

# 城市地下疑难管线探测方法研究

## Research on Detection Method of Urban Underground Difficult Pipelines

张黎黎 王鲁米 向荣荣

Lili Zhang Lumi Wang Rongrong Xiang

湖北省电力勘测设计院有限公司 中国·湖北 武汉 430040

Hubei Electric Power Survey and Design Institute Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430040, China

**摘要:** 随着城市基础建设的快速发展,城市的地下管线分布也越来越复杂,这给城市地下管线探测带来了很大的困难。论文围绕非金属管线探测、深埋管线探测等城市疑难管线探测问题,分析不同城市疑难管线的特征,运用不同的探测方法,并通过工程实例应用,提出了有效的解决方法,取得了较好的探测效果和探测精度,具有很好的实际应用价值。

**Abstract:** With the rapid development of urban infrastructure construction, the distribution of urban underground pipelines is becoming more and more complex, which brings great difficulties to the urban underground pipeline detection. This paper focuses on the detection problems of the difficult urban pipelines and deep buried pipeline detection, analyzes the characteristics of the urban difficult pipelines, uses different detection methods, and puts forward effective solutions through engineering examples, which achieves good detection effect and has good application value.

**关键词:** 非金属管线;深埋管线;探测方法;解决方法

**Keywords:** non-metallic pipeline; deep buried pipeline; detection method; solution

**DOI:** 10.12346/etr.v5i3.7780

## 1 引言

城市市政、电力工程施工经常遇到打断或破坏地下管线,造成停气、停水、停电、停暖、通信中断、污水肆虐等工程事故,严重影响城市管道运行安全、项目施工进度和施工方案的变更,多是因为地下管线探测成果与实际情况不符造成的。如何准确探测城市地下管线的平面位置及埋深,特别是对非金属管线和深埋管线的探测,值得深入分析研究。近几年,笔者所在院承接了许多城市地下管线探测项目,累计探测了城市地下管线近3万公里,在项目进程中,总结出了许多城市非金属管线和深埋管线(埋深深度大于5m)等城市地下疑难管线探测的经验。

## 2 非金属管线探测方法研究

非金属管线材质主要为PE、PVC及混凝土,因其施工方便、耐热性、抗腐蚀和环保性好等优点而被广泛使用,主

要应用于给水、燃气、排水、通信、电力等城市地下管线的敷设。但由于此类管道均为惰性材料,使得非金属管线不导电、不导磁<sup>[1]</sup>,传统管线探测仪无法进行探测。

地质雷达探测方法通过分析非金属管线与周围填土或介质之间存在一定的“物性差”,通过“物性差”的类型(电磁波速、介电常数等),将采集的雷达数据进行反演分析后,利用专业解译软件放大非金属管线和周围介质的“物性差”,将非金属管线从背景场中识别出来<sup>[2-4]</sup>,以达到非金属管线探测的目的。

声波探测方法通过音频器发射装置向非金属管道内发射特定频率的声波信号,信号沿管道定向传播至远端,该声波信号在管道压力气体中定向传播的同时,通过管壁震动土壤,反射声波传播至地面,同时接收机在地面上捕捉该声波信号,通过地表持续接收信号的强弱值而进行精准定位,达到非金属管线探测的目的,目前该方法广泛用于非金属材质的燃气管道探测。

【作者简介】张黎黎(1988-),男,中国湖南衡阳人,硕士,工程师,从事城市地下管线探测、工程测量等方面的研究。

## 2.1 地质雷达探测方法

### 2.1.1 地质雷达探测原理

地质雷达通过对地下空间发射高频率电磁波，电磁波在地下空间传播时，由于目标管线与周围介质存在物性差，遇到目标管线时，电磁波会产生反射和折射，通过分析反射信号的强度、旅行时间、电磁波波速等信息，达到探测目标管线的目的。

电磁波在地下空间传播时，其传播速度公式如下：

$$v = c_0 / \sqrt{\epsilon_r \mu_r \frac{1 + \sqrt{1 + (\frac{\sigma}{\omega \epsilon})^2}}{2}}$$

