洄游周期,灵活调整发电调度节奏,避免因过度发电导致下游河道生态流量不足,平衡水电生产与生态环境维护之间的关系,实现水资源利用与生态保护的协调发展。

3.3 工程安全评估与维护

工程安全评估与维护领域,结构健康监测技术针对大坝、溢洪道、输水管道等工程关键部位,精准布设应变计、位移传感器、振动监测设备等,持续跟踪结构在不同荷载条件下的变形量、振动频率、应力分布等状态指标,结合损伤定位技术通过分析监测数据的异常变化,精准识别结构内部潜在损伤的具体位置与损伤程度,为工程安全评估提供详实的数据支撑,助力及时发现结构隐患。预测性维护策略基于设备长期运行数据,结合设备材质特性与寿命衰减规律,构建故障风险预测模型,提前预判闸门、发电机组、输水设备等设施的故障风险,避免传统定期维护中盲目检修或漏检的问题。维修周期优化根据设备实际运行损耗情况、使用频率及环境影响因素,动态调整维护间隔时间,对于损耗较慢的设备适当延长维护周期,减少不必要的停机维护时间,降低维护成本,同时确保工程各类设施始终处于稳定可靠的运行状态。

3.4 应急管理 with 决策支持

应急管理 with 决策支持系统中,洪水演进仿真技术整合历史洪水数据、流域地形地貌数据、河道水文特性数据等,构建高精度水文模型,结合地理信息系统直观呈现不同洪水量级、不同降雨强度情景下的淹没范围、水流速度变化及洪水演进时间过程,为提前部署防汛物资、加固薄弱堤防等防汛措施提供科学依据。逃生路径规划功能综合考虑工程区域地形起伏、道路通行能力、人员分布密度等因素,在突发险情时自动规避危险区

域,生成多条安全、高效的人员疏散路线,并标注路线长度、预计疏散时间等关键信息,保障人员在紧急情况下能够快速、有序撤离。多部门协同的应急资源调度平台整合水利管理部门、交通部门、应急救援队伍、医疗机构等多部门的应急物资储备信息、人员调配情况、设备可用状态等数据,打破部门之间的信息壁垒,实现应急资源实时共享与高效调配,在险情发生时快速统筹各类资源,提升应急响应效率,助力高效处置洪水、设备故障等各类突发险情。

4 智慧水利实施路径与保障机制

4.1 分阶段实施策略

试点示范阶段聚焦重点场景突破与标准制定,优先选择工程管理中需求迫切、技术适配性高的场景开展试点,如水库智能调度、坝体安全监测等,优先覆盖风险较高的关键工程区域^[4]。在试点过程中,通过实际应用验证技术可行性,梳理技术应用流程与操作规范,同步制定数据采集、传输、分析等环节的标准,明确各环节技术参数与质量要求,为后续推广奠定基础。全面推广阶段注重技术集成与生态体系构建,将试点验证成熟的技术整合应用于更多水利水电工程,打通不同系统间的数据壁垒,实现感知、传输、平台、应用各层级技术协同。同时联合技术供应商、科研机构、工程管理单位构建智慧水利生态体系,形成技术研发、成果转化、工程应用的完整链条,保障智慧水利持续推进。

4.2 数据治理与安全体系

数据治理以主数据管理与元数据标准为核心,主数据管理明确水利水电工程核心数据如水文数据、工程结构数据的统一管理规则,确保数据在全生命周期内的一致性与准确性;元数据标准规范数据来源、格式、含义等描述信息,方便数据查询、共享与理解,避免因数据定义模糊导致的应用障碍。数据治理过程中会定期评估数据质量,根据应用反馈优化管理规则,不断提升数据对决策的支撑价值。数据安全防护基于零信任架构构建,不预设任何主体的信任权限,对每一次数据访问与操作都进行身份验证、权限核查与行为审计。通过加密

技术保护数据存储与传输过程,建立数据备份与恢复机制,防止数据丢失或泄露,实时监控数据访问行为,及时发现并阻断异常操作,保障水利数据安全。

4.3 组织与人才保障

组织保障通过跨学科团队建设与技能培训体系实现,跨学科团队整合水利工程、信息技术、数据科学等领域专业人员,明确各成员在智慧水利实施中的职责,如水利工程师负责需求梳理、信息技术人员负责系统搭建,形成协同工作模式。技能培训体系针对不同岗位人员制定差异化培训内容,对管理人员开展智慧水利理念与管理流程培训,对技术人员开展设备操作与系统维护培训,提升团队整体应用能力,确保技术落地后高效运转。政企学研协同创新机制搭建企业、政府、高校、科研机构的合作平台,企业提供工程应用场景与资金支持,高校与科研机构开展技术研发,政府协调资源与政策引导,共同攻克智慧水利关键技术难题,推动技术成果快速落地应用。提升团队协作响应效率。

结束语

智慧水利通过技术融合与数据驱动,重构了水利水电工程管理的决策逻辑与执行模式。从智能监测到资源调度,从安全评估到应急响应,其应用场景覆盖工程运行全链条,有效解决了传统管理的碎片化问题。未来需持续优化技术集成、强化数据安全保障,并推动政企学研协同创新,以释放智慧水利在防洪减灾、生态保护及可持续发展中的更大价值。

参考文献

- [1]李长青,马宏元.智慧水利在水利水电工程管理中的应用研究[J].水上安全,2025(9):13-15.
- [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]吴成邦.智慧水利工程管理模式的创建与实施优势[J].水上安全,2023,(09):19-21.
- [4]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+169.