

基于压电传感器的管道泄漏监测仪的研制

林伟国 张 鑫 汲长征

(北京化工大学 信息科学与技术学院, 北京 100029)

摘 要: 提出了通过提高输油管道泄漏信号的信噪比进而提高泄漏检测的可靠性和灵敏度的方法;在定量分析、比较压阻式压力传感器和压电式动态压力传感器各自信号的特征和信噪比的基础上,提出了基于压电传感器的管道泄漏监测方法。阐述了基于压电传感器的管道泄漏监测、定位原理以及基于 MSP430F149 单片机的管道泄漏监测仪软、硬件设计方法及实现。现场泄漏检测试验结果表明,基于压电传感器的管道泄漏监测仪可以较好地提高泄漏检测的可靠性和灵敏度。

关键词: 输油管道; 泄漏检测; 压电传感器; 信噪比

中图分类号: TE973.6

引 言

管道运输在石油运输中发挥着日益重要的作用,同时,管道的泄漏监测也已成为重要的研究课题。对管道泄漏的监测与定位,可以分为基于硬件的和基于软件的两类方法^[1]。

基于硬件的泄漏检测方法主要有光纤检测法^[2]。光纤传感器具有电绝缘性好、本质安全可靠以及耐腐蚀等特点,但是,光缆不易铺设与维护。

基于软件的泄漏检测方法主要有负压波法^[3]。由于采用压力变送器,具有施工量小、成本低、安装与维护方便等优点。

目前关于管理泄漏检测与定位的各种方法都没有完全解决泄漏检测响应速度、可靠性、定位精度和系统成本之间的关系问题^[4]。其中最关键的问题是提高泄漏检测灵敏度和可靠性,减少误报。本文提出的设计方案有益于解决以上的问题。

1 提高泄漏监测可靠性与灵敏度的方法

提高泄漏检测信号的信噪比有助于提高泄漏检测灵敏度并减少泄漏误报。提高泄漏检测系统的信噪比,涉及传感器、信号调理和数据采集三个方面,其中传感器是最根本环节。

负压波法利用压力变送器采集的压力信号进行泄漏检测。压力变送器反映的是管道的运行压力,泄漏引起的压力变化通常仅占运行压力的一小部分,对于大管径、高压力的输送管道更是如此,因此系统的分辨率比较低。如果传感器只反映泄漏引起的压力变化部分,通过合理的信号调理模块,使正常的压力波动信号仅为 A/D 的输入信号量程的一部分,而泄漏引起的压力信号变化范围为 A/D 的满量程,就可以提高泄漏检测系统的分辨率和信噪比。

采用压电传感器的动态压力变送器能够反映管道压力的动态变化。

假定压力变送器量程为 1.5 MPa,输出电流量程为 20 mA,管道运行压力为 1.0 MPa,泄漏引起的压力变化为 0.1 MPa,衰减系数为 20 dB,则压力变送器检测的压力变化为 0.01 MPa。假定采样电阻为 250 Ω ,则压力变送器的输出电压变化为 26.7 mV。

基于压电传感器的管道泄漏检测系统,由于压电传感器检测相对变化量,假定其检测压力变化量程为 0.1 MPa,则其输出电压信号量程为 5 000 mV。同时假定泄漏引起的压力变化也为 0.1 MPa,信号衰减系数为 20 dB,则压电传感器检测的压力变化为 0.01 MPa,输出电压信号为 500 mV。

综上所述,对于相同的压力变化值,压电传感器比压力变送器具有更大的输出信号和更高的信噪比。

收稿日期: 2006-03-07

第一作者: 男,1968年生,副教授,工学博士

E-mail: linwg@mail.buct.edu.cn

2 管道泄漏监测定位原理

基于压电传感器的管道泄漏监测、定位原理如图 1 所示。管道泄漏监测仪安装在管道的首、末两端,保留了压力变送器安装维护方便,施工量小等优点。

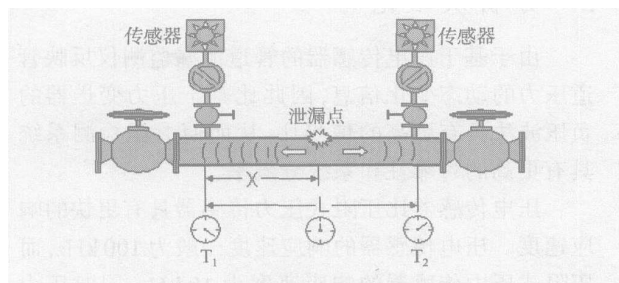


图 1 管道泄漏定位示意图

Fig. 1 Schematic illustration of leak detection and localization

假设泄漏的发生时刻为 t_0 , 位于上游的压电传感器检测到泄漏信号的时刻为 t_1 , 位于下游的压电传感器检测到泄漏信号的时刻为 t_2 , 管道的总长度为 L , 泄漏点距上游压电传感器的距离为 X , 泄漏信号从泄漏点传到分别位于上、下游的压电传感器的速度分别为 V_1 和 V_2 , 取 $t = t_1 - t_2$, 根据图 1 有

