

地下管线探测新技术应用研究

宋 健

(西安大地测绘股份有限公司, 陕西 西安 710199)

摘 要: 随着城市建设日新月异, 被誉为城市生命线的市政地下管网越来越受到人们重视, 新方法的使用、新设备的投入, 不断促进城市地下管线探测技术进步。通过将带信号源的传感器(探棒)置入目标管线, 结合地面导向仪接收与分析信号, 实现了管线的精准定位与埋深测量。对比分析了导向仪定位技术与常规管线探测技术的优缺点, 提出了适用于非金属管道的高效探测方案, 并引用实际工程案例验证了该方法的高精度与可靠性。结果表明导向定位技术有效弥补了传统方法在非金属管道探测中的不足, 具有广阔的推广应用前景。

关键词: 非金属管道; 导向; 地下管线探测; 定位

中图分类号: TU990.3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)06-0433-04

Research on the Application of New Technologies in Underground Pipeline Detection

SONG Jian

(Xi'an Dadi Surveying and Mapping Co., Ltd., Xi'an 710199, China)

Abstract: With the rapid development of urban construction, the municipal underground pipeline network, known as the lifeline of the city, has received increasing attention. Therefore, the use of new methods and the investment in new equipment have become a vital force in urban underground pipeline detection. By placing sensors (probes) with signal sources into the target pipeline and combining with ground-based guidance instruments to receive and analyze signals, precise positioning and burial depth measurement of pipelines are achieved. This paper compares and analyzes the advantages and disadvantages of guidance instrument positioning technology and conventional pipeline detection technology, proposes an efficient detection scheme suitable for non-metallic pipelines, and verifies the high precision and reliability of this method through practical engineering cases. The results show that guidance instrument positioning technology effectively compensates for the shortcomings of traditional methods in non-metallic pipeline detection and has broad prospects for promotion and application.

Keywords: non-metallic pipeline; guidance; underground pipeline detection; location

0 引 言

城市地下管线作为城市运行的“生命线”, 在城市基础设施中具有举足轻重的地位。随着城市化进程的加快, 地下管线数量和密度不断增加, 如何高效、准确地掌握地下管线的空间分布信息, 成为城市规划、建设与运维管理中的关键问题。传统的管线探测方法在应对复杂环境、非金属管道等方面存在一定局限。近年来, 导向仪定位技术作为一种新兴的探测手段, 在提高探测精度、拓展适用范围等方面展现出独特优势。本文结合实际工程经验, 深入探讨导向仪在管线探测业务中的应用流程及技术要

点, 以为行业技术进步提供参考。

1 导向仪定位技术

导向仪定位技术是一种基于电磁场主动发射与空间接收的地下管线定位方法, 源自非开挖导向钻进工程中的定向控制技术。如图1所示, 其核心原理是将带有信号源的传感器(探棒)通过管道开口置入待测目标管线内部, 传感器持续发射特定频率的交变磁场信号。地面上的导向仪(接收器)能够精准捕捉并解析该磁场信号的水平分量与强度变化。

信号的空间分布与管道位置、埋深密切相关, 通过对信号强度、相位、方向等参数的实时分析, 结合仪器内置的空间定位算法, 可准确反映管线的三维空间信息。现代导向仪设备通常集成高灵敏度磁场传感器、数字信号处理单元及多频率选择功能, 能够在复

收稿日期: 2026-01-07

作者简介: 宋健(1975—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事工程测量、地下管线探测工作。

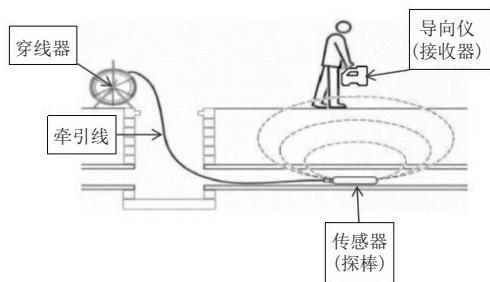


图1 导向仪定位技术工作原理图

杂城市环境下有效过滤背景噪声,提高定位精度。

此外,导向仪定位技术可与GNSS、全站仪等传统测量设备协同工作,实现管线数据的空间坐标转换与成果自动化生成,为城市地下空间信息化管理提供技术支撑。

2 与常规技术对比分析

城市地下管线探测常用技术主要包括电磁感应法、地质雷达法和陀螺仪测量法等。各类技术在实际应用中存在明显差异。

2.1 电磁感应法

适用于金属管线和带金属示踪线的非金属管道,通过激励电流在管道内产生磁场,地面接收器检测磁场变化实现定位。优点是操作简便、成本低,但受周边金属、管道材质、电磁干扰影响较大,且对无金属成分的管道探测效果较差。

