

雨水排水管网缺陷评估技术探讨

——以 CCTV 排查为视角

林旭龙

广州 天河 510000

DOI:10.61369/ME.2025090011

摘要：介绍雨水排水管网缺陷评估技术，包括 CCTV 检测系统各单元作用，考虑管径、水流等因素建立判别矩阵，构建缺陷分类体系，研究沉积物分布等关系，还涉及多光谱补光等技术，以及建立预测模型、完善操作规范等内容。

关键词：雨水管网；缺陷评估；CCTV 检测

Discussion on the Technology of Rainwater Drainage Pipe Network Defect Assessment – From the Perspective of CCTV Investigation

Lin Xulong

Tianhe, Guangzhou 510000

Abstract：This paper introduces the technology for evaluating defects in rainwater drainage networks, including the functions of each unit of the CCTV detection system. It establishes a judgment matrix by considering factors such as pipe diameter and water flow, constructs a defect classification system, studies the relationship between sediment distribution, and involves technologies like multi-spectral illumination. Additionally, it covers the establishment of predictive models and the improvement of operational standards.

Keywords：rainwater drainage network; defect evaluation; CCTV detection

引言

随着城市化进程的加快，雨水排水管网的正常运行对于城市的生态环境和居民生活至关重要。2021年发布的《关于加强城市内涝治理的实施意见》强调了对雨水排水管网检测和维护的重要性。雨水排水管网缺陷评估技术涉及多个方面，包括 CCTV 检测系统的应用、管径匹配度、水流条件、淤积程度等因素的考量，以及针对结构性和功能性缺陷的分类体系构建、评价指标体系建立等。同时，多种先进技术如激光扫描、视觉 SLAM、深度学习等不断融入，为提高评估的准确性和效率提供了支持，这些技术的发展符合政策导向，对于保障城市雨水排放系统的正常运行具有重要意义。

一、CCTV 检测技术特征及适用性分析

(一) CCTV 检测系统技术原理

CCTV 检测系统主要由视频采集系统、激光测距模块和定位装置等技术单元协同工作。视频采集系统用于获取管道内部的图像信息，是检测的基础^[1]。激光测距模块可精确测量管道内部的距离数据，为后续的分析提供空间尺寸信息。定位装置能够确定检测位置，方便对缺陷进行准确的定位^[2]。基于这些数据，利用图像智能识别算法对管道缺陷进行判读。该算法通过对采集到的图像进行分析处理，识别出缺陷的特征，如裂缝、变形等。同时，根据相关标准和算法，获取定量化评估参数，如缺陷的长度、宽度、面积等，从而实现对雨水排水管网缺陷的准确评估^[3]。

(二) 雨水管网 CCTV 检测适用性边界

从管径匹配度方面，需考虑 CCTV 设备能否顺利在管道中行进并获取清晰图像。管径过小可能导致设备无法进入或行进困难，影响检测效果；管径过大则可能使图像分辨率不足，难以准确识别缺陷。从水流条件来看，水流速度过快会使设备难以稳定，影响图像质量，同时可能对设备造成损坏；水流过缓或积水严重，可能会掩盖部分缺陷，也不利于设备的操作。对于淤积程度，严重的淤积可能阻碍设备前进，甚至导致设备被困，无法完成检测任务^[4]。综合考虑这些因素，建立雨水管网检测可行性判别矩阵，能更好地分析不同工况下 CCTV 检测的经济效益与技术优势^[5]。

