

# 基于超声波及压力互相关动态流量 软测量方法的探讨

邓文亮 强宝民

(第二炮兵工程学院, 陕西西安 710025)

**摘要:** 由于流量动态变化的机理和相应状态下流场的分布描述还不清楚,如温度、黏度的变化等对流量的影响,因而精确的动态流量模型还难以建立。针对存在的问题,利用超声波在流体中传播时加载了流体速度信息,结合压力互相关法,提出了在层流状态下,运用系数加权将两者综合进行非接触式流量软测量方法。避免了模型推导带来的误差,且不会造成压力损失,不影响流体状态,使系统具有较高测量精度和稳定性,并对影响系统精度的参数的标定方法进行探讨。该方法对动态流量测量具有积极的推动作用。

**关键词:** 动态流量 超声波 互相关法 加权因子

中图分类号: TH137, TP273

文献标识码: A

文章编号: 1008-0813(2009)06-0059-04

## Discussion of Dynamic Flow Measurement with Soft Sensor Method Based on Ultrasonic and Pressure Cross-correlation Method

DENG Wen-liang QIANG Bao-min

(The Second Artillery Engineering College Xi'an 710025)

**Abstract:** Because of clear mechanism of flow dynamic variety and distribution of current field, and influence on flow caused by temperature and viscosity, exact model of dynamic flow can be not established. Aiming at the problem of dynamic flow measurement, indirect soft measurement is exposed in laminar state, which is based on ultrasonic when transmitted in the liquid containing velocity signal of liquid and pressure cross-correlation method that manage coefficient. The measurement weakens error which is caused by calculating model, does not cause pressure loss and variety of liquid state commendably. It makes measurement precision and stability of system high. At the same time, the calibrating measurements of parameters that effect precision of system are discussed. It is useful to promote dynamic flow measurement.

**Key Words:** dynamic flow; ultrasonic; cross-correlation method; coefficient.

## 0 引言

随着现代液压控制技术的发展和,对于系统和元件的动态特性的要求越来越高,因而对瞬时动态流量测量技术提出了更高的要求。在保证测试结果不失真的前提下,一般要求用于动态测量的测试系统的响应时间越短越好,测试系统的频宽要大于被测系统的3倍以上。在液压元件和系统性能测试中,动态流量的测量,对于评价伺服阀、比例阀等控制元件,以及液压控制系统的动

收稿日期: 2009-05-31

作者简介: 邓文亮(1985-)男,江西临川人,硕士研究生,主要从事机电液技术方面的学习和研究。

生动,活跃的课堂气氛,增加了学生的学习兴趣,增强了学生对知识的掌握程度,收到了良好的教学效果。

Flash 软件作为一种被广泛应用的教學手段是现代教学发展的必然趋势。

## 参 考 文 献

- [1] 张彤.应用 flash 技术实现液压与气动元件的动画演示[J].大连大学学报,2003(6):60-61.
- [2] 盛英.马建国 Flash 动画在液压与气动计算机辅助教学(CAI)课件中的应用[J].液压与气动,2002(8):13-14.
- [3] 刘峰,魏云秀.Flash 多媒体课件制作专业教程[M].北京:清华

态特性都有着非常重要的意义。但由于流体本身的复杂性,处于变速状态的流体介质内部不仅存在黏性摩擦力,而且存在惯性力的作用,还会出现不稳定的漩涡和二次流等复杂流动现象,使得测试非常困难.因此,动态流量的在线测量一直是液压系统中一个急需解决而又长期未能很好地解决的难题。以至在比例阀等的测试中,还未形成统一的国家 and 行业标准<sup>[1]</sup>。

## 1 超声波流量测量

### 1.1 超声波流量测量的特点

超声波测量是无插入件的间接式测量,不会对流  
大学出版社,2004.