2.2 地质雷达法

利用高频电磁波探测地下结构,可实现管线及障碍物的二维、三维成像。优点是探测范围广,能穿透多种介质,但对高湿度、强干扰环境适应性不足,分辨率受限制,且数据解译复杂。

2.3 陀螺仪测量法

主要用于管道内部姿态测量和长距离定向,适合直线管道或顶管工程,但无法实现管道精确空间定位,且设备成本高、操作繁琐。

导向仪定位技术与上述方法相比,具有如下优势:

(1)主动信号源,抗干扰能力强,适用于非金属管道的高精度定位;

(2)能在复杂环境下实现连续、实时的空间定位和埋深测量;

(3)不依赖管道本体材质,突破了传统方法对金属成分的依赖;

(4)可与数字测绘技术无缝集成,成果加工自动化程度高;

(5)导向仪技术也有不足,如需管道开口、对金属管道信号屏蔽问题尚未完全解决,设备成本和操作技术门槛略高于传统方法。

3 技术优势与适用范围

3.1 技术优势

导向仪定位技术可广泛应用于排水管道、电力通讯顶管等非金属管线探测工程。其主要优势包括:

(1)探测精度高,连续性好,探测深度大,受电磁干扰影响小;

(2)能有效解决非金属管线无法准确定位、定深的行业难题。

3.2 适用范围

(1)适用于一端开口、内部可通行的管道;

(2)但也存在如下局限:仅适用于非金属管线,金属管道会屏蔽信号,影响探测效果;管道必须有开口且内部畅通,需配合穿线器使用,操作条件有限。

以美国DCI公司(Digital Control Incorporated)生产的猎鹰F1现有设备技术手段为例,其产品接收器(接收机)性能为:接收频率为4.5/45.0 kHz,数据量程为42.7 m,深度范围为30.5 m,工作温度为-20~60℃,精度为±5%(绝对精度);传感器(探棒)性能为:传感频率为4.5/45.0 kHz,倾角分辨率±0.1%,数据量程42.7 m,深度范围30.5 m,长度×直径(38.1 cm×3.175 cm),型号SED,工作温度为-20~60℃。基本上能满足国内大部分地区管道探测现场的生产应用。

4 工作流程及操作细节

导向仪定位技术的探测流程主要包括以下步骤。

(1)资料收集与分析:收集目标管线设计图、竣工图、已有控制点成果及地形图,了解管线分布和埋设情况。

(2)现场踏勘:实地考察目标管线及周边环境,确定可用的管道开口和井位,记录管径、材质、淤积情况等信息。

(3)仪器校准:选取干扰小的场地,完成导向仪与探棒的频率配对与校准,确保测量精度。

(4)技术方案编制:根据现场条件和资料分析,制定详细的作业方案和安全措施。

(5)施测前准备:准备合适长度的穿线器,清理管道内部淤积,确保探棒可顺利通过。

(6)探测与测量:将探棒置于穿线器头部,密封防水,沿管道牵引前进,地面导向仪同步跟踪接收信号,实时记录管线走向和埋深数据。

(7)数据采集与处理:将探测数据导入专用软件,自动融合处理,生成管线平面图、埋深表等成果文件。

(8)质量分析与复核:通过重复测量、开挖验证等方式,确保数据准确性和成果质量。

导向仪定位技术探测管道工作流程如图2所示。

5 数据处理与质量控制

数据处理与质量控制是确保管线探测成果准确性和可靠性的关键环节。导向仪定位技术的数据处理流程主要包括信号数据采集、空间坐标转换、埋深计算、数据融合及成果输出等步骤。

