岩土工程

地下管线探测电磁场异常特征的理论与实践

张宗岭[1] , 张效良[2]
(1. 中南大学 ,长沙　410083 ;2. 中南地勘局六队 ,黄石　435006)

[摘　要]分析了频率域中一次电磁场和二次电磁场的分布特征 ,以及利用 H_x、H_z 的异常特征点确定地下金属管线的理论依据 ,指出了在复杂地质情况下进行正常场改正的必要性。最后利用不同类型管线检测实际资料 ,说明了方法的有效性。

[关键词]地下管线　电磁场　特征点
[中图分类号]P631. 3 ; TU990. 3　[文献标识码]A　[文章编号]0495 - 5331(2002)01 - 0083 - 03

0　前 言

多种原因使得城市地下管线经常损坏 ,造成停水、停电、停气 ,通信中断 ,甚至引起火灾 ,危及城市居民的正常生活和生命财产安全。随着城市的建设和发展 ,人们愈来愈认识到城市地下管线是城市的生命线。建设部已把城市地下管线列入城市基础设施的重要组成部分 ,特发了建规(1998) 69 号文件。因此 ,城市地下管线探测市场广阔。文中就地下管线在外界电磁场的作用下产生的异常特征进行了理论阐述 ,并结合在深圳等地地下管线探测的实际资料 ,介绍了方法的有效性 ,以及数据采集和处理技术上的改进途径。

1　频率域电磁异常场特征

面临城市地下管线探测的复杂物理环境 ,目前国内外广泛采用频率域电磁法。金属管线在外界电磁场的作用下会产生电磁异常 ,对金属管线直接供以谐变电流 ,金属管线所产生的电磁异常为一次场异常 ;金属管线通过电磁感应所产生的电磁异常为二次场异常。

1. 1　一次场异常特征

将谐变电流 $I_0 e^{-i\omega t}$ 通过地下金属管线的裸露处对其充电。当 $D \ll h$(D —金属管线直径 , h —管线中心埋深) 时 ,可以近似地视金属管线为无限长线性良导体。根据《场论》知识 ,可以计算出空间任一点 p 的总磁场强度 H :[1]

$$H = \frac{I_0}{2\pi r} e^{-i\omega t} \qquad (1)$$

式中: I_0 —谐变电流幅值; r —管线中心到观测点距离。

令 $c = \frac{1}{2\pi}$。其磁场的水平分量 H_x 和垂直分量 H_z 为:

$$H_x = H \cdot \cos\theta = \frac{ch}{x^2 + h^2} I_0 e^{-i\omega t} \qquad (2)$$

$$H_z = H \cdot \sin\theta = \frac{cx}{x^2 + h^2} I_0 e^{-i\omega t} \qquad (3)$$

式中: x —观测点到地下管线在地表投影的垂直距离。

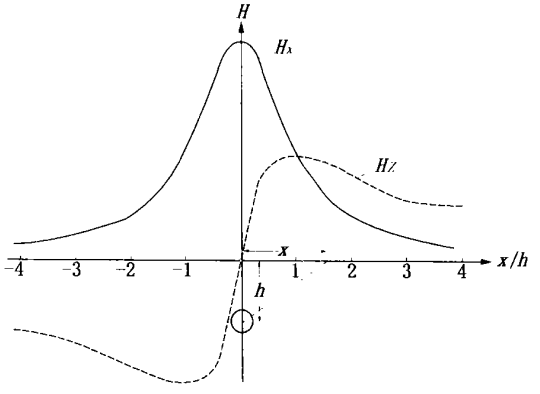

图 1　一次场异常特征

从图 1 可见 , H_x、H_z 曲线特征与管线位置的关系为:

1) 在 $x = 0$ 处 ,即管线正上方 $H_x = H_{x\max}$; $H_z = 0$。

2) 在 $x = \pm h$ 处, $H_x = \frac{1}{2} H_{x\max}$, $|H_{x\max}| = \frac{1}{2} H_{x\max}$。$H_z$ 正负极值点间的距离为 2 倍的管线中心埋深。

