

doi: 10.11720/wtyht.2016.5.33

肖敏,陈昌彦,贾辉,等.金属管线对探地雷达探测道路地下病害的干扰[J].物探与化探,2016,40(5):1046-1050.http://doi.org/10.11720/wtyht.2016.5.33

Xiao M, Chen C Y, Jia H, et al. The study of the interference region around metal pipeline in underground disease detection of urban road[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2016, 40(5): 1046-1050. http://doi.org/10.11720/wtyht.2016.5.33

金属管线对探地雷达探测道路地下病害的干扰

肖敏,陈昌彦,贾辉,苏兆锋,白朝旭,张辉

(北京市勘察设计院有限公司 北京市道路与市政管线地下病害工程技术研究中心,北京 100038)

摘 要: 探地雷达作为一种电磁波反射类的方法,在城市道路地下病害探测中受金属管线干扰较大。为分析地下病害位于金属管线的不同部位的干扰问题,从探地雷达的分辨能力出发,推导出金属管线侧方探测干扰区的基本计算公式,结合正演数值模拟和实际同等规模建设的物理模型,对金属管线周边干扰区进行了验证试验。结果表明:金属管线两侧一定跨度范围内,存在一垂直高度为一个电磁波波长的干扰区,当地下病害位于该区域时,其反射波组受干扰,不利于病害属性和规模的解释,而当地下病害位于金属管线的正下方时,其不能被目前常用的单体式天线探测到。

关键词: 探地雷达;地下病害;干扰区;金属管线;空洞

中图分类号: P631

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2016)05-1046-05

近年来,受强降雨、地下工程开挖、地下不良地质条件、带水管线渗漏等各种因素的综合影响^[1],全国各大城市由于地下病害引发的道路塌陷事故频发,给城市安全运营带来重大影响。以北京为例,每年发生的道路塌陷事故超 200 起。全国各地陆续开始开展道路地下病害的探测工作,探测地下存在的脱空、空洞、不同程度土体疏松和富水等病害,探测方式主要以探地雷达^[2-5]为主,该方法具有无损、快速、精度高等优点,但也存在易受干扰、测试深度受限等不足。

贾辉等^[6]对城市环境中常见干扰源的探地雷达图像特征进行了分析,这些干扰源在很大程度上影响数据的信噪比和分辨率,或在探地雷达图像上往往形成与地下病害相似的图像特征,容易造成地下病害异常的漏判或误判,给数据解释造成困难。以地下金属管线为例,电磁波入射到金属上会发生全反射,金属管线的电磁波反射特征表现为强振幅的倒悬双曲线形态^[7],此时若金属管线周边存在地下病害,金属管线可能会对地下病害的反射波组造成影响,甚至产生屏蔽作用而导致病害无法被探测到,为地下病害探测与解释带来困难。为此,有必要

分析地下金属管线周边干扰区的问题。

1 探地雷达基本原理

探地雷达方法是一种电磁波反射法,通过往地下发送一定频率的电磁波,接收地下目标的反射电磁波信号,形成类似于地震单点反射的连续记录剖面。探地雷达探测的基础,是要求地下目标物具备足够的介电差异(以相对介电常数和电导率为主要参数)^[8-9]。

探地雷达法易受地上地下的各种干扰,特别当病害位于金属管线周边的时候,金属管线对其存在着强烈的干扰甚至产生屏蔽作用,所以金属管线周边存在一定范围探测干扰区。

2 金属管线周边干扰区分析

在此,基于探地雷达的分辨能力对干扰区进行分析,判别金属管线与病害的相对位置是否能够达到所选探地雷达天线的分辨能力要求。如图 1 所示的目标体与金属管线的位置关系,假定在均匀介质中,金属管线周边存在一地下病害,金属管线半径为 r ,顶面埋深为 d ;病害顶面埋深为 d_1 ,当雷达位于病

