

# 超声波流量计中的数据处理

姚国民 王寅观 钟卫东

(同济大学声学研究所 上海·200092)

在超声波测量系统中,利用相关技术来处理采集所得数据信号是一种非常普遍的方法。本文采用了相关的直接法和快速法来处理数据,还提出了一种与相关类似的数据处理方法,最后给出了3种方法对超声流量测量的数据处理结果。

关键词: 相关 超声波测量

## Data processing of ultrasonic flowmeter

YAO Guomin WANG Yinguan ZHONG Weidong

(Shanghai Tongji University, Shanghai · 200092)

It is a general method to apply the correlation technique to dealing with the signal data acquired in the ultrasonic measurement system. The fast processing method and direct processing method were both employed. A new method similar to the correlation was presented. At the end of the article, the results of the three methods of data processing in ultrasonic flow measurement were compared.

**Key words:** relation, ultrasonic measurement

### 1 引言

利用超声波的时差法测定气体流量,由于声波在气体中的衰减非常大,接收到的信号中有效信号很弱,信噪比小,给脉冲计数法带来不便。本文介绍了利用采集卡采集接收信号并用相关技术进行数据处理,以求得声时差的方法,来进行气体流量的测定。由于采集所得的信号噪声成份很多,在进行相关处理前对信号进行了数字滤波。在相关处理中运用了3种方法,以便对测量结果进行比较。

### 2 流量测定原理

超声波时差法测定气体流量的装置如图1所示,利用两个探头交替发射、接收。若忽略流体力学效应,即假定管道内各点流速沿横截面均匀分布并平均等于 $v_0$ ,则只要测得

流速 $v_0$ 就可得到流量 $Q$ 。

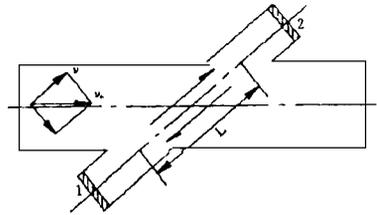


图1 超声波流量测定示意图

忽略风速对声波相位的微小影响,测量中各次采集所得的信号具有很大的相似性,这使得对信号进行相关处理成为可能。图1中 $L$ 为声波传播过程中受到气体流动影响的声程,也为本文主要研究的声程。以后研究的声时都将发生在 $L$ 上。 $c$ 为当时气体中的声速, $v_0$ 为气体的流速, $v$ 为如图示气体有效流速的投影:

$$v = v_0 \cdot \cos \quad (1)$$

第一作者:姚国民,男,1973年3月生,硕士研究生

收稿日期:96-11-18; 修回日期:97-3-13

为流速与声波传播方向的夹角。通过推导可以得到气体流速的计算公式:

$$v = \frac{\sqrt{(L/t)^2 + c^2} - L/t}{t} \quad (2)$$

$t$  是相向发射的超声波传播的声时差。只要利用相关法求出  $t$ , 并测得当时的温度  $T$ , 利用声速与温度的关系算出  $c$ , 就可求出  $v$ 。实际测量时, 由于两个探头不可能做得完全一样, 故需先在室温下分别对探头 1 和探头 2 存下两组信号作为原始信号, 然后在实测中把测得的信号同原始信号分别作互相关, 就可得出  $t_1$ 、 $t_2$ , 而  $t = t_1 - t_2$ 。

### 3 数据处理

设原始信号为  $X_0(n)$  序列, 实测信号为  $X(n)$ , 相关函数为

$$R(m) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} X_0(n) X(n+m) \quad (3)$$

由于所测得的信号为有限个数 ( $N$  个采样点), 所以只能求  $R(m)$  的估计值  $\hat{R}(m)$ :

$$\hat{R}(m) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} X_0(n) X(n+m) \quad (4)$$

相关处理时所采用的 3 种方法如下:

#### (1) 相关的直接法

因有延迟  $m$ , 故确定一个数  $M > 0$ ; 使得  $M \geq m$ 。在原始信号前面补上  $M$  个零, 后面也补上  $M$  个零, 并使  $m = m + M$  则有:

$$\hat{R}(m) = \frac{1}{N} \sum_{n=m}^{N-1+m} X_0(n) X(n-m) \quad (5)$$

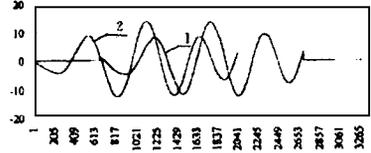
其中  $0 \leq m \leq 2M - 1$ 。然后对  $m$  取从 0 到  $2M - 1$  的  $2M$  个  $\hat{R}(m)$  值, 形成序列  $\hat{R}(2M)$ , 其中的最大值所对应的下标值  $m$ , 再减去  $M$  就是实测信号相对于原始信号的延时点数  $m_0$ , 把它乘以采样周期就得到延时  $t_i (i = 1, 2)$ 。对图 2 所示的一组信号, 用相关的直接法作出的  $2M$  个  $\hat{R}(m)$  值如图 3 所示。

