

# 一种新型石油管道压力传感器的设计\*

何 锋<sup>1,2</sup>, 储建华<sup>1,2</sup>, 宋小波<sup>1,2</sup>, 刘忠杰<sup>1,2</sup>, 毕世书<sup>1,2</sup>, 李 芬<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院 合肥物质科学研究院 先进制造技术研究所, 江苏 常州 213164;

2. 常州先进制造技术研究所, 江苏 常州 213164)

**摘 要:** 提出一种新型带有无线数据传输功能的石油管道压力传感器。传感器采用十字梁结构设计, 应变计全桥输出信号随管道内压力改变而变化。传感器通过无线传输的方式将监测数据传输到监测中心, 对管道压力进行实时监测。通过应变计性能测试和系统标定, 表明该传感器具有较好的灵敏度和线性度。

**关键词:** 压力传感器; 十字梁; 无线射频

中图分类号: TP212 文献标识码: A 文章编号: 1000-9787(2012)04-0109-02

## Design on a novel oil pipeline pressure sensor\*

HE Feng<sup>1,2</sup>, CHU Jian-hua<sup>1,2</sup>, SONG Xiao-bo<sup>1,2</sup>, LIU Zhong-jie<sup>1,2</sup>, BI Shi-shu<sup>1,2</sup>, LI Fen<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Advanced Manufacturing Technology, Hefei Institutes of Physical Science,

Chinese Academy of Sciences, Changzhou 213164, China;

2. Institute of Advanced Manufacturing Technology, Changzhou 213164, China)

**Abstract:** A novel oil pipeline pressure sensor with the wireless data transmission function is presented. The sensor is designed by using rood beam structure, output signal of full-bridge of stain gauge changes with the pressure change in oil pipeline. Sensors send the monitoring data to monitoring center by wireless transmission for real-time pressure monitoring of the pipeline. The performance test of stain gauge and system calibration indicate that this senor has good sensitivity and linearity.

**Key words:** pressure sensor; rood beam; wireless RF

### 0 引 言

输油管道因腐蚀和打孔盗油造成的石油泄漏严重影响输油管道安全并造成巨大的经济损失, 需要进行连续不间断的输油管道监测。常规安全监测主要靠人工沿管线定时巡视和读取数据, 不仅耗费大量的人力、物力和财力, 而且不能保证实时有效的发现和报警, 对管道的安全运行十分不利。近年来, 有学者提出了一种 Zig Bee 和 GPRS 混网组成的无线传感网络<sup>[1]</sup>来监控管网状态, 存在费用高的特点, 针对这一难题, 设计出一种新型带有无线数据传输功能的压力传感器, 能连续不间断有效监测管道内流体的正面冲击的瞬时压力和对管壁的作用力, 利于油田计量站进行实时监控和统一调度。

针对多维力的测量, 有不同学者提出了多种结构, 其中有 Stewart 式平台结构<sup>[2]</sup>、一板两杆式结构<sup>[3]</sup>、直角组合型结构<sup>[4]</sup>等。本文采用了十字梁式结构进行设计, 介绍了传感器的结构设计、弹性体设计和测量原理, 以及传感器的无线射频传输和数据处理流程。最后给出了传感器标定的方

法和实验结果。

### 1 传感器设计

#### 1.1 传感器机械结构

传感器由弹性体机械部分和信号处理系统两大部分组成。弹性体机械部分如图 1 所示, 主要由弹性接触装置、弹性体梁装置和固定装置三部分组成。信号处理系统包括测量电路、无线传输电路、数据采集放大电路、应用软件等几部分。传感器处理电路和弹性体集成为一个传感器本体, 使用 CMOS 电池进行供电, 传感器整体进行密封操作, 能长期置于管道内进行测量。整个传感器采用 LY12 硬铝材料, 弹性模量  $E$  为  $70 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ , 泊松比  $\mu$  为 0.3, 密度为  $2.7 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ , 内外径分别为 38, 54 mm, 弹性接触头内外径分别为 38, 34 mm, 传感器的压力量程为  $\pm 150 \text{ N}$ 。

#### 1.2 传感器弹性体设计与测量原理

如图 2 所示, 在弹性体的十字梁上对称贴上箔式电阻应变计, 横轴与纵轴梁上的 4 个应变计电阻组成惠斯通全桥电路(见图 3), 实现输出信号的自动解耦。应变计间使

收稿日期: 2011-09-20

\* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61005064)

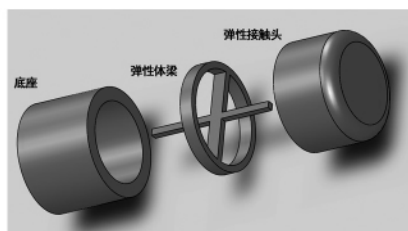


图1 传感器机械结构图

Fig 1 Mechanical configuration diagram of the sensor using diameter 25 μm thin copper wire welding.

