

内窥检测技术

杨 林

(广州市市政工程设计研究总院有限公司, 广东 广州 510060)

摘 要: 针对现有管道检测技术局限性研发了一种可用于在运行管道的检测技术, 该技术包含光学成像和声纳成像, 光学成像含前置摄像头, 声纳成像含环向、前置高分辨率声纳探头。可用于满水、低能见度的管道内窥成像, 管道能见度较高时可同时配合使用光学摄像头成像, 能见度较低时用声纳摄像头成像, 既能检测管道的功能性病害, 又能检测结构性病害, 分辨率可达到毫米级, 自带悬浮和潜行动力装置, 适应多种复杂的管道环境。该技术极大地弥补了用常规方法检测在运行管道中的不足。

关键词: 管道检测; 在运行管道; 内窥成像。

中图分类号: TU992.23

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)08-0390-04

Endoscopic Detection Technology

YANG Lin

(Guangzhou Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd. Guangzhou 510060, China)

Abstract: A detection technology that can be used for operating pipelines has been developed to address the limitations of existing pipeline detection technologies. This technology includes optical imaging and sonar imaging. Optical imaging includes a front facing camera, while sonar imaging includes a circumferential and front facing high-resolution sonar probe, which can be used for endoscopic imaging of pipelines with full water and low visibility. When the visibility of the pipeline is high, optical cameras can be used in conjunction for imaging, while sonar cameras can be used for imaging when the visibility is low. The technology can detect both functional and structural defects in pipelines. The resolution ratio can be up to millimeters. The technology is equipped with suspension and stealth power devices, which is suitable for various complex pipeline environments. This technology greatly makes up for the deficiencies of conventional methods in detecting operating pipelines.

Keywords: pipeline detection; operating pipeline; endoscopic imaging

0 引 言

近年来,随着我国城镇化规模不断扩大,基础设施建设也得到飞速发展,在地下排水管网建设方面取得了极大的进步。排水管网深埋地下承担着整座城市的排污排水重任,一旦出现问题,轻则排水不畅、淤积,重则内涝、路面塌陷等危害。由于管网建设多为隐蔽工程,病害不易探查,且在早期病害表现并不明显,因此常常被忽视,而当危害开始显现,地下管道的情况已不容乐观。

因此,对地下管道的检测探测变得尤为重要,包括对新建管道的验收检测及在运行管道的健康状况的检测。

本文主要探讨一种新的水下检测技术手段。

1 目前常用的检测技术手段

行业标准《城镇排水管道检测与评估技术规程》(CJJ 181—2012)规定了4种检测检查方法分别为电视检测、声纳检测、管道潜望镜检测、传统方法检查。这4种方法分别用于不同场景(条件成立时可多种同时使用),各有优点,也各自有其局限性。

1.1 电视检测CCTV(Closed Circuit television, CCTV)与传统的管道检查方法相比的优点以及局限性

优点: 不需要人员直接进入管道,整个过程在地面操作完成,避免了可能发生的人身意外事故;成像清楚、位置准确,能以更快的速度和更高的精度发现管内存在的问题,找出问题的根源,大幅缩短排除故障时间;为修复、疏通、清洗管道方案的确定提供可靠准确的依据,是科学而有效的方法。

缺点: 由于其工作原理是依靠小型机器人在管道中爬行并有光学摄像头成像,因此要求管道不能

收稿日期: 2024-10-18

作者简介: 杨林(1976—), 男, 工学学士, 高级工程师, 从事道路、给排水检测工作。

有过深的积水和淤泥(一般不超 5 cm);一般用于新建管道,用于运行管道比较困难;设备属于电子设备,长期在潮湿、腐蚀污浊的环境中易发生故障。

1.2 其他几种常用检测方法的优缺点

1.2.1 声纳检测

优点:适用于运行中的满水管道,可快速形成管道断面轮廓图;

缺点:检测精度不高,不能作为结构性缺陷的最终判断依据。

1.2.2 管道潜望镜检测

优点:可快速检测不超半管水的管道。

缺点:检测精度不高,仅能作为初步评定依据。

1.2.3 传统方法检查

优点:可快速检查管道部分病害。

缺点:安全性差、检测精度不高,可靠性差,不能作为评定依据。

2 一种适用于在运行满水的管道检测技术(潜水机器人水下成像技术)

