

多源探测法在地下障碍物探测中的应用研究

刘 勇 王绍华 史晓琳

大连市勘察测绘研究院集团有限公司, 辽宁 大连 116021

[摘要] 大连地铁 5 号线贯通大连市核心区南北, 是加快实现大连湾两岸中心发展战略和城市北拓进程的重点项目, 为保障地铁线路设计、地铁施工安全以及未来地铁的运行安全, 需进行地下障碍物探测。由于传统的电磁法面对复杂环境下的地下障碍物探测效果不佳, 为此采用电磁感应法、探地雷达、管道机器人 (CCTV) 等多源探测方法对其进行探测, 能在复杂的地下障碍物中“抽丝剥茧”, 解决了地下障碍物, 尤其是非金属地下障碍物隐蔽点探测的难题。

[关键词] 多源探测法; 探地雷达; 管道机器人

DOI: 10.33142/ec.v7i10.13750

中图分类号: TD75

文献标识码: A

Application Research on Multi-source Detection Method in Underground Obstacle Detection

LIU Yong, WANG Shaohua, SHI Xiaolin

Dalian Geotechnical Engineering and Mapping Institute Group Co., Ltd., Dalian, Liaoning, 116021, China

Abstract: Dalian Metro Line 5 runs through the core area of Dalian from north to south, and is a key project to accelerate the development strategy of the center on both sides of Dalian Bay and the process of urban expansion to the north. In order to ensure the safety of subway line design, subway construction, and future subway operation, underground obstacle detection is necessary. Due to the poor detection effect of traditional electromagnetic methods on underground obstacles in complex environments, multi-source detection methods such as electromagnetic induction, ground penetrating radar, and pipeline robots (CCTV) are adopted to detect them, which can "unravel the cocoon" in complex underground obstacles and solve the problem of detecting hidden points of underground obstacles, especially non-metallic underground obstacles.

Keywords: multi-source detection method; ground penetrating radar; pipeline robot

引言

大连地铁 5 号线全长 24.48 公里, 呈南北布局, 穿越中山区、西岗区和甘井子区。南端起始中山区虎滩新区, 北端终点为甘井子区后关村, 中部为海底隧道穿越大连湾, 海域段隧道长度为 2.26 公里, 设有 1 座换乘站, 19 座车站。项目总投资约为 188 亿元人民币, 采用全新的 PPP 模式, 于 2017 年底正式开工建设, 预计 2023 年 12 月建成通车。

地铁 5 号线线路贯通大连市核心区南北, 照顾虎滩新区、甘井子街道、泉水居住区等高强度居住片区居民的通勤出行需求, 构建了“一湾两岸”的城市新格局。同时, 打破了沈大铁路对城市的分隔。地铁 5 号线的开工建设, 在大连湾两岸中心发展战略和城市北拓进程的加快实现, 缓解城市交通拥堵、改善居民出行条件, 促进沿线城市更新改造及发展等多个方面, 具有重要战略意义。

大连地铁 5 号线工程区间周边环境调查旨在查清各区间工程建设影响范围内既有 (或在建) 的地表建构筑物 and 地下障碍物 (管线、桥梁、隧道、道路、轨道交通等建构筑物 and 设施) 以及地表水体、水井和文物等相关资料, 为地铁 5 号线的设计提供基础依据, 以便进行合理的布局设计、选择可行的施工工艺以及对已有建 (构) 筑物采取经济合理的保护措施, 避免或减少因设计、施工等原因引起周边建 (构) 筑物、市政基础设施等环境安全事故的发

生, 保障国家和人民群众的生命财产安全。

1 工作内容

地下调查对象可分为地下管线和地下障碍物, 均隐蔽于地下, 无法直接测量, 只能通过探测的方式获取数据。从功能类别上可分为各类地下管线、地下建筑物 (如地下车库、地下人防工程)、地下构筑物 (如暗渠、地下基础); 从材质上可分为金属、非金属; 从埋深上可分为浅层、深层。主要工作内容是查明各类障碍物的类别、平面位置、走向、埋深、高程、偏距、规格、材质、传输物质的特征 (压力、流向)、建设年代、权属单位、管线的附属物和附属设施等信息。

2 存在的难点

2.1 现有资料残缺不全

调查对象的建成年代不同, 建成时间较早的地下障碍物受年代和当时技术条件的限制, 资料缺失较为严重, 个别保存的资料均为纸质资料, 只显示粗略位置和大致走向, 无矢量数据可供使用。建成年代较新的地下障碍物, 虽然有资料可查, 但随着近些年城市发展建设速度的加快, 地下铺设的管线逐渐增多, 造成数据更新速度十分滞后, 资料只能作为参考。

