

# 水平导向钻随钻地下管线探测预警系统研究\*

钱彦岭,王建伟,徐慧峰,温激鸿

(国防科技大学 机电工程与自动化学院,湖南 长沙 410073)

**摘要** 水平导向钻是当前进行非开挖市政建设施工的主流设备,为确保其施工安全,通常采用工作于地面的地下管线探测设备来掌握施工路线附近现有管线的分布状况。但由于探测原理的限制,一直存在探测盲区。本文提出一种新的解决方案,通过引进超声探测技术,将探测系统小型化并置于钻头上,形成随钻地下管线探测预警系统,实现随钻随测,当施工路线附近存在障碍管线时,向钻机操作人员实时告警。试验证明,本文提出的方案是可行有效的。

**关键词** 非开挖;导向钻进;地下管线;超声探测;预警

中图分类号:TB559 文献标识码:A

## Research on Online Surveillance System for Underground pipes in Horizontal Direction Drilling

QIAN Yan-ling, WANG Jian-wei, XU Hui-feng, WEN Ji-hong

(College of Mechatronics Engineering and Automation, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract** Currently, horizontal direction drilling (HDD) has been considered as the mainstream in the trenchless technology used for municipal construction, in which the geo-radar and electromagnetic-based underground pipe detectors are widely used to find the distribution of pipes near the construction route so as to avoid destroying the latent buried pipes. Limited by detection principles, many objects cannot be detected effectively. In this paper, a novel solution for detecting underground pipes is proposed. By introducing tiny ultrasonic detecting system installed on the head of HDD, an online surveillance system for underground pipes was implemented with drilling and detecting implemented simultaneously. As a result, the system gave warning to the operators of the drilling when it detected pipes under the construction route. The experimental results show that construction risks of HDD were reduced considerably and the system proved to be effective.

**Key words** trenchless technology; horizontal direction drilling; underground pipes; ultrasonic detection; forewarning system

随着我国国民经济的高速发展和政府对环境的日益重视,利用非开挖技术进行铺管施工已愈来愈受到人们的重视。其中,水平导向钻进铺管施工技术由于其环境破坏性小、周期短、成本低等显著优点而成为发展最快的非开挖技术之一<sup>[1]</sup>。

在水平导向钻进施工中,准确掌握地下原有管线的分布是安全施工的前提,但由于目前国内城市地下管线资料的准确性和完备程度不高,施工中很可能会破坏地下现有管线,给居民生命财产造成损失。为降低这种风险,目前普遍采用探地雷达、地下管线探测仪等地面探测设备普查施工现场的管线分布。但一直存在使用场合受限、抗干扰能力差、存在探测盲区等问题。

为解决上述问题,本文提出一种新的管线探测途径,通过引入超声探测技术,将探测设备小型化并安装在钻头上,实现“随钻随测”,当遇到障碍管线时及时给钻机操作者告警,从而有效地保证了施工安全。

## 1 系统基本构成

水平导向钻随钻地下管线探测预警系统是利用超声波的发射特性进行地下管线目标探测的,其构

\* 收稿日期 2005 - 09 - 01

作者简介:钱彦岭(1975—),男,副教授,博士。

成原理框图如图1所示。

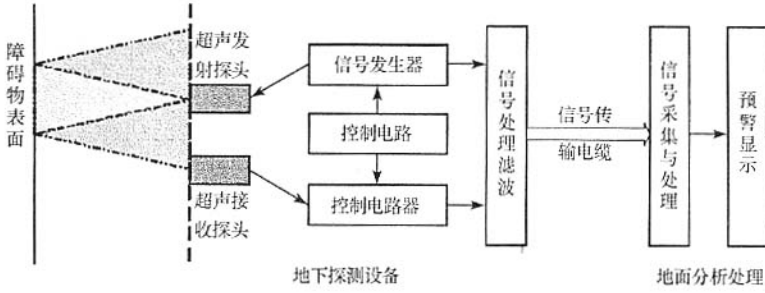


图1 水平导向钻随钻探测系统基本构成框图

Fig.1 The schema of online buried pipeline detector

系统由地下探测设备和地面数据处理两大部分构成。其中,地下探测部分由小型化的超声探测系统构成,地面系统则由信号采集仪和便携式计算机构成,两者通过铠装电缆连接。在进行探测时,由地面设备发出控制信号,启动超声信号发生器,激励超声换能器发射超声波,经土壤介质的耦合和传输,当遇到障碍管线时,超声波发生反射,再经土壤介质的传输,耦合到用于接收的超声换能器上,经过滤波、放大等预处理,经电缆传送到地面设备,经数据采集后,由计算机进行处理,完成目标信号的判读。

