

市政排水管道高水位水下检测应用

苏芬芬¹, 周梦樊², 陈思宇^{2*}

¹深圳市龙岗区水务局, 广东 深圳

²中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司, 云南 昆明

收稿日期: 2025年2月14日; 录用日期: 2025年4月11日; 发布日期: 2025年4月28日

摘要

针对污水处理厂进厂末端主干管常年处于高水位或满管运行、埋深大、外部地形复杂的特点, 通过组合使用水下无人潜航器、水下声学融合检测的思路, 围绕排水管网运行现状开展主要结构性缺陷、功能性缺陷检测, 该方法实现了市政排水管道高水位水下检测, 具有良好推广应用前景。

关键词

排水管道, 运行现状, 水下潜航器, 声学融合检测

Application of High Water Level Underwater Detection for Municipal Drainage Pipelines

Fenfen Su¹, Mengfan Zhou², Siyu Chen^{2*}

¹Longgang District of Shenzhen Water Conservancy Bureau, Shenzhen Guangdong

²China Engineering Corporation Kunming Investigation & Design Institute Co., Ltd., Kunming Yunnan

Received: Feb. 14th, 2025; accepted: Apr. 11th, 2025; published: Apr. 28th, 2025

Abstract

In response to the characteristics of high water level or full pipe operation, deep burial depth, and complex external terrain of the main pipeline at the end of the sewage treatment plant, the main structural and functional defect detection is carried out around the current operation status of the drainage network by combining the use of underwater unmanned submersibles and underwater acoustic fusion detection. This method has achieved high water level underwater detection of municipal drainage pipelines and has good prospects for promotion and application.

*通讯作者。

文章引用: 苏芬芬, 周梦樊, 陈思宇. 市政排水管道高水位水下检测应用[J]. 环境保护前沿, 2025, 15(4): 569-574.
DOI: 10.12677/aep.2025.154064

Keywords

Drainage Pipeline, Operating Status, Underwater Submersible, Acoustic Fusion Detection

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

我国自“九五”以来,随着经济的发展和城市建设的需要,居民、工业用水量不断增多,各地加大污水处理设施建设力度。污水管网系统承担着城市污水收集与输送任务,随着排水管道排水量的增大,雨污分流不彻底,河湖水倒灌、外水入渗,居民生活垃圾、工厂废物、基建工地泥浆等在排水管道中发生沉淀,淤积过多造成管道堵塞,污水厂旱、雨季污水处理量逐年增大,配套的末端主干管常年处于高水位或满管运行,且因埋深大致现状不明、淤堵不清。近年来,错综复杂的城市排水管道系统所暴露出的问题众多,城市“污水外溢”、“地下水入渗”、“城市看海”、“城市路面步步惊心”现象频频发生,影响了城市交通、出行及城市容貌,甚至直接造成经济损失。

城市污水处理厂在保障水环境安全、治理城市水污染方面发挥着重要的作用。污水管网系统承担着城市污水收集及输送任务,其运行质态直接影响了污水处理厂的运行消能和城市水环境,因建设年代早,配套管网设施受所处环境影响,致使污水处理厂负荷过大,配套的末端主干管常年处于高水位甚至满管运行,绝大部分管网现状不明,不仅为污水外渗、地下水入渗提供了“通道”,而且形成了城市道路塌陷的隐患[1]-[3]。

为保障污水处理厂持续安全稳定运行,查明管网现存隐患,急需采取有效技术手段进行市政排水管道高水位水下检测[4][5]。本文这一工况,通过组合使用水下无人潜航器、水下声学融合检测的思路,围绕排水管网运行现状开展主要结构性缺陷、功能性缺陷检测,并通过深圳某项目的实践该方法实现了市政排水管道高水位水下检测,具有良好推广应用前景。

2. 市政排水管道高水位水下检测思路

市政排水管道高水位水下检测是近年来经多次生产实践、针对现状满水管道研制的工法。满水管道检测技术可检测二级以上的结构性缺陷 10 种(破裂、变形、腐蚀、错口、接口材料脱落、脱节、起伏、支管暗接、异物穿入、渗漏)与功能性缺陷 5 种(沉积、结垢、障碍物、残墙坝根、树根)。相较于传统 QV 检测、CCTV 检测等光学检测技术,具有无需降水封堵倒排的优点,可用于不具备降水条件、降水措施费高的主干管检测,极大的降低了管道的检测难度与检测成本。可对暗井及埋井进行识别,准确判断周边接驳情况、管径变化及走向,最小目标分辨能力为 ± 0.05 m,误差为(理论值) 0.02 m。