$$X = (t_1 - t_0) V_1 \quad (1)$$

$$L - X = (t_2 - t_0) V_2 \quad (2)$$

联合式(1)和(2)可得:

$$X = \frac{t V_1 V_2 + V_1 L}{V_1 + V_2} \quad (3)$$

当 $V_1 = V_2 = V$, 且 $V \neq 0$ 时, 有

$$X = \frac{L + V t}{2} \quad (4)$$

由式(3)和(4)可以知道, 要对管道泄漏点进行精确定位, 就必须准确测量泄漏信号从泄漏点传到分别位于上、下游的压电传感器的速度 V_1 和 V_2 以及准确捕捉泄漏信号到达上、下游传感器的时间 t_1 和 t_2 , 得到时间差 t , 进而求出泄漏点距上游压电传感器的距离 X 。

由于泄漏信号的传播与介质的弹性模量、密度、内耗以及形状大小(产生折射、反射、衍射等)等有关, 泄漏信号强度还与管道的材质及弹性模量、管道内壁光滑度、管道长度、上下游的运行压力和运行温度等有关, 因此定位时必须实测泄漏信号在管道中的传播速度。

3 管道泄漏监测仪软、硬件设计

基于压电传感器的管道泄漏监测仪的系统结构框图如图 2 所示, 其核心是一个 MSP430F149 单片机

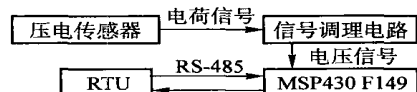


图 2 管道泄漏监测仪的系统硬件框图

Fig. 2 System diagram for leak detection instrument

机系统, 它主要完成数据采集、处理及远程通信。管道的动态压力信号通过压电传感器、信号调理电路进入单片机的 A/D 转换端口。信号调理电路实现对压电传感器输出信号的滤波和放大。MSP430F149 单片机每采样 16 次进行一次平均滤波, 再通过 RS-485 通信总线将数据上传, 以消除量化误差和外部干扰。通信模块基于 RS-485 总线标准, 用以与计量间的 RTU 实现通信。

信号调理电路的结构框图如图 3 所示, 主要包括电荷 - 电压转化及过压保护、电压连续积分、电压放大、二阶低通滤波四大部分。该信号调理电路具有分辨率高、时温漂移低、抗分布电容和外电场干扰能力强等特点。

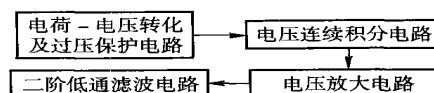


图 3 信号调理电路框图

Fig. 3 Diagram of leak signal modulation

信号处理及通信模块均采用低功耗的设计思想, 即 MSP430F149 在处理信号采集、A/D 转换、信号运算和串口发送等事件时, 工作在 32 kHz 低频模式; 而在等待中断响应时, 则进入休眠模式。采用低功耗设计是基于管道泄漏监测仪特殊的现场应用背景考虑的, 因为输油管道是属于特别需要采取防爆措施的危险区域。

程序流程如图 4 所示。管道泄漏监测仪的程序设计包括数据采集、处理和串行通讯三部分。基于压电传感器的管道泄漏监测仪的核心为 MSP430F149 单片机, 它是采用低电压供电的超低功耗 16 位单片机, 通过编程能在 LPM0—LPM4 等多种低功耗工作模式之间进行切换^[5], 因此可以在绝大多数运行时间内将工作电流维持至 2 μA 左右的低功耗水平。

MSP430F149 单片机在程序运行的大部分时间

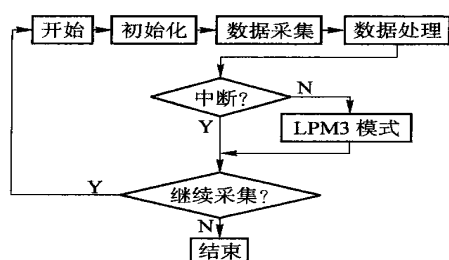


图 4 程序流程框图

Fig. 4 Flow chart of the program

中处于 LPM3 休眠状态,在主程序中进行 SP、A/D 和 TimerA 的初始化后,接着转入休眠,一切程序跳转控制及数据处理均在中断子程序中完成。

4 泄漏监测试验

采用上述软、硬件设计的管道泄漏监测仪的结构如图 5 所示,目前已经通过本质安全防爆(国标 GB3836.1—2000)检验。

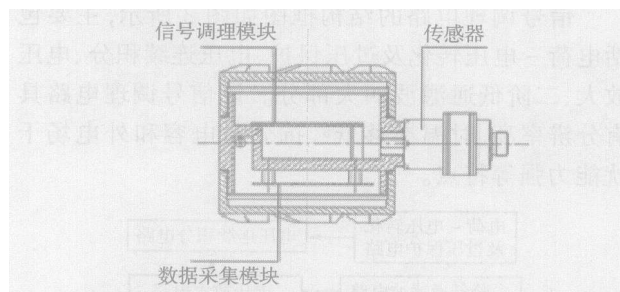


图 5 管道泄漏监测仪压电信号变送器的示意图

Fig. 5 Structure of the piezoelectric sensor

图 6 为基于压电传感器的管道泄漏监测仪采样得到的模拟泄漏信号。信号取自新疆某原油输送管道,管道运行工况为:首站工作压力为 1.8 MPa,末站为 0.2 MPa。一个 10 mm 直径的孔用于泄漏模

