

Exploration of intelligent detection and repair technology of drainage pipe network

Hongyan Sui Jingjuan Chen Nan Sun

North China Geological Exploration Bureau 519 Brigade (Hebei Jiu Hua Exploration and Mapping Co., Ltd.), Baoding, Hebei, 071051, China

Abstract

With the acceleration of urbanization process, the aging and damage problems of drainage pipe network are increasingly serious, which affects the normal operation of urban drainage system. This paper discusses the detection and repair technology of intelligent drainage pipe network, adopts the pipe network monitoring system based on sensor and Internet of things technology, combined with big data analysis and artificial intelligence algorithm, to realize the real-time monitoring and accurate diagnosis of the state of the pipe network. At the same time, an adaptive repair technology is proposed, which completes the automatic repair of pipe network through the combination of intelligent robot and 3D printing technology. The results show that this technology can greatly improve the efficiency and accuracy of pipe network detection, and effectively reduce the cost of manual intervention, which has a broad application prospect. The promotion of this technology can provide a new solution for the intelligent management of urban drainage system.

Keywords

intelligent drainage pipe network; Internet of Things technology; adaptive repair technology

智能化排水管网检测与修复技术探索

隋宏岩 陈静娟 孙楠

华北地质勘查局五一九大队（河北九华勘查测绘有限责任公司），中国·河北 保定 071051

摘要

随着城市化进程的加快，排水管网的老化与损坏问题日益严重，影响了城市排水系统的正常运行。本文探讨了智能化排水管网检测与修复技术，采用了基于传感器和物联网技术的管网监测系统，结合大数据分析和人工智能算法，实现了对管网状态的实时监控与精准诊断。同时，提出了一种自适应修复技术，通过智能机器人与3D打印技术相结合，完成管网的自动修复。研究表明，该技术能够大幅提高管网检测的效率与准确性，并且有效降低了人工干预的成本，具有广阔的应用前景。该技术的推广可为城市排水系统的智能化管理提供新的解决方案。

关键词

智能排水管网；物联网技术；自适应修复技术

1 引言

随着城市化进程的推进，城市排水管网的规模不断扩大，但老化和损坏问题日益严重，成为城市基础设施管理中的挑战。许多城市的排水管网已超过设计使用年限，影响正常运作，甚至引发水灾等安全问题。传统的检测与修复方式效率低、安全隐患大、成本高。近年来，物联网、传感器、大数据分析和人工智能技术的发展，使得智能化管网监测与修复成为研究热点。基于传感器和物联网的监测系统能够实时监控管网状态，为故障预测与诊断提供可靠数据支持。智

能机器人和3D打印技术的突破，也为自动化修复提供了新的思路，提升了修复效率，减少了人工干预。然而，现有技术仍面临精度、修复速度和成本等问题，如何进一步优化仍是未来研究的重要方向。本研究旨在探索基于物联网、大数据和人工智能的智能化排水管网检测与修复技术，提出自适应修复方案，推动技术创新与应用。

2 智能化排水管网技术概述

2.1 城市排水管网的现状与挑战

近年来，随着城市化进程的加速，排水管网的建设与维护面临诸多挑战^[1]。大量新建区域的接入与老旧管网系统的逐渐老化，使得排水管网承受着日益复杂的工作负荷^[2]。实践中，管网破损、淤积以及管径不匹配等问题频繁发生，导致排水能力下降，雨水径流排放不畅，进而引发城市内涝

【作者简介】隋宏岩（1982-），男，中国黑龙江龙江人，本科，工程师，从事管网探测，管道检测、非开挖修复技术研究。

和环境污染等问题。地下排水管网的隐蔽性和广泛分布性增加了检测与维护工作的难度，现有人工巡查模式效率低下，且无法精准定位管道的损坏部位。传统维护方法往往涉及较高的施工成本和复杂的作业流程，对正常城市运行造成一定影响。随着城市排水系统规模的日益扩大，这些问题正逐步演变为影响城市可持续发展的关键瓶颈。针对这些现状和挑战，亟需采用更加高效、精准和智能化的管网检测与修复技术，以适应新形势下城市管理与发展的需求，为城市排水系统的正常运行提供可靠保障。

2.2 智能化排水管网的定义与发展背景

智能化排水管网是指将先进的技术手段应用于城市排水系统，以实现排水管网的智能监测、诊断和维护。该技术的定义包括使用传感器网络、物联网、大数据分析及人工智能等高科技手段，增强排水管网的功能。智能化排水管网技术的引入，旨在应对管网老化、自然灾害及城市化进程中的排水挑战。其发展背景源于城市对高效、智慧管理需求的日益提升，标志着城市排水管理向智能化、精细化方向的转型与发展。随着科技的快速发展和城市基础设施智能化的推进，传统管理方式的局限性日益显现，这为智能化技术在排水管网中的应用奠定了基础。通过集成多种创新科技，智能化排水管网技术逐步成为解决城市排水问题的有效手段，为未来城市基础设施的发展指明了方向。

