

基于 ARM 的燃气调压器检测系统设计

李江波, 朱世强*, 郑东鑫

(浙江大学 流体传动及控制国家重点实验室, 浙江 杭州 310027)

摘要: 为了提高燃气调压器的检测精度和效率, 针对燃气调压器的性能特点和检测要求, 设计了一种基于 ARM 嵌入式平台的燃气调压器检测系统。通过采集记录调压器出入口压力变化情况, 实现了对其性能指标的准确、快速检测, 并对调压器的设计改进提供了依据。检测结果表明, 该系统检测精度高, 稳定性高, 人机交互友好, 现已应用于实际生产中。

关键词: ARM; 燃气调压器; 检测系统

中图分类号: TP216

文献标识码: A

文章编号: 1001-4551(2010)04-0108-04

Design of gas regulator inspection system based on ARM

LI Jiang-bo, ZHU Shi-qiang, ZHENG Dong-xin

(State Key Laboratory of Fluid Power Transmission and Control, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: According to the features of gas regulator, a new regulator inspection system based on ARM was designed to improve the accuracy and efficiency of the inspection process. By analyzing the gas regulator inlet pressure and outlet pressure, the accurate test was provided, the structure of regulators was improved. Experimental results indicate that this system is capable of providing a precise and effective real-time inspection.

Key words: ARM; gas regulator; inspection system

0 引言

随着能源紧张和环境污染问题的日益严重, 作为一种经济、有效、洁净的理想能源, 天然气得到了广泛的应用^[1-2]。燃气供应系统的安全性和可靠性成了人们关注的焦点。在燃气供应系统中, 保证供气的压力稳定和无泄漏是安全供应燃气的最重要的问题^[3]。燃气调压器作为燃气供应的核心部件, 在出厂前需要进行严格的性能测试。调压器的气密性和静调压特性(尤其是出口的压力-流量变化曲线)是产品出厂的主要检验标准, 最大程度上反映了调压器的工作性能, 同时也能给产品的设计和改进行提供参考依据。

本研究介绍一种新型的基于 ARM 的嵌入式燃气调压阀检测系统。该系统通过安装在调压器入口和出口处的压力变送器采集密闭在调压器两端的气体压力, 对调压器的气密性做出判断; 同时通过采集出口压

力和流量的数据, 绘制出口的压力-流量变化曲线。该系统采用三星公司 S3C44B0X 嵌入式微控制器, 移植 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 操作系统, 运用 $\mu\text{C}/\text{GUI}$ 开发友好人机界面。

1 系统设计

1.1 燃气调压阀简介

燃气调压器作为燃气供应系统的核心部件, 其主要作用是将较高的入口压力降至较低的出口压力, 并且在入口压力变化或者出口流量变化时, 能自动调节出口压力, 保持给定的压力值, 并在允许稳压范围内做小幅度变化^[4]。

一般而言, 调压器分直接作用式和间接作用式两种。两者的基本原理相似。都是通过弹簧等的自动调节机构, 自动调节出口压力, 使其保持稳定。工作原理如图 1 所示。

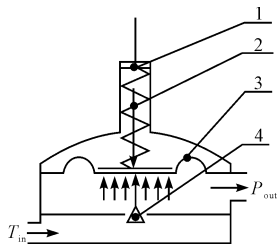


图1 燃气调压器工作原理

1—调节器;2—弹簧;3—薄膜;4—阀芯

1.2 检测内容

根据国家标准 GB 16802-1997《城镇燃气调压器》,燃气调压器的检查主要包括以下部分内容:

- (1) 燃气调压器的气密性检测;
- (2) 燃气调压器的静调压特性测试,包括稳压精度、关闭压力、压力回差等;
- (3) 调压器强度检测,包括调压器壳体和膜片的强度检测;
- (4) 耐久特性试验。

本检测系统的主要目的是完成气密性和静调压特性两项内容的检测。

1.3 检测方法

目前国内企业多通过手动测试,依赖传统仪表,无论检测精度、效率还是可靠性都远不能满足现在企业的生产要求。因此根据燃气减压器的功能和检测要求,设计检测平台如图2所示。

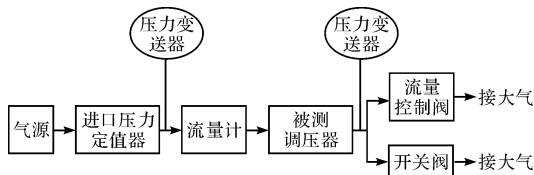


图2 燃气调压器检测系统结构图

该平台包括以下检测过程:

