

智慧化市政排水管网系统的构建与内涝风险动态监测技术

冯英

武汉航空港发展集团有限公司,湖北 武汉 432200

DOI:10.61369/UAID.2025010037

摘要： 本文围绕智慧化市政排水管网系统的构建与内涝风险动态监测技术展开研究，提出以数字化、智能化、集成化为核心理念，构建包含感知层、网络层、平台层与应用层的系统架构。通过传感器阵列实时采集水位、流量、水质等数据，结合数字孪生模型与人工智能算法实现管网运行状态的精准映射与智能调控；利用多源数据融合、水力学模型模拟及机器学习算法，构建内涝风险动态监测体系，实现从成因分析、实时模拟到可视化预警的全流程管理。研究表明，该系统可提升排水管网运维效率，增强内涝风险预警能力，为智慧城市基础设施建设提供技术支撑。

关键词： 智慧化市政排水管网；系统构建；内涝风险；动态监测技术

Construction of Smart Municipal Drainage Network System and Dynamic Monitoring Technology for Waterlogging Risk

Feng Ying

Wuhan Airport Development Group Co., Ltd. Wuhan, Hubei 432200

Abstract： This article focuses on the construction of a smart municipal drainage network system and dynamic monitoring technology for waterlogging risk. It proposes a system architecture that includes a perception layer, network layer, platform layer, and application layer, with digitization, intelligence, and integration as the core concepts. Through real-time data collection of water level, flow rate, and water quality using sensor arrays, combined with digital twin models and artificial intelligence algorithms, precise mapping and intelligent regulation of the pipeline network operation state are achieved. By utilizing multi-source data fusion, hydraulic model simulation, and machine learning algorithms, a dynamic monitoring system for waterlogging risk is constructed, enabling end-to-end management from cause analysis, real-time simulation to visual warning. Research indicates that this system can enhance the operational efficiency of the drainage network, strengthen waterlogging risk warning capabilities, and provide technical support for smart city infrastructure construction.

Keywords： smart municipal drainage network; system construction; waterlogging risk; dynamic monitoring technology

引言

市政排水管网系统作为城市防洪排涝和污水治理的核心基础设施，其运行效率与可靠性成为城市应对洪涝灾害的关键防线。然而传统市政排水管网系统因设计标准滞后、管网老化、缺乏实时监测手段等问题，在极端降雨时暴露出排水能力不足、内涝风险难以及时预警等弊端。此外，传统管网依赖人工巡检和经验判断，难以实现对管网运行状态的动态感知与精准调控，使得内涝风险防控陷入被动局面。随着物联网、大数据、人工智能等新一代信息技术的快速发展，智慧化市政排水管网系统的构建成为破解城市内涝难题的重要方向。本文基于上述背景，深入探讨智慧化市政排水管网系统的构建路径，结合内涝风险动态监测技术，旨在为提升城市排水系统韧性、保障城市安全运行提供理论与技术支撑。

一、智慧化市政排水管网系统构建基础

（一）市政排水管网系统概述

排水管网系统是城市或建筑物中用于排除废水、雨水和其他

液体的管道网络，它是一种重要的基础设施，用于管理和处理废水，确保城市或建筑物的卫生和环境保护。排水管网系统起到了排水、运输和处理废水的作用，为城市的正常运行提供了关键的支持^[1]。传统市政排水管网系统主要由管道、检查井、泵站、污

水处理厂等设施组成,借助重力流或压力流实现污水和雨水排放。在城市发展早期,该系统尚能满足排水需求,但随着城市化进程加快,城市人口激增、规模不断扩张,传统管网弊端凸显^[2]。管网老化破损严重致使污水渗漏污染地下水资源,部分区域管网设计欠合理,管径过小、坡度不足,暴雨时易引发内涝,加上缺乏有效监测手段,管网堵塞、破损等问题难以及时发现,维修效率低下,给城市运行带来诸多隐患。