- [4] 曹建东,龚肖新.液压传动与气动技术[M].北京:北京大学出版社,2006.
- [5] 罗洪波,高茂涛《液压与气动》CAI 课件的开发及应用[J].柳州职业技术学院学报,2006(3):69-71.
- [6] 曹坚.液压与气压传动 CAI 课件开发[J].嘉兴学院学报 2001.5(13):71-73.
- [7] 唐德栋,孔祥冰.Flash 在液压与气压传动 CAI 课件中的应用[J].机械工程师 2004.3:25~26.
- [8] 温齐全,沈健,朱文谦.液压基本回路 CAI 的开发[J].液压气动与密封,2002(3):41-42.

体的流动速度产生直接的影响,且反应迅速,可用于动态流量的测量,被专家们称为21世纪的绿色环保流量<sup>[2]</sup>,有很大的发展潜力,其特点如下<sup>[3][4]</sup>:

(1) 应用领域广,对介质无特殊要求,可测量液体、气体,甚至是腐蚀性、放射性介质的流量;

(2) 夹装式换能器无需停流截管安装,只需在管道外部安装即可;

(3) 不破坏初始的流动状态,不引人误差,无压损;

(4) 测量范围宽,可测的最大和最小流量之比可达20:1,而且测量准确度基本上不受被测流体的温度、压力等参数的影响。

### 2.2 换能器的安装

在超声检测中,把超声波发射出去再接收回来转换成电信号的装置,就是超声波换能器,即探头。若其安装不合理会影响超声流量计的测量结果,因此安装时要注意以下几点<sup>[4]</sup>:

- (1) 应保证有足够的上下游直管段长度;
- (2) 应尽量避免有变频调速器等污染电源的场合;
- (3) 应尽量避免管道振动等因素的影响;
- (4) 安装处和管壁反射处必须避开接口和焊缝;
- (5) 安装地点还应能保证流体充满管道。

在安装方式上,主要有对贴方式、V方式和Z方式三种。从实践来看,Z方式安装的换能器信号强度高,测量稳定性好,因而选用Z方式安装。

## 2 相关函数基本理论

### 2.1 连续信号互相关的定义

相关是代表客观事物或过程中某两种特征量或特征值之间联系的紧密性及关联程度。两随机信号样本  $x(t)$  和  $y(t)$  的互相关函数定义为<sup>[5]</sup>:

$$R_{xy}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T y(t)x(t-\tau)dt \quad (1)$$

互相关函数具有以下性质:①若  $R_{xy}(\tau)$  峰值偏离原点的位置反映了两信号相互间有时移关系时,相关程度最高;②  $R_{xy}(\tau)$  与  $R_{yx}(\tau)$  是两个不同函数,但关于纵坐标对称;③均值为零的量统计独立的随机信号  $x(t)$  和  $y(t)$ ,对所有的  $\tau$  值都有  $R_{xy}(\tau)=0$ 。

### 2.2 离散信号互相关的定义

对模拟信号(连续信号)进行采样、量化就得到离散信号,其互相关函数的表达式为:

$$R_{xy}(r) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x(i)y(i+r) \quad (2)$$

$$(r=0, 1, 2, 3, \dots, m)$$

式中  $N$ ——沿时间轴的总采样数;  
 $i$ ——沿时间轴的总采样数序列号;  
 $r$ ——间断时移值。

作为有限长采样的相关函数估计为:

$$R_{xy}(r) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x(i)y(i+r)$$

## 3 两种方法的测量原理

### 3.1 超声波流量测量时差法原理

按信号检测方法,超声波流量测量可分为传播速度差法、多普勒法、相关法、波束偏移法、旋涡法等。时差法原理如图1所示。

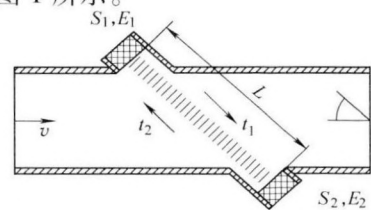


图1 超声波时差法流量测量装置主体原理图

设  $t_1$  为声波发生器1到接收器2走过的时间,  $t_2$  为从发生器2到接收器1经过的时间,则有

$$t_1 = \frac{L}{C_0 + v \cos \alpha}, t_2 = \frac{L}{C_0 - v \cos \alpha} \quad (3)$$

