

数字化监管手段在市政供水管网漏损治理中的应用

缪仲坚

定南县水利发展投资有限公司 江西省赣州市定南县 341900

DOI: 10.32629/ems.v8i9.22144

[摘要] 供水管网漏损治理的核心阻碍不再局限于人力短缺，治理短板逐步体现在管网感知能力的匮乏。文章结合各类漏损诱因，剖析传统巡检模式在时间与空间维度的固有限制，围绕 DMA 分区计量、声波与负压波联合检测、GIS 与物联网深度融合搭建完整的漏损识别技术体系，结合压力调控、工单管理、绩效考核多个维度，构建数据赋能的治理闭环。数字化监管方式可破解管网运行状态监测盲区、数据测算偏差、运维管控缺位的行业难题，为供水企业推进漏损精细化治理提供可行的技术路径。

[关键词] 供水管网；漏损治理；DMA 分区计量；数字化监管；SCADA 系统

引言

供水管网漏损始终是市政供水领域普遍存在的棘手问题，国内城市公共供水管网整体漏损率常年居高不下，中小城镇管网漏损现状更为严峻。水资源因管网漏损大量损耗，供水系统能耗与运营开支随之上涨，管网水体还存在二次污染风险。管网老化问题持续加重，供水安全保障标准不断提升，漏损治理已成为供水企业亟需应对的核心工作。物联网、大数据、地理信息系统等现代技术日趋完善，在漏损治理中展现出可观的应用价值^[1]。如何将上述技术有效嵌入漏损治理全流程，实现从被动应对向主动管控的转型，是当前行业关注的焦点。文章剖析漏损问题的形成诱因，结合漏损识别、点位定位、综合治理全流程，探究数字化监管方式的实施路径与应用内核。

一、市政供水管网漏损的多维成因与数字化监管的现实逻辑

（一）管龄老化与材质缺陷引发的结构性隐性破损

管道本体老化与材质性能退化是引发供水管网漏损的核心根源。早期市政管网铺设普遍选用灰口铸铁管、预应力水泥管等传统管材，此类铸铁材质韧性较差，抗冲击性能不足，抗弯与抗拉强度相对薄弱。随管道埋设年限增加，老化状态下的结构破损风险大幅上升。小口径管道管壁厚度有限，长

期埋置地下持续遭受土壤侵蚀，管壁逐渐减薄，在外部荷载作用下易形成局部结构薄弱区，管网爆管渗漏多集中于此。老旧管材在县级及以下城镇供水管网中仍占据相当比例，受制于资金与施工条件，短期内难以全面更换。此类结构损伤长期隐匿于地下土层，地表无明显异常，水量却持续流失。此类隐蔽破损排查难度极大，是漏损治理面临的首要难点。

（二）压力波动与瞬变流态诱发的运行性漏失增量

管网漏损的成因不限于管道自身结构缺陷，动态变化的运行工况同样是渗漏问题的重要诱因。供水管网运维过程中，阀门切换、水泵突发停运、用户用水负荷骤变，都会扰动管内水流状态，催生压力瞬变。管网出现瞬态负压时，外界污染物可能经由细微破损点侵入输水系统，威胁水质安全；瞬态正压生成的高压水流会冲击管壁，对管道造成不可逆损伤。城市用水随昼夜时段动态更迭，高峰时段输水流量攀升、水压回落，低峰时段水力参数相反，频繁起伏的压力持续累积管道疲劳损伤，老化管线在反复冲击下爆裂渗漏概率大幅上升。运行性漏失与结构性破损相互叠加、交替作用，单一成因难以解释复杂漏损现象，管网治理工作因此更具挑战性。

