

# 高精度低成本超声波热能表的研制

王淮中, 温静馨, 郝建秀

(沈阳化工学院 计算机学院, 辽宁 沈阳 110142)

**摘要:** 介绍了一款新型的高精度、低功耗超声波热能表。此表利用了超声波的测量原理, 结合 TDC-GP2 时间转换芯片, 搭配简单的电路, 外接超声波换能器、温度传感器, 完成了一个热能表的所有功能。

**关键词:** TDC-GP2; 超声波; 热能表

中图分类号: TP216

文献标识码: A

## The research of a high-precision and low-cost ultra-sonic energy meter

WANG Huai Zhong, WEN Jing Xin, HAO Jian Xiu

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

**Abstract:** This paper introduces a new type of high-precision and low-power ultra-sonic energy meter. This meter used the ultra-sonic measuring principle, combined with the TDC-GP2 time conversion chips, a simple circuit, an external ultra-sonic transducer and temperature sensors to complete all the features.

**Key words:** TDC-GP2; ultra-sound; thermal meter

伴随着我国关于建筑、节能等法律法规的推出, 热能已成为商品, 热能表的使用已经成为必然趋势。然而由于传统热能表存在着种种弊端, 使热能表的推广受到了限制。本设计就是在克服了传统热能表易损坏、精度低等缺点的基础上, 采用超声波技术, 研制出的新型高精度、低功耗、经济适用型超声波热能表。本设计的核心部分—数据采集部分, 是由德国 ACAM 公司设计的 TDC-GP2 时间转换芯片来实现。也正是由于使用了此芯片, 才能使热能表的精度达到 PS 级。

### 1 系统总体设计

超声波热能表是由超声波换能器、温度传感器和微处理器组成的智能仪表, 由于仪表的测量管径较小, 流速较低, 而且整个仪表设计采用单一锂电池供电, 因此, 小流量超声测量电路和低功耗设计是系统设计的关键, 同时还要保证测量的精度需求, 这也正是本系统的优点。

高精度、低功耗超声波热能表的硬件电路主要由以下几个部分组成: 微处理器芯片、时间转换芯片、超声波流量测量电路、温度测量电路、显示电路、供电和电源管理电路以及 RS-485 通讯电路等。整个系统的结构图如

图 1 所示。

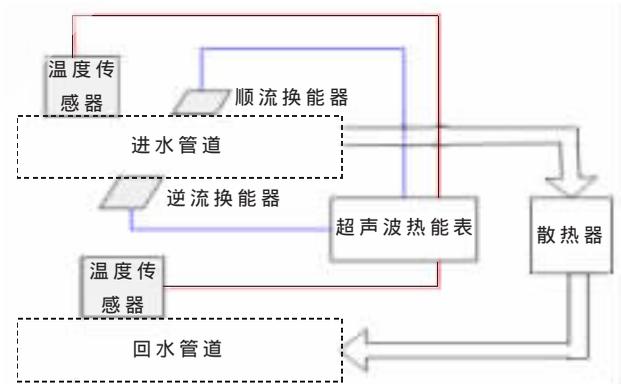


图 1 超声波热量表的系统结构图

### 2 超声波流量、热量测量原理及电路设计

由图 1 所示, 热能表的流量测量是由顺逆 2 个换能器运用时差法得出的。下面对时差法的基本原理做一简单的介绍<sup>[1-2]</sup>。

图 2 为超声波时差法原理示意图。顺流换能器和逆流换能器, 分别安装在流体管线的两侧, 并且相距一定

的距离,管线的内直径为  $D$ ,超声波行走的路径长度为  $L$ ,超声波顺流时间为  $T_{\text{上游}}$ ,逆流时间为  $T_{\text{下游}}$ ,超声波的传播方向与流体的流动方向来角为  $\theta$ ,流体的流动速度为  $V$ 。由于流体流动的原因,超声波顺流传播  $L$  长度的距离所用的时间比逆流传播所用的时间短,其时间差可用式(3)表示。

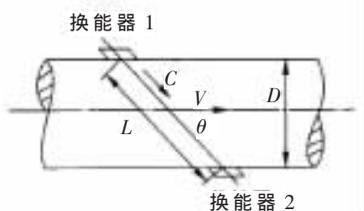


图2 超声波时差法原理示意图

$$T_{\text{上游}} = T_{\text{offset}} + \frac{L}{C + V \times \cos\theta} \quad (1)$$

$$T_{\text{下游}} = T_{\text{offset}} + \frac{L}{C - V \times \cos\theta} \quad (2)$$

式中,  $C$  为声音在水中传播的速度。

则顺流时间和逆流时间的时间差为:

$$\Delta T = T_{\text{上游}} - T_{\text{下游}} = \frac{L}{C + V \times \cos\theta} - \frac{L}{C - V \times \cos\theta} = \frac{2VL \cos\theta}{C^2 - V^2 \cos^2\theta} \quad (3)$$

