

Exploration of the Application of Monitoring and Evaluation Technology in the Diagnosis of Defects in Drainage Pipeline Networks

Yu Wang Xu Liu

Harbin Space Star Data System Technology Co. Ltd., Harbin, Heilongjiang, 150028, China

Abstract

This article systematically analyzes the application value and technical system of modern monitoring and evaluation technology in the diagnosis of drainage pipe network defects. Through in-depth analysis of the severe problems faced by the current drainage network, this paper elaborates on the research background and significance, explains the key technologies for diagnosing defects in drainage networks, and combines practical application cases to explore their application scenarios and effectiveness. Research has shown that these advanced technologies can significantly improve the accuracy and efficiency of defect diagnosis in drainage networks, providing solid and powerful support for the scientific and refined management and maintenance of drainage networks, as well as the resilience construction of urban drainage systems. They have significant practical significance in ensuring the stable and efficient operation of urban drainage systems.

Keywords

drainage network; monitor; assessment; Defect diagnosis

监测和评估技术在排水管网缺陷诊断的应用探讨

王宇 刘旭

哈尔滨航天恒星数据系统科技有限公司, 中国·黑龙江 哈尔滨 150028

摘 要

本文系统剖析了现代监测与评估技术在排水管网缺陷诊断中的应用价值及技术体系。通过对当下排水管网所面临严峻问题的深入解析,阐述了研究背景与重要意义,阐释排水管网缺陷诊断的关键技术,并结合实际应用案例,深入探讨其应用场景与成效。研究表明,这些先进技术能够显著提升排水管网缺陷诊断的准确性与效率,为排水管网的科学化、精细化管理与维护以及城市排水系统韧性建设提供坚实有力的支撑,对保障城市排水系统的稳定、高效运行,具有举足轻重的现实意义。

关键词

排水管网; 监测; 评估; 缺陷诊断

1 引言

排水管网作为城市基础设施的核心构成部分,肩负着收集与输送城市污水和雨水的重任,其运行状况直接关系到城市的正常运转以及生态环境质量。随着城市化进程的飞速推进,排水管网的覆盖范围不断随着城市规模持续扩张,排水管网缺陷问题也随之日益凸显。因此,引入前沿的监测和评估技术,实现对排水管网缺陷的快速、精准诊断,已然成为当前城市排水领域亟待攻克的关键课题。

2 排水管网缺陷诊断概述

2.1 研究背景

在过去的城市建设进程中,排水管网建设存在规划系统性不足、管理科学性欠缺等问题。随着时间的推移,早期建成的排水管网逐渐暴露出一系列问题,诸如管道老化、破裂、淤积、渗漏等。这些缺陷不仅严重影响排水管网的正常运行,引发污水外溢、城市内涝等不良现象,还会对周边土壤和地下水环境造成不同程度的污染。然而,由于缺乏行之有效的监测和评估手段,管理人员难以全面、准确地掌握排水管网的运行状态和潜在缺陷,无法及时制定并实施针对性的维护和改造措施,进而导致排水管网运行效率低下,安全隐患不断累积。基于排水管网现状引出问题,进而通过政策引导驱动排水管网病害修复的需求目标。

【作者简介】王宇(1991-),男,中国黑龙江哈尔滨人,本科,工程师,从事智慧城市行业应用系统设计、集成研究。

2.1.1 管网老化现状

住建部 2023 年数据显示,我国城市排水管网平均服役年限超 25 年,20% 以上管道存在破裂或变形问题。截至 2024 年,我国城市建成区面积逾 6 万平方公里,排水管道长度 91.35 万公里,城市空间已经形成规模巨大、纵横交错的基础设施体系。与此同时,埋在地下的管线经常会被自然腐蚀,人为破坏,突发事件等原因而损坏。据统计,从地下管线破坏事故原因看,主要包含自身结构性隐患、外力破坏、环境因素、管理缺陷、原因不明 5 类,具体占比情况见下图:

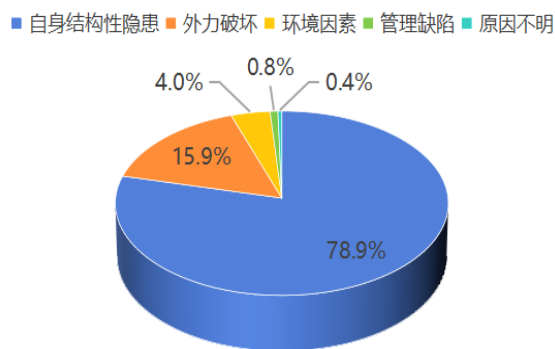


图 1 地下管线破坏事故原因占比

2.1.2 环境压力加剧

基于排水管网初期规划系统性不足和科学性欠缺的历史遗留问题,加之极端降雨事件频率增加使管网超负荷运行风险倍增,缺陷管段成为城市水安全体系的薄弱环节。

2.1.3 政策驱动需求

《“十四五”城市排水防涝体系建设规划》明确提出 2025 年前完成重点城市管网病害修复率 90% 以上的目标。基于此政策目标,为了减少管网损坏的风险,建议采取以下措施:使用高质量的管材,并确保施工质量符合标准;加强管网的日常检查和维护,特别是在易受损害的区域;在城市规划和施工中考虑到管网的安全,避免不必要的物理损伤;建立有效的应急响应系统,以便在管网损坏时能够迅速作出反应,最后,充分结合排水管网缺陷风险评估情况制定行之有效的修复计划和措施。