两运行时间之差为:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 2L \frac{v \cos \alpha}{C_0^2 - v^2 \cos^2 \alpha} \quad (4)$$

为了消除声速的影响,可对  $t_1$  和  $t_2$  分开进行测量,并将它们相乘:

$$t_1 t_2 = \frac{L^2}{C_0^2 - v^2 \cos^2 \alpha} \quad (5)$$

将式(5)代入式(4),有

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 2L \frac{v \cos \alpha}{L^2} t_1 t_2 \quad (6)$$

由此则消除了声速项,可得平均流速  $v$  的计算公式:

$$v = \frac{L}{2 \cos \alpha} \times \frac{t_2 - t_1}{t_1 t_2} \quad (7)$$

### 3.2 压力互相关法测量法原理

通常管道中动态层流流动的流体其流速都有一定脉动,这种速度脉动可以认为是流体中不规则分布的大大小小的波动随流体一起移动所引起的,也可以看作是流动微团的流动特征。如图2所示<sup>[6]</sup>:

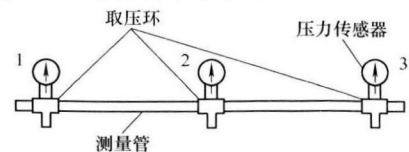


图2 压力互相关流量测量主体示意图

对两组都相距  $l$  的测压点处压力数据进行互相关处理,得到相关函数的峰值所对应的时间  $\tau_1, \tau_2$ ,即得到各自的渡越时间。分别代表某一流动微团从 1 运动到 2 以及从 2 运动到 3 所用的时间。这一过程按一定的时间步长重复进行,分段得到流体的平均流速,当时间步长趋于 0 时就可以把测量得到的分段平均流速认为是流体的瞬时速度。为了实现这一测量处理过程,两组测量点(1、2、3 三点)的压力信号,要不断地舍弃前面的部分采样点并同时在后面增加等量的新采集点,从而保持总采样点数不变,即相关运算数据长度不变。这样虽然测量点的压力信号波形不断变化,但波形处理长度不变,以保证测量点压力值的时时相关性。这样获得的直径平均速度记为  $V_p$ ,与面平均速度  $V_D$  有一定关系,一般可以近似按线性关系处理: $V_D=kV_p$ ;式中,  $k$  为待标定的系数。

则瞬时流量计算公式如下:

$$Q=AV_D=kAV_p$$

式中  $A$ ——管道截面积。

对于  $V_p$  的计算,有两种加权形式:第一种形式: $V_p = \frac{l}{\tau}$ 。其中: $\tau=(1-\omega)\tau_1+\omega\tau_2$ ;

第二种形式: $V_p=(1-\omega)v_1+\omega v_2$ 。其中: $v_1=\frac{l}{\tau_1}, v_2=\frac{l}{\tau_2}$ 。

在压力传感器精度相同的情况下,通常令  $\omega=0.5$ 。

#### 4 超声波时差及压力互相关综合测量法

综合两种测量方法,综合测量法其主体测量结构(温度传感器未画出)如图 3 所示<sup>[7]</sup>:

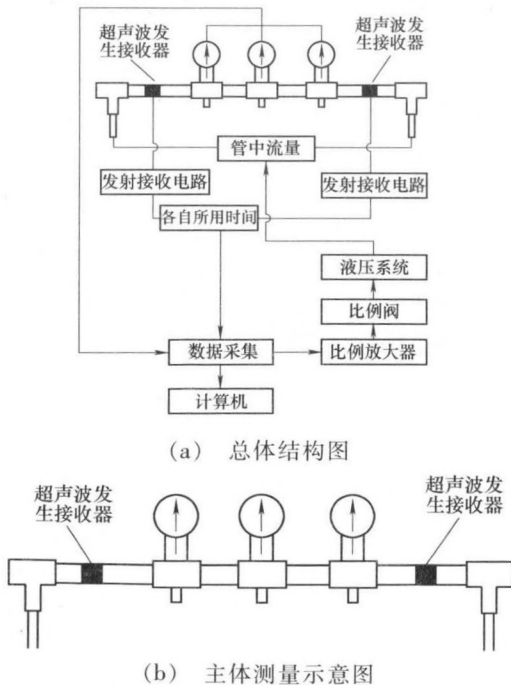


图 3

其工作程序为:由计算机发出指令信号,通过比例放大器控制比例阀,按特定的激励信号动作,以促使测量管中的流量随着阀口开度而发生动态变化。同时,启动压力、温度的采集系统,利用超声波、压力以及温度传感器分别将测量管中随流量而变化的压力、温度等信息采集回计算机中,应用神经网络或模糊控制等智能控制方法在计算机内进行存储和处理,获得动态流量。

#### 4.1 综合法的优点

改变两压力传感器间距离会对相关法测量结果产生一定的影响。传感器间距离越大,互相关函数曲线越矮胖,导致渡越时间计算误差偏大。因此,在相关测量中,两个传感器的距离应尽量小,但又受到传感器的结构和安装方式的限制。因此,合理选取压力传感器的距离,在结构上采用三点法,即可同时得到两组采样数据进行处理,得到两个渡越时间,进而求出直径流速进行加权平均,减少计算误差,同时也使系统更加稳定,可靠度更高,精度比较高。

取压环的作用是将测量管的压力信号传递出来,同时由于它只通过若干小孔与测量管相连接,空腔中的油液并不流动,这样可以保证测量管内液体的流动状态、流速分布不受取压环和传感器的影响,并能保证沿测量管的圆周方向均匀取压<sup>[8]</sup>。

故将超声波测量与压力互相关测量综合起来,不会影响油液流动状态及流速的分布,是一种可行的测量方法,使整个系统性能得到较大的提高。与此同时,软测量的使用也使测量频率范围变大,提高系统整体动态性能。

#### 4.2 流量表达式的推导

为了便于计算,这里采用第二种系数加权形式,结合上述两种方法,综合得到流量表达式为:

$$Q=AV_s \tag{8}$$

其中,  $V_s=KV_z; V_z=(1-\varphi)V_r+\varphi v$ 。

$$Q=KA \left[ (1-\varphi) \left( (1-\omega) \frac{l}{\tau_1} + \omega \frac{l}{\tau_2} \right) + \varphi \frac{L}{2\cos\alpha} \times \frac{t_2-t_1}{t_2t_1} \right] \tag{9}$$

其中,  $\omega=0.5, A$  为测量管道截面积,  $\varphi$  为加权因子。

#### 4.3 比例系数及加权因子的标定

为了验证实际测量的动态性能,必须对比例系数  $K$  和  $\varphi$  进行标定,可采用无载液压缸进行动态标定。由测试系统控制比例阀按照不同的幅值和频率输出典型动态流量信号,分别记录该系统与无载液压缸的测量特性做出定量的评价。但这种标定法没有考虑温度、压力变化等因素对动态流量测量的影响,精度还不是很高,系统的自适应能力不强。

# 混凝土泵车液压缸导向套结构形式改进建议

郭彦斌 王丽 刘朋

(徐州徐工液压件有限公司, 江苏徐州 221004)

摘要: 本文对目前混凝土泵车液压缸中导向套常用的三种结构形式进行分析对比, 并提出改进建议。

关键词: 混凝土泵车; 液压缸; 导向套; 结构形式; 分析; 改进

中图分类号: TH137

文献标识码: A

文章编号: 1008-0813(2009)06-0062-03

## Analysis & improvement suggestions of the guiding bush structural styles of hydraulic cylinder in truck-mounted concrete pump

GUO Yan-bin WANG Li LIU Peng

(Xuzhou Xugong Hydraulic Component Co., Ltd., Xuzhou221004, China)

Abstract: The paper analysis and compares of three common guiding bush structural styles of hydraulic cylinder in Truck-Mounted Concrete Pump and point out the improvement suggestions.