二、雨水管网缺陷类型学特征研究

(一) 结构性缺陷分类体系构建

科学合理的分类体系对结构性缺陷评估至关重要。基于实际检测数据, 分析典型缺陷类型及数量分布(图1)。

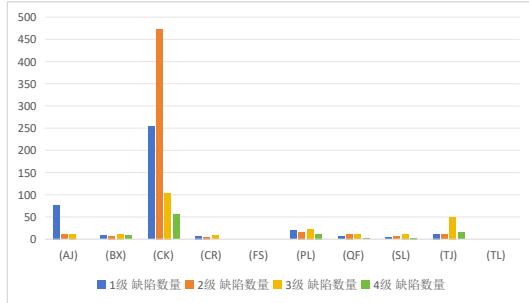


图1 雨水管网结构性缺陷数量

图1显示,结构性缺陷共1254个,错口(CK, 70.6%)和脱节(TJ, 7.0%)占比较大,表明管道连接和沉降问题是主要结构性缺陷。二、三级缺陷(分别为541和233个)占比较高,反映中等严重程度的缺陷较为普遍,需重点关注修复优先级。较少出现的严重缺陷(如4级脱节15个)虽数量不多,但对管网稳定性威胁较大,应优先处理^[3]。

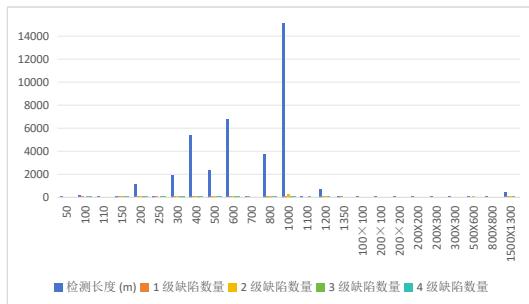


图2 不同管径的雨水管道结构性缺陷个数

图2显示,检测总长度38094.5米,缺陷集中于管径400mm至1000mm的管道(累计缺陷195、80、190、92、447,占70.5%),表明大管径管道因高使用频率和承载压力更易产生结构性缺陷。小管径(如50mm、110mm)缺陷较少,可能因使用范围有限或检测难度较高。需优化检测设备以适应不同管径,提高检测覆盖率。

(二) 功能性缺陷动态评估模型

功能性缺陷影响管道过流能力,检测数据见图3。

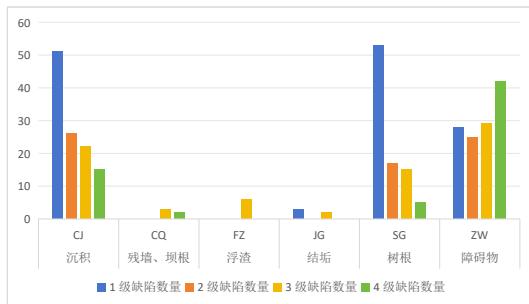


图3 雨水管网功能性缺陷数量

功能性缺陷共344个,沉积(CJ, 33.1%)和树根(SG,

26.2%)占主导,反映管道内淤积和外部树根侵入是主要问题。障碍物(ZW)中4级缺陷(42个)占比较高,表明严重障碍需优先清理以恢复过流能力。各等级缺陷数量分布相对均衡,需结合管道使用环境制定针对性维护策略^[4]。

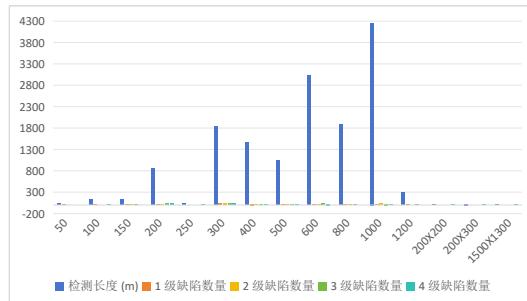


图4 不同管径的污水管道结构性缺陷个数

图4显示,功能性缺陷集中于管径200mm至1000mm的管道(累计缺陷48、3、136、31、9、43、7、46,占83.7%),与结构性缺陷分布有一定相似性,表明大管径管道更易受沉积和树根影响。小管径(如50mm、100×100mm)缺陷较少,可能是流量低或检测受限。需针对大管径管道加强清淤和树根防控措施。通过分析沉积物分布与过流断面关系,建立淤积率-水流阻力-承载能力三元评价体系,为维护提供依据。

