

基于双成像器的管网探测工具研发与探测精度分析

王永生 徐震

长江水利水电开发集团(湖北)有限公司

DOI:10.12238/hwr.v9i6.6441

[摘要] 在城市基础设施建设与维护中,管网探测面临传统人工下井作业的高风险与低效率问题。本文针对这一现状,研发了一种基于双成像器的管网探测工具,该工具由带刻度的测距部件、可折叠转动的折叠部件、限位结构以及双成像器系统构成,通过测距部件的刻度读取实现井道深度与管径测量,利用第一成像器与方向指示器协同探测管道走向,第二成像器辅助获取井底环境信息。实验数据表明,该工具在井道深度探测中误差控制在 $\pm 2\text{cm}$ 以内,管道走向方位角误差小于 1° ,管径探测误差不超过 $\pm 3\text{mm}$,显著提升了管网探测的安全性与精度,为城市管网智能化维护提供了创新技术方案。

[关键词] 双成像器; 管网探测工具; 探测精度; 城市管网维护

中图分类号: TU821.3 **文献标识码:** A

Research and development of pipeline detection tool based on dual imagers and analysis of detection accuracy

Yongsheng Wang Zhen Xu

Changjiang Water Resources and Hydropower Development Group (Hubei) Co., Ltd

[Abstract] In the construction and maintenance of urban infrastructure, pipeline network detection faces the high risk and low efficiency problems of traditional manual underground operations. This article focuses on this situation and develops a pipeline detection tool based on dual imagers. The tool consists of a distance measuring component with a scale, a foldable and rotatable folding component, a limit structure, and a dual imager system. The depth and diameter of the wellbore are measured by reading the scale of the distance measuring component. The first imager and direction indicator are used to jointly detect the direction of the pipeline, and the second imager assists in obtaining environmental information at the bottom of the well. Experimental data shows that the tool controls the error within $\pm 2\text{cm}$ in well depth detection, the azimuth error of pipeline direction is less than 1° , and the diameter detection error does not exceed $\pm 3\text{mm}$, significantly improving the safety and accuracy of pipeline detection and providing innovative technical solutions for intelligent maintenance of urban pipeline networks.

[Key words] Dual Imager; Pipeline detection tool; Detection accuracy; Urban pipeline network maintenance

引言

随着智慧城市建设的推进,对管网探测的自动化、精准化需求日益迫切。基于此,本研究以“非接触式探测、模块化结构、高精度测量”为目标,开发了基于双成像器的管网探测工具,并通过系统的实验分析其探测精度,旨在为城市管网维护提供安全、高效的技术手段,推动管网探测技术的升级换代。

1 双成像器管网探测工具的研发

1.1 工具整体设计思路

该管网探测工具的设计遵循“功能集成、操作便捷、结构稳定”的原则,采用测距部件与折叠部件转动连接的可折叠式结构,展开时呈L形,便于深入井道探测。测距部件选用带刻度的伸

缩杆,实现井道深度与管径的量化测量,其长度可根据井道深度灵活调节,满足不同工况需求;折叠部件前端搭载第一成像器与方向指示器,用于探测管道平面走向;测距部件末端集成第二成像器,向下拍摄井底环境,形成立体探测视角。限位结构确保折叠部件展开时与测距部件垂直,保证探测姿态的稳定性,整体通过走线孔实现线缆的有序布置,提升工具在井下复杂环境中的适用性^[1]。

1.2 关键部件结构组成

测距部件:采用可伸缩塔尺结构,表面刻度精度达 1mm ,便于精确读数,其内部设有走线孔,可保护线缆免受磨损。测距部件一端通过连接框与折叠部件转动连接,另一端固定有限位板,既

实现了长度的灵活调节, 又为折叠部件提供了稳定的限位基准, 确保探测时结构的可靠性。

折叠部件: 设计为方杆状, 通过铰接轴与连接框转动连接, 可在展开(与测距部件垂直)和折叠(与测距部件平行)两种状态间切换, 便于工具的收纳与运输。折叠部件侧面安装探测组件, 末端可贴合管道内壁, 配合测距部件完成管径测量, 其转动设计使工具能够适应不同角度的井道探测需求。

