智慧水利系统在灌区水资源管理中的应用

赵天地

新疆神宇水利水电建筑安装工程有限责任公司

DOI:10.12238/hwr.v9i6.6409

[摘要] 随着农业发展,灌区水资源管理问题凸显,水资源利用效率低、管理决策缺科学依据、工程设施运维困难等现状亟待改善。智慧水利系统凭借先进信息技术,为灌区水资源管理提供有效路径。通过构建智能数据感知与分析体系,实现数据实时监测与深度挖掘;推行智能化决策与精准化调度,科学分配水资源;实现工程设施智能运维与高效管理,保障设施稳定运行。智慧水利系统的应用,对提升灌区水资源管理水平、优化资源配置、促进灌区可持续发展具有重要意义。

[关键词] 智慧水利系统; 灌区; 水资源管理

中图分类号: TV213 文献标识码: A

Application of smart water conservancy system in water resources management in irrigation areas

Tiandi Zhao

Xinjiang Shenyu Water Conservancy and Hydropower Construction and Installation Engineering Co., Ltd.

[Abstract] With the development of agriculture, water resource management issues in irrigation areas have become prominent. The current situation of low water resource utilization efficiency, lack of scientific basis for management decisions, and difficulty in operation and maintenance of engineering facilities needs to be improved. With advanced information technology, the smart water conservancy system provides an effective path for water resource management in irrigation areas. By building an intelligent data perception and analysis system, real-time data monitoring and in-depth mining can be achieved; intelligent decision-making and precise scheduling can be promoted to scientifically allocate water resources; intelligent operation and maintenance and efficient management of engineering facilities can be achieved to ensure stable operation of facilities. The application of smart water conservancy systems is of great significance to improving the level of water resource management in irrigation areas, optimizing resource allocation, and promoting sustainable development of irrigation areas.

[Key words] smart water conservancy system; irrigation area; water resources management

引言

灌区作为农业用水核心区域,其水资源管理成效直接关乎粮食安全与生态平衡。当前,传统管理模式因技术滞后,面临水资源利用率低、决策粗放、设施运维低效等瓶颈。智慧水利系统融合物联网、大数据等技术,通过全域数据感知、智能决策调度与设施精准运维,为破解灌区管理难题、实现水资源高效利用与可持续发展提供了创新路径,对保障农业现代化与生态安全具有迫切的现实意义。

1 灌区水资源管理的现状

1.1 水资源利用效率低下

在灌区水资源管理体系中,水资源利用效率低下已成为制约可持续发展的核心瓶颈。当前,以大水漫灌为代表的传统灌溉方式仍占据主导地位,此类粗放型灌溉模式未依据作物需水规

律精准供水,导致水资源在灌溉过程中被大量无效蒸发与深层渗漏损耗。加之灌区农田水利设施建设滞后,缺乏诸如滴灌、喷灌等高效节水灌溉技术的系统应用,使得水资源难以实现精细化利用,造成严重浪费。灌区输水系统老化问题亦不容小觑,历经长期运行,干支渠及配套设施出现不同程度的破损、裂缝,防渗性能显著下降。混凝土衬砌剥落、土质渠道坍塌变形等现象频发,致使大量水资源在输送过程中渗漏流失,极大降低了渠系输水效率。同时,灌区用水计量设施的不完善加剧了管理困境,部分灌区仍采用人工测流、简易量水堰等原始计量方式,计量精度低且易受人为因素干扰;部分灌区虽安装了自动化计量设备,但因设备老化、维护不及时等问题,数据采集不准确、传输不及时,难以支撑精准用水管理。

1.2 管理决策缺乏科学性

在灌区水资源管理实践中,管理决策缺乏科学性的问题尤为突出,严重制约水资源合理配置与高效利用^[1]。当前,灌区水资源管理仍高度依赖管理者长期积累的经验,这种传统管理模式在面对日益复杂多变的水资源形势时,暴露出显著局限性。经验决策往往基于管理者的主观判断,难以全面、动态地考量灌区水资源的实际状况,导致决策结果与实际需求脱节,难以适应现代农业对水资源精细化管理的要求。在数据采集与分析层面,灌区普遍存在手段落后、能力不足的问题。对于雨情、水情、墒情以及作物需水等关键信息,尚未建立起完善、系统的实时监测体系。部分灌区仍采用人工巡查、手工记录等原始数据采集方式,不仅效率低下,而且采集的数据存在较大误差,无法真实反映灌区水资源的实时动态变化。即便部分灌区配备了自动化监测设备,但由于设备布局不合理、技术标准不统一,数据采集的全面性、准确性和连续性难以保障。同时,数据处理与分析能力薄弱,缺乏专业的数据分析人才和先进的分析技术,难以从海量数据中提取有价值的信息,无法实现对水资源状况的精准分析与预测。

