

新型超声波气体流量计

温静馨,郝建秀,王淮中

(沈阳化工学院 计算机学院,辽宁 沈阳 110142)

摘要: 介绍了一种高精度、高抗干扰性、价格低廉、操作简便的超声波气体流量计。通过测量超声波脉冲沿顺、逆流两个方向上声波传播时间不同来测量气体的流速和流量的新技术。本设计使用高精度数字计时电路,计时精度达到皮秒级。

关键词: 超声波;气体流量计;频差法

中图分类号: TP216

文献标识码: A

New type of ultrasonic gas flow meter

WEN Jing Xin,HAO Jian Xiu,WANG Huai Zhong

(Computer College,Shenyang Institute of Chemical Technology,Shenyang 110142,China)

Abstract: This paper describes a high precision and high anti-interference, low price and easy operation of the ultrasonic gas flowmeter. By measuring the ultrasonic pulse along the cis, upstream on the acoustic wave propagation in both directions at different times to measure the gas flow rate and flow of new technologies. The design uses high-precision digital timing circuits and has picosecond timing accuracy.

Key words: ultrasonic; gas flow meter; frequency difference method

流量测量的主要任务有两类:一是为流体物资贸易核算储运管理和污水废气排放控制的总量计量;二是为流程工业提高产品的质量和生产效率、降低成本以及环境保护等进行必要的流量检测和控制。随着社会迅速发展,在流程工业中检测和控制温度、流量、压力、物位和成分分析等参数仪表中,气体流量仪表占很大的比重。近年来,随着西气东输管道工程全面启动,在天然气生产、输送、交易、分配和使用过程中,由于供需双方经济利益或用户为谋取最佳使用效果,尤其是对于大口径气体流量测量提出了新要求。为了适应气体流量测量不断提高的标准,将超声波技术应用到气体流量的检测中,一种新型流量计——超声波气体流量计应运而生。

1 系统设计

超声波在流动的气体中传播时,可以载上气体流速的信息。因此,通过接收穿过流体的超声波就可以检测出气体的流速,从而转换成流量。超声波气体流量计即是用来测量气体流量的。其原理是利用超声波的传播速度随流速变化而发生变化的原理来测量的气体流速的

流量计。超声波气体流量计由超声波换能器、电子线路、流量显示和计算系统组成。超声波换能器将电能转换成超声波能量,将其发射并穿过被测气体,接收换能器接收到超声波信号,经电子线路放大并转换为代表流量的电信号,供显示和计算,为此实现了流量的检测显示。频差法是测量在顺流和逆流超声波脉冲的循环频率差获得流体流速、流量值的方法^[1-2]。

1.1 系统简介

目前,国内外超声波流量计有美国 ORE 公司的 7610 系列流量计、我国唐山汇中仪表公司的超声波流量计等。美国 ORE 公司的流量计精度较高,稳定性能好,使用范围宽,但是存在操作不方便、安装困难,且为全英文界面、服务周期长、价格高昂等缺点。目前我国的流量计虽然克服了其某些缺点,但是精度和测量范围却无法达到国外的指标。

针对以上问题,本系统主要通过频差法来测量气体流量,通过应用 TDC-GP2 具有高精度进行时间计量,应用 MSP430 系列的微处理芯片,这两款芯片的结合,制造出来的超声波流量计。该流量计具有低功耗、低成本、使

用方便、高精度、且将时间间隔的测量量化到 65 ps 的精度,给超声波流量计提供了较好的解决方案。

1.2 流速的测量算法

本文以频差法对超声波气体流量计的基本测量原理做一简单介绍。

超声波气体流量计的声环回路如图 1 所示, A、B 为一对超声波换能器, 相互交替着作为发射器或接收器。其工作原理: 一支换能器发出超声波, 另一支换能器接收到超声波信号、经过一定的信号处理后再次触发发射器, 这样就形成了一个声循环过程, 这个循环频率即为声循环频率。

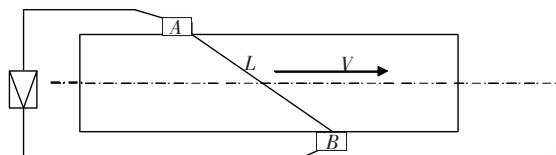


图 1 频差法流速测量原理图

假定顺流时声循环频率为 f_1 , 逆流时声循环频率为 f_2 , 声循环频率差为 Δf 。忽略超声波在换能器中传播和电子电路等时间延迟因素, 可得:

