

联合探地雷达和管线仪反演技术在平行地下管线探测中的应用

赵永峰, 李卫东, 柳俊敏

(山东正元地球物理信息技术有限公司, 济南 250101)

摘要: 平行地下管线是城市地下管线探测的难点, 由于两条管道距离较近, 存在电磁场相互叠加的现象, 所以使用管线仪无法准确探测管道的位置。通过对管线仪 70% 定深法的分析, 利用计算机模拟地下管线位置与观测水平磁场的关系, 结合管线仪和地质雷达探测数据, 通过计算机程序模块进行联合反演, 得出可视化数据, 显著提高了平行管线探测的精度。

关键词: 探地雷达; 管线仪; 反演技术; 磁场水平分量; 平行地下管线

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2020)11-0042-04

Application of joint ground penetration radar and pipeline locator inversion technology in parallel underground pipeline detection

ZHAO Yongfeng, LI Weidong, LIU Junmin

(Shandong Zhengyuan Geophysical Information Technology Co., Ltd., Jinan 250101, China)

Abstract: Parallel underground pipeline is a difficult point in urban underground pipeline detection. Because of the close distance between the two pipelines, electromagnetic fields are superimposed on each other. The use of pipeline meter can not accurately detect the position of the pipeline. Through the analysis of the 70% fixed-depth method of the pipeline instrument, the relationship between the position of the underground pipeline and the observed horizontal magnetic field is simulated by computer, and the joint inversion of the pipeline line instrument and the geological radar detection data is carried out through the computer program module to obtain the visual data and significantly improve the parallel pipeline detection accuracy.

Key words: ground penetrating radar; pipeline instrument; inversion technique; horizontal component of magnetic field; parallel underground pipeline

用管线仪探测金属管线时, 往往会探测到平行地下管线, 由于其间距小于 2 倍埋深, 电磁场相互感应和叠加, 故接收机分析的信号是几条管线的叠加信号, 无法准确探测出每一条管线的位置, 存在较大误差。采集 2 条管线磁场水平分量进行反演, 由于地球物理反演具有多解性, 其结果不是唯一的, 所以单一的物探方法具有局限性, 需要联合其他物探方法进行反演。

探地雷达法也是管线探测的常规方法之一, 可以弥补管线仪的不足, 其除了能探测非金属管线外, 对平行管线的定位也较为准确, 但由于地下介质复杂, 不同深度、不同位置的波速都不一样, 故定深存在较大误差。因此, 利用管线仪和地质雷达采集初始数据, 通过计算机反演模块进行反演, 可以最大限度地利用两者的优点, 真实地反映出地下管线的具体位置, 提高探测精度。

1 联合反演方法

1.1 地下管线探测原理

1.1.1 管线仪探测金属管线原理

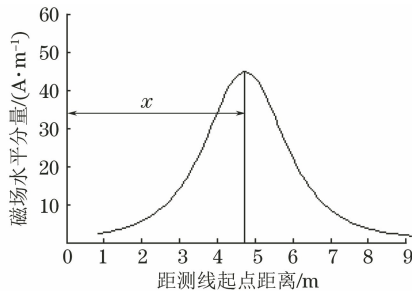
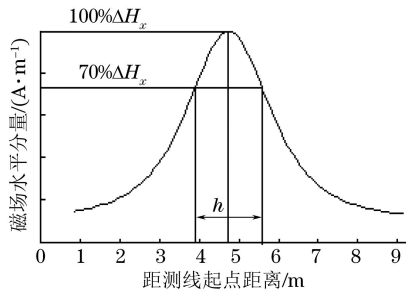
一般采用电磁法对金属地下管线进行探测, 主

