

智慧供水系统节能策略研究

张剑惠¹, 车通¹, 朱杰¹, 朱鸿彬¹, 黄宁¹, 鲁立明¹, 邓帮武², 王星照³

(1. 杭州余杭水务控股集团有限公司; 2. 安徽舜禹水务股份有限公司; 3. 安徽建筑大学)

【摘要】文章综述了市政供水管网和建筑供水系统利用智能技术在节能降耗方面的研究进展。通过归纳传感器与通信技术对智能泄漏检测的影响, 梳理水力模拟软件发展历程, 阐述了供水管网智能优化调度技术逐渐进步的过程; 评估了智能水表在建筑供水系统实时监测方面的作用。根据智能技术面临的挑战, 对未来发展方向进行了展望。

【关键词】智能化; 供水系统; 数字技术; 节能增产

中图分类号: TU991

DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2023.10.052

Research on Energy Saving Strategy of Intelligent Water Supply System

ZHANG Jian-hui¹, CHE Tong¹, ZHU Jie¹, ZHU Hong-bin¹, HUANG Ning¹, LU Li-ming¹, DENG Bang-wu²,

WANG Xing-zhao³

(1. Hangzhou Yuhang Water Holding Group Co., Ltd.; 2. Anhui Shunyu Water Co., Ltd.; 3. Anhui Jianzhu University)

【Abstract】This paper summarizes the research progress of energy saving and consumption reduction in municipal water supply network and building water supply system by using intelligent technology. By summing up the influence of sensor and communication technology on intelligent leakage detection, this paper reviews the development history of hydraulic simulation software, expounds the progressive process of intelligent optimal scheduling technology of water supply network, and evaluates the role of intelligent water meters in real-time monitoring of building water supply systems. Based on the challenges faced by intelligent technologies, this paper makes a prospect to the future directions.

【Keywords】intelligence; water supply system; digital technology; energy saving and capacity increasing

1 引言

供水系统运行能耗过高一直是水务行业成本效益难以提高的现实问题之一。国内供水企业系统运行能耗普遍占到制水成本的20%~30%左右^[1]。

信息技术的发展, 智能传感器和控制器等设备的出现、大数据分析等新技术的应用促使水务行业研究人员开始考虑将节能供水与智能技术的结合。许多智能技术, 例如供水管网压力管理技术、管网漏损智能识别技术、泵送控制优化调度技术等, 展现出优越的节能特性; 机器学习与水力建模软件融合助力系统改造, 通过软件模拟做到以问题为导向, 最大限度缩小改造范围、节约资源。

文章回顾供水领域使用的多种智能技术, 包括压力管理、管道泄漏检测、水泵优化调度等; 详细分析未来需解决的诸如高成本、网络攻击等关键挑战, 有助于厘清水务智能化发展瓶颈, 展望智慧供水系统的未来发展方向。

2 智能化在市政供水管网中的应用

随着智能技术发展, 行业研究者试图运用最新技术谋求市政管网运行过程中已存在问题的解决方

案, 这些问题涵盖泄漏检测、压力管理和智能优化调度三大领域。

2.1 管网漏损识别

管网漏损问题普遍存在且难以避免、居高不下的管网漏损造成水资源的严重浪费与能源的额外消耗, 影响节水型社会建设与环境可持续发展。

供水智能系统通过传感器实现实时监测, 做到供水设施故障实时响应和管理。新算法的涌现进一步丰富了管网漏损控制智能化方案, 王俊岭^[2]将漏损发生前后管网数据训练完成的BP神经网络进行漏损定位, 大大提高漏损控制工作效率。

以漏损控制为目标, 构建数据驱动模型, 依靠智能技术迅速识别管网漏损, 对于降低区域产销差率作用明显。

2.2 压力管理

管道余压与配水管道泄漏密切相关, 管网压力管理可以作为降低漏损率、提高供水效能最为经济的方案。压力管理的本质是管网中减压阀的有效调控。通过压力管理降低管网运行能耗, 核心任务是寻找最佳控制策略及优化布置。

2.2.1 减压阀优化控制

计算管网压力分布最优解是复杂的非线性问题,机器学习优化算法为减压阀优化控制提供思路。陈紫怡^[3]通过粒子群算法求解模型解决多个减压阀优化控制问题,提高了供水安全性及管网压力均衡性,降低了管网漏损率。