3) 在 $|x| \to \infty$ 时 , H_x 及 H_z 曲线均趋于零。

[收稿日期]2001 - 06 - 04 ;[修订日期]2001 - 12 - 01 ;[责任编辑]李石梦。
[第一作者简介]张宗岭(1943 年 -) ,男 ,1969 年毕业于原中南矿冶学院地质系应用地球物理专业。中南大学地质系教授 ,主要从事应用地球物理学科教学和科研工作。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

1.2　二次场的异常特征

当金属管管径较大,不能当作线性体时,把金属管线当作无限长水平圆柱体,通过求解矢量位的波动方程,可以得到二次磁场的水平分量和垂直分量:

$$H_{2x} = H_0 Tr_0^2 = \frac{2h^2 + x^2}{(x^2 + h^2)^2} \quad (4)$$

$$H_{2z} = H_0 Tr_0^2 = \frac{2xh}{(x^2 + h^2)^2} \quad (5)$$

式中: T —频率域电磁响应函数(T 函数); r_0 —圆柱体的半径; r —圆柱体圆心到观测点的距离。

关于二次场关系式的详细推导见《城市地下管线探测手册》[3]。

二次场分布曲线见图 2,该曲线的基本特征:

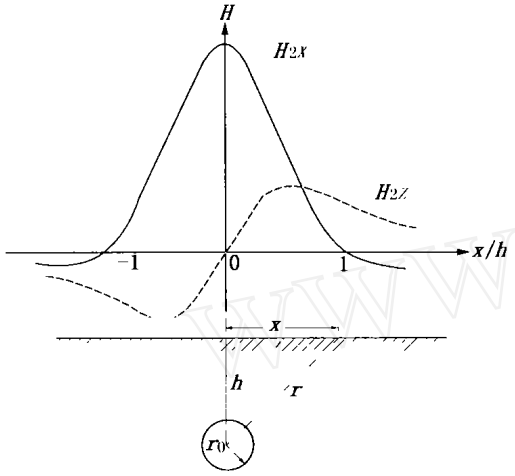

图 2　二次场分布曲线

(1)当 $x = 0$ 时,即在水平圆柱体正上方, H_{2x} 有极大值,且 H_{2z} 曲线在 $x = h$ 处过零点。(2)当 $x = 0$ 时, $H_{2z} = 0$, 在柱体两侧, $x = \pm h/\sqrt{3}$ 处, H_{2z} 有极大值。

由上述可知:

1)在无严重干扰场存在时,无论采用直接充电法还是感应法,均可根据 H_x、H_z 或 H_{2x}、H_{2z} 变化特征判断地下金属管线的存在;

2)根据一次磁场或二次磁场强度的极值点,确定地下管线的中心点在地面的投影点位;

3)采用感应法技术时,应注意对背景场的分析。必要时应对背景场进行改正[2]。

2　实例分析

下面我们主要选择了 1998 年在深圳市探察地下管线中获得的几类典型曲线。

实例 1　铸铁供水管的异常特征

图 3 是深圳市平湖镇的一条实测曲线。采用感应方式观测。H_{2x}、H_{2z} 曲线形态与理论曲线形态基本一致, H_{2x} 的极大值与 H_{2z} 的极小值位置对应,具有典型的地下金属管道的异常特征。计算管的中心埋深 h_c = 64 cm 。开挖验证结果:点位偏差 3 cm, 埋深 h_c = 67 cm,误差为 3 cm,是一管径 400 mm 的铸铁供水管。

