

长距离深埋管线的探测效果

张汉春, 黄昀鹏

(广州市城市规划勘测设计研究院, 广东 广州 510060)

摘 要:介绍了水平定向钻在地下管线施工方面的应用状况, 分析了不同埋深直线电流一次电磁场 H_x 、 H_z 的归一化异常的分布特征, 以及确定地下金属管线的理论依据, 提出了对深埋 $>3\text{ m}$ 的地下管线探测时应采用的频率、电流、远端接地等提高信噪比的技术对策, 及利用水平磁场分量 70% 法确定管线深度的适用条件, 列举了 3 个长距离、深度 $>10\text{ m}$ 过江深埋管线的探测实例, 说明方法的有效性。

关键词: 直线电流 电磁场 管线探测 深埋管线; 剖面曲线 水平定向钻

中图分类号: P631.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2006)04-0366-04

非开挖技术主要分为定向钻、顶管、盾构。非开挖施工技术具有不影响交通、环保、施工时间短等特点, 是一项综合性的施工技术, 其涉及到机械制造、岩土工程、土木结构工程、自动化控制、探测技术等。而水平定向钻(下称 HDD)穿越是其中最具活力的一种非开挖技术, 近几年发展及其迅速, 在需要穿越江河、建筑等铺设煤气、电力、通信、天然气等各种地下管线的施工方面得到广泛应用。长距离($L > 300\text{ m}$)、深埋($h > 5\text{ m}$)的 HDD 穿越的管线经常出现, 以下所说的深埋管线是指这类管线。

深埋管线对施工成果验收带来了新的课题。而到现在为止, 市场上的地下管线探测仪器标称勘探深度 $h < 5\text{ m}$, 它们能不能探测? 如何探? 成为我们迫切需要研究的问题。

1 仪器介绍

1.1 HDD 应用及探测研究状况

伴随着市场需求的扩大和科技的进步, 近 10 年来, HDD 钻机行业呈现出一派繁荣景象。例如, 2000 年~2004 年我国 HDD 工程一直保持高速增长, 年增长率达 50%, 仅总投资为 12 亿元的正在建设的广州天然气外围高压管线工程, 计划采取 HDD 穿越的工程就有 30 多处(段), 总长为 5.7 km, 埋深最大达 20 多米。

1998 年以来, 我国管线探测工作者在地下管线普查中, 不断解决了地下管线普查工作中实际遇到的复杂管线、平行管线、非金属管线等疑难问题, 但

是尚未碰到或解决过管线埋深 $>5\text{ m}$ 的探测问题。

在我国, 埋深 5 m 以上的管线探测技术研究很少, 此类文章几乎没有, 因此, 它的探测问题解决, 为我国城市非开挖地下管线工程施工现代化提供新的技术支持, 也会为管线信息系统数据的准确性提供可靠保证。

1.2 管线探测仪

表 1 列出了部分管线探测仪的参数, 其中, h 为管线中心埋深。可以看出, 大部分仪器的勘探深度都不超过 5 m。

表 1 部分管线探测仪参数

国名	厂家	仪器型号	平面定位	输出功率	埋深误差	最大测深
中国	地大(北京)	GX-3	5cm + 5% h		10% h	5 m
英国	雷迪	RD4000	5% h	10W	< 5% h	5 m
日本	富士地探	PL-960	< 5% h	3W	< 10% h	5 m
美国	Ditch Witch	Subsite 70	5% h		5% + 2in	4.6 m

目前, 地下管线探测时普遍使用的仪器主要有英国 Radiodetection 公司生产的 RD-400 系列(PXL、PDL、4000 型), 美国 Metretech 公司生产的 810、850 和 9890 型, 美国 Ditch Witch 公司生产的 Subsite 系列(70、75 型), 还有国产以及日本、德国等国家生产的探测仪。这里主要介绍 Radiodetection 公司的新产品 RD4000 仪器。

Radiodetection 公司的 RD4000^①由 2 组水平线圈和 1 组垂直线圈组成, 通过峰、零值显示确定管线的准确位置, 使用上下双水平线圈, 通过水平梯度方法, 消除管线上二次场以外的干扰, 达到准确定位的

① Radiodetection Ltd. RD4000 Locating System User Manual. 2003, 30.

