

电子内窥镜设备在隐蔽排水管道病害检测中的应用

袁 斌 陈海军 肖信培 许孟凯 靳杨生

中国兵器工业北方勘察设计研究院有限公司 广东 深圳 518000

摘 要：电子内窥镜设备融合多学科技术，凭借高精度成像、非破坏性检测、实时监测及数据可存储追溯等优势，应用于隐蔽排水管道病害检测。通过阐述其工作原理与特点，分析排水管道常见病害类型及成因，详细说明检测前准备、现场操作、数据处理的应用流程，揭示该设备能精准识别微小病害，避免传统检测的弊端，有效提升检测效率与准确性，为排水管道维护管理提供科学依据。

关键词：电子内窥镜设备；隐蔽排水管道；病害检测；应用

1 电子内窥镜设备概述

1.1 电子内窥镜设备的工作原理

电子内窥镜设备是融合了光学、电子学、机械学等多学科技术的精密仪器，其核心工作原理基于光电信号转换与图像传输技术。在设备前端，微型图像传感器（Charge-Coupled Device，简称CCD或互补金属氧化物半导体，Complementary Metal-Oxide-Semiconductor，简称CMOS）充当“眼睛”，负责捕捉管道内部的图像信息。当内窥镜被送入隐蔽排水管道后，管道内的光线透过镜头聚焦在图像传感器上，传感器将光信号转化为电信号。这些电信号会沿着电缆传输至控制主机，在主机内部，信号经过放大、滤波等预处理后，被送入图像处理器^[1]。图像处理器通过复杂的算法，将电信号还原成数字图像信号，并进行色彩校正、对比度增强等优化处理，最终在显示器上呈现出清晰、直观的管道内部画面。部分高端电子内窥镜还配备了辅助功能模块，如照明系统可根据管道内部环境自动调节亮度，确保图像清晰；角度调节装置能使镜头灵活转动，实现全方位观测。

1.2 电子内窥镜设备的特点

电子内窥镜设备具有诸多显著特点。首先是高分辨率成像，得益于先进的图像传感器与图像处理技术，它能够呈现出管道内部极其细微的结构特征和病害迹象，如微小裂缝宽度测量误差可控制在毫米级以内，为精准检测提供保障。其次，设备具备良好的柔韧性和可操作性，其镜身采用特殊材质制成，能适应隐蔽排水管道复杂的弯曲、狭窄环境，在检测过程中可灵活穿行，到达人工难以触及的区域。再者，电子内窥镜的功能扩展性强，可根据不同检测需求配备多种功能模块，如用于测量管道内部距离、面积的测量模块，以及用于检测有害气体浓度的气体检测模块等。另外，设备操作简便，经过简单培训的技术人员即可熟练掌握使用方法，大大提

高了检测工作的效率。

2 隐蔽排水管道病害类型

2.1 隐蔽排水管道常见病害类型

隐蔽排水管道在长期使用过程中，由于受到多种因素影响，会出现多种病害类型。管道腐蚀是常见病害之一，金属材质的排水管道在污水中的酸碱物质、微生物等作用下，会发生化学腐蚀和电化学腐蚀，导致管壁变薄、穿孔。管道堵塞也是频发问题，日常生活中的垃圾、油污，工业废水中的悬浮物等进入管道后，逐渐堆积，形成堵塞，影响排水通畅性，严重时会造成污水外溢^[2]。管道破裂同样不容忽视，由于地基沉降、外部荷载等原因，管道结构受到破坏，出现纵向、环向裂缝甚至断裂，不仅影响排水功能，还可能导致污水渗漏，污染周边土壤和地下水。管道错位、脱节也是常见病害，在管道施工过程中的误差、后期的不均匀沉降等因素作用下，管道接口处发生错位或脱节，使得水流不畅，同时也为地下水渗入和污水外渗创造了条件。

2.2 病害成因分析

隐蔽排水管道病害的成因复杂多样。从外部环境因素来看，城市建设的快速发展使得地下空间利用频繁，新的施工项目可能对原有排水管道造成机械损伤，如顶管施工、基坑开挖等，容易引起管道破裂、错位。土壤的物理化学性质也会对管道产生影响，土壤中的酸碱度、含水量、腐蚀性物质等会加速管道腐蚀。内部介质因素方面，排水管道内的污水成分复杂，含有大量的有机物、无机物、微生物等。其中，硫酸盐还原菌等微生物会在缺氧环境下将硫酸盐还原为硫化氢，硫化氢与水反应生成硫酸，对管道造成严重腐蚀。污水中的固体颗粒在流动过程中会对管壁产生冲刷磨损，尤其是在管道流速较快的部位，磨损更为严重。管道自身因素也不容忽视，管道材质的质量、施工质量等都会影响其使用寿

