

智慧水务技术在农村自来水运行管理中的应用

马 毅

宁夏水投中源（清水河）水务有限公司海兴分公司 宁夏 中卫 755000

摘 要：智慧水务技术通过物联网、大数据、人工智能与GIS等构建核心体系，应用于农村自来水管理。在水源监测、管网优化、供水调度、设备运维及用户服务等方面发挥关键作用，可提升管理效率、优化资源利用、改善服务质量并强化决策支持。但农村地区面临网络覆盖、技术人才等挑战，需分阶段推进技术落地、加强政企合作并开展基层人员培训。

关键词：智慧水务技术；农村自来水；管网优化；资源利用；运维管理

引言：农村自来水普及率提升，但传统管理模式在效率、漏损控制、响应速度等方面存在不足。智慧水务技术融合物联网、大数据、人工智能与GIS等，可实现实时监测、智能分析与精准决策。该技术能覆盖水源、管网、用户等全流程，为农村供水系统提供全方位支持，推动农村自来水管理向智能化、精细化转型，对保障农村用水安全、促进城乡供水一体化意义重大。

1 智慧水务技术核心体系

1.1 物联网（IoT）技术

传感器网络部署覆盖水质水量水压及设备状态监测。水质监测涉及pH值溶解氧浑浊度等指标，通过分布式布置在水源地输水管道和终端节点的传感器实现持续追踪。水量监测依托安装在取水口输水干线和用户端的流量计，捕捉水流变化规律^[1]。水压监测设备附着于管网关键节点，实时反映管道承压状态。设备状态监测传感器则嵌入水泵阀门等关键设施，记录运行温度振动频率等参数。实时数据采集与传输机制依托低功耗广域网技术构建。传感器获取的原始数据经边缘计算节点初步处理，剔除冗余信息后通过无线通信模块上传。传输过程采用加密协议保障数据完整性，避免干扰或篡改。数据传输频率根据监测对象特性动态调整，水质参数每小时更新一次，水压数据则以分钟级间隔同步，确保关键信息及时传递。

1.2 大数据与云计算

多源数据整合与分析平台接收来自物联网传感器GIS系统及用户端的各类信息。平台具备数据清洗功能，自动识别异常值并标记待验证数据。不同来源数据按时间维度空间维度和设备维度进行分类存储，形成结构化数据库。分析层通过预设算法对数据进行关联挖掘，识别供水系统中隐藏的关联关系，比如水质波动与管网材质的潜在联系。供水系统运行状态可视化通过三维图形界

面呈现。管网运行参数以色彩渐变方式标注在数字地图上，红色区域代表高压力段，蓝色表示低流量区。设备运行状态以动态图标展示，正常运转显示稳定绿光，异常情况则触发闪烁提示。决策支持模块基于历史数据和实时参数生成运行建议，如调整水泵转速或开启备用管道，为调度提供参考依据。

1.3 人工智能与机器学习

故障预测模型通过分析历史故障记录与运行数据构建。针对管道泄漏，模型学习不同材质管道在特定压力流量条件下的振动模式，当实时监测数据与泄漏特征值吻合时触发预警。设备故障预警聚焦水泵电机等易损部件，通过比对电流变化温度曲线与故障前特征图谱，提前识别轴承磨损密封失效等潜在问题。需求预测与动态调度优化模型纳入季节变化气温波动和节假日等影响因素。模型通过分析历年用水模式，结合短期气象预报生成未来24小时用水量曲线。动态调度系统根据预测结果调整取水计划，在用水高峰前提升水厂产能，低谷时段降低运行负荷，通过管网压力调节实现区域间水量再分配，维持系统平衡。

1.4 地理信息系统（GIS）

供水管网数字化建模将管道直径材质敷设年代等属性与空间坐标绑定。建模过程融合激光扫描与人工勘测数据，构建包含阀门水表消防栓等附属设施的三维管网模型。空间分析功能可计算任意两点间的最短路径，评估管道老化程度的空间分布特征，为管网改造提供方向。应急响应与资源调配的地理定位支持体现在突发事件处理中。当管网破裂报警触发时，系统自动定位故障点周边500米范围内的阀门和抢修设备，生成关闭阀门的最优顺序。同时在电子地图上标注距离最近的抢修队伍位置和行进路线，显示沿线可调配的管材配件库存，辅助快速组织抢修力量。

