

应用 TDC-GP2 设计的超声波气体流量计

温静馨, 郝建秀

(沈阳化工学院 计算机学院, 辽宁 沈阳 110142)

摘要: 介绍了应用德国 ACAM 公司设计的时间转换芯片 TDC-GP2 开发的超声波气体流量计, 流量计具备低功耗、高精度等优势。

关键词: TDC-GP2; 超声波; 气体流量计; 时差法

中图分类号: TP216

文献标识码: A

Application of TDC-GP2 designed ultrasonic gas flowmeter

WEN Jing Xin, HAO Jian Xiu

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

Abstract: This paper describes the application of the specific design of the ACAM Germany TDC-GP2 time conversion chip developed by the ultrasonic gas flowmeter with low-power, high-precision, as well as other advantages.

Key words: TDC-GP2; ultrasound; gas flowmeter; time difference method

超声波气体流量计是近年来迅速发展的、正逐步应用于天然气工业等领域的新型流量计。超声波测量技术提供了一种无阻碍式的方法, 这是一种没有活动部件, 低压降和低能量消耗以及高精度的测量流量的方法。与传统的机械式流量计相比克服了易损坏、精度低等缺点, 因此超声波流量计将是今后流量计发展的趋势。超声波气体流量计的优点: (1) 不仅能对小管径而且能对大管径气体流量进行测量, 并且无流阻、无压力损失; (2) 能对各种不同的气体进行测量, 测量结果不受气体成分改变的影响; (3) 不仅能对稳定气流进行测量而且还能对脉动气流进行测量; (4) 操作简便, 实现了计算机自动控制而不需要操作; (5) 还可提供气体分子量(或浓度)的信息。因此, 超声波气体流量计在大气体流的计测及工业应用中是很有发展前途的。

1 系统设计

由于气体的可压缩性, 决定了它的流量测量比液体复杂, 仪表的输出信号除了与输入信号有关, 还与气体密度有关, 同时封闭管道中气体体积流量的测量有多种方法, 因时差法克服了声速随流体温度变化带来的误差, 准确度较高, 迄今为止被国内外的厂家广泛采用, 所以本文采用时差法原理测量封闭管道内的气体体积流量。时差法就是根据时间的变化计算出管道中气体的体

积流量。由于声波在流体中传播时, 顺流方向传播速度增大, 逆流方向则减少, 因此传播速度的变化引起超声波传播时间的变化。

1.1 系统综述

本系统主要通过时差法来测量气体流量, 因此时间的精确性起到了很大的作用。而 TDC-GP2 具有高精度时间测量、高速脉冲发生器、接收信号使能和时钟控制等功能, 具有这些特殊功能的模块使得它尤其适合于超声波流量测量的应用。TDC-GP2 芯片利用现代化的纯数字化 CMOS 技术, 将时间间隔的测量量化到 65 ps 的精度, 给超声波流量计的时差测量提供了完美的解决方案。

1.2 TDC-GP2 结构及特点

TDC-GP2 内部集成了非常多的适用于超声波流量测量的功能。TDC-GP2 的单个时间间隔测量的典型精度为 65 ps, 即内部通过 1 个逻辑门的时间被确定在大约 65 ps。假设被测管径为 100 mm, 流量为 70 l/min。其他参数: 流体的流动速度 v 为 0.148 5 m/s; 超声波行走的路径长度 L 为 0.141 4 m; 声音在介质中的传播速度 C_0 为 1 500 m/s; 顺流时间和逆流时间的时间差 $\Delta t \approx 13.2$ ns。

以 GP2 的 65 ps 精度测量所获得的测量精度将可以优于 0.5%。TDC-GP2 有非常好的数据统计特性, 它的内部集成了 1 个噪声单元, 这个噪声单元的主要目的就

是为了在多次采样取平均值时可以最大限度地消除噪声。但采用普通平均的方法是不能消除量化误差的,因为最小的量化阶已经固定,平均只能最高达到最小量化阶的精度。通过引入这个噪声单元,使平均后的精度能够(甚至)低于量化阶的精度成为可能^[1]。

1.3 流速的测量算法

时差法对超声波气体流量计的基本测量原理:

在仪表的测量管段上,斜装有1对超声换能器1和换能器2,它们交替发射和接收超声波脉冲,如图1所示^[2]。图1中: C 为气体介质的声速; V 为管道中气体介质的流速; L 为声程长度; θ 为换能器与管道轴线夹角; D 为管道直径。

