

# 基于 MSP430 单片机的智能型流量积算仪

李亚南, 姜印平, 李志丹  
(天津大学自动化学院 天津 300072)

**摘要:** 针对目前国内许多测量天然气的场合还在大量应用机械式罗茨流量计的现状, 本文研制了一种基于零功耗脉冲传感器的智能流量积算仪。积算仪将罗茨流量计的计量原理与单片机结合起来, 采用先进的电子线路和软件, 开发成具有多种功能、数字显示的智能型表头。经过理论推导和实验研究, 证明这种智能流量积算仪能够在低功耗和高精度 2 个方面取得很好的效果, 并且设计方案切实可行, 已经逐步在市场上应用。

**关键词:** MSP430F149; 流量积算仪; 韦根传感器; 仪表系数

**中图分类号:** TH39 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 460.40

## Intelligent flow totalizer based on MSP430 single chip microcontroller

Li Yanan, Jiang Yinping, Li Zhidan  
(Department of Automation, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

**Abstract:** According to the current situation that a great deal of mechanical Roots flowmeters are widely used in natural gas flow measurement, an intelligent flow totalizer based on zero power pulse sensor was developed. The flow totalizer combines the measurement principle of Roots flowmeter with single chip microprocessor, adopts advanced electronic circuits and software, and is developed as a multifunctional, digital display intelligent meter head. Theoretical analysis and experimental result prove that the intelligent flow totalizer has favourable performance in low power and high accuracy. The design is feasible and the totalizer is being applied step by step in the market.

**Key words:** MSP430F149; flow totalizer; Wiegand sensor; meter factor

## 1 引言

至今为止,工业用流量仪表种类多达 60 余种,之所以这样是因为到目前还没有一种对任何流体、任何量程、任何流动状态以及任何使用条件都适用的流量仪表,每种流量仪表都有它特定的适用性,也有其局限性。选择合适的流量仪表也就变成一项技术性很强的工作,这就需要在做出最终选择之前仔细而深入地考虑并权衡许多与测量问题有关的因素。本积算仪将罗茨流量计的计量原理与单片微机结合起来,采用先进的电子线路和软件,开发了一款具有多种功能、数字显示的智能型表头。

该装置提高了流量计在气体流量测量中的准确度。利用零功耗磁敏传感器从根本上降低了流量计的功耗,

增长了流量计的使用寿命;对理想气体的修正有效地实现了温度压力补偿,提高了流量计的精度。研制新型流量计的同时尽量降低成本,使产品更具市场竞争力。

## 2 系统硬件设计

控制核心单元选用的是美国 TI 公司生产的单片机 MSP430F149,图 1 所示为本文系统的结构框图。系统控制器为一片 MSP430F149 单片机。外部模块包括压力检测、温度检测、脉冲信号检测、电源模块、键盘模块、液晶显示模块、标准电流输出、时钟芯片等。

TI 公司生产的 MSP430F149 是 16 位 RISC 结构 FLASH 型单片机,配备 12 位 A/D、硬件乘法器、PWM、USART 等模块,多种低功耗模式设计,非常适合于低功耗产品的开发。

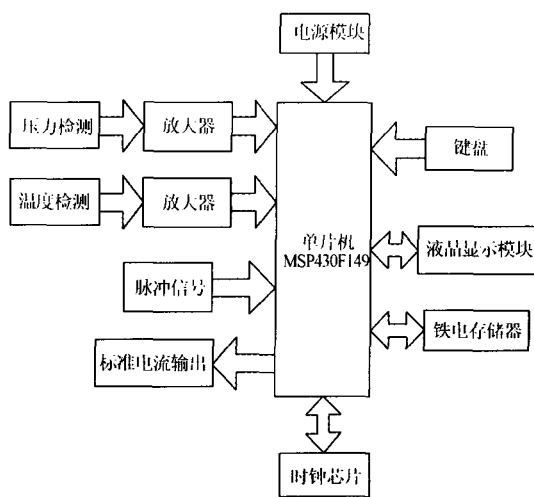


图1 系统结构框图  
Fig.1 System structure

对于具有温压补偿的流量计来说,它的准确与否直接影响流量参数的测量精度。为了得到较高得测量精度,采用了数字式温度传感器 DS18B20 对温度信号进行采集,然后再进入 MSP430 单片机的 A/D 转换模块转换为数字量。DS18B20 数字传感器的测温系统简单、测温精度高、连接方便、占用口线少等优点。输出的是带有正负号的 12 位数字信号。

