

高密度地下管线集聚区多方法组合探测技术与精度控制

代昌丽

上海泓源建筑工程科技股份有限公司, 上海 200000

[摘要] 老城区、商业核心区、市政干道是地下管线密集区域, 给水、电力、燃气、通信、热力管线纵横交织, 金属与非金属管线并存。车辆通行、建筑物与各类金属构件会产生电磁干扰, 只用一种设备探测管线很容易漏找管线、判断出错, 平面位置和埋深数据准确度不足。为满足复杂场地地下管线精准探测的现实需求, 建立多手段协同探测技术体系, 融合电磁感应、地质雷达、惯性陀螺仪、管线示踪探测的技术优势, 建立“普查精扫-补缺复核-验证校正”分级作业流程。文章梳理各类探测方法适用条件与误差来源, 形成涵盖仪器校准、野外参数优化、多源数据整合、现场探坑核实的全流程质量控制措施。选取城区管线密集地段开展对比试验, 实测结果表明: 相较于单一探测方法, 该组合技术平面定位平均误差由 28.6mm 降至 8.3mm, 埋深平均误差由 32.1mm 降至 9.7mm, 管线漏探率由 17.4% 降至 2.6%, 能够提高管线探测准确度, 保障探测资料完整可靠。

[关键词] 地下管线; 高密度集聚区; 组合探测; 物探技术; 数据融合; 精度控制

DOI: 10.33142/ec.v9i9.20424

中图分类号: P634.1

文献标识码: A

Multi Method Combination Detection Technology and Accuracy Control for High-density Underground Pipeline Gathering Areas

DAI Changli

Shanghai Hongyuan Construction Engineering Technology Co., Ltd., Shanghai, 200000, China

Abstract: Old urban areas, commercial core areas, and municipal roads are densely populated areas with underground pipelines. Water supply, electricity, gas, communication, and heating pipelines are interwoven vertically and horizontally, and metal and non-metal pipelines coexist. Vehicle traffic, buildings, and various metal components can generate electromagnetic interference. Using only one device to detect pipelines can easily lead to missed pipelines and incorrect judgments. The accuracy of plane position and burial depth data is insufficient. To meet the practical needs of precise detection of underground pipelines in complex sites, a multi means collaborative detection technology system is established, integrating the technical advantages of electromagnetic induction, geological radar, inertial gyroscope, and pipeline tracing detection, and establishing a graded operation process of "census precision - scanning filling review - verification correction". The article summarizes the applicable conditions and error sources of various detection methods, forming a full process quality control measure covering instrument calibration, field parameter optimization, multi-source data integration, and on-site pit verification. Comparative experiments were conducted in densely populated areas of urban pipelines. The measured results showed that compared to a single detection method, the combined technology reduced the average error of plane positioning from 28.6mm to 8.3mm, the average error of burial depth from 32.1mm to 9.7mm, and the pipeline leakage rate from 17.4% to 2.6%. This can improve the accuracy of pipeline detection and ensure the completeness and reliability of detection data.

Keywords: underground pipelines; high-density agglomeration area; combination detection; geophysical exploration technology; data fusion; precision control

引言

如今城市改造、地下管廊和地铁工程越来越多, 地下空间开发力度持续加大。城市核心区地下布满水、电、气、通信等各类管线, 排布密集、深浅不一、新旧交错, 探测难度极大^[1]。同时, 塑料等非金属管线不好识别, 施工现

场电磁干扰强, 进一步加大了探测难度。目前市面上大多只用单一设备探测, 各有短板: 电磁感应法查不出非金属管线, 地质雷达容易受地下环境和管线叠加影响出错, 惯性陀螺仪探测速度太慢, 不能做到精准精细化探测, 经常出现管线挖破、数据不准、工程返工等问题, 严重影响施

工安全和智慧管网建设^[2]。目前国内外相关技术研究并不完善,国外设备不适合国内复杂管线场景,国内也大多只优化单一技术,没有成套的融合探测和精度管控方法。对此,本文结合行业规范和现场实测数据,搭建多技术组合探测方案,明确各类技术的适用场景,梳理误差原因并制定全套质控措施,经实际工程验证,可有效为复杂城区地下管线精准探测提供标准化参考。

