

农村集中供水工程管网漏损控制技术优化研究

袁 旭

河南宋韵水务开发有限公司 河南 开封 454002

【摘 要】：管网漏损是制约农村集中供水工程运行效能的关键瓶颈，不仅造成水资源严重浪费，还威胁供水安全与工程可持续性。本文立足农村供水管网技术特征与管理现状，系统梳理了管网漏损的成因机理，从硬件检测技术、分区计量管理、压力调控策略及智慧化监测平台四个维度，对现有漏损控制技术进行了全面分析。研究表明：农村供水管网存在管材老化落后、管护能力薄弱、计量体系缺失等突出问题；DMA 分区计量技术、夜间最小流量分析法、基于 NB-IoT 的智能监测系统等已在部分区域取得显著成效，但技术推广面临管网基础资料不全、建设成本高、运维人才匮乏等现实障碍。本文提出应从“管网改造夯基础、分区计量抓关键、智慧监管提效能、制度保障建长效”四个层面构建农村集中供水工程漏损控制技术优化体系，以期在农村供水工程提质增效提供理论参考与实践路径。

【关键词】：农村集中供水；管网漏损控制；DMA 分区计量；智慧水务；NB-IoT；压力调控

DOI:10.12417/2811-0528.26.17.023

1 引言

农村供水工程是保障农村居民基本生活需求、助力乡村振兴战略实施的重要基础设施。近年来，在国家和地方各级政府的大力推动下，农村集中供水工程覆盖率显著提升，截至 2024 年，安徽省烈山区等地区的农村供水覆盖率已达 100%。然而，在供水能力持续增长的同时，管网漏损问题日益凸显，成为制约工程效益发挥的核心痛点。

与城市供水管网相比，农村集中供水工程具有显著的特殊性：管网覆盖区域广、供水点分散、地形复杂多变；管材标准偏低、管道服役年限较短但老化速度快；管理人员专业水平有限、管护资金投入不足。这些特征决定了农村管网漏损问题在成因、检测、修复和管理等方面均呈现出不同于城市的独特规律，亟待开展针对性的系统研究。

从政策层面看，住房和城乡建设部办公厅、国家发展改革委办公厅于 2022 年联合发文，明确提出到 2025 年“全国城市公共供水管网漏损率力争控制在 9%以内”的目标，并强调要“推动供水管网分区计量工程”“推进供水管网压力调控工程”“开展供水管网智能化建设工程”。2023 年，中国农业节水与农村供水技术协会发布了《农村供水管网漏损控制技术导则》，首次为农村供水管网漏损控制提供了行业层面的技术指导。这些政策与标准为农村供水管网漏损控制技术的系统化研究提供了重要依据。

然而，现有研究多聚焦于城镇供水管网，对农村场景下的漏损控制技术优化缺乏系统性的学术探讨。本文旨在综合分析理论与工程实践，系统研究农村集中供水工程管网漏损控制技术的优化路径，为农村供水工程的精细化管理和可持续发展提供学术支撑。

2 农村集中供水工程管网漏损成因分析

2.1 管网物理老化与管材缺陷

农村集中供水工程大多建于近二十年，受当时经济技术条件制约，普遍存在管材标准偏低、施工质量参差不齐的问题。我国早期建设的供水管道中，部分管道使用年限已超过 50 年，存在很大程度的漏损风险。在农村区域，由于资金投入有限，大量使用 PVC、PE 等塑料管材，部分管道甚至使用劣质管材，这些管材在紫外线照射、土壤酸碱度变化和地基不均匀沉降等因素作用下，加速老化和脆化，导致管壁产生裂缝或接头松动。

管道腐蚀与结垢是另一重要物理成因。管道内壁的锈蚀物质会随着水流冲刷作用进入居民的生活用水中，影响水质安全；同时，余氯因管道结垢被耗尽，导致水中滋生各类细菌，加剧管道腐蚀，降低管网输水能力。对于没有做内衬的管道或内部防腐不到位的管道，较易锈蚀，从而加大水资源的浪费，使得供水成本增大。

2.2 运行管理缺陷

农村集中供水工程在运行管理层面存在系统性短板。其一，管护机制不健全，多数小型供水工程缺乏专职管理人员，甚至存在“有人建、无人管”的现象。其二，巡检修护制度执行不到位，管网出现小规模渗漏时未能及时发现和修复，久而久之大范围恶化。其三，计量体系严重缺失，大量农村供水工程尚未普及水表入户，“大锅水”“包费制”等现象普遍存在，无法通过水量核算发现漏损异常。

