

智能水表在 DMA 分区计量中的作用与优化策略

李 敏

杭州炬华科技股份有限公司 浙江 杭州 311121

摘 要: 本文旨在系统性地探讨智能水表在DMA分区计量中的核心作用,并在此基础上,提出一套涵盖数据采集、传输、分析及业务闭环的全链条优化策略。研究表明,智能水表不仅是DMA精细化管理的数据基石,更是驱动供水系统向智慧化、主动化运维模式转型的关键引擎。通过构建基于智能水表数据的多维分析模型与智能决策体系,可显著提升DMA的漏损定位精度、压力管理水平和用水行为洞察力,从而为水务企业实现降本增效、保障供水安全提供强有力的技术支撑。

关键词: 智能水表; DMA分区计量; 漏损控制; 产销差; 智慧水务; 数据分析

引言

水是生命、生产与生态的基础,但快速城市化使供水管网系统面临挑战,老旧管网物理漏损和非法用水等造成的商业漏损严重。国际水协统计显示,全球供水产销差率高,部分发展中国家超50%,淡水资源白白流失,加剧了供需矛盾。为应对挑战,独立计量区域(DMA)概念产生,其通过划分区域并安装总表计量,监测关键指标评估漏损状况,是降低产销差的有效手段。然而,传统DMA管理模式依赖人工干预,总表数据抄录周期长,用户端水表计量精度低,导致“事后发现、被动响应”,漏损控制效率低、成本高。在此背景下,智能水表技术成熟普及带来机遇,它能实时准确采集上传用水数据,为DMA提供丰富数据,为构建智慧水务管理体系奠定基础。因此,研究智能水表在DMA中的作用及优化策略,对水务行业数字化转型和资源精细化管理意义重大。

1 智能水表的技术特性及其在DMA中的角色定位

1.1 智能水表的核心技术特性

智能水表并非简单的“机械水表+通信模块”,而是一个集感知、计算、通信于一体的微型物联网终端。其核心技术特性首先体现在高精度计量能力上,它普遍采用超声波、电磁等无机械磨损的计量原理,始动流量极低,可达1-2升每小时,量程比宽至R800甚至更高,能够精确计量包括滴漏在内的所有用水行为,从根本上解决了传统机械水表在小流量下不计量的固有缺陷。其次,智能水表具备高频次数据采集与存储功能,内置大容量存储芯片,可按预设的时间间隔记录正向/反向流量、累计流量、瞬时流速、水温、电池电压等多种参数,并支持断点续传,确保在网络不佳的情况下数据依然完整。再者,其双向无线通信能力是连接物理世界与数字世界的桥梁,支持NB-IoT、LoRa、4G/5G等多种主流物联网

通信协议,不仅能将数据上传至云端平台,还能接收来自平台的指令,实现远程阀控、参数配置、固件升级等交互操作。此外,部分高端智能水表还融入了边缘计算与智能判断能力,可在本地进行简单的逻辑运算,例如对持续小流量、反向流或磁干扰等异常情况进行初步判断并主动上报,有效减轻了云端平台的计算负担。最后,长寿命与高可靠性是其大规模部署的基础,通过低功耗设计,电池寿命普遍可达十年以上,同时具备IP68防护等级,能适应各种复杂的地下井室环境,保障了长期稳定运行。

1.2 智能水表在DMA体系中的角色演进

智能水表在DMA体系中扮演着多重、融合的角色。它们首先是DMA的“神经末梢”,部署在DMA内每一个用户的智能水表,如同遍布全身的神经末梢,实时感知着最细微的用水脉搏,将原本模糊的“区域总用水量”分解为清晰的“个体用水行为集合”,为DMA提供了前所未有的微观视角。其次,它们构成了DMA的“数据基石”,所产生的海量、高维、高频数据,不仅是计算真实漏损量的基础,更是进行压力分析、水质预警、用户服务等高级应用的前提^[1]。再者,通过远程阀控功能,智能水表可以成为DMA压力管理策略的执行终端,在夜间低需求时段,可通过平台指令适度调小区域内部分用户的入户压力,从而降低背景漏损,实现了从感知到执行的闭环。最后,智能水表还是DMA的“连接枢纽”,将用户、管网、水司三者紧密连接起来,用户可以通过APP查看自己的详细用水报告,水司则能基于数据提供更精准的服务,形成良性的互动闭环。总而言之,智能水表的引入,使得DMA从一个静态的、以漏损控制为核心的工程分区,转变为一个动态的、以数据驱动为核心的价值创造单元。

