

# 城市燃气管道泄漏检测及定位技术的研究

沈阳工业大学信息学院(110023) 高松巍 刘 博 杨理践

**摘要** 本文研究了应用管道泄漏时产生的负压波对泄漏进行检测与定位的原理,设计了用于负压波信号传感及采集的硬件电路,以及对泄漏点进行定位的软件系统。将设计的软硬件系统用于充气管道泄漏实验,结果表明采用以上原理及方法可以比较准确的检测到管道的泄漏并对漏点进行定位。

**关键词** 燃气管道 泄漏 定位 负压波 相关算法

## Study on Leakage Detection and Localization of Gas Pipeline

College of Information Science and Engineering, Shenyang University of Technology(110023)

Gao Songwei, Liu Bo, Yang Lijian

**Abstract** This paper based on negative pressure wave authority adopts LabVIEW software of NI Corporation to detect and locate the leakage. LabVIEW can process the signal of sensor and represent frequency and correlation information. This detection and location system of pipeline of gas leak can detect and locate leakage accurate through experimentation.

**Keywords** pipelines of gas leakage localization negative pressure wave correlation compute

## 1 前言

城市燃气管道分布于城市的地下,一旦泄漏会造成巨大的经济损失及人身伤害,及时地发现泄漏并确定泄漏点的位置成为发生泄漏后的首要问题。对城市燃气管道泄漏的检测属于压力管道泄漏检测范畴,随着管道的建设,泄漏检测技术也得到不断发展,目前国内外已提出了多种液体泄漏检测与定位方法,然而对燃气管道泄漏的检测与定位研究得较少。本文在基于当管道泄漏时管道内部气体压力变化的负压波原理的基础上,设计了硬件采集电路对负压波信号进行采集并将采集到的信号传送给计算机,在计算机中采用NI公司的LabVIEW虚拟仪器技术对采集到的负压波信号进行分析运算从而对泄漏进行检测与定位。

对于管道泄漏检测技术的研究近年来不断有新的发展,检漏方法也由最初的听音法发展到基于信号处理和自动化装置的检漏,其中利用负压波进行泄漏检测定位的方法只需要在管道两端安装声压传感器,具有仪表施工量小、成本低、以及安装维护方便等特点,因此得到了广泛应用<sup>[1]</sup>。

### 2.1 负压波检测与定位原理

当管道上某处发生泄漏时,由于管道内外压差,泄漏点处的流体迅速流失,在泄漏处产生瞬间压力突降。泄漏点两边的流体由于压差而向泄漏点处补充,从而形成了一个以泄漏点为中心的压力波动,该压力波动称为负压波。该负压波以一定的波速向管道两端传播,利用安装在管道两端的声压传感器检测负压波信号,并根据两传感器检测到的负压波信号的时间差就可以对泄漏点进行定位,原理如图1所示:

## 2 燃气管道泄漏检测与定位原理

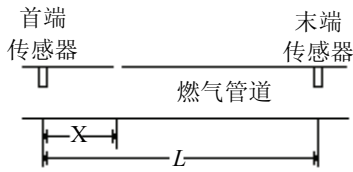


图1 负压波检测定位原理图

定位公式如式 1 所示:

$$X = \frac{v\tau + L}{2} \quad (1)$$

$L$  为已知条件,  $v$  为经验值, 若测得两个声压传感器在测量压力瞬变时刻的时间差  $\tau$ , 就可以获得泄漏点距首端传感器的距离  $X$ 。

## 2.2 负压波信号的特性及采集原理

发生泄漏时管道内流动的气体将导致整个管道内的压力震荡, 频率的变化范围可达几千赫兹。其中, 绝大多数是高频成分。由于高频成分很容易在传播过程中衰减, 所以为了扩展检测距离, 我们取其中的低频成分进行分析(0-200Hz)<sup>[2]</sup>。为了保证获得足够的信息量, 并防止由于滤波器过渡带造成的频率混叠, 并考虑到实际试验条件, 我们选择 2K 的采样频率对负压波信号进行采样。

## 2.3 相关算法在管道泄漏定位中的应用

由前面的讨论可知, 对管道泄漏点定位的关键是要确定两个压力传感器在测量压力瞬变时刻的时间差  $\tau$ , 即求出首末两传感器检测到的波形延时, 一种最常用的做法是相关运算。