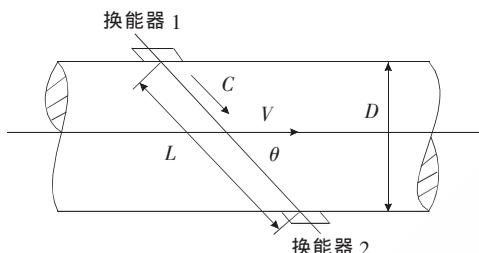


图1 超声波时差法原理示意图

在声程 L 上,超声波的传播速度为声速和流速分量的叠加。顺流、逆流方向上的传播时间 t_1 、 t_2 分别为:

$$t_1 = L / (C + V \cos \theta) \quad (1)$$

$$t_2 = L / (C - V \cos \theta) \quad (2)$$

分别测出顺流、逆流方向上的传播时间 t_1 、 t_2 后,可算出流速 V :

$$V = \frac{L}{2 \cos \theta} \left[\frac{1}{t_1} - \frac{1}{t_2} \right] \quad (3)$$

因为测量得到的顺、逆向上的传播时间 t_1 、 t_2 包含了电路、电缆及换能器等产生的固有电声延时 τ_1 、 τ_2 ,须扣除其影响,所以式(3)可以改写为:

$$V = \frac{L}{2 \cos \theta} \left[\frac{1}{t_1 - \tau_1} - \frac{1}{t_2 - \tau_2} \right] \quad (4)$$

由于管壁及流体内部存在摩擦粘滞作用,实际流体流速在管道截面上存在着流速分布,对于在中心线上的单通道超声波流量计,其测量的流速 V 实际上是管道截面内直径上的线平均速度,而测量流量需要的是管道内截面的面平均流速 V_m ,它们之间并不相等。根据流体力学理论,当雷诺数大于4000时,流体呈紊流状态,此时线平均流速与面平均流速之间存在一动力学因子 K (管道雷诺数 Re 的函数,工程上可在流量计校准时经实测得到),即:

$$V_m = \frac{V}{K} \quad (5)$$

从而可得瞬时体积流量 $Q_{瞬}$:

$$Q_{瞬} = V_m \times A = \frac{1}{K} \times \frac{\pi D^2}{4} \times V \quad (6)$$

在连续测量中,只要逐次将测得的 $Q_{瞬}$ 值对时间积

分,就可得到任意时间段内的累积流量 $Q_{累}$,体积流量经压力、温度补偿后,可得质量流量 $Q_{质}$:

$$Q_{质} = \rho_0 \times \frac{p}{p_0} \times \frac{T_0}{T} \times \frac{1}{Z} \times Q_{累} \quad (7)$$

式中, ρ_0 为标准状态下气体介质密度; p_0 、 p 分别为标准和实际状态下的压力; T_0 、 T 分别为标准和实际状态下的温度; Z 为气体压缩系数。由式(4)、式(6)可以看出,声时 t_1 、 t_2 的测量是流量测量的关键,在参数 D 、 L 、 θ 、 τ_1 、 τ_2 、 K 确定后,只要准确测出 t_1 、 t_2 ,就能准确求得管道内的流速 V 及瞬时流量 $Q_{瞬}$,进而可求得累计流量 $Q_{累}$ 、质量流量 $Q_{质}$ ^[2-4]。

2 测量超声波流量的典型原理

图2为一个典型的信号处理的概念原理图。为了能够尽可能地保持零点流量时的时间延迟统一性,系统的接收和发射电路部分应该尽量保持绝对一致的关系。在换能器附近放置1个选择开关来选择换能器以保持电路相同,将会对测量非常有帮助^[5]。