收稿日期: 2019-07-30

作者简介: 赵永峰(1975—), 男, 工程师, 主要从事地下管线探测工作

通信作者: 赵永峰, 1371497516@qq.com

要使用的仪器是管线仪,发射机向地下发射谐波电磁波,形成一次场,一次场使金属管线产生感应电流,在管线周围产生二次场,通过在管线上方的接收机接收二次场信号,分析其分布特征,从而可以确定地下管线的位置。以 RD4000 管线仪为例,接收机测量并经过内部程序处理后得到磁场的水平分量为 ΔH_x ,用极大值法对管线进行定位,用 70% 法对管线进行定深。管线 ΔH_x 曲线及其定位、定深方法如图 1、2 所示(x 为管线距离测线起点的距离, h 为管线埋深)。

图1 管线 ΔH_x 曲线及极大值法定位示意图2 管线 ΔH_x 曲线及 70%法定深示意

1.1.2 地质雷达探测管线原理

探地雷达(Ground Penetrating Radar, GPR)利用天线向地下发射宽频带高频电磁波^[1],电磁波信号在介质内部传播遇到界面时,就会产生反射、透射和折射^[2]。反射的电磁波被与发射天线同步移动的接收天线接收后^[3](见图 3,图中 d 为两接收天线间的距离, z 为地面到介质界面的距离, v 为电磁波在介质中的波速),由雷达主机精确记录下反射回来的电磁波的运动特征,再通过信号技术处理,形成全断面扫描图^[4]。工程技术人员通过对雷达图像的判读,判断出地下目标物的实际结构情况^[5]。

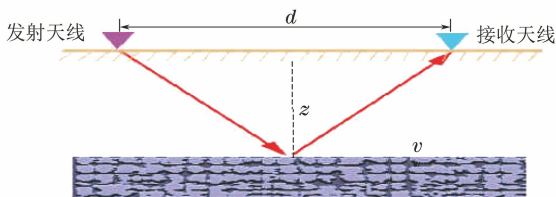
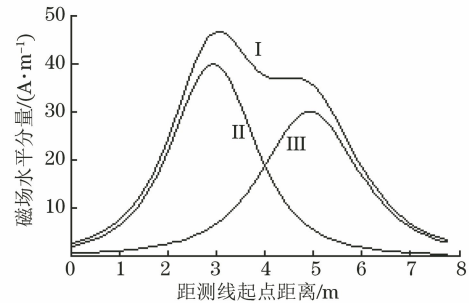


图3 探地雷达的工作原理示意

1.2 两条平行管线信号异常的特征

当地下两条管线间距离较近,即小于 2 倍管线埋深时,其产生的二次场相互叠加,很难分辨各自的峰值(见图 4,图中 II,III 分别为两条管线各自的 ΔH_x 曲线),图中两条平行管线磁场同向,叠加后的 ΔH_x 曲线为 I,只有 1 个明显的峰值,按此峰值计算的管线平面位置和埋深精度很差。

图4 两条相邻平行管线的 ΔH_x 理论曲线及其叠加曲线

1.3 管线仪反演法

利用管线仪采集 2 条平行地下管线的的数据,绘制成如图 5 所示的叠加 ΔH_x 曲线,若想准确求出管线 1 的平面位置和埋深,必须消除管线 2 磁场的影响。在 a 点处管线 1 的磁场水平分量为

$$\Delta H_{xa1} = \Delta H_{xa} - \Delta H_{xa2} \quad (1)$$

式中: ΔH_{xa} 为管线 1 和管线 2 在 a 点处叠加的磁场水平分量; ΔH_{xa1} 为管线 1 在 a 点处的磁场水平分量; ΔH_{xa2} 为管线 2 在 a 点处的磁场水平分量。

ΔH_{xa} 为已知,只需求出 ΔH_{xa2} ,即可求 ΔH_{xa1} 。 a 点与 b 点到管线 2 的距离相等, b 点与 c 点到管线 1 的距离相等,因此

