

# 基于配水管网漏损管控的 DMA 技术及泵阀联合调控的压力优化研究

林仁焕

浙江耐磨达科技有限公司, 浙江 丽水 323000

DOI:10.61369/ETQM.2025060010

**摘要：**城市管网是城市基础设施的重要组成部分，其运行效率直接影响着城市用水安全与资源高效利用。近年来，随着城市规模的不断扩大，用水量越来越大，与此同时，老管线的老化也越来越严重，导致管网渗漏问题越来越严重。在我国，每年由于管网渗漏造成的损失高达数亿吨，不仅浪费了大量的水资源，而且对生态环境也产生了不利的影

**关键词：**供水管网；压力调控；漏损管理；DMA 分区；泵阀调控

## Research on Pressure Optimization Based on DMA Technology and Combined Control of Pump and Valve for Water Distribution Network Leakage Control

Lin Renhuan

Zhejiang Lamad Technology Co., Ltd. Lishui, Zhejiang 323000

**Abstract：** Urban pipe network is an important part of urban infrastructure, and its operation efficiency directly affects urban water safety and efficient utilization of resources. In recent years, with the continuous expansion of the size of the city, more and more water consumption, at the same time, the aging of the old pipe line is becoming more and more serious, resulting in more and more serious leakage of the pipe network. In our country, every year the loss caused by pipe network leakage is up to hundreds of millions of tons, which not only wastes a lot of water resources, but also has an adverse effect on the ecological environment. In this study, the pressure distribution of pipe network is optimized from three aspects, such as zoning, optimal layout of pressure reducing valve, and valve joint adjustment in pumping station, so as to reduce the leakage degree.

**Keywords：** water supply network; pressure regulation; leakage management; DMA partition; pump valve control

水是生命的源泉，对人类社会的生存与发展起着至关重要的作用。然而，随着我国城市化进程的加快，城市给水管网规模不断扩大，管网漏损问题日益突出。根据有关资料，我国不少城市供水管网的漏损率为 15%–30%，个别地区甚至更高。这不仅浪费了大量的水资源，而且增加了供水公司的运行成本，影响到供水系统的稳定可靠运行。管网的漏损不仅造成了水资源的浪费，而且使有限的水资源得不到有效利用<sup>[1]</sup>。大量的水在运输过程中被白白浪费掉了，这对缺水地区来说更是雪上加霜。

管网的漏损增加了供水公司的运行成本。为弥补因漏损而造成的损失，供水公司必须加大对水资源的开发、处理和运输的投入。这不仅增加了企业生产成本，同时也增加了水价，增加了居民、企业的经济负担。在管网泄漏控制中采用 DMA 技术和泵-阀联合调控压力优化是有实际意义的。深入研究与应用，可有效降低管网漏损率，提高水资源利用率，保证供水安全与稳定，为城市可持续发展提供强有力的支撑。

## 一、DMA 技术概述

独立计量区 (District Metering Area) 技术是指将供水管网划分成多个相对独立的计量区域，对各个区域的水量、压力等参数进行实时监测和精确分析，从而实现对管网漏损的有效控制。其核心是通过分区计量，打破了传统管网的粗放式管理方式，把

整个管网细化成一个个独立的小单位，以便更准确地把握各个区域的供水状况。DMA 技术工作原理图如下所示：

在实际应用中，DMA

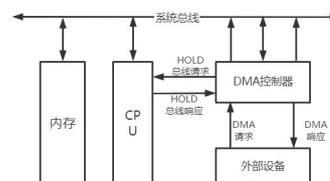


图1 DMA 技术工作原理图

技术需要一系列先进的设备和系统来实现。在每一个 DMA 区域的出口处，都安装了高精度流量计、压力传感器，就像是管网中的“神经末梢”，能实时感应到水流量、压强的变化，并将数据反馈给监控中心<sup>[9]</sup>。通过分析这些数据，管理者能清楚地知道各个地区的用水状况，当发现某个地区的水量或压力出现不正常的波动时，可以快速判断出该地区可能存在的漏损问题。