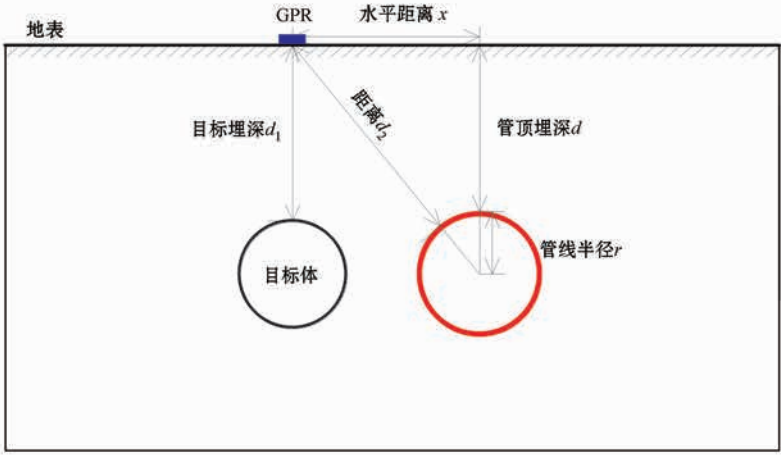


图 1 地下病害位于金属管线侧方示意

害上方时,该测点与金属管线反射点之间的距离为 d_2 ,病害中心与金属管线中心的水平距离为 x ,按照勾股定理,存在以下关系

$$d_2 = \sqrt{x^2 + (d + r)^2} - r \quad (1)$$

为能够有效地在金属管线的干扰下分辨出病害的波组,考虑城市地下金属管线周边病害体探测的复杂性,要求病害的中心部位的反射波与金属管线的反射波之间的双程走时之差不小于一个雷达子波时间长度 T (理论分辨能力是不小于半个雷达子波时间长度^[10])。假定病害顶面双程走时为 t_1 ,同一测点处来自金属管线的反射波走时为 t_2 ,则要分辨空洞,需满足

$$|t_1 - t_2| \geq T \quad (2)$$

反之,当

$$|t_1 - t_2| < T \quad (3)$$

时,金属管线将对地下病害产生干扰,根据双程走时与距离的关系,式(3)可表示为

$$\left| \frac{2d_1}{v} - \frac{2d_2}{v} \right| < T \quad (4)$$

即 $|d_1 - d_2| < \frac{\lambda}{2}$; (5)

其中: v 为电磁波在介质中的传播速度, λ 为介质中电磁波的波长($\lambda=vT$)。将式(1)代入上式,求得地下病害顶面埋深 d_1 与水平距离 x 之间的不等关系式:

$$\sqrt{x^2 + (d + r)^2} - r - \frac{\lambda}{2} < d_1 < \sqrt{x^2 + (d + r)^2} - r + \frac{\lambda}{2} \quad (6)$$

上式即为金属管线周边探测干扰区的计算公式。根据公式大致可得到如图 2 所示的金属管线周边干扰区示意图。图中所示的垂向范围为 1 个电磁波波长 λ ,当地下病害的顶面深度位于该区域时,将受到金属管线的干扰,虽然采取偏移归位处理可以收拢管线的双曲线反射,但同时也会干扰地下病害的自身反射波组,影响解释工作;而当地下病害位于图 2 所示的管线正下方区域时,地下病害将被金属管线完全屏蔽,金属管线下方也可称之为探地雷达探测的“盲区”。

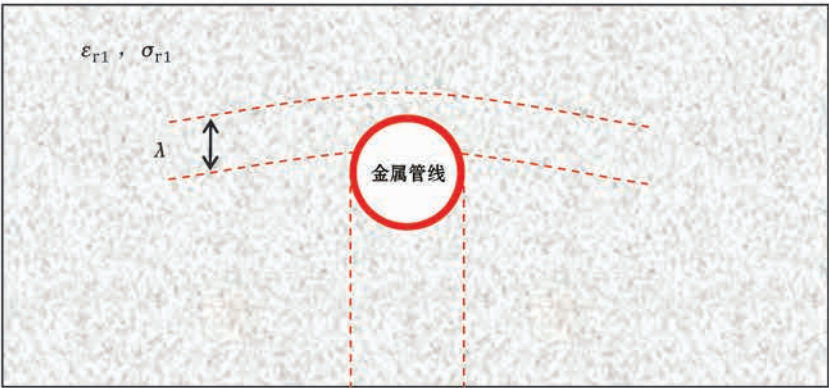


图 2 金属管线周边干扰区示意

实际情况中,金属管线反射的振幅从管线的中心向两翼逐渐减弱,随着水平距离的增大,金属管线的干扰能力逐渐减弱,所以该干扰区在水平上也存在一定的范围界限。实验证明,剖面上直径 1.2 m 金属管线的反射波横向影响范围约有 5.0 m。一般来说,管线埋深越浅,其倒悬双曲线反射弧横向跨度越小。