2 智能水表赋能DMA精细化管理的核心作用

2.1 实现DMA真实漏损的精准量化

DMA的真实漏损量(RealLosses)等于DMA总进水量减去合法注册用户的实际用水量。在传统模式下,由于用户水表计量不准且数据获取困难,合法用水量只能通过估算得出,导致漏损量计算存在巨大误差。智能水表的应用彻底解决了这一难题。通过同步采集DMA总表和所有用户智能水表的高频数据,可以精确计算出任意时间段内的DMA真实漏损量,即真实漏损量等于总表流量之和减去所有用户表合法流量之和。其中,“合法流量”可以通过智能水表的异常检测功能进行甄别,剔除非法用水或计量异常的数据。基于此,水务企业可以绘制出DMA漏损量的精确时间序列图,清晰地看到漏损的变化趋势,为后续的漏损控制工作提供精准的目标导向,从而将漏损管理从粗放的经验主义转变为精确的数据驱动模式。

2.2 提升DMA夜间最小流量(MNF)分析的深度与广度

MNF是评估DMA背景漏损水平的关键指标。传统MNF分析仅能获得一个单一的数值,无法解释其构成。借助智能水表数据,我们可以对MNF进行深度解构。首先,可以对DMA内每个用户在夜间的用水模式进行精细刻画,正常情况下,大部分居民用户的夜间流量应接近于零,若某用户持续存在小流量,则很可能是户内漏水。其次,可以将DMA的MNF科学地分解为“合法夜间用水”(如酒店、医院的必要用水)、“户内漏损”和“管网漏损”三部分,通过识别并修复户内漏损,可以有效降低MNF,从而减少不必要的管网探测工作量,提高漏损控制的针对性^[2]。最后,利用机器学习算法,可以根据历史数据、天气、节假日等因素,为每个DMA建立动态的MNF基准线,当实际MNF显著偏离该基准线时,系统可自动发出预警,提示可能存在新增漏点,使MNF分析从一个静态快照升级为一个动态的、智能化的健康监测工具。

2.3 构建DMA压力-漏损关联模型,优化压力管理

根据漏损的基本方程(漏损量 \propto 压力ⁿ,n通常在1.0-1.5之间),降低管网压力是控制漏损的有效手段。然而,过度降压又可能影响用户的正常用水体验,尤其是在高层建筑区域。智能水表为此提供了理想的解决方案。通过在DMA内不同位置、不同楼层部署带有压力传感功能的智能水表(或结合独立的压力传感器),可以构建起精细的DMA压力分布图。同时,利用高频流量数据,可以实时计算出不同压力水平下的漏损响应。基于此,可以建立“DMA压力-漏损”关联模型,并利用优化算法求

解出既能满足用户最低服务压力要求,又能使漏损最小化的最优压力控制策略。该策略可通过调节DMA入口的压力控制阀(PRV)来实现,形成一个从感知、分析、决策到执行的闭环压力管理系统,实现漏损控制与用户服务之间的最佳平衡。

2.4 支撑DMA的动态划分与优化

DMA的划分并非一成不变。随着城市发展、管网改造、用户增减,原有的DMA边界可能不再合理,出现DMA过大(导致漏损定位困难)或过小(导致管理成本过高)的问题。智能水表提供的精细化用水数据,为DMA的动态优化提供了科学依据。通过分析区域内用户的用水相关性、水力连通性等指标,可以利用聚类算法(如K-means、谱聚类)对现有DMA进行重新评估和划分,生成更符合实际水力状况的“虚拟DMA”或调整物理DMA的边界。这种基于数据驱动的动态优化机制,能够确保DMA始终处于一个高效、合理的管理规模,从而始终保持DMA管理策略的先进性和有效性。

3 基于智能水表的DMA管理优化策略

3.1 数据层优化:构建高质量的数据采集与治理体系

要充分发挥智能水表的價值,首要任务是构建一个高质量的数据底座。这要求水务企业必须制定涵盖数据格式、通信协议、时间戳、计量单位等在内的统一数据标准,确保来自不同厂商、不同类型智能水表的数据能够无缝集成,避免形成新的数据孤岛。在此基础上,需要建立一套完善的数据质量监控机制,对数据的完整性、准确性、一致性进行实时校验,对于因网络中断或设备故障导致的缺失或异常数据,应采用插值、平滑等成熟的算法进行修复,以保证后续分析的可靠性^[3]。同时,考虑到智能水表产生的数据量巨大且访问频率各异,应采用“热-温-冷”分层存储架构,将高频原始数据作为“热数据”存于高性能数据库以支持实时分析,将聚合后的统计数据作为“温数据”存于数据仓库以支持日常业务查询,而将历史归档数据作为“冷数据”存于低成本的对象存储,从而在保障性能的同时有效控制存储成本。

