

污水排水管网缺陷评估的CCTV技术应用与研究

林旭龙

广东 广州 510000

DOI:10.61369/ME.2025080003

摘要：本文围绕污水管网CCTV系统展开。介绍其构成及各模块作用，阐述污水图像处理算法，包括浑浊度补偿等。讲述管段预处理工艺，如清淤、水位控制。还涉及缺陷特征数据库构建、多光谱图像融合等技术，以及应用卷积神经网络构建识别模型，强调检测质量控制、数据验证机制等的重要性，最后提及社会效益和面临的挑战及创新点。

关键词：污水管网；CCTV系统；缺陷检测

Application and Research of CCTV Technology in Sewage Drainage Pipe Network Defect Assessment

Lin Xulong

Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract : This article focuses on the CCTV system of sewage pipelines. It introduces its structure and the functions of each module, explains the algorithms for sewage image processing, including turbidity compensation. The article also discusses the pretreatment processes of pipeline sections, such as sludge removal and water level control. Additionally, it covers the construction of a defect feature database, multi-spectral image fusion, and the application of convolutional neural networks to build recognition models. The article emphasizes the importance of quality control and data validation mechanisms in detection, and concludes with a discussion of the social benefits, challenges, and innovative aspects.

Keywords : sewage pipeline; CCTV system; defect detection

引言

随着城市化进程的加速，污水管网的安全运行和有效维护至关重要。2021年颁布的《城镇污水处理提质增效行动方案》强调了提升污水管网运行质量的重要性。在此背景下，污水管网CCTV检测技术受到广泛关注。该技术涉及核心模块构成、污水图像处理算法、管段预处理工艺、缺陷特征数据库构建等多个方面。同时，还需应对高流速工况、特殊部位检测等难题，以及确保检测数据的可靠性和制定标准化作业规程。其技术创新点为污水管网缺陷评估提供支持，未来与人工智能和物联网技术融合将带来新发展，对保障城市污水排放系统正常运行意义重大。

一、CCTV检测技术基本原理与系统构成

(一) 污水管网CCTV系统技术框架

污水管网CCTV系统主要由爬行机器人、图像采集系统、定位装置等核心模块构成。爬行机器人是系统的关键移动部件，能够在污水管网复杂环境中行进，为检测提供支撑。图像采集系统包含防水摄像头等关键设备，防水摄像头经过特殊设计，可适应污水环境，确保清晰准确地采集图像信息。定位装置则能精确确定检测位置。高压喷头清洗装置也是重要组成部分，其特殊设计有助于清理管网内的污垢，保证检测效果。针对污水环境，这些设备还需进行相应的改装，以提高系统的适用性和可靠性^[1]。

(二) 污水介质中的图像处理算法

污水介质中的图像处理面临诸多挑战，需探讨相关算法。对于污水浑浊度补偿算法，需考虑污水中杂质对图像的影响，通过分析浑浊度的特征及对光线的散射和吸收规律，建立相应的数学模型来补偿图像的清晰度和色彩准确性^[2]。涡流光影消除技术旨在解决污水流动产生的涡流及光影干扰问题，通过对涡流和光影的动态特征分析，采用滤波和图像增强等方法，去除这些干扰因素，提高图像质量^[3]。受限空间三维建模方法则是针对污水管网的特殊环境，利用多视角图像信息，结合计算机视觉和几何算法，构建污水管网的三维模型，为缺陷评估提供更全面准确的信息^[4]。通过这些算法，建立污水场景下的计算机视觉优化模型。

二、污水管网缺陷检测的关键环节

(一) 管段预处理技术要求

管道清淤是管段预处理的重要环节，需制定严格工艺标准，确保管道内无过多淤泥堆积影响检测^[3]。合理的水位控制对于检测准确性至关重要，过高或过低的水位都会干扰检测设备的正常工作。同时，要彻底清除管道内的障碍物，如石块、树枝等，避免其对检测设备造成损坏^[4]。建立基于流速监测的作业窗口期选择模型，能够根据管道内水流速度等因素，精准选择最适合进行预处理和检测的时间段，提高检测效率和质量，为后续的污水管网缺陷检测提供良好的基础条件^[7]。