此外，农村供水管网大多采用间歇式供水模式而非 24 小时连续供水，这种频繁启停的运行方式在管网中形成水锤效应，加速管道接头松动和管壁疲劳，反而加剧了漏损问题。行

业相关调研数据显示,供水管网老化、超限服役、管材品质较差、运维管理体系不完善等多重因素叠加,国内多数城镇管网平均漏损率可达15%以上,农村地区管网漏损水平普遍更高。

2.3 外部环境干扰

农村管网敷设区域的地质条件和外部荷载环境比城市更加复杂。管道穿越农田、道路、沟渠时,受农业机械碾压、地基沉陷、冻融循环等多种因素影响,管道受力状态复杂,极易发生断裂。在北方冰冻地区,埋深不足的管道在冬季发生冻胀破坏的风险尤为突出。农村地区地形起伏较大,管网压力分布不均衡,部分高位区域水压不足而低位区域水压过高,压力波动进一步加剧了管网薄弱环节的漏损。

3 农村供水管网漏损控制核心技术现状

3.1 硬件检测技术

传统供水管网漏损检测以人工巡检搭配听音棒、相关仪、噪声记录仪等声学设备为主,这类便携设备实操性较强,但检测人员专业门槛高,无法适配大范围管网排查工作。农村供水管网布局分散、路况复杂,人工巡检效率低下,大量隐蔽性漏水问题长期无法被发现。

现阶段卫星探漏技术弥补了传统检测方式的短板,依托长波段雷达卫星扫描区域土壤含水率差异,结合算法模型定位疑似漏点,可将漏损排查范围缩小至150米半径内,适合农村大面积管网普查。河南安阳依托该技术完成285平方公里管网扫描,排查出百余处疑似漏点,大幅提升广域检漏效率。在精准检漏与修复层面,浙江出台地方规程明确内置听漏仪防水、耐压等硬件参数标准;同时顶管、非开挖内衬修复等工艺,无需破坏路面即可完成漏点抢修,适配农村复杂道路施工场景。

3.2 DMA 分区计量技术

DMA 独立分区计量是行业公认高效的漏损管控技术,核心原理是将整体供水管网划分为多个独立计量单元,通过分区流量计实时监测用水数据,依托精细化数据分析快速定位管网异常漏损,相较于传统全域计量模式,控漏针对性更强。

目前该技术已在国内城市供水系统成熟落地,绍兴依托DMA 分区改造,将管网漏损率由20%降至5%;郑州搭建智能控漏平台,分级搭建上千个DMA 子分区,搭配老旧管网改造工程,十年间漏损率从23.63%下降至9.23%。但现阶段DMA 技术多应用于城市管网,农村地区落地规模有限。安徽铜陵率先开展农村DMA 分区试点,通过多级分区与高精度计量设备锁定高漏损片区,试点小区夜间最小用水量大幅下降,验证了该技术在农村管网的应用可行性。

3.3 压力调控技术

管网压力调控是低成本基础控漏手段,管网水压与漏损水量呈正相关,在保障居民正常用水的前提下合理降压,可直接减少管网无效漏损。国家住建部门也明确要求供水企业完善压力监测点位布设,针对性治理管网高压漏损区域。

国内学界围绕管网控压开展了多项实证研究:湖南大学借助EPANET2.0水力仿真软件结合DMA 分区体系,证实合理增设调控阀门、优化阀门布设位置,能够稳定降低管网水压与漏损量,具备良好经济效益。北京则构建GIS 管网模型与水力仿真模型,从全域、片区、小区三级开展分层控压调度,实现管网漏损率连续十年稳步下降,最终漏损率降至9.85%,为城乡管网压力优化调控提供了参考范式。

3.4 智慧化监测平台

智慧监测平台是推动农村供水管网从被动查漏转向主动预警的核心载体,依托物联网、大数据技术,压力、流量等感知设备可全天候采集管网运行数据,实现漏损风险实时预判。其中NB-IoT 窄带物联网智能水表适配农村运维条件,2024年国内出台对应行业标准,规范了设备应用要求。该类水表安装简单、运维成本低、信号稳定性强,同时配套线上缴费功能,解决了农村水费收缴不便的痛点。

整套NB-IoT 漏损监测系统分为感知层、传输层、数据层与应用决策层四层架构,模块化设计贴合农村管网分步改造、分批升级的建设需求,能够低成本搭建全域智能监测体系,助力农村供水管理走向精细化、智能化。

4 农村集中供水工程管网漏损控制技术优化策略

4.1 管网设施改造与管材优化

管材改造是漏损控制的基石。针对农村供水管网管材标准偏低、老化严重的问题,应结合农村供水保障规划,分批次、分区域推进老旧管网更新改造。住房和城乡建设部等部门明确提出,直径100毫米及以上管道鼓励采用钢管、球墨铸铁管等优质管材;直径80毫米及以下管道鼓励采用薄壁不锈钢管;新建和改造供水管网要使用柔性接口。