在上述系统中,超声换能器是其关键设备。同其它应用场合相比,土壤介质对声波的衰减效应大,为保证能够探测获得障碍管线的回波信号,必须在保证探测分辨率的前提下尽可能降低超声波发射频率,同时在体积容许的情况下提高换能器的功率,并控制换能器的发射角。考虑到随钻探测的实际情况,设定探测距离为1m,探测到的管线线径最小为10mm,选定土壤介质中超声波换能器的发射频率范围为20kHz~50kHz,为近音频频段。由于目前没有专门的适用于土壤介质的换能器,但考虑到地下随钻探测场合的土壤含水量高且导向钻钻进过程中使用大量水进行钻头冷却,我们采用水声换能器进行代替,其基本结构如图2所示<sup>[2-3]</sup>。

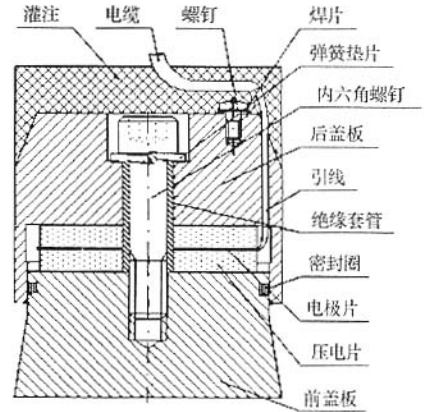


图2 超声换能器的结构图

Fig.2 The structure of transducer

换能器压电片采用高温压电陶瓷片。经测试,实际制作的换能器频率为22kHz、32kHz和35kHz。

## 2 水平导向钻随钻地下管线探测信号处理

对水平导向钻随钻地下管线探测系统来讲,由于土壤衰减效应大,接收到的目标回波信号通常比较微弱。另外,由于换能器制作工艺的限制,低频段的换能器带宽和品质因数较难控制,接收到的回波信号往往会落入探头的余振信号中而导致无法分辨,降低了系统的探测预警能力。为此,必须采用一定的信号处理手段对超声信号进行处理,提高对目标的判读能力。

### 2.1 指数放大

超声波在介质中传播时,其强度会随传播距离的增加而逐渐减弱,按照引起声强减弱的不同原因,可把声波衰减分为以下三种主要类型:吸收衰减、散射衰减和扩散衰减。声学理论证明,吸收衰减和散射衰减都遵从指数衰减规律。对沿某一方向传播的平面波而言,当不计扩散衰减时,则声压随传播距离  $x$  的变化可由下式表示

$$p = p_0 e^{-\alpha x} = p_0 e^{-\alpha vt} \tag{1}$$

式中: $\alpha$ 为衰减系数, $x$ 为传播距离, $v$ 为超声波传播速度, $t$ 为超声波时间, $p_0$ 为初始声强。显然,由式(1)通过引入指数放大环节  $e^{\alpha vt}$ ,可以将衰减后的信号恢复到与原有声强相当的水平,提高对回波信号

的检出能力。

对采集到的离散超声信号序列 $\{x(n), n=1, 2, \dots, N\}$ ,指数放大可采用如下方法进行:

$$\{y(k) = x(n) e^{Kn/N}, n=1, 2, \dots, N\} \quad (2)$$

其中,  $K$  为放大系数,可在实际系统中经试验设定。

## 2.2 解卷积处理

当声束射入介质时,采集到的超声探测信号 $s(t)$ 可以看作是超声激励信号 $g(t)$ 与介质冲击响应函数即发射系数 $h(t)$ 的卷积<sup>[4]</sup>,即

$$s(t) = g(t) * h(t) \quad (3)$$

经傅氏变换后,有

$$S(\omega) = G(\omega)H(\omega) \quad (4)$$

对上式进行对数变换,有

$$\ln|S(\omega)| = \ln|G(\omega)| + \ln|H(\omega)| \quad (5)$$

对上式再进行反傅氏变换,有

$$C_s(t) = C_g(t) + C_h(t) \quad (6)$$

式(6)为各信号的倒谱,理论分析证明,在倒谱域,超声激励信号和介质冲击响应信号处于不同频段<sup>[5]</sup>,因此,可利用一线性滤波器,直接提取 $C_h(t)$ ,再经过相应的逆运算可完成管线回波信号的处理。利用这种方法,将超声激励信号从探测信号中分离出去,可以避免超声余振信号的影响,提高探测分辨率。

## 3 模型系统实验验证

为验证水平导向钻随钻地下管线探测预警系统的探测能力,我们在实验室的条件下搭建了模型试验环境。试验前,将野外采集的原生土壤碾碎筛匀,放入水池中搅拌成泥浆,经沉淀后将析漏出的水排干,模拟地下管线的土壤环境。试验时,将盛满水的塑料桶放入泥浆中,模拟导向钻钻孔,在泥浆中设置各种障碍物,将探头放入桶中进行探测试验,试验的实物照片如图3所示。