1 高密度管线集聚区探测难点与单一技术局限性分析

1.1 高密度集聚区复杂工况与探测难点

上海老城区、核心商圈等重点区域的地下管线情况错综复杂,整体探测施工难度极高,区域内给排水、电力、通信、燃气等各类管线混杂排布,管材材质各不相同,纵横交叉、上下叠加的情况十分普遍^[3]。探测过程中各类管线信号互相串扰、叠加干扰,很难精准区分每一条管线的具体范围和边界,无法精准甄别单条管线。加之探测作业区域紧邻城市主干道、轨交线路,车辆通行、轨道交通运行会产生强烈电磁辐射,再加上地下各类构筑物、桩基、掩体等障碍物的影响,多重干扰叠加会直接导致探测信号出现偏移、失真,采集到的管线数据精准度大幅下降,无法真实反映管线实际工况。区域内大量管线铺设年限超30年,原始档案记录简单粗糙、信息不全^[4]。后续城市更新、道路改造、管线翻新等多次工程,大多没有完整的备案记录,导致区域内大量隐蔽管线、废弃管线的具体位置、走向、规格等底数完全摸不清楚,给探测工作带来极大阻碍。此外,地下土层为分层回填结构,土体内部杂质、杂物较多,且部分路段长期积水、土壤含水率高,会大幅衰减探测设备的有效信号,极易出现管线漏探、误探的情况,探测结果可靠性不足。

1.2 主流单一探测技术局限性

电磁感应法是工地最常用的探测方式,操作简单、效率高,但是只能探测金属管线。塑料、水泥材质的给排水、燃气等非金属管道,完全检测不出来,适用场景有硬性限制。而且管线密集时,相邻金属管线会互相产生电磁干扰,容易出现定位跑偏、埋深数据不准的问题,分不清重叠的管线,复杂工况下探测出错率会大幅升高。地质雷达法没有电磁干扰问题,金属、非金属管线都能探测,适合浅层密集管线的大范围扫描^[5]。但在管线高度集中的区域,各类管线的探测波形会互相重叠混淆,没法精准区分单根管线的位置和走向。同时地下土质、岩层不均匀会产生大量杂波,容易出现误判、漏判情况,导致埋深数据误差大,探测精准度难以保证。惯性陀螺仪探测法抗干扰能力拉满,

不受电磁、地质环境影响,长距离非金属管线探测精度极高。但它操作流程繁琐、效率极低,只能单独复核单根管线,没办法大面积普查、批量探测密集管线。管线示踪法定位精准、针对性强,能找到隐蔽疑难管线,但是对管线条件要求高,只适合可穿线、可通水的管线,无法实现全方位全覆盖探测。

2 高密度管线多方法组合探测技术体系构建

2.1 组合探测总体技术流程

管线探测作业按稳步推进、分区作业、精准核对的思路,通过五步标准化流程全面排查地下管线,杜绝探测死角和数据偏差,确保探测工作又准又高效。第一步是前期摸底备料,作业前先收集区域管线图纸、市政改造记录等资料,摸清管线基础布局。同时实地查看现场,排查障碍物、信号干扰等问题,划分不同作业区域,定制专属探测方案,减少无效作业。第二步是全域初步排查,用专业探测仪扫描全场,摸清所有金属管线的走向、位置,搭建基础管线分布图。第三步是精细深度扫描,针对管线密集、信号杂乱的复杂区域,用地质雷达网格扫描,分清金属和非金属管线,解决多层管线叠加难识别的问题。第四步是专项查漏补缺,对深埋、隐蔽、老旧非金属等难探测管线,用专业设备和方法补探,扫清探测盲区。第五步现场挖坑核验,核对管线位置、埋深、管径等关键数据,修正误差,形成完整精准的管线数据库,为后续工程施工提供可靠依据。