(二) 缺陷特征数据库构建

缺陷特征数据库包括腐蚀度分级体系、结构性裂纹量化指标和接口渗漏特征图谱。以下为结构性缺陷数据（图1）。

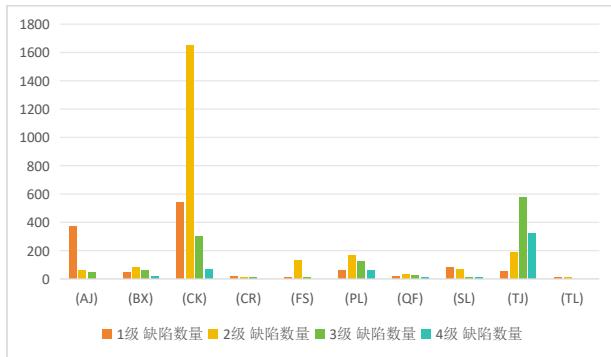


图1污水管网结构性缺陷数量

结构性缺陷共5209个，错口（CK，49.0%）和脱节（TJ，21.7%）占主导，反映管道连接和沉降问题突出。二、三级缺陷（2381和1147个）占比高，需关注修复优先级；4级脱节（319个）虽数量少，但威胁大，应优先处理。

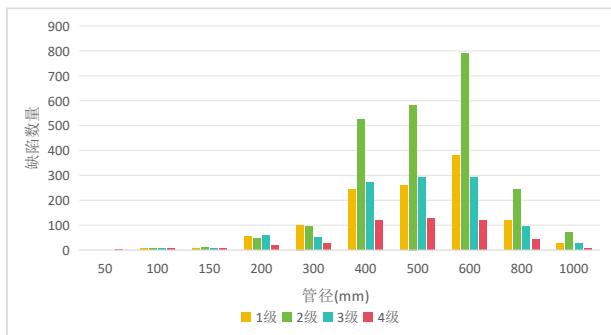


图2不同管径的污水管道结构性缺陷个数

检测总长度153059.7米，缺陷集中于400mm至600mm管径（累计缺陷1158、1259、1581，占67.5%），反映大管径管道因高使用频率和压力易产生缺陷。小管径（如50mm、110mm）缺陷少，可能因流量低或检测受限，需优化设备适应性。

检测总长度153059.7米，缺陷集中于400mm至600mm管径（累计缺陷1158、1259、1581，占67.5%），反映大管径管道因高使用频率和压力易产生缺陷。小管径（如50mm、110mm）缺陷少，可能因流量低或检测受限，需优化设备适应性。

少，可能因流量低或检测受限，需优化设备适应性。

功能性缺陷影响过流能力，数据见图3。

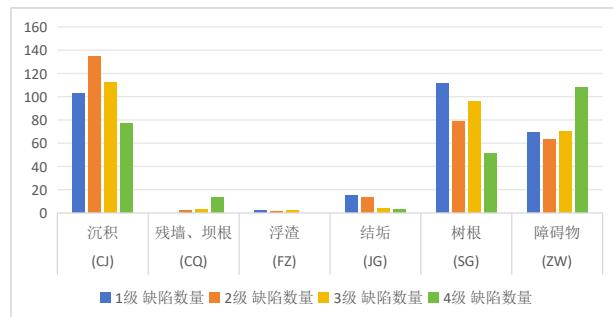


图3污水管网功能性缺陷数量

功能性缺陷共1132个，沉积（CJ，37.7%）和树根（SG，29.8%）为主。4级障碍物（ZW，108个）占比高，需优先清理以恢复过流能力。各等级缺陷分布均衡，需结合环境制定维护策略。

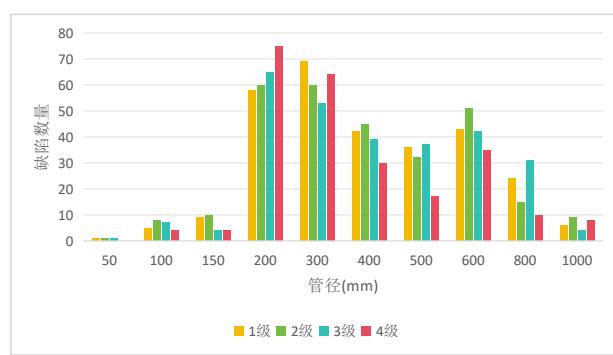


图4不同管径的污水管道结构性缺陷个数

功能性缺陷集中于200mm至600mm管径（累计缺陷258、246、156、122、171，占71.4%），与结构性缺陷分布一致，表明大管径管道易受沉积和树根影响。小管径缺陷少，需改进设备适应性。