2 智慧水务技术在农村自来水管理中的核心应用场景

2.1 水源监测与保护

水质在线监测覆盖pH值浊度余氯等关键指标。监测设备布设在水源取水口和预处理环节,实时捕捉水质参数变化。当浊度超过常范围时,系统自动启动过滤工艺调整程序。余氯监测确保消毒环节效果,避免因剂量不足导致的微生物超标风险^[2]。水量动态监测贯穿水源地取水全过程。监测装置记录瞬时取水量和累计取水量,结合水源地水位变化形成用水趋势图谱。水源地风险预警针对极端天气地质变动等外部因素,通过关联气象数据和周边环境监测信息,提前识别可能影响水源安全的隐患,触发相应防护措施。

2.2 管网优化与漏损控制

管网压力与流量实时监控依托分布在干支管网的传感设备实现。压力数据反映管网运行负荷,流量信息呈现输水路径的动态变化。系统通过分析压力流量关联性,识别异常波动区域,判断是否存在管道堵塞或接口松动问题。漏损定位借助声波监测和流量差值分析技术。当某一段管段出现流量异常衰减时,系统结合压力骤降点锁定漏损大致范围。智能修复建议根据管道材质敷设深度和周边环境,生成包含开挖路径所需设备的修复方案,缩短故障处理周期。

2.3 供水调度与需求预测

基于用户用水习惯的智能调度模型分析不同区域不同时段的水用特征。模型区分居民生活用水和农业灌溉用水的规律差异,在保证基本生活用水前提下,合理分配农业用水额度。调度指令通过远程控制模块直达泵站和阀门,实现无人值守的自动调节。季节性用水高峰的预测结合历史同期数据和气候趋势。春季灌溉期到来前,系统提前储备调节水量;夏季高温时段则增加水厂运行班次。资源调配聚焦区域间水量平衡,通过管网互联互通设计,将富水区域的余量输送至缺口区域,避免局部供水紧张。

2.4 设备运维管理

泵站水表等设备的远程监控通过嵌入的智能芯片实现。泵站运行参数包括电机转速能耗和出水压力,水表则记录瞬时流量和累计用量,这些数据实时传回管理平台。故障预警针对异常参数组合,如泵站电机温度骤升伴随转速下降时,自动发出检修提示。预防性维护计划生成基于设备运行时长和损耗规律。系统根据水泵启动次数管道阀门开关频率等数据,计算关键部件的剩余使用寿命,在达到预设阈值前生成维护清单。维护计划兼顾设备重要程度和农忙农闲周期,避开用水高峰期安排

检修。

2.5 用户服务与互动

水费智能计算与在线缴费平台关联用户水表数据和收费标准。用水数据每日更新并自动核算费用,用户通过移动终端即可查看账单并完成支付。平台支持多种支付方式,并发送缴费提醒,减少拖欠情况。用户报修与投诉的快速响应机制依托地理信息标注功能。用户上报的问题自动关联所在位置和对应的管网片区,系统根据问题类型分配至相应处理团队。处理进度实时更新至用户端,形成报修处理反馈的闭环流程,提升服务效率。

3 智慧水务技术对农村自来水管理的价值提升

3.1 管理效率提升

减少人工巡检成本体现在智能监测网络的全面覆盖。以往依赖人工定期巡查的管网节点和设备设施,如今通过传感器实时传输数据,无需人员现场值守,也省去了巡检人员往返奔波的时间与交通成本^[3]。自动化监控系统在夜间恶劣天气等特殊时段仍能稳定运行,覆盖人工难以触及的偏远区域,即便在泥泞山路或河流沿岸等复杂地形,也能持续捕捉设备运行状态。快速定位问题依托数据联动分析实现。当管网出现异常时,系统通过多维度数据比对锁定问题源头,结合管网布局和历史故障记录缩小范围,省去人工排查的盲目性。故障修复时间的缩短源于精准定位和提前准备,维修团队可根据系统提供的位置信息和所需配件清单,提前备好工具与材料,直接开展针对性作业,避免多次往返取件的延误。

3.2 资源利用优化

降低漏损率通过实时监测和及时修复实现。管网漏损在初期即可被系统捕捉,借助压力变化曲线和流量差值快速识别渗漏点,避免小渗漏发展为大破裂,减少水资源无谓流失。节约的水资源可重新分配至灌溉或应急储备,在干旱季节保障农田灌溉需求,提升整体利用效率。精准调度减少能源浪费体现在泵站运行调节中。系统根据实时用水量调整水泵运行功率,在用水低谷时自动减少运行台数,避免满负荷运转造成的电能损耗。非高峰时段自动降低运行强度,将能耗控制在合理区间,同时减少设备持续高负荷运转带来的损耗,形成节能型运行模式。

3.3 服务质量改善

稳定供水压力与水质依靠智能调控系统保障。压力波动时系统自动调节阀门开度,通过管网压力平衡算法维持终端用水压力稳定,避免高层用户或偏远区域出现水压不足的情况。水质参数一旦偏离标准,预处理环节立即启动修正程序,调整药剂投放量或过滤强度,确保