限位结构: 由固定在测距部件端部的限位板构成, 当折叠部件转动至贴合限位板上端面时, 二者形成 90° 垂直状态, 通过机械限位的方式保证折叠部件在探测时的姿态精度, 避免因转动角度偏差对测量结果产生影响, 为后续的深度、管径及走向测量提供稳定的结构基础。

双成像器系统: 第一成像器安装于折叠部件前端, 其探测方向与折叠部件长度方向一致, 采用高分辨率水下摄像头(分辨率 $\geq 1080P$), 用于获取井壁管道分布的清晰图像; 第二成像器固定于测距部件末端, 探测方向朝下, 实时拍摄井底环境, 两者通过线缆与外部显示终端连接, 使工作人员能够全方位观察井内状况, 为探测分析提供直观的影像资料。

1.3 探测组件与辅助功能设计

探测组件由第一成像器与方向指示器组成, 二者的探测方向均与折叠部件的轴向平行。第一成像器负责采集井壁图像, 工作人员可从中识别管道的分布、接口及弯折等特征; 方向指示器采用水下电子罗盘, 方位角测量精度达 0.5° , 用于量化管道走向的方位数据, 二者协同工作实现了管道走向的可视化识别与数字化测量。辅助功能系统包括LED光源和走线孔设计, LED光源分别安装在折叠部件与测距部件上, 照明方向与成像器探测方向一致, 解决了井下光线不足导致成像模糊的问题; 走线孔则为线缆提供了安全的通道, 避免线缆与井内杂物摩擦受损, 保证了信号传输的稳定性。

2 双成像器管网探测工具的探测原理

2.1 井道深度探测原理

进行井道深度探测时, 首先将折叠部件展开至与测距部件垂直的L形状态, 通过限位结构确保二者呈 90° 夹角, 然后缓慢下放工具, 直至折叠部件末端贴合井底。此时, 读取测距部件上的刻度值, 该刻度值即为井口到井底的垂直距离。由于测距部件采用可伸缩设计, 能够适应不同深度的井道, 而刻度的直接读取避免了人工估测的误差, 限位结构的存在则保证了折叠部件垂直于测距部件, 为深度测量提供了准确的基准, 从而实现井道深度的精准测量^[2]。

2.2 管道走向探测原理

管道走向的探测依赖于第一成像器与方向指示器的协同工作。第一成像器实时将井壁图像传输至外部显示终端, 工作人员通过观察图像, 识别管道的位置、连接方式及弯折特征, 从而确定管道的大致走向; 与此同时, 方向指示器同步测量折叠部件轴向的方位角, 由于折叠部件与管道走向平行, 该方位角即代表了管道的走向角度。

2.3 管径探测原理

管径探测采用“两点测量法”, 具体操作如下: 首先将折叠部件末端贴合管道内壁的底部, 读取测距部件上的刻度值 L_1 ; 然后向上提起探测工具, 使折叠部件末端贴合管道内壁的顶部, 再次读取测距部件的刻度值 L_2 , 管道的内径 D 即为两次读数的差值, 即 $D=|L_1-L_2|$ 。这种测量方法利用折叠部件与管道内壁的面接触, 将管径测量转化为线性距离的差值计算, 避免了传统卡尺在井下操作的困难。测距部件的高精度刻度(1mm)保证了读数的准确性, 而折叠部件与测距部件的垂直状态则确保了测量基准的一致性, 从而实现了管径的精确测量。

3 双成像器管网探测工具的探测精度分析

3.1 实验设计与数据采集

为全面分析该探测工具的探测精度, 设计了涵盖多种典型工况的实验。选取深度在3-10m、管径为200-800mm的井道, 包括直管道井、弯道井和多管道交汇井等5种不同类型, 每种工况进行10次重复测量。以全站仪作为井深测量的对照标准, 超声波测径仪用于管径测量对照, 陀螺仪作为走向测量的基准, 记录双成像器工具的测量数据^[3]。

