

关于深埋管线探测方法的研究

●王兴文 彭 粤



[摘要] 深埋管线是现代城市和工业基础设施的重要组成部分,涵盖供水、排水、燃气、电力、通信等各类管线。然而,由于深埋管线的隐蔽性和复杂性,其探测和维护工作面临一定挑战。基于此,本文为深埋管线的探测提供技术参考,详细介绍了物探法、地面探测法和井中磁梯度法等前沿探测技术,以期提高探测工作的可靠性和安全性,从而为地下管线的安全运行和维护提供重要保障。

[关键词] 深埋管线;探测技术;应用

地下管线是城市基础设施的重要组成部分,它就像人体内的“神经”和“血管”,担负着传递信息和输送能量的工作,是城市赖以生存和发展的基础,被称为城市的“生命线”。查清城市地下管线的现状,是城市规划、建设和管理的需要,是抗震、防灾和避免管线事故的需要,是保证市民的正常生产、生活、出行和城市发展的需要,是加快经济发展,加速现代化进程的保障。随着城市的快速发展,市政道路负载越来越重,对地下管线的依赖性也越来越大。但在实际工作中,由于各种原因,诸多疑难管线使用常规的探测仪器和方法已经无法得到解决,由于疑难管线的数据信息无法准确地获取,经常造成工程设计过程中修改设计方案,甚至发生因施工造成的管线破坏事故。因此,摸清地下管线现状,提供准确的管线数据信息是城市规划建设、工程施工、管线运维、应急抢险等城市管理发展迫切需要的数据。

Q 深埋管线概述

(一)类型

深埋管线是指在城市地下较深的位置施工的各类管道系统,包括供水管线、排水管线、天然气管线、油气管线、通信电缆和电力电缆等类型。这些管线在城市、工业基础设施中起着确保各种资源和信息安全高效传输的作用,具体体现在:(1)供水管线用于城市和工业供水系统,埋设较深以防止污染和外界干扰。(2)排水管线包括污水和雨水管道,负责城市排水和污水处理,埋设深度较大以确保系统的可靠运行。(3)天然气管线用于输送天然气,多采用钢管或复合材料,埋设较深以预防泄漏和爆炸风险。(4)油气管线用于长距离输送石油和天然气。埋设深度视地质条件而定,需

考虑安全因素与后续维护需求。(5)通信电缆传输数据和通信信号,虽然该管线埋设较浅,但在特殊环境下也需深埋以保护线路。(6)电力电缆用于输送电力。针对高压电缆,埋设深度需符合安全规范以防止电力事故。上述各类深埋管线根据其功能和使用环境的不同,设计和施工技术也有所差异,但共同的目标是确保其在复杂地质条件下的安全稳定。

(二)特点

城市深埋管线的特点分析如下:(1)埋设深度大。深埋管线埋设在地下几米至几十米的深度,具体深度根据管线的类型、地质条件和安全要求而定。(2)技术要求高。由于深埋管线的特殊性,其设计、施工和维护都需要高水平的技术支持。探测技术、施工技术以及后续维护的有效性、先进性均会影响管线施工的安全性及运行效率。如,探测技术可准确定位管线的位置和状态,施工技术则需确保管线的安装精度,维护技术则需及时发现和处理管线的故障。(3)环境适应性强。深埋管线需要适应不同的地质和气候条件,包括土壤类型、水文条件和地震带等。如,在地震频发地区,管线需要具备抗震能力;在湿度较高的地区,管线需要具备防腐能力。(4)维护难度大。由于埋设深度较大,管线的检查和维修较为困难,需采用先进的探测技术和维修技术。维护人员需要借助专门的设备和技术手段进行检测和维修,确保管线达到使用要求。

Q 物探法在深埋管线探测中的应用

(一)地质雷达(GPR)法

地质雷达(GPR)为基于电磁波原理的非破坏性探测技术,该技术可被应用于深埋管线探测。其工作原理是利用

高频电磁波(频率范围在 10MHz 至 2.6GHz 之间)穿透地下介质,并根据不同材料的电磁特性反射回波。设备一般包括发射天线、接收天线和数据记录系统,发射天线发射电磁波,接收天线接收反射信号,数据记录系统记录并处理信号,形成地下结构的图像。

在实际应用中,GPR 法可精确定位地下管线的位置和深度。例如,某次探测任务中,使用频率为 500MHz 的天线,可以探测到深达 5m 的地下管线,分辨率达到 0.1m。电磁波在不同介质中传播速度不同,当遇到不同材料时会发生反射,反射信号的强弱和时间延迟可以反映出地下物体的位置、形状和性质。