$$f_1 = \frac{C+V \cos \theta}{L} \quad (1)$$

$$f_2 = \frac{C-V \cos \theta}{L} \quad (2)$$

$$\Delta f = f_1 - f_2 = \frac{2V \cos \theta}{L} \quad (3)$$

$$V = \frac{L}{2 \cos \theta} \Delta f \quad (4)$$

$$V = \frac{D}{\sin 2\theta} \Delta f \quad (5)$$

具体参数选择为 $D=150 \text{ mm}$, $\theta=45^\circ$, 将此参数代入式(5), 有:

$$V = 0.15 \Delta f \quad (6)$$

以上公式中, V 为气体流速 (m/s); θ 为超声波传播声道与管中心线夹角; L 为超声波声道的长度 (m); C 为静止空气中超声波传播速度 (m/s)。

由式(5)可知, 气体流速与频率差成正比例关系, 比例系数为 $\frac{D}{\sin 2\theta}$, 不受声速因素的影响, 测量结果也不会因温度的变化而受到影响。

与其他的气体流速测量方法相比(如时差法、相差法受气体温度影响, 会给测量结果带来一定误差), 频差法不但不会因温度影响而带来系统测量误差, 而且计算公式简单, 气体流速与频率差呈线性关系。因此, 在本系统中选用频差法进行气体流速测量。

1.3 流量计算方程

通过上面分析可知, 超声波气体流量计是测量沿声道上的流体的平均流速值, 即为管道直径方向上的平均

流速值 \bar{u}_D 。为了计算出通过管道的流量, 必须先了解径向平均流速 \bar{u}_D 与截面平均流速 \bar{u}_F 两者之间的关系。

在层流和紊流时, \bar{u}_D 与 \bar{u}_F 之间的关系可以表示为:

$$\text{层流}^1: \bar{u}_F = \frac{3}{4} \bar{u}_D \quad (7)$$

$$\text{紊流}^2: \bar{u}_F = \frac{2n}{2n+1} \bar{u}_D \quad (8)$$

式中, n 为雷诺数 Re 相关的系数。在工程实用中可以把紊流状态下的 \bar{u}_D 与 \bar{u}_F 之间的关系用下面的经验公式表示:

$Re > 10^5$ 时:

$$\bar{u}_D = \left[1 + 0.01 \sqrt{6.25 + 431 Re^{-0.237}} \right] \bar{u}_F = K \bar{u}_F \quad (9)$$

$Re < 10^5$ 时:

$$\bar{u}_D = [1.119 - 0.011 \lg Re] \bar{u}_F = K \bar{u}_F \quad (10)$$

式中, K 为同一流量 u_D 与 u_F 的比值, 为超声波气体流量计的流量修正系数。由式(6)、(9)和(10)可得频差法超声波气体流量计的流量方程如下:

$$q_V = \frac{\pi}{4} D^2 \bar{u}_F = \frac{\pi}{4} \frac{1}{K} \frac{D^2}{\sin 2\theta} \Delta f \quad (11)$$

1.4 超声波传感器的选择

超声波已经成功应用于液体流量的测量, 但是由于技术上的难题, 使得在气体流量测量上的应用进展缓慢。主要难题是: 超声波换能器材质和气体介质特性阻抗相差很大, 造成换能器接收和发射效率太低。

超声波的应用领域非常广泛, 作用各不相同, 所以对超声波传感器的选择也不尽相同。探伤用超声波传感器的传输距离短, 分辨率高, 发出超声波频率也较高, 一般为几兆到几十兆; 测距用超声波传感器的传输距离较长, 对分辨率的要求相对较低, 所以一般情况下测距用的传感器振荡频率较低, 一般在 40 kHz 左右。气体流量计中的声道长度大于探伤声道, 但又小于超声测距声道, 所以这两种超声波传感器都不能应用于测量气体流量^[3-4]。

选择应用于气体流量测量的超声波传感器主要是对超声波振荡频率的选择。首先要考虑在最大的传播距离内, 接收器能接收到足够声压与强度的超声波信号。其次还要考虑超声波震动因机械效应、热效应、化学效应、生物效应等对周围环境的影响。从这两个方面考虑, 空气中超声波频率越小越好, 但是考虑到气体流量的检测精度, 超声频率则越大越好, 但太大的超声频率又将造成过大的信号能量衰减。将两者折中考虑, 应用于气体超声波流量计的超声波传感器的振荡频率选择在 100 kHz~200 kHz 的范围内最佳。

根据以上超声波传感器选择原则, 本系统选用了美国 SensComp 公司生产的压电型超声波传感器 120KHF25,

其压电晶片和增透模的设计使该传感器更加适合在气体中应用^[5]。

1.5 超声波气体流量计的设计方案

超声波气体流量计的超声换能器发射及接收电路原理图如图 2 所示。图 2 是本设计的关键是整个电路的核心^[6]，由 TDC-GP2 芯片的 FIRE1 和 FIRE2 2 个引脚完成发射、接收换能器的连接，发射与接收功能的转换则是通过芯片 SN74CBT1G125(单 FET 总线开关)控制，中间还有一些辅助芯片。