（二）智慧化系统构建的核心理念

智慧化市政排水管网系统构建围绕数字化、智能化、集成化核心理念展开,数字化理念旨在将排水管网系统的物理设施与运行数据转化为数字形式,通过传感器、监测设备采集水位、流量、水质等实时数据,构建数字孪生模型,在虚拟空间精准映射整个管网系统,为决策提供准确数据支撑^[3]。智能化理念则借助人工智能、机器学习技术,对海量数据深度分析挖掘,依据历史降雨、管网流量等数据建立预测模型,提前预判内涝风险、污水溢流等问题,并自动调整泵站运行参数、控制阀门,实现排水系统智能调控,提升系统运行效率与应急能力。集成化理念强调将排水管网数据采集、传输、处理、分析及控制等环节高度整合,打破部门与系统间的数据壁垒,实现信息共享与协同运作,提升城市整体运行效能与安全性。

二、智慧化排水管网系统架构设计

（一）总体架构设计

智慧化排水管网系统架构由感知层、网络层、平台层和应用层构成,各层级相互协作,形成一个有机整体^[4]。总体架构以实现排水管网全生命周期智能化管理为目标,通过对管网运行状态的实时感知、数据高效传输、深度分析处理以及多样化应用服务,提升排水系统的运行效率、管理水平和应急响应能力。

（二）感知层设计

感知层作为智慧化排水管网系统的数据采集基石,由多元传感器及监测设备构成,通过在管网关键节点进行科学部署,实现对系统运行状态的全面感知^[5]。水位传感器采用高精度液位测量技术,实时捕捉管网内水位的细微变化,其采集的数据可直观反映管网排水效能,为内涝风险评估提供关键依据;电磁式或超声波式流量传感器,能够精准计量污水与雨水的实时流量,帮助运维人员动态掌握管网负荷,优化排水调度策略;水质传感器运用电化学、光谱分析等先进技术,对水体酸碱度、化学需氧量(COD)、氨氮等核心指标进行持续监测,可及时发现污水排放异常,追溯潜在污染源;压力传感器则实时监测管网内部压力波动,一旦出现因管道破损、异物堵塞导致的压力骤变,能够迅速发出预警;液位传感器针对泵站集水池、污水处理厂调节池等关键蓄水设施,精确测量液位高度,保障设备在安全液位区间稳定运行^[6]。此外,在易积水路段、重要泵站等关键区域,部署高清视频监控设备,通过图像识别技术对现场情况进行可视化监测,运维人员可实时查看设备运行状态、周边环境变化,为排水系统的精细化管理提供直观的现场信息。这些感知设备将物理世界中管网的运行参数转化为数字信

号,以毫秒级响应速度传输至系统后台,为后续数据处理、模型分析与决策支持提供原始且可靠的数据基础。

（三）网络层设计

网络层的主要功能是实现感知层采集数据的可靠传输,将分散在城市各处的传感器和监测设备与平台层连接起来。网络层采用多种通信技术相结合的方式,以满足不同场景下的数据传输需求^[7]。对于数据传输距离较短、对功耗要求较高的场景,可采用低功耗广域网(LPWAN)技术,如NB-IoT、LoRa等,这类技术具有覆盖范围广、功耗低的特点,适用于分布广泛、数据传输量较小的传感器。对于数据传输量较大、实时性要求较高的监测设备,如视频监控设备、大型泵站的监测系统等,则采用4G、5G等蜂窝移动通信技术,确保数据能够快速、稳定地传输。同时,在一些特殊区域,如地下管廊、偏远地区等,还可结合光纤通信技术,提供高速、稳定的传输通道。此外,为保障数据传输的安全性,网络层还需采用加密技术、身份认证等安全措施,防止数据泄露和非法访问。