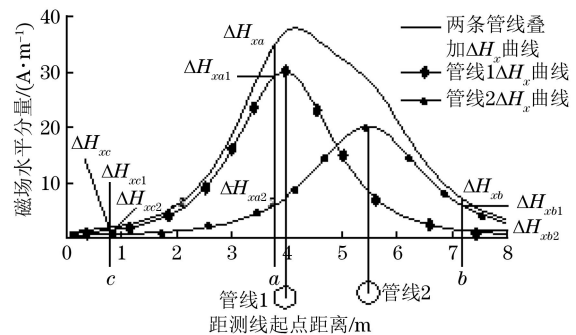
$$\Delta H_{xa2} = \Delta H_{xb2} \quad (2)$$

$$\Delta H_{xc1} = \Delta H_{xb1} \quad (3)$$

$$\Delta H_{xb2} = \Delta H_{xb} - \Delta H_{xb1} \quad (4)$$

$$\Delta H_{xc1} = \Delta H_{xc} - \Delta H_{xc2} \quad (5)$$

式中: ΔH_{xb} 为管线 1 和管线 2 在 b 点处的叠加磁场水平分量; ΔH_{xb1} 为管线 1 在 b 点处的磁场水平

图5 两条相邻平行管线的 ΔH_x 曲线及其特征量

分量; ΔH_{xb2} 为管线 2 在 b 点处的磁场水平分量; ΔH_{xc} 为管线 1 和管线 2 在 c 点处的叠加磁场水平分量; ΔH_{xc1} 为管线 1 在 c 点处的磁场水平分量; ΔH_{xc2} 为管线 2 在 c 点处的磁场水平分量。

由以上各式可以得到

$$\Delta H_{xa1} \approx \Delta H_{xa} - \Delta H_{xb} + \Delta H_{xc} - \Delta H_{xc2} \quad (6)$$

ΔH_{xa} , ΔH_{xb} , ΔH_{xc} 为已知数,只有 ΔH_{xc2} 为未知数,由于 c 点距离管线较远,数值小且变化不大,对整体异常曲线的影响很小,所以可以根据磁异常数据预估其值,成为修正系数。按此方法可以求出管线 1 的近似磁场水平分量,利用极大值法和 70%法即可以确定管线 1 的平面位置和埋深。同理,可求管线 2 的位置和埋深。

由上述分析可以看出,要想精准地求出 2 条管线各自的 ΔH_x ,须确定 2 条管线的平面位置,笔者使用地质雷达准确地探测出 2 条管线的平面位置,引入综合地球物理反演思想,利用管线仪实测的 ΔH_x 和地质雷达探测的数据进行反演解释,将这两种方法作为约束条件,相互约束。联合反演成像的步骤如下所述。

(1) 把实测的 2 条管线叠加的磁场水平分量数据和地质雷达探测的 2 条管线的平面位置数据输入计算机反演程序中。

(2) 反演程序初步计算出 2 条管线各自的近似磁场水平分量,并画出其 ΔH_x 曲线,然后计算 2 条管线的埋深。

(3) 程序自动利用 2 条管线的平面位置和埋深,通过正演程序计算模拟出各自的 ΔH_x 曲线和叠加 ΔH_x 曲线,将正演出的 ΔH_x 曲线与实测 ΔH_x 曲线进行拟合分析。如果拟合误差满足给定的精度要求,就将这 2 个埋深作为管线的最终埋深;否则程序自动返回步骤(1),自动微调两条管线的平面位置后再次进行反演计算,直到拟合误差满足要求。

该 Zygyfy 反演软件系统基于 AutoCAD 下的 AutoLISP 语言编程,导入管线实测 ΔH_x 数据和地质雷达探测数据后,系统提供全自动计算推演功能,具有可视化功能和操作简单方便等特点。

2 试验分析

试验对象为两条管径为 300 mm 的钢管,埋深分别为 1.43 m 和 1.96 m,位于 4.35 m 和 6.12 m 处,把管线初始数据输入 Zygyfy 程序中,得到两条管线叠加 ΔH_x 曲线(见图 6)。由图 6 可知,叠加 ΔH_x 曲线只有 1 个峰值,位于 4.55 m 处,埋深为 1.76 m,