(1) 气密性检测。

燃气调压器的气密性检测采用直接压力检测法。向被测调压器内充入一定压力的气体,如果存在泄漏现象,则经过一段时间后压力就会下降。根据测试要求,需要保压 24 h,因此测试过程中的温度变化不能忽略。

(2) 静调压特性测试。

燃气调压器静调压特性测试要求在入口不同压力下,测试出口压力和流量的关系。以及在不同压力下缓慢关闭出口阀门后,检测入口的压力变化情况。

2 检测系统设计

2.1 检测系统总体设计

燃气调压器检测系统结构框图如图3所示。包括

以 ARM7 芯片 S3C44B0X 为核心处理器的最小系统、压力/流量采集模块、温度采集模块、步进电机驱动模块、人机界面模块以及其他在框图所示的外围电路等部分。本研究在此硬件平台上移植 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 操作系统,运用 $\mu\text{C}/\text{GUI}$ 图形界面开发库进行界面开发。

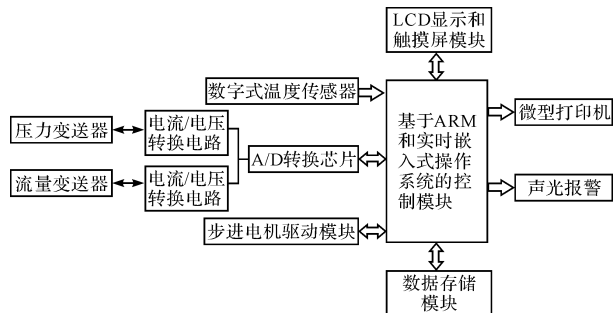


图3 燃气调压器检测系统框图

2.2 检测系统硬件设计

S3C44B0X 具有 ARM7TDMI 核,是专为手持设备和一般应用提供的高性价比和高性能的微控制器解决方案,具有包括片内 8 KB cache,RTC 实时时钟,内置 LCD 控制器,2 个 UART 异步串行通讯接口,中断控制器,I²C 总线接口等丰富的片内资源^[5]。可工作在最高 75 MHz 频率。

(1) 人机界面。

利用 S3C44B0X 内置的 LCD 控制器,在本研究中,扩展了 640 × 480 像素,256 色 TFT 液晶屏,并通过触摸屏控制器 ADS7843 芯片连接 10.5 寸四线电阻式触摸屏。以此提供良好的人机界面。

(2) 压力、流量采集模块。

压力、流量和温度信号的采集是整个系统的核心,除了压力和流量变送器自身之外,其采集模块和温度采集模块直接决定了系统检测的精度。

本系统选用精度等级 0.02% F.S 的压力变送器和 1% F.S 的涡轮流量计,两者的输出均为 4 mA ~ 20 mA 电流信号。所以采用如图 4 所示的电路实现电流-电压转换。

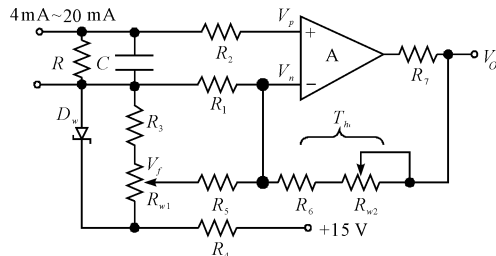


图4 4 mA ~ 20 mA / 0 ~ 5 V 转换电路

根据节点方程可以得到:

$$V_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1} + \frac{R_f}{R_5} \right) V_N - \frac{R_f}{R_5} V_f \quad (1)$$

取 $R = 200 \Omega$, $R_1 = 18 \text{ k}\Omega$, $R_5 = 43 \text{ k}\Omega$, 经调整 R_{w1} 和 R_{w2} 可以得到对应的 $0 \sim 5 \text{ V}$ 线性输出。

经转换后的电压信号输入到 A/D 转换芯片 ADS1216, ADS1216 可以通过 SPI 接口与 MCU 通讯。

(3) 温度采集模块。

温度采集选用数字温度传感器 DS18B20。其分辨率为 $0.0625 \text{ }^\circ\text{C}$, 可测量在 $-55 \text{ }^\circ\text{C} \sim +125 \text{ }^\circ\text{C}$ 范围内的温度。在 $-10 \text{ }^\circ\text{C} \sim +85 \text{ }^\circ\text{C}$ 范围内测量精度为 $\pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ [6]。