如前文所述,目前常规管道检测技术运用均存在一定的局限性;尤其是当管道水位较高或充满水的情况下要么检测比较困难、要么检测结果精度低难以准确评定。

针对这种情况,经多年不断研究、实践,并结合工程实际与相关科技公司合作,研发了一种可以应用于在运行管道的检测技术。该技术不仅适用于高水位管道,而且精度高,可以准确判断各种病害。下面详细做一下介绍。

2.1 工作原理

管道中充满水或水位较高时,因水多为浑浊状态,传统的水下光学成像已极为困难,因此需要一种在该状况下可在管道中潜行并清晰成像的设备。

水下潜行设备可采用小型潜水艇,水下成像设备可采用声学成像仪(声纳)。其中,声纳包含 2 种,一种前置声纳可清晰探测前方物体并成像;另一种环向探测声纳,探测管道断面以弥补前置声纳的不足。

经与国内外多家设备厂商联系,并实地考察,本文找到了符合检测要求的潜水设备和声学成像设备,并且可以组合。

2.2 设备系统

2.2.1 系统构成

该系统由水下机器人(江豚 ROV,以下称 ROV)、成像声纳、缆线及接插件、控制箱和计算机五部分组成。

2.2.2 ROV

ROV 是一款具有多自由度,能够搭载多种外部设备的小型远程操控水下机器人。江豚 ROV 在整个系统中担负着成像声纳载体的责任,负责搭载声纳到达需要检查的区域实施检测。ROV 本身也安装了前置光学摄像头(见图 1)。

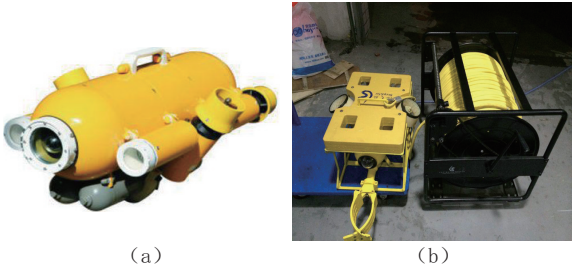


图 1 ROV 示例

ROV 是一种可在水中自由运动和悬停的水下设备,在本体上可搭载数种检测仪器,可一次性无回收地检测 500 m 或更长的距离,节省回收的时间。设备可在管道中自由前进和上下,速度均匀可控。可用光学成像和声学成像或者其他设备立体式地观测管道情况。

2.2.3 缆线及接插件

缆线是 ROV 及成像声纳用来操控和传递数据的介质,在缆线接入到 ROV 的位置便需要水密接插件来连接。在本文案例中,将对原有 ROV 脐带缆和水密插头进行设计修改,以满足将声纳的所需缆线与原有脐带缆整合到一起的需要。图 2 所示为江豚 ROV 原配缆线及缆轴。

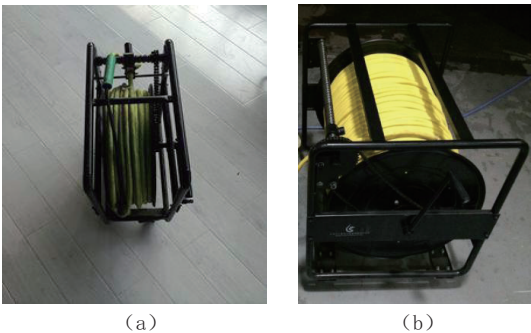


图 2 原配缆线及缆轴

2.2.4 控制箱

控制箱是操纵手根据视频图像或者声学图像的情况,进行人为操控的媒介,脱离控制箱,无法操控 ROV 工作(见图 3)。

2.2.5 前置声纳

高精二维图像声纳可以获得实时、高分辨率类视频的图像,即使在低能见度或零能见度条件下也可以使用,体积小、水中重量仅有 0.8 kg,便于布置和



图3 控制箱

调配浮力。具有 900 kHz 和 2.25 MHz 两种工作频率,随着频率的改变,理想观测范围可以从 2~60 m 调节为 0.5~5 m,适用于远距离观察和近距离观测 2 种工作需求。其分辨率最高可以达到 1 cm。更新率最高达到 15 Hz,可以在运动中使用,视角为 45°,能够满足在管道中进行观测的需求。作为前视声纳可以观测到前方障碍物便于操作 ROV 避障(见图 4、图 5)。