2.2 城市磁场复杂, 金属管线探测难度增大

对于金属管线, 可通过基于电磁波原理的管线探测仪进行探测。由于随着近些年城市化进程的加快, 地下铺设

的管线逐渐增多,导致多种管线密集并行、交叉甚至重叠分布,尤其强弱电形成的电磁干扰,对管线探测仪造成干扰,探测难度较大。

2.3 非金属地下障碍物较多,探测难度巨大

非金属管线多为 PE、PVC 等材质,传统的金属管线探测仪已无法满足管线探测需要。地下暗渠和地下人防工程,更是不易探测,容易在探查工作时遗漏。非金属地下障碍物的探测已逐渐成为管线管理部门和施工单位的一大难题。

2.4 地质雷达探测数据可读性较差

地质雷达作为一种高分辨率及高效率的无损探测技术,是目前地下非金属管线探测的主要方法。但受回波图形单一,可读性较差,难以对管线和障碍物的类别。

3 多源探测法探测地下隐蔽障碍物

3.1 常规方法的不足

在地下管线探查中,主要采用电磁法、地质雷达法、地震波法探测等探测方法。其中,电磁感应法主要用于探测金属管线,面对单一金属管线时有较好的效果,但面对多种管线纵横交错等复杂环境,电磁感应法缺点就凸显了出来。

3.2 多源探测法的应用

本项目采用多源探查方法将多种技术方法融合,以弥补常规、单一方法的不足。能在复杂的管网和电磁环境下,逐一排除疑点,做到逐步筛查、逐步排除、逐步逼近,从而完成管线的定位、测深。多源探测法的实施大致分为以下三步:

(1) 金属管线的探测。测区内金属管线主要包括热力、电力、通信类等管线,因为具有良好的导电性,其电磁感应信号从背景值中比较容易区分出来。首先应用“电磁感应法”的“直接法”进行金属管线的探测,对测区电磁信号复杂程度进行摸排和了解,并对其复杂程度进行分类。对于环境单一、信号干扰小的区域内的金属管线进行准确探测和定位,而对于电磁环境复杂的区域内的金属管线,将该区域标记为疑难区域,使用“夹钳法”逐条管线尝试,对于仍然无法确定的管线记录其信号特征,为下一步工作提供参考。

(2) 非金属管线和地下障碍物的探查。因为非金属管线基本绝缘,不导电也不导磁,难以利用金属管线探测仪对其精准探测,可根据各区段的地形和地下障碍物的分布、材质等情况,对这些非金属管线主要采用示踪法、探地雷达法、现场调查法及其他探测方法进行探查。其中示踪法是特殊的电磁感应法,主要是利用非金属管线上铺设的金属导线。

(3) 疑难区域的探查。隐蔽管线点的探测方法,根据不同种类管线不同地点条件选择了不同的探测方法和发射频率。遵循由已知到未知,由简单到复杂,由点到线、到面的顺序。探测中首先消除偶然误差,在用管线探测仪探测管线时,首先确定管线走向平面位置及埋深,然后沿走向方向旋转 180° 再确定管线的走向平面位置及埋深,两次所探结果误差小于 5cm,取平均值。若两次所测结果

误差大于 5 厘米,及时找出原因或更换仪器,利用旋转探测法消除仪器的偶然误差;其次提高观测精度,探测埋深相同或埋深不同且距离较近的两条或多条管线时,由于管线异常难以区分,定位、定深失真较大。在解决这些问题时,除了尽量用低频,采用了多种探查方法进行探查(如旁侧感应法、垂直偶极子压线法)外,还利用不同类型的仪器进行对比探测,综合分析。

确定地下管线的水平位置时应用极大值法。测定地下管线埋深时应用 70%法,直读法的埋深仅作为参考;探查给水管线时选用感应法和直接法,根据不同埋深和地点条件选择不同的发射频率。埋深超过 1 米时,大都采用 33KHz 感应探测、当有两条金属管线并排埋设时应用压线法进行定位和定深,测定的深度都作了适当的修正;电信管线隐蔽点探查,测定水平位置、埋深都采用的夹钳法。并且根据所夹电缆的实际情况进行了适当的修正。

4 地质雷达回波形状分析

4.1 地质雷达的优势和缺陷

地质雷达(Ground Penetrating Radar, 简称 GPR)是 20 世纪 70 年代发展起来的高分辨率及高效率的无损探测技术,具有探测速度快、连续性强、操作灵活、费用低等优势,是目前地下非金属管线探测的主要方法之一。

大连地铁 5 号线周边环境调查项目的实施过程中,主城区地下障碍物情况异常复杂,为此应用“多源探测法”进行项目的具有实施,其中,应用地质雷达是该方法的重要技术手段,主要解决以下两个问题:

- ①作为非金属管线和障碍物的主要探测手段;
- ②与其他方法配合使用,作为疑难金属管线的探测手段。

地质雷达的原理是向地下发送脉冲式的高频、甚高频电磁波,当遇到均匀地下介质时,电磁波基本不发生反射或反射能量很弱;当遇到较大差异的地下目标体时(如空洞、分界面等),电磁波便在界面发生反射;其电磁场强度、路径、波形随遇到介质的电性特征和几何形态的不同而变化。因此,根据接收到波的双程走时、强度及雷达波形资料,可推断介质的空间位置、结构和反射界面的深度,从而实现非接触快速连续探测(见图 1)。

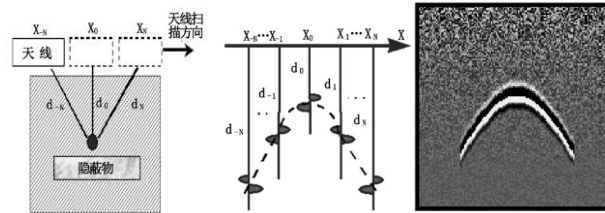


图1 地质雷达基本原理

地质雷达的回波可判断地下管线及障碍物的位置和埋深,但受回波图形单一,可读性较差,难以对管线和障碍物的类别,进而无法与其它探测方法和调查数据结合使用,限制了地质雷达探测数据的应用。

4.2 回波分析的目的和价值

为更好地了解地下障碍物的类别,最大程度发挥地质雷达探测数据的使用价值,本项目针对供水和燃气两种对生产生活影响较大的地下管线,应用地质雷达对已知管线进行探测,获取该类管线的非金属回波特征,再对照未知管线的探测回波数据,推断未知非金属管线的类别。

经图3回波图形对比分析,非金属材质的供水管线的雷达回波图像明显,波形显示为标准的抛物线形态,并伴随有二次反射波的存在。非金属材质的燃气管线,波形显示也为标准的抛物线形态,但显示普通,反射信号能量不强。对比分析不同非金属材质管线和障碍物的回波特征,再结合其他调查和探测数据,推断出非金属管线及障碍物的类别,成功率在80%以上,取得了较好的效果。相比以前的传统方法,本方法能够为大连地铁5号线的设计提供了更为准确、丰富的探测数据。

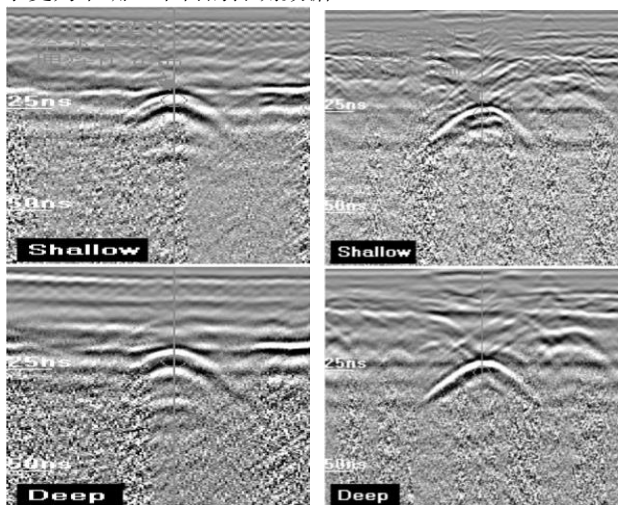


图2 供水管线雷达回波图形(左为实验数据,右为探测数据)

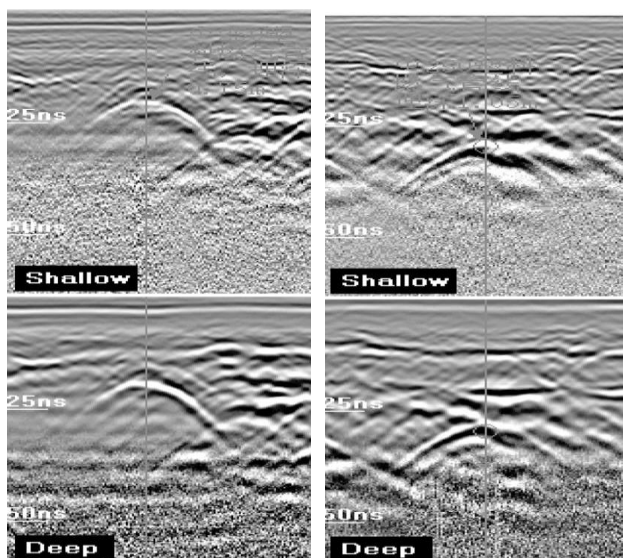


图3 燃气管线雷达回波图形(左为实验数据,右为探测数据)