(4) 步进电机驱动模块。

步进电机驱动模块主要负责流量控制阀的开口大小控制, 以实现调压器出口的流量控制。系统采用两相式步进电机, 由于功率较大, 驱动电路首先通过步进电机驱动集成电路 L297 进行逻辑控制, 其输出经过栅极驱动器 IR2110 进一步驱动功率 MOSFET IRF540 组成的双 H 桥电路。这样提高了驱动电路的驱动能力和可靠性。同时, 经过 D/A 转换器输出的模拟电压输入到 L297 的 V_{ref} 引脚, 可以实现对步进电机的细分控制, 提高了步进电机的控制精度, 改善了运行品质。

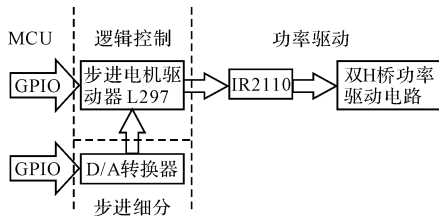


图 5 步进电机驱动框图

2.3 检测系统软件设计

调压器检测系统的开发采用模块化、分层开发的策略。在前节所述硬件平台基础上, 分别针对外围设备设计开发硬件驱动层, 完成如压力/流量数据采集、温度采集、步进电机控制、人机界面等底层功能, 并分别将各部分代码封装为函数, 供上层应用程序调用。

在应用软件层, 检测系统主要完成气密性检测和静压特性检测两部分内容。

(1) 在气密性检测过程初始, 检测系统分别记录调压器入口压力 P_{in0} , 出口压力 P_{out0} , 和当前外界环境温度 T_0 。之后每隔一定时间分别采集以上数据, 通过软件滤波算法得到当前入口压力 P_{in1} , 出口压力 P_{out1} , 以及外界环境温度 T_1 。

假定气体没有泄露, 且调压器工作正常, 根据热力学定律, 这个过程是一个等容变化的过程, 则理想状况下:

$$\frac{P_0}{T_0} = \frac{P_1}{T_1} \quad (2)$$

那么考虑测试系统的系统误差和调压器的气密性检测要求, 根据式(1), 需要满足下式:

$$\frac{T_1}{T_0} \cdot P_0 - \Delta P < P_1 < \frac{T_1}{T_0} \cdot P_0 + \Delta P \quad (3)$$

如果一旦在设定时间内 (通常为 24 h) 不满足上述条件, 则认为被测调压器不满足检测要求, 并根据检测结果提示检测人员调压器可能故障。若在设定时间内, 一直满足上述条件, 则认为被测调压器满足气密性要求。打印检测结果, 该检测过程结束。

(2) 静压特性检测过程中, 调节入口压力调节阀, 使调压阀入口压力分别为 P_{imin} 、 $0.5 \times (P_{imin} + P_{imax})$ 和 P_{imax} (其中 P_{imin} 、 P_{imax} 分别为燃气调压器规定压力范围内所允许的最低和最高入口压力)。通过步进电机控制出口的流量控制阀改变调压器出口的流量, 使其由零至 Q_n 、再由 Q_n 至零往返各一次, 嵌入式控制系统分别记录整个过程中的 P_{in} 、 P_{out} 和 Q 变化情况, 其中出口压力 P_{out} 按两次测量的算术平均值计算。最终打印出压力-流量曲线。

3 测试与试验结果

大量试验结果证实, 本系统工作稳定, 实时性好, 人机交互良好。系统压力采集可以达到 0.08% 左右的精度, 能检测漏率在 $10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 范围内的气密性泄漏 [7]。符合国家标准规定的精度等级。适用于入口压力 $0 \sim 0.4 \text{ MPa}$, 出口压力 $0 \sim 55 \text{ kPa}$, 额定流量 $1500 \text{ m}^3/\text{s}$ 以内的各型号燃气调压器静调压特性检测。

应用 $\mu\text{C}/\text{GUI}$ 图形软件包编写的图形界面如图 6 所示。本系统对 MBN/25 型燃气调压器静调压特性的测量结果如图 7 所示。从图中可以很直观地计算出该型号燃气调压器静压特性的相关参数值, 从而确定该调压器是否符合要求。



图 6 燃气调压器检测系统控制界面

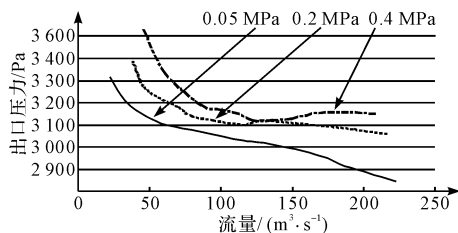


图 7 MBN/25 型燃气调压器静压特性曲线图

4 结束语

本课题根据燃气调压器的检测要求,研制了基于 ARM 的燃气调压器检查系统。本研究详细介绍了检测方法和系统的软硬件构架。经大量试验和测试,本系统能满足多个系列燃气调压器的检测,具有检测精度高、稳定性好、人机界面良好等特点,检测结果能准确反映调压器的性能指标,并为设计部门提供设计参考依据,充分满足了检测要求,现已得到实际应用。

参考文献 (References):

[1] 杨建红. 中国天然气市场发展形势[J]. 当代石油石化,

2005,13(10):32-37.