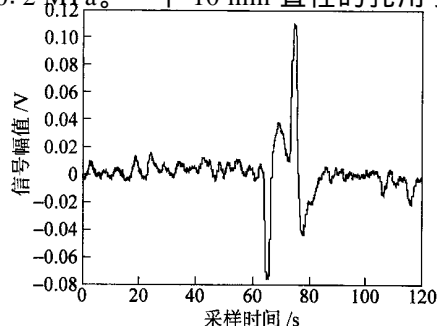


图 6 基于压电传感器的管道泄漏信号波形图

Fig. 6 Typical leak signal of oil pipeline based on piezoelectric sensor

拟,基于压电传感器的管道泄漏监测仪的采样周期为 10 ms,首、末站之间距离为 50 km。如图 6 所示基于压电传感器的管道泄漏监测方法具有信噪比高的特点。由现场长期运行的结果来看,基于压电传感器的管道泄漏监测仪符合设计要求。

5 分析及结论

由于基于压电传感器的管道泄漏监测仪反映管道压力的动态变化信息,因此比基于压力变送器的负压波法具有更高的信噪比,从而使泄漏检测系统具有更高的可靠性和系统分辨率。

压电传感器比压阻式压力传感器具有更快的响应速度。压电传感器的响应速度一般为 100 kHz,而压阻式压力传感器的响应速度为 10 kHz;同时压力变送器的采样周期一般为 100 ms,而基于压电传感器的管道泄漏监测仪的采样周期可以小到 10 ms 甚至更小。因此基于压电传感器的管道泄漏检测的空间分辨率可以达到 10 m 左右。

并且,基于压电传感器的动态压力变送器具有与压力变送器一样的结构形式,因此它同样具有安装、维护方便的特点,可以根据需要输出 4 ~ 20 mA 信号或 RS-485 串行通信数据。

综上所述,管道泄漏监测仪由于采用了压变响应灵敏的压电传感器和超低功耗单片机 MSP430F149,使泄漏信号更加明显,设计电路大大简化,从而降低了成本,减小了体积,提高了管道泄漏监测的可靠性和灵敏度。

参 考 文 献

- [1] 潘家华. 21 世纪前十年我国管道工业发展预测[J]. 油气储运, 2001, 20(12): 1 - 5.
- [2] 周琰, 靳世久, 张昀超, 等. 管道泄漏检测分布式光纤传感技术研究[J]. 光电子激光, 2005, 16(8): 935 - 938.
- [3] 邓鸿英, 杨振坤, 王毅. 基于负压波的管道泄漏检测与定位技术研究[J]. 计算机测量与控制, 2003, 11(7): 481 - 484.
- [4] Kasch M. Leak detection and online surveying at underground gas pipelines using fiber optic temperature sensing[J]. Oil-Gas European Magazine, 1997, 23(3): 17 - 18, 20 - 21.
- [5] 魏小龙. MSP430 系列单片机接口技术及系统设计实例[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2002.

Design of a leak detection instrument based on a piezoelectric sensor

LIN Wei-guo ZHANG Xin JI Chang-zheng

(College of Information Science and Technology, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: A method for improving the reliability and sensitivity of leak detection from oil pipelines is proposed involving enhancing the signal-to-noise ratio (SNR) of the leak signal. Characteristics and SNR of signals of piezoelectric sensors and pressure sensors are compared and quantitatively analyzed, and a novel method for pipeline leak detection is proposed based on a piezoelectric sensor. The principles of leak detection and location based on the piezoelectric sensor are illustrated and the design and implementation of a pipeline leak detection instrument based on an MSP430F149 processor are described. Experimental results in an industrial setting demonstrate that use of the pipeline leak detection instrument based on the piezoelectric sensor can lead to improved reliability and sensitivity of leak detection.

Key words: oil pipeline; leak detection; piezoelectric sensor; signal-to-noise ratio

(上接第 73 页)

A design for a vehicle mobile terminal based on ARM and μ C/OS-II

NIE Wei LI Yun-rui

(College of Information Science and Technology, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: A design for a vehicle GPS/ GPRS mobile terminal based on ARM and μ C/OS-II is proposed in this paper. The principles of the vehicle monitoring system and the main functions of the terminal are described. The hardware and software design are described in detail. The advantages of using μ C/OS-II in the system are demonstrated.

Key words: vehicle terminal; ARM; μ C/OS-II; S3C44B0X; embedded system