2.2 多方法组合探测关键工艺

本次管线探测结合三种主流探测技术搭配使用,做到所有区域、所有类型管线全覆盖。采用 RD8000 高精度管线探测仪做全域摸底排查,支持两种探测模式灵活切换。针对通电的电力、通信管线,用被动模式快速找准位置,不用额外加载信号;针对没信号的自来水、燃气金属管道,就用主动模式通过夹钳耦合、信号发射的方式加载探测信号,精准捕捉管线信息。为弥补电磁探测的短板和盲区,搭配 SIR-4000 地质雷达精细扫描,搭载 900MHz 高频天线,适配地下浅层管线密集的复杂工况。采用 0.1m 双向网格扫描,大幅提升探测精度,通过雷达波形分辨管道材质,精准测算埋深,清晰区分多层交错重叠的管线。对于深埋地下、无信号、雷达识别不出的 PE 燃气、给排水塑料管线,采用 GY-300 惯性陀螺仪精准捕捉管线三维走向,不受外界环境干扰。同时搭配气体、水流示踪法,查漏补缺排查隐蔽短管线,全方位提升探测准确率。

2.3 创新工作方法体系

项目自主研发了现场巡视移动管理系统,落地执行分

片专人、全覆盖的现场巡视工作机制。工作人员可通过手机移动端,实时采集施工现场核心数据、上报现场各类问题,还能动态完成问题复核核验工作。彻底解决了传统巡视工作中信息不互通、台账更新不及时、数据滞后的短板,从根源上避免管线漏测、数据缺失等常见问题,让现场巡视工作更规范、高效。针对新建非开挖管线深埋隐蔽、走向复杂、精准定位难度大的行业难题,项目引入应用三维陀螺定位、井中磁梯度法等前沿探测技术,能够精准还原并刻画深埋曲线管线的整体空间形态。除此之外,项目自主研发管网数据编辑功能模块。依托固定特征锚点搭建统一的数据基准,统一规范零散、碎片化管网数据的处理标准和入库流程,真正实现全域管线数据实时更新、动态迭代,形成从数据采集、处理、核验到归档的全流程闭环管控。

3 多方法组合探测精度控制体系

3.1 探测误差核心来源分析

设备误差:仪器未校准、天线频率适配不当、传感器灵敏度偏移,造成系统固定误差。现场环境误差:电磁干扰、地下介质不均匀、管线密集信号叠加、地面坡度起伏,造成随机误差。人为作业误差:测线布设不规范、信号读取偏差、数据记录失误。数据处理误差:单源数据解析算法单一,未区分密集管线波形,造成误判漏判。

3.2 全流程精度控制关键措施

3.2.1 设备精准校准控制

外业作业前完成所有探测设备系统性校准,管线探测仪开展零位校准、增益校准,地质雷达完成时延校准、距离校准,陀螺仪完成姿态归零校准。作业期间每 2h 进行一次设备复检,消除设备漂移误差,保证设备探测精度处于规范允许区间。

3.2.2 外业工况参数优化

针对复杂场地地质雷达探测易受干扰难题,调整探测参数、优化施工方法,确保采集的数据准确可信。电磁干扰大的地段,关掉设备自动增益,全程手动精细调节增益,减少外界杂乱电磁信号影响,防止信号变形、数据混乱。地下土质、岩层分布不均区域,灵活调整雷达扫描速度和采样频率,提高采集质量,让探测波形看得更清楚、信息更完整。管线扎堆的区域,加密探测线路、缩小测线间距,避免多条管线信号重叠遮挡,减少漏判、误判。另外错开车流高峰施工,减轻车辆震动与荷载变动造成的动态干扰。

3.2.3 多源探测数据融合修正

建立多源数据融合算法,对电磁探测数据、雷达扫描数据、陀螺仪轨迹数据进行统一坐标拟合,剔除异常离散数据。通过不同方法数据交叉比对,对偏差超过 10cm 的

点位进行二次复测,修正单方法探测的系统误差,提升数据一致性与精准度。

3.2.4 探坑实地校验校正

按照每 100m² 布设 3~5 个校验探坑的标准,在管线密集区、干扰高危区随机开挖探坑,实测管线平面位置、埋深、管径、材质,与探测数据比对,建立误差修正模型,对全域探测成果进行整体校正,最终保证成果精度满足工程规范要求。

