

市政建设中给排水管网的智能化管理探讨

李伟杰

乳源瑶族自治县银源水电安装工程有限公司 广东省韶 512700

摘 要: 面对城市化加速导致的管网老化和极端天气频发的双重挑战,传统市政给排水管网管理模式存在响应滞后、效率低下等弊端。物联网、大数据与人工智能等现代信息技术为管网智能化管理提供了技术支撑。通过部署智能传感器实时感知管网运行状态,利用大数据技术整合海量监测数据,并借助人工智能实现水力模型精准构建、漏损智能定位、内涝风险预测及维护决策优化,显著提升了管网运行效率和韧性。然而,智能化转型仍面临数据安全、系统集成度不足及设备可靠性等挑战。未来将深化 BIM / GIS 数字孪生平台应用,发展基于深度强化学习的自主决策系统,并推动低碳化运维,同时需因地制宜制定新建区系统化嵌入、老旧区低成本改造、特殊环境耐候性强化的差异化实施策略。智能化管理是实现管网精准管控、弹性适应和长效运维,支撑智慧城市水系统建设的核心方向。

关键词: 市政给排水; 管网管理; 智能化; 人工智能; 施工应用

引言

城市给排水管网作为维系城市水循环、保障公共卫生与生态安全的“生命线”,其运行状态直接关乎城市韧性与民生福祉。^[1]在快速城市化与极端天气频发的双重压力下,传统依赖人工巡检与经验判断的管理模式日益暴露出响应滞后、效率低下、资源浪费等弊端。以物联网、大数据、人工智能为代表的现代信息技术迅猛发展,为破解市政管网管理困境提供了全新路径。推动给排水管网管理的智能化转型,实现从被动应对到主动防控、从粗放管理到精细运营的跃升,已成为提升城市治理现代化水平、建设韧性宜居城市的迫切需求与战略方向。

1 智能化管理在市政建设中的背景与意义

市政排水管网正面临城市化加速带来的双重挑战:一方面,早期建设的管网普遍老化,渗漏破损风险加剧,不仅造成水资源浪费,还可能引发次生灾害;另一方面,城市硬化面积扩大叠加极端天气增多,使内涝防治压力陡增。传统的被动管理模式已难以满足现代城市对管网安全、效率和韧性的要求。智能化管理通过新一代信息技术融合,实现了管网运行参数的实时感知、健康状况的智能诊断以及维护决策的科学优化,其核心价值在于提升效率、降低成本的同时延长设施寿命。^[2]当前我国智能化管理正处于快速发展阶段,部分城市已试点应用智能监测设备和智慧水务平台,但整体仍面临数据孤岛、系统集成度不足等挑战。

2 市政排水管网智能化管理的关键技术

2.1 智能传感技术在排水管网监测中的应用

智能传感技术作为构建排水管网感知层级的核心,在管网运行监测中发挥着基础性作用。通过在管网关键位置部署各类专用传感器,实现关键运行参数的持续捕获与分析。例如,分布在关键节点的压力与流量传感器,能够持续监测管网水力状态,其获取的数据是发现异常用水模式、精确定位漏水区域的重要依据,常通过分析最小夜间流量或识别压力瞬变等特征来实现。^[3]检查井、泵站集水井以及调蓄设施内部安装的液位传感器,则提供实时的水位变化信息,对于准确发布内涝预警信号以及优化泵站运行策略起到关键支撑作用。同时,在线工作的水质传感器,如监测 pH 值、浊度、电导率、余氯以及特定污染物的设备,持续追踪水质变化动态,有效保障供水安全,并能及时预警因污水偷排或管网渗漏引发的环境污染扩散风险。此外,结构状态传感器,包括嵌入管体或附着于管壁的光纤应变传感器、声波传感器或振动传感器,能够敏锐探测管道变形、沉降、接口松动等潜在的结构安全隐患。作为给排水系统建设与改造工程的关键环节,确保传感器选型科学合理、选址精准优先覆盖高风险管段及管网关键节点、安装工艺规范可靠以保障防水防淤堵及稳定信号传输,并与工程项目同步实施至关重要,这是获取长期稳定高质量监测数据的前提。