目的。它有 1f、320 Hz、640 Hz、8 kHz、33 kHz、65 kHz 共 6 套发射、接收频率。通过上述 6 种有源频率在目标管线上施加信号,就可以在该管线正上方直读其埋深,也可以通过 70% 极大法定位深度(这种方法在大多数情况下是有效的)。根据被测目标管线及其现场条件的不同,对目标管线施加信号的方式也不同,有直连法、夹钳法和感应法。

2 技术措施

不同于一般的探测,感应法对探测长距离深埋管线无效,需要采用特殊的方法。主要应考虑如何抑止和排除干扰异常的影响,增强管线信号。

2.1 远端接地直连法

无限长载流直导线的观测值应最为可靠,远端接地的直连(单端直连)通过 > 100 m 的长导线,沿垂直管线走向的方向与接地电极连接,以增大信号传输的距离,使电流通过管线—大地—传输线形成回路。使地下管线体内形成的一次电流相对较大,形成的场源亦就强。一次场沿充电管线体向管线的两边延伸方向传播,同时,在其周围空间形成一次电磁场。

2.2 频率特性的选择

试验研究发现,应尽量使用低频探测。对于埋深大的定向钻施工管道探测,需用低频信号(如频率 < 1 kHz)发射,使流过管线的信号电流以阻抗方式构成电抗回路,让信号不易通过分布电容与地耦合,以便将信号传得尽可能远,信号衰减较慢,保证电磁波信号满足一定强度,有利于追踪长距离及深埋管线。具体工作频率在现场通过试验确定。

2.3 选用合适的功率

选择尽量大的发射功率,同时减少接地电阻。尽量将施加的信号功率保持在能满足工作需要的最低水平,并调节到能清晰观察管线信号为止。增大通过管线的电流,以提高信噪比。

2.4 合适的接地

减少接地电阻,接地电极必要时接地棒加长,入土至 1 m 多,接地端应位于地形低洼处或潮湿处,如接地端地面干燥时,应浇水以减少接地电阻。

2.5 管线埋深的确定

在实地探测时,应根据不同条件下进行深度的确定。埋深 > 3 m 时,接收机接收到的信号往往较弱,异常平滑,噪声信号较大,此时接收处理较困难,要仔细分析现场,过滤掉干扰信号,用峰值法、70% 法、零点法等进行多方法的比较验证和反复探测。

(1) 对于非对称的剖面曲线,应选取未受干扰的

半边异常进行深度确定。

(2) 直读管线埋深时,通过提高接收机地面 70 cm 后读得的埋深值,与地面测得的埋深比较,若为差值接近 70 cm,即可判断埋深是可靠的,而且要进行正反多次观测求平均值,可提高埋深探测精度。

(3) 必要时,加做剖面观测,利用全宽度异常定深,这样能反映探测点周围的各种影响情况,信息量大,个别点产生的干扰可以圆滑剔除,用计算机模型拟合,提高探测精度。

(4) 大于 3 m 的管线深度, RD4000 等仪器的 H_x 70% 不适用,而 H_x 80% 适用。它的信号衰减慢,异常宽度平缓,要在异常的两侧处加密测点,以准确判断平面位置。曲线基本对称时,可用 H_x 80% 或 H_x 50% 法。

(5) 管线超过一定的深度(12 m)时,部分地点读不出埋深值,或埋深值不稳定,随机性强时,只能用全剖面法。

3 探测实践

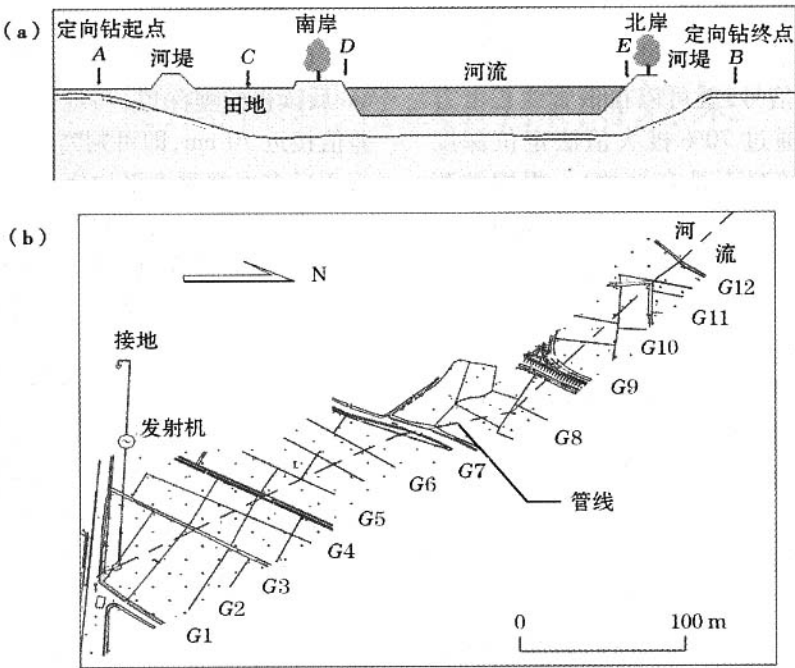
检测仪的标称勘探深度 < 5 m,因此必须采取适当的方案,使管线接近理想电磁场条件(即标准的同心圆形态),使用较低工作频率,提高足够大的发射功率,让管线内通过的电流尽量大,可削弱干扰信号,尽管信号较弱,也能够探测管线位置。下面给出 3 个跨越河流定向钻管线探测实例。