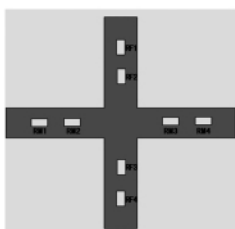


图2 传感器贴片示意图

Fig 2 Arrangement of the strain gauge

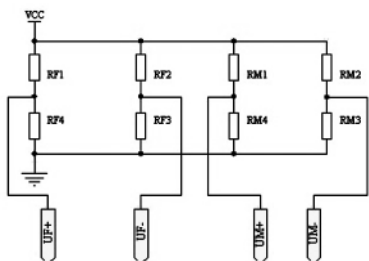


图3 箔式应变计组成的惠斯通全桥电路

Fig 3 Wheatstone bridge formed by the foil strain gauge

传感器受到外力作用时,由于力的大小方向的不同,各个方向的应变计受到的应力也不一样,根据应变计的电阻变化,可以得到力与应变的关系。

由于电阻变化值  $\Delta R/F_n$  正比于传感器的力信号,因此,桥路的输出电压信号随外力改变而变化,测量输出电压信号就可以得到被测目标的力信号。

## 2 数据采集与处理系统

### 2.1 无线传输电路和采集放大电路

由于传感器长期置于管道内,采用无线射频模块 NRF2401<sup>[5]</sup> 进行数据传输,芯片内置频率合成器、功率放大器、晶振和调试器等功能模块,输出功率和通信频道能通过程序进行配置,芯片功耗低,工作电流只有 10.5 mA,接收信号时工作电流仅仅为 18 mA,适用于电池供电的场合,使用该芯片对传感器 A/D 转换的数字信号进行应答式传输,能够满足传感器信号传输的需求。采集放大电路使用 MSP430F1232 芯片<sup>[6,7]</sup> 来完成 A/D 转换、标定计算、力值输出、无线芯片控制等功能,具体的电路图见图 4。

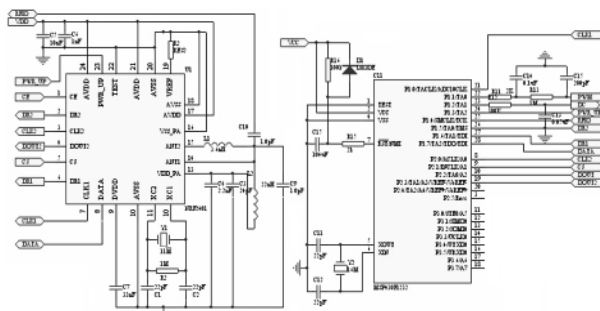


图4 传感器信号处理电路图

Fig 4 Signal processing circuit of the sensor

## 2.2 软件设计

单片机上电工作后,在主程序中进行芯片 AD 引脚数据采集,得到当前传感器的数据值,并对数据进行相应的滤波处理,当主程序监听到上位机传来的呼叫数据指令后,将数据传送给上位机,上位机通过 ID 号来识别不同的传感器,以达到同时监控各类不同传感器的目的。单片机软件工作流程图如图 5 所示。

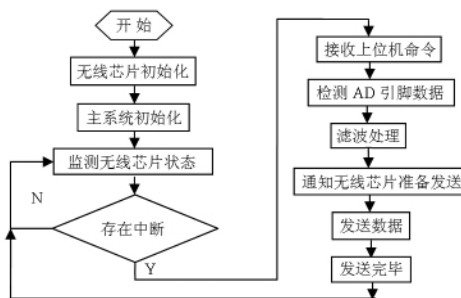


图5 单片机工作流程图

Fig 5 Working flow chart of the SCM

## 3 传感器标定

对管道压力传感器标定过程中,对施加在传感器力(F)和力矩(M)两条梁上的载荷和敏感桥路的关系进行了测量,其测量值(AD码值)与所加N数值的对应关系如图6(a)(b)所示。从图6(a)(b)中可以看出:传感器加力时,所受载荷和传感器敏感桥路之间的映射关系基本上具有较好的线性度,传感器误差为2.1%。通过标定可知,传感器灵敏度、线性、重复性和滞后的指标均与设计要求一致。

## 4 结论

本文研究了一种用于石油管道压力检测的传感器,该传感器使用了无线信号进行传输,系统功耗低,安装方便,适于多管网流体传输情况的集中监控,对油田计量站改进生产效率,节省成本支出,实现数字化分析有着十分重要的意义。传感器的性能测试和标定结果分析表明:该结构传感器具有较好的线性度和灵敏度。

(下转第 122 页)

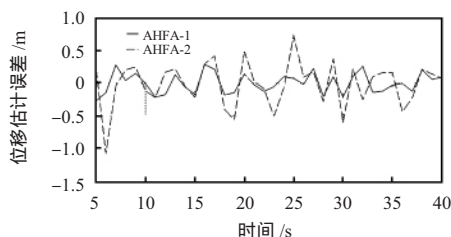


图5 两种算法的位移估计误差比较

Fig 5 Comparison of displacement estimation errors of two algorithms

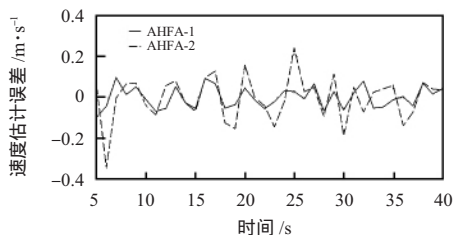


图6 两种算法的速度估计误差比较

Fig 6 Comparison of velocity estimation errors of two algorithms

4 结论

本文对不完全测量的多速率传感器数据融合方法进行了研究,提出了一种自适应分级融合算法。各传感器子系统独自进行滤波,引入子系统故障检测函数,设立映射矩阵,建立子系统的自适应切换控制,解决了传感器不完全测量的检测处理问题;充分利用中心融合和子系统估计的最邻近历史信息,改善了融合效果;计算机仿真验证了该算法的有效性。