2.2 研究意义

2.2.1 经济效益

借助实时、精准的监测和评估技术,能够对排水管网的运行状态进行全方位、动态化监控,及时发现并处理各类管道缺陷,有效避免因管道故障引发的污水冒溢、内涝等突发状况,切实保障城市排水系统的稳定运行,为城市居民的正常生活 and 生产活动提供坚实保障。实践案例表明:早期缺陷诊断可减少 70% 以上的应急抢修费用。

2.2.2 生态价值

利用监测和评估技术对排水管网进行缺陷诊断,精准定位缺陷点并及时修复排水管网存在的缺陷管段,能够有效减少污水渗漏对地下水和周边水体的污染,同时提升污水收

集和处理效率,对改善城市水环境质量、推进城市生态文明建设具有积极的促进作用。

2.2.3 社会效益

传统的排水管网维护主要依靠人工巡检,特殊情况还需要蛙人下井查看管网工况,这种方式不仅效率低下、成本高昂,而且存在严重的人员安全隐患。采用先进的监测技术后,可以实现对排水管网的全时段、自动化监测,快速、精准地定位缺陷位置和严重程度,利用管网缺陷隐患风险评估技术结合管网 GIS 可输出排水管网工况风险等级图,为维护管理工作提供科学、可靠的决策依据,大幅提高维护管理效率,降低运维成本。另一方面,通过排水管网缺陷风险识别和修复,显著降低了道路塌陷等公共安全事故发生率,同时,排水管网建设效率明显提高,城市安全韧性显著提升,进而提升了人民群众的幸福满意度。

3 排水管网缺陷诊断的关键技术

3.1 多维度检测技术手段

(1) CCTV 管道机器人:管道机器人是一种专门为排水管道检测量身定制的智能设备,适用于 DN300 以上管径,通过高清影像识别裂缝、错位等缺陷,它能够在管道内自主、灵活地行走,搭载高清摄像头、声呐、激光雷达等多种先进检测传感器,对管道内部进行全方位、无死角检测。高清摄像头可以直观、清晰地拍摄管道内壁的实际状况,及时发现管道破裂、变形、腐蚀等表面缺陷;声呐和激光雷达则可以对管道的结构进行精确扫描,精准测量管道的壁厚、管径变化等关键参数,有效检测管道的结构性缺陷^[1]。

(2) 声呐剖面扫描:解决高水位管段检测难题,可量化沉积物厚度与管壁腐蚀程度。

(3) 红外热成像技术:基于温度场差异识别管周土体空洞,定位精度达 85% 以上。

(4) 探地雷达检测技术:探地雷达利用高频电磁波在地下介质中的传播特性,对地下排水管网进行无损、快速检测。当电磁波遇到不同介质的界面时,会发生反射和折射现象,通过接收和分析反射回来的电磁波信号,可以快速扫描大面积区域,有效检测出管道的隐蔽缺陷,如管道与周围土体的脱空、管道的局部破损等,为排水管网缺陷诊断提供至关重要的信息。

3.2 多角度监测技术体系

智能物联监测技术是通过在排水管网的关键节点部署各类智能传感器,如流量计、液位计、水质监测仪等,实现对管网流量、水位、水质等关键参数的实时、精准监测。这些传感器将采集到的数据通过无线网络传输至专业监测平台,平台运用大数据分析和人工智能算法对数据进行深度挖掘和分析,从而准确诊断评估排水管网的运行状态,精准识别潜在的缺陷和问题。例如,通过监测流量的异常波动,可以迅速判断管道是否存在堵塞或泄漏;通过分析水质数据的

变化趋势,可以有效检测是否存在雨污混接等问题^[2]。

3.3 智能化风险评估方法

3.3.1 机器学习算法识别管段缺陷

1) 深度学习方法:指卷积神经网络(CNN)图像分类模型,如 ResNet、AlexNet、VGG 和 GoogleNet 等,将大量带有不同缺陷标注的排水管网 CCTV 影像作为训练数据输入模型,模型通过卷积层、池化层等自动提取影像中的缺陷特征,如裂缝的形状、腐蚀的痕迹、管道变形的形态等,然后根据这些特征将影像分类为不同的缺陷类别或正常状态,绝大部分输出准确率超过 80%。