3.1 探测实例 1

工程位于广州市北部,是跨越 280 m 河流的 HDD 钻施工,管径 273 mm,材质为钢的工业管线(图 1)。图 1b 的起点 A 至河边 D 相当于图 1a 的 G8 ~ G12。

定向钻实际穿越长度起点 A 至终点 B 约 430 m,穿越深度约 12 m。河流近东西向,起点 A 离南河岸约 130 m,终点 B 离北河岸约 40 m,南北河堤岸离河岸边距离不一致,两岸为冲积平原地貌,堆积厚度大。

河流两边的阀门出露点之间距离为 1 700 m。阀门南侧离穿越起点 A(G8) 比较近,约 300 m。起点 A(G8) 至终点 B 无法用感应法探测。用雷迪 RD400pxl-2 仪器,通过远端接地的直连方法,在甲方的协助下,打开靠近 A 点的南岸开关房 G1 点,直连阀门,顺路尽量垂直管线(即平行河流)走向距离 200 m 线远端接地(图 1a),测试几种频率的探测效果,最后采用 8 kHz 的工作频率,又加大发射功率,河的南岸 C(G10)、D(G12)、北岸 E 点均测到了管线位置,虽然信号不是很强,峰值法、零点法、抬高接



a—管线分布剖面示意 b—远端接地直连及探测布置
图 1 实例 1 的管线分布示意

收机验证法,测得埋深 11.7 m(后被施工埋深资料 12 m 所证实),追踪至河的对岸的已知管线点 B 点重合为止。

3.2 探测实例 2

2004 年 9 月开工建设,即将竣工的珠三角成品油管道工程,是广东省政府和中国石化的重点建设项目,西起湛江,东至深圳全长 1 120 km。仅经过广州地段的 100 km 中,据不完全统计,分别穿越河流、水塘、村庄等须采取 HDD 穿越的工程就有 50 多处(段),总长为 20 多千米。在这 50 多处 HDD 中,最长的有 1 123 m,每处平均 410 m。一般埋深 4~12 m,最大达 20 多米。我们用同样的方法,完成了 HDD 穿越的深埋管线探测。本例地点位于珠三角成品油管道工程的广州地段番禺区,为跨越 650 m 河流的 HDD 钻施工,工业管线管径 323 mm,材质为钢。设计穿越长度约 858.7 m(入土点至出土点),穿越深度约 19 m。两岸为冲积平原地貌,堆积厚度大,钻探资料显示为淤泥质粉土和粉砂层。河的北岸探测成果如图 2 所示。

用雷迪 RD4000 仪器,入土点 G1 用感应法探测,只能测 40 m,测到埋深 3 m 后,就无信号,无法跟踪了。通过远端接地的直连方法,在 G1 垂直管线走向(即平行河流距离 100 m 线)远端接地,直接用 640 Hz 的工作频率。加大发射功率,让发射电流值为 200 mA 以上,河的两岸均测到了管线位置,实测结果与设计路线的水平位置最大偏差有 5.04 m。

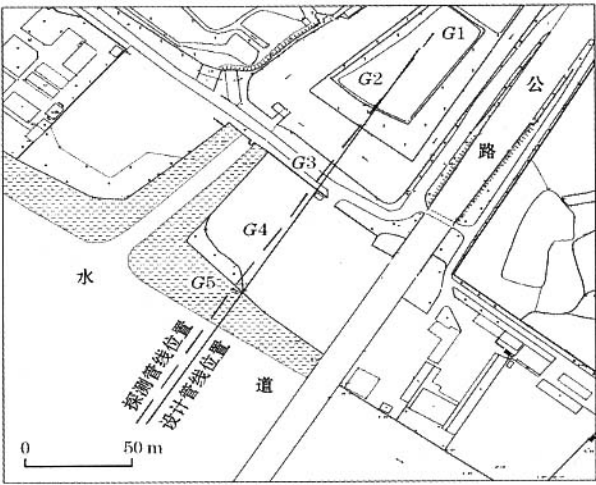


图 2 实例 2 的部分探测成果示意

虽然信号不是很强,但是仍然是有效的信号,通过正反观测、抬高接收机验证的方法,求得埋深平均值 10.9 m,其结果与施工埋深资料相近(11.3 m)。测点 G1~G5 的实际探测埋深分别为 1.3、2.5、7.4、11.3、13.0 m。表 2 给出了测点 G4 处极值点正反观测、抬高接收机验证,求埋深值及做剖面探测求埋深值的实测数据(已经归一化)结果。