式中， $v$  是电磁波在地下空间的传播速度 (m/ns)； $c_0$  是光速 (约为  $3 \times 10^8$  m/s)； $\mu_r$  和  $\epsilon_r$  是相对磁导率和相对介电常数， $\sigma$  是介质电导率， $\omega$  是角频率， $C$  为介电常数。大部分土壤和岩石都具有很高的频率，其介电常数在 4~40， $\sigma < 1$ ，同时  $\mu_r$  接近于 1，因此电磁波在地下空间的传播速度可以表示如下：

$$v = \frac{c_0}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

从上式中可以得出，电磁波在地下空间的传播速度与介质的介电常数成反比关系，介电常数越大，电磁波的传播速度越小，介电常数越小，电磁波的传播速度越大，根据电磁波在地下空间中的传播特点，地质雷达发射天线一般以宽频带短脉冲的方式向地下空间发射高频电磁波，当遇到不同的介电常数界面时，电磁波会产生反射，接收天线接收到发射信号，并对信号进行处理和图像解译。在传播介质不变的情况下，电磁波的传播速度是不变的，根据地质雷达记录的电磁波的旅行时间，可以计算出目标管线的埋深深度，公式如下：

$$H = v \times t / 2$$

地质雷达成果图上非金属管线呈抛物线异常图像，抛物线开角越大说明非金属管线管径越大。地质雷达具有无破坏性、分辨率高、不受管线材质影响、抗干扰能力强（屏蔽天线）等优点，可以广泛应用于城市非金属管线探测。

### 2.1.2 地质雷达工程实例应用

某道路雨污分流改造需进行管线探测，根据现场调查及权属单位指认，该道路下方有 DN600 砼材质雨水管道、DN300PE 材质给水管道、通信管块、DN325PE 材质燃气管道。利用地质雷达垂直道路进行探测，采用 250MHz 频率的屏蔽天线，地质雷达探测成果如图 1 所示。图中出现了 4 个明显异常，1 号异常范围较大，呈直立状，说明在异常范围为空洞状态，结合现场情况分析，该异常为雨水检查井井筒。2 号、3 号、4 号异常均表现为向下开口的抛物线，与周边平行的同相轴形成鲜明的差别，该异常为典型的地下管线特征反映，管道顶部埋深分别为 1.2m、0.8m、1.25m。通过现场施工开挖验证，2 号、4 号异常确认为给水和燃气管道，

管道埋深分别为 0.75m、1.23m，说明地质雷达方法在城市地下非金属管线探测的准确度较高。

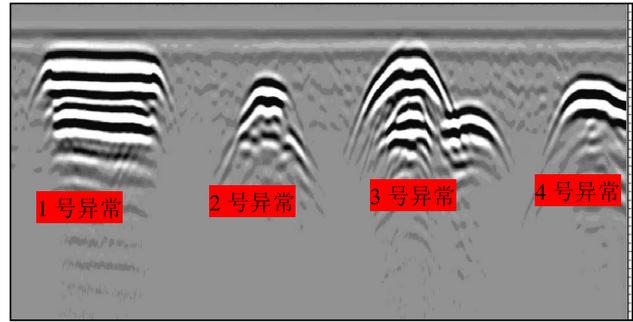


图 1 地质雷达成果图

## 2.2 声波探测方法

### 2.2.1 声波探测方法原理

声波探测方法目前主要应用于燃气管道非金属管线探测，声波探测法的应用条件就是需要把设备声波振动驱动器安装到燃气管道的附属件上，如阀井里的放散口、凝水缸接口、调压箱的压力表接口、调压箱（柜）放散口，低压的立管及法兰口。声波探测法是通过音频器发射装置向燃气管道内发射特定频率的声波信号，信号沿管道定向传播至远端，该声波信号在管道压力气体中定向传播的同时，通过管壁震动土壤，反射声波传播至地面，在底线形成一个点状向地面发散传播。再利用专用接收机在地面上接收该声波信号，从而达到探测燃气管道的目的。

声波探测方法具有以下特点：

- ① 无需开挖无需停气，音频驱动器与燃气管道附属接口（放散口、法兰、调压设备等）使用快速接头连接，安全快捷方便高效；
- ② 抗干扰强，采用主动特殊频率信号和超窄带滤波技术，发射源与接收通道可一一对应，过滤其他自然界频率的声波信号，不会受到其他声波及管道信号影响；
- ③ 适用于任何环境下的管线探测，只要拾音器或钎杆接触地面介质即可，主管道和支管道互通信号均可探测。