#### (2) 相关的快速法

如果把同原始信号一样长的实测信号与原始信号合成一个信号, 并在其后补零, 形成

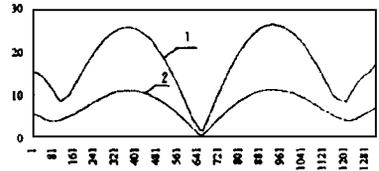
$X_{2N}(n)$ , 扩大其数据点为合并后的两倍, 就可利用文献[1]中的自相关函数快速算法, 即对(4)式作傅氏变换如下:

$$R(m) e^{-j\omega m} = \frac{1}{N} X_{2N}(e^{j\omega})^2 \quad (6)$$



1: 原始信号补零曲线 2: 实测信号曲线

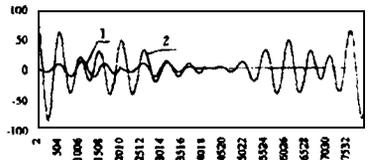
图 2 原始信号与实测信号图



1: 直接法曲线 2: 移相求和法曲线

图 3 直接法与移相求和法结果

只要求出  $X_{2N}(n)$  的功率谱, 再对其作傅氏反变换, 就可求出  $R(m)$ , 形成  $R(4N)$ 。对一个相对于原始信号  $X_0(N)$  未知延时  $m_0$  的信号, 如果假定  $-M \leq m_0 \leq M$ , 则在利用快速法计算所得的  $R(4N)$  序列中在下标从  $N - M \sim N + M$  中找到一个最大值所对应的下标  $m$ , 然后减去  $N$  即为实测信号相对于原始信号的延时点数  $m_0$ , 把它乘以采样周期就得到了延时  $t_i (i = 1, 2)$ 。利用这种方法对如图 4 中曲线 1 所对应的合并后的信号进行处理其结果如图 4 曲线 2 所示。



1: 合并信号曲线 2: 快速法结果曲线

图 4 快速法信号合并图与结果图

#### (3) 移相求和法

对于如图 5 所示的两个信号, 可以看到, 他们只是相位不同, 也就是两个信号间有延

时( $m_0$ 点)。如果我们求  $A(n) = x_1(n) - x_2(n)$ 。然后把信号 2 向前移动  $m_0$  点, 这时两个信号基本上重合, 然后再求  $A(n+m_0) = x_1(n) - x_2(n+m_0)$ , 此时可以看到, 除了两个信号相交的点外, 对每一个  $n$  都有  $A(n) > A(n+m_0)$ 。

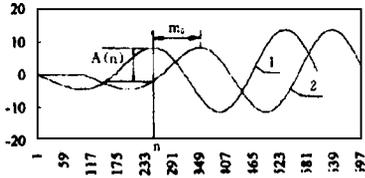


图 5 信号曲线图

若在利用直接法计算  $R(m)$  时, 把两个信号的卷积改为逐点相减并求  $A(n)$  的和, 如下式:

$$R(m) = \frac{1}{N} \sum_{n=m}^{N-1+m} X_0(n) - X(n-m) \quad (7)$$

这样求出一个  $R(2M)$  的序列。此时  $R(2M)$  序列中的最小值所对应的下标的值  $m$  减  $M$  即为实测信号相对于原始信号的延时点数  $m_0$ 。同样, 把它乘以采样周期就得到了延时  $t_i (i=1, 2)$ 。用这种方法对图 2 中的原始信号与实测信号处理后的结果如图 3 所示。

这种方法有一定的局限性: 它对信号的相似性要求非常高; 两个信号的延时不能大于一个周期; 同时, 信号相似点幅度要基本相等。由于在本文的测量中这些要求都能满足, 所以这种方法完全适用, 而且还得到了非常满意的效果。

## 4 结 论

以上所述的 3 种方法都有各自的优缺点: 快速法的计算速度快, 但对波形在整个时域上要求在信号来临之前非常干净, 这对于又发又收的探头来说基本上无法实现, 即使对信号预先进行了滤波, 也无法消除晶片由于余振产生的与真实信号同频率的波形, 所以在运用中不能精确地找到  $m_0$ ; 而且它需要的采样点较多, 至少要 3 个周期, 否则无法取得真实值。若利用 10M 的采样频率对 15kHz 的信号进行采样, 采样点就要有 2k。利用直接法时, 计算速度太慢, 如果取  $N$  为 2048 个点,  $M$  取 667, 则它比快速法要慢 6 倍, 是 3 种方法中最慢的, 而移相求和法虽有其局限性, 但由于它避免了乘除法, 速度比直接法快了 1 倍。直接法和移相求和法速度慢, 但可取较少的采样点以提高速度, 且能得到满意的效果。

### 参考文献

- 1 宗孔德、胡广书. 数字信号处理. 清华大学出版社, 1988
- 2 同济大学声学研究所. 超声工业测量技术. 上海人民出版社, 1977
- 3 郑群里、杨为理、应启珩. 信号与系统. 高等教育出版社, 1981
- 4 N. K. Bose. Digital filters theory and applications. 1940