压力传感器选用 MC 系列压力传感器,需要有恒流源供电,本系统选用恒流源控制芯片 LM334。在采集压力时,恒流源控制芯片 LM334 工作,给压力传感器提供大约 1 mA 左右的电流,这样,压力传感器就能够精确的检测到电压,进入到放大电路的输入端。MSP430F149 内部带有 12 位的 A/D 转换模块,对于 2.5 V 的基准,分辨率可以达到 0.6 mV。

脉冲信号的检测采用的是韦根传感器,其工作原理是:传感器中的双稳态功能合金材料在交变外磁场的激励下,磁化方向瞬间发生翻转,而当外磁场撤离后,它瞬间恢复到原有的磁化方向。这种传感器的最大特点是:无须使用外加电源(零功耗)、无机械触点、无震动影响等,适用于低功耗仪表。传感器工作时无须使用外加电源,适用于低功耗仪表;可实现超低速(零速)检测;传感器与永磁体间的可工作距离大,可以达到 15 mm,输出不低于 3 V;30 mm 时,仍然可以输出 100 mV 以上;工作温度范围宽达 -80 ~ +260 °C,基本上满足流量计的工作要求。

为了能够实现流量信号的远传需要将流量信号转换为 4 ~ 20 mA 的标准电流信号,也就是标准电流输出单元。本单元的核心部分是采用 AM402 芯片来实现的,单片机通过调整占空比将流量信号转换为管脚的 PWM 脉冲,然后再经过 AM402 转换为标准的 4 ~ 20 mA 电流信

号进行远距离传输。在使用 4 ~ 20 mA 输出时需要使用 24 V 电源供电。

数据存储功能可以通过键盘设定起始存储时间,智能仪表将根据人为设定的起始存储时间每隔一天保存一次数据,数据存储期间起始时间可重新设定,保存的参数包括时间(年,月,日,时,分)、累积流量、瞬时流量、仪表系数、温度、压力。数据存储单元采用 64 K bit 非易失性铁电存储器 FM24CL64,这种存储器读写次数无限制,掉电数据保持 10 年,写数据无延迟,采用先进的高可靠性的铁电制造工艺。

在没有流量信号时,把单片机设置为低功耗模式,工作电流只有几个微安;如果有流量信号到来,则进入中断把单片机唤醒,进入工作状态,平均工作电流大约 400  $\mu$ A,对于容量为 16 Ah 的锂电池来说,能够保障积算仪正常工作 4 ~ 5 年,这一点已经在实际的应用中得到了验证。图 2 为电池电压随时间的变化曲线,可以看出在最初的几年里电池电压变化缓慢,从第 4 年开始逐渐衰减,此时需要更换新的电池。

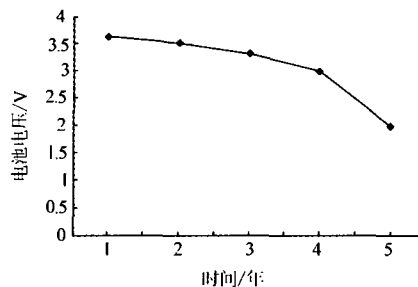


图2 电池电压随时间变化曲线  
Fig.2 Curve of battery voltage vs. time

### 3 数学模型与软件设计

#### 3.1 数学模型

为了说明真实气体与理想气体的差异程度,定义压缩系数  $Z$ ,它是用来衡量实际气体接近理想气体程度的参数:

$$Z = PV/nRT \quad (1)$$

可以改写为:

$$PV = ZnRT = Z \frac{m}{M} RT = Z \frac{N\mu}{N_0\mu} RT = Z \frac{N}{N_0} RT \quad (2)$$

$$\text{即: } \frac{f_b}{f} = \frac{K_b}{K}$$

令  $K = K_b + \Delta K$ ,  $\Delta K$  为实际状况和标准状况下仪表系数的偏差。则:

$$\frac{K_b}{K} = \frac{K_b}{K_b + \Delta K} = \frac{1}{1 + \Delta K/K_b} \approx 1 - \Delta K/K_b$$