使用相关运算对负压波信号进行处理时, 当没有泄漏发生时, 传感器接收不到负压波信号, 相关函数值在零附近。发生泄漏后, 相关函数输出值将显著增大, 根据相关函数最大值出现的位置确定延时  $\tau$ 。用相关分析法进行定位具有灵敏、准确, 只需检测压力信号, 不需要建立数学模型, 计算量小等特点, 因此是一种有效而可行的方法。但它要求泄漏的发生是快速的、突发性的。如果泄漏速度很慢没有明显的负压波出现, 则此方法失效。

具体方法为假设在图 1 中到达首端传感器的信号为  $A(t)$ , 到达末端传感器的信号为  $B(t)$ , 可表示为:

$$A(t) = f(t) + N_A(t) \quad (2)$$

$$B(t) = g(t) + N_B(t) \quad (3)$$

式中:  $N_A(t)$  和  $N_B(t)$  分别为两传感器接收到的背景噪声。对  $A(t)$ ,  $B(t)$  进行相关运算有:

$$R_{AB}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T A(t)B(t+\tau)dt \quad (4)$$

通常认为泄漏负压波信号与背景噪声信号相互独立不相关, 噪声  $N_A(t)$  和  $N_B(t)$  完全不相关, 所以公式(4)可简化为:

$$R_{AB}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T f(t)g(t+\tau)dt \quad (5)$$

相关函数  $R_{AB}(\tau)$  达到峰值时所对应的  $\tau$  值与负压波传播到两个端点的时间差呈线性, 由于相关函数  $R_{AB}(\tau)$  取极大值的必要条件为在  $\tau$  处的导数等于零, 由此可求出  $\tau$ , 在  $L$  和  $v$  已知的前提下利用式(1)即可计算出  $X$  的值, 从而确定泄漏点的位置。从以上分析可以看出要实现上述相关计算非常简单, 只要在计算机上进行相关算法的编程, 免去了对端点压力变化突变点的确定, 大大提高了定位的精度。

## 3 检测系统软硬件设计

本文设计的燃气管道泄漏检测及定位系统主要由下位机硬件系统和上位机软件系统两部分组成, 系统框图如图 2 所示:

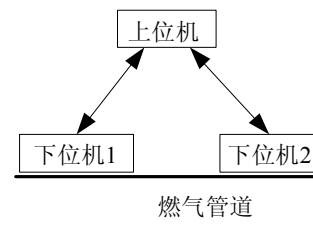


图2 系统总体布局图

其中上位机为放置在中央控制室的工控计算机, 下位机为分布于输气管道各点进行对负压波信号传感采集传输的电路。上位机首先通过有线或无线通信手段, 向下位机发送采集命令, 下位机实现对压力数据的采集, 并传输给上位机。上位机可以对采集的压力波信号以波形的形式进行实时显示, 并以负压波理论为基础, 利用相关算法, 对输气管道中所出现的泄漏及时进行报警并计算泄漏点的位置, 同时可以实现对管线压力数据存储和历史数据分析等任务。

### 3.1 下位机硬件系统设计

下位机硬件系统安放在管道上, 对管道运行状

态进行实时检测,并将检测结果传送给上位机。其系统框图如图3所示:

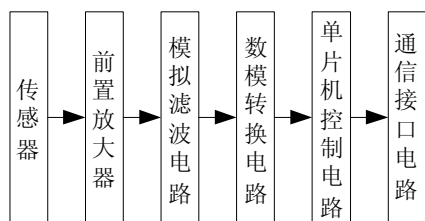


图3 下位机系统总体框图

下面分别说明下位机系统各组成部分的作用及设计。

传感器用来接收在管道内传播的包括噪声在内的负压波信号。理想的传感器应具有较高的灵敏度、宽而平直的频率特性、足够的动态范围、良好的稳定性。根据输气管道的特殊环境,检测系统的传感器还需具有施工量小,成本低,安装维护方便等优点<sup>[9]</sup>。通过研究相关资料和进行相关实验,在本课题中选用浙江红声器材厂生产的HS14423驻极体电容测试传声器作为负压波传感器。

前置放大器的作用是对传感器采集到的负压波信号进行放大。由于管道泄漏产生的负压波信号是很微弱的信号,所以在使用这一信号进行检测处理时,需要对信号进行前置放大。为了与本课题选用的传感器匹配,选用与传感器同厂生产的HS146133前置放大器。

模拟滤波电路的作用是提取有用信号的频带削减带外噪声,防止频率混叠保证采样顺利进行。由于负压波信号要用于对泄漏点定位的运算中,对滤波器的相频特性十分敏感,所以选用具有最平群延时特性的贝塞尔滤波器作为滤波器选型。在具体实现上采用了MAXIM公司的MAX281模拟滤波芯片作为贝塞尔滤波器的实现方案。

