

Analysis of Intelligent Operation and Maintenance Management Models for Municipal Water Supply and Drainage Networks

Fanyi Meng

Yunnan Design Institute Group Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 650100, China

Abstract

Municipal water supply and drainage pipeline network is an important infrastructure for urban operation, and its operational safety and service efficiency are directly related to urban public safety, ecological environment quality, and residents' quality of life. With the continuous expansion of urban scale and the increasing complexity of pipeline systems, the traditional operation and maintenance management mode mainly relying on manual inspection and passive repair has gradually exposed obvious limitations in risk warning, operational efficiency, and resource allocation. The concept of intelligent operation and maintenance provides a realistic path for the transformation from experience driven to data-driven operation and management of municipal water supply and drainage networks by introducing technologies such as the Internet of Things, big data, geographic information systems, and artificial intelligence. This article analyzes the implementation effect of intelligent operation and maintenance mode based on engineering practice, in order to provide theoretical reference and practical guidance for improving the operation and management level of municipal water supply and drainage pipeline network.

Keywords

Municipal water supply and drainage; Pipeline network operation and maintenance; Intelligent management; Information technology platform; Risk control

市政给排水管网智慧化运维管理模式探析

孟繁艺

云南省设计院集团有限公司, 中国·云南昆明 650100

摘要

市政给排水管网是城市运行的重要基础设施,其运行安全与服务效能直接关系到城市公共安全、生态环境质量及居民生活品质。随着城市规模持续扩展与管网系统日趋复杂,传统以人工巡查和被动抢修为主的运维管理模式在风险预警、运行效率与资源配置等方面逐渐暴露出明显局限。智慧化运维理念通过引入物联网、大数据、地理信息系统及人工智能等技术手段,为市政给排水管网运行管理提供了由经验驱动向数据驱动转型的现实路径。本文结合工程实践对智慧化运维模式的实施效果进行分析,以期市政给排水管网运维管理水平提升提供理论参考与实践借鉴。

关键词

市政给排水; 管网运维; 智慧化管理; 信息化平台; 风险控制

1 引言

市政给排水管网作为城市基础设施体系的重要组成部分

【基金项目】云南省设计院集团有限公司科技研发项目名称“基于水力模型的污水管网入渗流精细排查技术研究”(项目编号: NS2023036); 云南省住房和城乡建设厅建设领域科学技术计划项目“基于水力模型的污水管网入渗流精细排查技术研究”(项目编号: K00000109)。

【作者简介】孟繁艺(1992—),男,硕士,工程师,从事市政给水、市政排水、水污染治理研究。

分,承担着供水保障、污水收集与雨洪调蓄等多重功能,是维系城市正常运转的“生命线工程”。随着城市化进程不断加快,管网系统呈现出管线里程长、管材类型多、埋设环境复杂及运行工况差异显著等特征,运维管理难度持续加大。尤其是在老城区,早期建设的给排水管网普遍存在资料缺失、结构老化与运行状态不明等问题,给日常管理和应急处置带来较大挑战。

2 市政给排水管网运维管理的特点与挑战

2.1 管网系统结构复杂性对运维管理的影响

市政给排水管网具有明显的系统性和隐蔽性特征,其管线通常分布于城市道路、建筑物及地下综合空间之中,埋深不一、走向复杂,且管材类型和接口形式多样。在长期运

行过程中,管网系统受土体变形、地下水位变化、交通荷载及腐蚀作用等多种因素影响,结构性能呈现出明显的时变特征。这种复杂性决定了运维管理难以通过单一手段实现全面掌控,需要在空间信息、结构状态与运行工况之间建立系统化的认知框架。而给排水管网的运行状态具有显著的动态性^[1-2]。供水管网随用水负荷变化产生压力波动,污水和雨水管网则受降雨、排水调度等因素影响,其水力条件变化频繁。传统静态管理方式难以及时反映这些动态变化,导致隐患识别滞后,增加了运行风险。

2.2 传统运维管理模式的现实局限

在传统管理模式,市政给排水管网运维主要依赖人工巡检和故障报修,管理工作呈现出明显的被动性和碎片化特征。一方面,人工巡检受人员经验、巡查频率和现场条件限制,难以对全管网运行状态形成连续、系统的掌握;另一方面,运维数据多以纸质记录或分散电子表格形式存在,缺乏统一标准和共享机制,信息利用效率较低^[3]。传统模式在决策层面高度依赖经验判断,缺乏对历史数据的系统分析与规律挖掘,维修计划和更新改造往往基于单点问题或突发事件展开,难以实现资源配置的整体优化。这种管理方式在管网规模持续扩大的背景下,容易导致运维成本上升而管理效果并未同步提升。