三、缺陷评估关键技术难点解析

(一) 复杂工况下的图像质量保障

1. 低照度环境成像增强技术

研发动态增益调节的多光谱补光系统,自动调整补光强度和光谱分布,适应低照度环境^[5]。结合深度学习光照补偿模型,学习光照变化与图像质量关系,处理图像以补偿亮度不足和对比度低问题,实现管壁纹理清晰还原,为缺陷评估提供高质量图像基础。

2. 水下影像复原算法优化

迁移学习改进图像去雾算法,利用已有知识有效处理复杂工况下的图像去雾问题^[6]。结合管道水流湍流模型建立浊度补偿机制,考虑湍流对图像浊度的影响,提升图像清晰度和质量,增强缺陷边缘识别准确度,为水下影像复原提供有效方法,保障复杂工况下雨水管网缺陷评估的图像质量。

(二) 缺陷量化评估方法创新

1. 三维点云重构技术应用

集成激光扫描与视觉SLAM技术,为雨水排水管网缺陷评估带来新方法。通过该技术可建立管网形态数字孪生模型,此模型对于精确量测管网缺陷相关参数至关重要。它能够实现裂缝开度、错位距离等参数的亚毫米级量测,这在以往的评估技术中是较难达到的精度。这种高精度的量测为量化评估管网缺陷提供了更准确的数据基础,有助于更深入地了解管网的实际状况,从而为后续的维护和修复工作提供更科学的依据^[7]。

2. 缺陷演化预测模型构建

基于时序检测数据建立马尔可夫链预测模型,通过分析不同时间节点的缺陷状态转移概率,为预测缺陷演化趋势提供基础^[8]。结合管材疲劳方程推导缺陷扩展速率,考虑管材自身特性以及外部

环境因素对缺陷发展的影响。这种综合考虑多种因素的方法,有助于更准确地把握缺陷的发展动态。最终形成管网服役状态预判机制,能够提前对雨水排水管网可能出现的问题进行预警,为管网的维护和管理提供科学依据,保障管网的正常运行^[9]。

四、工程应用与技术提升路径

(一) 检测规程标准化建设

1. 操作规范体系完善

为优化雨水排水管网缺陷评估质量指标,引入缺陷权重系数与区域风险系数构建综合评分模型^[10]。缺陷权重系数根据缺陷类型对管网运行影响确定,结构性缺陷权重较高;区域风险系数考虑地理、环境及人口密度,风险高的区域系数上调。通过层次分析法整合系数,全面准确评估管网健康度,为维护、修复和管理提供科学依据。

2. 质量评价指标优化

在雨水排水管网缺陷评估技术中,为优化质量评价指标,引入缺陷权重系数与区域风险系数构建综合评分模型具有重要意义。缺陷权重系数可根据不同缺陷类型对管网运行的影响程度确定,例如结构性缺陷可能比功能性缺陷对管网稳定性影响更大,应赋予更高权重^[10]。区域风险系数则考虑管网所处区域的地理、环境及人口密度等因素,人口密集或地势低洼区域的管网一旦出现问题风险更高,相应系数也应调整。通过层次分析法将这些系数合理整合到综合评分模型中,能够更全面、准确地评估管网健康度,为管网的维护、修复和管理提供科学依据。

(二) 智能诊断系统开发

1. 人工智能识别算法优化

采用改进 YOLOv7 架构训练专用识别模型。通过对原始 YOLOv7 架构进行分析,针对雨水排水管网缺陷的特点,调整网络结构的某些参数,如卷积核大小、层数等。同时,优化损失函数,使其更适应管网缺陷的分类任务。在训练过程中,使用大量标注好的管网缺陷图像数据,让模型学习到不同缺陷的特征。通过这种方式,模型能够准确地对 16 类管网缺陷进行自动化标注与分类,大大提高了检测效率,提升幅度达到 40%。这种优化后的算法在雨水排水管网缺陷评估的智能诊断系统中具有重要应用价值,能够更高效地为管网维护和管理提供技术支持。