由于  $\Delta K/K_b \rightarrow 0$ , 所以  $1 - \Delta K/K_b \approx 1$

则:  $f_b = fk, F_b = Fk$ 。

因此,检测出脉冲频率  $f$  后,再依据折算因子  $k$ ,即可算出标况下的脉冲频率  $f_b$ 。有了  $f_b$  之后,就可以按照已知的函数关系计算得到标况下的仪表系数  $K_b$ 。

$$V_b = \frac{F_b}{K_b} = \frac{Fk}{K_b} = \frac{F}{K_b/k} = \frac{F}{K_B} \quad (3)$$

式中:  $K_B = K_b/k$ ,称之为折算仪表系数。

### 3.2 软件设计

软件的主流程图如图3所示。单片机在上电和复位的时候,先要执行初始化程序。然后,依次判断功能模块的标志位,当标志位有效时,执行该功能模块的程序,如标志位无效,则跳过向下执行。当程序执行到最后,再循环返回到初始化之后。

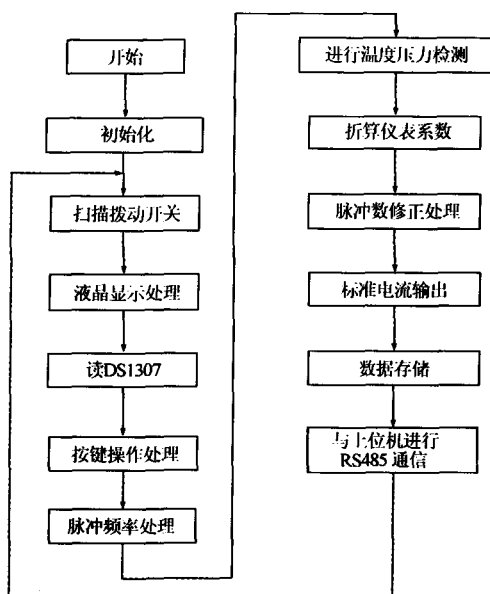


图3 主程序流程图

Fig. 3 Programme flow chart

标准电流模块和RS485通信模块标志位是由扫描拨码开关部分所决定的;数据存储部分通过不断地读取DS1307来判断是否到了预先设定的存储时间,到存储时间后进入数据存储子程序。

如果脉冲频率  $f$  较低时相对误差达到1.25%,可见误差不可忽略,因此采用直接采集方法有着很大的缺陷。为了弥补直接采集脉冲产生误差过大的缺陷,在小流量时采用测周期转换频率的方法,就是测得相邻2个脉冲之间的周期  $T$ ,将之取倒数,即得脉冲频率。

RS485通信实现了数据的远程传输,使得人们不必直接到现场去查看各种仪表参数,通过观看通讯界面即可获得当前和历史数据。对脉冲频率算法上的改进使仪表的精度得到进一步提高。本智能仪表方便地实现了PC与多台流量计测量仪表的串行通信功能,采用VB6.0

做成的通信界面操作简单可靠,可以将仪表所存储的历史数据保存到文件中进行数据库管理。

流量计计算仪表回传数据时即可在主机上引发 On-Comm( )事件,首先判断接收数据的完整性,然后将数据一次全部读到所定义的变量参数中,分别取出各个字节,解析出意义,在屏幕上显示,同时利用VB的文件操作,将数据存入随机文件中,文件路径可以自由选择,同时可以通过年、月、日进行历史数据查询。本智能仪表已经实现了连续存储512组数据,存储时间可以随时改变。