（三）平台层设计

平台层是智慧化排水管网系统的核心枢纽,承担着数据存储、处理、分析以及系统管理等重要功能。在数据存储方面,采用分布式存储技术,构建大容量的数据仓库,对感知层采集的海量历史数据和实时数据进行分类存储,确保数据的完整性和可靠性^[8]。数据处理环节,利用大数据处理技术,对原始数据进行清洗、转换、整合等操作,去除噪声数据,统一数据格式,为后续分析提供高质量的数据。数据分析则借助人工智能、机器学习算法,挖掘数据背后的规律和潜在价值,例如通过对历史降雨数据和管网流量数据的分析,建立内涝预测模型;对管网运行数据进行聚类分析,找出管网故障的高发区域和时段。此外,平台层还具备系统管理功能,包括用户权限管理、设备管理、系统配置等,保障系统的安全、稳定运行。

（四）应用层设计

应用层直接面向城市管理者、排水公司工作人员、公众等不同用户群体,根据用户需求提供多样化的应用服务。对于城市管理者,应用层提供综合决策支持系统,通过可视化界面展示管网的整体运行状态、内涝风险预警、污水处理情况等信息,帮助管理者全面掌握城市排水系统的运行情况,制定科学合理的规划和决策。排水公司工作人员可通过应用层的管网运维管理系统,实现对管网设施的在线监测、故障报修、维护计划制定等功能,提高运维效率,降低运维成本。公众则可以通过手机APP、微信公众号等渠道,获取实时的积水路段信息、污水处理厂排放数据等,增强公众对城市排水系统的了解和参与度。同时应用层还可与城市其他智慧系统,如智慧城市管理平台、应急指挥系统等进行对接,实现信息共享和协同联动,提升城市整体的智慧化管理水平。

三、内涝风险动态监测技术

（一）内涝风险成因与关键影响因素分析

从自然因素来看,强降雨是引发内涝的直接诱因,短时间内

大量降水超过排水管网的承载能力，便会导致积水；部分城市所处的地形地势低洼，排水不畅，雨水难以自然排出，进一步加剧内涝风险。在人为因素方面，城市化进程中，大量的硬化地面替代了原本具有蓄水能力的绿地、湿地，雨水下渗减少，地表径流增加；市政排水管网设计不合理、管径过小、老化堵塞等问题，也使得排水效率低下，无法及时排除雨水 +[9]。此外，城市排水系统与周边水系缺乏有效连通，调蓄能力不足，在遭遇极端降雨时，难以应对突发水量，也是内涝频发的重要原因。这些因素相互交织，共同构成了城市内涝风险，而准确识别和分析这些关键影响因素，是实现内涝风险动态监测的基础。

（二）实时数据融合与处理

为实现对内涝风险的精准监测，需要融合多源实时数据。感知层采集的水位、流量、雨量等管网运行数据，气象部门提供的降雨预报、云图等气象数据，以及地理信息系统（GIS）中的地形地貌、管网布局数据等，都是重要的数据来源。然而这些数据具有不同的格式、精度和更新频率，因此需要进行融合与处理。通过数据清洗技术去除重复、错误的数据，利用数据转换技术统一数据格式，借助时空对齐算法将不同时间、空间采集的数据进行匹配整合^[10]。同时采用数据插值、补全算法，对缺失数据进行处理，确保数据的完整性和准确性。经过融合与处理后的数据，能够更全面、准确地反映城市排水系统的运行状态和环境条件，为后续的内涝模拟和风险识别提供可靠的数据支撑。

（三）内涝模拟模型构建与优化

内涝模拟模型是预测内涝发生范围和程度的关键工具，是基于水力学原理，结合城市地形、管网结构等数据，构建的二维或三维的内涝数值模型，能够模拟雨水在地表和管网中的流动过程。模型考虑降雨强度、管网排水能力、地面渗透系数等因素，通过求解连续性方程和动量方程，计算不同时刻的水位、流速等参数，从而预测内涝的发展趋势。为提高模型的准确性和可靠性，需要不断对模型进行优化，利用实际监测数据与模拟结果进行对比分析，调整模型参数，如管网糙率、地面曼宁系数等；引入机器学习算法，对历史内涝数据进行学习，自动优化模型结构，使其更贴合实际情况。通过持续的优化，内涝模拟模型能够