2.2 大数据与人工智能技术在排水管网管理中的角色

大数据与人工智能技术已成为驱动排水管网智慧化管理的核心引擎。管网运行产生的海量、高频监测数据汇聚成宝贵的数据资源。大数据技术通过分布式存储架构和实时流处理引擎,高效解决了数据的存储、预处理、整合与处理难题,为后续分析奠定了坚实基础。在此基础上,人工智能技术展现出强大的数据价值挖掘和智能决策能力。应用机器学习与深度学习等多种方法,利用历史和实时数据,能够构建精准的水力模型,预测管网流量和压力变化,从而优化泵站调度与阀门控制策略。^[4]同时,智能诊断算法能自动识别监测数据中的异常模式,例如通过识别持续低压定位潜在漏损点,或依据液位骤升评估管道淤积程度与结构风险等级。此外,人工智能还能结合气象预报、地形信息、管网拓扑及实时液位数据,构建内涝预测模型,模拟不同降雨条件下的积水状况,为应急预案提供关键决策支撑。总体而言,人工智能显著提升了从原始数据到有效信息,再到可操作知识和精准决策的转化效率和精度。



图 1: 智能管理架构图

2.3 物联网技术在排水管网智能化管理中的应用

物联网技术作为物理管网与数字系统之间的关键纽带,通过高效稳定的通信网络架构实现管网全域设备的智能化互联。基于 NB-IoT、LoRa 以及 4G/5G 等通信协议,该技术将分布在管网各处的智能传感器、执行机构和边缘计算设备有机整合,确保监测数据与控制指令能够实现远程实时、低功耗的可靠传输。作为核心管理平台的物联网系统,承担着设备接入管理、数据聚合处理和指令协同下发等重要功能,在给排水管网领域展现出多重价值:首先突破地理空间限制,使覆盖地下深层、狭窄区域及偏远管段的监测网络部署

成为现实;其次赋能全天候远程监控能力,运维人员可通过移动终端实时获取管网运行状态并及时响应预警信息;同时支持智能调控功能,例如基于动态液位数据自动启闭排水泵机组,或远程调节阀门开度以优化管网压力分布;更重要的是为数据深度分析提供基础支撑,通过在云端或边缘端的数据融合处理,有效服务于上层智慧应用。^[5]在具体实施过程中,需要特别关注管网环境的特殊性,包括潮湿密闭工况和信号传输衰减等问题,优先选用具备防水防腐蚀特性的耐用设备,并构建完善的网络安全防护体系,从而保障整个物联网系统的长期稳定运行。^[5]

3 市政排水管网智能化管理的关键挑战与解决方法

3.1 数据安全与隐私保护在智能化管理中的重要性

在市政排水管网智能化管理体系中,数据安全与隐私保护具有至关重要的战略地位。该系统运行依赖于大量敏感数据的采集与处理,包括管网运行参数、地理空间信息以及用户用水行为数据等,这些信息的安全防护面临着多重挑战。网络安全威胁主要表现为恶意攻击者通过勒索软件入侵监测系统,数据传输过程中可能因未采取加密措施导致信息泄露,以及存在未经授权的设备非法接入风险。隐私保护方面则需要特别关注用户用水数据与管网空间位置信息关联后可能产生的隐私暴露问题。针对这些风险,需要建立全方位的防护体系,从技术和管理两个维度协同推进。技术防护措施包括采用端到端加密传输技术保障数据安全,运用区块链技术确保数据完整性和不可篡改性,部署专业的入侵检测系统和防火墙,并建立严格的数据分级访问权限控制机制。管理层面应当制定专门的数据安全管理办法,清晰界定数据采集、存储和共享的边界规范,定期执行安全审计和渗透测试,同时加强运维人员的网络安全意识培训。

3.2 管网老化与维护需求的智能化管理策略

在城市排水管网管理领域,管网老化问题日益凸显,统计显示我国城市排水管网平均老化率已超过百分之三十。传统的被动式事后维修模式不仅运维成本居高不下,且难以满足现代化城市管理的效率需求。智能化管理策略通过预防性维护理念的贯彻实施,为这一难题提供了系统性解决方案。其核心在于构建多维度智能诊断体系,整合 CCTV 管道机器人检测技术、声呐扫描设备以及光纤传感网络采集的多元数据,借助先进的 AI 图像识别算法实现管道裂缝、腐蚀程度及树根入侵等缺陷的自动检测与量化评估,最终形成可

视觉化的管网健康评分与风险分布图谱。同时基于历史维护档案与实时监测数据流,运用生存分析建模技术准确预测各管段的剩余使用寿命与失效风险概率,为维修优先级排序与资金优化配置提供数据支撑。在具体实施层面,推荐采用非开挖修复工艺如紫外光固化技术与螺旋缠绕工艺,配合智能施工装备的协同作业,并通过建筑信息模型预先规划最优修复路径,最大程度降低对城市正常交通秩序的影响,实现管网维护工作效益的最大化。

