

一种抑制时差法超声流量计静态漂移的方法

段 允¹, 王让定¹, 朱 莹¹, 姚 灵²

(1 宁波大学 信息科学与工程学院, 浙江 宁波 315211; 2 宁波水表股份有限公司, 浙江 宁波 315000)

摘 要: 时差式超声流量计的静态漂移过大会带来动态计量准确度和精度的下降, 对接收到的超声信号的准确判断可以有效抑制静态瞬时流量的漂移. 传统的阈值法抗干扰能力比较弱, 存在较大的静态漂移, 严重影响了流量计精度的提升. 文中提出过零阈值平滑模型, 对阈值法进行改进. 实验证明该方法能够准确判断接收到的超声信号, 有效抑制了静态瞬时流量的漂移, 提高了计量精度.

关键词: 时差式; 超声流量计; 静态漂移; 计量精度

中图分类号: TH814.92

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)08-0205-05

A Method for Reducing the Static Drift of the Time Difference Method Ultrasonic Flowmeter

DUAN Yun¹, WANG Rang-ding¹, ZHU Ying¹, YAO Ling²

(1 College of Information Science and Engineering, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2 Ningbo Water Meter Co., Ltd, Ningbo 315000, China)

Abstract: The large static drift will deteriorate dynamic measurement accuracy and precision of the time difference method ultrasonic flowmeter, while accurate determination of the received ultrasonic signal can efficiently reduce the drift of the static instantaneous flow. The traditional hardware threshold model is relatively weak in anti-interference, and there is large static drift, which seriously affects the measurement precision improvement. In this paper, the zero threshold smoothing model is improved a lot on the threshold model so that it can accurately determinate the received ultrasonic signal. The measured results prove that this method can efficiently reduce the drift of the static instantaneous flow, and improve the precision of the time difference method ultrasonic flowmeter.

Key words: time difference method; ultrasonic flow-meter; measurement precision; static drift

1 引言

超声流量计可以实现非接触高精度测量, 具有量程宽、无压损、组成简单、灵敏度高优点, 在石油化工、污水处理、工业及生活用水等领域有着广泛的应用前景^[1-2].

超声流量计发展至今, 已经有多种测量方式, 按测量原理可以分传播速度差法、多普勒效应法、波束偏移法等. 时差法是超声流量传播速度差法的一种, 与其他测量方式相比, 具有测量方式简单和计量精度高优点, 所以其一直备受关注. 但是静态漂移问题, 一直是时差式超声流量计精度提升的瓶颈. 静态

漂移问题与超声信号准确判断密切相关, 超声流量计测量的工业现场环境复杂, 接收到的超声波信号比较小, 易受干扰, 另外流体中固体颗粒及电磁波极易使接收的超声波信号幅值发生变化^[3], 导致测量不准确和计量精度的下降, 所以精确判断接收超声波信号的到达时刻是解决静态漂移, 提升时差法超声流量计的计量精度重要方法之一.

在时差式超声流量计中, 最常用的信号处理方法为阈值法^[4-5]. 阈值一旦设定, 其值保持不变, 而在实际测量过程中, 因外界环境是变化的, 它会影响接收到的超声信号, 从而使时间差的测量产生误差, 严重影响超声流量计的计量精度. 文中采用过零阈

值平滑模型对传统的阈值法进行了改进,可以较准确测量超声信号在流体中传播的时间差,提高时差法超声流量计的计量精度.

2 时差法超声流量计工作原理

时差法超声流量计工作原理如图 1 所示. α 为流速方向和超声波传播方向的夹角, 当为锐角时, 称之为顺流; 当 α 为钝角时, 称之为逆流. 超声波信号在动态介质(流体)中, 与静态介质(流速为零)相比, 顺流时信号传播速度增加, 传播时间减小, 逆流时信号传播速度减小, 传播时间增加, 从而顺逆流方向声波信号传播时间存在差值(即时差). 时差法超声流量计就是根据介质的流速与时差存在线性关系原理进行测量的, 只要准确测定顺逆流时间, 根据流速与其线性关系, 可以求出瞬时流速, 进而可以求出瞬时流量^[6].