检测技术思路见图 1,详述如下:

1) 满水主干结构性检测

通过采用水下无人潜航器作为无人化载体,搭载实时成像声呐开展满水条件下的主干结构性检测,通过解译声呐的实测数据,完成包括变形、起伏、脱节、支管暗接、异物穿入、渗漏在内的管内缺陷识别与统计。

2) 满水主干功能性检测

通过采用水下无人潜航器作为无人化载体,搭载管道声呐开展满水条件下的主干功能性检测,通过

解译声呐的实测数据，完成包括沉积、障碍物、残墙坝根、树根在内的管内缺陷识别与统计。

3) 已发现缺陷的评级

由于满水干管检测目前尚处行业内首次实践，因此，本项目检测成果所发现的缺陷的划分将在现行技术规程的要求框架下合理调整，形成客观的评级成果。

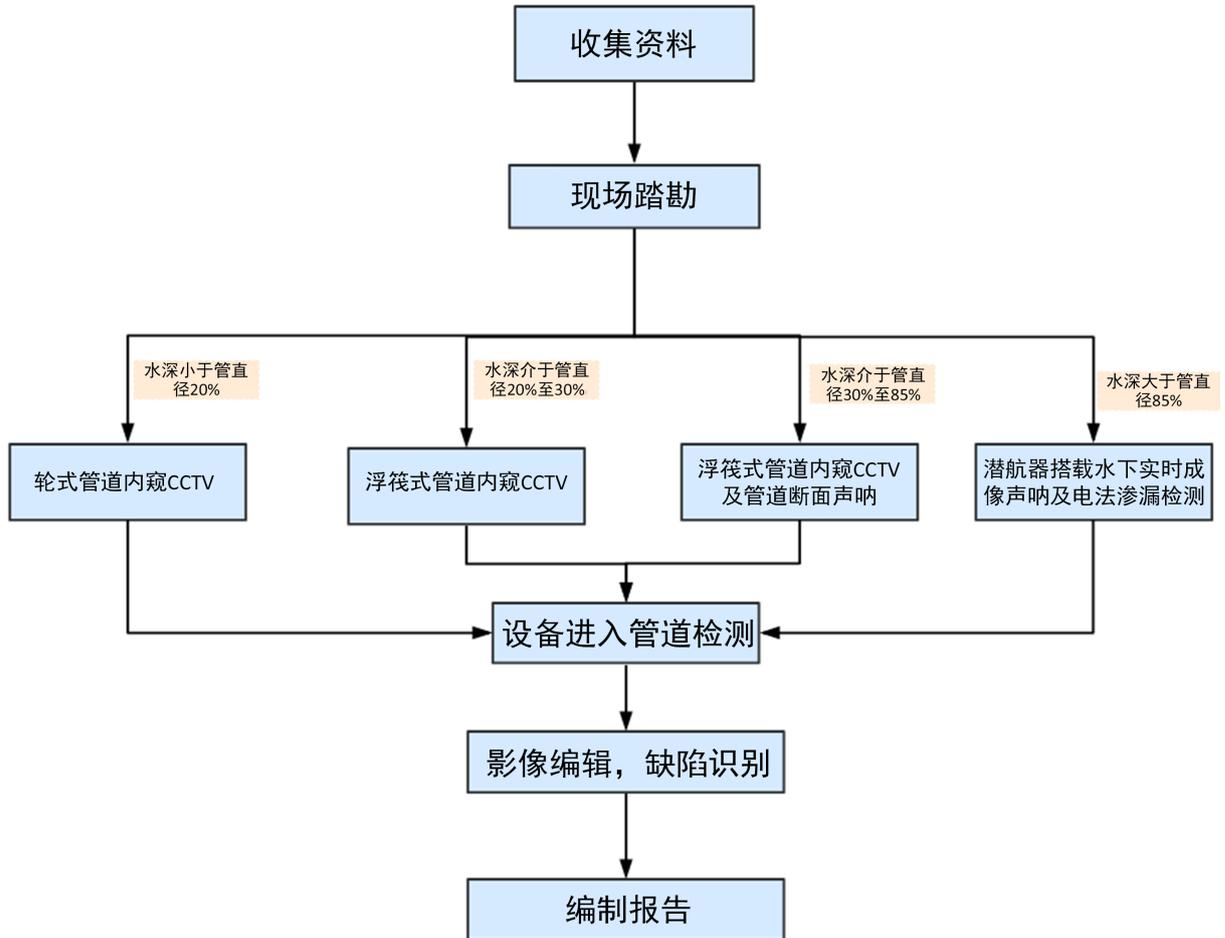


Figure 1. Roadmap of high water level underwater detection technology for municipal drainage pipelines
图 1. 市政排水管道高水位水下检测技术路线图

3. 水下检测设备

水下无人潜航器，是一种能够在水下环境中长时间作业的高科技装备，尤其是在潜水员无法承担的高强度水下作业、潜水员不能到达的深度和危险条件下更显现出其明显的优势。

系统主要包括了潜器单元、地面控制单元、脐带缆单元及吊放系统四部分。其中，潜器单元包括了高分辨率彩色摄像机、内置姿态传感器、推进器、照明灯等部件；地面控制系统包括了计算机控制系统、DV 录像系统等部件。

市政排水管道高水位水下检测选用便携型水下无人潜航器-BlueROV，为保证数据的同步及实效性，电子仓及通讯接口的通讯协议统一使用 RS 485 通讯协议。通过潜器的供电单元持续提供动力电源，地面控制单元对潜器集成的各项传感器参数进行监控、控制指令收发、检测数据上传与存储，从而完成水下检测方案的装备集成(如图 2 所示)。