命。一些质量较差的管道，抗腐蚀、抗变形能力较弱，更容易出现病害。而在管道施工过程中，如果接口处理不当、地基处理不规范等，也会为后期病害的发生埋下隐患。

3 电子内窥镜设备在隐蔽排水管道病害检测中的应用流程

3.1 检测前准备

在使用电子内窥镜设备对隐蔽排水管道进行检测前，需要进行充分的准备工作。首先，要收集检测区域排水管道的相关资料，包括管道的设计图纸、施工记录、竣工资料等，了解管道的走向、管径、材质、埋深、连接方式等基本信息，以便制定合理的检测方案。其次，对检测设备进行全面检查和调试。检查电子内窥镜的镜头、照明系统、图像传感器、电缆等部件是否完好，确保设备能够正常工作。调试设备的图像清晰度、亮度、对比度等参数，使其达到最佳工作状态。同时，准备好辅助设备，如绞车、爬行器等，用于将内窥镜送入管道内部，并确保这些设备运行正常^[3]。另外，还需要对检测人员进行安全培训，使其了解检测过程中的安全注意事项，如防止有害气体中毒、防止高空坠落等。在进入检测现场前，要对管道内的有害气体进行检测，如硫化氢、甲烷等，如果气体浓度超标，需采取通风等措施，确保检测人员的人身安全。最后，根据检测方案，合理安排检测时间和人员分工，确保检测工作有序进行。

3.2 现场检测操作

现场检测操作时，首先将电子内窥镜与爬行器连接好，通过绞车将其缓缓放入排水管道检测起始端。爬行器在管道内按照预设速度前进，过程中，操作人员要密切关注显示器上的图像，实时调整镜头角度和照明亮度，确保能够清晰观察管道内部各个部位的情况。当发现管道存在疑似病害区域时，要控制爬行器暂停，对病害部位进行近距离、多角度拍摄，记录清晰的图像和视频资料。利用设备的测量功能，对病害的尺寸，如裂缝长度、管道堵塞程度等进行测量和记录。在检测过程中，要严格按照检测方案规定的路线和范围进行，确保不遗漏任何重要部位。对于一些复杂的管道结构，如三通、四通、检查井等，要进行重点检测，仔细观察接口处是否存在错位、渗漏等问题。在检测过程中，要及时记录检测过程中的相关信息，如检测时间、检测位置、发现的病害情况等，为后续的数据处理和分析提供详细资料。如果在检测过程中遇到设备故障等突发情况，要及时停止检测，采取相应的维修措施，确保检测工作能够顺利完成。

3.3 检测后数据处理与分析

检测完成后，需要对采集到的数据进行处理和分析。首先，将检测过程中拍摄的图像和视频资料从设备中导出，存储到专用的计算机中。利用专业的图像处理软件，对图像进行增强、降噪等处理，进一步提高图像的清晰度和可读性。然后，根据检测记录和处理后的图像、视频资料，对管道内部的病害进行识别和分类。通过分析图像中病害的特征，如裂缝的形态、堵塞物的类型等，确定病害的具体类型和严重程度。利用设备测量得到的数据，结合专业的评估标准，对管道的运行状况进行综合评估，判断管道是否需要维修、修复或更换。最后，根据数据分析结果，编制详细的检测报告。报告内容应包括检测概况、检测方法、发现的病害情况、病害成因分析、管道运行状况评估结果以及维修建议等。检测报告要以图文并茂的形式呈现，便于相关人员直观了解管道的实际情况，为后续的管道维护和管理提供科学依据。

4 电子内窥镜设备在隐蔽排水管道病害检测中的应用优势

4.1 高精度检测

电子内窥镜设备的高精度检测能力，源于其搭载的尖端成像技术与精密算法。以某城市地下排水管网检测项目为例，检测团队使用配备百万像素CMOS图像传感器的电子内窥镜，在直径仅300毫米的PVC管道中，成功捕捉到宽度仅0.3毫米的细微裂缝，以及附着在管壁上面积不足1平方厘米的腐蚀斑点。设备内置的图像处理系统，通过边缘检测、对比度增强等算法，将原始图像的细节清晰度提升40%以上，配合亚像素级测量技术，对裂缝长度、腐蚀深度的测量误差可控制在 ± 0.1 毫米以内。相较于传统的人工目视检测或声波探测，电子内窥镜突破了检测精度的物理极限。传统方法在面对复杂弯道或昏暗环境时，常因视角受限、光线不足导致病害漏检，而电子内窥镜通过360度旋转镜头与智能补光系统，可实现管道内壁无死角扫描。某老旧小区改造项目中，电子内窥镜发现传统检测遗漏的多处管道接口渗漏点，为后续精准维修提供了关键依据，避免因盲目开挖造成的资源浪费，检测效率较传统方式提升60%以上。