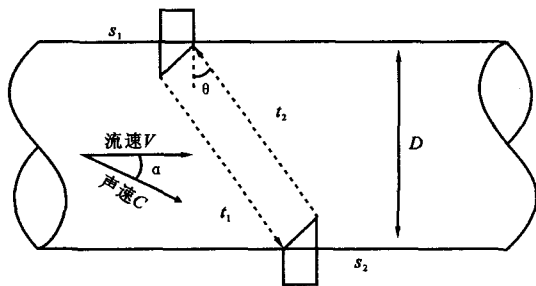


图 1 时差法超声流量计原理图

图 1 中的 s_1 、 s_2 分别代表两个超声波换能器; t_1 为换能器 s_1 发射、 s_2 接收时, 超声波在管道中传播时间, 即顺流时间; t_2 为换能器 s_2 发射、 s_1 接收时, 超声波在管道中传播时间, 即逆流时间; V 为液体流速; D 为管道直径; θ 为超声波进入液体的入射角. 超声流量计顺流时间 t_1 和逆流时间 t_2 分别用下式计算^[7], 即

$$t_1 = \frac{D/\cos\theta}{C + V\sin\theta} + \tau \quad (1)$$

$$t_2 = \frac{D/\cos\theta}{C - V\sin\theta} + \tau \quad (2)$$

其中, C 为超声波信号在水中的声速, τ 为信号在换能器及硬件电路中的时间延迟. 设 ΔT 为顺逆流时间差, 则

$$\begin{aligned} \Delta T &= t_2 - t_1 = \frac{D/\cos\theta}{C - V\sin\theta} - \frac{D/\cos\theta}{C + V\sin\theta} \\ &= \frac{2DV\tan\theta}{C^2 - V^2\sin^2\theta} \end{aligned} \quad (3)$$

因常见液体中声速要大于 1000m/s, 而液体流速小于 10m/s^[7], 即 $C^2 \gg V^2$, 所以式(3)可以简化为

$$\Delta T \approx \frac{2D\tan\theta}{C^2} V \quad (4)$$

由式(4)可得流速

$$V \approx \frac{C^2}{2D\tan\theta} \Delta T \quad (5)$$

通过式(5)可求出瞬时流量

$$Q = f(\Delta T) = \frac{1}{K} \cdot S \cdot V \quad (6)$$

式中, K 为流速分布修正系数, S 为管道截面积, D 为管道直径.

3 静态漂移的产生

理论上, 在流体静止的情况下(流速为 0m/s), 时差法超声流量计测量的顺流时间 t_1 和逆流时间 t_2 应该相等, 时间差 ΔT 应该为 0. 但是因采用的两个超声换能器的灵敏度、机电耦合等参数不可能完全相同, 静态情况下 ΔT 一般在一个范围内变化, 则由式(6)可知静态下的瞬时流量 Q_s 应在一个范围内波动. 超声流量计对流动流体的测量, 称为动态计量, 动态瞬时流量记作 Q_d . 假设时差式超声流量计要满足分界流量为 q_t , 精度为 1%, 则 ΔT 必须满足

$$|\Delta T| \leq \xi \quad (7)$$

其中, ξ 为一个精度阈值参数(由分界流量和精度决定), 所以静态瞬时流量 Q_s 满足

$$|Q_s| \leq \delta \quad (8)$$

式中, $\delta = f(\xi)$. 当静态瞬时流量 Q_s 不满足式(8)时, 定义该状况为静态漂移.

解决静态漂移的基本方法是准确的判断超声波的到达时刻, 即得到准确的顺逆流时间, 进而得到准确的时间差.

通常用阈值比较法来判断超声波的到达时刻, 阈值比较法的原理图如图 2 所示, 图 2(b) 为(a) 中框图放大部分.