3.3 智能化管理技术在应对极端天气事件中的应用

随着气候变化导致极端降雨事件频发,城市内涝防治面临前所未有的挑战。智能化管理系统通过构建全链条响应机制,为应对极端天气提供了创新解决方案。该系统整合雷达水位计、视频智能识别装置等多源监测设备,结合气象雷达的短时临近预报数据,运用 SWMM 水力模型与长短期记忆神经网络等先进算法,能够提前 1 至 6 小时精准预测积水深度与影响范围。在调度优化层面,基于数字孪生技术构建的排水系统虚拟仿真平台,可实时分析管网负荷与泵站运行状态,通过自适应学习算法动态优化泵站运行策略和闸门调控方案,确保排水系统始终处于最佳运行状态。此外,通过物联网技术将海绵城市设施纳入统一管理,例如智能雨洪调蓄池可根据降雨预测数据自动调节蓄水容量,形成传统排水设施与韧性设施协同运作的立体防御体系,显著提升城市应对极端天气的整体弹性。

4 未来市政排水管网智能化管理的展望

市政排水管网智能化管理正迎来突破性发展机遇,其技术演进将呈现三大特征:全要素数字化方面,通过 BIM、GIS 与物联网技术的深度融合,构建覆盖水源、管网、泵站、处理厂及河道的全生命周期数字孪生系统;人工智能应用将实现质的飞跃,基于深度强化学习的自主决策系统可显著提升管网调度效率;低碳化运维则依托智能算法优化和设备能效提升,有效降低系统碳排放。这种智能化转型对城市可持续发展具有多重价值,包括将管网漏损率从 20% 降至 8% 以下的水资源节约效益,通过实时监测预防 70% 污水偷排的环境保护价值,以及降低 30%-50% 全生命周期成本的经济优势。针对不同城市环境,智能化解决方案需因地制宜:新建城区可直接预装智能管件并搭建一体化管理平台;老旧

城区宜采用低成本传感器结合快速检测建档;中小城市可借助云服务平台和本地人才培养实现轻量化部署;而高寒沿海等特殊环境区域则需要定制耐候性设备和备用供电通信系统,确保系统可靠运行。这一演进路径充分体现了智能化技术在城市基础设施管理中的适应性和前瞻性。

5 结束语

市政给排水管网智能化管理已成为提升城市韧性的核心路径。面对管网老化、极端天气频发及管理效率瓶颈等挑战,以物联网感知层为基础、大数据分析为中枢、人工智能决策为驱动的技术体系,正推动管理模式向 " 全时感知 - 智能诊断 - 主动防控 " 转型。当前实践已验证其在漏损控制、内涝预警及能耗优化等方面的显著效益,但需持续突破数据孤岛整合、复杂环境设备可靠性及安全防护等瓶颈。未来将依托 BIM/GIS 数字孪生平台深化 " 源 - 网 - 厂 - 河 " 全链条协同,通过深度强化学习实现自主决策闭环,并结合低碳技术构建可持续发展范式。值得注意的是,智能化转型需适配城市发展差异:新建区注重系统化嵌入,老旧区侧重低成本改造,特殊环境强化设备耐候性。唯有通过技术创新、标准完善与跨领域协作的深度融合,方能实现 " 精准管控、弹性适应、长效运维 " 的现代市政管网治理目标,为智慧城市水系统建设提供核心支撑。

参考文献:

- [1] 张超. 智能化技术在建筑给排水工程中的应用 [J]. 工程建设与设计, 2022, (10): 119-122.
- [2] 韩冯. 建筑智能化系统与给排水工程设计 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2017, (13): 266-267.
- [3] 宋光辉. 污水处理技术在市政给排水工程中的有效运用 [J]. 工程建设与设计, 2025, (09): 155-157.
- [4] 黎岩. 市政给排水管道基础处理及其施工技术研究 [J]. 现代工程科技, 2024, 3(23): 57-60.
- [5] 颜霆晖. 建筑给排水工程设备的智能化应用研究 [J]. 中国设备工程, 2023, (20): 28-30.

作者简介:

李伟杰 (1983.07—), 男, 汉, 广东韶关, 本科, 初级职称, 研究专长: 给排水施工。