二维实时成像声呐作为新引入管道内壁缺陷检测的一项技术，其原理是声呐系统通过向隧洞内壁表面激发声学脉冲，并接收来自目标的反射。市政排水管道高水位水下检测采用 TELEDYNE MARINE M900 型二维实时成像声呐，通过安装角度地调整及水下潜航器航线的布设，其反射影像能清晰分辨管节、结构缝等，地面监控系统显示实时声呐影像效果如图 3 所示。



Figure 2. Composition of high water level underwater detection equipment for municipal drainage pipelines

图 2. 市政排水管道高水位水下检测装备组成

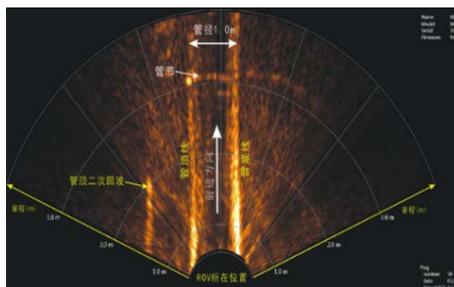


Figure 3. The effectiveness of underwater real-time imaging sonar for pipeline inner wall detection

图 3. 水下实时成像声呐用于管道内壁检测效果

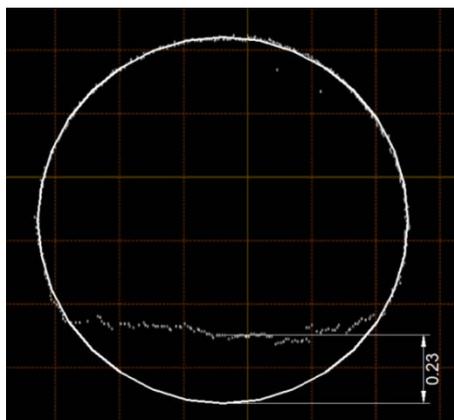


Figure 4. Schematic diagram of the effect of pipeline sonar on sediment thickness detection

图 4. 管道声呐用于沉积厚度检测效果示意图

管道声呐是将水下声学换能器浸入水中进行管道截面检测的一种水声学设备，声呐系统通过向隧洞内壁截面激发声学脉冲，并接收来自目标的反射，根据水声学原理来进行目标表面轮廓检测，可判读结构变形、淤积等，声呐影像效果如图 4 所示。

