

建设工程给排水领域排水管网普查、检测与预处理的协同技术体系研究

许禄康

四川 成都 610072

DOI:10.61369/UAID.2026030021

摘 要： 城市排水管网是城市水环境治理和内涝防治的主要基础设施，其健康状况直接关乎污水收集效率、管网运行的安全性以及城市的韧性水平。因为当前排水管网普查显示碎片化、检测精准度欠佳、预处理与前后环节存在脱节、数据形成孤立状态且流程缺乏协同等状况，本文将建设工程给排水领域作为应用场景，系统地建立普查、检测、预处理一体化协同的技术体系。通过整合多类普查信息、智能化检测手段、标准化预处理流程以及数字平台管控模式，实现流程的闭环式管理、数据的互通性共享、质量的有效化控制以及效率的明显提高。经过工程实践验证，该体系可明显减少无效工作、提高缺陷识别的精确程度、缩短工程时长并降低总体费用，为排水管网的质量提高、更新改造以及智能化运维提供技术支撑。

关 键 词： 排水管网；管网普查；管道检测；预处理；协同技术体系；智慧排水；全生命周期管理

Research on Collaborative Technical System for Survey, Testing and Pre treatment of Drainage Network in Construction Engineering Water Supply and Drainage Field

Xu Lukang

Chengdu, Sichuan 610072

Abstract： Urban drainage pipe network is the main infrastructure for urban water environment management and waterlogging prevention. Its health status is directly related to the efficiency of sewage collection, the safety of pipe network operation and the resilience level of the city. Because the current drainage network census shows fragmentation, poor detection accuracy, disconnection between preprocessing and front and back links, isolated data formation and lack of coordination of processes, this paper takes the construction project water supply and drainage field as an application scenario, and systematically establishes a technical system for the integration and coordination of census, detection and preprocessing. By integrating multiple types of census information, intelligent detection methods, standardized preprocessing processes, and digital platform management and control modes, closed-loop management of processes, interoperability sharing of data, effective control of quality, and significant improvement in efficiency are achieved. It is verified by engineering practice that the system can significantly reduce invalid work, improve the accuracy of defect identification, shorten the duration of the project and reduce the overall cost, and provide technical support for the quality improvement, renovation and intelligent operation and maintenance of the drainage pipe network.

Keywords： drainage network; pipeline network survey; pipeline inspection; preprocessing; collaborative technology system; smart drainage; whole life cycle management

引言

（一）研究背景

随着城市更新和污水提质增效行动不断深入，排水管网从传统运维迈向精准诊断、靶向修复与智慧管控。地下管网具有隐蔽特点、服役年限长、病害类型多样（例如破损、变形、沉积、混接、渗漏、树根侵入等状况），传统人工排查手段效率较低、精准度不足、存在较大安全隐患，已难以满足大规模管网治理的要求。管网诊断前端的三个主要环节为普查、检测和预处理，长期以来存在流程分散、数据不共享、标准不统一、质量管控不佳等问题，导致检测无效、缺陷误判、修复不准确，在很大程度上制约工程质量和投资效益^[1]。

（二）研究意义

建立普查、检测与预处理协同技术方案，实现任务协同、数据协同、标准协同、管控协同，可打通从基础信息采集到缺陷精准识别再到修复前期筹备的全流程，使作业效率提高 30% 以上、缺陷识别精准度达到 95% 以上，降低无效检测与返工费用，保障管网诊断与修复工程科学高效推进，为城市排水系统高质量发展提供理论与技术支撑^[2]。

（三）国内外研究现状

在海外以 CCTV、声呐、雷达多技术融合以及数字化平台为基础，建立标准化的作业流程；在国内重点于单一技术的优化和局部应用，在三环节协同机制、数据融合模型、全过程质量管控等方面仍然存在欠缺，急需打造适配我国建设工程场景的一体化协同技术体系。