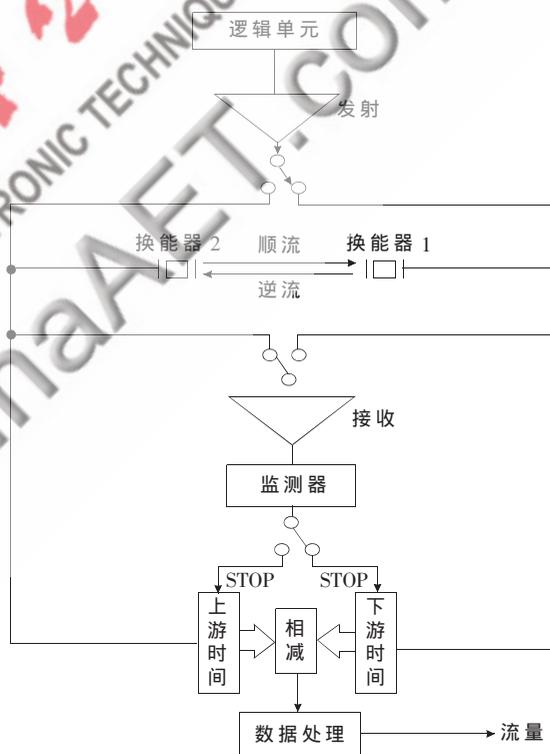


图2 测量超声波流量的原理图

3 应用TDC-GP2的超声波流量计的设计方案

图3为应用TDC-GP2设计的超声波气体流量计的简单原理图。整个超声波测量系统通过单片机控制以及一些简单电路,就可以实现对于流量的测量,其中核心的时差测量都是由TDC-GP2这个仅5mm见方的芯片完成的。除了功耗和精度方面的巨大优势外,TDC-GP2的高集成度使整个气体流量计的电路设计简单紧密。

采用TDC-GP2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

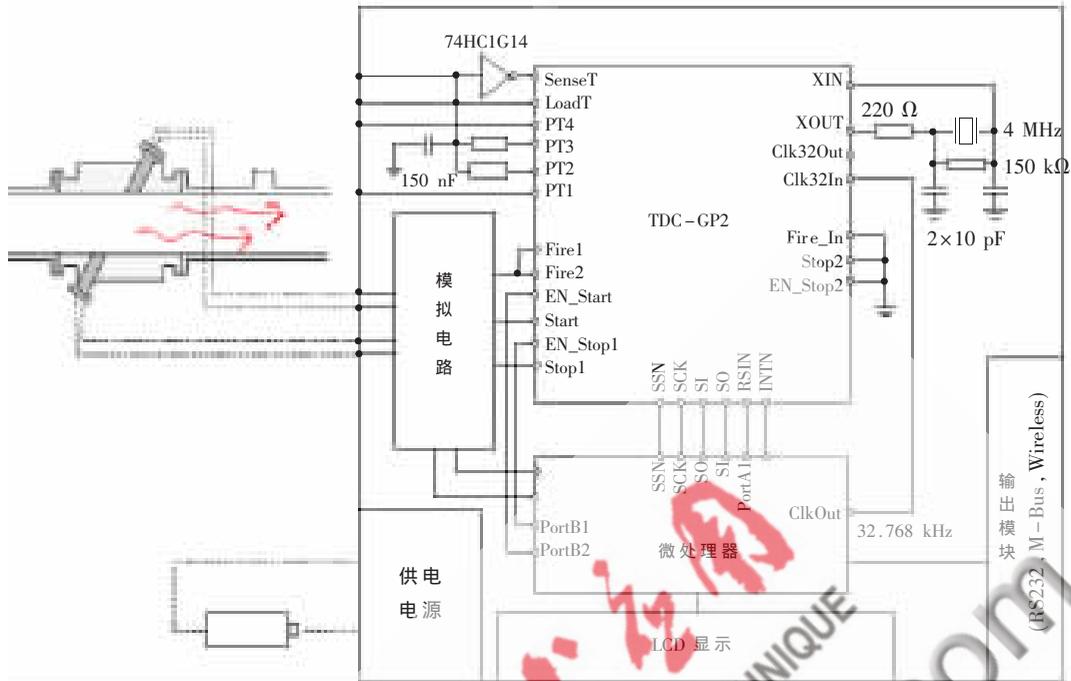


图3 超声波流量计原理图

最佳选择。应用此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，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。

参考文献

[1] 德国 acam messelectronic 有限公司.TDC-cookbook,2003.

[2] 王彦芳,王小平,宋万民,等.时差法超声波流量计的高精度测量技术[J].微计算机信息,2006,22(6-1).

[3] 王立琦,王珍.高精度超声波流量计的研制[J].哈尔滨商业大学学报,2001(9):47-49.

[4] 黄建军,刘存.改进超声波流量计性能的研究[J].仪器仪表学报,2001(8):87-88.

(收稿日期:2009-04-01)