更精确地预测内涝风险，为提前采取应对措施提供科学依据。

（四）动态监测与风险识别算法

动态监测与风险识别算法基于实时数据和内涝模拟结果，实现对内涝风险的实时评估和精准识别。采用时间序列分析算法，对水位、流量等数据的变化趋势进行分析，及时发现异常波动，判断是否存在内涝风险。结合空间分析算法，如缓冲区分析、叠加分析等，评估内涝可能影响的范围和严重程度。同时运用机器学习中的分类算法，如支持向量机、随机森林等，根据历史内涝数据和相关影响因素，训练风险识别模型，实现对内涝风险等级的自动划分。这些算法能够快速处理大量数据，实时更新内涝风险信息，为城市管理者 and 相关部门提供准确的风险预警。

（五）可视化与预警发布

可视化与预警发布是内涝风险动态监测技术的最终呈现环节，利用地理信息系统（GIS）和三维建模技术，可以将内涝模拟结果、风险识别信息以直观的地图、三维场景等形式展示出来。通过颜色、图标等可视化元素，清晰地呈现内涝的发生区域、积水深度、风险等级等信息，使城市管理者 and 公众能够快速了解内涝情况。同时建立多渠道的预警发布机制，当系统识别到内涝风险时，通过短信、手机 APP 推送、广播、电子显示屏等多种方式，及时向受影响区域的居民、相关部门发布预警信息，提醒居民采取防范措施，通知相关部门启动应急响应，调配资源进行排涝抢险，最大限度减少内涝造成的损失。

四、结束语

智慧化市政排水管网系统的构建与内涝风险动态监测技术通过数字化、智能化与集成化手段，重塑了城市排水系统的管理模式。从感知层的精准数据采集，到应用层的多维度服务输出，实现了对管网运行状态的全流程把控与内涝风险的实时预警，为城市防洪排涝与水环境治理提供了有力支撑。然而当前技术应用仍面临一系列问题，随着物联网、人工智能等技术的持续革新，智慧排水系统将朝着更高效、更智能、更安全的方向演进，通过技术融合与管理创新，助力城市排水系统实现韧性升级。

参考文献

- [1] 沈洪娜. 提高新时期市政排水管网效能的途径探索 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2024, (26): 223–225. DOI: 10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202426074.
- [2] 李秋蓉. 排水管网运维管理问题与解决对策分析 [J]. 工程技术研究, 2024, 9(13): 157–159. DOI: 10.19537/j.cnki.2096-2789.2024.13.051.
- [3] 崔杰. 市政道路排水管线设计的优化与实践 [J]. 建材发展导向, 2024, 22(13): 54–56. DOI: 10.16673/j.cnki.jcfzdx.2024.0423.
- [4] 刘祖煥. 研究城市市政给水管网的优化配置与管理 [J]. 建材发展导向, 2022, 20(12): 79–81. DOI: 10.16673/j.cnki.jcfzdx.2022.0172.
- [5] 盛晗. 市政排水管网优化策略研究 [J]. 安徽建筑, 2021, 28(08): 134+141. DOI: 10.16330/j.cnki.1007-7359.2021.08.061.
- [6] 闫文胜, 吴治昊. 市政管理中排水管网信息化建设的作用 [J]. 城市建筑, 2019, 16(21): 177–178. DOI: 10.19892/j.cnki.csjz.2019.21.069.
- [7] 陶颖. 关于给排水管网信息管理系统的开发研究 [J]. 计算机产品与流通, 2019, (05): 130.
- [8] 景鹏飞. 市政排水管网水位流速在线监测系统 [D]. 北京交通大学, 2019.
- [9] 曹磊. 市政排水管网系统的研究与开发 [J]. 建筑技术开发, 2017, 44(09): 80–81.
- [10] 李捷. 基于分布式传感器的排水管网运行监测系统的应用研究 [D]. 长安大学, 2016.