图4 劳雷的 blueview 声纳

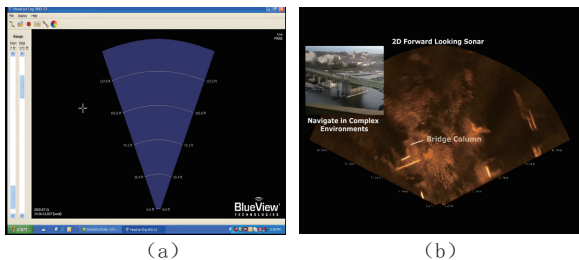


图5 劳雷的 blueview 声纳的控制界面和实际扫描界面

2.2.6 环向声纳

本案例采用目前市面上常用的 X4 管道剖面声纳成像仪器,体积小,水下重量为 0.6 kg,便于布置及调配浮力,可以获得观测面的轮廓,从而判断管道内是否存在淤积等病害,作用距离在 0.1~10 m,分辨率最小可以达到 7.5 mm,满足本案例需要。本声纳需要静止使用而不能在运动中使用,在不同的点进行管道扫描成像。该声纳不能作为前视声纳使用,可依靠摄像头作为辅助手段,观测前方障碍物避障(见图 6、图 7)。

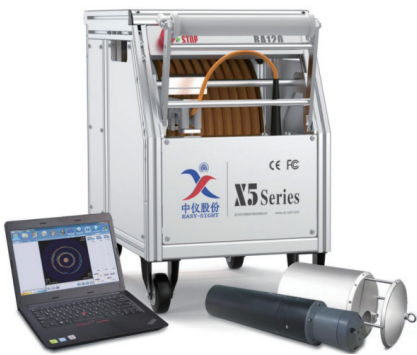


图6 X4管道剖面声纳成像仪器

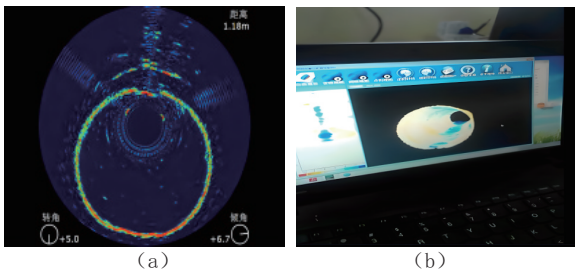


图7 环形声纳的界面和工作效果

2.3 方案设计

2.3.1 搭载方案

为了满足本案例使用江豚 ROV 搭载成像声纳进入管道中并在管道中,运动到达不同位置进行检测的需求,需要根据所选设备进行连接方式的设计,目前搭载声纳有两款,分别为 P900-2250-45 声纳和管道剖面 X4 声纳,前面搭载的是前置声纳,后面搭载的为环向声纳。为确保两款声纳有效且互不干扰,所以搭载在 ROV 前后端,设备总长为 1 m。ROV 还可根据管道情况加装轮子来适应管道情况。两款声纳与 ROV 连接示意图如图 8、图 9 所示。

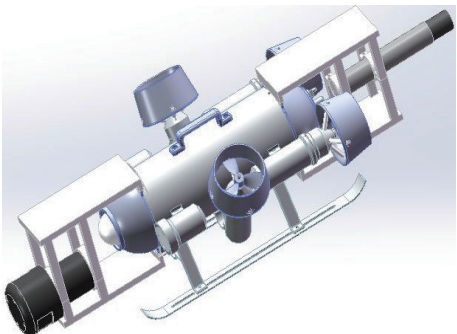


图8 声纳搭载示意图(左侧)

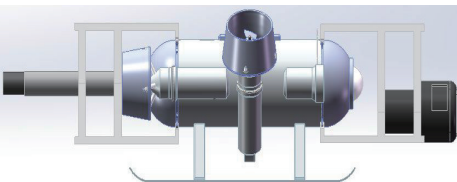


图9 声纳搭载示意图(右侧)