（三）传统巡检模式在空间盲区与时间滞后下的监管失灵

管网漏损问题的多样性使传统巡检模式的内在缺陷充分暴露。管网探漏长期依赖人工沿管线徒步排查，单日覆盖范

围极其有限。隐藏在管线内部、不产生地面渗水迹象的隐性漏点，常规人工巡查难以察觉。人工抄表与现场巡查多以月度、季度为周期，偏低的数据采集频次无法精准把控管网实时运行状态，管线全域空间无法完整覆盖，全天候持续监测无法落地。大量隐蔽漏点长期未被发现，水资源持续无端消耗，后续治理措施也因此失去及时处置的前提条件。传统模式在人力配置与管网规模之间的矛盾日益突出，单纯依靠增加巡检频次和人员数量已无法根本解决问题，亟需引入能够实现连续感知与智能研判的新型监管手段。

二、面向漏损全周期识别的数字化监管技术体系构建

（一）基于 DMA 分区计量与实时流量比对的夜间最小流量分析

独立计量分区（DMA）是管网漏损空间定位的基础性技术手段^[2]。该技术将整体供水管网拆分为若干封闭且相互独立的计量单元，每个单元仅设单一进水口并配套流量监测设备，依托各分区夜间最小流量数据判别管网背景渗漏状况。夜间居民用水处于全天最低水平，此时管网留存的稳定流量基本来自管线破损导致的水量外泄。运行中将分区进水流量与辖区用户用水统计数据相互校核，数值差值可直观反映区块真实漏损水量。庞大的城市供水管网借助该模式拆解为小型监测单元，粗放的全域管理模式升级为精细化分区管控，后续定点查漏作业可获得清晰的排查范围与靶向依据。DMA 分区规模直接影响分析精度，分区过大则异常信号被稀释，分区过小则建设维护成本过高，实践中需结合管网拓扑与用户密度综合确定。

（二）声波监测与负压波法在微小泄漏信号提取中的协同应用

DMA 完成疑似漏损区域锁定后，漏点精准定位需依托专业检测技术落地，声波检测是点位精确定位的核心手段^[3]。管道发生泄漏时，外泄水流激发特定频率的声波信号沿管壁

传导，管道两端布设的压电传感器采集信号后即可完成漏点位置判定。微小渗漏产生的声波信号强度较低，易被环境噪声覆盖，负压波检测技术与之形成良好互补——管道泄漏引发内部水压瞬时波动，压力变化波形沿水流方向传播，通过测算管道首尾两端压力波形的突变时差，即可精准推算漏点位置。两类技术协同配合，声波设备捕捉高频振动信号，负压波技术识别低频压力波动，适配不同孔径、不同程度的泄漏场景，大幅提升定位精度。两种方法在信号采集原理上形成互补，联合使用时的定位精度显著优于单一方法，尤其在复杂声学环境中优势更为突出。

（三）GIS 与物联网融合下的管网脆弱性空间拓扑诊断

漏点精准定位后，相关数据需接入全域管网空间管理体系，以搭建长效化漏损识别机制。地理信息系统（GIS）对管线空间坐标、管径规格、管材属性、埋设深度、铺设年限等基础参数做数字化归档，同步完成管网信息的可视化展示。各类在线监测设备——流量计、压力传感器、噪声记录仪——依托物联网技术实现全网接入，实时采集的运行数据自动汇总叠加至 GIS 平台。区域管网反复出现漏损时，平台通过空间拓扑分析研判片区管网结构状态，甄别运行薄弱区段，为管网更新改造的排布次序提供空间决策支撑。GIS 的价值不仅在于单次漏点的空间标注，更在于通过长期数据积累揭示漏损的空间分布规律与时间演变特征。分区筛查、精准检点、空间研判三者层层递进、相互印证，共同构成漏损识别的完整数据闭环。