### 4 结束语

本智能流量积算仪已经在华北、东北以及南方的部分地区得到了广泛的应用,与同类产品相比,硬件结构简单、软件功能强大,大大降低了仪表的故障率。可以适应-30℃的低温,具有很强的抗干扰能力;通过零功耗的磁敏传感器,使流量信号的可靠性得到进一步的提高,除了可以与罗茨流量计配合进行各种数据处理以外,还可以与其他脉冲型仪表进行匹配,进行数据处理。利用压缩系数  $Z$  对理想气体状态方程修正,实现精确的温压补偿,使流量仪表工作智能化、科学化,成本较低,更具市场竞争力。

### 参考文献

- [1] 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.  
WEI X L. The interface technology and system design examples of MSP430 series[M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2002.
- [2] POLING B E, PRAUNITZ J M, CONNELL J O'. The properties of gases and liquids[M]. 5th ed. New York: McGrawHill, 2001.
- [3] MEDLOCK R S. The historical development of flow metering[J]. Measurement & Control, 1985, 19(5): 11-12.
- [4] SOLIMAN A, RIZZONI G, KIM Y W. Diagnosis of an automotive emission control system using fuzzy inference [J]. Control Engineer Practice, 1999, 7(2): 209-216.
- [5] NAGY C. Embedded system design using the TI MSP430 series[M]. Elsevier Science, 2003.
- [6] LANDAU I D. Robust digital control of system with time delay (the Smith Predictor Revisited) [J]. INT J. Control, 1995, 62(3): 325-347.
- [7] 田一华,魏凯丰,王慕坤. 天然气计量系统标方计算的数学模型[J]. 哈尔滨理工大学学报,2002,7(5): 50-52.  
TIAN Y H, WEI K F, WANG M K. The mathematical model of standard volume measurement system of gas[J].

- Harbin Polytechnic University Journal, 2002, 7 (5): 50-52.
- [8] 马修水. Wiegand 传感器原理及应用[J]. 仪表技术与传感器, 1999, (9): 6-7.
- MA X SH. Principle and application of Wiegand sensor [J]. Instrument and Sensor Technology, 1999, (9): 6-7.
- [9] CAO Y Y, FRANK P M. Stability analysis and synthesis of nonlinear time-delay systems via linear Takagi-Sugeno fuzzy models [J]. Fuzzy Sets Systems, 2001, 124 (2): 213-229.
- [10] LI W, CHANG X G. A Neuro-fuzzy control for a stoker-fired boiler based on behavior modeling [J]. Control Engineering Practice, 1999, 7(4): 469-481.

### 作者简介



**李亚南**,男,1982年5月出生,2004年毕业于河北理工大学获得学士学位,现为天津大学硕士研究生,主要研究方向为智能仪表及自动化检测装置。

地址:天津市南开区卫津路92号天津大学自动化学院470号信箱,300072

电话:022-27406118;E-mail:tjulyn@gmail.com

**Li Yanan**, male, born in May 1982, and received BSc from Hebei Polytechnic University of China in 2004. At present, he is a master student in Tianjin University. His current research directions include intelligent meter, automatic detection device.

Address: Box No. 470, Department of Automation, Tianjin University, Weijin Road No. 92, Nankai District, Tianjin 300072, China  
Tel: +86-22-27406118; E-mail: tjulyn@gmail.com



**姜印平**,男,1954年8月出生,分别于1980年和1998年在天津大学获得学士和硕士学位,现为天津大学硕士生导师,高级工程师,主要研究方向为自动化智能仪表和自动化检测装置。

地址:天津大学自动化学院,300072

电话:022-27406118;E-mail:jiangliangjiang@126.com

**Jiang Yinping**, male, born in August 1954, He received BSc in 1980 and MSc in 1998 from Tianjin University of China. At present, he is a supervisor for master student in Tianjin University, senior engineer. His current research directions include intelligent meter and automatic detection device.

Address: Department of Automation, Tianjin University, Weijin Road No. 92, Nankai District, Tianjin 300072, China

Tel: +86-22-27406118; E-mail:jiangliangjiang@126.com