4. 现场作业重点

市政排水管道高水位水下检测技术的开展，应保证“水下无人潜航器”在井内进出、管内行进的通行空间，管内除去沉积的影响、剩余通行空间高度应不小于 40 cm，井内若存在板结浮油块、杂物等浮渣应清捞，检测前应根据待检测管段的现状实际情况采取相应的辅助措施。若针对局部管段存在进出空间过长、检查井一半被砌墙压盖、施工覆盖、打不开、淤堵厚重通行空间受限等情况，需结合现场实际情况列入困难管段项，进行上报。

在每段管道检测前，应编写管段信息。管道检测影像记录应连续，完整，检测工作白板上应含有“工程名称、起始井及终止井编号、管径、管道材质、检测时间”等内容。若管段检测中止，应注明无法完成检测的原因。

对各种缺陷、特殊结构和检测状况应作详细判读、量测和记录，并按格式填写检测结果。

5. 典型应用案例

将市政排水管道高水位水下检测应用于深圳某某污水处理厂末端干管检测工作，以期了解排水管网的运行现状，保障水质净化厂的安全稳定运行。某路段满水干管通过管道断面声呐与二维实时成像声呐发现了错口缺陷，经检测，相接的两个管口偏差为管壁厚度的 1/2~1 之间，环向 1011，错口 2 级（见图 5）。

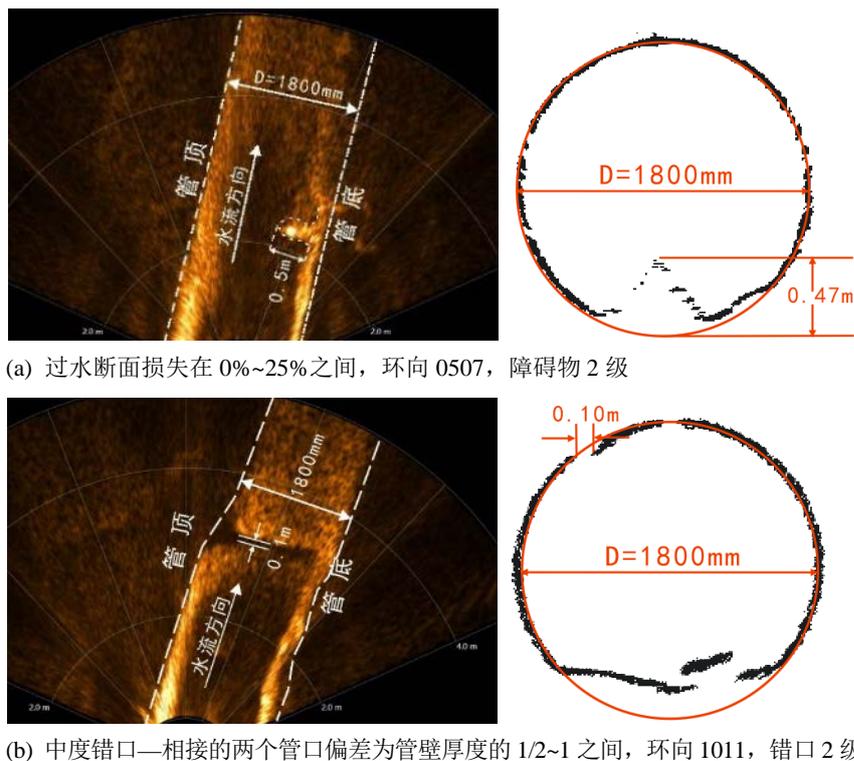


Figure 5. Typical defect image results of sonar detection for full water pipeline in a certain road section

图 5. 某路段满水管道声呐检测典型缺陷影像成果图

为评价市政排水管道高水位水下检测的适用性及有效性,开展了排水管网封堵导排后光学 CCTV 内窥检测,作业成果比对如图 6 所示,经检测,光学内窥检测成果与市政排水管道高水位水下检测成果,在识别的缺陷位置、类型及级别均吻合,检测一致性良好;市政排水管道高水位水下检测能够对管内存在的主要结构性缺陷(破损、变形、错口、支管暗接、异物穿入、脱节、起伏)、功能性缺陷(结垢、沉积、障碍物、树根、残墙坝根)、进行识别,最小目标分辨能力为 $\pm 0.05\text{ mm}$,理论误差为 0.02 m 。