三、污水管网 CCTV 检测流程优化

(一) 缺陷智能识别系统开发

1. 复杂流体环境下图像增强

多光谱图像融合技术与具有浊度补偿功能的数字图像处理算法的构建及开发，对复杂流体环境下污水管网 CCTV 检测图像增强至关重要。多光谱图像融合可综合不同光谱波段的信息，提高图像对缺陷的辨识度^[5]。通过获取多个光谱通道的图像数据，利用特定算法将其融合，凸显目标特征。同时，考虑污水的浊度对图像质量的影响，开发浊度补偿算法。该算法分析浊度与图像特征的关系，对因浊度造成的图像模糊、色彩偏差等问题进行校正，还原图像真实信息，从而更好地识别污水管网中的缺陷，为后续的评估提供清晰、准确的图像依据。

2. 缺陷模式识别模型构建

应用卷积神经网络构建污水管网缺陷模式识别模型。首先需

收集包含十万级污水管网缺陷样本的数据，这些样本应涵盖多种常见的缺陷类型^[6]。利用这些丰富的样本对卷积神经网络进行训练，通过不断调整网络的参数，使其能够学习到缺陷的特征模式。在训练过程中，要合理设置训练参数，如学习率、迭代次数等，以确保模型能够收敛到较好的性能。同时，建立管道缺陷自动标注系统，该系统能够根据训练好的模型对新的管道图像进行自动标注，准确识别出其中的缺陷，提高缺陷识别的效率和准确性，为污水管网的维护和管理提供有力支持。

(二) 检测过程质量管控体系

1. 作业过程质量控制标准

为确保污水管网 CCTV 检测质量，需制定标准化作业规程。光照强度方面，应根据管道内部环境确定合适的光照值，保证图像清晰可辨^[7]。拍摄角度要全面覆盖管道内壁，避免出现检测盲区，对于不同管径的管道，需调整合适的拍摄角度以获取准确信息。行进速度需适中且保持稳定，过快可能导致图像模糊、缺陷遗漏，过慢则会降低检测效率。同时，要定期对检测设备进行校准和维护，确保各项参数符合标准要求，从而提高检测结果的准确性和可靠性。

2. 检测数据可靠性验证

为确保污水管网 CCTV 检测数据的可靠性，需建立有效的验证机制。可建立三维激光扫描与 CCTV 数据对比验证机制，通过两种技术获取的数据进行对比分析，找出差异点并进行原因探究^[8]。同时，开发数据可信度评估模型，综合考虑多种因素对检测数据的可信度进行量化评估。在模型中纳入如检测设备的精度、检测环境的稳定性、操作人员的技术水平等因素，根据不同因素对数据可信度的影响程度赋予相应权重，最终得出一个能反映数据可靠性的综合指标，为污水管网的缺陷评估提供可靠的数据支持。

四、工程实践与技术效益分析

(一) 典型污水管网检测案例分析

1. 高腐蚀性污水管道检测

某石化园区污水具有高腐蚀性，为验证特种材料检测设备在此类环境中的耐腐蚀性能，展开相关检测。研究发现，特种材料检测设备在该园区污水管网检测中表现出良好的耐受性，能够在恶劣腐蚀环境下稳定工作，保障检测的顺利进行^[9]。同时，分析污水 PH 值对检测精度的影响规律，结果表明不同 PH 值条件下检测精度存在差异。这为后续在类似高腐蚀性污水管网检测中合理选择检测时机以及对检测结果进行校正提供了依据，有助于提高检测的准确性和可靠性，从而更好地评估污水排水管网的缺陷情况。

2. 大管径污水干管检测

以某地直径 600mm、长度 37.1m 的钢筋砼污水管段检测为例，CCTV 技术验证了大管径污水干管检测有效性。检测发现 3 级变形、4 级错口等多处缺陷。在复杂流体条件下，多机器人协同作

业克服干扰，全面覆盖管道，确保无遗漏。机器人适应大管径环境，实时传输缺陷数据，为维护修复提供依据，提升管网运行效率与安全性，减少环境与社会影响^[10]。

(二) 检测技术综合效益评价

1. 经济性比较分析

通过全生命周期成本模型比较传统开挖检测与 CCTV 检测的经济效益。以某污水管网 53.9m 管段为例，传统开挖检测涉及开挖、修复及环境影响成本，而 CCTV 检测主要成本为设备购置、维护及人员培训费用。CCTV 检测无需大规模开挖，减少环境破坏和修复成本，综合计算显示其在全生命周期成本上优势明显，为污水管网缺陷评估带来显著经济效益。