1.6 显示及键盘输入模块

MCU、LCD 和键盘控制模块电路如图 3 所示。显示和键盘输入模块包括 LCD 显示、键盘操作、485 接口、多路电压采样、数据保存、电流输出部分。本流量计选用带看门狗功能的 EEPROM 存储器，在软件设计中需要对需要保存的数据进行了数据保护处理，以确保每次数据的读写准确无误。单片机在系统时间为单秒时实现采样和计算，为双秒时刷新液晶显示，同时各种参数可通过键盘进行调整，但要注意参数应与测量部分参数保持一致。485 接口结合上位 PC 机通信软件可以实现更为方便的监控，特别是在 LCD 出现故障时亦能保证监测流量。

由于采用了标准的 4~20 mA 输入输出接口，显示及键盘输入模块可作

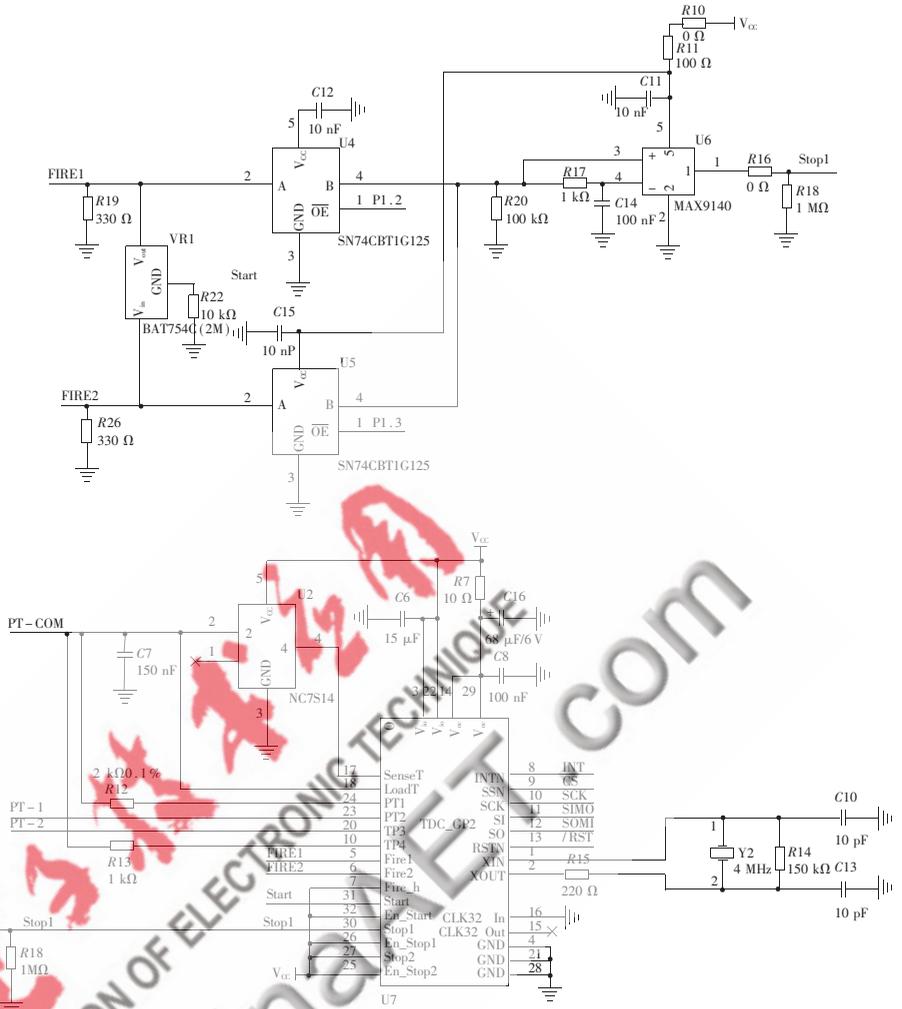


图 2 超声波换能器发射与接收电路模块

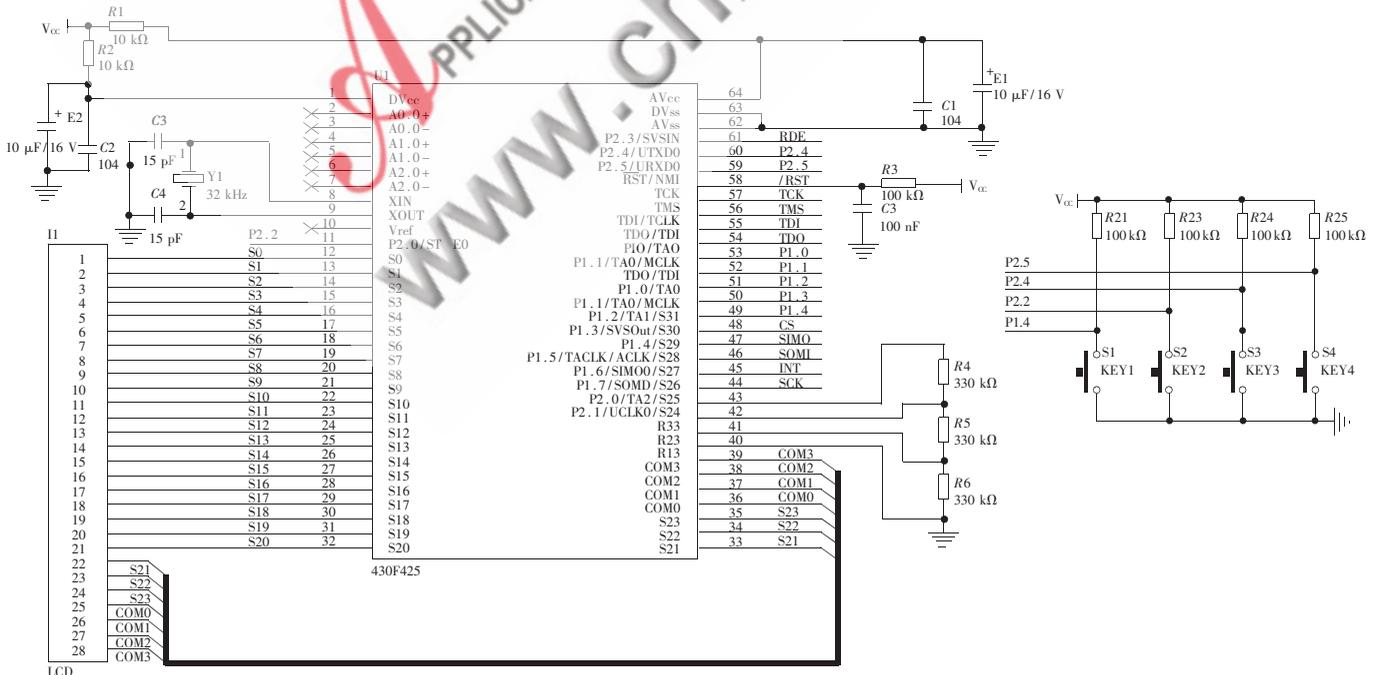


图 3 MCU、LCD 和键盘控制模块

为通用的仪表,如编写不同的软件可使其作为热式、质量等多种流量计的显示部分,或是作为工业用温度、压力监控仪表等。

采用频差法设计的超声波气体流量计系统在提高测量精度的同时大大降低了功耗,是超声波流量计的最佳选择。应用 TDC-GP2 芯片开发的系统具有设计简单、测量精度高、成本低廉、使用方便的优点。已有厂商使用此芯片成功地进行了超声波流量计的研发。实际应用结果表明,频差算法加上 TDC-GP2 为超声波流量计及超声波气体流量计的性能提供了保障。