4.2 非破坏性检测

电子内窥镜的非破坏性检测特性，从根本上革新了隐蔽排水管道的检测模式。在城市核心区域的检测作业中，传统开挖检测需封闭道路、迁移绿化，不仅施工周期长达数周，还会引发交通拥堵与居民投诉。而电子内窥镜仅需通过直径450毫米的检查井，就能将检测设备送

入百米长的管道，全程不破坏路面结构与周边环境。这种检测方式对管道结构起到了“零损伤”保护作用。传统检测中的机械探测设备，如探地雷达或声波探测仪，虽无需开挖，但在数据采集过程中可能因高频震动对老化管道造成二次损伤。电子内窥镜的柔性镜身采用医用级硅胶材质，在管道内移动时可自动适应弯曲角度，配合低功率驱动系统，行进过程对管壁产生的压力不足5牛顿，有效避免检测过程中管道破裂或脱节风险，为老旧管网的安全检测提供了可靠保障。

4.3 实时监测

电子内窥镜的实时监测功能，构建起管道病害检测的“现场指挥中心”。在某市政排水管网汛期检测中，检测人员通过实时传输的高清画面，发现雨水管道内漂浮物聚集导致流速骤降，立即通过控制台远程调整爬行器速度，从常规的0.1米/秒降至0.05米/秒，并启用局部放大功能，精准定位到直径20厘米的编织袋缠绕在管道接口处。这种即时反馈机制，使检测效率提升3倍，避免了因堵塞加剧引发的城市内涝风险。设备配备的5G实时传输模块，支持检测现场与指挥中心的跨区域协同作业。在大型地下综合管廊检测中，技术专家可通过云端平台同步查看检测画面，对疑似病害区域进行实时标注与分析。某跨海隧道排水系统检测时，工程师团队借助实时监测功能，在10分钟内完成跨海段复杂管道的多部门联合会诊，通过调整检测角度与参数，快速确认隧道底部管道的渗漏位置，为后续应急抢修争取宝贵时间，充分体现实时监测在重大工程中的关键价值。

4.4 数据可存储与追溯

电子内窥镜构建的全周期数据管理体系，为排水管道的智慧化运维提供了核心支撑。该体系以先进的物联网技术为基础，结合云计算与大数据分析能力，将电子内窥镜采集的超高清图像、三维点云数据、环境参数等信息进行整合与存储，形成完整的管道数字档案。以某特大型城市为例，其地下管网数字孪生系统借助电子内窥镜，对全市1200公里排水管道进行1:1数字化建模，不仅精准还原了管道的空间位置与结构形态，还能通过定期检测数据的叠加比对，运用动态分析模型自动生成

管道健康指数^[4]。在某化工园区附近，系统通过对连续18个月检测数据的深度挖掘，精准预测出管道腐蚀速率的异常变化，提前3个月启动预防性维护，成功避免了因管道穿孔导致的有毒有害废水泄漏事故，直接减少经济损失超千万元，同时有效保护了周边生态环境。数据追溯功能在解决管道纠纷问题上发挥着关键作用。在某新建小区与市政管网衔接争议中，双方就管道接口的施工责任存在分歧。通过调取3年前的电子内窥镜检测档案，其中包含的高清图像与精确测量数据，清晰呈现出管道接口的原始状态，结合当前检测数据的三维对比分析，利用数字孪生系统的仿真模拟功能，科学判定出因后期施工造成的管道错位责任归属，为纠纷处理提供了客观、权威的证据。存储的检测数据还支持AI智能分析，某智能运维平台通过对5万组历史图像的深度学习，构建了基于卷积神经网络（CNN）的病害识别模型，可自动识别95%以上的常见病害类型，如管道裂缝、腐蚀、堵塞等，且预测准确率达88%。该平台还能根据病害发展趋势，智能生成维护方案，推动管道运维从被动维修向主动防控的模式转变，显著提升城市排水系统的管理效率与可靠性。

结束语

电子内窥镜设备在隐蔽排水管道病害检测中展现出显著的技术优势与应用价值，革新了传统检测模式，实现了对管道病害的精准检测与高效管理。随着技术的不断进步，其在检测精度、功能集成等方面将持续优化。未来，电子内窥镜有望与更多先进技术融合，为隐蔽排水管道的全生命周期管理提供更智能、更可靠的解决方案，助力城市排水系统的安全稳定运行。

参考文献

- [1]张仕奇.电子内窥镜设备在隐蔽排水管道病害检测中的应用[J].山西科技,2021,33(3):126-128,131.
- [2]杨雷,何辉.内窥检测与物探技术在排水设施管网排查中的应用[J].能源与环保,2022,44(12):113-118+124.
- [3]李顺安,李婷,温慧峰,陶焕壮.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.
- [4]房宣臣.市政道路现状排水管道清淤修复技术研究[J].铁道建筑技术,2022(10):163-166+192.