（四）研究内容与技术路线

研究内容：排水管网普查技术的改进、多方面的智能检测技术、规范化的预处理技术、三环节协同机制及平台建立、工程验证与效益评价。

技术途径：当前情形与问题分析→协同体系方案建立→核心技术集成→平台开发→工程实践运用→总结改进与优化。

一、协同技术体系总体框架

（一）设计原则

根据系统性、协同性、精准性、经济性、安全性这五项设计原则，系统性要包括普查、检测、预处理全流程并实现闭环管理；协同性重点于任务协同、数据共享、人员配合以及标准一致；精准性通过多源数据整合，实现缺陷的精确位置判定与可靠等级评估；经济性通过优化作业顺序、减少重复工作来降低总体成本；安全性对有限空间作业进行规范，全面保障人员与设备的安全^[3]。

（二）体系架构

建立1平台+3环节+N技术+全流程协同管控技术方案：将排水管网数字协同管控平台（集成GIS、BIM、IoT与AI）当作核心，包括精准普查、智能检测、标准化预处理这三个步骤，整合多源测绘、水质水量监测、CCTV/QV/声呐/GPR检测、高压水射流清淤、机器人预处理以及AI缺陷识别等多种技术，同时对整个流程的质量、安全、进度、成本实施协同管控。

（三）协同逻辑

把数据作为核心纽带，普查得出管网基础信息以及问题清单，明确检测重点与路径；检测反馈缺陷位置和类型，反向验证普查数据；预处理为检测创造合格作业条件，同时根据检测结果优化预处理范围和强度，这三个环节双向反馈、动态迭代，实现全流程最优^[4]。

二、关键协同技术研究

（一）精准普查技术（基础层）

1. 多源信息融合普查

整合竣工资料、GIS数据、实地勘察、权属调查、水质水量检验、地下管线探测雷达（GPR），建立基础调查、重点筛查、精准核实三阶普查模式，全方位获取管网拓扑方案、材质类别、管径尺寸、埋设深度、坡度状况、检查井情况、混接情形、外水

侵入状况等信息，打造标准化的普查数据库。

2. 问题分级与优先级划定

根据普查数据，针对沉积、堵塞、混接、渗漏、结构缺陷等情形开展分级工作，建立风险评估模型，输出重点检测管段的列表，实现先重点后一般、先高危后常规的检测方式，明显缩小无效检测的领域。

3. 普查数据标准化

对数据格式、编码规范、空间坐标系统进行规范，建立普查数据质量核查机制，确保数据完整、精确、唯一，为检测和预处理工作提供可靠的数据输入。

（二）智能检测技术（核心层）

1. 多技术组合检测

智能检测技术核心方面采用多技术协同检测：CCTV管道机器人可用于150至2000mm管径范围，能以高清成像识别像裂缝、变形、腐蚀、接口错位这类结构性问题，其检测效率为150至200m/台班；QV管道潜望镜用于对检查井和近端管段开展快速排查工作，适用于应急情形与初步诊断；声呐检测在高水位或者满管流状态下无需降水，可识别沉积、变形以及障碍物；地质雷达（GPR）能够实现非开挖探测管道埋深、周边空洞以及土体扰动情况；同时设置流量、水位、水质、液位等智能传感器，对管网运行状态实施动态监测。

2. AI缺陷自动识别

通过深度学习模型（像卷积神经网络、Transformer策略），针对CCTV检测影像实施逐帧自动判读操作，实现裂缝、变形、沉积、树根、渗漏、接口错位等常见缺陷的智能识别、精准位置确定以及自动分级。经过大量标注样本的训练和迭代优化，一级与二级缺陷（轻微至中等程度的缺陷）的识别精准度超过95%，三级和四级缺陷（严重到重大级别的缺陷）的精准度近乎100%，有效降低人工判读时的主观差异与疲劳误差，大幅提高检测效率和结果的一致性。