本型号超声波气体流量计是我们研制的新型产品,该流量计具有以下优点:(1)抗干扰能力强。能在复杂和恶劣的环境下稳定工作;(2)量程宽。管径范围为 50~1 500 mm,可测流速范围可达 ± 30 m/s;(3)测量精确度较高,可达 1.5%;时间分辨率可达 65 ps;(4)适用范围广,可适用于不同温度和压力的多种气体流量的测定。

参考文献

[1] 张涛.自动检测技术(上册)[M].天津:天津大学自动化仪

表及控制系统教研室,2004:192-197.

- [2] 梁军汀,朱士明.速查法超声波气体流量计的原理和校准[J].应用声学,1994,14(6):21-25.
- [3] 张静,董胜林.空气中应用的超声波传感器[J].传感器技术,1993(6):31-32.
- [4] 吴晓峰.超声波传感器应用探讨[J].计量技术,1993(3):22-24.
- [5] 胡建恺,张谦琳.超声检测原理和方法[M].合肥:中国科技大学出版社,1993:80-109.
- [6] DNAE H J. Ultrasonic measurement of unsteady gas flow[J]. Flow Measurement and Instrumentation, 1997(8):183-190.

(收稿日期:2009-10-17)

作者简介:

温静馨,男,1954年生,副教授,主要研究方向:智能控制与研究。

郝建秀,女,1983年生,研究生,主要研究方向:智能控制与研究。

王淮中,男,1979年生,讲师,主要研究方向:智能控制与研究。