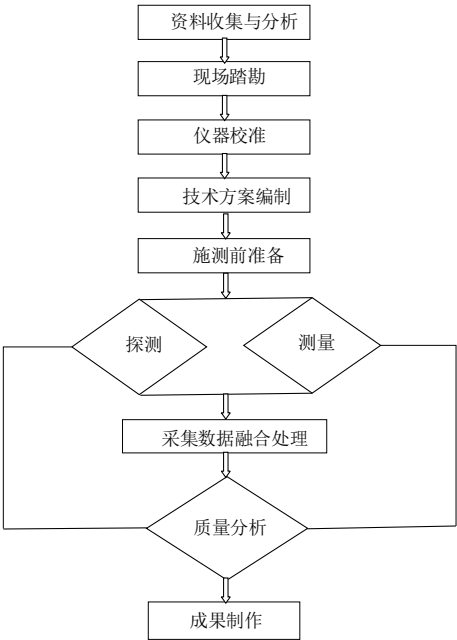


图2 导向仪定位技术探测管道工作流程图

5.1 数据采集

现场作业中,导向仪实时记录传感器信号强度、方向、空间位置等原始数据。为提高数据质量,需根据管道长度、复杂程度合理设置采样间隔与频率。

5.2 空间坐标转换

将导向仪测得的相对位置数据通过控制点或GNSS坐标进行转换,实现与城市地理信息系统(GIS)空间数据的对接。

5.3 埋深计算

通过信号强度与仪器高度差计算管道埋深,结合多点测量与平均值处理,提升埋深测量精度。

5.4 数据融合

采用专业软件对探测数据与测量数据进行自动

融合,生成管线走向图、埋深表、数据成果库等标准成果。

5.5 质量控制措施包括

外业质量控制:重复测量、交叉验证、现场开挖比对,确保数据真实性;内业质量控制:数据查错、逻辑检查、成果标准化处理,确保成果资料一致性、规范性。

5.6 误差分析与精度评估

对比探测结果与实际管道位置,统计误差分布,分析影响因素,为后续技术优化提供依据。实际工程经验表明,导向仪定位技术在埋深小于6 m的管道探测中,误差可控制在5 cm以内,远优于常规方法。对于埋深较大或干扰强的环境,需加强信号处理与仪器校准,确保数据质量达标。

6 工程应用案例分析

6.1 主案例:某市雨水管道(DN600 mm)导向仪定位应用与开挖验证

以某市排水管道探测项目为例,采用美国DCI公司猎鹰F1导向仪进行雨水管道定位。实际探测长度约900 m,管径DN600 mm,埋深2.5~4.8 m。现场作业采用“探棒入管主动发射—地面导向仪接收解析—同步记录走向与埋深”的作业模式,并将导向仪获得的相对位置信息通过控制点/GNSS进行坐标转换,形成可入库的管线平面与埋深成果。

经开挖核验,管线走向误差小于10 cm,埋深误差小于14 cm,成果满足工程管理要求。

6.2 补充案例(S01~S08)概况:多类型非金属管线覆盖验证

为避免单一工程场景的偶然性,本文引用“导向仪案例清单(S01~S08)”作为补充材料,覆盖燃气/给水PE圆管与电力/电信PE管块两类常见的市政非金属管线结构形式。如表1所示,各案例满足导向仪技术实施前提(具备开口、管内可通行或可牵引探棒),并按里程连续布点采集埋深数据,具备形成纵断面剖面的条件。

6.3 典型埋深统计与纵断面连续性分析

依据案例逐点埋深数据,对各案例埋深最小值、最大值与平均值进行统计,用于定量刻画导向仪技术在不同管类与不同埋深区间内的连续测深能力与覆盖范围。

6.4 与全文流程与质控方法的一致性验证

6.4.1 流程一致性

案例均采用“资料与现场踏勘—仪器校准—探棒

表1 导向仪案例汇总(S01~S08)