### 2.2.2 声波探测方法工程实例应用

某电力隧道顶管工作井施工前，需对顶管工作井周边进行管线探测，在探测过程中发现工作井周边存在一个管径 325mm，材质为 PE 的中压燃气管道，经过权属单位现场指认，该管道为拖拉管施工，由于施工年代久远，权属方无法提供竣工图，权属方要求必须开挖见到管道后才能进行施工。

现场有两个阀门井，利用声波探测仪将发射机接入阀门井，接收机地表搜索声源信号，由于该管道为拖拉管施工，声波探测仪的探测深度有限，管道浅部可以直接在地面进行追踪，管道埋深较深时，无法接收到信号或者信号范围宽、太弱，利用挖机往下开挖一段沟槽（详见图 2），缩短信号到达地表的距离，确定管道位置后，先用先探棒在管道位置进行钎探，钎探点距离不得大于管道 1/2 直径，确定地面 1.2m

以下无管道后，挖机继续开挖，直到钎探到管道，采用人工开挖，最终成功开挖到燃气管道，也证明声波探测方法在非金属燃气管道上的实用性。

### 3 深埋管线探测方法研究

随着水平定向钻进和顶管施工等非开挖技术的广泛应用，以及受到城区施工条件的影响，城市地下管线的敷设常常会常用拖拉管和顶管等非开挖施工，非开挖施工的管线具有埋深大、检查井少等特点，给城市地下管线探测带来很大的困难。

在城市地下管线探测过程中经常会遇到埋深深度大于 5m 的管线，特别是在城市道路十字路口，拖拉管、顶管施工的管线分布繁多。使用管线仪等常规设备已经无法满足探测精度，这种埋深深度已经超出管线仪的有效探测范围。受到水平定向钻进施工的启发，我院使用导向仪探测系统成功解决该类疑难问题。

#### 3.1 导向仪探测系统原理

导向仪探测系统原理是利用传感器螺旋管天线发射额定频率的电磁波信号，通过地面接收机收集电磁波信号，分析并计算出发射螺旋管天线的位置和埋深。该系统的最大探测深度可到 30m，同时具有抗干扰能力强、信号稳定、精度高

的特点。

导向仪系统在使用前需要对导向仪的接收机和传感器进行深度校正，校正完成后将传感器固定在穿线器上，利用穿线器将传感器送入目标管线套管中。传感器在套管中前进时，地面接收机可以探测传感器所处的平面位置和埋深。

#### 3.2 深埋管线探测方法工程实例应用

某道路十字路口军用光缆探测实例应用。该军用光缆为拖拉管横穿路口，与本次设计施工路径交叉，本次设计施工方式也为拖拉管，且现场车流量较大，不具备开挖验证条件，管线权属方也到现场指认，也无法提供准确埋深，由于该军用光缆的特殊性，需要精确探测该军用光缆的平面位置和埋深，给设计方精确数据来判别是否对该军用光缆进行迁改措施。

分别采用管线仪和导向仪两个方法进行对比，图 3 中蓝色曲线为管线仪探测曲线，红色曲线为导向仪探测曲线。通过对比两种方法探测曲线成果，在管线埋深超过 3m 后，管线仪的探测结果与实际埋深误差较大，均比实际埋深浅。导向仪探测成果曲线较为平滑，符合拖拉管施工工艺特征，经过现场多次探测，导向仪探测该军用光缆与设计路径交叉点的埋深为 6.35m，与设计排水管道施工埋深 6.3m 冲突，最终对该军用光缆进行迁改，后续在施工过程中，在扩孔回拉时将该军用光缆带出地面，也验证了导向仪探测的精准性。