表 2 G4 点验证、测量结果 m

	正		反		埋深		平均值	
上(抬高 0.8m)	9.1m		11.1m		10.1m		10.9m	
下(地面)	11.3m		12.2m		11.75m			
距离/m	0	5	7.7	8.7	9.2	12	13	18
实测值	0.613	0.86	0.968	1	0.968	0.882	0.86	0.538

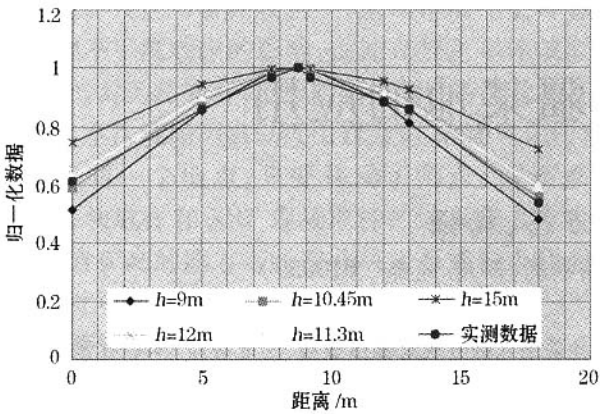


图3 归一化的探测数据与理论计算对比

根据 G4 的剖面实测数据,进行了计算机的理论模型拟合计算,结果表明探测数据与 $h = 10.45\text{ m}$ 的拟合程度最好(图 3)。可见 $> 3\text{ m}$ 的管线深度, RD4000 等仪器的 H_x 70% 不适用,而 H_x 80% 适用。

3.3 探测实例 3

该工程某位于广州市南部,与实例 2 属于同一宗工程,是跨越 220 m 河流的非开挖定向钻施工,管径、材质同实例 2。定向钻实际穿越长度约 471 m (入土点至出土点),穿越深度约 17.3 m (图 4)。为查明这段的管线的位置,在定向钻施工完毕并试压验收后,用雷迪 RD4000 仪器,通过在入土点 G1 采用直接法,长距离(100 m)接地,给管线施加发射信

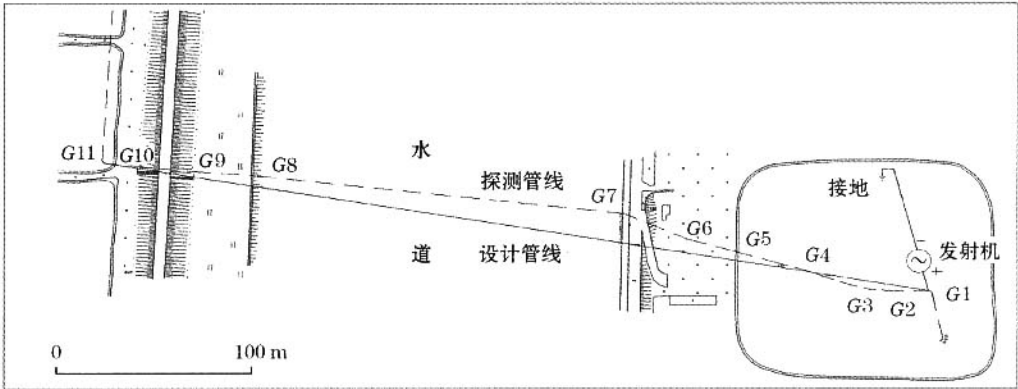


图4 探测结果及远端接地布置示意

号,采用频率 8 kHz、33 kHz,在管线过河岸点 G7 试验不成功,管线上方测不到管线信号;采用频率 640 Hz、320 Hz,管线上方 G6、G7 可以测到管线有效信号。于是,采用频率 320 Hz,探测了出土点 G1 至本侧河岸 G7 地段。在入土点,用同样的方法,探测了入土点 G11 至另一侧河岸 G8 地段。测点 G3 ~ G10 的埋深探测结果分别为 1.8、3.0、6.5、10.0、16.6、11.9、4.5 m,其中 G10 为出露点。表 3 给出了在 G8、G9 点测到的典型数据。