在实际应用中,施工人员需注意的是,该办法对于不同材料的管线识别能力较强,如金属管线、塑料管线和混凝土管线等都能清晰成像。探测过程中,GPR 设备沿地面移动,连续记录下不同位置的反射信号,生成二维或三维的地下图像。由于电磁波的衰减和反射特性,GPR 法在探测深度和分辨率之间需要进行权衡,高频率天线可提供较高的分辨率,但探测深度有限,低频率天线则可探测较深的目标,但分辨率较低。

(二)电磁感应(EMI)法

电磁感应法是基于法拉第电磁感应定律的非破坏性探测技术,其技术原理是利用产生变化的电磁场,并通过感应针对地下目标物产生涡流,以此产生二次电磁场。接收设备记录二次电磁场的变化,通过分析此变化来确定地下目标物的位置、形状和性质。电磁感应法的基本原理可以用法拉第电磁感应定律和麦克斯韦方程组来描述。当变化的磁场通过导体时,根据法拉第定律,在导体中会产生感应电动势 $\varepsilon = \frac{d\Phi}{dt}$,其中, t 是时间, Φ 是磁通量,定义为: $\Phi = \int B \cdot dA$, B 是磁感应强度, dA 是面积元。对于电磁感应法,发射线圈产生一个变化的电磁场,该电磁场在地下导体(如金属管线)中感应出涡流,产生二次电磁场。接收线圈检测到的信号可以表示为: $V_{sec} = k \cdot \mu \cdot \frac{dI_{sec}}{dt}$ 其中, V_{sec} 是接收线圈的感应电压, k 是耦合系数, μ 是介质的磁导率, I_{sec} 是涡流的感应电流。

在实际应用中,EMI 技术可有效探测和定位地下金属管线。例如,在某城市管线探测项目中,使用频率为 10kHz 的 EMI 设备,成功探测到深度为 2m 至 10m 之间的金属管线,管线的直径在 0.1m 至 0.5m 之间,探测完毕后需进一步分析接收信号的幅度和相位变化,以此确定管线的埋深和走向。

(三)电阻率法

电阻率法为基于地下介质电阻率差异的探测技术,该技术可测量不同位置的电位差,以此合理判断出地下不同区域

的电阻率分布。根据电阻率的变化,通过在地下介质中施加电流,该技术可有效识别出地下管线的位置和性质。在实际应用中,电阻率法可精确探测和定位地下管线。例如,在某城市地下管线探测项目中,通过布置四极电极阵列,施加电流并测量电位差,成功定位了深度为 5m 的地下金属管线。测量结果显示,该管线的电阻率明显低于周围土壤的电阻率,以此验证电阻率法应用的可靠性。但需注意的是,应考虑电阻率法存在的局限性: (1)测量结果受地下水、矿物质等因素的影响较大,需要进行多次测量和校正。(2)电阻率法的探测深度和分辨率有限,对于深埋管线,则需结合其他探测方法共同使用。

Q 地面探测法在深埋管线探测中的应用

(一)声波探测法

在地面探测法中,声波探测法广泛应用于深埋管线的探测工作,该技术基于声波传播原理,通过发射声波信号,并记录声波在地下介质中的传播和反射特性,从而识别和定位地下管线。当声波遇到不同密度和弹性的地下物体时,会产生反射、折射和衰减。通过接收和分析这些反射信号,可获得地下物体的位置信息。声波探测法的关键参数包括声波频率、声波速度和反射信号的强度。声波探测设备包括发射器、接收器和数据记录系统。发射器发出高频声波,接收器记录返回的反射信号,而声波传播速度则可用以下公式表示: $v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$,其中, v 表示声波速度, E 是介质的弹性模量, ρ 是介质的密度。在实际应用中,声波探测法对不同材料的管线具有较好的识别能力,针对金属管线和混凝土管线,则可获得清晰的反射信号。此外,声波探测法还可快速识别出地下空洞和其他异常结构,以此为管线的安全运行提供重要信息。