3 金属管线周边干扰区的数值模拟

为此,采用探地雷达正演软件,设计金属管线周

边空洞模型对探测干扰区进行数值模拟。如图 3 所示的模型,在金属管线周边设计 3 个方形空洞,分别位于金属管线的侧方干扰区、侧下方非干扰区和正下方干扰区,金属管线半径 $r = 0.5\text{ m}$,顶部埋深 $d = 2.0\text{ m}$,正演时选用 200 MHz 中心频率的天线,周边介质的相对介电常数 $\varepsilon_{r1} = 9$,求得介质中电磁波波长为 $\lambda = C/(f_c\sqrt{\varepsilon_r}) = 0.5\text{ m}$,根据式(6)求得探地雷达的侧向干扰区为:

$$\sqrt{x^2 + 6.25} - 0.75 < d_1 < \sqrt{x^2 + 6.25} - 0.25。$$

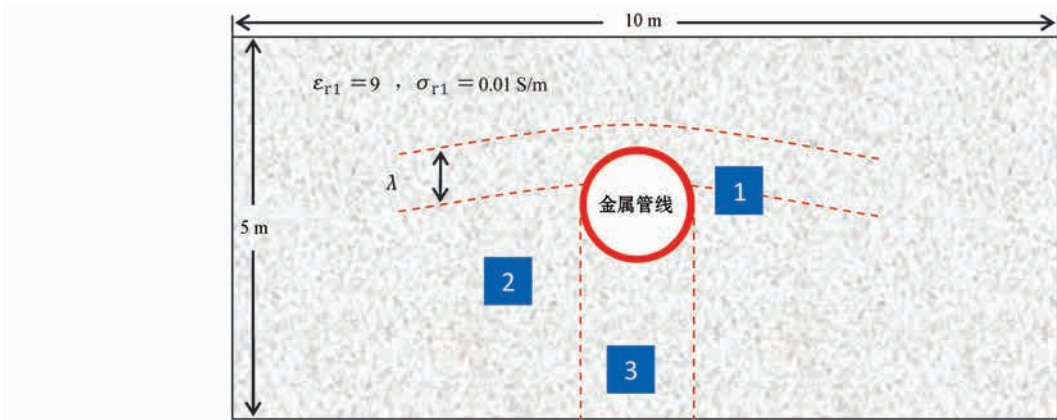


图 3 金属管线周边空洞模型(红虚线区域表示干扰区)

从图 4 所示的正演模拟剖面中,可以得出以下结论:

- 1) 空洞 1 位于金属管线侧面的干扰区内,由于受到金属管线的影响,其反射波组被干扰,对异常的提取及其属性、规模的解释都造成了很大的困难。
- 2) 空洞 2 位于金属管线的侧下方,不在干扰区内,未受到金属管线反射波的干扰,其反射波组清晰,可明确解释异常的属性和规模。
- 3) 空洞 3 位于金属管线的正下方区域,已完全被金属管线屏蔽,在正演图中没有空洞 3 的有效反射波组,故金属管线正下方为雷达探测的“盲区”。

4 物理模型试验

采用物理模型对金属管线周边干扰区进行进一步的验证,建造了金属管线周边空洞的模型,其平面位置如图 5 所示,使用砖砌成形、木板封顶后覆盖砂土,模拟方形地下空洞(规模 2.5 m×2.0 m×1.0 m),东侧空洞顶部埋深为 2.0 m,西侧空洞顶部埋深为 1.0 m,而金属管线(Ø1 200 mm)是倾斜埋设的,其埋深是东深西浅,管线东端顶部埋深为 2.0 m,西端顶部埋深 0.0 m。测试时采用的天线主频为 200 MHz,根据已知深度目标体的雷达数据求得场地介质的电磁波速度,并计算得到介质中电磁波波长 $\lambda = 0.61\text{ m}$ 、综合介电常数^[11]约为 6。

如图 5 所示,在垂直管线走向方向,平行布设了 2 条南北方向的测线,经计算,测线 1 下方管线顶部埋深 $d = 1.8\text{ m}$,测线 2 下方管线顶部埋深为 $d = 1.3\text{ m}$,测试结果见图 6。

若要使得空洞中心的反射波位于金属管线的探测干扰区,即 $x = 3.1\text{ m}$ 时,用式(6)求得金属管线顶部埋深 d 应当满足: $0\text{ m} < d < 0.23\text{ m}$;而测线 1 和测线 2 位置处,金属管线的埋深远远大于该范围,所以 2 条测线位置处,空洞中心的反射波均不受金属