图 2(b) 中, DS 为发射换能器的脉冲驱动信号; TS 为接收换能器接收到的超声波信号; T 为顺流时间(逆流时间); t 为时间坐标轴; Z 为硬件阈值; a 、 b 、 c 、 d 依次为接收的超声波第二个周期的 4 个时刻点, a 为过零点. 假设图 2 中, 接收换能器在一次静态测量时接收的超声波为 TS , 阈值 Z 首次与该信号切割时刻为 c 点, 此时的超声流量计测得顺流时间(逆流时间)为 T , 时间差为 ΔT . 如果下一次接收的超声波幅值比该次大或者小, 则阈值 Z 首次与该信号切割的时刻点 c 点会前移或后移, 导致测量的顺流时间(逆流时间)偏大或偏小. 由于超声波比较微弱, 易受到流体中固体颗粒、外界环境以及电子

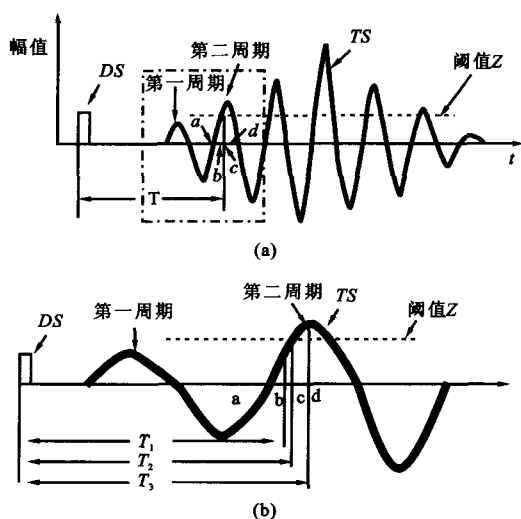


图2 阈值比较法

元器件老化因素的影响,从而会使接收超声信号幅值发生变化,使 Z 与超声波首次切割的时刻点 c 点会前移或后移,顺流时间和逆流时间测量不准确.在静态情况下,顺流时间和逆流时间都是 ms 级的,两者大小很接近,使得时间差 ΔT 为 μs 级,容易出现3种使静态漂移 $|Q_s| > \delta$ 的情况:

(1) 如果接收超声波幅度变大, Z 首次与接收信号切割时刻为第二周期的 b 点,此时测得顺流时间(逆流时间)记为 T_1 ,时间差为 ΔT_1 , $|\Delta T_1| > |\Delta T|$,从而 $|Q_s| > \delta$;

(2) 如果接收超声波幅度变小, Z 首次与接收信号切割时刻为第二个周期的 d 点,此时顺流时间(逆流时间)记为 T_2 ,时间差为 ΔT_2 , $|\Delta T_2| > |\Delta T|$,从而 $|Q_s| > \delta$;

(3) 如果接收超声波幅值变大或变小的程度很大,那么 Z 首次与接收超声波信号切割时刻可能为第一个周期或第三个周期的某一时刻点,使得静态测量时间差增大或减小一个周期,这样测量的顺流时间或逆流时间就是错误的,从而时间差是错误的,导致瞬时流量测量结果错误.

上面3种情况都产生了静态漂移,主要原因是不能准确的判断接收超声波信号到达时刻,这是阈值比较法较大的缺陷.严重影响时差式超声流量计的动态计量精度,甚至产生计量错误.减小静态漂移是提高时差法超声流量计精度非常有效的方法.

4 实现抑制静态漂移的方法

当换能器接收到超声波信号时,由于换能器由静止到震荡稳定需要一定的时间,传统阈值比较法采用第二个周期信号作为判断接收的超声波信号到

达时刻点的标志,可以很好去除该信号稳定所需要的时间,但是当超声信号的幅值大小波动时,该模型不能很准确判断超声波到达的时刻.由于在该模型中,阈值电压 Z 首次与接收的超声信号切割时刻点会发生移动,产生静态漂移,导致计量不准确.