4 工程实例与精度对比分析

4.1 工程概况

本次管线探测试验场地位于某市核心老城区市政道路范围内,探测总面积 8000m²,属于城市地下管线高度密集的典型区域。这片区域建设年代久远,各类市政管线纵横交错,包含电力、通信、给水、燃气、雨水、热力六大市政管线。登记在册加上现场实测管线合计 217 根,其中金属管线 122 根、非金属管线 95 根,管线种类多、排布密度高。区域内管线排布十分紧凑,管线之间最小水平距离仅有 0.25m,埋设深度在 0.3~2.8m 之间,深浅差距明显,管线交叉叠压现象十分常见。场地位于城市主干道,道路两侧钢筋护栏、空中电力与通信线路众多,给不间断通行的车辆和行人持续带来影响,电磁干扰、振动干扰同时存在,想要精准探明地下管线难度很大。为筛选出适合老城区复杂环境的探测手段,本次试验分别使用单一电磁法、单一地质雷达法以及多种手段联合探测方式开展施工,依靠现场开挖探坑得到的真实数据作为评判标准,对比各类探测方法的定位准确度与管线探查完整程度,给今后老旧城区地下管线探测项目提供可行的技术依据。

4.2 探测成果数据对比

本次试验统计各类探测方法的平面定位误差、埋深误差、漏探率、误判率四大核心指标,具体试验数据如表 1 所示。

表 1 探测成果数据对比

探测方法	平面平均误差/mm	埋深平均误差/mm	漏探率/%	误判率/%
单一电磁感应法	28.6	32.1	17.4	12.8
单一地质雷达法	16.2	18.5	8.2	6.5
多方法组合探测法	8.3	9.7	2.6	1.8

由试验数据可知,仅采用电磁感应法开展探测,无法识别非金属管线,漏探问题最为突出,且密集管线干扰下定位、埋深误差超限;单纯依靠地质雷达虽能探测各类材

质管线,但管线排布密集时雷达波形相互重叠,导致精度有限;多方法组合探测技术通过优势互补,有效提升探测精度,完全满足《城市地下管线探测技术规程》高精度探测要求。

4.3 误差效果分析

从探测精准度来看,这款新型组合探测技术,创新结合了大范围整体排查和小范围精细扫描两种模式,解决了城市管线探测的核心难题。实测数据证明,平面定位误差比传统单一电磁法减少 71%,比单一雷达法减少 48%;管线埋深探测误差也大幅优化,相较两种传统单一方法分别降低 70%、47%,探测精度实现质的飞跃。从探测完整性来说,该立体化探测体系补齐了传统技术的短板。同时,配套的全流程精度管控体系,能有效规避设备误差、环境干扰、人工操作失误等问题,实时校准探测数据,保障探测结果稳定、精准、可靠,能适配各类复杂的地下管线探测作业场景。

5 结论与展望

研究发现,管线密集区域电磁环境复杂、管线纵横交错,单独使用电磁感应法、地质雷达法都存在难以规避的缺陷,整合多种探测技术、取长补短的联合探测方式,是该场景下最合适的探测手段。搭配整套全过程精度管控措

施,能够减小测量偏差。实地检测结果证实,这套组合方案在探测准确度、管线探查完整度上远超单一探测方式,能够达到城市地下管线精细勘查的标准。未来可以结合无人机测绘、三维激光扫描以及人工智能自动识别技术,实现管线数据智能解译,给城市智慧管网搭建、城市精细化管理提供可靠技术保障。

[参考文献]

- [1]尹军.城市复杂区域条件下的地下管线探测技术分析[J].城市建设理论研究(电子版),2023(21):178-180.
- [2]朱军锋.探析综合物探方法在地下管线探测中的运用[J].新型工业化,2022,12(3):49-51.
- [3]朱勇.城市地下管线探测技术发展应用探讨[J].建材与装饰,2020(20):233-234.
- [4]蔡武宜.探讨复杂条件下的地下管线探测技术[J].低碳世界,2016(29):109-110.
- [5]刘艳辉.城市复杂地下管线探测技术[J].中外企业家,2013(25):227-228.

作者简介:代昌丽(1998—),女,安徽人,汉族,本科,就职于上海泓源建筑工程科技股份有限公司,主要从事测绘相关工作。