2.2.2 减压阀优化布置

智能算法为减压阀优化布置提供了有效支持。Creaco^[4]借助遗传算法快速搜索出管网模型中最佳减压阀布置区域。除减压阀位置优化外,布置数量也是重要的考虑因素。Nicolini^[5]等通过多目标遗传算法解决了同一管网减压阀布置数量及布置位置双目标优化问题。

虽然压力管理在软件方面展现了优越的漏损控制性能,但目前对管网压力控制漏损的研究仍不完善,没有科学的理论解释压力管理过程的动态影响。

2.3 智能优化调度

数字技术与软件开发推动了水力模拟软件的改造升级,促进了管网优化调度的智能化发展。传统的水力建模工具通过将用水需求分配至计算节点模拟供水管网运行,具备加压管网水力和配水模拟功能,提高供水系统运行的直观性。

2.3.1 泵组智能优化调度

由于供水管网的复杂性,传统数学模型在求解优化问题时迭代速度较慢,随着软件功能拓展和人工智能技术发展,计算机算法的应用加速了模型求解速度。吴阮彬^[6]基于智能算法建立优化模型,寻找最优泵群调度方案。

2.3.2 水箱水位智能优化调度

水箱在供水系统中占据很重要的地位,其水位的调控影响市政管网水量的调配和压力波动。设置最佳水箱水位可有效减少水泵、阀门频繁启停造成的能量耗散,也能最大限度削减管网余压,增加管网运行稳定性。水务部门收集一天不同时段的水位,通过遗传算法优化触发水位设置,满足供水扬程峰值的同时达到抽水量合理分配的目的。

2.3.3 优化调度效益评估

智能优化调度最终目的是提高管网运行效率,降低供水能耗。水务部门应用算法优化配水系统设

计,能节省两成左右的能源成本。基于管网模型的配水系统优化调度在算法的加持下求解速度大大提升,为供水部门节能增效提供了方案。

纵使考虑多方因素,软件模拟始终处于理想状态,即使模拟效果较好,应用到实际工程中也可能出现种种问题。表1列出部分实际案例使用方案及其存在的缺陷。

表1 优化调度部分优化案例及缺陷

案例	技术	缺陷
2019年福州平潭县金井湾组团给水管网设计 ^[7]	EPANET、MAT-LAB和Auto CAD	水压面函数关于部分管段方向的梯度分布不合理
2020年丽江大研古镇供水管网设计 ^[8]	EPANET结合差分进化算法优化设计	存在小管套大管的不合理情况

3 智能化在建筑供水系统中的应用

建筑供水系统中智能技术应用助力建筑节能。其中智能水表的应用最为广泛,智能水表收集传输的数据为节能策略制定、供水方案调整提供依据。

3.1 用水数据可视化

智能水表通过用水数据可视化警醒用户节约用水。水务部门在用户家中安装可双向通信的智能水表,一方面,工作人员将价格信息发送至水表;另一方面,水表将用水量信息数据传输到水务部门。水务部门便可及时向消费者展示用水明细,使消费者明晰自己的用水情况。智能水表的应用一方面帮助用户及时掌握用水情况,预防水资源滥用,另一方面降低了水务公司的运营成本,增加了智能技术的可信度。

3.2 明确用户的用水模式

根据用户实际用水规律进行预测建模将大幅提高预测精度。智能水表提供的数据帮助研究者分析用户的用水模式与用水特征,根据用水频率、用水时长、用水量预测居民的各种日常用水行为,预测用户用水活动。

智能水表购置安装的高成本使其难以在世界范围内普及,更多国家倾向于安装传统机械式水表。目前许多地区智能改造常用手段是将此类机械仪表改造为智能仪表,这种改进型水表不需要复杂的信息模块,改造成本低,虽然精度较差,但在数据量足够大的前提下也能用于粗略分析,减少人力消耗。