由于该算法需要对连续系统进行多次离散化,会带来相应的离散化误差,如何在实际应用中进一步完善算法,这是下一步要研究的工作。

参考文献:

[1] Qiu Aibing, Wen Chenglin. Optimal asynchronous multisensor centralized fusion estimate [C]//Proceedings of the Eighth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Baoding, China 2009: 3396 - 3401.

[2] 闫莉萍, 邓志红, 付梦印. 非线性系统的异步多速率数据融合估计算法研究[J]. 电子学报, 2009, 37(12): 2735 - 2740.

[3] 王媛媛, 张军, 朱衍波, 等. 异步多速率传感器不完全观测信息融合算法[J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2009, 37(1): 271 - 274.

[4] 文成林, 葛泉波, 刘双剑. 带有信息反馈的最优异步递推航迹融合算法[J]. 电子与信息学报, 2009, 31(9): 2123 - 2131.

[5] Wu Chinwen, Chung Yinung, Chung Pauchoo. A hierarchical estimator for object tracking [J]. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing 2010(1): 1 - 11.

[6] Fiengo G, Domenico D D, Glielmo L. A hybrid procedure strategy for vehicle localization system: Design and prototyping [J]. Control Engineering Practice 2009, 17: 14 - 25.

[7] 王其, 杨常松. 联邦卡尔曼滤波在水下航行器组合导航系统中的应用[J]. 南京信息大学学报: 自然科学版, 2010, 2(2): 133 - 137.

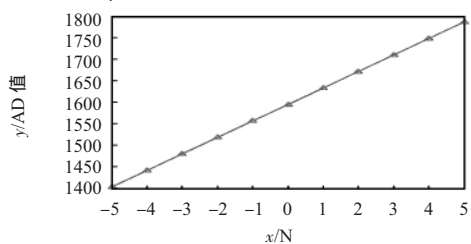
[8] Majji M, Davis J J, Junkins J L. Hierarchical multi-rate measurement fusion for estimation of dynamical systems [C]// AIAA Guidance, Navigation and Control Conference and Exhibit, Hilton Head, South Carolina, USA 2007: 1 - 12.

[9] 彭冬亮, 文成林, 薛安克. 多传感器多源信息融合理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 120 - 152.

作者简介:

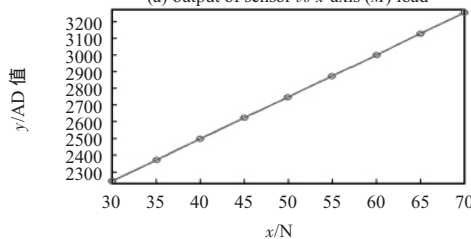
林孝工(1962-),男,黑龙江齐齐哈尔人,教授,博士生导师,主要研究方向为检测技术与自动化装置。

(上接第110页)



(a) x轴(M)载荷与传感器输出数字值关系图

(a) output of sensor vs x-axis (M) load



(b) x轴(F)载荷与传感器输出数字值关系图

(b) output of sensor vs x-axis (F) load

图6 x轴 F/M 载荷与传感器输出数字值关系图  
Fig 6 Relation diagrams of x-axis (M/F) load and output voltages (AD value)

参考文献:

[1] 马小强, 张春业, 张波, 等. 基于 Zig Bee 和 GPRS 的管道监测网络设计[J]. 计算机工程, 2010, 36(5): 128 - 130.

[2] Mote W L C D. Development and calibration of a sub-millimeter three-component force sensor [J]. Sensors and Actuators, 1998, 65: 88 - 94.

[3] 沈辉, 吉爱红, 颜化冰, 等. 一种二维力/扭矩传感器的设计[J]. 传感器与微系统, 2006, 25(1): 63 - 65.

[4] 史炎. 用于摩擦系数测量的二维力传感器[J]. 内燃机车, 2002(2): 41 - 42.

[5] 陈丽娟, 常丹华. 基于 nRFID2401 芯片的无线数据通信[J]. 电子器件, 2006, 29(1): 248 - 250.

[6] 刘志平. 基于 MSP430 和 NRF2401 的 WSNs 节点设计[J]. 国外电子测量技术, 2009, 28(8): 57 - 59.

[7] 房泽平. 基于双 MCU 和 nRF2401 的无线传感器网络系统[J]. 自动化仪表, 2009, 30(8): 25 - 27.

作者简介:

何锋(1977-),男,安徽蚌埠人,助理工程师,研究方向为机器人技术。