2. 云平台数据管理系统

设计 B/S 架构的检测数据云平台具有重要意义。该平台集成

了检测报告自动生成模块,能够快速、准确地根据检测数据生成报告,提高工作效率。GIS 空间分析模块可对排水管网的空间位置等信息进行分析,直观呈现管网布局及缺陷位置关系。维修决策支持模块则依据检测数据和分析结果,为维修工作提供合理的决策建议。通过这些功能模块的集成,云平台实现了对雨水排水管网检测数据的高效管理和综合利用,为雨水排水管网缺陷评估及后续维修工作提供了有力的技术支持,提升了整个管网维护管理的科学性和精准性。

(三) 工程实践验证与优化

1. 典型区域检测案例分析

以南沙区排水管网维修改造项目为例,总长度 69160.5 米(污水管 48470.7 米, 2981 段; 雨水管 20689.8 米, 1426 段),应用 CCTV 缺陷评估技术,综合考虑材质、管径、使用年限等因素,建立科学评估标准。通过节点数据采集分析,检测准确率从 78% 提升至 92%,证明技术体系有效性和优越性,为推广应用提供实践支撑。

2. 综合评估流程设计

雨水排水管网缺陷评估需建立综合评估流程。初检阶段利用 CCTV 技术全面检测,获取影像数据,标记缺陷位置及类型。重点复检阶段针对疑似严重缺陷或关键部位进行细致检测,确认缺陷准确性和严重程度。专家会诊阶段结合检测结果进行综合分析,给出评估结论及修复建议。三阶段流程实现检测到决策的闭环管理,确保评估准确性和科学性,为修复维护提供依据。

五、总结

雨水排水管网缺陷评估技术在不断发展。CCTV 技术在其中的应用体系不断创新,三维扫描与人工智能技术与之融合,显著提升了检测精度。针对复杂管网环境,模块化检测装备的研发至关重要。同时,标准化体系建设对行业发展起到了推动作用。展望未来,5G 传输和数字孪生等新技术在管网智慧运维中具有广阔的应用前景。这些发展方向不仅有助于提高雨水排水管网缺陷评估的准确性和效率,还将推动整个行业朝着更加智能化、规范化的发展方向发展,更好地满足城市雨水排放管理的需求,保障城市的正常运行和生态环境的稳定。

参考文献

- [1] 许亮,陈伟,李迦南.基于 CCTV 技术的城市排水管道病害评估研究与应用 [J].市政技术,2021,39(S01):96-101+106.
- [2] 沈小华,齐国辅,耿宏,等.管网异常(水质浓度低)排查技术路线和案例分析 [J].中国给水排水,2021,37(04):97-100.
- [3] 杨睿,李晓帆.CCTV 检测技术在雨污分流工程中的应用 [J].给水排水,2022,48(S02):431-435.
- [4] 孙勇,赖东杰.CCTV 检测技术在扬州市老旧小区雨污分流改造工程中的应用 [J].城市勘测,2022,(04):186-189.
- [5] 张涛.CCTV 检测技术在蚌埠市城区污水管网专项普查、检测中的应用 [J].城市勘测,2021,(06):177-180.
- [6] 刘沛.CCTV 及 QV 技术在城市雨污水管网摸排检测中的应用 [J].水利科学与寒区工程,2023,6(01):142-144.
- [7] 杨子恒.镇江市建成 A 区排水管网排查评估及研究 [D].东南大学,2022.
- [8] 曾小桐.基于 NSGA-II 算法的雨水管网优化模型研究 [D].西南交通大学,2021.
- [9] 李彬,吴晓晖,贾超,等.宜昌市某片区排水管道检测评估与修复 [J].武汉交通职业学院学报,2023,25(2):110-113,119.
- [10] 魏云.基于 CCTV 检测技术的城市排水管道检测与评估 [J].江西建材,2022(12):83-85.