2.3 智能化排水管网的核心技术与应用

智能化排水管网的核心技术包括传感器技术、物联网应用、大数据分析及人工智能算法。传感器技术通过实时收集管网内的流量、压力、液位等数据，为系统提供准确的运行状态。物联网技术则将这些传感器数据有效传输至集中管理系统，实现信息的快速共享和响应。大数据分析结合人工智能算法，对收集的数据进行深度挖掘和预测，准确诊断管网潜在问题，这套技术体系在城市排水管理中得到有效应用，大幅提升了排水管网监控的效率和稳定性。

3 智能化排水管网检测技术

3.1 基于传感器的管网监测技术

基于传感器的管网监测技术是智能化排水管网检测的关键组成部分，通过传感器网络实时感知管网的运行状态。传感器安装在排水管网的各个关键节点，实时监测水流量、水质、管道压力、液位等参数。数据通过无线通信技术传输至中央监控系统，支持对管网运行状态的精准分析。该技术显著提升了故障检测的及时性与准确性，为突发事件提供了预警并降低了损失风险。

在具体应用中，传感器的选择和布置需要考虑环境条件和监测需求。耐腐蚀、抗干扰的传感器设备能够在复杂的管网环境中稳定工作。传感器网络的高密度部署和数据融合技术的采用，使得对整个排水管网的全面监控成为可能。

通过传感器技术，管网管理部门可以获得实时监控数

据，提高决策效率和准确性，为智能化排水系统的运维提供科学依据。这种监测技术不仅提高了管网的运行效率，还为未来智能城市的发展奠定了基础。

3.2 物联网技术在排水管网中的应用

物联网技术在排水管网中的应用以其精确性和实时性，极大提升了排水系统监测的效率。通过在管网内布置各类智能传感器，能够实时采集水流速度、水质、压力等多维度数据，这些信息通过无线网络上传至云端。数据的持续积累与更新，通过云计算平台进行分析处理，为后续维护与决策提供有力支持。管网异常现象可以通过物联网设备的自动预警机制及时传达给相关部门，有效减少人工巡查的工作量与误判率。物联网技术的应用为大规模远程监控提供了可能，确保整个管网系统的运行状态在可控范围内，有助于提高城市排水管理的智能化水平，降低运行成本和事故风险^[1]。

3.3 大数据与人工智能在管网检测中的结合

大数据与人工智能在排水管网检测中的结合，为管网状态分析提供了强大的技术支持。大数据技术通过对海量监测数据的收集与分析，可以识别出潜在的管道异常，并预测可能发生的故障。人工智能算法，尤其是深度学习模型，能够从复杂的数据模式中提取有价值的信息，精准诊断管网的健康状况。这种结合不仅提高了数据处理的效率，还增强了异常识别的准确性，为城市管理者提供了及时的预警信息和决策支持，推动排水系统的智能化升级与发展。

4 自适应修复技术及其实现

4.1 自适应修复技术的原理与特点

自适应修复技术是一种以智能化和自动化为核心的创新性管网修复方法，其原理在于结合多种先进技术，通过实时监测和精准反馈，实现对管网损坏区域的高效修复。该技术的核心在于利用智能机器人与传感设备进行同步协作，通过传感器采集管网内部的损坏数据，并利用人工智能算法进行快速诊断，确定修复区域及修复方案。修复过程由智能机器人完成，通过预编程指令或自主学习机制，其能够在狭窄或复杂环境中高效移动并定位目标区域。

自适应修复技术的一大特点是修复材料和方式的灵活性。通过结合 3D 打印技术，可根据管网的损坏类型和形状，直接在现场打印定制化的修复部件，无需复杂的传统施工操作。这种技术显著缩短了修复时间并降低了成本。技术的自适应能力使其能够根据实时监测数据调整修复策略，从而提升修复的精准性和效率。相比传统方法，该技术在效率、成本控制和环境友好性方面展现了明显的优势，为排水管网的现代化维护和管理提供了重要支持。

4.2 智能机器人在管网修复中的应用

智能机器人在管网修复中的应用为传统的人工修复方式提供了革命性的替代方案。通过自主导航、感知与操作能力，智能机器人能够在狭小复杂的管道环境中完成精确的修

复任务。机器人搭载的传感器系统能够实时监测管道的损坏情况,并进行数据分析,确定修复位置与方案。修复过程中,机器人可通过多种工具进行管道内壁清洁、裂缝修补及材料填充,大大提高了修复的效率与质量。与人工操作相比,智能机器人不仅能够在恶劣环境下长时间工作,还能减少人为失误的可能性,降低修复成本。该技术的推广,有望显著提升管网修复的自动化程度,为城市排水系统的长期稳定运行提供强有力的保障。