5 管道机器人(CCTV)的辅助探测

管道机器人(CCTV)主体是由三部分组成:主控器、操纵线缆架、带摄像镜头的“机器人”爬行器。主控器可安装在汽车上,操作员通过主控器控制“爬行器”在管道内前进速度和方向,并控制摄像头将管道内部的视频图像通过线缆传输到主控器显示屏上,操作员可实时地监测管道内部状况,同时将原始图像记录存储下来,做进一步的分析。

管道机器人(CCTV)主要用于地下管道的功能和结构检测,由于本身不具备测量定位功能,因此基本无法用于地下管线和地下障碍物的探测工作。但由于管道机器人(CCTV)采用电缆供电,这就给电磁感应法提供了用武之地。

大连地铁5号线地下管线和障碍物调查过程中,在一些因土壤和水分导致地质雷达效果不佳的区域,尤其是地下暗渠的探测和调查中,创新性地使用管道机器人(CCTV)和地下管线探测仪,相互配合使用。在地下管道或障碍物内释放管道机器人,同时地面使用管线探测仪寻找电磁信号,在一些电磁环境相对简单且埋深较浅的障碍物的探测定位,取得了不错的效果,解决了地下暗渠的探测难点,很好地弥补了地质雷达的缺陷。对于极个别埋层较深,无法配合管线探测仪使用的地下障碍物,也能够根据电缆的长度和CCTV录像对障碍物的距离和走向做出定性分析,起到了很好的补充探查作用,有效地防止了此类障碍物的遗漏,改变了以往面对此类障碍物束手无策的窘境。



图4 管道机器人的主控器



图5 管道机器人操纵线缆架



图6 管道机器人爬行器

6 质量管控

(1) 做好质量管理的基础工作。做好技术交底, 组织技术人员针对本工程的特点、重难点及技术要求编制作业计划, 使本次周边环境调查工作做到程序化、规范化、增强易操作性, 统一技术标准。

(2) 做好质量检查工作, 严格执行“三级检查制度”, 即作业人员自检、互检, 技术负责人检查, 公司专检, 三级检查各级不能代替, 贯穿于整个作业过程中, 杜绝质量问题的出现。

(3) 严格成果审核制度, 按照公司 ISO9001 质量体系规定的审核、审批权限对所有的成果进行审核、审定, 确保成果质量。

7 多源探测法的应用效果

大连地铁 5 号线环境调查项目地下隐蔽点开挖验证点 136 个, 经测量, 开挖点平面最大误差 11.8cm, 深度最大误差 12.6cm, 合格率 100%, 满足《城市地下管线探测技术规程》(CJJ 61-2003) 要求。

在大连主城区地下环境如此复杂的现状条件下, 多源探测法综合了“现场调查法”、电磁法中的“直接信号法”

和“夹钳法”“地质雷达法”“开挖法”等多种多源探测方法的优势, 逐一排除、逐步逼近, 直至获取真实结果, 起到了“抽丝拨茧”“去伪存真”的作用, 取得了令人满意的效果。

8 结语

根据测区内地下障碍物材质的不同特点(金属、非金属), 采用电磁感应法、探地雷达、管道机器人(CCTV)等多源探测方法对其进行探测, 解决了地下障碍物, 尤其是非金属地下障碍物隐蔽点探测的难题。

根据不同材质的地质雷达回波形状不同的特点, 将探测到的地下障碍物的回波波形与已知地下障碍物进行对比分析, 进而对地下障碍物的材质进行判断识别, 解决了地质雷达无法定性的问题, 对拓宽地质雷达方法的应用范围有重要意义。

首次引入管道机器人(CCTV)作为管线探测仪和地质雷达的辅助手段, 对地下障碍物的方向和长度进行辅助探查。在现场条件许可的情况下, 在障碍物内部和外部同时使用管道机器人和管线探测仪(或地质雷达), 可基本实现管道机器人的定位测量, 为地下障碍物探测提供了新的方法和思路。

【参考文献】

- [1] 陈睿哲, 涂伟, 李清泉, 等. 融合多源测量数据的桥梁挠度异常探测方法[J]. 测绘通报, 2022(9): 6.
 - [2] 吴丰收, 崔然. 城市地下障碍物精确定位综合探测方法应用研究[J]. 岩土工程技术, 2023, 37(1): 24-28.
- 作者简介: 刘勇(1985.7—), 毕业院校: 西安科技大学, 所学专业: 测绘工程, 当前就职单位: 大连市勘察测绘研究院集团有限公司, 职务: 主任工程师, 职称级别: 高级工程师。