Key Words: truck-mounted concrete pump; hydraulic cylinder; guiding bush; structural styles; analysis; improvement

### 0 引言

随着国家 2010 年底前投资 4 万亿元拉动内需项目的展开, 大批建设工程如铁路、公路和机场等重大基础设施建设的增多, 国内混凝土泵车行业得到了突飞猛进的发展, 与之相配套液压缸的市场前景也越来越广阔。混凝土泵车在工作状态时, 臂架伸出, 液压缸锁

紧, 整个臂架系统是一个悬梁结构, 而且要求长时间连续工作, 其恶劣的工作环境要求与其配套的液压缸必须具有较高的安全性、可靠性, 液压缸的质量优劣直接影响到主机的工作, 而其关键零件之一导向套的结构形式对液压缸的使用性能起着很重要的作用。

下面, 以目前国内混凝土泵车液压缸导向套常用的三种结构形式为例进行对比分析, 并提出改进和建议。

### 1 导向套的三种结构形式对比分析

#### 1.1 整体螺纹式导向套

如图 1 所示。

收稿日期: 2009-06-7

作者简介: 郭彦斌(1979-), 男, 本科, 毕业于太原重型机械学院机械设计制造及自动化专业, 现从事混凝土泵车、起重机等液压缸的研发、设计及改进工作。

特性做出定量的评价。但这种标定法没有考虑温度、压力变化等因素对动态流量测量的影响, 精度还不是很高, 系统的自适应能力不强。

一般说来, 温度升高黏度变小, 在同等压力条件下流体流动的速度就会变大, 相关函数的渡越时间就会减小, 计算的流量值会随温度变化有相应变化。为了提高测量精度, 还需安装温度传感器, 增加温度信息输出。与此同时, 油液的黏度也受压力影响, 压力增大, 其分子间距离缩小, 黏度增大。在实际应用中测量工作压力大多在 20MPa 以下, 黏度变化不大, 可忽略不计, 压力的影响在此不予考虑。因此, 应在同一工况不同温度下, 通过上述无载液压缸的对比实验设置合适的控制规则, 运用神经网络或模糊控制方法, 对参数  $K$ 、 $\varphi$  进行实时标定, 获得的精度更高, 误差更小, 动态流量曲线更真实可靠。

### 5 总结与展望

本文首次提出了在层流状态下一种基于超声波与压力互相关的综合动态流量软测量方法, 并对影响系

统精度的参数的标定方法进行了探讨。从理论上分析, 测量具有较高的精度和较好的稳定性及动态性能, 该测量方法具有可行性。由于系统比较复杂, 在工程应用上还需做更进一步的完善。同样, 在软测量方面还可应用其它方法进行探讨, 提高测量精度。

#### 参 考 文 献

- [1] 梁国伟, 蔡武昌. 流量测量技术与仪表[M]. 机械工业出版社, 2002.
- [2] 孙延祚. 国际流量计量学术动态及发展趋势. 天然气工业, 2003(1): 84-88.
- [3] 姜万录, 孙红梅, 高明. 基于超声检测的动态流量测试技术研究. 机床与液压. 2004, No. 10.
- [4] 王秉仁, 张雷, 姜小丽. 基于超声检测的动态流量监测技术的研究. 机电技术. 2005, 第 2 期.
- [5] 王荣鑫编. 随机过程. 西安交通大学出版社. 2006. 8, 第二版.
- [6] 姜万录, 孙红梅等. 相关法虚拟动态流急的研制及试验研究. 传感器技术学报. 2007. 1, Vol. 20.
- [7] 姜万录, 雷亚飞等. 基于神经网络软测量的动态流量测量方法研究. 流体传动与控制. 2007 第 6 期.
- [8] 孙红梅. 动态流量测量方法的研究及相关法虚拟动态流量计的研制[D]. 燕山大学硕士学位论文, 2005.