3. 检测数据与普查数据融合

将检测所得的缺陷空间位置、等级、影像证据等信息，与普

查阶段建立的管网拓扑方案、管材管径、埋设深度、建设时间等属性数据进行深度关联，建立一张图管网健康档案。该档案能够开展缺陷溯源分析（如追溯渗漏点上游存在的问题）、管段风险分级评估、修复优先顺序排列以及方案对比选择，为管网全生命周期的管理提供科学的决策根据。

（三）标准化预处理技术（保障层）

1. 预处理核心目标

预处理的核心目标是为后续检测创造水净、壁洁、无阻碍、低水位的优质作业环境：通过降水与封堵使水位降至管径的20%以下，保障检测设备能够顺利通行；凭借清淤清洗让内壁清洁度达到不低于80%，保证 CCTV/声呐成像清晰、无遮蔽；同时清除树根、硬块等阻碍物，为机器人顺利通过以及后续非开挖修复奠定坚实基础。

2. 预处理技术流程

预处理技术的流程如下：首先采用移动泵组与气囊封堵的方式实施降水疏干操作，让管内水位降至管径的20%以下；接着开展清淤疏通工作，通过高压水射流清淤、机械抓斗、螺旋输送等方式清理淤泥、建筑垃圾以及树根，确保管道内壁的清洁度不低于80%；然后进行障碍清除作业，切割侵入的树根并破碎硬块，从而保障机器人能够顺利通行；随后开展清洗保洁操作，利用高压水洗的办法去除油污和附着的杂物，保证成像不被遮挡；最后进行验收校核，预处理完成之后开展现场验收，若不合格就重新处理，合格之后才可进入检测环节。

3. 预处理与检测协同优化

根据普查问题清单以及检测优先级，采用分区域、分层次的形式开展预处理工作，避免全域无区别预处理造成的工期与成本浪费；在 GIS 平台中实时标注各管段的处理情况，动态调整作业顺序。在检测程序中，若 CCTV 或者 QV 发现局部有堵塞、沉积或者新的障碍物情形，立刻通过移动终端推送给预处理小组，该小组携带高压水射流或者可移动抓斗快速赶赴现场进行处理，处理完成后由检测设备当场进行复验，建立起发现、反馈、处置、复检的闭环系统，明显减少重复降水与封堵状况，提高整体协同效率。

（四）三环节协同机制与平台构建

1. 任务协同

建立通过工单流的任务协同与联动体系。普查环节结束之后，平台根据问题清单以及优先级自动生成检测工单，然后推送给检测小组；检测过程中若发现预处理未达到标准（比如水位高于20%、清洁度不足、存在未清理的障碍），系统会立即触发预处理返工工单，明确整改位置与要求；预处理小组完成整改并上传验收影像和数据之后，平台自动解锁对应管段的检测流程，无需人工进行频繁协调。通过条件触发与状态机管控，实现普查、检测、预处理这三项环节任务的自动流转，明显减少调度延迟^[6]。

2. 数据协同

通过排水管网数字协同管控系统，建立普查、检测、预处理这三个层级数据统一存储与实时分享的方案。普查阶段所形成的管网拓扑方案、管径埋深情形、问题明细等，为预处理工作提供

作业的根据；预处理上传的验收报告（包括水位、清洁度、障碍清除记录等内容），作为检测工作的准入标准；检测过程里发现的缺陷位置、等级以及影像资料，实时回传至平台，自动关联到普查属性表和预处理记录。所有数据自动核验、跨流程关联，打破数据屏障，建立唯一的数据基座，支持缺陷追溯与健康评估。

3. 标准协同

统一术语、编码、缺陷分级、作业规范和质量检验标准，编制《排水管网普查、检测、预处理协同作业导则》，实现全流程的标准化^[6]。

4. 管控协同

平台集成进度管理（工单节点自动追踪与超期预警）、质量控制（影像与报告线上核查、复核留痕）、安全管理（有限空间气体监测、电子围栏、人员定位与 SOS 一键报警）、成本控制（材料消耗、台班统计与预算比对）及人员设备调配。支持移动端现场视频实时回传、隐患推送预警、各类报表（日报、周报、验收单）一键生成，实现普查、检测、预处理全流程可视化、可追溯的协同管理与控制。