为了简化计算,可以假设流体的速度相对于声波在流体中传播的速度是非常微小的,可以忽略不计,因此可以将(3)式简化为:

$$\Delta T \approx \frac{2VL \cos\theta}{C^2} \quad (4)$$

从而得到流体的速度与传播时间差的线性公式为:

$$V = \frac{C^2 \Delta T}{2L \cos\theta} \quad (5)$$

需要特别强调的一点是  $V$  是流体沿着管道中心线的线速度,考虑到液体流速沿管道直径的不均匀分布情况,还需要加 1 个流速(分布)修正系数  $K$ 。则瞬时流量的公式为:

$$Q = K \times \frac{\pi}{4} \times D^2 \times V \quad (6)$$

求得瞬时流量后,在超声热量表中,热量的积分计算采用欧洲流行的  $K$  系数法:设测得进水管的水温为  $T_1$ ,出水管水温为  $T_2$ ,则进出水的温度差为  $\Delta T$ ,利用流量传感器对供水管道的瞬时热水流量  $Q$  进行计量,经过一定时间的累计,便得到用户消耗的热量值,其数学表达式为:

$$E = \int_0^t KQ \Delta T dt \quad (7)$$

式中,  $E$  为热交换系统输出热量,单位 J;  $t$  为流量累积时间,单位 h;  $K$  为热焓修正系数,单位  $\text{J}/\text{m}^3$ ;  $Q$  为瞬时热水流量,单位  $\text{m}^3/\text{h}$ ;  $\Delta T$  为进出水的温度差,单位  $^{\circ}\text{C}$ 。这样就可以通过超声波传播的时间差先求出瞬时流量,进

而获得消耗的热量了。

流量和热量测量的硬件电路,都是由 GP2 来实现的<sup>[4]</sup>。引脚 Fire1, Fire2 给超声波换能器提供脉冲,引脚 Stop1 接收由顺逆流方向传播过来的超声波信号,在 Fire, Fire2 与 Stop1 之间,连接了一些放大器和开关,来实现超声波换能器接收与发送的转换,由于涉及保密问题,在此不再详细叙述。温度传感器则由 PT1、PT2、PT3、PT4 4 个引脚与一些电阻、电容简单的连接来实现(PT1 为低温基准电阻器;PT2 为低温感应电阻器;PT3 为低温感应电阻器;PT4 为高温基准电阻器)。同时 GP2 芯片还实现了时钟频率的设定,以及与微处理通讯等功能的电路。

### 3 超声波换能器、温度传感器的选择

从外形上考虑超声波换能器,即通常所说的超声波探头。换能的含义就是把一种形式的能量(如声、光、电、热等)转换为另一种形式。超声波换能器根据其结构不同,可以分为直探头(发射和接收纵波)、斜探头(发射和接收横波)、表面波探头等几种。超声波换能器在管道上的安装方式又分为 3 种形式<sup>[3]</sup>:(1)管外安装型,即夹装型;(2)管道型;(3)插入型。在本课题的设计中,综合各个因素,选用了斜探头、管外安装型的超声波换能器。

超声传感器按测量声道数可以分为单声道、双声道及多声道<sup>[4-5]</sup>。声道数越多测量的精度越高,安装的换能器个数也越多。超声换能器是整个仪表中成本较敏感的部件,为了满足用户超声热量表的低成本要求,选择单声道测量。只使用 2 个换能器,每个换能器既可发射也可接收超声波,顺逆流发射依靠电子单元中的开关电路切换。对于单通道测量来说,换能器在管道上的布置位置也有 3 种不同形式:平行式、Z 型和 V 型。本系统使用 Z 型的测量方式。

超声波的应用领域非常广泛<sup>[6-7]</sup>,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,发出超声波频率较高,一般为几兆到几十兆;测量气体用的超声波传感器在传输过程中的衰减较大,对分辨率的要求比较严格,所以一般情况下测量气体用的传感器振荡频率较低,一般在 100 kHz~200 kHz 左右。液体流量计中的声道长度大于探伤声道,但又不同于超声测气声道,所以这 2 种超声波传感器都不能应用于测量液体流量。

选择应用于液体流量测量的超声波传感器主要是进行超声波振荡频率的选择。首先要考虑在最大的传播距离内,接收器能接受到足够液体压力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 2 个方面来说,液体中超声波频率越小越好,但是考虑到液体流量检测精度,超声频率越大越好,而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,应用于液体超声波流量计的超声波传感器的振荡频率选择在



- [5] 朱登科,杨晓斌.高精度低功耗芯片 TDC-GP2 在热表中的应用[J].德国 Acam-messelectronic 有限公司,2006.
- [6] THOMAS H J. Evaluation kit for static ultrasonic flow measurement with me-of-flight method.2006.
- [7] DANE H J. Ultra-sonic measurement of unsteady gas flow[J]. Flow Measurement and Instrumentation, 1997(8):183-190.  
(收稿日期:2009-07-13)