3 市政给排水管网运维管理的特点与挑战

3.1 市政给排水管网运维管理的系统性与复杂性特征

市政给排水管网作为典型的城市地下基础设施系统,其运维管理具有显著的系统性、隐蔽性与长期性特征。从空间结构上看,给排水管网通常沿城市道路、建筑红线及地下综合管廊布设,管线走向复杂、埋设深度差异较大,且与燃气、电力、通信等多类地下管线交织共存,客观上增加了运行监测和维护作业的难度。从时间维度看,给排水管网具有服役周期长、性能衰减缓慢但累积效应明显的特征,其结构安全与运行状态往往呈现出“渐进劣化—局部失效—突发事件”的演化路径,风险具有较强的隐蔽性和不确定性。在运行工况方面,供水管网受用水负荷波动、水压调控及管材老化等因素影响,易出现漏损、爆管等问题;排水管网则受降雨过程、污水水量变化及沉积物淤积影响,其运行状态具有明显的时变性和空间差异性。这种多因素耦合作用使得管网运行状态难以通过单一指标进行准确表征,运维管理需要在结构状态、水力特性和环境条件等多个维度之间进行综合研判。因此,市政给排水管网运维管理本质上是一项跨专业、多要素耦合的系统工程,对管理模式的整体性和精细化水平提出了较高要求^[4-5]。

3.2 传统运维管理模式面临的现实挑战

受历史条件和管理理念影响,当前市政给排水管网运维管理仍以人工巡查、经验判断和事后维修为主要手段,这种传统模式在管网规模较小、运行环境相对简单的条件下尚可维持基本运行,但在城市快速扩张和系统复杂性持续提升

的背景下,其局限性日益凸显。首先,人工巡检受人员配置、巡查频率和现场条件制约,难以实现对管网运行状态的连续掌握,隐蔽性缺陷和早期异常往往难以及时发现,风险识别具有明显滞后性。其次,运维过程中形成的大量运行数据和维修记录分散在不同部门和系统中,数据标准不统一、共享机制不完善,难以支撑系统化分析和科学决策。在决策层面,传统运维管理高度依赖管理人员的经验积累,维修计划和更新改造往往基于单点问题或突发事件展开,缺乏对管网整体运行规律和风险演化趋势的量化分析,容易导致资源配置效率偏低。同时,在突发事件处置过程中,信息传递链条较长、协同机制不足,影响应急响应的及时性和处置效果。上述问题在一定程度上制约了市政给排水管网运行安全水平的提升,也成为推动运维管理模式向智慧化转型的重要现实动因。

4 市政给排水管网智慧化运维管理模式构建

4.1 智慧化运维管理模式的总体思路

市政给排水管网智慧化运维管理模式的构建,应以提升系统运行安全性与管理精细化水平为核心目标,在充分尊重管网工程属性和运维实际的基础上,实现技术手段与管理机制的协同融合。从总体思路上看,该模式不应局限于单一信息系统建设,而应围绕管网全生命周期运行管理需求,构建覆盖“状态感知—分析研判—决策执行—反馈优化”的闭环管理体系。通过对管网资产、运行工况与运维行为的系统整合,使运维管理由传统的被动响应模式转向以风险预控和主动干预为特征的智慧化模式。在管理逻辑上,智慧化运维强调以数据作为核心生产要素,将分散于不同环节的运行信息进行统一汇聚和关联分析,从而实现了对管网运行状态的整体认知。通过将结构属性、空间位置、水力参数与历史运维记录等信息纳入统一管理框架,可为运维决策提供多维度支撑,避免传统管理中“见点不见面”的局限。同时,该模式注重管理流程的标准化与透明化,通过信息平台将巡检、维修、应急处置等业务活动纳入统一调度体系,提高运维管理的可控性和执行效率。

4.2 智慧化运维管理的运行机制与实施路径

在运行机制层面,市政给排水管网智慧化运维管理模式以多源数据感知为基础,通过动态监测实现对管网运行状态的持续获取。依托传感设备和信息采集手段,实时掌握关键节点的压力、流量、水位等运行参数,并结合地理信息系统实现运行数据与空间信息的关联表达。在此基础上,通过数据分析与模型计算,对运行异常和潜在风险进行识别和评估,为运维决策提供科学依据。在实施路径上,智慧化运维管理需要循序渐进、分阶段实施。初期应重点完善管网基础数据和资产信息,夯实数字化管理基础;中期通过引入监测设备和分析工具,逐步实现运行状态的可视化和异常预警;后期则在数据积累和经验反馈的基础上,推动运维决策的智能化和协同化。在这一过程中,管理制度与技术平台需同步

优化,通过明确职责分工、规范业务流程和强化数据应用能力,确保智慧化运维模式能够稳定运行并持续发挥效能。

如图所示,市政给排水管网智慧化运维管理通过构建以数据感知、分析研判和反馈优化为核心的闭环运行机制,实现运维管理由被动响应向主动预控的转变。市政给排水

管网智慧化运维管理模式的构建,是技术进步与管理变革共同作用的结果。只有在充分结合工程实际和管理需求的前提下,形成技术可行、机制顺畅、运行高效的运维管理体系,才能真正实现市政给排水管网运行管理水平的整体提升。

