给排水系统的智能化改造与节水效率提升研究

丁 静

（潍坊市市政公用事业服务中心，山东 潍坊 261000）

摘 要 给排水系统的智能化改造已成为建筑领域节能降耗的重要方向。通过结合物联网、大数据分析等多项技术对给排水系统进行全面改造升级，可有效提升节水效率。研究发现，智能计量装置和远程监控系统能够实时监测用水情况，智能调节阀和变频水泵可根据用水需求自动调节供水压力，漏损监测预警系统可及时发现管网异常。实践证明，智能化改造后的给排水系统在节水效率方面提升显著，可实现供水精准化控制，减少管网漏损，降低能源消耗。

关键词 给排水系统；智能化改造；节水效率；物联网技术

中图分类号：TU991 **文献标志码**：A DOI：10.3969/j.issn.2097-3365.2025.23.009

0 引言

随着智能化技术的不断发展，传统给排水系统面临着诸多问题和挑战。管网漏损、供水压力不稳定、用水数据难以收集等问题严重制约着节水效率的提升。智能化改造作为解决这些问题的有效途径，通过引入物联网技术、智能传感器、自动控制系统等，可实现给排水系统的智能监测、分析和控制。针对目前给排水系统存在的具体问题，深入研究智能化改造方案，探索节水效率提升的有效途径，对推动建筑节能技术发展具有重要意义。

1 给排水系统智能化改造技术路径

给排水系统智能化改造采用分层分级改造策略，基础层实施智能感知设备布设，包括水压传感器、水质监测仪、智能水表等终端设备安装。中间层进行数据采集与传输网络建设，运用NB-IoT、LoRa等无线通信技术，构建覆盖供水管网的物联网系统。应用层搭建智能化管理平台，整合GIS地理信息系统、SCADA系统、BIM模型等技术，实现数据可视化和智能分析。改造过程按照“监测—分析—优化—验证”路线展开，在重点区域进行试点，根据运行效果逐步推广。同时结合管网的实际运行状况，对供水管网进行分区计量改造，在关键节点设置智能调节阀门，建立分区供水压力独立调控系统[1]。

2 给排水系统智能化改造关键技术应用

2.1 物联网监测系统构建

物联网监测系统以数字孪生技术为核心，构建覆盖供水管网全域的智能感知网络。在供水管网关键节点布设智能传感设备，实现水压、水质、水量等参数24 h动态监测，传感器采用低功耗设计，内置锂电池供电，使用寿命可达5a。数据传输采用双模通信方案以NB-IoT为主，LoRa为辅，确保数据传输可靠性，监测数据实时上传至云平台，形成完整的管网运行数据链。智能传感器具备自诊断功能，当设备发生故障时自动报警并切换备用通道。系统设置分级告警机制，对水压突变、水质超标等异常情况及时预警，降低事故发生概率。监测数据以5 min为周期采集，数据存储采用分布式架构，确保海量数据快速调用和长期存档。

数字孪生系统构建基于BIM+GIS技术，将管网实体与虚拟模型实现精准映射。模型采用多层级架构，包括管道层、阀门层、设备层和监测层，实现管网设施全要素建模。系统集成水力模型和水质模型，可模拟管网压力分布、水流方向、水质变化等状态。数字孪生平台设置可视化分析界面，支持三维漫游和剖面分析，直观展示管网运行状态。管网异常诊断基于深度学习算法，建立故障特征库，对管网运行状态进行实时评估。系统具备运行优化功能，可根据实时监测数据，自动生成调控建议，指导管网运行。数据分析模块采用GPU并行计算技术，支持海量数据实时处理，运算速度提升30倍。平台预留标准化接口，支持与其他智能化系统对接，实现数据共享和协同管理。

2.2 智能计量装置升级

智能计量装置升级采用新一代超声波水表替代传统机械水表，计量精度提升至0.5级。超声波水表采用电池供电方式，使用寿命达8a，内置数据存储芯片可记录连续90 d的用水数据。计量装置配备无线数据

传输模块，支持多种通信协议，实现数据自动采集上传。智能水表具备防磁、防拆、防篡改等保护功能，同时集成温度补偿和压力修正算法，确保计量数据准确可靠。计量装置还具备用水异常识别功能，可识别微漏、爆管、倒流等异常情况并将告警信息实时推送至管理平台。数据采集频率可根据实际需求灵活调整，支持分时计量和阶梯水价自动计算，为用户端节水管理提供数据支撑[2]。