1.3 工程设施运维管理困难

灌区水利工程设施运维管理困境的形成,源于设施老化、资金短缺、管理缺位与技术落后等多重因素的交织影响。多数灌区工程设施建设于上世纪中后期,历经数十年运行,长期受自然侵蚀、水流冲刷与机械磨损,混凝土结构风化剥落、金属部件锈蚀变形、橡胶密封件老化失效等问题普遍存在。管道内部结垢堵塞、泵站机组效率下降、闸门启闭系统故障频发,这些日积月累的老化问题,使工程设施性能大幅衰减,输水能力与运行可靠性持续降低,难以满足现代灌区高效运行的需求。资金短缺与运维管理缺位加剧了设施老化带来的风险。灌区水利工程属于公益性基础设施,长期以来建设与维护资金主要依赖财政投入。但随着物价上涨与设施老化加速,有限的财政资金难以覆盖庞大的维修养护需求,导致大量病害设施无法得到及时修复^[2]。同时,灌区管理单位普遍存在专业运维人员不足、技术力量薄弱的问题,缺乏完善的设施维护管理制度与科学的维护计划,日常巡检流于形式,预防性维护措施缺失,设备故障往往在发展到严重阶段后才被发现,进一步加剧了设施损坏程度,形成“老化-故障-资金缺口扩大-维护更难”的恶性循环。技术层面的滞后性也为运维管理带来严峻挑战。部分灌区泵站、闸门等关键设施仍采用传统人工操作模式,缺乏自动化控制与远程调度功能,不仅操作效率低下,而且人力成本高,在突发水情或紧急调度时难以及时响应。同时,设施运行状态监测手段匮乏,多数灌区仅依靠人工巡检发现故障,缺乏基于物联网、传感器等先进技术的实时监测系统,无法对设施的振动、温度、压力等关键参数进行连续监测与智能分析。即便少数灌区部署了监测设备,也存在监测范围不全、数据采集不连续、预警机制不完善等问题,难以实现对设施故障隐患的早期识别与精准定位,导致设施带病运行风险增加,使用寿命大幅缩短,严重威胁灌区水资源调配与灌溉供水的安全稳定。

2 智慧水利系统在灌区水资源管理中的应用策略

2.1 构建智能数据感知与分析体系

构建智能数据感知与分析体系是智慧水利系统赋能灌区水资源管理的核心基础。在数据感知层面,需依托物联网技术进行全域化、精细化部署。依据灌区地形地貌、水系分布和作物种植结构,在河道、渠道、田间、水利工程设施等关键节点,针对性布设水位传感器、流量传感器、水质传感器、土壤墒情传感器、气象监测设备等多类型感知终端。通过无线传感网络、窄带物联网(NB-IoT)、5G通信等技术,实现各类传感器数据的实时采集与稳定传输,构建起覆盖灌区从水源地到田间地头的立体化数据采集网络,确保雨情、水情、墒情、工情及作物需水信息能够及时、准确反馈至管理中枢^[3]。

在数据分析环节,深度融合大数据与人工智能技术,充分释放数据价值。利用大数据分布式存储与处理技术,对采集的多源异构数据进行高效存储和预处理,整合时间序列数据、空间地理数据、图像数据等,构建灌区水资源数据仓库。借助机器学习算法,如随机森林、长短期记忆网络(LSTM)等,建立高精度的水资源预测模型,实现对降雨量、河道来水量、土壤含水量、作物需水量等关键指标的短期预测与长期趋势分析。同时,运用深度学习图像识别技术,对水利工程设施外观、水体状况等进行智能分析,自动识别设施破损、水体污染等异常情况,为管理决策提供多维度、智能化的数据支持。数据管理平台的建设是实现数据高效利用的关键枢纽。通过制定统一的数据标准和接口规范,搭建涵盖数据采集、存储、处理、分析、共享全流程的综合性管理平台。平台具备数据清洗、去重、补全、标准化转换等功能,消除数据误差与格式差异;采用微服务架构设计,实现数据资源的模块化管理与灵活调用;引入数据权限管理机制,依据用户角色分配数据访问权限,保障数据安全。通过建立数据共享接口,打破部门间的数据壁垒,实现与气象、农业、生态环境等部门的数据互联互通,推动跨领域数据融合应用,显著提升数据利用效率,为灌区水资源科学管理筑牢数据根基。

2.2 推行智能化决策与精准化调度

推行智能化决策与精准化调度是智慧水利系统优化灌区水资源管理的核心实践路径。在水资源优化调配模型开发中,需构建多维度、动态化的分析框架。综合整合灌区水资源总量、时空分布特征、用水户需求结构,结合不同作物在发芽期、生长期、成熟期等关键阶段的需水规律,叠加气象部门提供的实时及预测降水、气温、蒸发量等数据,形成系统化的输入参数体系。采用系统动力学、线性规划等数学模型,将复杂的水资源供需关系转化为可计算的量化关系,通过多目标优化算法,平衡农业生产效益、生态保护需求和经济成本,制定兼顾短期灌溉需求与长期水资源可持续利用的科学分配方案^[4]。