相对于管线 1 的平面误差为 0.2 m,埋深误差为 0.33 m,精度超差。修正后的管线 1 和管线 2 的磁场水平分量 ΔH_x 曲线与理论曲线基本重合,程序自动计算出 2 条管线埋深,分别为 1.44 m 和 1.96 m,误差很小。

由试验结果可以看出,当两条管线平面位置用探地雷达确定后,通过管线反演程序可以准确地确定管线的埋深。

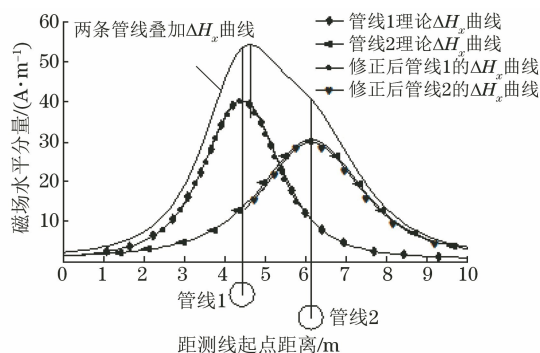


图 6 两条相邻平行管线的叠加 ΔH_x 曲线及其程序分析结果

3 工程应用

在某地下管线普查工程中(工程应用 1),有许多近间距平行管道,利用联合探地雷达和管线仪反演技术对其进行定位和定深,取得了良好的效果。探测工程中有两条给水管道管径分别为 600 mm 和 500 mm,由于相距较近,管线仪无法准确探测出其平面位置和埋深。利用探地雷达探测出这两条管道距离探地雷达测线起点距离分别为 1.75 m 和 2.45 m,探地雷达剖面图如图 7 所示(箭头所指即为管道管顶位置),把这两条管道的距离和实测的叠加磁场水平分量数据输入到 Zygyfy 反演软件系统中,经计算得到如图 8 所示的平行管道 ΔH_x 曲线,从图 8 可以看出,叠加 ΔH_x 曲线只有 1 个峰值,无法判断出两条管道的位置和埋深,但 2 条管道修正后的 ΔH_x 曲线各自有 1 个峰值,通过软件计算自动得出两条管道相距 0.7 m,埋深分别为 1.27 m 和 1.11 m,经开挖验证,两条管道的平面位置误差为

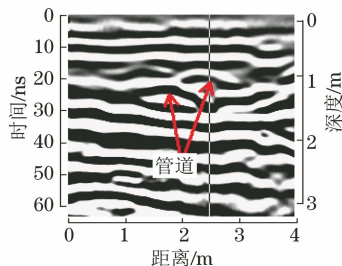


图 7 两条管道的探地雷达剖面图(工程应用 1)

0.05 m,埋深分别为 1.22 m 和 1.03 m,误差分别为 0.05 m 和 0.08 m,精度符合国家规程要求。

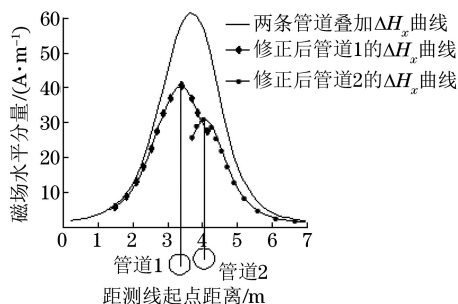


图8 两条相邻平行管道的叠加 ΔH_x 曲线及其程序分析结果(工程应用 1)

又有另一探测工程(工程应用 2),2 条管道距离较近,分别为给水和煤气管道,两条管道的雷达剖面图如图 9 所示,距离雷达测线起点位置分别为 6.62 m 和 8.42 m。利用管线仪反演程序得出两条管道的 ΔH_x 曲线(见图 10),经反演程序计算得到的两条管道的平面距离与地质雷达探测的结果吻合,埋深分别为 1.50 m 和 1.30 m,经开挖验证,两条管道的平面位置分别为 6.60 m 和 8.47 m,埋深分别为 1.42 m 和 1.35 m,平面误差分别为 0.02 m 和 0.05 m,埋深误差分别为 0.08 m 和 0.05 m,精度符合国家规