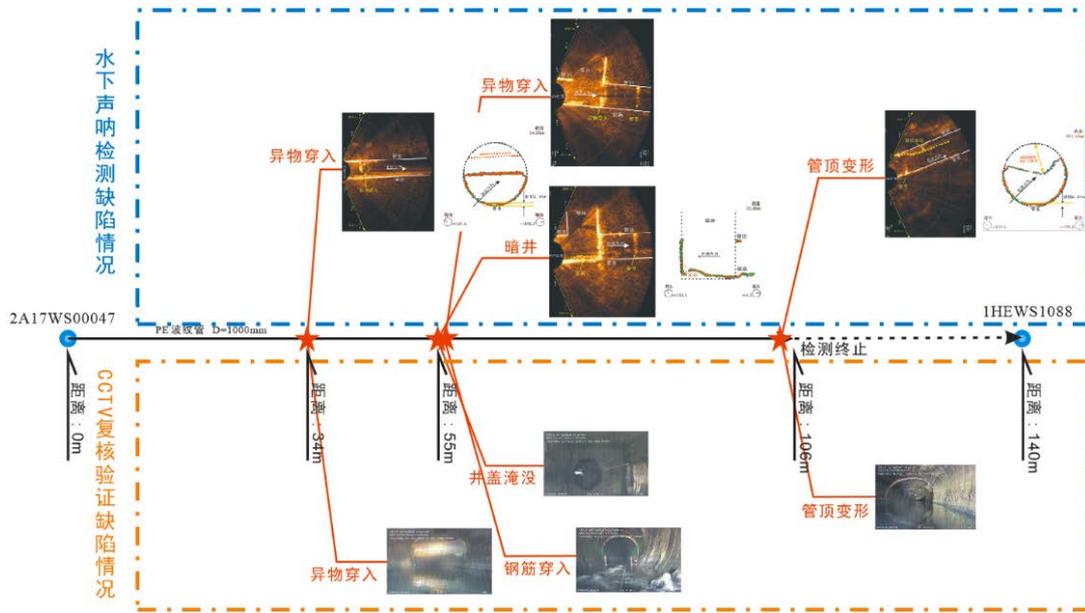


Figure 6. Comparison of optical endoscopy detection results and high water level underwater detection results of municipal drainage pipelines

图 6. 光学内窥检测成果与市政排水管道高水位水下检测成果影像对比图

6. 结论

市政排水管道高水位水下检测技术,主要针对高水位排水管道一般存在于市政污水主干管和临河的沿河截污干管、过河管、倒虹吸管等无法有效降水或外水进入、拓扑关系异常、水流不畅的主干管、支干管,包括管道内缺陷检测、走向与联通关系检查、行洪与过流功能检查、运维设施地面探测等内容,不需要封堵倒排,节约时间及经济成本,优势明显。

采用多种、高效综合检测技术,获取高水位管道的管内结构体型、表观缺陷分布、地下空间分布现状,提高满水排水管道的安全运行管理效率,实现了市政排水管道高水位水下无人化、智能化检测,检测设备成本及人员技术水平要求较高。

参考文献

- [1] 唐建国. 城市黑臭河道整治排水口、管道及检查井治理技术指南[R]. 2017.
- [2] 李兰娟, 王守攻. 城市黑臭水体整治及城镇污水处理提质增效的江苏实践[C]//中国环境科学学会. 2020 中国环境科学学会科学技术年会论文集(第二卷). 2020: 3.
- [3] 郭翔. CCTV 管道检测在扬州污水提质增效行动中的应用[J]. 中国给水排水, 2020, 36(20): 67-70+76.
- [4] 李正雄, 齐鹏明, 杨明. 盘溪河流域市政排水管网溯源排查及内窥检测[J]. 广东水利水电, 2020(10): 100-104.
- [5] 王新妍. 城市排水管道缺陷检测方法与发展现状探析[J]. 铁道建筑技术, 2020(2): 50-53+58.