为保障水资源调度的精准性,需依托人工智能算法构建模拟评估体系。运用强化学习算法,以历史水资源调度数据为训练样本,模拟不同调度方案下灌区水资源的时空演变过程,对水量分配比例、输水路径选择、灌溉时间安排等要素进行动态优化。

通过建立数字孪生灌区模型,将虚拟仿真系统与现实灌区运行状况实时映射,在虚拟环境中对拟定的调度方案进行全流程推演,量化评估各方案在水资源利用效率、灌溉均匀度、能耗成本等指标上的表现,筛选出最优调度策略。同时,设置实时反馈机制,根据实际监测数据与预测数据的偏差,自动调整调度方案,实现水资源调度的自适应优化。灌溉决策支持系统的建设是实现按需灌溉的关键支撑。该系统深度融合实时监测数据与作物生长模型,通过接入土壤墒情传感器、气象站、作物生理指标监测设备等采集的动态数据,结合作物生长机理模型(如作物-环境资源模型CERES),实时模拟作物根系层土壤水分变化和需水动态。利用自然语言处理和知识图谱技术,将复杂的数据分析结果转化为通俗易懂的决策建议,通过可视化交互界面,为管理者提供包含灌溉时间、水量、灌溉方式选择等内容的智能决策方案。

2.3 实现工程设施智能运维与高效管理

实现工程设施智能运维与高效管理,是智慧水利系统提升灌区水资源管理效能的重要保障。在数据采集层面,需对灌区水利工程设施进行全方位、精细化的智能感知设备部署。针对泵站机组,在电机轴承、水泵叶轮等关键部位安装振动传感器与温度传感器,实时捕捉设备运行过程中的机械振动频率与部件温度变化;在闸门设施上,部署位移传感器与压力传感器,精准监测闸门启闭状态、开度变化以及水压力波动情况;对于输水渠道,通过水位传感器、渗漏检测传感器,实时掌握渠道水位与渗漏状况。这些智能传感器借助物联网技术,构建起低功耗、高稳定性的数据传输网络,将采集的高频次、高精度数据实时传输至智慧水利管理平台,为设施运维管理提供详实的数据基础^[5]。

在数据分析与故障诊断环节,充分发挥人工智能技术的优势。运用机器学习中的异常检测算法,如孤立森林算法、One-Class SVM等,对海量设施运行数据进行深度分析,建立符合各设施特性的故障诊断模型。通过持续学习历史数据,模型能够精准识别设施运行过程中的异常模式,例如泵站电机异常振动信号、闸门启闭卡顿特征等,实现对潜在故障隐患的早期预警。同时,结合深度学习的图像识别技术,对安装在设施关键部位的监控摄像头采集的视频图像进行分析,自动识别设施外观破损、部件松动等可见性故障。一旦检测到异常,系统立即触发多级预警机

制,通过短信、邮件、平台弹窗等多种方式,将预警信息精准推送至相关管理人员,并附带故障位置、可能原因及初步处理建议,为故障排除争取宝贵时间。在设施控制方面,依托自动化控制系统实现远程操作与智能调控。搭建统一的设施控制平台,集成泵站、闸门、水闸等各类水利设施的自动化控制模块,通过标准化通信协议实现与设施控制单元的无缝对接。管理人员可在管理中心或通过移动终端,远程操控泵站的启停、闸门的升降,依据实时水情与调度指令,实现对水资源输送的精准控制。系统还具备智能联动功能,例如当监测到渠道水位超过警戒值时,自动控制上游闸门减少开度,同时启动沿线泵站加速排水,实现设施间的协同作业,大幅提升设施运行效率与应急响应能力。

3 结语

灌区水资源管理在传统模式下面临效率、决策、运维等多重困境,制约着农业可持续发展。智慧水利系统的应用,以技术创新为驱动,从数据感知、决策调度、设施管理等层面切入,为灌区水资源管理提供了系统性解决方案。通过构建智能体系实现数据精准采集与分析,借助智能化手段优化决策调度,运用自动化技术保障设施稳定运行,有效提升了水资源利用效率与管理水平。未来,随着技术持续迭代,智慧水利系统将在灌区水资源管理中发挥更大效能,助力农业绿色高质量发展。

【参考文献】

- [1] 薛雨,薛亚杰.河北省石津灌区数字孪生灌区建设探析[J].河北水利,2024,(04):25-27.
- [2] 张献锋,赵松鹏,谭鑫.数字孪生灌区建设关键技术应用浅析[J].水利建设与管理,2024,44(03):1-5.
- [3] 马青芳.面向高标准农田建设的老旧灌区水利工程优化改造研究[J].智能城市,2024,10(02):108-110.
- [4] 张俊杰,王萌萌.东营市灌区信息自动化系统应用分析[J].山东水利,2022,(02):6-8.
- [5] 张孟月.潞碧垦(Rubicon):现代化灌溉助推智慧水利[J].科技与金融,2021,(Z1):21-24.

作者简介:

赵天地(1995--),男,汉族,甘肃白银人,大学本科,研究方向:农田水利工程。