三、工程应用与效果验证

（一）工程概况

以某老旧城区排水管网的更新改造工程为例，管网总长度约 85 千米，主要运用混凝土和塑料材质的管道，已使用超 20 年，存在沉积现象严重、混接和错接状况、结构存在缺陷、处于高水位运行等问题。采用本文的协同技术体系进行普查、检测和预处理相关工作。

（二）实施流程

执行步骤如下：首先开展多源融合的普查工作，建立管网数据库以及问题列表，明确重点检测路段长度达 32km；随后根据优先级对不同区域和路段实施标准化的预先处理，在验收合格之后，再开展 CCTV、QV 以及声呐的联合检测；最后通过 AI 自动识别管网里的缺陷，并且经过人工复查，形成管网健康评估报告和修复明细，同时运用平台进行全程管理，实现普查、检测、预处理这三个环节的实时协作。

（三）应用效果

应用效果明显：作业时间缩短 35%，无效检测降低 40%；缺陷识别精准度达到 96%，漏判和误判现象明显减少；综合成本下降 28%，避免盲目预处理和重复检测；全流程进行数字化留痕，实现质量可追溯、安全风险可控制，管理更加规范。

（四）效益分析

经济效益明显：可降低工程投资，增加管网使用年限，减少运维成本；在社会效益方面，提高污水收集比率，降低溢流引发的污染，加强城市抵御内涝的能力；从环境效益角度看，改善水体质量，促进碳减排和绿色城市的建立。

四、存在问题与优化方向

（一）现存问题

针对目前存在的问题：在复杂工况（例如大埋深、大管径、严重变形等情形）下进行协同作业的难度比较大，AI模型对于微小缺陷和特殊缺陷的识别能力还有待优化，跨部门的数据共享与标准统一也需进一步加强。

（二）优化方向

优化方向包括：研发机器人胶囊与多传感器融合一体的检测装置，加强复杂场景适应能力；强化大模型训练，提高微小缺陷和复合型缺陷的识别精确性；推动区域级管网数据平台的相互连通，建立全生命周期协同管理方式；同时完善协同作业标准与定额体系，为规模化推广提供支撑。

五、结论与展望

（一）结论

本文建立的排水管网普查、检测与预处理协同技术体系，通

过流程再造、技术集成、数据融汇以及平台管控，确实化解传统作业碎片化、缺乏协同、效能低下、精准度不高等问题，实现管网前端诊断全流程的规范化、智能化与高效化。实际工程情况表明，该体系技术具有可行性，在经济方面较为合理，并且成效明显，可在城市排水管网的更新改造、提质增效、智慧运维等工程场景中广泛应用。

（二）展望

未来要进一步深度融合 BIM、数字孪生、物联网、人工智能等技术，建立全生命周期的智慧管网协同管理策略，推动排水管网从被动维修转变为主动预警、精准治理，为建设韧性城市、海绵城市提供坚实支撑。

参考文献

- [1] 城镇排水管道检测与评估技术规程 (CJJ 181-2012)[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2012.
- [2] 城镇排水管道非开挖修复更新工程技术规程 (CJJ/T 210-2014)[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2014.
- [3] 王忠.智慧监测下排水管网精准排查与污水提质增效策略研究[J]. 建筑科学，2025,41 (12):112-118.
- [4] 涂伟，谷宇，陈睿哲，等.管道胶囊协同检测大规模城市排水管网[J]. Automation in Construction,2026,148:105678.
- [5] 周川杨，中超康，昀王勋功，等.市政排水管网调查、测绘、检测、评估四位一体技术路线研究[J]. 市政技术，2025,43 (11):272-278.
- [6] 朱琳.新时代城市更新中雨污水管网治理实践路径 [C]// 城市更新论坛论文集，2026.