原有江豚 ROV 没有能够测算行驶距离的器件,不能满足该案例对于病害位置需要定位或者后期生成管道三维图像的需求。因此在本系统中加入传感器,通过电缆放出的传感器反馈给计算机来达到距离监控。电缆反馈传感器可以感应到电缆放出的长度,然后把信息传到计算机上,在计算机上可以实时监控长度和工程结束后信息可以叠加在声纳成像视频上,确保管道实时监控(见图 10)。



图 10 电缆反馈传感器

2.3.2 缆线及接插件的改造

由于 ROV 目前正在使用的脐带缆中线的种类及缆线芯数不能满足同时传输声纳数据和控制 ROV 的需要,因此我们要对脐带缆重新设计制作。根据所选设备不同的通信方式,对于缆线也有不同的改造方式。当声纳的通信方式为 RS485 时,需要在现有脐带缆的基础上增加两对双绞线,一对为成像声纳供电,一对用于传输声纳采集的数据。当声纳通信方式为以太网时,需要在现有脐带缆的基础上增加一根同轴缆和一对双绞线,同轴缆用于传输声纳数据,双绞线为声纳供电。

2.3.3 控制箱的改造

保留江豚 ROV 控制箱的原有功能不变,为了配合改造后的脐带缆使用,将原有控制箱与脐带缆连接的插头更换。控制箱接收并显示摄像头采集到的图像,连接手柄起到控制 ROV 运动的作用,对于声纳采集到的图像,控制箱不作处理,只起到转移的作用,用另外一根缆线,传输到下述计算机中使用声纳配套软件显示。

2.3.4 信号接收

将声纳配套软件安装于计算机中,通过与控制箱相连的电缆,接收声纳信号和位移数据,并通过配套软件处理,显示声学图像,设计上位机界面用来显示前进距离,记录管道编号、管径、病害位置等信息。方案一原理示意图见图 11。

2.3.5 工程实际使用与操作

ROV 搭载两款声纳后,下放到管道下,等 ROV 姿

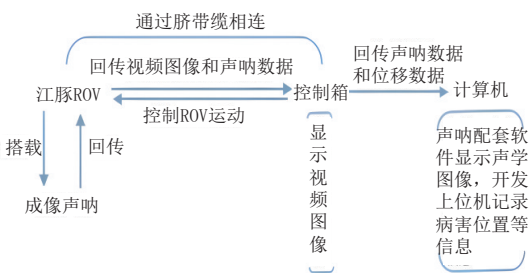


图 11 工作原理示意

态平稳打开仪器电源,ROV 以最低速慢慢前行(6 m/min)电缆跟随 ROV 慢慢释放。ROV 同时用摄像头、前置声纳、环形声纳观测管道内部情况,当遇到阻碍时前置声纳和摄像头起到光学与声学双向参考,使得对管道的沉积、凝结物和结构性病害有充分的了解。当遇阻后回收 ROV,使用计算机再根据环向声纳的三维成像再次确认管道情况。

图 12 所示为广州市南沙区某管渠声纳成像图。



图 12 操作显示界面

3 结 语

潜水机器人水下成像技术主要针对满水状态和 水位在一半以上的管道检测,成像精度高、防水性能 好、稳定性能较高,对于长距离管道有着搭载设备信 号不衰减的优势。结合了 CCTV、声纳等检测手段的 优势,同时也弥补了其中不足。

相信随着数字城市理念的不断推广和普及,作为 底部数据支撑的地下网管运行的检测监测也将得到 加强。同时此技术亦可用于其他水域的地形探测。

参考文献:

[1] CJJ 181—2012,城镇排水管道检测与评估技术规程[S].
[2] DB31/T444—2009,排水管道电视和声纳检测评估技术规程[S].
[3] GB 50268—2008,给水排水管道工程施工及验收规范[S].
[4] 杨康.排水管道内窥检测项目施工方案及效果评价研究例[J].城市建筑,2019,16(12):145-146.
[5] 王雪静.中山市排水管道内窥检测项目技术施工方案及效果评价[D].北京:华北电力大学,2014.
[6] 杨帆,湛贵辉.超声导波在管道检测中信息处理分析研究[J].仪器仪表用户,2012,19(1):55-57.