当接收换能器接收到信号时,就会在其电极两端产生中心频率 f_0 的超声波信号 $y(t)$,即

$$y(t) = r(t)\cos(2\pi f_0 t + \phi) \quad (9)$$

其中, $r(t)$ 为关于 t 的调制函数,则 $y(t)$ 为幅度调制信号, f_0 为谐振频率, ϕ 为初始相位,为了讨论方便,设初始相位 ϕ 为零.当 $t = \frac{2k+1}{4f_0}$ ($k \in Z$) 时, y 的值为零,该时刻点称为过零点,不受调制信号 $r(t)$ 的影响.超声波在流体中传播时候,环境噪声主要影响调制信号 $r(t)$ 部分,对 $\cos(2\pi f_0 t)$ 部分没有影响.把过零时刻点作为判断接收超声回波信号到达的标志,可以很好的解决由于接收的超声波幅值变化而导致到达时刻错判的问题,能很准确测量顺流和逆流时间^[8-9],克服了阈值比较的不足,静态漂移比较小.

基于以上分析,文中采用过零和阈值比较相结合的方式,称之为过零阈值模型,能很好解决上述阈值比较模型的缺点,减小静态漂移,可以提高时差法流量计的计量精度.过零阈值模型实现原理如图3所示, Z 为硬件阈值; ultrasonic 为接收的超声波信号; Q_1 、 Q_2 、 Q_3 、 S 分别为输出信号.

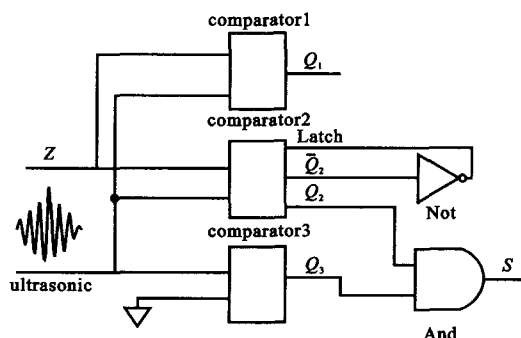


图3 过零阈值模型原理图

在静态情况下,超声流量计顺流测量时,超声波经过图3所示电路,各部分输出信号如图4所示,处理过程如下:

Step1: ultrasonic 信号经过 comparator1 时,进行阈值比较,当幅值大于阈值 Z 时, Q_1 输出高电平, Q_1 的波形如图4(b)所示;

Step2: ultrasonic 信号经过 comparator2 时,当幅值大于阈值 Z 时,此时 Q_2 输出高电平, $\bar{Q}_2$ 经过

Not 之后使该比较器进入锁存状态,此时 Q_2 的波形被锁存,即一直为高电平,如图 4(c)图所示;

Step3: ultrasonic 信号经过 comparater3 时,进行过零比较,输出信号 Q_2 的波形如图 4(d)图所示;

Step4:把图 4 中的(c)和(d)图波形进行逻辑与运算,最后得到输出波形如图 4(e)所示,stop 信号作为判断接收超声信号到达的标志,即计时芯片停止计时的标志。

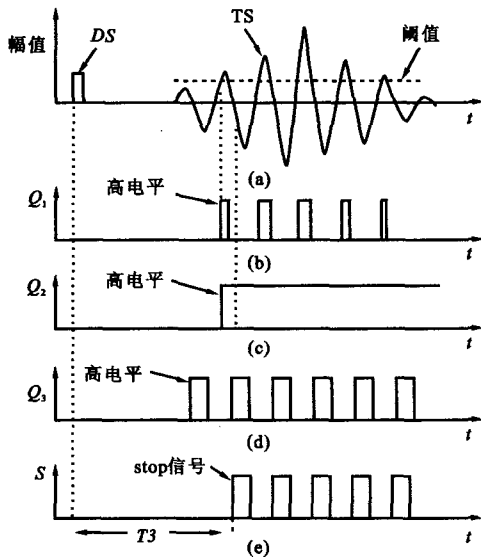


图 4 过零阈值模型信号处理过程

经过以上 4 步后,计时芯片能够测得较准确顺流时间 T_3 ,用同样的方法测得逆流时间 T'_3 ,就可以计算出较准确测量时间差 ΔT_3 和静态瞬时流量。

对于超声换能器来说,如果发射换能器的驱动信号一定的情况下,接收换能器接收到超声波形是不变的,则通过阈值比较出脉冲的个数是不变的。每次测量时该脉冲的个数设为 N ,计数器对该脉冲串进行计数,阈值计数测试框图如图 5 所示。进行一次测量时,如果该记录值为 N ,则进行下一次的测量;如果该记录值不为 N ,则舍弃该组数据,进行重测。