4 面临的挑战

为响应国家绿色减排号召,水行业致力于推广高效的智能供水技术,但现阶段智能技术发展仍存在不少限制因素。

4.1 成本问题

智能技术研发步伐放缓与财政投入减少不无关系。与在供水系统中建立智能传感器网络相比,水务部门更加注重供水系统的可持续性。项目初期购置设备技术的投入巨大,后期运行维护同样需要大量资金支持。智能系统运维成本过高,地区财政难以维系。此外,在实际项目实施过程中,往往由于经验和专业知识的缺乏,导致项目成本和工期大幅上升,项目质量和效果也难以得到保证。

4.2 用户认可度

智能供水系统及配套技术需要赢得用户的信任。一些用户对系统安全性持怀疑态度,认为在饮用水系统和污水处理系统中安装智能设备过于草率。因此,在该地区安装、操作和维护设备时,研究人员应事先展示系统功能,包括智能网络传输大量数据的能力、无线网络的稳定性、人为损坏的预防、故障多发区的检测等。供水事关民生,供水系统预测失误将引发用户的信任危机,在实际项目运行中不允许出现这种失误,所以研究人员在布置传感器前需反复模拟验证效果。

4.3 数据安全

数据安全问题是一个居民抵触生活用水使用智能技术的原因。为了完善需求管理模型,系统需要用户定期访问其用水数据。然而,频繁访问自身的用水数据引发了人们对隐私信息泄漏的担忧。用户担心存储在云上的个人数据遭到泄漏,第三方公司也可能滥用个人信息。政府需要完善法律保护用户隐私,禁止相关公司传播滥用个人数据。水务公司应加强系统网络安全,保证受到网络攻击时有足够的反应时间切断操作系统并及时排查出未经身份验证的访客。

5 结论与未来发展方向

在人工智能、物联网技术发展的基础上,智能供水系统节能研究取得了较好的成果。已有许多地区将智能技术、分析工具和建模方法纳入现有或新的

系统,提高系统运行和管理效率。水行业智能化转型升级成为各地区供水领域的迫切需要。

未来对智能化应用的研究可从几个方向开展。

1) 低成本、高质量的智能系统研发

智能技术在供水领域节能研究处于初始阶段,信息基础建设需要投资成本。我国部分地区财政难以支撑智能技术在供水系统的应用,这些地区迫切需要低成本、高质量的智能系统。研究人员可以就改造原有系统和传统仪器深入研究。此外,在部分地区,由于基础设施不健全,实现供水管网全覆盖已成困难,部署高精度传感器网络更是空谈。未来针对欠发达地区,研发耐用廉价的智能设备将作为研究重心。

2) 更高精度的智能泄漏检测

由于阀门启闭、多泵调控等复杂的操作,智能泄漏检测存在误判误报风险。漏损定位技术还有改进的余地,研究人员需要增强智能系统对突发事件和水力状况异变的精确识别能力,提高定位精准度。

参考文献

- [1] 徐统涛, 杜春蒲. 供水企业节能降耗技术应用的探索[J]. 城镇供水, 2010 (6): 31-32.
- [2] 王俊岭, 吴宾, 聂练桃, 等. 基于神经网络的管网漏失定位实例研究[J]. 水利水电技术, 2019, 50 (4): 47-54.
- [3] 陈紫怡, 许仕荣, 盛烜. 基于压力优化的供水管网分区多入口减压技术[J]. 湖南师范大学自然科学学报, 2022, 45 (4): 144-50.
- [4] CREACO E, PEZZINGA G. Comparison of Algorithms for the Optimal Location of Control Valves for Leakage Reduction in WDNs[J]. Water, 2018, 10 (4): 466.
- [5] NICOLINI M, ZOVATTO L. Optimal location and control of pressure reducing valves in water networks[J]. Journal of water resources planning management, 2009, 135 (3): 178-87.
- [6] 吴阮彬. 基于改进遗传算法的泵站优化调度研究[J]. 水利科技与经济, 2022, 28 (4): 63-67.
- [7] 李俊德, 马宝民, 范功端. 基于EPANET和MATLAB的给水管网优化设计[J]. 市政技术, 2020, 38 (1): 178-80+232.
- [8] 杨佳莉, 杜坤, 侯邑, 等. 考虑多消防工况的旅游古城镇供水管网优化设计[J]. 中国给水排水, 2021, 37 (17): 38-43.