(二)激光雷达(LiDAR)法

激光雷达(LiDAR)法主要是利用激光技术进行高精度测量、成像,技术通过发射激光束并接收其反射信号,精确测量目标物的位置和形状,从而识别和定位地下管线。LiDAR 系统包括激光发射器、接收器和数据处理单元。激光发射器发射短脉冲激光束,激光束在遇到地下目标物时反射回接收器,接收器记录反射信号的时间和强度。根据激光束飞行时间,进一步计算出目标物与 LiDAR 设备之间的距离: $d = \frac{c \cdot t}{2}$, d 表示目标物与 LiDAR 设备之间的距离, c 是光速, t 是激光脉冲的往返时间, LiDAR 法的主要优势在于其高精度、高分辨率和快速成像能力。激光束具有很高的方向性和能量集中性,可穿透植被和浅层土壤,对地下目标物进行精确定位。在实际应用中,需结合具体情况利

用 LiDAR 系统，通过 LiDAR 设备每秒发射和接收的数百万个激光脉冲，生成高分辨率的地下三维图像，最终可为管线维护、管理提供所需的数据信息。

(三)重力探测法

重力探测法依赖地球重力场的变化。当地下存在密度差异时，如金属管线和周围土壤的密度不同，会引起局部重力场的微小变化，而仪器设备则可检测到此类变化，并通过数据处理和分析，推断出地下物体的存在及其具体位置。

重力测量的基本公式为： $g = G \cdot \frac{M}{r^2}$ ， g 是重力加速度， G 是万有引力常数， M 是地下物体的质量， r 是测量点到物体质心的距离。在具体探测中，施工人员需通过测量不同位置的重力变化，反演出地下物体的密度分布，进而识别和定位地下管线。如，布置 100 个测量点，每个点之间的间距为 10m，成功定位了一条埋深为 15m 的金属管线。测量过程中，检测到的重力变化量在 0.1mGal 至 0.5mGal 之间，通过数据处理和反演，准确描绘出管线实际埋深。

井中磁梯度法在深埋管线探测中的应用

为满足道路改扩建工程的需要，某工程项目面临地下深埋管线探测的挑战。由于电磁感应法无法有效探测到这些管道，为了精确探查管道的平面位置和埋深，保证施工安全，可利用井中磁梯度法进行探测。井中磁梯度法通过在地下井中测量磁场梯度变化来定位深埋管线。其基本原理是，地下金属管线会对地磁场产生局部扰动，而此扰动会在管线附近形成磁异常。通过在井中布置磁梯度仪器，测量不同深度处的磁场梯度变化，可识别、定位管线的位置和埋深。在实际应用中，施工人员探测到埋深超过 10m 的金属管线，并应用井中磁梯度法进行详细探测，在该项目中，布置多口深井，每口井间距为 50m，井深达到 20m。需使用高精度磁梯度仪器，灵敏度极高，在各井内进行不同深度处的磁场梯度测量。通过分析测量数据，识别出在 15m 深度处的磁异常。而距目标管道相同距离的磁异常曲线特征相

似，相同距离上不同管径的管道所产生的磁异常反应差异明显，说明管道尺寸对于磁异常有明显影响。进一步的数据处理和反演显示，磁异常对应于一条直径 0.6m 的金属管线，管线走向与道路改扩建工程的施工线路基本一致。

结束语

总之，深埋管线探测是城市基础设施建设和维护中的关键环节，关系管线的安全长效运行。如上所述，不同探测方法在适用性、精度和操作难度等方面各有优劣，合理选择并结合多种探测技术，可以显著提升探测的准确性、可靠性。未来，随着技术的不断进步和创新，深埋管线探测技术将得到进一步发展，最终助力城市基础设施的安全运行与可持续发展。

参考文献

- [1]崔海波,李育强,潘喜峰.磁梯度法在天津某深埋平行燃气管线探测中的应用[J].勘察科学技术,2023(04):53-56.
- [2]王胜昌,胡绕,陆礼训,等.深埋管线精细探测方法应用研究[J].城市勘测,2023(Z1):86-90.
- [3]吴楚怡,安聪.基于磁梯度法的地下深埋管线探测方法研究[J].城市道桥与防洪,2021(08):341-345.
- [4]彭建,杨泽帆,白洁,等.基于探地雷达的地下管线埋深估计方法[J].雷达科学与技术,2022,20(01):79-86.
- [5]张利波,任攀虹.磁梯度技术在深埋管线探测中的应用研究[J].工程技术研究,2022,7(19):37-39.
- [6]胡文武,陈月.基于无人机测绘应用的管线埋深巡查[J].新一代信息技术,2022,5(07):107-109.

作者简介:

王兴文(1983-),男,汉族,宁夏固原人,硕士,高级工程师,湖北省国土测绘院,研究方向:工程测量、管线探测。

彭粤(1985-),女,汉族,湖南长沙人,本科,工程师,湖北省国土测绘院,研究方向:航测遥感。