2. 社会效益评估

CCTV 技术应用于污水排水管网缺陷评估具有显著的社会效益。在环境污染防治方面，通过精准检测管网缺陷，能够及时发现污水泄漏点，避免未经处理的污水直接排放到自然环境中，减少对土壤、水体的污染，保护生态环境。对于公共安全隐患消除而言，准确评估管网状况可防止因管网破裂等问题导致的地面塌陷等安全事故，保障公众的人身安全和财产安全。同时，该技术的应用有助于提高城市基础设施的管理水平和运行效率，提升城市的整体形象和居民的生活质量，促进社会的可持续发展。

(三) 技术局限性及改进方向

1. 高流速工况检测瓶颈

在污水排水管网检测的工程实践中，CCTV 技术面临高流速工况检测瓶颈。高流速工况下，水流对机器人产生较大冲击力，影响其稳定性。以某检测为例，其对长度为 10.5m、管径为 300mm 的管段进行检测时，由于水流速度过快，导致机器人难以稳定行进，影响检测效果。为此，需深入研究水流速度对机器人稳定性的影响规律，在此基础上对水下推进系统进行优化设计，提高机器人在高流速工况下的适应性和检测能力。

2. 特殊结构检测盲区

污水排水管网中检查井连接处和异形管段等特殊部位存在检测难点。以某 600X400mm 管段检测为例，该管段材质为钢筋砼，长度为 37.1m，在检测时发现检查井连接处存在接口密封不严、管道错位等缺陷，但由于 CCTV 技术的摄像头视角和灵活性有限，难以全面观察。针对这些问题，可采用多传感融合解决方案，结合激光扫描传感器和超声传感器，提高对特殊结构检测的准确性和全面性。

五、总结

CCTV 检测技术在污水管网缺陷评估中具有重要意义。其技术创新点包括高精度成像、智能识别等，为准确评估管网缺陷提供了有力支持。建立的检测标准体系和方法模型具有很强的实践价值，规范了检测流程和评估标准，提高了检测结果的可靠性和

可比性。针对高流速、复杂介质工况，搭载 LIBS 光谱检测模块的改进方案能够有效解决传统检测技术的局限性，进一步提升检测的准确性和全面性。展望未来，人工智能与物联网技术的深度融

合将为污水管网缺陷评估带来新的机遇和挑战，有望实现检测的自动化、智能化和实时化，提高污水管网的运维管理水平，保障城市污水排放系统的正常运行。

参考文献

- [1] 赵立洁. 排水管网缺陷因素分析及预测模型研究 [D]. 西安理工大学, 2022.
- [2] 游小玲. 排水管网缺陷检测一体化方案研究 [D]. 长江大学, 2023.
- [3] 卢毅. 市政污水排水管网工程基坑开挖支护施工技术分析 [J]. 新型工业化, 2022, 12(3):159–161.
- [4] 牛孝龙, 王伟, 邱施宇. 城市污水管网工程管道 CCTV 检测缺陷处理的应用 [J]. 云南水力发电, 2022, 38(9):36–39.
- [5] 刘战广, 谭学军, 陈嫣. 基于水量分析和节点监测的城镇污水管网评估诊断 [J]. 中国给水排水, 2021, 37(17):32–37.
- [6] 陈君翰, 苏健成, 张君贤, 等. 广州市猎德污水处理系统“一厂一策”系统化整治 [J]. 中国给水排水, 2020, 36(22):7–12.
- [7] 齐利华, 祖士卿, 马骥. 珠海市某区域污水管网 CCTV 检测结果与建议 [J]. 中国给水排水, 2017, 33(22):135–138.
- [8] 曹光辉. 农村污水查漏补缺工程分析——基于永宁街永和北部污水处理系统提质增效工程 [J]. 低碳世界, 2021, 11(07):47–48.
- [9] 李顺安, 李婷, 温慧锋, 等. 南方某市排水管道 CCTV 检测结果分析 [J]. 城市勘测, 2022, (05):169–172+180.
- [10] 丁昌龙. 基于 CCTV 检测技术排水管道修复工程案例分析 [J]. 给水排水, 2022, 48(S02):489–492.