## 二、基于配水管网漏损管控的 DMA 技术与泵阀联合调控的协同应用

### (一) 基于 DMA 分区的泵阀调控模式

采用 DMA 分区泵-阀调节方式，以 DMA 分区为基本单位，根据各分区实时用水需求及压力状态，对泵阀进行精细调节。

对于商业区等用水需求波动较大的区域，白天营业高峰时段用水需求明显增加，这个时候，利用泵阀联合调节系统可以自动启动更多的水泵或者提高水泵的转速，同时适当地打开有关阀门的开度，保证这一区域的用水充足，满足商业用水需要。而到了晚上，用水的需求量就会大幅度降低，系统就会相应减少水泵的台数或者降低水泵的转速，同时把阀门开度关小，防止过量供水造成的压力过大，降低漏损的风险。

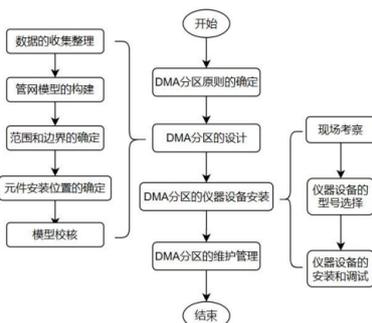


图2 DMA 分区流程图

在地形起伏较大的地区，因各部位水压需求差异较大，需根据地形的特点对泵、阀进行有针对性的调节。在低洼地区，为了避免因水压过大而引起的管道断裂、渗漏，可采用调整阀口大小，适当增大水流阻力，减小水压；对于地势较高的地区，为了保证用户的正常用水，需加大水泵扬程或加大水泵运转功率来提高水压。

在实际应用过程中，根据区域历史用水量及实时监测数据，构建了用水量预测模型。在精确预测各分区用水需求的基础上，提前调整泵阀操作参数，实现更精确的供水控制<sup>[9]</sup>。采用时间序列分析和机器学习等方法，分析 DMA 地区过去一周、一个月甚至一年的用水数据，并与当日天气状况、节假日等因素相结合，对次日各个时段的用水需求进行预测。根据预报结果，提前启动备用泵或调节阀门开度，保证供水稳定可靠。

### (二) 信息交互与联动控制

在信息交互方面，建立统一的信息管理平台，可以对区域内的流量、压力、水质等数据进行实时采集与整合，同时还可以对泵阀的工作状态、故障等信息进行实时采集与整合。将分布于管网各处的传感器和控制器与信息管理平台相连，以保证数据的快速准确传输。安装在 DMA 区域出口处的流量计及压力传感器，通过无线传输模块，实时监测流量、压力等数据，并将其传送到信息管理平台。同时，泵阀智能控制器还能将泵的转速、阀开度等工作参数传送到平台上进行汇总。信息管理平台采用大数据分析 with 人工智能算法，对所收集到的海量数据进行深度挖掘与分析。

建立了管网运行数据模型，对管网运行状态进行了实时评价与预测。通过实时分析 DMA 区域内的流量、压力数据，判断有无泄漏。如果发现某一区域的流量出现异常增长，但压力却相应降低，并且超出正常范围时，平台就会发出泄漏报警，从而确定可能的泄漏点。

在联动控制方面，根据分析结果，制定出一套科学、合理的控制策略；当信息管理平台检测到某一 DMA 区域内压力过大时，自动向泵阀联合调节系统发出命令，使水泵转速降低或泵的运行台数减少，同时关闭有关阀门的开度，从而降低这一区域的管网压力。反之，若发现水压过低，则自动采取反向动作，加大水压。当 DMA 区域因突发性用水需求增加而出现压力骤降时，信息管理平台会快速将这些信息传送到泵阀联合调节系统中。系统收到指令后，立即启动备用水泵，调节有关阀门开度，提高供水范围，使压力恢复正常。为保证联动控制的实时性、准确性，设计了多个反馈机制，以保证联动控制的有效性。泵阀联动调节系统收到信息管理平台发出的指令后，再向平台反馈执行结果。平台实时监控与评估实施效果，若发现调控效果不能达到预期目标，则再次发出指令，直至管网压力与流量稳定。