2) 目标检测模型:如 YOLO 和 Faster R-CNN 等,可对排水管网影像中的缺陷进行定位和识别,能在图像中用选框标识出具体缺陷的位置和范围,即使存在多个不同类型的缺陷也能同时检测出来,还可引入目标检测器或层级式类别注意力机制辅助检测,提升检测效果。

3) 多策略融合方法:通常指多模型融合框架,将多种机器学习或深度学习模型结合起来,例如将 CNN 与循环神经网络(RNN)或长短时记忆网络(LSTM)相结合,利用 CNN 提取图像的空间特征,RNN 或 LSTM 处理视频中的时间序列信息,能更好地捕获排水管网影像中的动态特征,适用于分析 CCTV 检测的视频数据,对管道内缺陷的发展变化进行更准确的判断。

4) 多技术融合:将人工智能技术与其他非人工智能技术相结合,如与激光测距、3D 扫描技术等融合,通过激光测距获取管道内部的精确距离信息,3D 扫描生成管道的三维模型,再结合 CCTV 影像,能为人工智能算法提供更丰富的信息,有助于更精准地识别缺陷,还能对缺陷的空间位置和严重程度进行更准确的评估。

3.3.2 制作管网缺陷隐患风险专题图

首先搜集排水管网运行工况数据、任务区范围内 DEM、DOM、人口密度分布网格数据、城市地下空间基础设施数据等,经过预处理后,整合排水管网 GIS 属性数据与检测评估成果数据,通过构建的风险评估模型确定管段风险等级分布,也可采用堆叠集成算法评估城市地下管网风险^[3],利用系统程序生成管网缺陷风险数据库,最终形成风险分级统计专题图,实现管网缺陷空间分布智能化、可视化^[4]。

4 关键应用场景

4.1 某城市排水管网智能化改造项目

在某城市的排水管网智能化改造工程中,首先针对排水管网埋深、位置、高程等位置和属性信息进行摸排普查,

并对任务区范围内的排水管网开展了检测评估工作,最后运用物联监测技术对现有排水管网展开全面、细致的监测。通过在管网关键节点安装高精度流量计、液位计和水质监测仪,实时、准确地收集管网流量、水位和水质数据。经过一段时间的持续监测和数据分析,发现部分区域存在管道高水位运行和流量异常波动的情况,初步判断这些区域的管道可能存在淤积或堵塞问题,最终研判出入流入渗、雨污混接和淤堵问题管段。随后,采用先进的管道机器人对疑似问题管段进行深入、详细的检测。检测结果精准地确定了管道淤积的具体位置和严重程度,以及部分管道存在破裂和变形的缺陷,最终应用成熟的智能化管网风险评估方法生成风险库和专题图。最后利用清淤和修复等手段对缺陷管段进行修复,有效解决了排水管网运行不畅等问题。

4.2 排水管网日常维护管理

在城市排水管网的日常维护管理工作中,一些管道与周围土体脱空以及管道局部破损的潜在隐患很难被察觉,通过排水管网缺陷诊断技术的应用,维护人员可定期制定相应的修复措施和计划,有效避免了隐患进一步发展成严重的管道故障。同时,结合物联监测技术对排水管网的实时监测数据,对管网的运行状况进行持续、动态评估,根据评估结果科学合理地安排维护计划,实现了排水管网维护管理的科学化、精细化和智能化。

5 结语

监测和评估技术在排水管网缺陷诊断中的应用,为城市排水管网的管理和维护开辟了全新的路径和方法,本文通过实际应用案例场景验证了监测和评估技术对提升管网缺陷诊断的显著作用,这些技术的广泛推广和深入应用,不仅能够有力保障城市排水系统的稳定、高效运行,还对改善城市水环境、推动城市可持续发展具有深远的战略意义。未来,随着科技的持续创新和进步,监测和评估技术将不断迭代升级,在排水管网领域发挥更为关键的作用,推动排水管网“检测-评估-修复”全链条的数字化升级。

参考文献

- [1] 唐彦斌,郭枫,饶传富,等.城市更新背景下排水管网改造与修复的思考——以射洪市项目为例[J].四川建筑,2024,44(S1):213-216.
- [2] 董鲁燕,赵冬泉,刘小梅,等.基于监测和模拟技术的排水管网性能评估体系[J].中国给水排水,2014,30(17):150-154.
- [3] 汪宙峰,李全喜,谢凯宇,等.堆叠集成算法在城市地下排水管网风险评估中的应用[J].安全与环境学报,2024,24(10):3719-3728.
- [4] 袁航,许周斌.排水管网隐患排查及其数字化应用研究[J].价值工程,2023,42(09):55-57.