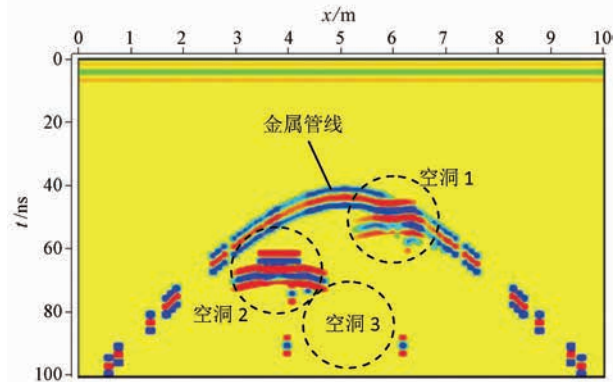


图 4 金属管线周边空洞模拟结果

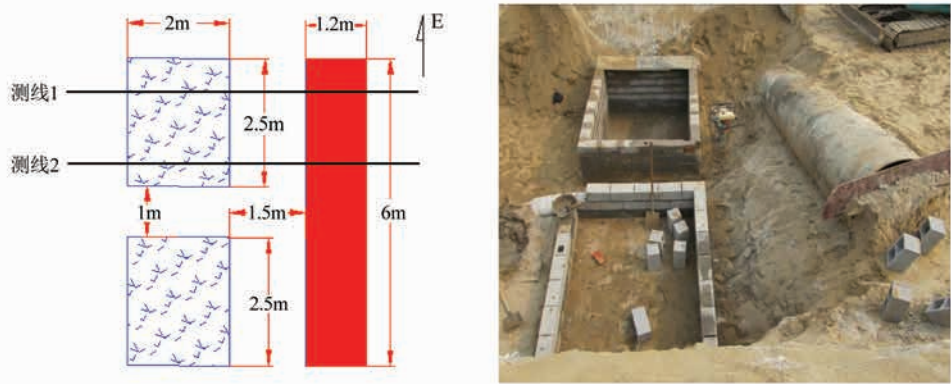


图5 金属管线周边空洞模型设计与施工现场

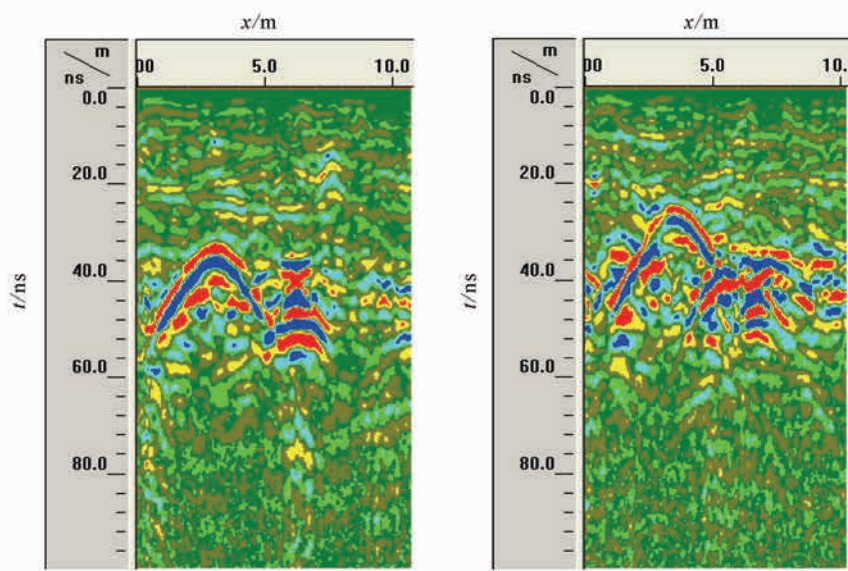


图6 金属管线周边空洞模型测线1(左)和测线2(右)的实测剖面

管线的干扰。图6所示的实测数据也证实空洞中心未受干扰,2条测线均可见明显的洞顶平板状反射波,其中测线1中可见两侧洞壁的“交叉”反射,但测线2靠近管线一侧的洞壁反射明显受到金属管线的干扰,表现不清晰。