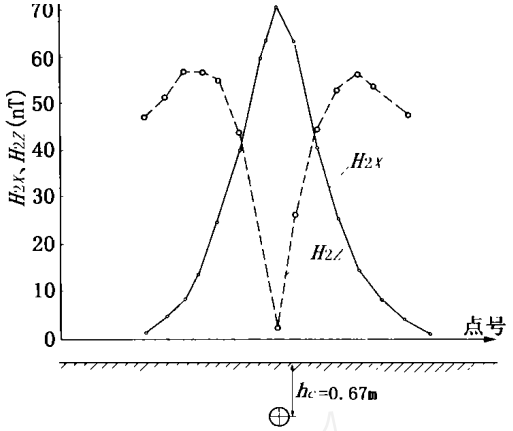

图 3　铸铁供水管的异常特征

实例 2　多条平行走向供水管 H_x、H_z 异常

图 4 是深圳市平湖镇的一条实测曲线。图中 H_x 曲线有明显的三处峰值,而 H_z 曲线虽有一极小值,却与 H_x 极大值无对应关系。开挖结果:于 H_x 三处极大值点深部见到金属供水管。图中左侧是两个管径为 50 mm 的钢管,埋深相同。右侧 H_x 异常较大的部分,深部则为一镀锌钢管。可见当有多条平行管道存在时, H_x 仍可指示管道的存在,而 H_z 则无利用价值。地下金属材料不同,导电性差异大,则引起的 H_x 幅值差异明显。

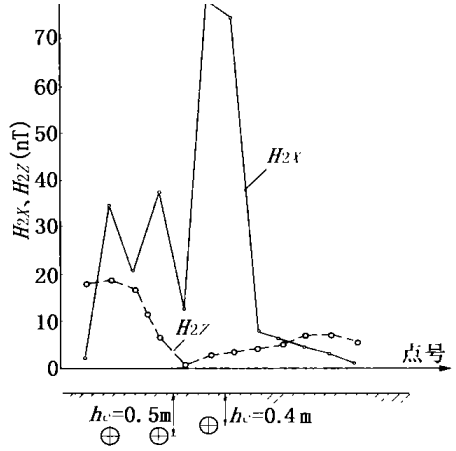

图 4　多条平行走向供水管 H_x、H_z 异常

图 5 是深圳龙岗的一条实测 H_x 曲线。由图可见到两处紧密相伴、形态相似的两峰值异常。由实例 2 已知,当有多峰 H_x 曲线时, H_z 曲线畸变,无法利用,故本图中未画 H_z 曲线。图 5 中 H_x 异常反映了地表下有两条平行走向的金属管线存在。开挖验证结果:见到相距 0.5 m 的供电电缆。其埋深相差 0.05 m。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

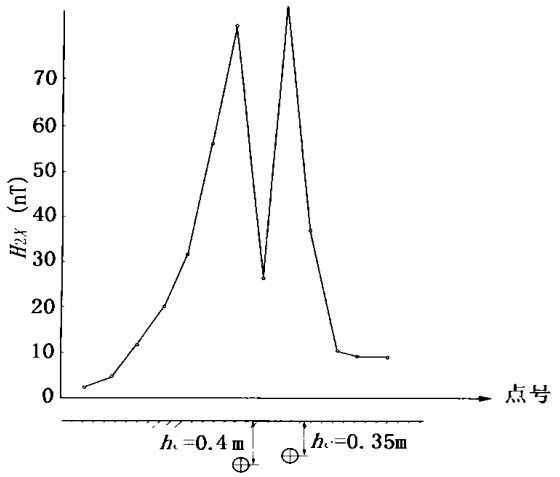

图 5　平行走向电缆的 H_x 异常

实例 4　燃气管道的 H_x、H_z 异常

图 6 是深圳市南山区蛇口的石油液化气管道上方 H_x、H_z 异常。H_x 异常清晰、极大值明显,极大点与管道中心在地面投影完全重合。H_z 异常明显,且与 H_x 极大值对应。但 H_z 右侧曲线受到干扰。根据 H_x 异常计算出的埋深与实际埋深相差 0.5 cm。