当探测对象为水池池壁时,实际探测到的超声信号波形如图4所示。池壁回波信号在 $1 \sim 1.5\text{ms}$ 。

由图可见,池壁回波信号比较微弱,对其进行指数放大后得到的信号波形如图5所示。

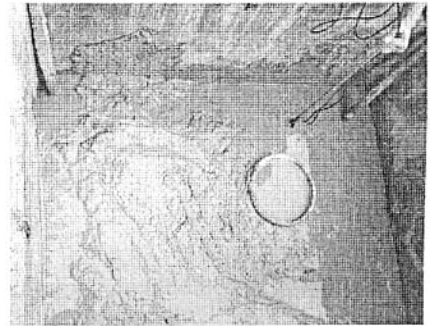


图3 泥浆池模型  
Fig.3 The experimental clay pond

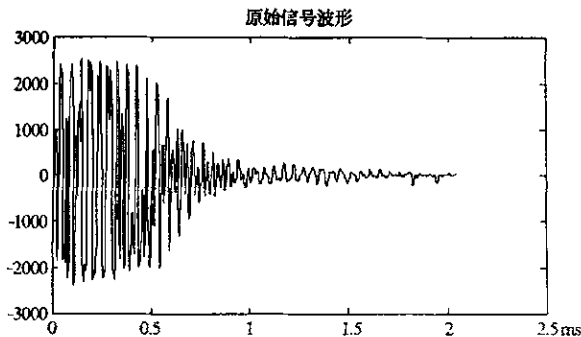


图4 原始信号波形

Fig.4 The original signal

可见,目标信号已大大增强,但从图中仍难以明确判断目标的位置,对上述信号进行解卷积处理获得的信号波形如图6所示。

由图6,信号有三个明显的峰值,其中第一个峰值反映了超声发射和接收换能器直接耦合效应,第

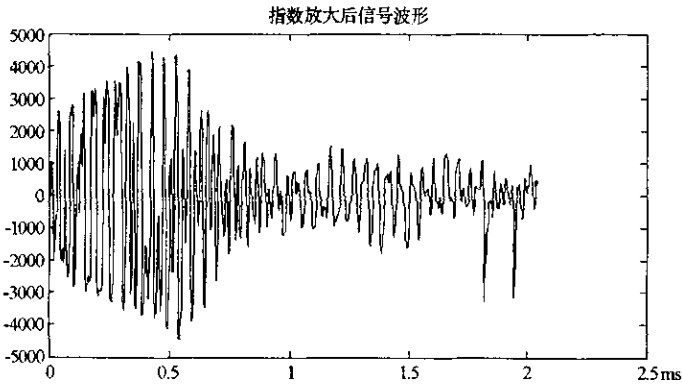


图5 指数放大后信号波形

Fig.5 The amplified signal after exponential enhance

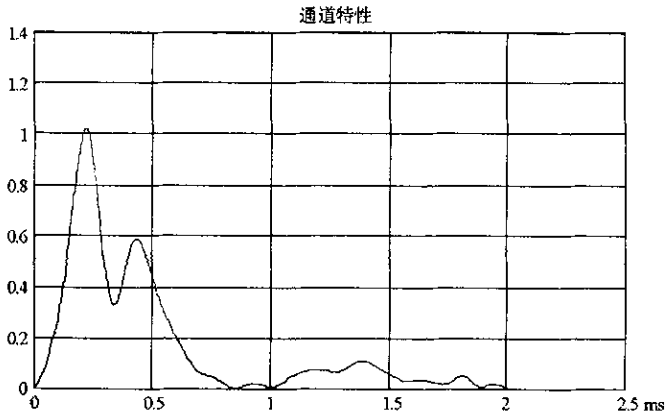


图6 分离出的通道特性信号

Fig.6 The extracted channel impulse response

二个峰值反映了桶壁的反射效应,第三个峰值是目标的回波,大致在 1.4ms,经测试,超声波在试验池中的传播速度大致在 1300m/s,根据上述参数,可以估计池壁距离大致在 90cm,与实测数据近似相等。

## 4 结论与展望

针对水平导向钻进施工过程中采用传统探测方式存在风险和安全隐患的问题,本文将超声探测引入地下管线探测领域,提出了一种新颖的探测解决方案,经试验,证实了该方案的可行性。当然,由于时间和试验条件的限制,本文给出的试验方案和结果还是比较初步的,但相信随着研究的深入和系统的开发完善,该方案的优越性将进一步得到体现。

## 参考文献:

- [1] 颜纯文. 持续发展的非开挖技术[J]. 地质装备, 2005 (1).
- [2] 林书玉. 超声换能器的原理及设计[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [3] Demirci U, Ergun A S, Oralkan O, et al. Forward-Viewing CMUT Arrays for Medical Imaging[J]. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, 2004, 51(7): 886-894.
- [4] 冯若, 姚锦钟, 等. 超声手册[M]. 南京: 南京大学出版社, 2001.
- [5] Jensen J A, Leeman S. Nonparametric Estimation of Ultrasound Pulses[J]. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 1994, 41(10): 929-936.