针对测线2处空洞靠近管线的边界受干扰情况,分析其是否位于金属管线的干扰区。取空洞靠近管线的边界处与管线中心的距离为水平距离,即 $x=2.1\text{ m}$ 时,用式(6)求得金属管线顶部埋深 d 应当满足: $0.33\text{ m} < d < 1.41\text{ m}$ 。测线1处金属管线顶部埋深(1.8 m)大于1.41 m,故其端点处也不受金属管线的干扰,图6中测线1剖面可以明显看出无干扰,可以明显解释空洞的水平范围;而测线2处金属管线顶部埋深(1.3 m)位于上式计算的埋深区间,所以测线2上空洞靠近管线的边界处会受到金属管线的干扰,图6中测线2剖面也可以明显看出金属管线的双曲线尾端已经和空洞边界的反射波混合在一

起,存在干扰情况。

5 结论与建议

笔者从理论分析、数值模拟和模型实测3个方面,对探地雷达探测道路地下病害时金属管线周边的干扰区问题进行了探讨,得到以下结论:

- 1) 靠近金属管线的两侧,存在一垂向高度为一个电磁波波长的干扰带,当地下病害位于该区域时,病害产生的异常信号受到金属管线干扰,不利于病害的属性判别和规模解释。
- 2) 金属管线的正下方,是雷达探测的盲区,当地下病害位于该区域时,目前常用的单体天线不能探测到。
- 3) 文中仅考虑金属管线周边干扰区问题,因为金属管线在雷达剖面上一般表现为独立的管线外壁全反射倒悬双曲线(埋深较浅时会有多次波),波组成分相对简单,便于计算分析;若是非金属管线,其

反射波组成分较为复杂,包括管顶反射、管底反射、管线顶底之间的多次波反射以及管内充填物的反射等^[12],不适宜使用文中给出的干扰区计算公式。

参考文献:

[1] 陈昌彦,肖敏,贾辉,等.城市道路地下病害成因及基于综合探测的工程分类探讨[J].测绘通报,2013,(s):5-9.

[2] 谢昭晖,李金铭.探地雷达技术在道路路基病害探测中的应用[J].地质与勘探,2007,43(5):92-95.

[3] 葛如冰,孟凡强.探地雷达检测路面脱空大小的模型试验[J].物探与化探,2009,33(5):599-602.

[4] 刘恒.路用探地雷达在道路工程中的应用研究[D].大连:大连理工大学,2002.

[5] 杨峰,张全升,王鹏越,等.公路路基地质雷达探测技术研究

[M].北京:人民交通出版社,2009.

[6] 贾辉,陈昌彦,白朝旭,等.城市道路病害检测中常见干扰源探地雷达图像特征分析[J].工程勘察,2012,40(11):86-92.

[7] 陈昌彦,苏兆锋,肖敏,等.探地雷达探测金属管线的识别方法和属性分析[J].地下管线管理,2012,88(4):12-15.

[8] Annan A P.Ground penetrating radar workshop notes[M].Canada: Sensors & Software Inc,2001.

[9] 李大心.探地雷达方法与应用[M].北京:地质出版社,1994.

[10] 袁明德.浅析探地雷达的分辨率[J].物探与化探,2003,27(1):1-5.

[11] 肖敏,陈昌彦,苏兆锋,等.地下多层介质土体等效介电常数的计算方法[J].物探与化探,2013,37(2):367-372.

[12] 袁明德.探地雷达探测地下管线的能力[J].物探与化探,2002,26(2):152-162.

The study of the interference region around metal pipeline
in underground disease detection of urban road

XIAO Min, CHEN Chang-Yan, JIA Hui, SU Zhao-Feng, BAI Chao-Xu, ZHANG Hui

(BGI Engineering Consultants Co., Ltd., Beijing Engineering Research Center for Underground Disease Associated with Roads and Municipal Pipelines, Beijing 100038, China)

Abstract: As a geophysical method based on the reflection of electromagnetic wave, ground penetrating radar (GPR) is interfered by the underground metal pipeline in underground disease detection of urban road. In order to find out the interference region around the metal pipeline, the authors deduced the calculating formula of the interference region based on the resolution of GPR. After the numerical simulation and the physical model simulation, the authors found that there is an interference region with a vertical height of the electromagnetic wave length beside the metal pipeline. When the underground disease is located in this region, its reflection wave group will be disturbed, which is not conducive to the interpretation of disease's attribute and scale. And when the underground disease is located under the metal pipeline, it cannot be detected by the current single type antenna.

Key words: GPR; underground disease; interference region; metal pipeline; cavity

作者简介: 肖敏(1985-),男,2010年毕业于中国地质大学(武汉),硕士,工程师,研究方向:城市道路地下病害探测、特征识别与风险评估。E-mail: bgi_xiaomin@163.com