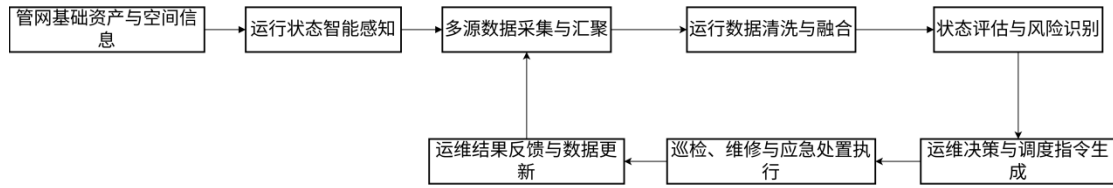


图1 市政给排水管网智慧化运维管理模式流程图

5 市政给排水管网智慧化运维的关键技术支撑

5.1 多源数据感知与管网运行信息融合

在市政给排水管网智慧化运维管理模式中,多源数据感知是实现精细化管理和动态控制的技术基础。相较于传统依赖人工巡查和单一运行参数的管理方式,智慧化运维通过在管网关键节点和敏感区域布设监测设施,实现对运行状态的连续获取和动态更新。这类感知数据不仅包括压力、流量、水位等反映水力运行特征的实时参数,还涵盖管材类型、敷设年代、维修记录及周边环境条件等结构性与属性信息,从而构成对管网系统的多维度描述。在实际运行过程中,不同来源的数据在时间尺度、空间精度和数据格式上存在明显差异,若缺乏有效整合,难以支撑高层次分析与决策。因此,智慧化运维管理强调对多源异构数据的融合处理,通过统一的数据标准和关联规则,将实时监测数据与历史档案数据、空间信息数据进行整合,构建完整的管网运行信息体系。借助信息融合技术,可实现运行状态与结构属性的同步呈现,使管理人员能够从系统整体层面把握管网运行特征,为隐患识别和风险研判奠定数据基础。

5.2 数据驱动下的运维决策与风险预警机制

在数据感知和信息融合的基础上,智慧化运维管理进一步通过数据分析与模型计算,实现运维决策方式的转变。通过对历史运行数据的统计分析和趋势识别,可揭示管网漏损、淤积和结构劣化等问题的演化规律,为运维策略制定提供定量依据。相较于传统依赖经验判断的方式,这种数据驱动的决策机制在准确性和可追溯性方面具有明显优势,有助于提升运维管理的科学性和稳定性。风险预警机制是智慧化运维管理的重要组成部分,其核心在于通过设定合理的运行阈值和判别规则,对异常状态进行自动识别和分级响应。当监测数据出现超限或异常变化趋势时,系统可及时触发预警信息,并结合空间位置和影响范围,对潜在风险进行综合评估。这种前置化的风险识别机制,使运维管理由事后处置转向事前防控,有效降低突发事件发生概率。

在实际应用中,数据驱动的运维决策与风险预警机制需依托多维度模型工具实现精准落地。例如,针对管网漏损问题,

可构建基于水力模型与机器学习的漏损预测模型:先利用管网拓扑结构、压力监测数据、历史漏点记录等多源信息训练模型,使模型能够识别压力波动、流量异常等与漏损相关的特征模式;当实时监测到某管段流量偏离水力模型预测值超过设定阈值时,系统自动标记该区域为漏损高风险区,并推送包含疑似漏点位置、漏损程度预估、影响用户范围的决策建议,指导运维人员优先开展精准排查。对于管网淤积风险,可结合流量监测数据、管道材质与使用年限、历史清淤记录等,建立淤积程度评估模型,通过分析流速变化趋势、管道摩阻系数异常等指标,预测淤积发展阶段——若模型判定某管段淤积度接近影响排水能力的临界值,系统会自动生成清淤工单,明确作业时间窗口与所需设备,并同步关联该管段周边的排水需求数据,确保清淤作业不影响高峰期排水。

6 结语

市政给排水管网智慧化运维管理是应对城市管网系统复杂化和运行风险增大的必然选择。通过构建以数据感知、智能分析和协同处置为核心的运维管理模式,可有效提升管网运行的可控性和安全性。本文从理论和实践两个层面对智慧化运维管理模式进行了系统分析,认为其在提升风险预警能力、优化资源配置和推动管理模式转型方面具有显著优势。未来,应进一步加强技术与管理制度深度融合,完善数据标准体系和运维机制,为市政给排水管网高质量运行提供持续支撑。

参考文献

- [1] 高巍,张侃.圆形工作井倒挂井壁施工工艺优化与质量控制研究[J].工程技术研究,2025,10(14):23-25.
- [2] 吴岗,付艳斌,赵鹏.复杂环境中高地下水水位区深基坑倒挂井壁逆作法技术[J].建筑结构,2023,53(S2):2531-2535.
- [3] 荆森.倒挂井壁法在顶管工作井中的应用[J].陕西水利,2024,(11):141-143+146.
- [4] 高巍,张超.竖井倒挂井壁施工对其周边土体及管线影响规律研究[J].工程机械与维修,2025,(07):107-109.
- [5] 张凡孟,王志进,朱庆波.混凝土倒挂井在深厚淤泥质土中的应用[J].中国市政工程,2022,(02):52-55+108.