用户端水质达标。稳定的供水条件直接提升用户使用体验,减少因水质波动或水压不稳引发的困扰。透明化信息公示通过线上平台实现。水质检测结果按周期更新展示,详细呈现各项指标的检测过程与结果判定,用户可随时查询相关指标。计划内停水提前推送通知,明确影响范围、停水时长和恢复时间,附带临时取水点信息。信息公开消除用户疑虑,增强对供水服务的信任度,减少因信息不对称引发的误解。

3.4 决策支持强化

数据驱动的管理策略制定基于历史运行数据的深度分析。系统梳理管网故障频率、材质老化程度、维修成本等信息,结合区域用水重要性自动生成改造优先级列表,引导资源向问题突出区域倾斜。管理策略不再依赖经验判断,而是建立在客观数据基础上,使有限的维护资金发挥最大效用。长期规划的科学依据来自用水需求增长预测模型^[4]。模型综合人口变化、产业发展、农作物种植结构调整等因素,勾勒未来用水趋势曲线,预判不同年份的用水峰值。规划者可依据预测结果制定水厂扩建、管网延伸、水源开发等长期方案,确保供水系统与发展需求相匹配,避免因规划不足导致的供水短缺。

4 实施挑战与对策建议

4.1 技术实施挑战

农村地区网络覆盖不足与设备部署成本构成显著障碍。部分偏远村落处于网络信号边缘地带,数据传输易受地形遮挡影响,导致监测信息延迟或中断。设备部署需适配农村复杂环境,户外传感器需耐受高温高湿与鼠虫啃咬,增加防护成本。终端设备安装涉及土地开挖管道改造等工程,在分散居住的村落中施工难度较大。技术人才短缺与运维能力限制制约系统持续运行。基层管理岗位人员多缺乏专业技术背景,面对系统报警信息难以准确判断问题性质。设备故障排查需掌握软硬件协同知识,而现有人员技能多停留在传统维修层面。外部技术支持响应周期较长,难以满足即时运维需求。

4.2 管理机制挑战

传统管理模式与智能化转型的适配存在摩擦。长期形成的人工记录巡检流程与系统自动生成的数据报告并行,造成工作重复。部分管理人员习惯经验决策,对系统生成的优化方案持观望态度,延缓转型进度。考核机制未及时调整,仍以巡查次数等传统指标为核心,与智

能化管理要求脱节。跨部门数据共享与协同机制缺失阻碍系统效能发挥。供水涉及水源保护管网维护用户服务等多个环节,分属不同管理主体。各部门数据存储格式各异,接口不兼容,形成信息孤岛。应急处置时,数据传递需经多层审批,延误响应时机。

4.3 对策建议

分阶段推进技术落地可降低实施难度。优先在用水集中区域部署水质水量监测设备,解决供需失衡与污染风险等核心问题^[5]。待基础数据体系建成后,逐步扩展至管网压力监测与自动调度功能。选择试点村落积累经验,形成可复制的部署模式后再全面推广。加强政企合作能够整合多方资源。企业提供定制化技术解决方案,根据农村特点优化设备功耗与网络适配能力。引入社会资本参与基础设施投资,通过服务外包方式减轻初期资金压力。合作建立技术支撑中心,提供日常运维与紧急抢修服务。开展基层人员培训需注重实用性。培训内容聚焦设备日常检查报警信息解读等基础操作,采用现场演示与模拟操作相结合的方式。编制图文并茂的运维手册,将专业术语转化为通俗表述。建立定期交流机制,组织相邻区域人员交叉学习,分享实操经验。

结束语

智慧水务技术为农村自来水运行管理带来变革契机,在提升管理效能、优化资源配置、改善服务体验等方面成效显著。尽管面临网络覆盖、技术适配、人才短缺等挑战,但通过分阶段实施、政企协同、强化培训等策略可逐步克服。未来,随着技术迭代与模式创新,智慧水务将在农村供水领域发挥更大作用,助力乡村振兴与城乡供水一体化目标实现。

参考文献

- [1]熊少康.乡村振兴视角下农村自来水运行管理研究[J].农村经济与科技,2022,33(2):29-32.
- [2]王春燕.农村自来水厂运行管理中存在的问题和对策[J].农业开发与装备,2022(1):121-123.
- [3]王志保.杂木灌区农村饮用水安全工程升级改造的思考与探索[J].农业开发与装备,2023(1):149-151.
- [4]周媛.基于农村饮水安全工程运行管理模式研究[J].水利科学与寒区工程,2022,5(12):33-36.
- [5]毛进雄.乡镇集镇饮水安全工程运行管理分析[J].农业科技与信息,2022(7):113-115.