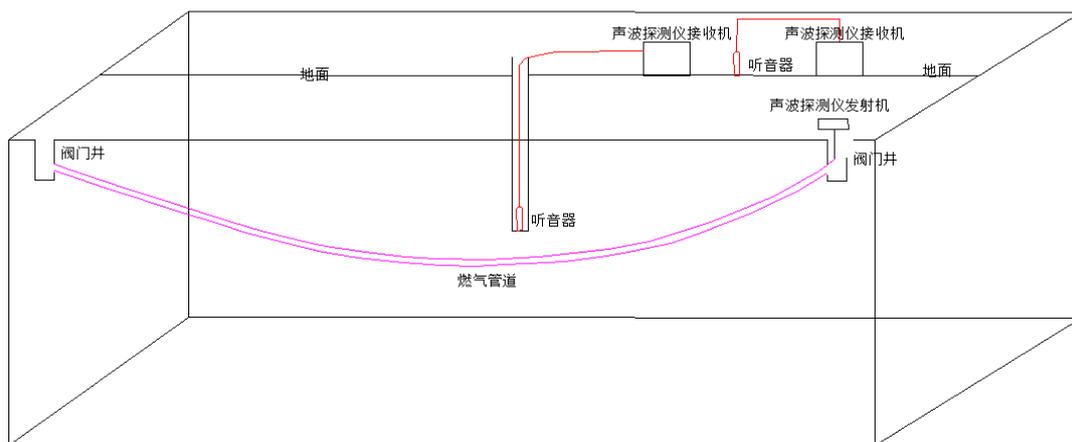


图 2 非金属燃气管道探测示意图

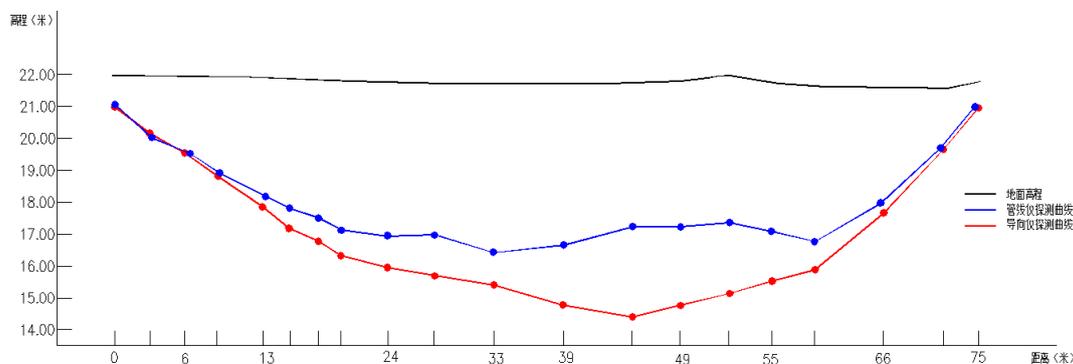


图 3 管线仪和导向仪探测成果曲线图

## 4 结论

通过对地质雷达法、声波探测方法、导向仪系统原理的系统研究,分别对非金属管线和深埋管线探测等城市地下测疑管线探难问题进行分析,结合工程实例,提供了城市地下测疑管线探难问题的解决方法,取得了较好的探测效果,得到结论如下:

①通过工程实例,地质雷达在非金属管线探测上的应用效果显著,具有探测准确、效率高、无损等优点,可作为非金属管线探测的重要探测手段,但地质雷达受场地和地质条件的影响较大,在实际应用中需结合现场实际情况选择不同频率的天线、收发距、采样频率等参数进行探测,才能达到最佳的探测效果。

②声波探测方法目前主要应用于燃气管道探测,该方法在探测埋深较浅的燃气管道时,可以直接在地面通过拾音器进行探测,当燃气管道为拖拉管或顶管施工时,管道埋深较深,由于声波信号的衰减,地面上无法接收到声波信号,需

要结合钎探或者探挖的方式,缩短拾音器与目标管道之间的距离进行探测。

③深埋管线探测时,采用导向仪系统可以有效解决该疑难问题,在使用导向仪探测前,需对接收机和传感器进行深度验证,该方法可以有效解决电力、通信拖拉管、顶管施工的深埋测疑管线探测问题,探测深度最大可达30m,探测精度也满足施工设计要求。

## 参考文献

- [1] 熊俊楠,孙铭,彭超,等.基于探地雷达的城镇燃气PE管道探测方法[J].物探与化探,2015,39(5):6.
- [2] 陈军,赵永辉,万明浩.地质雷达在地下管线探测中的应用[J].工程地球物理学报,2005,2(4):4.
- [3] 范亚男.地下管线探测中探地雷达技术应用研究[J].测绘通报,2015(S1):46-48+53.
- [4] 张鹏,董韬,马彬,等.基于探地雷达的地下管线管径探测与判别方法[J].地下空间与工程学报,2015,11(4):10.