表 3 G8、G9 点不同频率测量埋深结果 m

位置	640Hz 探测		320Hz 探测		平均值	最大误差
	正测	反测	正测	反测		
G9	12.2	11.4	12.2	11.8	11.9	4.2%
G8	17.6	18.4	14.8	15.6	16.6	10.8%

4 结语

(1) 对深埋管线,只要能测出磁场信号并确定异常信号可靠,不同工作频率所确定的平面位置基本相同,在无干扰或干扰小的情况下,可确定管线的平面位置、埋深。

(2) 深埋 $> 3\text{ m}$ 的管线,尽量使用长导线、低频、大功率(实际为强电流)的方法,用 RD4000、

RD400pxl 仪器探测深度计算时,单线圈的 H_x 80% 测深仍然适用,而 ΔH_x 70% 测深不适用。本方法可为全国的非开挖管线探测提供参考依据。

现代非开挖技术发展虽然仅 20 多年的时间,但其施工工艺技术的先进性、优越性所带来的经济效益和社会效益已举世瞩目,随着地下管线探测事业的发展,探测方法不断完善、技术水平不断提高以及仪器设备不断更新,也许不久的将来,这类问题会得到完全解决。

参考文献:

[1] 何宜章. 2004 年我国非开挖行业发展概况[J]. 非开挖技术, 2005, (2-3).
[2] 周凤林,洪立波. 城市地下管线探测技术手册[M]. 北京:中国建筑业出版社,1998,69.
[3] CJJ61-2003. 城市地下管线探测技术规程[S].
[4] 区福邦. 城市地下管线普查技术研究与应[M]. 南京:东南大学出版社,1998.
[5] 杨旭. 各类地下管线探测仪确定管线位置和埋深的误差分析[A]. 全国地下管线探测技术研讨会论文集[C]. 北京:地震出版社,1993.

参考文献：

[1] 葛良全,周四春,赖万昌. 原位 X 辐射取样技术[M]. 成都 :四川科学技术出版社,1997.

[2] 章晔. X 射线荧光探矿技术[M]. 北京 :地质出版社,1984.

[3] 曹利国,周蓉生. 核地球物理勘察方法[M]. 北京 :原子能出版社,1991.

[4] 吴慧山. 核技术勘察[M]. 北京 :原子能出版社,1998.

[5] 赖万昌,葛良全,周四春,等. 新一代高灵敏度 X 荧光仪的研制[J]. 物探与化探,2002,26(4) 321.

THE APPLICATION OF THE XRF TECHNOLOGY
TO GEOLOGICAL EXPLORATION IN A CERTAIN PLACE OF XINJIANG

HUA Yong-tao, CHENG Feng, LAI Wan-chang, YANG Qiang
(Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract :This paper presents the application of new-generation X-ray fluorescence analysis instrument (XRF) to the exploration in a certain place of Xinjiang. Some methods were used to correct the base matrix effect, moisture effect and roughness effect. More than twenty elements can be analyzed simultaneously. This instrument can play an important role in such aspects as in-situ soil and rock analysis and anomaly follow-up and verification.

Key words X-ray fluorescence analysis instrument (XRF) ;base matrix effect ;X-ray Si-PIN detector

作者简介 花永涛(1973 -),男,硕士研究生,就读于成都理工大学核技术与自动化工程学院核技术及应用专业。

上接 369 页

THE DETECTION EFFECT OF LONG DISTANCE AND DEEP BURIED PIPELINES

ZHANG Han-chun, HUANG Yun-peng
(Guangzhou Urban Planning & Design Survey Research Institute, Guangzhou 510060, China)

Abstract :The development of the Horizon Directional Drilling and the technical specification of some pipeline instruments are described in this paper. The distribution features of abnormal points of H_x, H_z about the primary electromagnetic field in different depths on the linear electric current are analyzed. The theory to ascertain the underground iron pipeline is proposed. Some probing technological measures in frequency electricity, current and long grounded pole to improve the accuracy of underground pipelines buried deeper than three meters are suggested here. The applicable condition for the determination of the depth of the rather deep underground pipelines using horizontal magnetic field intensity is proposed. Three examples of pipeline probing in Guangzhou are given in this paper, in which the pipelines cross very wide rivers and long distances and the depths are deeper than 10 m.

Key words :linear electric current ;electromagnetic field ;pipeline detection ;deep buried pipeline ;section curve ;Horizon Directional Drilling

作者简介 :张汉春(1962 -),男,1984 年武汉地质学院毕业,获学士学位,高级工程师。广州市城市规划勘测设计研究院工作,建设工程测量队物探主任工程师,1992 年至今主要从事管线竣工测量、管线探测、数据处理。