在改造时序上,应优先对漏损严重、使用年限长、管材质量差的管段进行更换,避免“全面开花”式的低效投资。同时,应结合农村地形特点,合理规划管道路由,减少不必要的弯头和接头数量,降低因接头松动导致的漏损风险。

4.2 DMA 分区计量体系的精细化构建

DMA 分区计量农村化是技术优化的核心抓手。针对农村供水管网分布广、用户分散的特点,不能简单复制城市的分区

模式,而应以“经济适用、分层递进”为原则进行精细化设计。

首先,应结合农村的自然村落分布和地形条件,以行政村或自然村为基本单元进行DMA划分。每个DMA的规模应控制在100-500户之间,规模过小则成本偏高,过大则漏损定位精度不足。

其次,在分区边界安装高精度流量计,利用夜间最小流量法评估分区漏损状况。夜间最小流量法是评估DMA分区漏损情况的重要指标,可通过分析区域内合理的夜间最小流量,并将其作为评估漏损情况的标准,针对夜间最小流量超过合理数值的现象进行分析,主动发现漏点。

再次,对于不具备DMA全面覆盖条件的地区,可先从重点区域(如规模化水厂覆盖区、高漏损区)开始,逐步推广。行业通用优化思路提出,可采用模型算法结合硬件检测“先大范围定位,再小范围精查”的混合策略。同时,有条件的区域可以借鉴吸收各地成熟工程案例经验,结合本地区情况进行优化改造。

4.3 基于NB-IoT的区域化智慧监测网络

智慧化监测是提升农村管网漏损控制效率的关键突破口。综合考虑农村区域的供电条件和通信覆盖情况,建议构建基于NB-IoT的“感知—传输—平台—应用”四级架构智慧监测网络。

在感知层,以NB-IoT智能水表和压力传感器为核心,实现对DMA分区内的流量、压力和用水数据的实时采集。NB-IoT技术具有低功耗、广覆盖、大连接的优势,特别适合农村区域电网不完善、基站覆盖有限的条件。

参考文献:

- [1] 杨丹.城镇供水管网漏损现状分析及漏损控制技术研究进展[J].环境保护前沿,2022,12(2):224-232.
- [2] 顾勇.DMA分区计量在管网漏损控制中的应用[J].科海故事博览,2024(12):10-12.
- [3] 罗立强.基于NB-IOT的智能水表采集器设计研究[J].数字化用户,2023(38):105-106.
- [4] 陈雪英.供水管网漏损率的计算与控制[J].河北水利电力学院学报,2025,35(2):13-17.
- [5] 烈山区农业农村局.烈山区农村供水保障规划(2021-2026)[R].烈山:烈山区农业农村局,2024.
- [6] 基于NB-IoT的智能水表系统总体技术要求:YD/T 4479-2023[S].2023.
- [7] 基于窄带物联网(NB-IoT)的供水管网漏损监测系统技术指南:DB36/T 1493-2021[S].2021.

在传输层和数据层,建立县级或区域级的农村供水数据中心,统一存储和管理各水厂及DMA分区的监测数据。应用决策层则开发面向农村供水管理者的轻量化管理平台,具备漏损预警、分区日报、压力调控建议等功能,降低操作难度和技术门槛。颍上县的经验表明,通过改造提升现有信息调度中心,“优化调度信息系统及时全面地掌握水厂送水量、配水管网特征点、运行状态”,可为漏损控制提供强大的数据支撑。

5 结论

(1)农村集中供水工程管网漏损的成因具有显著的复合性特征,涉及管材老化、管理缺位、外部环境干扰等多重因素。与城市管网不同,农村管网在管材质量、施工标准和运维能力等方面均存在系统性短板,决定了其漏损控制不能简单复制城市模式。

(2)DMA分区计量技术在农村场景中具有广阔的应用前景。城市实践表明,DMA技术可将漏损率控制在较低水平,而铜陵等地区的农村初见成效证明,通过合理划分DMA并利用夜间最小流量法,可在农村实现可观的降漏效果。

(3)NB-IoT智能水表系统是破解农村信息化难题的有效工具。其低功耗、广覆盖的技术特征与农村区域基础设施薄弱的现状高度匹配,一次布设即可实现流量监测、远程抄表和漏损预警等多重功能。

(4)农村管网漏损控制必须构建“管网改造夯基础、分区计量抓关键、智慧监管提效能、制度保障建长效”的四位一体技术优化体系,任何单一技术或单一举措均难以取得理想效果。