## 三、泵阀联合调控压力优化的实例研究

### (一) 管网概况与存在问题

该实际管网位于一个老旧城区，建成时间比较早，管网覆盖面积约5平方公里，服务人口超过10万。由于使用年限较长，有些管道由于使用年限较长，出现了腐蚀和结垢现象。

在压力方面，城市供水管网存在很多问题。管网压力分布不均匀现象较为突出。一些地区，特别是地势较高的地区，水压低，居民用水高峰时，经常会出现水量减少或无水的现象，对居民日常生活造成了很大的影响。据统计，这些地区在用水高峰时，平均水压不到0.1 MPa，与国家标准0.14 MPa相差甚远。在低洼地，水压过高，长时间处于0.4 MPa以上，远远超过设计压力。这不仅增加了管线的漏损风险，而且极易引起爆管事故。近几年来，该地区发生过5起因水压过高而爆管事故，不仅浪费了大量水资源，还给周边居民生活、交通造成了很大的不便。

通过对管网压力长期监测与分析，得出了管网压力波动较大的结论。用水高峰、低谷时，压力波动范围大于0.2 MPa。这种巨大的压力脉动，使其长期处于交变应力环境中，加速其老化与损伤，进而增加泄漏的可能性。

### (二) 调控方案的设计与实施

在设计方案时，充分考虑了管网的实际状况、用水需求和今后的发展规划，以保证项目的科学、可行、有效。具体如下表所示：

表1 调控方案的设计与实施表格

方案环节	主要内容
设计方案	考虑管网现状、用水需求及发展规划，确保科学、可行、有效
关键节点设备安装	区域交界、地形起伏大、用水大户处安装压力传感器及智能阀
压力监测与控制	传感器实时监测压力，智能阀根据监控指令调整开度
水泵改造	采用变频调速水泵，提高运行效率，降低能耗
优化运行策略	通过数学模型分析水泵最优组合，合理安排运行

智能控制系统	计算机+通信+自动控制, 远程监控、自动调节、故障报警
野外调查与数据收集	收集管网布置、管径、阀门等信息, 分析用水需求
施工管理	施工计划制定、严格管理、保障施工质量
社区协调	提前沟通影响, 减少施工对居民和交通的干扰
系统测试与优化	模拟不同工况, 调整控制策略, 确保稳定运行
试运行与评估	运行监测, 优化方案, 提升调控效果

在管网关键节点, 如区域交界、地形起伏大、用水量大的区域, 设置压力传感器和智能阀门, 实现对管网压力的实时监控和智能调控。当用户用水量突增, 周边水压降低时, 智能阀门能迅速调节开度, 保证供水平稳。采用变频调速技术对管网泵进行变频调速, 根据压力的变化自动调整转速, 减少低谷时的能源消耗, 高峰时提高供水量。利用数学模型对水泵组合方案进行优化, 在保证供水需求的前提下降低能耗<sup>[4]</sup>。该智能控制系统集计算机、通信和自动化技术于一体, 能对管网进行远程监测和自动调整, 并具有故障报警等功能, 便于管理者了解管网的运行情况。

在实施过程中, 对管网的布置、管径、阀门等进行了全面的收集, 对各个地区的用水需求进行了分析, 制定了详细的施工方案。严格按照规范要求, 加强施工管理, 保证压力变送器、智能阀门和水泵改造质量。同时, 要加强与当地居民及有关部门的沟通, 尽量降低施工对生活及交通的影响。系统安装调试完成后, 通过模拟不同工况对控制策略进行反复优化, 保证了系统的精确稳定运行。通过试验与评价, 进一步对方案进行优化, 提高管网压力调控效果, 达到高效稳定供水管理的目的。

### (三) 压力数据的监测与分析

在调节方案实施前、后, 连续监测了管网关键节点处的压力数据。利用压力传感器对管网压力进行实时监测, 可以直观地反映管网压力的变化。

调节前管网压力分布表现出明显的非均衡性。高海拔地区长期处于低压状态, 如 A 区, 用水高峰时段压力只能维持在 0.08–0.12 MPa, 远远低于正常供水标准, 导致该地区居民在用水高峰时段常面临水量小甚至无水的窘境。低层区域 B 段压力过大, 长期稳定在 0.45–0.5 MPa 左右, 远远超过了管线的安全承受极限, 导致管道破裂、泄漏等风险大大增加。采用泵阀联合调节方案, 使管网压力分布得到明显改善。在用水高峰时段, 智能控制系统可自动调整水泵转速及阀门开度, 使地势较高地区的压力得以有效提升。A 区压力稳定在 0.15–0.18 MPa 范围内, 可满足日常生活用水需要。同时, 对低区压力进行合理控制, B 区压力控制在 0.3–0.35 MPa 范围内, 既能保证供水稳定, 又能降低因高压引起的爆管、泄漏等问题。