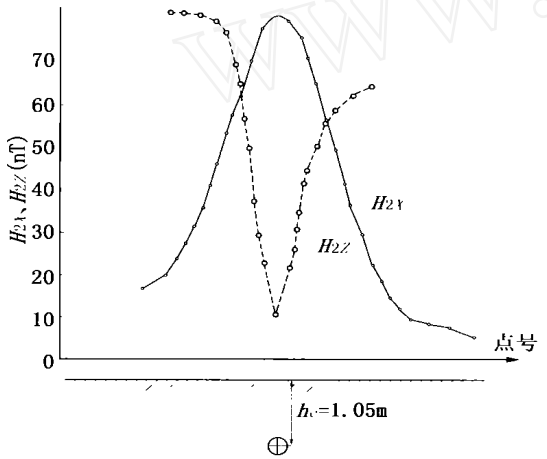

图 6　燃气管道的 H_x、H_z 异常

实例 5　供水水泥管的 H_x 异常

在城市供水管中大多数主供水管采用水泥管道,且埋深较大,是探测的主要对象。水泥管属非良导体。一般采用示踪法探测。但在条件有利时,应用电磁法,使用 KD400 系列仪器,也可有效地探测。图 7 是深圳市南山区的一条实测曲线。由图 7 可见,在高背景上出现较为明显的 H_x 异常。该异常与一般金属管线有明显的差异。经背景改正后,计算管埋深 h_c = 1.25 m。经开挖验证,见到管径为 600 mm 的水泥供水管,实际埋深 h_c = 1.30 m。与计算埋深相差 5 cm。

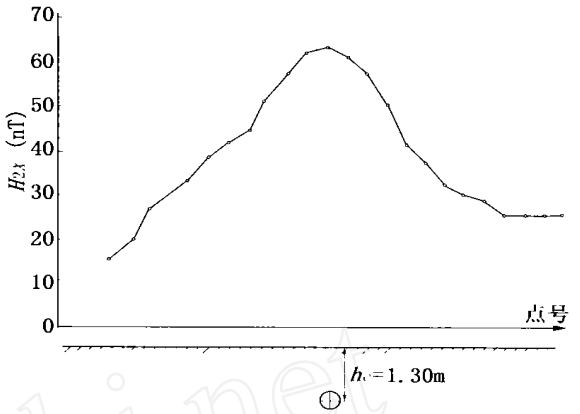

图 7　供水水泥管的 H_x 异常

3　结 论

1) 应用频率域电磁法,使用 RD400 系列的探测仪器,能有效地探测地下金属管线的存在,并进行平面定位,确定埋深,其精度完全能够达到《城市地下管线探测技术规程》的要求。

2) 单一管线存在时,可以获得 H_x、H_z 同现异常,当有两条以上的管线或附近有干扰场存在时,H_z 畸变严重,无法利用。

3) 条件有利时,也可以探测地下水泥管,确定其中心在地面的投影点位和埋深。

地下管线探测是一门应用科学,涉及的学科多。实际工作中遇到的问题有时十分复杂,需要不断深入研究出现的各种问题。

[参考文献]

[1] 薛琴访. 场论[M]. 北京:中国工业出版社,1965.

[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] 周风林,洪立波. 城市地下管线探测技术手册[M]. 北京:中国建设工业出版社,1998.

THE THEORY AND PRACTICE OF THE ABNORMAL CHARACTER OF ELECTROMAGNETIC FIELD IN DETECTING UNDERGROUND PIPELINE

ZHANG Zong - ling[1], ZHANG Xiao - liang[2]

(1. *Central - south University, Changsha* 410083; 2. *The Central South Bureau of Geological Prospecting, Huangshi* 435006)

Abstract: The distributing features of the primary electromagnetic field and the secondary electromagnetic field in the frequency domain are analyzed. The theory to ascertain the underground iron pipeline by abnormal point of Hx, Hz is proposed and it is necessary to perform normal field - correction under the complex geologic condition. The efficiency of this method by case data of different type of pipeline is showed.

Key words: electromagnetic field, pipeline, specialty point

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net