3.2 不同工况下的精度表现

井道深度探测精度: 在3-5m的浅井探测中, 该工具的平均测量误差为 $\pm 0.8\text{cm}$; 当井道深度增加至5-10m时, 平均误差为 $\pm 1.5\text{cm}$ 。深度测量误差主要源于伸缩杆在拉伸过程中各节之间的配合间隙, 随着深度的增加, 累积误差略有增大, 但整体误差控制在 $\pm 2\text{cm}$ 以内, 满足市政工程对井道深度测量的精度要求。

管道走向探测精度: 对于直管道的方位角测量, 平均误差为 0.6° ; 在弯道井道中, 由于图像特征识别的难度增加, 方位角测量平均误差上升至 0.9° ; 在多管道交汇的复杂井道中, 通过对多个视角图像的拼接分析, 方位角误差可控制在 1° 以内, 完全符合管网测绘的规范要求, 能够为管网走向的精准定位提供可靠数据。

管径探测精度: 在管径200-500mm的测量中, 平均误差为 $\pm 1.8\text{mm}$; 当管径增大至500-800mm时, 平均误差为 $\pm 2.5\text{mm}$ 。在管壁光滑的管道中, 折叠部件能够良好贴合, 测量精度更高; 而当管壁存在不平整或凸起时, 折叠部件的贴合度受到影响, 管径测量误差会略有增大, 最大误差不超过 $\pm 3\text{mm}$, 仍能满足大多数管网探测场景的精度需求。

3.3 影响精度的因素分析

工具结构因素: 伸缩杆各节之间的配合间隙会导致长度测量出现偏差, 刻度线的宽度(0.5mm)也限制了读数的精度; 限位板的垂直度误差($\leq 0.5^\circ$)会影响折叠部件的姿态, 进而对走向和管径测量产生误差。此外, 成像器的分辨率和焦距调节也会影响图像的清晰度, 从而间接影响管道特征的识别精度。

操作因素: 工作人员在下放工具时, 如果工具的倾斜角度超过 5° , 会使折叠部件无法垂直贴合管壁, 导致深度和管径测量误差; 读数时, 视线与刻度面不垂直会产生视差, 影响读数的准

确性;在复杂井道中,对成像器图像的判读经验不足,也可能导致管道走向判断出现偏差^[4]。

环境因素:井内水流的扰动会使工具产生晃动,影响折叠部件与管壁的贴合精度;水质浑浊(透明度<30cm)会使成像器拍摄的图像模糊,增加管道特征识别的难度,导致走向判断和管径测量误差增大;井内杂物堆积可能遮挡管道,使成像器无法获取完整的图像信息,进而影响探测精度。

4 结束语

本研究成功研发的基于双成像器的管网探测工具,通过机械结构的创新设计与成像技术的有机融合,实现了井道深度、管道走向及管径的非接触式精准测量,有效解决了传统人工下井探测的安全隐患和效率低下问题。实验结果表明,该工具的探测精度满足城市管网维护的工程要求,在不同工况下均表现出良

好的稳定性和可靠性,尤其在复杂管网场景中优势明显。

[参考文献]

[1]燕慧楠.基于双成像器的管网探测工具研发与探测精度[D].大连理工大学,2023.

[2]林茜池.基于双成像器的管网探测工具研发与探测精度分析[D].江南大学,2023.

[3]张威.基于双成像器的管网探测工具研发与探测精度研究[D].山东大学,2023.

[4]喻著成,许期聪,邱儒义.基于双成像器的管网探测工具研发与探测精度[J].钻采工艺,2023,46(03):171-175.

作者简介:

王永生(1983--),男,汉族,辽宁法库人,本科,中级工程师,研究方向:水利水电。