4.3 复合材料在自适应管网修复中的创新使用

复合材料在自适应管网修复领域中的应用,无疑为这一领域带来了重大的革新。这些材料以其独特的耐腐蚀性和高抗压强度,显著提升了修复后管道的耐用性和稳定性,为城市排水系统的长期安全运行奠定了坚实基础。

与传统的修复材料相比,复合材料不仅具有更出色的物理性能,而且更易于塑形和加工,能够满足各种复杂管道结构的修复需求。在自适应修复技术的框架下,复合材料与智能机器人、传感器等先进设备的结合,使得修复过程更加高效、精准。此外,复合材料的轻量化特性也降低了修复过程中的运输和安装成本,进一步提升了整体修复效率。这种创新性的运用方式,不仅缩短了修复周期,还减少了对市民日常生活的影响,为城市排水系统的现代化维护管理提供了新的思路和方法。

复合材料在自适应管网修复中的创新运用,无疑为城市排水系统的稳定运行提供了有力保障,也为未来的管网修复技术发展指明了方向。

5 智能化排水管网技术的前景与挑战

5.1 技术的推广与应用前景

智能化排水管网技术的推广与应用前景广阔,随着城市化进程的不断推进,城市排水系统面临着日益严峻的挑战。传统的人工巡检和修复方式已无法满足日益增长的需求,而智能化技术则为解决这些问题提供了有效途径。通过基于传感器和物联网技术的实时监控系统,排水管网的运行状态可以被精准捕捉和分析,大数据与人工智能的结合进一步提高了故障诊断的效率和准确性。自适应修复技术的应用,尤其是智能机器人与3D打印技术的结合,不仅实现了管网的快速修复,还大大降低了人工成本和施工难度。随着相关技术的不断成熟,智能化排水管网将逐步替代传统模式,推动城市排水系统的自动化、智能化升级,提升城市排

水能力与抗风险能力。尤其在节省能源、减少资源浪费、提高系统可持续性等方面,智能化技术的应用前景极为广泛,预示着未来城市排水管网的智能化管理将成为可能。

5.2 实施过程中面临的主要挑战

智能化排水管网技术在实施过程中面临诸多挑战。技术的普及应用需要大量的资金投入,特别是在旧城区和基础设施老化严重的区域,改造和升级的成本较高。智能化系统对数据传输和处理能力的要求较高,稳定的物联网基础设施和大数据处理能力尚未在所有地区得到充分保障,可能导致信息传递不畅或处理效率低下。再者,智能检测和修复技术的精确度与可靠性仍需提升,尤其是在复杂环境中,传感器的精确度和机器人修复系统的适应性可能受到限制。技术的推广也面临相关法律法规和政策支持不足的问题,缺乏统一的标准和规范,使得技术应用的统一性和规范性受到制约。专业技术人员的缺乏和技术更新迭代的快速性也是实施过程中不可忽视的挑战,培训和技术支持体系亟待完善。

6 结语

本研究探讨了智能化排水管网检测与修复技术,构建了基于传感器和物联网技术的管网监测系统,结合大数据分析 with 人工智能算法,实现了管网状态的实时监测与精准诊断。同时,提出了一种自适应修复技术,利用智能机器人与3D打印技术相结合,提高了修复的自动化程度。研究表明,该方案能显著提升排水管网检测的准确性与修复效率,降低人工干预成本,为城市排水系统的智能化管理提供了新技术支持。然而,现有系统在极端天气条件下的适应性、传感器的长期稳定性及数据传输的可靠性方面仍存在不足,智能机器人和3D打印修复技术的材料选择与耐久性问题亟需深入研究。未来的研究方向包括:优化传感器性能,提升数据采集的精准度和稳定性;结合5G和边缘计算技术,提升数据传输效率和实时处理能力;探索智能化、自适应的修复材料与技术,提高修复效果的持久性;进一步推广该技术在城市排水系统中的应用,验证其长期运行效果和经济可行性。

参考文献

- [1] 张凤吉,魏朝辉,宋娟娟.排水管网修复技术及其应用研究[J].中国科技期刊数据库 工业A,2023,(05):0169-0172.
- [2] 陈兆丰,万锦珍,颜作涛,陈道来,刘苏锋,陈国俊.基于物联网技术的在线排水管网监测系统[J].物联网技术,2022,12(05):34-36.
- [3] 陈邦杰.市政给排水管网非开挖检测修复技术分析[J].四川水泥,2022,(09):84-86.