为了进一步减小静态漂移,提高时差法超声流量计的抗干扰能力,文中在过零阈值比较模型的基础上,又增加了软件平滑滤波方法^[10]。这样可以有效的减小随机干扰信号对硬件系统的影响,剔除测量过程中的误差数据,提高了系统的计量精度。

5 实验结果分析

为了验证过零阈值平滑模型的优点,文中做了对比实验。在静态条件下分别对阈值比较法、过零阈值模型以及过零阈值平滑模型进行实际的测量,获得瞬时流量,即静态漂移,结果如图 6 至图 8 所示。

图中横坐标为测量的次数,纵坐标为瞬时流量。

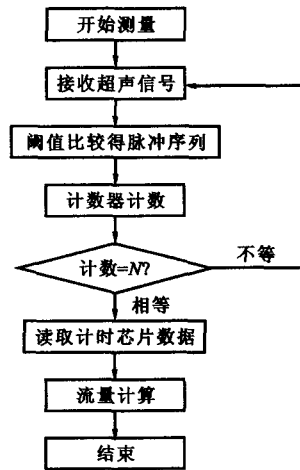


图 5 阈值计数方框图

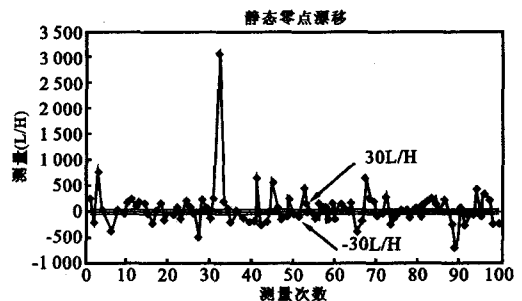


图 6 阈值比较法静态瞬时流量

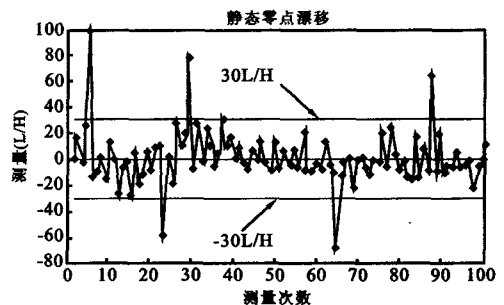


图 7 过零阈值模型静态瞬时流量

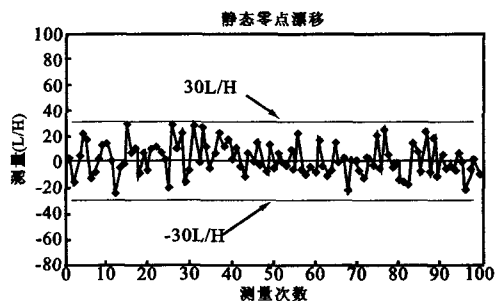


图 8 过零阈值平滑模型静态瞬时流量

在分界流量 q_t 为 Q_t (M^3/H), 且精度满足 1% 的条件下,静态瞬时流量的必须满足式(8)(为 $10Q_t L/H$)。根据实际需求,分界流量选择为

$3\text{M}^3/\text{H}$,且精度为1%,那么静态瞬时流量 $\delta_1 \leq 30\text{L}/\text{H}$.

图6为阈值比较法测得的静态瞬时流量,静态瞬时流量波动很大,而且存在测量错误点,远远不能满足分界流量为 $3\text{M}^3/\text{H}$,精度为1%的要求;图7为过零阈值模型测得的静态瞬时流量,基本上可以满足分界流量为 $3\text{M}^3/\text{H}$,精度为1%的要求,但是存在个别误差点;图8为过零阈值平滑模型测得的静态瞬时流量,完全可以满足始动流量为 $3\text{M}^3/\text{H}$,精度为1%的要求.