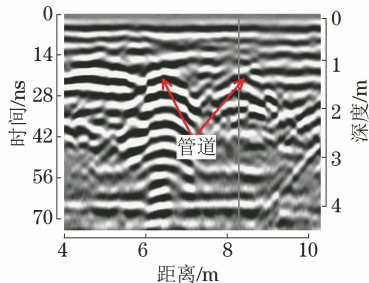


图9 两条管道的探地雷达剖面图(工程应用 2)

(上接第 27 页)

(3) 采用相控阵超声技术检测铝合金焊接接头时,当主筒体厚度为 10 mm 的板材选用自聚焦探头检测,16 mm 的板材选用常规探头检测时,检测结果准确、缺陷定量精度高,且该技术可作为主要检测手段,射线检测作为辅助检测手段,主要用于 GIS、GIL 等设备焊接外壳的检测,以提高检测效率、降低射线检测带来的辐射危害。

参考文献:

- [1] 李衍. 标准超声相控阵检测技术[J]. 无损探伤, 2012, 36(1): 5-8.
- [2] 刘晓睿, 强天鹏, 郭冠华, 等. 国外的工业相控阵检测标

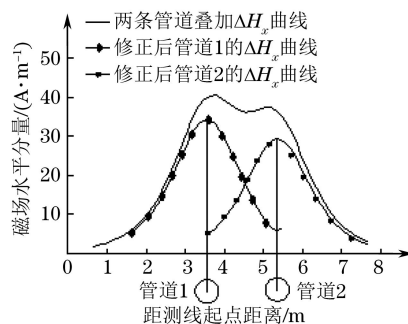


图10 两条相邻平行管道叠加 ΔH_x 曲线及其程序分析结果(工程应用 2)

程要求。

4 结语

当两条金属管线间距较近,可以联合探地雷达和管线仪反演技术确定其准确位置。通过工程实例验证,该方法精度较高,平面精度一般在 0.1 m 以内,埋深误差小于 0.15 m,符合国家规程要求,可以应用在管线探测工程中。

参考文献:

- [1] 李大心. 地质雷达方法与应用[M]. 北京:地质出版社, 1994.
- [2] 区福邦. 城市地下管线普查技术研究与应用[M]. 南京:东南大学出版社, 1998.
- [3] 王群, 倪宏伟, 徐毅刚. 基于小波能量特征的探雷方法研究[J]. 数据采集与处理, 2003, 18(2): 156-160.
- [4] 王群, 何云龙, 王春和. 基于神经网络的探地雷达探雷研究[J]. 电波科学学报, 2001, 16(3): 398-403.
- [5] 王群, 倪宏伟, 徐毅刚. 利用复合特征进行模式识别的探雷研究[J]. 应用科学学报, 2003, 21(1): 53-58.

准[J]. 压力容器, 2012, 29(3): 53-58.

- [3] 胡栋, 王强, 肖琨, 等. 奥氏体不锈钢焊缝的相控阵超声检测[J]. 河南省科技大学学报(自然科学版), 2013 (1): 8-11.
- [4] 肖武华, 孔令昌, 李明阳. 相控阵检测技术在缺陷定位、定性、定量中的准确性[J]. 中国特种设备安全, 2013, 34(1): 24-26.
- [5] 梁世蒙, 高海良, 黄伟, 等. 相控阵聚焦法则设置对成像效果的影响研究[J]. 无损检测, 2018, 40(1): 12-15.
- [6] 原可义, 吴开磊, 扬齐, 等. 相控阵超声检测的近场和远场选择[J]. 无损检测, 2019, 41(3): 7-11.
- [7] 余亮, 陈玉华, 黄春平, 等. 搅拌摩擦焊焊缝缺陷的超声相控阵检测技术[J]. 焊接学报, 2014, 35(1): 21-24.