从压力脉动情况看, 调节前管网压力波动较大, 高峰与低谷

之间波动幅度大于 0.2 MPa; 压力脉动不仅会破坏管道的结构完整性, 加速其老化与磨损, 而且会增加漏损概率。该智能控制系统可根据实际用水需求, 对泵阀操作参数进行准确调整, 从而有效地抑制管网压力波动。结果表明, 管网压力变化范围小于 0.05–0.1 MPa, 管网运行稳定可靠。通过对调节前后的压力数据进行详细分析, 可以看出泵-阀联合调节对管网压力分布的优化和压力的稳定具有明显的效果。

### (四) 漏损率的变化评估

漏损率作为衡量管网运行效率及漏损控制效果的重要指标, 在实际应用中具有重要意义。为准确评价泵阀联合调节对管网漏损的影响, 本研究通过对管网运行前后管网漏损状况的全面监测与统计, 以准确评价泵阀联合调节对管网漏损的影响。在实施调控之前, 通过对受水区水量的监测与分析, 得出管网漏损率高达 18%。由于管网渗漏造成大量水资源浪费, 给供水公司带来巨大的经济损失和运行成本。

经常、阀联合调节运行一段时间后, 再计算管网漏损率。结果表明, 该装置的漏损率明显降低到约 10%。该数据的大幅下降充分说明, 通过对管网的调节, 减少管网漏损是行之有效的。在此基础上, 进一步分析了造成漏损率下降的主要原因, 认为泵、阀联合调节是管网压力优化的结果。在调节前, 管网压力过高使管线受到较大应力, 易造成管线断裂、接口松动, 造成漏损。经过调整后, 合理的压力控制使管线承受的压力在安全范围之内, 降低了因高压引起的泄漏<sup>[5]</sup>。在部分老管线集中地区, 调整前因压力过大, 常发生管道爆裂、漏水现象, 平均每个月 3–4 次。但在实施调控后, 这一状况明显好转, 每个月只有 1 起。调整方案采用 DMA 技术, 及时发现并修补漏损部位, 在降低漏损率方面发挥了重要作用。DMA 区域实时监控能迅速发现流量、压力的异常变化, 一旦发现有漏损征兆, 可快速定位漏损点, 安排检修人员及时抢修, 有效防止漏损扩大。

## 四、结语

展望未来, 随着物联网、大数据、人工智能等技术的不断进步, DMA 系统将进一步向智能化方向发展。引入先进传感技术, 实现管网运行数据的实时、全面采集, 并结合大数据分析机器学习算法, 实现管网漏损预测与预警。在泵阀联合调节压力优化方面, 未来还需对不同工况下泵阀优化调控策略进行深入研究。针对气候变化、城市发展及用水习惯变化对管网用水需求的影响, 构建更为完善的管网用水模型, 实现泵送阀的实时精确调控。与太阳能、风能等新能源技术相结合, 为水泵阀的运行提供更清洁可持续的能量支撑, 减少水系统能耗及碳排放。

## 参考文献

- [1] 郭天鸣. DMA 技术在管网漏损中的应用研究 [J]. 建筑与预算, 2024, (06): 10–12.
- [2] 杨伟超, 吴永强, 李轩, 等. 基于 FCM 算法的 DMA 分区技术在城市供水管网管理中的应用 [J]. 河北建筑工程学院学报, 2024, 42(02): 154–158+217.
- [3] 吴加强, 潘虹, 郑源, 等. 基于 SSA 的抽水蓄能电站技术供水系统泵阀优化调度研究 [J]. 水电能源科学, 2024, 42(03): 191–194+48.
- [4] 陈欣. 基于 NB-IOT 和 DMA 技术相结合的市政管网漏损控制分析 [J]. 四川水泥, 2021, (12): 46–47.
- [5] 王浩骅, 管光华, 饶柏京, 等. 长距离输水管渠结合系统闸阀联合调控方式研究 [J]. 节水灌溉, 2021, (05): 79–85.