编号	管类	材质	规格	长度 <i>L</i> /m	点数 <i>N</i> /个	备注
S01	燃气	PE	DN300 mm	75	16	埋深数据完整
S02	燃气	PE	DN300 mm	100	21	埋深数据完整
S03	燃气	PE	DN300 mm	80	17	埋深数据完整
S04	电力管块	PE	900 mm×900 mm(单孔 DN150 mm)	65	14	埋深数据完整
S05	电力管块	PE	900 mm×900 mm(单孔 DN150 mm)	70	15	埋深数据完整
S06	给水	PE	DN300 mm	45	10	埋深数据完整
S07	给水	PE	DN300 mm	55	12	埋深数据完整
S08	电信管块	PE	400 mm×400 mm(单孔 DN100 mm)	61	14	材料中埋深值统计基于可见数据

表2 各案例埋深统计结果(最小/最大/平均)

编号	点数 (用于统计)	埋深最小值/ m	埋深最大值/ m	平均埋深/ m
S01	16	2.2	7	5.52
S02	21	2.1	7	5.33
S03	17	1.85	7	5.26
S04	14	1.8	7.97	5.65
S05	15	1.88	8	5.71
S06	10	1.9	6.45	4.47
S07	12	2.02	6.47	4.81
S08	11	1.71	5.8	3.65

入管牵引—地面导向跟踪—数据融合—成果输出”的作业链条,可形成平面与埋深成果并满足入库需求。

6.4.2 外业质量控制有效性

通过合理采样间隔、关键部位加密测点、重复测量与交叉验证,可降低跳点与误判风险,主案例开挖核验表明成果精度可控。

6.4.3 内业一致性检查必要性

对里程—埋深序列进行逻辑检查(异常突变、回折、与井点高程/地形不符等)可提升成果可靠性;对不完整数据应明确标注统计口径并组织补测。

6.5 小结

(1)雨水管道主案例表明:在埋深2.5~4.8 m的市政排水管道场景下,导向仪定位技术经开挖核验可达到走向误差<10 cm、埋深误差<14 cm,满足工程管理要求。

(2)S01~S08多类型案例统计结果表明:导向仪技术在本组案例中的埋深覆盖约1.7~8.0 m,能够实现连续测深与稳定成剖面,适用于PE等非金属管线及管块类结构。

(3)综合主案例与补充案例,充分证明导向仪定位技术可有效弥补传统方法在非金属管线定位与定深方面的不足;但应严格满足“管道开口与通行/牵引条件”,并强化数据完整性与成果一致性检查。

7 结 语

本文全面分析了导向仪定位技术在城市地下管线探测中的应用原理、技术流程及优势特点,结合实际案例验证了该技术在非金属管道探测中的高精度、高效率 and 广泛适用性。导向仪定位技术的推广应用,有效提升了城市管网普查的数据质量和管理水平,为城市基础设施安全运行和智慧管网建设提供了有力支撑。

同时,研究也发现导向仪技术在金属管道探测、信号穿透能力、复杂环境抗干扰等方面仍存在一定技术瓶颈。未来发展方向如下:

- (1)提升传感器信号强度与多频率适应能力,突破金属管道屏蔽限制;
- (2)加强与智能测绘装备和大数据平台的集成,实现管线信息自动化采集与智能分析;
- (3)推动标准化作业流程与行业规范制定,提升管线探测行业整体技术水平;
- (4)加强多源数据融合与三维空间建模,服务于城市地下空间精细化管理和智慧城市建设。

综上,导向仪定位技术作为城市管网探测领域的重要创新手段,具有广阔的应用前景和发展空间。随着技术不断进步,其在城市地下管线普查、运维管理、灾害预警等方面将发挥越来越重要的作用。

参考文献:

[1] 侯凤辰.非开挖导向钻进施工控制要点与人员素质要求[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009:36(增刊1):331-333.

[2] 刘传逢,张云霞,杨晓东,等.导向仪系统在城市非开挖非金属管道探测中的应用[J].城市勘测,2016(5):163-166.

[3] 车延岗.导向钻进非开挖技术简介[J].市政技术,2002(4):41-46.

[4] 陈辉,廖俊.非金属管线探测方法解析[J].世界有色金属,2016(22):35-36.

[5] 刘康.导向仪在市政道路非开挖管线探测中的应用[J].城市勘测,2021(2):177-179.

[6] 郝洋洲.非金属管道示踪线施工与探测经验[J].办公自动化,2014(增刊1):246-249.