3.2 分析层优化:开发面向业务场景的智能分析模型

拥有了高质量的数据,下一步便是通过先进的分析模型将其转化为业务洞察。水务企业应着力开发一系列面向具体业务场景的智能分析模型。例如,可以结合DMA总表与所有户表数据,构建基于机器学习的漏损智能诊断模型,该模型不仅能高效识别漏损事件,还能初步判断漏损的类型(如突发性大漏、背景微漏、户内漏)和可能的位置范围,极大地提升一线人员的工作效率。同时,可以利用时间序列分析、模式识别等技术,对海

量用户用水行为进行深度挖掘,识别出典型的家庭、商业、工业用水模式,并能精准检测出异常的用水事件,如长时间未关水龙头或灌溉系统故障。此外,还可以基于智能水表自身的运行状态数据(如电池电压、通信成功率、阀门动作次数),构建预测性维护模型,提前预测水表的故障风险,变被动维修为主动更换,从而保障整个数据链路的长期稳定可靠。

3.3 应用层优化:打造闭环的业务协同流程

数据分析的最终价值必须体现在业务流程的改进和效率的提升上。因此,必须打通“数据-分析-决策-执行-反馈”的完整业务闭环。当智能分析模型检测到疑似漏损或异常用水时,系统应能自动生成包含位置、类型、严重程度、建议措施等关键信息的电子工单,并通过移动APP实时推送给一线维修人员,实现任务的精准派发。维修人员在现场完成任务后,可通过APP上传现场照片和维修结果,系统则能自动比对维修前后的用水数据,客观验证漏损是否真正消除,形成完整的证据链和效果评估^[4]。更重要的是,应将DMA的漏损控制成效、工单处理效率等关键绩效指标纳入相关部门和人员的考核体系,通过制度化的激励机制,确保数据驱动的管理理念能够真正落地生根,形成持续改进的良性循环。

3.4 安全与隐私保护策略

在享受数据红利的同时,必须高度重视其背后的安全与隐私风险。海量的用户用水数据既涉及个人生活习惯等敏感隐私,也是水务企业的核心资产。因此,必须采取全方位的安全防护措施。在技术层面,应采用TLS/SSL等加密协议保障数据在传输过程中的安全,并对存储的敏感数据进行脱敏或加密处理,防止数据泄露。在管理层面,应实施严格的基于角色的访问控制(RBAC),确保只有经过授权的人员才能访问相应级别的数据,做到权限最小化。在合规层面,必须严格遵守《个人信息

保护法》等相关法律法规,在收集、使用用户数据前获得用户的明确授权,并向用户提供便捷的数据查询和删除渠道,尊重并保障用户的个人信息权益,这是智慧水务项目得以长期、健康发展的根本前提。

4 结语

本文系统地阐述了智能水表在DMA分区计量中的核心作用,并提出了覆盖数据、分析、应用、安全四个层面的优化策略。研究表明,智能水表通过提供高精度、高频次、全覆盖的用水数据,彻底改变了传统DMA管理的范式,使其从粗放走向精细,从被动走向主动。它不仅是漏损控制的利器,更是构建智慧水务生态系统的基石。展望未来,智能水表与DMA的融合将朝着更深、更广的方向发展。在技术层面,智能水表将与水质传感器、噪声相关仪等设备深度融合,形成多功能一体化的智能感知节点,实现对管网健康状况的全面体检。在算法层面,随着人工智能技术的进步,基于深度学习的用水预测、漏损精确定位、管网状态评估等高级应用将成为可能,进一步提升DMA管理的智能化水平。在商业模式层面,水务企业可基于智能水表数据,拓展增值服务,如为用户提供个性化的节水建议、为保险公司提供家庭财产险的风险评估依据等,探索新的盈利模式。

参考文献

- [1]张飞.智能水表数据驱动的小区DMA异常识别与居民用水模式分析[D].燕山大学,2023.
- [2]方芳.智能水表多场景应用综合测试评估研究[J].给水排水,2024,60(06):146-151.
- [3]林俊.解析NB-IoT智能水表在智慧水务中应用[J].新型工业化,2022,12(07):265-268.
- [4]王一民,钱浩涵,王佩君,等.智能水表的应用及产业发展现状分析[J].计量与测试技术,2022,49(03):102-105+108.