2.3 供水压力优化控制

供水压力优化控制系统采用变频调速与智能阀门联合调控方案，实现管网压力精准调节。变频水泵根据管网实时压力和流量数据，自动调整运行频率，维持供水压力在理想区间。智能调压阀采用电动执行机构，响应时间小于3 s，调节精度达到±0.01 MPa。控制系统引入模糊PID算法，根据历史用水规律和实时需求，动态优化供水压力曲线。在用水高峰期，系统自动提前增压，确保供水稳定性；在夜间低谷期，降低管网压力，减少管网漏损。系统设置分区域差异化控制策略，高层建筑区域和低洼地带分别采用不同的压力控制参数，满足各区域用水需求，智能调控系统可实现无人值守运行，大幅降低供水能耗。压力优化控制算法采用分层递进式结构，包括全局优化层和局部调控层。全局优化层基于管网水力模型，计算各个分区的最优压力目标值，考虑供水安全性、经济性和管网寿命等多个目标。

2.4 漏损监测预警技术

漏损监测预警系统基于声波相关法和压力瞬变法，对管网漏损实施全天候监测。声波传感器沿管线每隔200 m布设一处，利用管道内水流声波特征识别漏点位置。系统采用双频段声波采集技术，低频段用于大面积漏损排查，高频段用于精确定位。压力监测点实时采集管网压力数据，结合水力模型分析压力波动规律，建立漏损预警模型。当管网压力出现异常波动时，系统自动分析漏损位置和漏损量并评估漏损等级。夜间最小流量分析法用于评估管网漏损基准值，结合用户用水规律，建立漏损预警基准线。智能预警系统可将漏损位置精确定位至5 m范围内，漏损量预测误差控制在10%以内[3]。

2.5 智能化排水系统改造

智能化排水系统改造采用分流制排水模式，雨污分流管道配备智能液位监测设备。排水管网关键节点安装智能井盖，集成水位传感器和图像采集装置，实现排水管网运行状态实时监控。在排水泵站配置智能控制系统，根据管网水位和气象预报数据，优化泵站运行方案。排水系统采用双向流量计量装置，监测管网进出水量，评估管网渗漏情况。在排水管网转折处和汇流处安装水质在线监测设备，监测COD、氨氮等指标，对超标排放实施预警。智能化排水系统具备自清洁功能，在适当水位和流速条件下，自动冲洗管道淤积物，延长管网使用寿命。（见表1）

表1 排水系统智能化改造前后效果对比

监测指标	改造前	改造后	提升效果
管网漏损率	15%	8%	降低7%
水质合格率	92%	98%	提升6%
故障响应时间	120 min	30 min	缩短90 min
运行能耗指标	0.45 kW·h/m^3	0.32 kW·h/m^3	降低29%
排水管网淤积率	25%	12%	降低13%

3 节水效率提升评估与优化

3.1 用水数据分析方法

用水数据分析采用多维度数据挖掘技术，对采集的海量用水数据进行深度分析。数据预处理阶段运用小波分析法消除异常数据，采用数据插补算法修复缺失数据，确保数据完整性。时间序列分析方法用于挖掘用水规律，建立用水预测模型，实现用水量、用水时段、用水峰值等特征量的准确预测。空间分析技术结合GIS平台，绘制用水分布热力图，识别高耗水区域。聚类分析方法对用户用水行为进行分类，划分用水模式，制定差异化节水方案。数据分析平台采用分布式计算架构，支持亿级数据实时计算，计算结果可视化展示。相关性分析方法用于研究气温、气压等环境因素对用水量的影响，优化供水调度策略[4]。

3.2 节水效率评估指标

节水效率评估指标体系包含水力效率、经济效率和环境效率三个维度。水力效率评估指标包括管网漏损率、供水管网压力合格率、水质达标率等，采用权重系数法综合计算水力效率得分。经济效率评估指标涵盖单位供水能耗、供水成本、设备维护成本等，运用成本效益分析方法量化经济效益。环境效率评估指标考虑节水减排效果、水资源利用率等因素，建立环境效益评价模型，评估指标数据采用在线采集方式，实现评估过程自动化。评估周期分为日评估、月评估和年度评估三个层次，形成完整的评估报告。评估结