为了对比上述3种方法之间的稳定性和重复性^[11],文中对实测数据分别计算其期望、方差及标准差进行对比如表1所示.

表1 实测静态瞬时流量的数学统计

	期望	方差	标准差
阈值比较法	22.6134	128200	358.0520
过零阈值模型	1.4298	429.727	20.7299
过零阈值平滑模型	-0.0007	162.3995	12.7436

经过对3种方法的实际测量数据的数学统计分析可以看出,零阈值平滑模型实测数据的期望、方差和标准差要小,该系统的重复性和稳定性比较好,测量的数据更接近实际测量真实值,波动性很小,可以实现抑制静态瞬时流量波动,可以很好地解决静态漂移问题.

6 结束语

时差式超声流量的阈值比较模型,抗环境噪声和元器件老化的能力差,不能准确地判断接收超声信号到达的时刻,会产生静态漂移,一直制约时差式超声流量计精度的提高.文中对传统阈值比较法进行硬件改进和从系统角度对测得的数据进行软件优化,可以很好判断接收的超声信号到达的时刻点,较

准确测定顺流和逆流时间,有效抑制了静态漂移问题,提高时差式超声流量计的计量精度.

参考文献:

- [1] 蔡武昌.超声流量计的市场与应用[J].世界仪表与自动化,2007,10(11):14-15.
- [2] 罗再扬,李秋莲.浅谈超声流量计在原油记录中的应用[J].油气田地地面工程,2007,26(4):36-37.
- [3] 兰纯纯.时差法超声波流量计的研究[D].重庆:重庆大学,2006.
- [4] 沈志辉,林伟军,张澄宇,等.用于井下超声石油流量计的互相关方法[J].声学技术,2008,27(6):845-849.
- [5] 李广峰.智能化超声波水流量计的硬件设计与制作[D].西安:西安理工大学,2000.
- [6] 蔡武昌,孙淮清,纪纲.流量测量方法和仪表的选用[M].北京:化学工业出版社,2004.
- [7] 刘存,黄建军.时差法超声流量计的几点改进[J].沈阳工业大学学报,2002,24(2):113-115.
- [8] 张涛,蒲诚,赵宇洋.传播时间法超声流量计信号处理技术进展述评[J].化工自动化及仪表,2009,36(4):1-7.
- [9] 姜勇.时差法超声波流量计设计与研发[D].杭州:浙江大学,2006.
- [10] 邱天爽,张旭秀,李小兵,等.统计信号处理-非高斯信号处理及其应用[M].北京:电子工业出版社,2004.
- [11] 张永瑞,刘振起,杨林耀,等.电子测量技术基础[M].西安:西安电子科技大学出版社,2007.

作者简介:

段允 男,(1986-),硕士研究生.研究方向为嵌入式应用.

王让定 男,(1962-),博士,教授,博士生导师.研究方向为信息安全、嵌入式应用.

朱莹 女,(1978-),硕士.研究方向为嵌入式应用、超声波应用.

姚灵 男,(1953-),教授级高工.研究方向为水计量技术.

(上接第204页)

- [3] Mohammad L, Analoui M. Grid-JQA: a QoS guided scheduling algorithm for grid computing[C]//Sixth International Symposium on Parallel and Distributed Computing (ISPDC'07). Austria,2007.
- [4] Kenli Li, Yan He, Xiaoling Liu. Security-driven scheduling algorithm based on eigen trust in grid[C]//Sixth International Symposium on Parallel and Distributed Computing. London,2005.
- [5] 李金忠,肖辉明.网络服务QoS动态评估方法研究[J].井冈山学报,2009,30(2):50-53.

- [6] 吴雄奇,曾文华.网格资源状态预测算法[J].计算机工程,2007,33(24):112-114.

作者简介:

韩云 男,(1985-),硕士研究生.研究方向为网络计算与云计算.

于炯 男,(1964-),教授,硕士生导师.研究方向为网络安全、网格与分布式计算.

张伟 男,(1984-),研究实习员.

王命全 男,(1986-),硕士研究生.