- [2] CAVANEY R. US oil, gas industry enhances health, safety, environment[J]. **Oil and Gas Journal**,2000,98(46):64-69.
- [3] YANG Zhao, WU Ting, LI Xi-hong. Experimental studies and estimates of the explosion limit of some environmentally friendly refrigerants [J]. **Combustion Science and Technology**,2005,177(3):613-626.
- [4] 于碧涌. 燃气调压器数值模拟与试验研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2007.
- [5] 王天苗. 嵌入式系统设计与实例开发[M]. 北京:清华大学出版社,2002.
- [6] 马云峰,陈子夫,李培全. 数字温度传感器 DS18B20 的原理与应用[J]. 电子元器件应用,2002,5(2):23-25.
- [7] 闫治平,黄淑英. 检漏方法的灵敏度估计[J]. 中国空间科学技术,2002,2(1):59-64. [编辑:张翔]

(上接第96页)

顶点,依次类推,权值最小的,是顺时针搜索的最后一个顶点。

3 透视变换

一般来说,只要有四个四边形 4 对对应点 $p' - p$, 就可以求得这两个四边形的透视变换矩阵,四边形内的所有点乘此矩阵,即可以映射到矩形内。笔者假定:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix}$$

即: $p' = Mp$

其中: $p = \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix}$ 是四边形的顶点; $p' = \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{pmatrix}$ 是校正后

得到的矩形顶点; $M = \begin{pmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & 1 \end{pmatrix}$ 是待求的矩阵。

4 实验和复杂度分析

实验的硬件配置:CPU 为 P4 2.0 G,内存 512 M。用该算法检测实际拍摄的照片,图片大小为 440×330 。采用多幅图片对本算法测试,平均测试时间是 89 ms。检测效果如图 1、图 2、图 3 所示。



图1 原图



图2 直线检测的结果



图3 校正后的图形

由图可见,基于 Hough 变换和最小二乘拟合相结合的矩形几何提取和校正算法,所得图片精度更高。

5 结束语

Hough 直线检测是针对全局空间的像素操作,抗干扰能力强;而最小二乘法是针对局部空间的像素操作。由 Hough 直线检测确定直线在全局空间中的位置,最小二乘法在局部空间求出直线的精确位置,二者相结合,提高了检测的精度和效率。本研究提出的特征点排序方法简单、高效,尤其适用于多个特征点排序。实验表明,本研究提出的矩形几何提取、校正算法快速、精确,鲁棒性强,满足了一般工业检测的要求。

参考文献 (References):

- [1] TAO Wen-bin, TIAN Jin-wen, LIU Jin. A new approach to extract rectangle building from aerial urban images [C]//In International Conference on Signal Processing, Beijing: [s. n.],2000:143-146.
- [2] JUNG C R, SCHRAMM R. Rectangle Detection based on a Windowed Hough Transform [C]//SIBGRAPI, Brazil: [s. n.],2004:113-120.
- [3] 李强兵,刘文予. 基于 Hough 变换的快速矩形检测算法[J]. 微型计算机信息,2007,23(11-1):248-250.
- [4] 屈稳太. 基于弦中点 Hough 变换的椭圆检测方法[J]. 浙江大学学报:工学版,2005,39(8):1132-1135.
- [5] 赵桂霞,黄山. 一种基于随机 Hough 变换圆检测的改进算法[J]. 计算机技术与发展,2008,18(4):77-79.
- [6] HEARN D, BAIER M P. Computer Graphics with OpenGL [M]. 3rd ed. Publishing House of Electronics Industry, 2005.
- [7] 朱芳芳,顾宏斌,孙瑾. 一种改进的 Hough 变换直线检测算法[J]. 计算机技术与发展,2009,19(5):19-22.
- [8] 柯杏,杜尚丰. 基于改进 Hough 变换的直线检测算法[C]. 2008 农业信息化、自动化与电气化国际会议论文集. 镇江:中国农业工程学会,2008. [编辑:柴福莉]