果应用于系统优化调节，持续提升节水效率，评估体系具有动态调整功能，可根据实际运行情况更新评估权重。

评估指标计算采用层次分析法确定各指标权重，建立评分标准。水力效率评估重点关注管网压力达标率和管网漏损率，压力达标率要求供水管网 24 h 压力维持在 0.2 ～ 0.4 MPa 范围内，漏损率控制在 12% 以下。经济效率评估采用单位供水能耗指标，计算每立方米供水消耗的电能，要求控制在 0.3 kW•h/m^3 以内，环境效率评估引入碳排放因子，量化节水措施的减排效果。评估系统配备数据挖掘模块，分析各项指标之间的关联性，识别影响节水效率的关键因素，评估结果采用评分卡形式展示，直观反映各项指标达标情况。系统具备评估报告自动生成功能，包含数据分析图表、评估结论和优化建议，为管理决策提供依据。

3.3 系统运行优化策略

系统运行优化策略采用多目标优化算法，平衡供水压力、能耗和水质多个目标。模型预测控制方法用于优化水泵群运行方案，根据预测用水需求提前调整水泵运行参数。供水管网压力优化采用分区域动态调控策略，建立分时段压力控制模型，实现精准调压。管网水龄优化基于水力模型仿真结果，调整管网流向和流量分配，降低水质衰减风险。阀门调控优化采用模糊控制算法，根据实时监测数据动态调整开度，保持管网压力平衡。系统运行优化策略还包括水泵启停顺序优化、管网水量平衡优化、水质调节优化等内容，形成完整的优化体系，优化控制策略具备自学习功能，持续优化控制参数。

优化策略核心采用基于深度强化学习的智能决策系统，构建供水系统数字孪生模型，实现全局寻优。决策系统将供水管网划分为多个控制单元，每个单元配备独立的优化控制器，实现分布式协同控制。系统设置智能巡检功能，定期评估各项运行参数，当发现异常波动时自动触发优化流程。优化目标函数综合考虑电费成本、药剂成本和设备维护成本，建立多目标平衡模型。系统配置智能预警模块，对潜在风险进行提前预判，确保优化方案的安全性。优化控制系统采用分级授权机制，关键参数调整需经多重验证，避免误操作导致系统波动。

3.4 经济效益分析方法

经济效益分析采用全生命周期成本法，计算智能化改造投资回收期。成本分析包括设备采购成本、安装调试成本、运行维护成本和更新改造成本。效益分析考虑节水收益、节能收益、维修费用节省和人工成本节省等因素，净现值法用于评估改造项目经济可行性，考虑货币时间价值影响。敏感性分析方法用于研究水价变动、电价波动等因素对经济效益的影响。投资回收期计算采用动态回收期方法，考虑通货膨胀因素，经济效益评估结果作为改造方案优化依据，指导投资决策。效益分析采用动态跟踪方式，定期评估实际经济效益，验证分析结果准确性[5]。

3.5 智能化改造成效评价

智能化改造成效评价建立综合评价指标体系，涵盖技术指标、运行指标和效益指标三个层次。评价方法采用层次分析法确定指标权重，运用模糊综合评价法计算评价得分。技术指标评价重点关注设备可靠性、系统稳定性、数据准确性等方面，采用定量评价方法。运行指标评价包括供水可靠性、管网漏损控制效果、水质保障能力等内容，结合历史数据进行对比分析。效益指标评价统计节水量、节能量、维护成本等数据，量化改造效果，评价结果采用雷达图方式直观展示，突出改造重点和不足。评价体系具备持续改进功能，定期更新评价标准，推动改造技术进步。

4 结束语

给排水系统智能化改造是一项系统工程，需要综合运用多种先进技术。通过物联网技术实现系统远程监控，利用智能传感器和自动控制设备提升供水效率，采用大数据分析技术优化系统运行参数。实践表明，智能化改造能够有效解决传统给排水系统存在的问题，显著提升节水效率。未来应进一步加强技术创新，完善智能化系统功能，提高系统运行可靠性，为建筑节能事业发展提供有力支撑。

参考文献：

[1] 范萍秋 . 基于 BIM 技术的建筑给排水系统设计与优化研究 [J]. 中文科技期刊数据库 (文摘版) 工程技术 , 2024(08):74-78.

[2] 毛雨 . 城市给排水系统的智能化改造与管理策略 [J]. 城市地理 ,2020(20):28-30.

[3] 夏方琴 , 朱金 , 喻春梅 , 等 . 城市综合体市政给排水与消防系统智能化应用研究 [J]. 消防界 (电子版),2024,10(20): 73-75.

[4] 张登 . 城市给排水系统的智能化改造存在的问题和策略研究 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 工程技术 ,2024 (11):98-101.

[5] 张洪超 , 姜普 . 建筑给排水系统的节能节水改造措施研究 [J]. 中国厨卫 ,2024,23(11):262-264.