三、数据驱动的漏损治理闭环机制与效能转化路径

（一）SCADA 与水力模型耦合驱动压力动态调控与爆漏风险预判

漏点查找与修缮属于事后补救，从根源控制漏损需依托主动化压力管控。SCADA 系统持续采集管网各节点压力参数，依托实测数据搭建水力仿真模型，模拟不同工况下的压力分

布与变化规律。模型测算出片区压力长期超出安全阈值时，系统生成对应降压方案，通过调整沿线减压阀、改变变频泵转速，完成分区压力精细化调控。漏水量与运行压力存在指数关联（符合国际水协 FAVAD 模型所揭示的物理规律），压力小幅下调即可有效削减水量外泄规模，但降压操作需同步评估用户端最小服务水头约束及减压设施初始投资与漏损削减收益之间的经济平衡点，避免因过度控压引发次生问题^[4]。将水力模型从离线规划转变为在线调度，使压力调控从事后应对走向事前预判。管网治理模式由此完成转变，被动修补逐步转向主动控压，治理重心前置至风险萌芽阶段。

（二）工单系统与移动终端联动实现检漏抢修的全流程可追溯管控

漏损排查与修缮包含工单派发、现场踏勘、路面开挖、破损修复、土方回填、管网通水等多项工序，任一环节滞后都会延长漏水持续时间。工单管理系统将线下作业流程转为线上数字化运行，监测平台捕捉到漏损隐患后自动生成抢修工单，通过移动端推送至就近巡检人员。工作人员到场后上传实景影像，修复完成后提交处置记录与整治前后对比数据。管理人员通过后台实时掌握工单推进进度与作业耗时，形成隐患排查、现场处置、成果核验的全流程闭环，彻底解决传统模式下派工无序、进度不明、责任难追的问题。工单系统积累的抢修数据还可反向输入至水力模型与 GIS 平台，用于校验漏损预警阈值，实现数据在各系统间的循环流动。

（三）漏损绩效指数与大数据看板融合构建长效监管评估框架

数字化技术的应用价值不限于日常抢修，更为漏损长效治理提供了量化支撑。大数据看板集中展示各 DMA 分区漏损率、夜间最小流量、压力达标率、工单响应时效等核心指标，辅助管理层直观把控管网整体运行态势。参照国际水协绩效评估框架搭建专属漏损绩效评价体系，对各分区开展横向对

标与纵向趋势研判。漏损率持续攀升的片区纳入重点管控范围，治理成效突出的片区提炼可推广的运维经验。评估结果与年度考核、资金分配、管网改造优先级直接挂钩。由此，绩效指数从单纯的评价工具升级为资源配置的核心决策依据。数据化考核反向推动运维管理迭代升级，让漏损治理摆脱阶段性集中整治，形成常态化、可持续的治理格局。

结语

供水管网漏损治理依托数字化监管体系形成覆盖从状态感知到管理决策的完整解决方案。数字技术贯穿漏损成因研判、分区排查、精准定位、压力调控、工单处置、成效考核全部环节，深埋地下的管网状态得以实时可视化，各类隐患得到精准干预。传统供水运维依靠经验判断的粗放模式得以革新，数据驱动的精细管控逐步落地，这是漏损率稳步回落的核心保障。数字化工具的运用离不开运行维护人员的规范操作与正确执行，技术与制度的协同推进是治理成效持续巩固的关键。数字化体系要保持稳定高效运转，还需在数据精准度管控、多业务系统深度融合等方面持续完善。漏损治理是一项复杂的系统工程，唯有数字技术与管理制度同向发力、数据感知与人工执行紧密咬合，才能推动供水管网治理从阶段性攻坚迈向常态化长效管控的新阶段。

参考文献

- [1] 吕炎, 秦经纬, 张超, 等. 华北地区某城市主城区智慧供水管网漏损控制设计与实践[J]. 建设科技, 2023, (10): 32-36.
- [2] 赵全利, 侯建旭, 何冰, 等. 基于小区 DMA 漏损管理的探索实践[J]. 城镇供水, 2023, (2): 37-41.
- [3] 吴绍玮. 给水管网漏损检测与维护的新技术与方法探讨[J]. 建设科技, 2024, (12): 22-24.
- [4] 涂杰, 刘文睿, 丁祥, 等. 基于压力相关的城市供水管网漏失预警研究[J]. 水电能源科学, 2024, 42(1): 139-143.