模数转换电路将滤波后的模拟信号变为数字信号。由于传感器采集到的负压波信号要传到上位机进行进一步的运算,而上位机只能对数字信号进行处理,所以必须要将采集到的负压波信号转变成数字信号后才能传递给上位机。具体实现上采用了MAXIM公司的MAX1166逐次逼近型数模转换芯片。

单片机控制电路的设计是下位机系统的核心,

主要完成对整个下位机系统的控制,以及与上位机系统进行数据交互。本文使用了ATMEL公司生产的Atmega128单片机进行电路设计,并编制了系统软件控制整个下位机系统的运行。

通信接口电路主要负责下位机系统与上位机系统通信中的电气特性转换。单片机串口不能直接用于较远距离的信号传输,为了提高串行通讯的可靠性,增大通讯距离,在工程设计中一般采用标准串行接口。本课题选用RS485总线标准与上位机进行通信,所使用的电平转换芯片为MAXIM公司生产的MAX485电平转换芯片。

### 3.2 上位机软件系统设计

在整体检测系统中上位机为放置在监控室的工控计算机,所以对上位机的设计主要为对运行于上位机平台的软件系统的设计。其整体结构框图如图4所示:

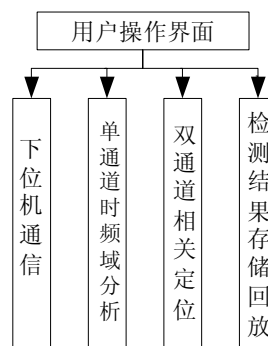


图4 上位机软件的整体结构

上位机采用NI公司的LabVIEW虚拟仪器技术实现,下面将介绍各个模块的作用。

下位机通信模块主要负责上位机与下位机的数据交互。由于使用串口通信,所以本模块的功能主要有通信参数的设置和字符数据转换。通信参数的设置主要包括设置波特率、奇偶校验、数据位数、同步异步、停止位、缓冲区容量等。

单通道时频域分析模块,对输入信号进行时域和频域分析。时域分析主要是对波形的观测,由于串口传递的数据不含有时间信息,所以在分析和处理前要加上采样起始时间和采样时间间隔。频域分析主要是对信号的数字滤波,提取需要的频率成分,提高相关定位算法的精度。

双通道相关定位模块是系统设计的关键部分,本模块主要负责相关定位算法的实现,以及根据相

关算法计算出的延时求解泄漏点的位置。

检测结果存储回放模块作用是对检测结果的存储回放,由于本系统在检测泄漏时为实时系统,而实时系统对时间的要求非常严格,一切的操作处理需要在规定的时间内完成,因此不能对信号进行复杂的处理。若将信号存储起来,可以在日后对其做详细的分析,这样就弥补了实时系统对时间要求严格的不足。

#### 4 充气管道泄漏检测实验

在实验室搭建了充气管道实验模型,该实验模型使用长 3 295cm、外径为 10cm、管壁厚为 0.5cm 的直管模拟燃气管道,下位机 1 距离泄漏点 718cm。使用气泵对管道进行充气,使管内压力在 0.2MPa-0.3MPa。

发生泄漏时,从两下位机采集到的泄漏信号如图 5 所示:

采用相关分析对两路传感器信号进行处理后得到的相关波形如图 6 所示:

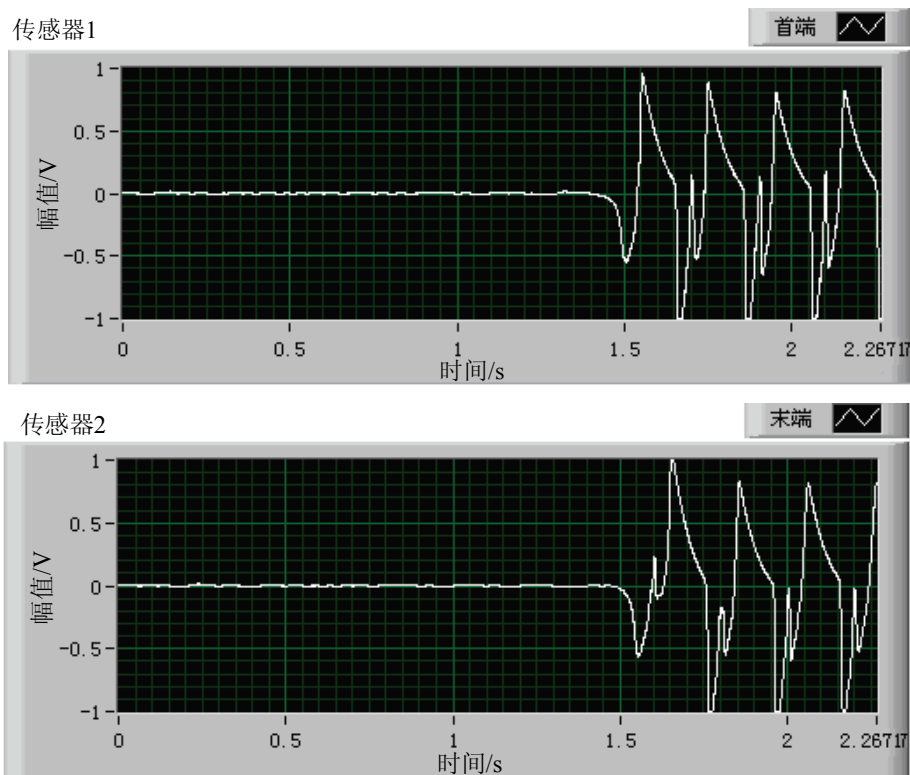


图 5 泄漏时两下位机波形

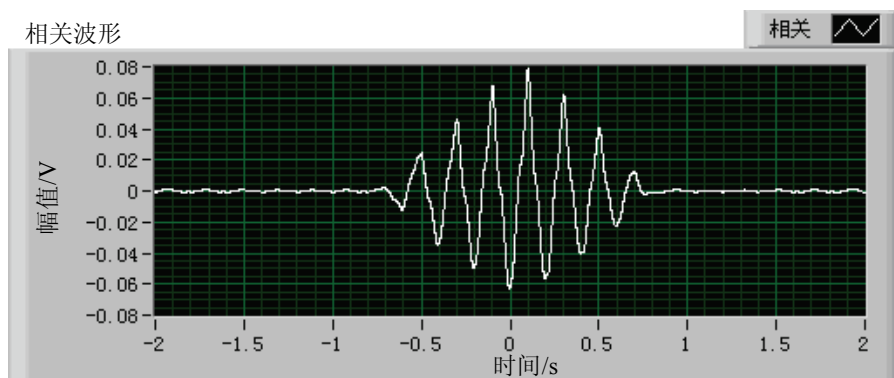


图 6 首末端波形相关结果

## 对《家用燃气灶具》国家标准中 热效率测试方法的研究

上海林内有限公司(201208) 张 健

**摘要** 本文主要介绍了《家用燃气灶具》新国家标准 GB16410-2007 与旧国家标准 GB16410-1996 在热效率测试方面的不同之处,并通过试验测试比较新旧国家标准测试计算得到的热效率值之间的偏差,并结合实际使用燃气灶具的情况和试验测试方法所产生的偏差,对热效率的测试方法提出建议。

**关键词** 国家标准 热效率 测试方法 加热水量 试验温升

### Research of thermal efficiency test methods on national standards "Domestic gas cooking appliances"

Shanghai Rinnai Co., Ltd,(201208) Zhang Jian

**Abstract** In this paper, " Domestic gas cooking appliances " new national standard GB16410-2007 and the old national standard GB16410-1996 thermal efficiency in the testing and calculation of the differences, and through test comparison of the old and new national standards test the thermal efficiency values are between deviations, combined with the actual use of the gas cooker and test and the actual use of the gas cooker and test methods of the deviation from the thermal efficiency of the testing methods to make recommendations.

**Keywords** national standards thermal efficiency testing methods heating water temperature test

按照相关波形中,最大值对应的时间即负压波传到两传感器的延时为 97.51ms,波速取经验值 175m/s。按照公式(1)计算出泄漏点到下位机 1 的距离为 700cm,与实测值 718cm 相比,绝对误差为 18cm,相对误差为 2.5%。

表明本检测系统具有方法简便、检测速度快和定位精度高等特点。对管道网络的泄漏检测与定位将是进一步要解决的问题。

#### 参考文献

## 5 结论

本文基于负压波检测定位原理,对充气管道泄漏进行检测与定位。设计了用于负压波信号采集的下位机硬件系统和用于实现相关定位算法的上位机软件系统。在实验室进行了充气管道泄漏实验,结果

- 1 杨理践,景晓斐,宫照广.输气管道音波泄漏检测技术的研究.沈阳工业大学学报,2007,29(1):70-73
- 2 林伟国.基于动态压力信号的管道泄漏检测技术研究.仪器仪表学报,2006,26(8):908-909
- 3 邓鸿英,王毅.负压波管道泄漏检测与定位技术.油气储运,2003,22(7) 30-33.